

Л. В. ЖУРАВЛЕВА

# ЭЛЕКТРЛІК МАТЕРИАЛТАНУ

## ОҚУЛЫҚ

*Кәсіби бастауыш білім беру  
бағдарламасын жүзеге асыратын білім беру  
мекемелерінде сабақ беру  
барысында оқулық ретінде  
ҰСЫНЫЛҒАН*

10-шы басылым, стереотипті



«Академия» баспа орталығы  
Мәскеу, 2014

ӘОЖ 621.3(075.32)

КБЖ 32.843ші722

Ж911

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпқор» холдингі» КЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес «ТЖКБ жүйесі үшін шетел әдебиетін сатып алуды және аударуды ұйымдастыру жөніндегі қызметтер» мемлекеттік тапсырмасын орындау аясында қазақ тіліне аударылды. Аталған кітаптың орыс тіліндегі нұсқасы Ресей Федерациясының білім беру үдерісіне қойылатын талаптардың ескерілуімен жасалды.

Қазақстан Республикасының техникалық және кәсіптік білім беру жүйесіндегі білім беру ұйымдарының осы жағдайды ескеруі және оқу үдерісінде мазмұнды бөлімді (технология, материалдар және қажетті ақпарат) қолдануы қажет.

Аударманы «Delta Consulting Group» ЖШС жүзеге асырды, заңды мекенжайы: Астана қ., Иманов көш., 19, «Алма-Ата» БО, 809С, телефоны: 8 (7172) 78 79 29, эл. поштасы: info@dcg.kz

### Пікір берушілер:

Әлеуметтік және білім беру менеджменті институтының оқу ісі жөніндегі проректоры, пед. ғылымдарының канд. *Г.В. Ярочкина*;  
БЭМҒЗИ ҮӨТ информациялық технологиялар зертханасының меңгерушісі, техн. ғылымдарының канд. *С.Г. Семенов*.

### **Л.В. Журавлева**

Ж911 Электрлік материалтану: кәсіби орта білім беру мекемелерінің студ. арналған оқулық /Л.В.Журавлева. – 10-шы басылым, стер. – М.: «Академия» баспа орталығы, 2014. – 352 б.  
ISBN 978-601-333-352-6 (каз.)  
ISBN 978-5-4468-1179-3 (рус.)

Радиоэлектрлік аппаратура: өткізгіштер, жартылай өткізгіштер, бейөткізгіштер, магниттік материалдар өндірісінде қолданылатын электрлік радиоматериалдардың әртүрлі жіктелімдерінің негізгі қасиеттері талқыланды. Оларда болатын физикалық құбылыстардың, осы материалдарға қойылатын талаптардың негіздері және олардың қолданылу салалары баяндалды. Бұларды өндіруге жұмсалатын материалдардың өңделінуіне заманауи технологиялардың қолданылуы туралы жаңа деректер келтірілді.

Оқулық ФМББС КОБ сәйкес «Радиоэлектрлік аппаратура мен аспаптарды монтаждаушы» мамандығы бойынша «Электрлік материалтану негіздері» жалпыкәсіптік пәндерін ЖК.03 оқуда қолданылады.

Кәсіби орта білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған.

ӘОЖ 621.3(075.32)

КБЖ 32.843ші722

ISBN 978-601-333-352-6 (каз.)

ISBN 978-5-4468-1179-3 (рус.)

© Л.В.Журавлева, 2010

© «Академия» білім-баспа орталығы, 2010

© Безендіру. «Академия» баспа орталығы, 2010

## АЛҒЫ СӨЗ

Радиоэлектроника жаңа электрлік радиоматериалдардың үлкен алуандылығын талап ететін техниканың өте жылдам дамитын саласы. *Электрлік радиоматериалдар деп* радиотехникада қолданылатын, олардың аса маңызды мәні электрлік және магниттік өрістердегі қасиеттері мен сипаттамалары болып табылатын материалдарды айтады. Бұл материалдарды қолдану жоғары беріктіліктегі, жылдам әрекетті, қоршаған орта әсеріне, агрессивтік орта әсеріне, соққыға, иондаушы сәулеленуге, магниттік өрістерге төзімді өнім алуға мүмкіндік береді.

Радиоэлектрондық құрылғылары мен есептеу техникасы құралдарының элементтік базасын өндіруде жоғарғы технологияларды пайдалану тек арнайы өндірістік жағдайлардың жасалуының және мамандандырылған жабдық пен жарақтардың дайындалуының ғана арқасында емес, сондай-ақ жаңа негізгі және қосалқы материалдарды енгізудің де арқасында мүмкін болды.

Радиоэлектрлік аппаратураны өндірудің ерекшелігі болып олардың техниканың барлық салаларындағы көптеген өнімдер үшін элементтік базаның қызметін атқаратындықтан, әртүрлі қолданыстағы аспаптардың, интегралдық схемалардың және радиоэлементтердің көп көлемдегі және жоғарғы сападағы үлкен номенклатурасын шығару болып есептелінеді.

Аспаптарды және радиоэлектрлік құрылғыларды жасаудың көптеген технологиялық үдерістері автоматтандырылғанына, механикаландырылғанына немесе өндеудің топтық әдісін қолданылатынына қарамастан, құрау-монтаждау әрекеттері еңбекті көп қажетсінетін жұмыс болып қала береді және қол еңбегін пайдалану арқылы орындалады. Бұл қосылулардың көптігімен және құрастыру-монтаждау жұмыстарының түйіспелі қосылыстарының ұсақ көлемді болуынан және элементтердің бумасының жоғарғы тығыздығынан болатыны қиындықпен түсіндіріледі.

Монтаждаушының сәйкесінше техникалық дайындығы ғана емес, сонымен қатар ол өзі қолданатын электрлік радиоматериалдардың қасиеттерін білуі қажет, өйткені онсыз заманауи өндірістің тәжірибелік сұрақтарын түсіну мүмкін емес.

## МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ МӘЛІМЕТТЕР

Электрлік радиоматериалдар сан алуан қасиеттерге ие, сондықтан оларды радиоэлектрондық аппаратура өнімдерінде қолданады. Радиоаспаптардың элементтерінде жүріп жататын өткізу, туындау, электр тоғының түзелуі мен модуляциясы, электрлік белгілердің дыбыстық немесе жарықтық белгіге түрленуі сияқты т.б. үдерістер осы қасиеттерге байланысты. Электрлік радиоматериалдардың қасиеттеріне, функционалдық қолданысына, конструкциялық орындалуына және өнімнің көлеміне байланысты әртүрлі сымдар, толқын арналары, трансформаторлар, магниттер, электрондық шамдар, лазерлер мен мазерлер, жарық қабылдағыштар, жартылай өткізгіш интеграл сұлба және т.б. дайындалады. Бұл материалдардың дұрыс таңдалуы мен тиімді қолданылуы үшін олардың қасиеттерін біліп қана қоймай, заттың құрылысымен байланысты келетін олардың сан алуандығының себебін де білу қажет.

*Заттек* — бұл тыныш күйдегі салмаққа ие материяның бір түрі. Техникада «заттек» ұғымының орнына «материал» ұғымы қолданылады. Материалдардың техникалық мәні олардың құрылысына байланысты. Материалдардың құрылысы олардың құрылысымен сипатталады.

*Құрылым* — бұл материалдардың тұтастығын, ішкі және сыртқы өзгерістерден негізгі қасиеттерін сақтауды қамтамасыз ететін тұрақты байланыстарының жиынтығы. Материалдардың ерекшелігі олардың қасиеттерімен есептеледі.

*Қасиет* — бұл материалдардың айырмашылығы мен ортақтығын көрсететін және оларды салыстыру барысында анықталатын философиялық категория. Материалдардың құрылымы мен қасиеттерінің арасындағы байланыс материалтанудың зерттеу пәні болып есептеледі.

### 1.1. Байланыс түрлері

Барлық заттектер атомдардан тұрады. *Атом* – бұл химиялық элементтердің қасиеттеріне ие ең кіші бөлшегі. Атом оң зарядты ядродан және оны айналып қозғалатын теріс зарядты электрондардан тұратын жүйені құрайды. Электрондар ядроға

тартылады және бір-бірінен кері серпіледі. Ядроға жақын орналасқан электрондар үлкен тартылысқа ұшырайды; олар ядродан алыс орналасқан сыртқы электрондардың тартылысын азайтады. Сыртқы электрондар атомнан бөлініп шығып басқа атомға оның сыртқы электрондарының санын өзгерте отырып қосылуы мүмкін. Мұндай электрондар *валенттік электрондар деп аталады*. Әр түрлі заттектерде атомдардың әртүрлі сандағы валенттік электрондары болады. Бір немесе бірнеше электронын жоғалтқан атом оң зарядты болады. Өзіне еркін электрондарды қосып алған атом теріс зарядты болады. Осылайша пайда болған оң және теріс зарядталған бөлшектер *иондар* деп аталады.

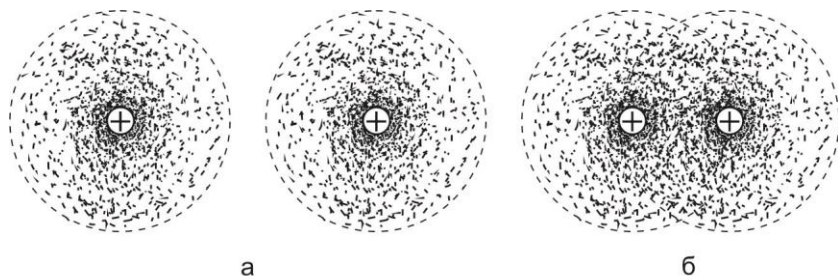
Атомдардан молекулалар құралады. *Молекула* заттың химиялық қасиетін сақтайтын ең кіші бөлшегі болып саналады. Молекулалардың құрамына екіден бірнеше жүзге дейін және мыңға дейін атомдар кіреді. Полимерлердің молекулалары *макромолекулалар деп аталады*. Молекулалардың көлемі  $10^{-1} \dots 10^6$  нм шамалас және үздіксіз қозғалыста болады. Молекуланың энергиясы көбіне ілгерілемелі қозғалыстан және айналымнан, электрондар мен ядролардың өзара әрекеттесуінен, ядролардың тербелмелі қозғалысынан құралады.

Құрамы мен салмағы бірдей, бірақ құрылысы пен физикалық және химиялық қасиеттері бойынша өзгешеленетін химиялық қосылыстарды *изомерлер* деп атайды. Атомдардың молекулаларға бірігуін *химиялық* байланыстар деп атайды.

Атомдардың басқа заттардың атомдарымен байланысқа түсіп молекулалар түзу қабілетін заттың химиялық қасиеттері анықтайды. Заттың атомдары арасындағы химиялық байланыстар коваленттік (атомдық), иондық, металлдық және молекулалық болып бөлінеді.

Ковалентті (атомдық) байланыстар атомдар арасындағы әртүрлі атомдардың тұрақты валенттік электрондарының жұбы пайда болуының есебінен туындайды. (1.1-сурет) Бұл жұптар молекулаға кіретін атомдар үшін ортақ. Егер қос атомдық молекула бір элементтің атомдарынан ( $H_2$ ,  $C_{12}$ ,  $N_2$ ) тұратын болса, онда электрондық жұп бірдей деңгейде екі атомға да тиесілі. Мұндай жағдайда молекула мен коваленттік байланысты полярсыз, немесе *бейтарап* байланыстар деп атайды. Полярсыз молекулаларда оң және теріс зарядтардың ортасы бір-біріне сәйкес болады.

Егер қос атомдық молекула әртүрлі элементтердің атомдарынан тұратын болса, онда электрондық жұп атомдардың біреуіне қарай жылжиды. Мұндай жағдайдағы коваленттік байланысты *полярлық* деп атайды, ал полярлық байланыстағы оң зарядтардың ортасы сәйкес келмейтін молекулаларды – *полярлық*, немесе *дипольдік* деп атайды.



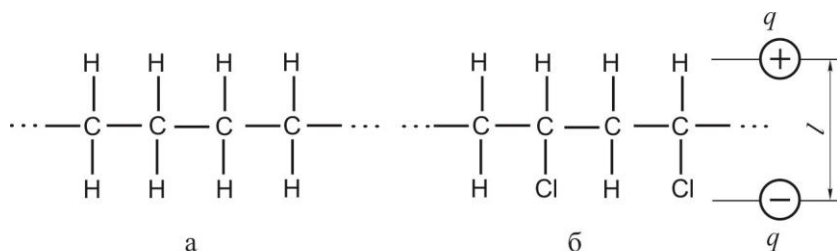
1.1-сур. Сутегінің молекуласындағы коваленттік (атомдық) байланыс: *а* — оқшауланған атомдар; *б* — коваленттік байланыстағы молекула  
Дипольдік молекула электрлік дипольдік моментпен сипатталады  $\mu$ , Кл·м:

$$\mu = gl,$$

қай жерде  $g$  — зарядтың абсолюттік мәні, Кл;  $l$  — оң және теріс зарядтардың орталарының ара қашықтығы, м.

Егер де көп атомдық молекулалардың зарядтары симметриялы орналасқан болса, онда олар полярсыз; егер де симметриялы емес болса, онда полярлық болады (1.2-сурет).

Иондық байланыспен салыстырғанда коваленттік (атомдық) байланыс бағытталған сипатқа ие. Бұл байланыс аз тығыздықтағы біріккен электрондардың бағытында пайда болады. Сондықтан коваленттік байланыстағы заттар әдетте қаттылығымен, сынғыштығымен, баяу балкитындығымен және химиялық инерттігімен сипатталады. Оларға германийдің, кремнийдің, алмаздың, Д. И. Менделеевтің — SiC, BN химиялық элементтер кестесінің ортаңғы топ элементтерінің қосылыстары жатады. Коваленттік (атомдық) байланыстар сутегі ( $H_2$ ), оттегі ( $O_2$ ), азот ( $N_2$ ) сияқты газдарға тән. Кейбір органикалық қосылыстардың мысалы полиэтиленнің  $(C_2H_4)_n$ , политетрафторэтиленнің  $(C_2F_4)_n$  а  $(C_2F_4)_n$  молекулаларында коваленттік байланыс бар, бұл ретте бұл материалдардың жекелеген



1.2.-сур. Полиэтиленнің полярсыз молекуласының сұлбасы ( $p = 0$ ) (а) және поливинилхлоридтің полярлық молекуласының (б):

$q$  — зарядтың абсолюттік мәні;  $l$  — оң және теріс зарядтардың орталарының ара қашықтығы

молекулаларының арасында молекулалық байланыстар орнайды.

Коваленттік байланыстың бір түрі боп электрон беретін (донор) атом мен осы электронды қабылдайтын (акцептор) атомның арасында пайда болатын донор-акцепторлық байланыс болып есептеледі. Мұндай материалдарға күшәла-арсенид галлий (GaAs) мен индийдің (InAs) қосылыстары мысал бола алады.

Иондық байланыстарға оң және теріс иондардың арасындағы электрстатикалық тартылыс күштері себепші. Иондық байланыстағы қосылыстар типтік металлдар мен бейметаллдарға тән әртүрлі қасиеттерге ие. Мұндай байланыстар құрамында қарама-қарсы белгідегі иондар бар (тұздардың көп бөлігі және кейбір оксидтер, мысалы ZnO, CdO, NiO, CuO<sub>2</sub>) бейорганикалық бейөткізгіштерге тән.

Иондық байланыстар коваленттік байланыстарға қарағанда беріктігі аз, сондықтан иондық байланыстағы қосылыстар коваленттік байланыстағы заттардан механикалық беріктігі мен химиялық тұрақтылығы жағынан әлсіз.

Металлдық байланыстар металлдарда болады және оған сыртқы (валенттік) электрондардың әрекеттерінің ерекшелігі себепші. Металлдардың атомдары оң ионға айнала отырып, сыртқы (валенттік) электрондарды беру, немесе қайтадан бейтарап атомға айналып оларды қайта біріктіру қабілетіне ие. Атомдардан бөлініп шығатын сыртқы электрондар, еркін электрондарға айналады және ұжымдастырылған электрондар деп аталады. Нәтижесінде металл ұжымдастырылған электрондардың ортасындағы оң иондардан тұратын жүйені құрайды. Бұл жүйеде біруақытты иондар мен еркін электрондардың арасында тартылыс орын алады және бейтарап молекулалардың арасында коваленттік байланыс орнайды. Бұл байланыстардың болуы металлдардың бүтіндігі мен мықтылығын анықтайды. Еркін электрондардың болуының арқасында металлдар жоғары электр- және жылуөткізгіштігіне ие болады. Металлдық байланыста коваленттік байланысқа қарағанда бағытталған сипат жоқ, бұл металлдарға жоғары икемділік береді. Металлдардың көпшілігі жоғары температурада балқиды және қайнайды. Молекулалық байланыстар жекелеген молекулалардың арасында молекулалардағы қарама - қарсы зарядтардың арасындағы электрстатикалық тартылыс нәтижесінде пайда болады.

Мұндай электрстатикалық тартылыстарды *Ван-дер-Ваальс күші* деп атайды. Осындай күштердің көмегімен қатты сутегіде H<sub>2</sub>, азотта N<sub>2</sub>, көмірқышқыл газында CO<sub>2</sub> және полиэтилен, фторопласт және т.б. органикалық қосылыстарда молекулалар түзіледі.

Молекулалық байланыстардың ерекше түрі болып сутегінің ионы (протон) арқылы көршілес молекулалардың екі ионының

арасында орналасқан сутегі байланысы есептеледі.

Сутегі байланысымен судың және кейбір органикалық қосылыстардың молекулалары бірігеді.

Қатты заттарда атомдар мен молекулалар қатаң тәртіпте немесе бейберекет орналасады. Кеңістіктегі заңдылықта реттеліп орналасқан атомдары немесе молекулалары бар заттарды *кристаллдық*, ал атомдары немесе молекулалары бейберекет орналасқан заттарды – *аморфтық деп атайды*.

## 1.2. Кристаллдық материалдар

Кристаллдық материалдарға барлық металлдар және металл қорытпалары жатады.

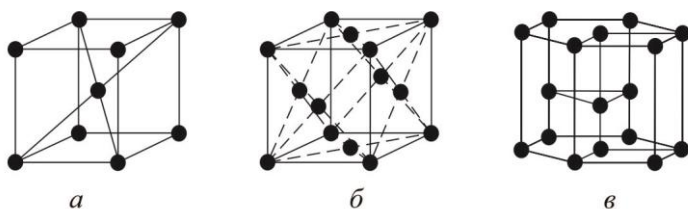
Кристалл көптеген бір-бірімен түйіндескен элементтік кристаллдық торлардан тұрады. Элементтік кристаллдық торларда атомдардың ең аз бөлігі орналасқан.

Кристаллдық денелердің құрылымын суреттеу үшін *кеңістіктегі кристаллдық тор* ұғымын пайдаланады, ол түйіндерінде қатты денені түзетін бөлшектер орналасқан кеңістіктегі тор (1.3 - сур.).

Кристаллдық заттарда коваленттік (атомдық), иондық, металлдық немесе молекулалық тор болуы мүмкін. Коваленттік торлардың түйіндерінде бір-бірлерімен коваленттік байланыстағы бейтарап атомдар орналасқан.

Металлдық торлардың түйіндерінде араларында еркін электрондары бар оң иондар орналасқан. Олар торды металлдық байланыстардың көмегімен құрайды.

Молекулалық торлардың түйіндерінде молекулалар орналасқан. Мұндай торлар коваленттік және иондық байланыстардың есебінен құралады.



1.3-сур. Металдардың кристаллдық торларының негізгі түрлері:

*a* — кубтық көлемдік-орталықтық; *b* — кубтық гранецентрлік;  
*v* — гексагондық



Әдетте әрбір зат белгілі бір пішіндегі кристаллдарды түзеді. Кристаллдағы атомдардың өзара орналасу тәртібі әртүрлі болуы мүмкін.

Элементтік кристаллдық тордың ең қарапайым түрі болып қарапайым кубтық тор болып есептеледі.

Кристаллдық торлардың көлемі оның параметрлерімен сипатталады.

Тордың *параметрі* деп элементтік торды құрайтын жақын атомдық параллельдік жазықтардың ара қашықтығын айтады. Бұл ара қашықтықтар тым аз және оларды нанометрлерде немесе ангстремдерде өлшейді ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ м}$ ). Кубтық тордың параметрі (1.4 сурет)  $a$  әрпімен белгіленеді және  $0,28...0,6\text{ нм}$  аралықта орналасқан. Хром торының параметрі  $2,9\text{ Å}$  тең, алюминийдікі —  $4,04\text{ Å}$ . Демек, кристаллдық затта  $1\text{ мм}$ -ге ондаған миллион атомдар орналасады.

Металлдардың атомдарының бир-біріне жақындауы және тығыздалуы бұдан күрделірек торлардың түзілуіне алып келеді. Кристаллдық торлардың ең көп тараған түрлері мыналар:

- кубтық көлемдік-орталықтық (1.3, *a*- сур. қара), мұндай тор темірде, хромда, вольфрамда, ванадийде бар;
- кубтық гранецентрлік (1.3, *b*- сур. қара), мұндай тор-темірде, мыста, алюминийде бар;
- гексагондық (1.3, *в*- сур. қара), мұндай тор бериллийде, кадмийде, магнийде және басқа металлдарда бар.

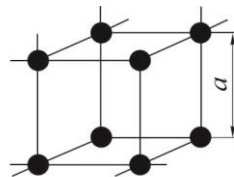
Ең тығыз әрі жинақы орналасқан атомдар бұл гексагондық және кубтық гранецентрлік тор.

Кристаллдардағы атомдардың рет-ретімен орналасуы атомдардың әртүрлі бағытта әрқалай және әртүрлі тығыздықта орналасуына әкеледі. Осыған әртүрлі бағыттағы металлдардың қасиеттерінің ерекшелігі сеп болады.

Кристаллдардың (металлдардың) қасиеттерінің өзгеруі бағыттарына байланысты *анизотропия* деп атайды. Металлдардың қасиеттерінің анизотроптық дәрежесі айтарлықтай жоғары болуы мүмкін. Мысалы, мыстың созылуға беріктігінің шегі  $120$  дан  $360\text{ МПа}$ -ға дейінгі аралықта өзгереді., созылғандағы салыстырмалы ұзындығы ( $\Delta l/l = 10$ ) —нан

$55\%$  - ке дейін.

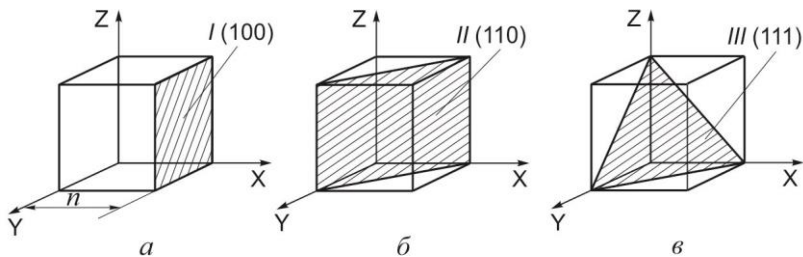
Дегенмен өндірістік қорытпалар әдетте кристаллдық торлары кеңістікте әр бағытқа бағытталған кристаллдық торлардың саны көп кристаллдарынан тұрады, сондықтан қорытпалардың



1.4-сур. Текше торының элементтік жасушасы:  $a$  - текше торының параметрі

қасиеттері бағытына байланысты емес.

Әр түрлі бағыттағы кристаллдардың қасиеттерінің анизотропиясын ескере отырып, кристаллдық торлардағы жазықтықтардың сандық индекстеуін және бағыттарын қолданады (Миллердің индексі).



1.5-сур. Кубтық кристаллдардағы кристаллографиялық жазықтықтар: *а* — *Y* және *Z* осіне параллельді жазықтық, *б* — *X* және *Y* осьтерін қиып өтетін; *в* — жазықтық, *X*, *Y* және *Z* осьтерін қиып өтетін; *n* — кубтың ұзындығы

Кубтық кристаллдардағы кристаллографиялық жазықтықтар және оларды индекстеу 1.5- сур. келтірілген.

Жазықтық I (1.5, *а*- сур.) *X* осінен кубтың қабырғасының ұзындығына тең *n* бөлікті қиып өтеді, және *Y* және *Z* осьтарына параллельді өтеді және олармен шексіздікте қиылысады. Индексі ретінде бөліктің ұзындығы мен кубтың қабырғасының ұзындығының қатынасын таңдайды. Индекстерді дөңгелек жақшаларда көрсетіп жазады.

Жазықтықтың индексі *I* келесі жолмен анықталады: *X* осі бойынша  $n/n = 1$ ; *Y* осі бойынша  $n/\infty = 0$ ; *Z* осі бойынша  $n/\infty = 0$ . Демек, I жазықтықтың индексі (100). II жазықтық II *X* және *Y* осьтері бойынша *n* тең бөліктерді қиып өтеді, және *Z* осінде шексіздікте қиылысады (1.5, *б*- сур.). Бұл жазықтықтың осьтері мынадай:

*X*  $n/n$  осі бойынша = 1;

*Y*  $n/n$  осі бойынша = 1;

*Z*  $n/\infty$  осі бойынша = 0.

Сонымен, II жазықтықтың индексі (110).

III жазықтықтың индексі (111) (1.5, *в*- сур.).

Барлық кристаллдық заттар қыздырған уақытта белгілі бір температураға дейін өзінің қатты күйін сақтайды. Кристаллдық түйіндерде орналасқан атомдар үздіксіз тербелмелі қозғалыстар жасайды. Заттың температурасы қаншалықты жоғары болса, тербелістерінің амплитудасы соншалықты көп болады. Белгілі бір температураға жеткенде атомдардың тербелістерінің амплитудасы көбейгендігі сондай, кристаллдық тордың қирауына әкеп соғады. Атомдар бей-берекет күйге түседі, ал заттар қатты күйден сұйық

күйге ауысады. Заттың қатты күйден сұйық күйге фазалық айналуының температурасы *балқу температурасы*  $T_{ба}$  деп аталады.

Кристаллдық заттардың сұйық күйден қайтадан қатты күйге ауысуы кристаллдану деп аталады. Сұйық заттардың кристаллды заттарға фазалық айналуының температурасы *кристаллдану температурасы* деп аталады  $T_{кр}$ .

Атомдарының геометриялық дұрыс кристаллдық құрылым құрайтын металлдардың құрылысы тек мінсіз жағдайда ғана мүмкін. Нақты жағдайда кристаллдардың көптеген кемшіліктері бар, олардың болуы металлдар мен олардың қорытпаларының қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді.

Кристаллдық торлардың негізгі кемшіліктері нүктелік, сызықтық, үстіртін және көлемдік (үшөлшемді) жетілмеушіліктері болып табылады.

Нүктелік жетілмеушіліктер вакансиялардың (атомдық жыртқық) немесе атомдардың буынаралыққа енуінің нәтижесінде пайда болады (1.6- сур.).

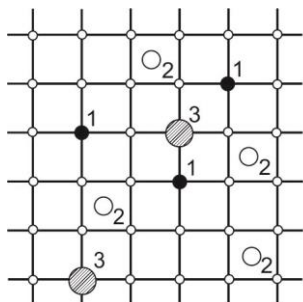
Металлдардың атомдары тепе-теңдік жағдайына қатысты тербелмелі қозғалыста болады. Қыздырған уақытта тербеліс амплитудасы жоғарылайды. Мұндай кристаллдық тордағы атомдардың көбісі біркелкі орташа энергияға ие болғандықтан тербеліс амплитудасы осы температурада біркелкі, бірақ кейбір атомдардың энергиясы орташа энергиядан айтарлықтай асып түседі және олардың тербеліс амплитудасы да орташа мәннен жоғары болады. Мұндай атомдар бір жерден келесі жерге ауыса алады және түйіннен буынаралыққа өте алады.

Тордың түйінінен шыққан атомдар *дислокацияланған* атомдар деп, ал атомның болған жерлері торда толтырылмай бос қалады да *вакансиялар* деп аталады.

Нүктелік жетілмеушіліктердің себептері болып кристаллдану жағдайлары, металлдар мен оның қорытпаларындағы қоспалардың болуы, кристаллдық тордағы атомдардың арасындағы энергияның біркелкі бөлінбеуі есептеледі.

Нүктелік жетілмеушіліктер араласқыш үдерістерге әсер етеді. Мысалы, жартылай өткізгіш интегралды сұлбаларды дайындағанда температураны балқу күйіне дейін қыздыру вакансияның 2 %-ға өсуіне әкеледі.

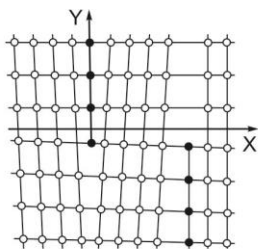
Сызықтық жетілмеушіліктер созылыңқылығы бір өлшемде басқа екеуіне қарағанда айтарлықтай көп құрылымының өзгеруін білдіреді. Мұндай жетілмеушіліктерді дислокация деп атайды.



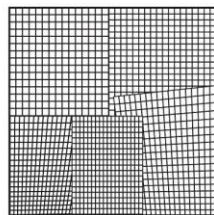
1.6-сур. Нүктелік жетілмеушіліктердің шартты кескінделуі:

- 1 — вакансия;
- 2 — дислокацияланған атом;
- 3 — қоспалық атом

Дислокациялар аймақтық, винттік және аралас болып бөлінеді. Дислокацияның пайда болуы металлға әртүрлі жолмен алынған кернеулердің әсерінен болуы мүмкін. Шоғырланған жүктеменің үлгінің кейбір аймақтарына әсер етуінде ондағы кернеудің қайта бөлінуі жүреді. Бұл үдеріс атомдардың қозғалысын ақырындатады.



1.7-сур. Сызықтық дислокациялар



1.8-сур. Үстіртін жетілмеушіліктер (кристалдың нақыштық құрылымы)

Жылжымайтын мүлік сақталмаған аймақ пен ауданның арасындағы шекара дислокация деп аталады (1.7- сур.).

Үстіртін жетілмеушіліктер құрылымның айтарлықтай екі өлшемде өзгеруімен сипатталады. Үстіртін жетілмеушілікке нақты қорытпалардағы кристаллдардың арасындағы шекара мысал болады. Кристалл осы кристалл шегінде әртүрлі бағытталған, нақыштық құрылымды құрайтын блоктардан тұрады. Шекараларда бір-біріне қарасты бұрылған блоктардың арасында кристаллдық торлардың бұрмалануына әкелетін кернеулер пайда болады (1.8 – сур.).

Кристаллдардың кең көлемді үш өлшемдік жетілмеушіліктері үш өлшемде де айтарлықтай ауқымға ие. Ірі кемшілікке бастық, жекелеген кристаллдық дәндердің немесе модификацияның қосылуы жатады.

Құрылымы бойынша кристаллдық материалдар монокристаллдық және поликристаллдық болып бөлінеді.

Монокристаллдық материалдар — бұл атомдары барлық көлем бойына дұрыс тәртіпте орналасқан біртекті анизотроптық денелер. Бұл ретте атомдардың өздері кезеңдік қайталанып отыратын бірдей кристаллдық торлардан тұрады.

Поликристаллдық материалдар араларына көп көлемде әр бағытта бейберекет орналасып өскен ұсақ кристаллды дәндерден (кристаллиттерден) тұрады. Дененің қасиеттері орташалаудың есебінен кристаллдардың орналасу бағытына байланысты емес және поликристаллдық материалдар әдетте изотропты. Дегенмен арнайы өңдеудің көмегімен (салқын икемдеу, кейініректегі босаңсумен, магниттеу, поляризация және т.б.) материал анизотропты болады. Жасанды анизотроптық жолмен

жасалған материалдар *текстуралар* деп аталады.

Поликристаллдық материалдарға металлдар мен көптеген керамикалық материалдар жатады.

### 1.3. Аморфтық және аморфтық-кристаллдық материалдар

Табиғатта кездесетін барлық қатты материалдар аморфтық және кристаллдық болып бөлінеді.

**Аморфтық материалдар.** Аморфтық материалдарда атомдармен молекулалар бейберекет орналасқан. Кристаллдық материалдарға қарағанда, аморфтық материалдарда қатты күйден сұйық күйге ауысқанда белгілі бір қатаң түрдегі температурасы болмайды. Бұл ауысулар кейбір температуралар ауқымында жүреді. Температура төмендеген кездегі аморфтық материалдар сұйық күйде болады да олардың жабысқақтығы жоғары болады да, кристаллдардың қалыптасуы мен өсуіне қажет молекулаларының қозғалысын қиындатады.

Аморфтық денелердің қасиеттері олар изотропты болғандықтан таңдалған бағытқа тәуелді емес. Мәселен, кварцтың ерітілген кристаллын салқындатқан кезде пайда болған балқытылған кварц деп аталатын заттың қасиеттері барлық бағыттары бойынша бірдей және оның қасиеттерінің кристаллдық кварцтың қасиеттерінен айырмашылығы жоқ. Аморфтық материалдар, екі топқа бөлінеді:

- Қарапайым аморфтық материалдар, оларға төмен молекулалық сұйықтықтар, бейорганикалық шынылар, балқытылған кварц және басқалар жатады;
- Жоғары полимерлік қосылыстар, оларға каучуктер, резеңкелер, органикалық шынылар, шайырлар жатады.

**Аморфтық-кристаллдық материалдар.** Кейбір материалдар кристаллдық және аморфтық жағдайда болуы мүмкін (кристаллдық емес заттар). Олар атомдарының, молекулаларының, иондарының алыс реттілігі жоқтығымен сипатталады. Заттың аморфтық жағдайы кристаллдыққа қарағанда тұрақтылығы төмен, сондықтан заттың өздігінен аморфтық жағдайдан кристаллдық жағдайға өтуі мүмкін. Мұндай ауысуға айнек алу үдерісінде болатын шынының жоғарғы температура мен кернеудің әсерінен өздігімен кристаллдануы мысал болады. Ұсақ кристаллдардың пайда болуына байланысты шыны өзінің оптикалық қасиеттерін өзгертеді және ситалл деп аталатын аморфтық-кристаллдық материалға айналады. Шыны түрдегі материалдағы кристаллдық фаза, мысалға, ұзақ қолданыста шыны мөлдірлігінің айғыздануына әкеп соғады.

Аморфтық-кристаллдық жағдай табиғатта кварцтың кристаллы ретінде кездесетін кремний оксидіне тән, сонымен қатар опал минералы түріндегі аморфтық жағдайда да бар.

Белгілі бір температура аралығында аморфтық-кристаллдық

заттарға тән термодинамикалық тұрақты жағдайда сұйық кристаллдар бар. *Сұйық кристаллдар* — реттелген молекулалық құрылымы бар сұйықтықтар. Олар кристаллдар боп есептелмейді, бірақ кристаллдардың кейбір қасиеттеріне ие. Молекулаларының реттілігінің арқасында олар кристаллдар мен молекулалары бей-берекет орналасқан жай сұйықтықтардың ортасындағы аралық жағдайда орналасқан. Жай сұйықтықтар сияқты сұйық кристаллдар ағымдыққа ие, бірақ олар кристаллдар сияқты изотропты.

Сұйық кристаллдардың құрылымы қысымның, электр өрісінің, қыздырудың әсерінен өзгереді. Бұл олардың қасиеттерін әлсіз әсер ету арқылы басқаруға мүмкіндік береді және сұйық кристаллдарды аса сезімтал индикаторларды дайындауда баға жетпес материал болуына септігін тигізеді.

#### 1.4. Нанокристаллдық материалдар

*Нанокристаллдық* материалдар деп кристаллдар көлеміндегі (дән және бөлшектер көлеміндегі), 100 нм-ден аз көлемдегі материалдар аталады. Қасиеттеріне байланысты олар ұсақ дәндік құрылымы бар сол химиялық құрамдағы (дәндердің көлемі — 5...10 мкм-ден аспайтын) жай материалдардан айтарлықтай өзгешеленеді. Нанокристаллдық материалдардың қасиеттері жекелеген дәндердің көлемімен, шекаралық қабаттың қасиеттері және құрылымды құрайтын негізгі ұжымдық өзара әрекеттің үстіртін қабаттармен байланысымен анықталады. Дәндердің ұсақталуында шекаралық қабаттың үлесі өседі. 6 нм-дан басталатын шекаралық қабаттың дәнінің көлемі кристаллдардың көлемінен үлкен.

Нанокристаллдық материалдар тұтас түрде үш тәсілмен алынады:

- Бөлшектердің ұнтақтық технология әдісімен көлемі 100 нм-дан кем көлемде тұтас материалға қайта өңделуімен;
- аморфтық металлдық қорытпалардың бақыланған жағдайда кристаллдануымен;
- қарқынды деформацияланған металлдық қорытпалардың рекристаллизациялық босандатуымен.

Металлдардың, оксидтердің, нитридтердің, карбидтердің және басқа керамикалық материалдардың ұнтақтары физикалық және химиялық әдістермен алынады. Физикалық әдістерді қолданғанда ұсақталған материалдардың қасиеттері өзгереді (мысалы, майдалау). Химиялық әдістерді қолданғанда (плазманың көмегімен ұнтақтың синтезі) материалдардың қасиеттері немесе фазалық жағдайы өзгереді.

---

<sup>1</sup> Плазма (*гр. тіл. plasma* — соғып жасалған, безендірілген) — бұл жоғары температураның немесе газ бөлшектерінің жылдам

электрондарымен (газдық разрядта) соқтығысуының әсерінен болған қатты иондалған жағдайдағы зат.

Ұнтақтар тепе-теңдіктен алыс жағдайларда жасалады, сондықтан олардың бөлшектері жай ірі дәнді материалдардың бөлшектеріне қарағанда тасыған энергияға ие.

Шоғырланған энергиялар ағымының көмегімен графиттің булануына жағдай жасалады. Нәтижесінде көлемі 100 нм-дан аз *фуллерендер*<sup>1</sup> деп аталатын метатұрақты<sup>2</sup> қосылыстар түзіледі.

Олар көміртегінің аллотропикалық<sup>3</sup> пішіндегі жаңа түрлі болып келеді. Фуллерендер молекулалары C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub>, C<sub>82</sub> деп белгіленетін көміртегінің 60, 70 және 82 атомын қамтиды. Фуллерендердің молекулалары деп диаметрі 1 нм болатын салыстырмалы түрде ішкі қуысты (жобамен 0,7 нм) көміртегі қабығын айтады. Көміртегі атомдары реттік түрде сфералық үстіңгі қабатта орналасады. Фуллерендер тұрақты қосылыстар болып келеді; хош иістік көмірсутектерінде ериді; химиялық реакциялар қатарына қатысады; металлдармен фуллеридтер – қосылыстар түзіп өзара әрекеттеседі; және оларда металл атомдары көміртегі қабығының ішінде орналасқан; қоспаларды тез қабылдап алады, әсіресе оттегі мен сутегін.

Нанокристаллдық ұнтақтар орасан зор меншіктік үстіңгі қабатқа ие (100 нм — 20...40 м<sup>2</sup>/г бөлшектер диаметрінде; 10 нм — 110.120 м<sup>2</sup>/г 10 нм бөлшектер диаметрінде), бұл оларды тұтас материалға қайта өңдеуде қиындық келтіреді. Ұнтақтарды жинау және қайта өңдеу орындарына тасу қиын.

Нанокристаллдық ұнтақтар қиын нығыздалады. Тұтас материалда қалдық кеуектілік 10 %-ға жетеді (көлемдік), металлдық нанокристаллдық материалдарда оны 3 %-ға дейін қысқартуға болады, керамикалық материалдарда (бұларда ұнтақтар одан да нашар нығыздалады) қалдық кеуектілік 55 %-ды құрайды (көлемдік).

Ұнтақтық нанокристаллдық материалдардың қасиеттері тұрақсыз.

10 нм-дан аз көлемдегі нанокристаллдық материалдардың қаттылығы бірнеше есеге микрокристаллдық аналогтарының қаттылығынан асып түседі.

---

<sup>1</sup>Гимараттардың күмбездерін жасауда көпбұрыш түріндегі жазық құрылыс элементтерін пайдаланған Американдық архитектор Б. Фуллердің фамилиясымен аталған.

<sup>2</sup>Метатұрақты (*гр.тіл.* meta — кейін, артында, арқылы + тұрақты) — біршама тұрақты жағдай, ол жағдайдан дене сыртқы факторлардың әсерінен немесе өздігінен анағұрлым тұрақты жағдайға түседі.

<sup>3</sup>Аллотропия (*гр.тіл.* allos — басқа, бөтен + tropos — бұрылыс, қасиет) — бір ғана химиялық элементтің екі немесе бірнеше жай заттар түрінде өмір сүруі (аллотропиялық пішіндер немесе модификациялар). Мысалы,

көміртегі көмір, графит және алмас түрінде кездеседі.

Бір фазалық (мыс, палладий сияқты), және көпфазалық нанокристаллдық материалдар жоғары мықтылыққа ие (ағымдық шегі 2—3 есе, ал уақытша кедергі басқа сәйкес микрокристаллдық аналогтарға қарағанда 1,5 — 8 есе жоғары).

Ұнтақтардың және деформацияланған металл қорытпаларының жылуфизикалық қасиеттері өзгеріп отырады, өйткені 20...25 °С температурада рекристаллизация үдерісі айтарлықтай жылдамдықта дамиды. Ұнтақтық керамикалық материалдарда қасиеттері анағұрлым тұрақты.

Нанокристаллдық материалдардың электрлік меншік кедергісі басқа сәйкес аналогтарымен салыстырғанда жоғары. Мысалы, мыстың дәнінің диаметрінің 7 нм-ге дейін кішіреюі электрлік кедергіні бірнеше есеге өсіреді.

Нанокристаллдық материалдардың магниттік сипаттамалары олардың дәндерінің көлеміне байланысты. Темірдің аморфтық қорытпалары негізіндегі қорытпалар әдеттегіден тыс ферромагниттік қасиеттерге ие.

Алынған материалдар қатты магниттік материалдарға жатады, олардың коэрцитивтік күші бастапқы күймен салыстырғанда 125 — 700 раз есе жоғарылайды (6-тарауды қара). Сонымен қатар аморфтық-кристаллдық құрылымды магнитті жұмсақ материалдардың қасиеттері бар қорытпалар жасалды.

Нанокристаллдық материалдар жаңа ғана бастап қолданылып жатқан перспективалық материалдарға жатады.

## 1.5. Материалдардың фазалық құрамы

Өндірісте айрықша басымдықпен таза емес металлдар немесе бейметаллдар емес, металлдардың металлдармен қорытпалары немесе бейметаллдар қолданылады. «Қорытпа» термині көптеген металлдар ұнтақтық металлургия әдістерімен (қатты бөлшектерді нығыздап, кейін оларды жоғарғы температурада пісіру арқылы), вакуумдағы будан кристаллдану немесе электролиз үдерісінде алынатындықтан, металлдарды балқыту жолымен алынылуына қарағанда кең көлемді мәнге ие.

Қорытпалардағы компоненттер құрамына, байланыс түріне және құрылысына қарай кристаллдық фаза<sup>1</sup> құрай отырып бір-бірімен әр түрлі өзара әрекеттесуі мүмкін.

Атомдық-кристаллдық құрылымына қарай кристаллдық фазалар сұйық ертіндіге, қатты ертінділерге және химиялық қосылыстарға бөлінеді.

<sup>1</sup> Фаза — металл мен қорытпасының құрамы, құрылысы және қасиеті бірдей, біртекті жеке бөлігі.



Сұйық ерітінді дегеніміз – жеке атомдар, молекулалар немесе иондар түрінде біркелкі орналасқан екі немесе бірнеше компоненттердің біртекті массасы.

Қатты ерітінді деп екі немесе бірнеше компоненттерден тұратын фазаны атайды, олардың біреуі кристаллдық торды сақтай отырып ерітінді болатын, ал келесісі (басқалары) ерітіндінің торында түрін өзгертпей орналасады.

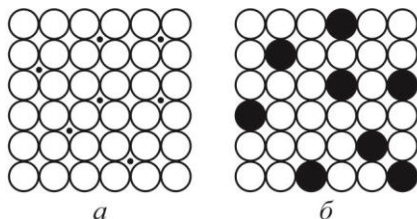
Компоненттерінің таралуына байланысты қатты ерітінділердің енгізілуі және ауыстырылуы деп бөлінеді. Егер еріген компоненттің атомдары кристаллдық тордың буынаралығында орналасқан болса, онда *қатты енгізу ерітіндісі* түзіледі (1.9, а-сур.). Мұндай ерітіндіде еріген компоненттің атомдары үлкен көлемдегі буынаралықта орналасады.

Қатты енгізу ерітінділері металлдардың бейметаллдарға өтпелі қорытпаларын түзеді, олардың шағын радиусты атомдары бар (сутегі, азот, көміртегі, бор). Қатты енгізу ерітінділерінің пайда болу кезіндегі кристаллдық торлардың бұрмалануы қатты ауыстыру ерітінділерінің пайда болу кезіндегіден көбірек, сондықтан олардың қасиеттері күрт өзгереді.

*Қатты ауыстыру ерітінділерінде* (1.9, б-сур.) ерітіндінің атомдарының бөлігі ерітін компоненттің атомына ауысады. Ерітінді атомдарының ерітін элемент атомдарымен ауысуы егер де атомдардың радиусы 15 %-дан артыққа ерекшеленетін болса, ғана мүмкін болады. Қатты ауыстыру ерітінділерінің пайда болуында шексіз ерігіштік те мүмкін. Мұндай ерігіштік қатты жағдайда мыс – алтынның, мыс – никельдің, германий – кремнийдің қосылыс қорытпаларында байқалады.

Екі жағдайда да еріткіштің кристаллдық торының бастапқы көлемдері өзгереді. Қатты ерітінділердің түзілуі электрлік кедергілердің өсуінен және электрлік кедергілердің температуралық коэффициентінің төмендеуінен пайда болады.

Қатты ерітінділер әдетте таза металлдарға қарағанда аз иілгіш және қашан да қаттырақ әрі мықтырақ.



1.9-сур. Қатты ерітіндінің атомдық-кристалдық құрылымы:  
а — қатты енгізу ерітіндісі; б — қатты ауыстыру ерітіндісі

Қатты ертінділер өндірістік конструктивтік қорытпаларының және арнайы қолданысқа арналған қорытпалардың негізін құрайды. Химиялық қосылыстар деп тұрақты құрамдағы фазаны түзетін компоненттерінің қатынасы валенттік заңына бағынатын қорытпаларды атайды.

Химиялық қосылыстардың кристаллдық торлары оның компоненттерінің кристаллдық торларынан ерекшеленеді; компоненттерінің қатынасы тұтас сандарға тең; олардың қасиеттері оларды құрайтын компоненттердің қасиеттеріне өзгешеленеді.

Қорытпадағы фаза санын және оның құрамын анықтау үшін фазалық тепе-теңдіктің – диаграммасын қолданады. *Жағдай диаграммасы* — бұл қорытпаның құрамындағы компоненттер мен температураға байланысты фазалық құрамының немесе оған жақынының кескіні.

### Бақылау сұрақтары

1. Зат неден тұрады?
2. Атомдардың арасындағы қандай химиялық байланыстарды білесіңдер?
3. Кеңістіктегі кристаллдық тор дегеніміз не?
4. Кристаллдық заттардың аморфтық заттардан айырмашылығы қандай?
5. Балқыту температурасының  $T_{ба}$  мен кристаллдану температурасынан  $T_{кр}$  айырмашылығы неде?
6. Аморфтық-кристаллдық жағдай қандай материалдарға тән?
7. Нанокристаллдық материалдарға нелер жатады?
8. Қорытпалардағы компоненттерді қандай кристаллдық фазалар түзеді?

## ЭЛЕКТРЛІК РАДИОМАТЕРИАЛДАРДЫҢ КЛАССИФИКАЦИЯСЫ

Қолданысына қарай электрониканың әртүрлі салаларында қолданылатын материалдар шартты түрде конструкциялық, электротехникалық, триботехникалық, құралдық, жұмыс денелері, отындық және технологиялық. Кездесуге сәйкес, электрониканың әртүрлі салаларында қолданылатын материалдар құрылымдық, электрлік, триботехникалық, аспаптық, жұмыс органдарына, отын және технологияға бөлінеді.

**Құрылымдық материалдар** механикалық жүктемелердің әсерінен жұмыс істейтін құрылғылардың, инженерлік құрылымдардың бөліктерін өндіру үшін қолданылады. Олар құрылымдық беріктігі, сенімділігі, тозуға төзімділігі, беріктігі сипатталады.

*Құрылымдық беріктік* жұмыс жағдайында материалды сенімді және ұзақ мерзімді пайдалануды қамтамасыз ететін механикалық қасиеттер кешені деп аталады.

*Сенімділік* материалдың мұқият сынуына қарсы тұру қасиетінің бірі болып табылады, ол жұмыс жағдайларында бөліктердің кенеттен бұзылуына алып келеді

*Тозуға төзімділік* – үйкеліс тұрақтылығына төзімді белгілі бір жағдайларда материалдың қасиеті.

*Төзімділік* - бір уақытта біртіндеп бұзылудың дамуына кедергі келтіретін материалдың сипаты, белгілі бір уақыт ішінде бөліктердің жұмысқа қабілеттілігін қамтамасыз ету.

Радиотехникада қолданылатын құрылыс материалдарының тізімі өте жақсы.

Темірден (болат, шойын), мыс (қола, жез), никель (инвар, ковар) негізіндегі қорытпалар сияқты әмбебап болып табылады және әр түрлі бөлшектер мен конструкцияларда қолданылады.

Әмбебап құрылымдық материалдармен қатар белгілі бір функционалды мақсатқа пайдаланылады, мысалы, коррозияға, ыстыққа төзімді.

**Электротехникалық материалдар** арнайы электрлік және магниттік қасиеттермен сипатталады және электр энергиясын өндіру, беру, қайта өңдеу және тұтыну үшін пайдаланылатын өнімдерді өндіруге арналған.

Электротехникалық материалдарда өткізгіштер, жартылай өткізгіштер, қатты, сұйық және газ тәрізді фазаларда

диэлектрикер, магниттік материалдар бар.

Триботехникалық материалдар үйкеліс бірліктерінде қолданылады. Негізгі триботехникалық материалдар – майлау материалдары (талық, графит, майлаушы майлар), антифрикциялық (пластмасса, фторопластиктерге негізделген материалдар, цемент композиттік материалдар, резеңке) және үйкеліс (кейбір пластмассадан, композициялық материалдар).

Құралдардың материалдары қаттылық, беріктік және тозуға төзімділікпен ерекшеленеді. Олар өлшеу, кесу, құлыптау және басқа да құралдарды өндіру үшін қолданылады. Аспаптық материалдарға қатты қорытпалар, құрама болат, алмас, керамикалық және композициялық материалдардың кейбір түрлері жатады.

Жұмыс органдары сұйық немесе газ тәрізді материалдар болып табылады, олардың көмегімен электр энергиясын механикалық жұмысқа, суыққа, жылуға айналдырады. Жұмыс органдарының мысалдары пневматикалық қозғалтқыштарда, ракеталық технологиядағы зымыан отыны болып табылады.

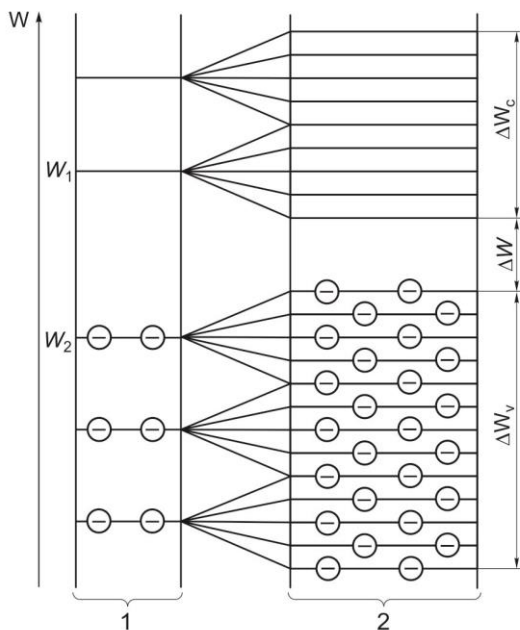
Отын – жанғыш материал, оның негізгі бөлігі көміртек болып табылады, оларды жағу арқылы жылу энергиясын алу мақсатында пайдаланылады. Түпкілікті түрде отын табиғи (мұнай, көмір, табиғи газ, шымтезек, ағаш) және жасанды (кокс, мотор отыны және т.б.) бөледі.

Технологиялық материалдар – негізгі техникалық материалдарды өндеуде немесе жабдықтың қалыпты жұмысында технологиялық процесстердің орындалуын қамтамасыз етуге арналған қосалқы материалдардың үлкен тобы. Мұндай материалдар бояу және лак-бояу материалдарын, желімдер мен тығыздағыштарды, ағындарды, лецерлерді, еріткіштерді, жуғыш заттарды, т.б.

## **2.1 Электрлік қасиеттері бойынша материалдарды жіктеу**

Дайындау үрдісінде және радиоэлектрондық аппаратураны пайдаланудың алуан түрлі жағдайларында электрорадиоматериалдарға электрлік және магниттік өрістер (жекелей және бірігіп) әсер етеді. Электрлік өрісте әрекеті бойынша бұл материалдар өткізгіштік, жартылай өткізгіштік және диэлектрлік болып бөлінеді.

Электрлік қасиеттері бойынша электроматериалдардың жіктелуі қатты денелердің электрөткізгіштігінің зоналық теориясына негізделген. Яғни тұйықталған атомда электрондар белгілі бір орбиталарда ядроны айналып айналады. Паули қағидасына сәйкес әр орбитада екі электроннан артық орналаса алмайды. Әр орбитаға энергияның қатаң анықталған мәні сәйкес келеді, оған электрон ие болады, яғни әр орбита өзімен белгілі бір энергетикалық деңгейді білдіреді. Оң зарядталған атомдық ядроның тартылысы әсерінен электрондар энергияның минималды деңгейі бар ядроға жақын деңгейлерді басуға ұмтылады. Сондықтан төменгі энергетикалық деңгейлер электрондармен толтырылған, ал жоғарғы деңгейлер — бос болады. Электрон төменгі энергетикалық деңгейден  $W_1$  басқа бос деңгейге  $W_2$  (2.1 сурет) секірмелі ауыса алады. Ол үшін электронға қосымша энергияны хабарлау қажет  $\Delta W = W_2 - W_1$ . Егер атомда бос деңгейлер болмаса, онда электрон өзінің энергиясын өзгерте алмайды, сондықтан электрөткізгіштікті жасауға қатыспайды.



2.1-сур. Тұйықталған атомның (1) және қатты дененің (2) энергетикалық деңгейлерінің диаграммасы:

$W$  — электрон энергиясы;  $W_1$  — төменгі энергетикалық деңгей;  
 $W_2$  — бос энергетикалық деңгей;  $\Delta W_c$  — өткізгіштік зонасы (еркін зона);  $\Delta W$  — тыйым салынған зона;  $\Delta W_v$  — валентті зона

Бірнеше атомдардан құралатын кристаллды торда, жеке энергетикалық деңгейлер деңгейшелерге жарықшақтанады, олар энергетикалық зоналарды құрайды (сур. 2.1 қара). Сонымен қатар бос және толық энергетикалық деңгейлер жарықшақтанады. Электрондармен толтырылған зона *валентті* деп аталады. Валентті зонаның жоғарғы деңгейі  $W_v$  белгіленеді. Бос зона *өткізгіштік* зонасы деп аталады. Өткізгіштік зонасының (бос зонаның) төменгі деңгейі  $W_c$  деп белгіленеді. Валентті зона мен өткізгіштік зонасы арасындағы арақашықтық *тыйым салынған* зона  $\Delta W$  деп аталады. Тыйым салынған зонаның мәні материалдардың қасиеттеріне елеулі әсер етеді.

Егер  $\Delta W$  нөлге тең немесе жақын болса, онда электрондар өзінің жылу энергиясының арқасында бос деңгейлерге көше алады және заттектердің өткізгіштігін арттырады. Энергетикалық зоналардың осындай құрылымы бар заттектер өткізгіштерге жатады. Өткізгіштік материалдар электр тоғын өткізу үшін қолданылады. Әдетте өткізгіштерге салыстырмалы электрлік кедергісі  $\rho < 10^{-5}$  Ом·м заттектерді жатқызады. Әдеттегі өткізгіштерге металлдар жатқызылады.

Егер тыйым салынған зонаның мәні бірнеше электрон-вольттан асса ( $1 \text{ эВ}$  — электрон энергиясы,  $1 \text{ В}$  потенциалдар айырмашылығы бар электрлік өрістің екі нүктесі арасында орын ауыстыру кезінде алынған), онда электрондардың валенттік зонадан өткізгіштік зонаға ауысуы үшін елеулі энергия қажет. Бұндай заттектер диэлектриктерге жатады. Диэлектриктер жоғары салыстырмалы электрлік кедергіге ие және токтың өтуін болдырмау қасиетіне ие. Диэлектрлік материалдарға салыстырмалы электрлік кедергісі  $\rho > 10^7$  Ом·м заттектер жатады. Жоғары салыстырмалы электрлік кедергісінің арқасында оларды электртұйықтағыш материалдар ретінде пайдаланады.

Егер тыйым салынған зонаның мәні  $0,1...0,3 \text{ эВ}$  құраса, онда электрондар сыртқы энергияның арқасында валенттік зонадан өткізгіштік зонаға оңай алмасады. Өткізгіштігі басқарылатын заттектер жартылай өткізгіштерге жатқызылады. Жартылай өткізгіштердің салыстырмалы электрлік кедергісі  $10^{-6}...10^9$  Ом·м құрайды.

Жартылай өткізгіш материалдар өткізгіштікке ие, оның көмегімен кернеуді, температураны, жарықтандыруды және т.б. басқаруға болады.

Құрылымы мен сыртқы шарттарына байланысты материалдар бір класстан басқасына алмаса алады. Мысалы, қатты және сұйық

металлдар – өткізгіштер, ал металлдар булары – диэлектриктер; қалыпты жағдайда әдеттегі германий және кремний жартылай өткізгіштері жоғары гидростатистикалық қысымның әсерінен өткізгіштерге айналады; алмаз модификациясындағы көмірсутек – диэлектрик, ал графиттің модификациясында – өткізгіш.

Электрлік өріске қатысы бойынша заттектің негізгі қасиеті *электрөткізгіштігі* болып табылады, материалдың тұрақты электрлік өріс, яғни кедергісі уақытта өзгермейтін өріс, әсерінен электр тоғын өткізгіштігін өткізу қасиетін сипаттайды.

Электрөткізгіштіксалыстырмалы электрлік өткізгіштігімен және салыстырмалы электрлік кедергімен сипатталады:

$$J = \gamma E = E/\rho,$$

Мұндағы  $J$  – тоқтың тығыздығы, А/м;  $\gamma$  – салыстырмалы электрлікөткізгіштік, См/м;  $E$  — электрлік өрістің қысымдылығы, В/м;  $\rho$  — салыстырмалы электрлік кедергі, Ом · м ( $\rho = 1/\gamma$ ).

Өртүрлі материалдардың салыстырмалы электрлік өткізгіштігі мен салыстырмалы электрлік кедергісінің мәні елеулі ерекшеленеді. Жоғарыөткізгіштік жағдайда материалдардың салыстырмалы электрлік кедергісі нөлге тең, ал разрядталған газдарда шексіздікке ұмтылады.

## 2.2 Магниттік қасиеттері бойынша материалдарды жіктеу

Магниттік өрісте орналасқан барлық материалдар, белгілі бір магниттік қасиеттерге ие, олар электрлік зарядтар қозғалысының ішкі формаларымен негізделген.

Сыртқы магниттік өріспен өзара әрекет сипаты бойынша барлық электроррадиоматериалдар магниттік емес, әлсіз магниттік және өтемагнитті болып бөлінеді.

Магниттік емес материалдар магниттік өріспен өзара әрекеттеспейді, яғни оларғамагниттік өрістің әсерінен магниттік қасиеттергеие болмайды.

Магниттік материалдар магниттелу қасиетіне ие.

Тыныштық жағдайында электрлік зарядтар тек электрлік өрісті құрайды. Қозғалмалы электрлік зарядтар электрлікөріспен қатар магниттікөрісті де құрайды. Кез-келген заттекте қозғалмалы электрлік зарядтарбар, олар электрондар болып табылады. Тұйықталған атомда электрондар өз ядросының айналасында және бірмезгілде өз осының айналасында айналады. Электрондардың атомдық ядроның айналасында орбиталар бойыншабелгілі бір *орбиталдық магниттік моменттермен* қозғалысы элементарлы

сакиналы токты (молекулярлы ток) жасайды, ол магнитті көрісті құрайды. Өз осы айналасында электронның қозғалысы, ол «электрон спиномы» деп аталады, сонымен қатар магниттік өрісті құрайды, яғни *спиномдық магниттік сәт*. Орбиталдық және спиномдық магниттік кездер, соммаланып, *атомның магниттік кезін* құрайды. Атомның магниттік қасиеттері негізінен электронның магниттік қасиеттерімен анықталады, себебі атомның электрондық қабығының магниттік кезі шамамен 1000 есе атомдық ядроның магниттік кезінен артық.

Орбиталдық магниттік кездер магниттеу құбылысына дерлік қатыспайды. Магнетизмнің элементарлы тасымалдаушысы спиномдық магниттік кездер болып табылады.

Оң жаққа және сол жаққа айналымы бар электрондар магниттік кездердің әртүрлі бағыттарына ие, онда атомның соммалық магниттік кезі нөлге тең немесе одан өзгеше болып табылады.

Атомдардың әртүрлі электрондық құрылымы бар материалдар әртүрлі магниттік қасиеттерге ие.

Магниттік өріспен өзара әрекет күші бойынша барлық материалдарды азмагниттік (диамагнетиктер, парамагнетиктер) және жоғары магниттік (ферромагнетиктер, антиферромагнетиктер, ферримагнетиктер) деп аталады.

Заттектің магниттік *өріспен өзара* әрекетінің күші өлшемсізөлшеммен бағаланады

$$k_m = M / H,$$

мұнда  $M$ — магниттік өрістің әсерінен заттектің магниттілігі,  $A \cdot m^{-1}$ ;  $H$  — магниттік өрістің қысымы,  $A \cdot m^{-1}$ .

Азмагнитті материалдар өздерінің магниттілігін сыртқы магниттеуші өрістің әсерінен елеусіз ауыстырады және магниттік қабылдауыштықпен  $k_m \ll 1$  сипатталады. Азмагниттік материалдарға диамагнетиктер және парамагнетиктер жатады.

*Диамагнетиктер* өзімен қабықтары толығымен электрондар мен толтырылған атомдардан құралатын материалдарды білдіреді. Сондықтан атомның нәтиже көрсетуші магниттік кезі нөлге тең. Диамагнетизм барлық материалдарға тән және атомдарда электрондар көп болған сайын және олар ядродан алыс орналасқан сайын қаттырақ көрінеді. Олардың магниттік қасиеттері сыртқы магниттеуші өрістің әсерінен электрондық орбиталардың бұрылысы арқасында пайда болады. Осының арқасында сыртқы өріске қарсы бағытталған және диамагнетик ішіндегі ішкі өрісті әлсірететін нәтиже көрсетуші магниттік кез пайда болады.

Диамагнетиктердің магниттік қабылдағыштығы  $k_m = -10^{-5}$



көбінесе магниттеуші өрістің температурасына және қысымына тәуелді емес.

Сыртынан диамагнетизм диамагнетиктің біртұтас емес магниттік өрісінен шығарылатынынан көрініс табады. Диамагнетиктерге көптеген органикалық қоспалар мен бірқатар металлдар жатады: мыс, күміс, алтын, қорғасын және т.б.

*Парамагнетиктер* келесімен сипатталады, парамагнетиктерді жеке атомдарының магниттік кездері абыл-сабыл бағытталған және қатты дене өлшемінде компенсацияланған. Бұл материалдарды магниттік өріске орналастыру кезінде атомдардың магниттік кездерінің елеусіз санының бағытталуы және парамагнетиктер ішінде сыртқы өрістің күшеюі жүзеге асырылады. Бұл парамагнетиктердің магниттендірілу бағытының сыртқы өріс бағытымен сәйкес келуінің нәтижесі болып табылады. Сыртқы магниттік өрісті шешкеннен кейін парамагнетиктер едәуір магниттелуді сақтайды.

Магниттік қабылдағыштық  $k_m = 10^{-2} \dots 10^{-5}$ . Көптеген парамагнетиктер  $k_m$  елеулі температурадан тәуелді, кейбір парамагнетиктер үшін (сілтілік металлдар)  $k_m$  температурадан тәуелсіз, ал кейбіреулері үшін аномалиялық тәуелділік орын алады. Өрістің қысымдылығынан қалыпты температура кезінде парамагнетикалық сезінушілік әлсіз тәуелді, бірақ Кюри температурасына жақын температуралар кезінде, парамагнетиктерді магниттік қанықтық жағдайына ауыстыруға болады. Сырттай парамагнетизм парамагнетиктің тұрақсыз магниттік өріске тартылады. Парамагнетиктерге алюминий, платина және т.б. жатады

Жоғары магниттік материалдар сыртқы өрістің әсерінен магниттелгендіктің елеулі өзгерту мүмкіндігіне ие және магниттік қабылдағыштыққа  $k_m \gg 1$  ие.

Жоғары магнитті материалдарға ферромагнетиктер, антиферромагнетиктер және ферримагнетиктер.

*Ферромагнетиктер* тіпті әлсіз магниттік өрістерде ( $k_m = 10^3 \dots 10^5$ ) аса қатты магниттелу мүмкіндігімен; Кюри температурасынан  $T_k$  артық температура кезінде ферромагниттіктен парамагниттік жағдайға алмасу мүмкіндігімен, яғни магниттік қабылдағыштықты 3...4 тәртіпке жоғалту мүмкіндігімен сипатталады.

Магниттік қабылдағыштық  $k_m$  температура және өрістің қысымдылығынан күрделі тізбектік емес тәуелділікке ие.

Ферромагнетиктер жатады өтпелі элементтері, олардың бұзылған қалыпты толтыру тәртібі электрондық қабықшалар, нәтижесінде атомдар бар толтырылмаған ішкі қабығы. Бұл әкеледі атомдар осы элементтердің ие емес өтелген магнитті сәт. Материалдарда олардың қосындылық магнитті сәті атомның нөлден бастап жоғарылауын, домендер, т. е. аумағы, лифті өздігінен қозғалуын магнитталуға дейін қанығудың болмауын

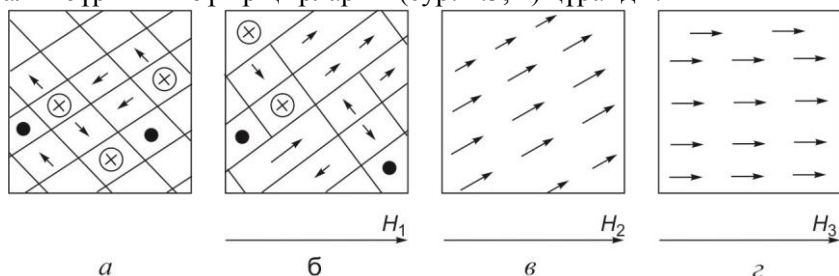
сыртқы магнит өрісі көрсетеді. Байланысқан кристаллдық құрылымды заттар домендер бар әр түрлі нысаны. Сызықтық өлшемдер доменді құрайды мыңыншы пайдаланушысын қосты дейін ондық үлестерінің миллиметр. Жекелеген домендер бір-бірінен шекаралық қабатының қалыңдығы  $10^{-2} \dots 10^{-8}$  м. Көрші атомдардың өтелмеуі өзара іс-қимылды әрі параллель немесе антипараллелді жүргізеді.

Материалдардың өтелмеген көрші атомдар белгіленеді ферромагнетиктермен параллель болып табылады.

Магниттеу үрдісі ферромагнетикадан басталады және өсуіне ең қолайлы бағдарланған домендерден тұрады. Мұндай домендер оның бағыты болып, магниттік сәттерді жақын бағыты шиеленісті магнитталған өріске ұласады. Сандық домендерге ығысу шекаралары кем әрі қолайлы бағдарланған домендер жатады. Бұл ретте, векторларының бағыттары магниттік сәттердің домендерді жібере отырып, шиеленіс магниттік өріс туындайды, магниттік қанығуы (сур. 2.2). Мұнан кейін шиеленіс сыртқы электромагниттік өрістің әсерінен магнитталып, материалдың атомдары шамалы артады. Бұл кезде сыртқы өріс векторларының домендерді кері бағытта бұрылады және материал толық болмаса да, магнитсізденеді.

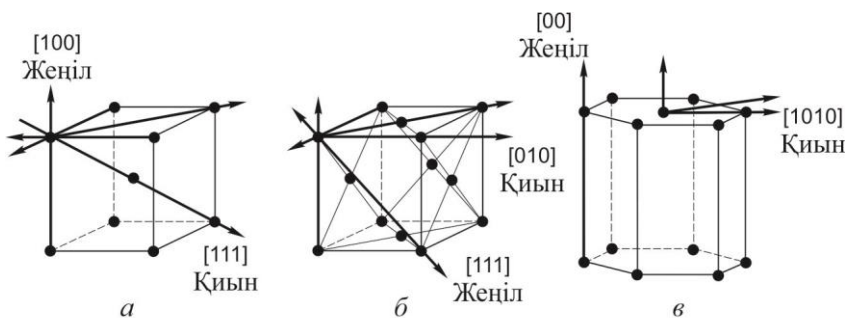
Ферромагнетиктердің магниттелуі құбылыстар анизотропиясын және магнитострикциядан байқалады.

Магниттік анизотропияның мәні мынада магниттелуі кристалл түрінде және оның бағыттары бірдей емес. «Кристалл торда жеңіл және қиын магниттеу бар ферромагнетиканың бағыттары негізінде көрінеді. Темір және оның қорытпалары кристаллданады және текшелік құрылымды құрайды». Біліктердің жеңіл магниттелуде қабырға текшесі, кеңістіктік диагональ (сур. 2.3, а) бар. Сондай-ақ никелді текшелік құрылымы мен осьтерінің бағыттары магниттеу барысында қарама-қарсы (сур. 2.3, б) болып келеді. Кобальті бар гексагоналды құрылымды, бағыты жеңіл магниттелу бойымен алтыбұрышты бүйір қырларын (сур. 2.3, в) құрайды.



2.2- сур. Ферромагнетиктер домендерінде магниттелу векторының бағытталуы сызбасы:

*a* — сыртқы өрістің болуы кезінде; *б* —  $H_1$  қысымдылығы әлсіз өрісті  
*в* —  $H_2$  қысымдылығы күшті өрісті; *г* — қанықтылығы кезінде ( $H_3=H_4$ )



2.3-сур. Темір (а), никель (б) және кобальт (в) монокристалдарында жеңіл және қиын магниттелу диаграммалары

Магниттелмеген үлгісінде бағыты магниттік сәттердің домендермен сәйкес келетін біліктердің жеңіл магниттелу кристаллымен тең болуы мүмкін. Жоғарыда берілген үлгідегі электр-магниттің өрісі ең энергетикалық тиімді бағыт болып табылады. Жеңіл магниттелу осын жіберіп, сыртқы өрістің ең аз бұрышын құрайды.

Магниттеу және магнитсізделу ферромагнетика өзгеруіне желілік мөлшерлерін белгілеуде нысанды кристалл жүреді. Бұл құбылыс магнитострикцией деп аталады. Ол барлық магниттік материалдарға тән. Магнитострикция материалды бағаланады константты магнитострикцияны (магнитострикционная деформация қанықтыру) көрсетеді.

$$V_s = \Delta l / l_0,$$

мұндағы  $(\Delta l / l_0)$  — үлгінің тізбектік өлшемдерінің салыстырмалы өзгерісі, м;  $l_0$ — үлгінің алғашқы ұзындығы, м.

Магнитострикция константасы  $V_s$  оң және теріс мән қабылдай алады. Оның мәні және белгісі магниттелуші өрістің материал қасиетіне және шиеленісіне тәуелді.

Ферромагнетиктерге: темір, никель, кобальт және олардың қорытпалары, гадолиний, хром және марганец және т. б жатады.

*Антиферромагнетиктер* материалдарды білдіреді, олардың магниттік сәттерді көрші атомдар тең, бірақ олардың арқа антипараллельді орналасады.

Магниттік қабілеттілік  $k_M = 10^{-3} \dots 10^{-5}$ ; ол ерекше тәуелді температурамен ерекшеленеді.

*Ферромагнетиктер* көбінесе ұқсас ферромагнетиктерге, бірақ айтарлықтай ферромагнетиктер мәні бойынша өзгеретінін қанықтыру (шекті өзгеретінін)  $M_S$ ; бірқатар жағдайларда бар аномалды тәуелділік өзгеретінін қанығу  $M_S$  температураның болуымен нүктелері өтемақы.

Ферромагнетизмнің табиғаты алғаш рет егжей-тегжейлі зерттеуге арналған ферритах — құрамаларында темір оксидінің ( $Fe_2O_3$ ) тотығымен металлдар, мысалы  $MeO \cdot Fe_2O_3$  (мұндағы  $Me^{++}$  — эквивалентті металл). Магниттік қасиеті ферромагнетиктерге байланысты өзара кристаллдық торда иондар темір және металл.

Ферромагнетиктер кристаллды заттар мен доменнің құрылымы болып табылады.

### **Бақылау сұрақтары**

Электрлік өрістегі әрекеті бойынша электроматериалдар қалай жіктеледі?

Заттектің магниттік өріспен өзара әрекетінің күші немен бағаланады?

Орбиталық және спинді магнит сәттердің табиғаты қандай?

Әлсіз магнитті материалдардың күшті магниттілерден айырмашылығы?

Ферромагнетиктердің ферромагнетиктерден айырмашылығы?

**ӨТКІЗГІШТІК МАТЕРИАЛДАР**

Өткізгіш материалдар қабілетіне ие жүргізуге, электр тогы мен сипатталатын өте шағын немесе берілген үлестік электр кедергісі, ол артады артуына байланысты температура. Жақсы электр өткізгіштігі бар жетекші материалдарды негізделген көп еркін электрондар қабілетті кетуге атомдары. Мұндай қабілеті ие тек валентті электрондар, яғни электрондар орналасқан энергетикалық деңгейлерде валенттік аймағы болып табылады. Еркін электрондар күйде хаостық қозғалысы, бетпе-бет келген құбылмалы атомдарымен кристаллдық торлар. Орташа қашықтық, өткізгіштігі бар электрондық екі жүйе арасындағы келісім деп атайды еркін жүру жолының ұзындығы, ал орташа уақыт аралығында екі ел арасындағы келісім — уақытты бос жүріс. Егер өткізгіштегі құрылатын электрлік өріс, онда әсерінен осы өріс электрондар алады жеделдету, үйлесімді шиеленіс осы өрістің нәтижесінде пайда бағытталған қозғалысы электрондар.

Концентрациясы еркін электрондар таза металлдардағы айырмашылығы шамалы. Сондықтан, меншікті электр өткізгіштігі металлдар анықталады орташа еркін жүру жолының ұзындығы электрондардың байланысты құрылымын атомдар типті кристаллдық торлар.

Өткізгіштіктерге жоғары кедергілі материалдар және жоғарғы өткізгіштікті және кристалл өткізгіштікті материалдар жатады, меншікті электрлік кедергісі өте төмен температура кезінде өте аз.

**3.1. Өткізгіштік материалдардың жіктелуі**

Агрегаттық күйі бойынша өткізгіш материалдар газ тәріздес сұйық және қатты болып бөлінеді.

Газ тәрізді өткізгіш материалдарға металл буларын қосқанда барлық газдар мен булар кіреді. Электр өрісінің күшінің жеткілікті аз мәні үшін, олар диэлектриктер болып табылады және өте жоғары электрлік қарсылыққа ие. Дегенмен, иондалудың басталуын қамтамасыз ететін электр өрісінің беріктігімен газ электр зарядтарын электрондар мен иондар арқылы өткізетін өткізгішке айналуы мүмкін. Егер электрондардың және оң иондардың

арасындағы теңдік қатты иондалған газдың бірлігінде болса, онда мұндай газ плазма деп аталатын арнайы өткізгіш зат болып табылады.

Газдар мен булардың өткізгіштігі әртүрлі газды кетіру құрылғыларында қолданылады.

С ұ й ы қ балқымалар құрамында металл балқымалары мен ерітінділері (атап айтқанда, сулы) және тұздардың, қышқылдар мен молекулалардың иондық құрылымы бар басқа да балқымалар бар.

Қатты және сұйық металлдар арқылы электр тогының өту механизмі сырттағы кернеумен жасалған электр тогының әсерінен еркін электрондардың қозғалысын тудырады. Сондықтан қатты және сұйық металлдар электронды (металл) электр өткізгіштік өткізгіштер немесе бірінші түрдегі өткізгіштер деп аталады.

Электр тоғын өткізетін тұздардың, қышқылдар мен сілтілердің ерітінділері мен еруі электролит немесе екінші түрдегі өткізгіштер деп аталады. Электр тогы электродтар арқылы өтетін электролит арқылы өтетін кезде, электр зарядтары электролиттің молекулаларының (иондарының) бөлшектерімен бірге тасымалданады. Электродтарда заттар ерітіндіден босатылады. Көптеген металлдар жоғары балқу нүктесіне ие (3.1-кесте). Қалыпты температурада сұйық өткізгіштер ретінде тек сынап және кейбір арнайы қорытпалар (мысалы, индий галлий жүйесінің қорытпалары) ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Электролиттер радиоэлектрондық құрылғылардың әртүрлі элементтерін өндіру технологиясында қолданылады.

Қ а т т ы металлдар құрамында металлдар мен қорытпалар бар. Д.И. Менделеевтің элементтерінің периодтық жүйесінде элементтердің 75% металлдар болып табылады. Қатты күйде металлдар кристаллдық құрылымға ие, ол үшін атомдар арасындағы металл байланысының ерекше түрі тән. Электр тогының әртүрлі металлдардың контактісі арқылы өтетін кезде, бір металлдың затының екіншісіне электролиттерде өтуі сияқты, электр зарядтарын ауыстыру тек электрондар арқылы жүзеге асырылатындықтан, ешқандай зат алмаспайды.

Электрондық құрылғыларда қолданылатын табиғатқа сәйкес, металл материалдар жоғары өткізгіштігі бар материалдарға бөлінеді (нақты электр кедергісі  $\rho < 0,1 \text{ мкм} \cdot \text{м}$ ) және жоғары электрлік кедергісі бар материалдар (арнайы электр кедергісі  $\rho > 0,3 \text{ мкм} \cdot \text{м}$ ).

Жоғары электр өткізгіштігі жоғары электр өткізгіштігі жоғары материалдарға (төмен электр кедергісі) келесі талаптар қойылады:

### Кесте 3.1. Металлдардың еру температурасы

Металл	Еру температурасы $T_{\text{еру}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Металл	Еру температурасы $T_{\text{еру}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>Сынап (Hg)</i>	-38,9	<i>Никель (Ni)</i>	1455
<i>Галлий (Ga)</i>	29,7	<i>Кобальт (Co)</i>	1490
<i>Натрий (Na)</i>	97,7	<i>Темір (Fe)</i>	1535
<i>Индий (In)</i>	156	<i>Палладий (Pd)</i>	1554
<i>Қалайы (Sn)</i>	232	<i>Титан (Ti)</i>	1680
<i>Кадмий (Cd)</i>	321	<i>Платина (Pt)</i>	1773
<i>Қорғасын (Pb)</i>	327	<i>Торий (Th)</i>	1850
<i>Цинк (Zn)</i>	420	<i>Цирконий (Zr)</i>	1860
<i>Магний (Mg)</i>	651	<i>Ниобий (Nb)</i>	2415
<i>Алюминий (Al)</i>	657	<i>Молибден (Mo)</i>	2620
<i>Күміс (Ag)</i>	961	<i>Тантал (Ta)</i>	2970
<i>Алтын (Au)</i>	1063	<i>Рений (Re)</i>	3180
<i>Мыс (Cu)</i>	1083	<i>Вольфрам (W)</i>	3380
<i>Бериллий (Be)</i>	1284		

- жеткілікті беріктік пен пластикалық технологиясын анықтайды;
- атмосфералық жағдайлардағы коррозиялық тұрақтылық;
- жоғары төзімділік (кейбір жағдайларда);
- жақсы дәнекерлену алу үшін сенімді қосылыстардың жоғары электр өткізгіштігі.

Практикалық қосымшаларда химиялық таза металлдар (темір,

алтын, мыс, алюминий, күміс және т.б.) бар, олар техникалық жағынан да,

сымдарды, микротолқынды, өткізгіш жабындарды және қабыршақтарды, әртүрлі өткізгіш бөлшектерді өндіруге арналған байланыс материалдар мен лифттерде бар.

Материалдар жоғары электрлік кедергіні мынадай талаптарды қанағаттандыруы тиіс:

- шағын электр кедергісінің температуралық коэффициенті;
- жоғары ыстыққа төзімді, әсіресе бұл қыздыру элементтері маңызды болып табылады;
- созылғыштығы жақсы, өйткені көптеген жағдайларда қорытпалар түрінде қолданады.

Жұмыс температурасының барлық қорытпалар байланысты жоғары электр кедергісі үш топқа бөлінеді.

1. Жұмыс температурасы  $500^{\circ}\text{C}$  жоғары емес қорытпалар дәлме-дәлдіктегі элементтерді (резисторлар, температуралық сенсорлар, шунттар және т.б.) өндіру үшін пайдаланылады. Мұндай қорытпалар құрамында никель мен марганецпен (тұрақты және манганалар) араластырылған мыс қорытпалары; күміс, палладий, алтын, платина негізіндегі қорытпалар.

2. Жұмыс температурасы  $1200^{\circ}\text{C}$ -тан төмен болатын қорытпалар кедергі элементтері мен қыздыру элементтерін (реостаттар мен қуатты электр жылыту қондырғыларындағы қыздыру элементтерін және өнеркәсіптік пештерді) дайындау үшін пайдаланылады. Осы топтың материалдарында темір, никель және хром (нихром) негізіндегі қорытпалар бар.

3.  $1200^{\circ}\text{C}$  жоғары температура кезінде отқа төзімді металлдарға негізделген қорытпалар (вольфрам, молибден, титан) қолданылады. Бұл қорытпалар негізінен электр пештеріне арналған жылытқыштар өндірісінде қолданылады. Металл қорытпаларынан басқа керамикалық материалдар жылытқыштар үшін де қолданылады.

Материалдар жинақтаған, тіптен мардымсыз шағын үлестік электр кедергісі  $\rho$  кезде өте төмен температура болады. Өткізгіштігі 30 элементтерінің 1000-нан астам қорытпалар табылды. Қасиеті өткізгіштігіне ие сынап, алюминий, қорғасын, ниобий, ниобий қосындылары қалайы, титанмен т. б.



## 3.2 Өткізгіштік материалдардың негізгі қасиеттері мен сипаттамалары.

Қатты металл өткізгіштер жоғары электр және жылу өткізгіштігімен ерекшеленеді. Бұл атомдар арасындағы металл байланыстың ерекшеліктеріне байланысты. Сондай-ақ, өткізгіштер ретінде металл емес материалдар (көмір, графит, көмір-графиттік композициялар, жоғары иондалған газдар) қолданылады. Олардың электрлік, механикалық, жылу, физика-химиялық және технологиялық қасиеттері бар.

### 3.2.1 Электрлік қасиеттері

Өткізгіштік материалдардың негізгі электрлік қасиеті электрөткізгіштік болып табылады.

*Электрөткізгіштік* – бұл металдың электр тогынан өту қабілеті. Электр энергиясының үздік өткізгіштері - түсті металлдар (алюминий, мыс), нашар металлдар – кара металлдар, сирек металлдар төмен электрөткізгіштігі бар. Электрөткізгіштігі электр тогының өтуіне кедергі дәрежесімен анықталады. Ыңғайлы болу үшін әртүрлі материалдар электрлік кедергісімен салыстырылады, ол  $1 \text{ мм}^2$  көлденең қимасы бар және  $1 \text{ м}$  ұзындығымен берілген металдан жасалған өткізгіштің кедергісіне сәйкес келеді.

Тұрақты формалардың үлгілері үшін арнайы электр кедергісі формула бойынша анықталады

$$\rho = R \frac{S}{l},$$

мұндағы  $R$  – үлгінің кедергісі, Ом;  $S$  – үлгінің көлденен қиындысының ауданы,  $\text{м}^2$ ;  $l$  – үлгінің ұзындығы, м.

Арнайы электр кедергісі метрге өлшенеді (Ом · м), бірақ практикалық мақсаттар үшін  $1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  тым үлкен, сондықтан бұл параметр көбінесе кішкене бірліктерде, мысалы, бір метрге микрокамерада көрсетіледі.  $\rho$  металл өткізгіштерінің диапазоны (әдеттегі температурада) күміс үшін  $0,016$ -дан  $10 \text{ мкм} \cdot \text{м}$ -ға дейін.

Қалыпты жағдайда қалыпты  $\rho$  металлдардың мәндері бір-бірінен шамамен  $100$  есе артады.

Жоғары жиіліктегі  $R$  өткізгіштерінің кедергісі жоғары жиіліктегі өріс ұсақ тереңдікте өткізгіштің енуіне байланысты

тікелей токқа кедергісінен әлдеқайда көп. Өріс жиілігі неғұрлым жоғары болса, соғұрлым ол тереңдікті төмендетеді өткізгішке енеді. Бұл құбылыс *бетінің әсері* деп аталды. Берілген жиіліктегі өткізгіштің тереңдігі үшін ток тығыздығы 2,7 есе төмендейтін тереңдіктің өткізгіштің бетіндегі мәнімен салыстырғанда шартты түрде қабылданады.

Тұрақты электр кедергісі  $\rho$  инверсиясы нақты электрөткізгіштігі ( $S / m$ ) деп аталады:

$$\gamma = 1/\rho$$

Меншікті электрлік кедергісі металл температурасына байланысты. Бұл тәуелділік анықталады температуралық коэффициенті меншікті электр кедергісін  $TK\rho$ ,  $1/^\circ C$ , осы температурада келесі формула бойынша анықтайды

$$TK\rho = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

мұнда  $\Delta\rho$  — өткізгіштің кедергісін элементарлы өсіру, температураның элементарлы өсірілуіне  $\Delta T$  сәйкес келеді.

Қатты күйде таза металлдар үшін,  $TK\rho$  идеалды газдардың көлемдік коэффициентіне жақын болуы керек, яғни.  $1/273 = 0,00367 K^{-1}$ . Бір агрегаттық мемлекетке фазалық өту кезінде металлдардың арнайы электр кедергісі күрт өзгереді. Алайда балку (висмут, сурьма және галлий) кезінде тығыздығы азайған металлдардағы балку кезінде электр төзімділігіне азаяды.

Орташа температуралық коэффициенті, үлестік электрлік қарсыласу металлдар  $\alpha_\rho(1/^\circ)$  температура диапазонында келесі формула бойынша анықтайды

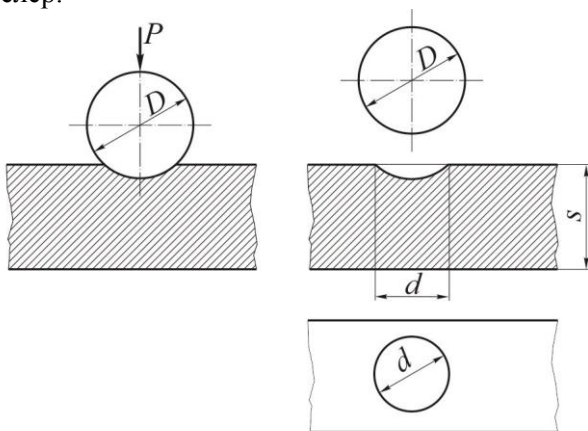
$$\alpha_\rho = \frac{1}{\rho_0} - \frac{\rho_\tau \rho_0}{T - T_0}$$

мұнда  $\rho_0$ ,  $\rho_\tau$  — шекті электрліккернеу  $T_0$  және  $T$  температураларына сәйкес.

### 3.2.2 Механикалық қасиеттері

Механикалық қасиеттері бойынша өткізгіштердің қаттылығы, серпімділігі, тұтқырлық, соққылық тұтқырлығы, созылғыштығы, сызықтық кеңейту, хрупкость, беріктігі, шаршау жатады

**Қаттылығы** — қабілеті материалдың төтеп беруге одан басқа, қатты денелер.



3.1-сур. Бриннель әдісі бойынша материалдардың қаттылығын анықтау сызбасы:

$P$  — жүктеме;  $D$  — болат шариктің диаметрі;  
 $d$  — таңба диаметрі;  $s$  — үлгі қалыңдығы

Қаттылықты анықтаудың әр түрлі әдістері бар: қысым, сызаттар, серпімділік. Ең үлкен таралуы пирамида (Викерс қаттылығы) басу арқылы конустың үстіне (Бринелль қаттылығы) басу, болат шарлар материалын (Бринелль қаттылығын) басу әдісі болды.

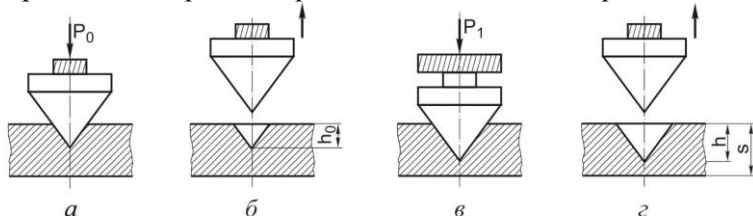
Бринелль әдісімен, шар басудың қаттылығына арналған материалдарды белгілі бір уақыт ішінде жүктің әрекет етуі кезінде сынақ материалына диаметрі 10,5 немесе 2,5 мм болатын болатты шындалған шарды басу арқылы жүзеге асырылады (3.1-сурет). Сынаудан бұрын бөліктің немесе сынаманың беті файл немесе қылшық дөңгелегі арқылы тазартылады.

Баспа диаметрі бір-бірімен екі перпендикулярлы бағытта аяқталған магнит шынымен өлшенеді.  $d$  әсерінің диаметрі материалдың қаттылығына байланысты.

Бринелль қаттылығы  $P$  жүктемесінің сандық мәнінің баспа бетіне дейінгі арақатынасы бойынша анықталады және шаршы метрге ( $\text{H}/\text{m}^2$ ) жаңа тондармен өлшенеді:

$$HB = \frac{P}{F_{от}} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

мұнда  $D$  — шар диаметрі, мм;  $d$  — таңба диаметрі, мм.



3.2-сур. Роквелл әдісі бойынша материалдың қаттылығын анықтау сызбасы:  $a$  — конус, жүктемемен бастырылған  $P_0$ ;  $b$  — конустың таңбасы жүктемені алып тастағаннан кейін  $P_0$ ;  $c$  — конус, жүктемемен бастырылған  $P_1$ ;  $d$  — конустың таңбасы жүктемені алып тастағаннан кейін  $P_1$ ;  $h_0$  — ену тереңдігі (шарик) жүктеме  $P_0$ ;  $h$  — тереңдігі (шарик) жүктеме  $P_0$  және  $P_1$ ;  $s$  — материалдың қалыңдығы

Бринелль әдісінің кемшіліктері сымның және қалыңдығы 3 мм-ден кем емес материалдардың қаттылығын анықтау қабілетсіздігі; бақылау үлгілері бойынша тестілеу, өйткені жұмыс бөліктерінде шар шегінісінен байқалатын белгілер бар; болаттан жасалған шардың қаттылығынан (450 НВ) қаттылығы жоғары материалдарды сынау қабілетсіздігі, өйткені доп окшаулауды бұрмалауды бастайды; сынақ процессінің ұзақтығы.

Роквелл әдісімен материалдың қаттылығы шындалу тереңдігі 100 кг жүктеме кезінде 1,59 мм диаметрі бар болат шарлардың сынақ материалына немесе қаттылықты өлшеу құралдарында 60 және 150 кг жүктемелерде  $120^\circ$  бұрышта бұрышпен алмастық конусты анықтайды.

Сынақ кезінде алдын-ала жүктеу  $P_0$  бірінші рет қолданылады, содан кейін бастапқы  $P_1$  қолданылады. Қаттылық  $P = P_1 + P_0$  және  $P_0$  жүктемелерінің көмегімен шар немесе гаухартас конустары ( $h-h_0$ ) арасындағы ендік айырмашылығымен сипатталады (3.2-сурет). Бұл тереңдік айырмашылығы автоматтық индикатормен анықталады, оның торабы 100 бөлікке бөлінген. Қоңырауларда қара және қызыл теру бар. Доппен сыналған кезде, санау қызыл шкалада жасалады және қаттылық HRB деп белгіленеді; Алмаз конустары арқылы сыналған кезде - қара ауқымда және қаттылықта HRC тағайындалады. Жұмсақ металлдардың қаттылығы доппен анықталады, ал қатты конус қатты конус арқылы анықталады.

Роквелл әдісінің артықшылығы кең диапазондағы қаттылықты өлшеуді қамтиды (700 НВ дейін); Бринелль әдісімен салыстырғанда жұқа бұйымдардың қаттылығын анықтауға жарамдылығы; сынақ үлгісінде өте аз әсердің болуы.

Әдістің жетіспеушілігі - белгілі бір талаптарды қанағаттандыратын үлгілерді дайындау қажеттілігі (үлгінің қалыңдығы кемінде 10 шұңқырдың тереңдігі болуы керек, дөңгелек үлгілердің диаметрі кемінде 10 мм болуы тиіс).

Виккерстің қаттылығы жүктеме астында  $136^\circ$  шыңында бұрышпен алмас пирамидасының сынақ материалын басу арқылы анықталады. Нәтижесінде іргетастың бетінде квадрат

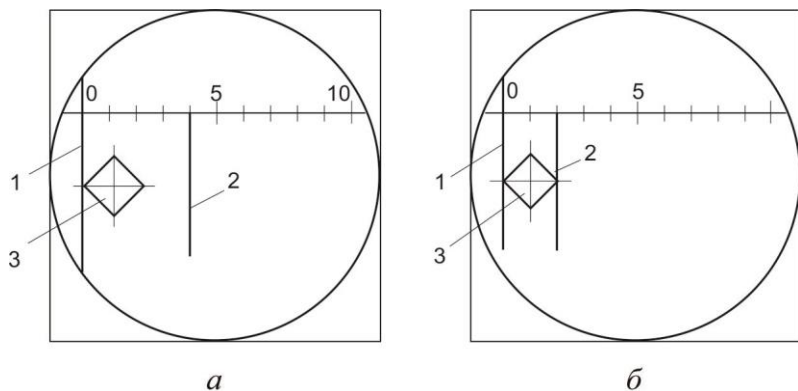
ізі қалады, оның қалыңдығы материалдың қаттылығын сипаттайды. Диагональді неғұрлым үлкен болса, қаттылықты неғұрлым төмендетеді. Диагональдар микроскоппен өлшенеді. Виккерс әдісімен HV сәйкес қаттылық кестенің диагональдарының ұзындығына байланысты кестелерден анықталады (3.3-сурет).

Бұл әдіс жұмсақ және қатты материалдардың қалыңдығын үлгілер мен бөлшектердің шағын қалыңдығымен өлшеуге мүмкіндік береді.

Әдістің кемшіліктері – өлшеу процессінің ұзақтығы және үлгіні мұқият дайындау қажеттілігі.

**Тұрақтылық** – сыртқы күштердің өзгеруіне әкеліп соққаннан кейін оның формасы мен көлемін қалпына келтіруге арналған материалдың сипаты. Деформацияның ең қарапайым түрлері - кернеу, қысу, иілу, бұралу, ығысу. Деформация нәтижесінде үлгінің немесе оның бөліктерінің пішіні мен өлшемдерін өзгерту процессі деформация деп аталады. Деформация жүктеуден кейін жоғалып кетсе, серпімді деп аталады. Егер деформация жүктемені алып тастағаннан кейін жойылмаса, ол пластик деп аталады немесе қайтарылмайды.

**Тұрақтылығы** – материалды динамикалық (жылдам өсетін) жүктемелерге қарсы тұру мүмкіндігі. Тұтқырлық маятник деп аталатын аспапты пайдаланып бағаланады.



3.3-сур. Пирамида таңбасы диагоналін өлшеу сызбасы:  
*a* — штрихтердің алғашқы орналасуы; *б* — таңба диагоналін өлшеу үшін штрихтердің орналасуы; 1 — сол жақ штрих;  
 2 — оң жақ штрих; 3 — пирамида таңбасы

Маятник массасы  $P$  көтереді биіктігі  $h_2$  түсіреді. Маятник үлгісі, ол инерция бойынша көтеріледі кейбір биіктігін  $h_1$ .

Сынаманың сынуына жұмсалған әсерінің  $W_{\text{соққы}}$ , Дж, формула бойынша анықталады

$$W_{\text{соққы}} = P(h_2 h_1)$$

*Соққы беріктігі* - материалдың соққы жүктемесіне қарсы тұру қабілеті. Импульстік сынақтар соққы жағдайында қолданылуы мүмкін болаттан жасалған материалдарға жүргізіледі. Осындай сынақты жүргізу үшін, кесу жасалатын стандартты үлгіні алыңыз. Үлгілерді сынау арнайы қондырғыларда - маятник үлгісіндегі қадалармен жүзеге асырылады. Үлгі маятник көмегімен жойылады. Маятниктің материалды (сызықшамен) бұзуына жұмсаған  $A_c$ , Дж жұмысын білу және  $F_c$ ,  $m^2$  жердегі сынықтың орналасу аймағындағы көлденең қиманың ауданы  $J / m^2$  үлгісінің әсер ету күшін анықтайды: Дж/ $m^2$ :  $a_c$

$$a_c = \frac{P(H-h)}{F_c}; A_c = P(H-h),$$

мұнда  $P$  — жүктеме құрылатын маятниктің массасы,  $H$  - маятниктің ауырлық орталығының биіктігі, м;  $h$  - үлгіні бұзғаннан кейін маятниктің көтерілу биіктігі, м.

Өндірістік жағдайларда  $a_c$  және  $A_c$  кестелермен анықталады.

Соққыға төзімділік шойын, силомин, қатайтылған құрал болат тәрізді сынғыш материалдармен әсер етпейді.

*Пластикалық* - бұл сыртқы күштердің әсерінен жойылмайтын материалдың сипаты және осы күштердің әрекеті тоқтатылғаннан кейін жаңа пішінді сақтау. Пластикалық - бұл икемділікке қарсы қасиет. Электр-радио материалдардың икемділігін сандық бағалау үшін  $\Delta l / l = 100$ , үзілісінде үлгінің салыстырмалы ұзаруы және  $\Delta s / s$  үлгісінің көлденең қимасының салыстырмалы тарылуы пайдаланылады.

*Салыстырмалы ұзарту* - үлгідегі абсолютті ұзартудың бастапқы конструкциялық ұзындық  $l_0$ -ге қатынасы, пайызбен көрсетілген:

$$\Delta l / l = \frac{l_p - l_0}{l_0} 100,$$

мұнда  $l_p$  — үзілістен кейінгі үлгі ұзындығы, м.

Тиісті шектеу - үлгідегі көлденең қиманың абсолюттік конструкциясының қатынасы 38 пайызбен көрсетілген бастапқы

$$\Delta s/s = \frac{s_p - s_0}{s_0} 100.$$

көлденең қимасы:

*Сызықтық кеңейту* өткізгіштердің пайдаланылатын электр вакуум аспаптары сипатталады температуралық коэффициенті сызықтық кеңейту ТКІ анықтауға мүмкіндік беретін кез келген өзгерістер бұйымдардың геометриялық өлшемдерін (ұзындығын, енін, қалыңдығын) қыздырғанда. Алайда, ең оңай мөлшерін өзгертуге бұйымдар қыздыру кезінде тіркеледі бойынша максималды өлшемі ұзындығы. Ажыратады температуралық коэффициент сызықтық кеңейту кезінде осы температура ТК/ және оның орташа мәні температуралар аралығында  $a_l$ ,  $1/^\circ$ :

$$TKI = \frac{1}{l} = \frac{\Delta l}{\Delta T};$$

$$a_l = \frac{l}{l_0} \frac{l_T - l_0}{T - T_0}$$

мұнда  $l_0$ ,  $l_T$  —  $T_0$  және  $T$  температураларына сәйкес келетін бұйымдардың геометриялық өлшемдері.

ТКІ қатты металлдардың құны өсіп келе жатқан температурада өсіп, балқыту температурасына жақындайды. ТС-ның минималды мәндері шыны және керамикадан басқа диэлектрлік материалдар мен вакуумды тығыз байланыстар үшін пайдаланылатын балқытын металлдарға тән.

Сынғыштық – өткір динамикалық күш қолдану арқылы материалдардың бұзылу қабілеті. Мұндай қоқыс материалдары үшін пластикалық материалдар құбылысы байқалмайды, яғни үлгінің бұзылуы ағымның беріктігі болғанда пайда болады.

### Кесте 3.2. кейбір материалдардың салыстырмалы ұзартылуы және қысқаруы

Параметр	Мыс	Алюминий	Синтетикалық пленкалар	Кабелдік резиналар	Полиамидтік смолалар
<i>Салыстырмалы ұзарту <math>\Delta l/l</math>, % үзілісі кезінде</i>	40	40	80	250	150
<i>Салыстырмалы қысығу <math>\Delta s/s</math>, %</i>	75	85	150	3000	4000

*Күштілік* - материалдың сыртқы күштердің әрекетіне кедергі келтірмеу қабілеті. Күштілік тұрақты машиналар деп аталатын арнайы сынақ қондырғыларындағы материалдағы статикалық әрекет (созылу) көмегімен анықталады. Созылу сынағы үшін олар дөңгелек шыбықтар түрінде немесе қатаң белгіленген өлшемдер тақталарында жасалады. Сынамалар созылатын машинаның қысқыштарына бекітіліп, оларға созылу жүктемесі қолданылады.

Шаршау - шағын қайталанатын немесе ауыспалы жүктемелердің әсерінен материалды бұзу (тербелістер)  $\sigma_t$ :

$$\sigma_t = F_t / S_0$$

мұнда  $F_t$  — жүктеме, тиісті жеке ағымдылық шегі, Н;  $S_0$  — бастапқы қимасы үлгідегі материал,  $m^2$ .

Кернеу, тиісті ең жоғары (шекті) жүктеме  $F_{ш}$  алдындағы бұзылуына үлгідегі деп аталады беріктік шегі созылу кезіндегі  $\sigma_p$ .

$$\sigma_p = F_{ш} / S_0$$

мұнда  $F_{ш}$  — рұқсат етілген жүктеме, тиісті шегіне беріктігі, Н.

*Шаршау* – бұл металдың кішігірім қайталанатын немесе заңды ауыспалы жүктемелер (тербеліс) әсерінен бұзылуы. Мұндай жүктемелер, мысалы, контактілер, серіппелер сыналады. Көп айнымалы айнымалылар (тек қана құнымен ғана өзгереді) және айнымалы жүктемелер (қысу және созылу) әрекеті кезінде металл түпкілікті күшінен әлдеқайда төмен кернеулерде үзіледі. шаршау пайда болады. Металлдың қайталанатын немесе ауыспалы кернеулерге төтеп беруге қабілеттілігі *төзімділік* деп аталады.

Төзімділік сынақтары арнайы машиналарда жүзеге асырылады, бір мезгілде икемді жүктемелерді қолдану арқылы үлгілерді айналдыра отырып, кернеу мен қысуды тудырады.

### 3.2.3 Жылулық қасиеттер

Өткізгіштердің жылулық қасиеттеріне жылуөткізгіштік, жылулық кеңейту, ерігіштік жатады.

*Жылуөткізгіштік* — бұл дененің (металлдың) қыздырылуы немесе суытылуы кезінде жылу өткізу қабілеті.



$S$  ауданы бар және қалыңдығы  $\Delta s$  пластина арқылы  $t$  уақыт аралығында  $\theta$  энергиялы жылу ағыны өтсе, онда өарама-қарсы беттер арасында температуралар  $\Delta T$  айырмашылығы қалыптасады,  $\theta$  қатынасқа байланысты

$$\theta = \lambda S \frac{\Delta t}{\Delta l},$$

мұнда  $\lambda$  — жылу өткізгіштік коэффициенті.

Өткізгіштердің жылу өткізгіштік коэффициенті олардың өткізгіштігіне тікелей пропорционалды. Металлды электрөткізгіштігі неғұрлым жоғары болса, онда оның жылу өткізгіштігі артады. Сондықтан, жоғары қуатты резисторлар, жартылай өткізгіш құрылғылар сияқты жылу раковина құрылғылары жоғары электрөткізгіштігі бар (мыс, алюминий және олардың қорытпалары) металлдардан жасалған.

*Жылулық кеңейту* — бұл көлемінің өзгеруі (сызықтық өлшемдері) дене температурасындағы тұрақты қысым.

Жылулық кеңеюі - тұрақты қысым кезінде температураны көтеретін дененің көлемінің (желілік өлшемдері) өзгеруі. Жылулық кеңеюдің жүрегінде атомдардың термиялық тербелістерінің асимметриясына жатады, сондықтан температура ұлғаюда, орташа қашықтықтар артады. Материалдардың жылу кеңеюі көлемдік немесе сызықтық кеңею коэффициенті бойынша бағаланады. Қосылған екі материалдың жылу кеңею коэффициентінің мәндеріндегі айырмашылық, түйіннің бұзылуына әкелетін айтарлықтай термалды кернеулердің пайда болуы мүмкін.

*Ерігіштік* — бұл металлды қыздырған кезде сұйық күйге түсіру мүмкіндігі. Материалдың басқа агрегаттық күйге ауысатын температурасы (фазалық өтуге ұшырайды)  $T_{\text{ба}}$  балқу температурасы деп аталады. Әрбір материалдың балқыту нүктесі бар (мысалы, темірдің балқу температурасы  $1539^\circ \text{C}$ , никель  $1452^\circ \text{C}$ , қалайы  $232^\circ \text{C}$ , вольфрам  $3390^\circ \text{C}$ ). Металл қорытпалары әдетте олардың құрамдас бөліктеріне қарағанда төменірек балқу нүктесіне ие.

### 3.2.4. Физика-химиялық қасиеттері

Физикохимиялық қасиеттерге түс, тығыздық, магниттік қасиеттер, газды сіңіру, коррозияға төзімділік және т.б. жатады.

*Тығыздығы* - көлемнің бірлігінде болатын заттың массасының мөлшері. Тығыздықтың сандық өрнегі дерлік әрқайсысының

гравитациясымен сәйкес келеді, сондықтан тығыздық нақты ауырлық дәрежесімен анықталады. Мысалы, темірдің нақты салмағы 7,86; марганец - 7,44; болат - 7.8...7.9.

Тығыздығы негізінен интератомдық байланыстардың түріне байланысты. Ең тығыздығы материалдар бағытталмаған металл және иондық облигациялар болып табылады. Коваленттік бағыттағы байланыс атомдардың тығыз орналасуын алдын-ала анықтайды.

Металдарда тығыздық осмийнен  $22,5 \text{ г/см}^3$  -ден литий бойынша  $0,534 \text{ г/см}^3$ -ге дейін өзгереді. Материалдың тығыздығын азайтады, базалық материалдан гөрі ауыр элементтермен қорытпаны легирлеу. Кеуектілігі тығыздығын азайтады.

Мөлдірлік тығыздығы жеңіл және ауыр болып бөлінеді. Жеңіл металдар құрамында тығыздығы  $5 \text{ мг/м}^3$  кем металдар бар. ең жеңіл металл натрий бірі су тығыздығы аз тығыздығы, оның саналады.

Машиналарда (темір, мыс, никель, қалайы және т.б.) пайдаланылатын металдардың басым бөлігі ауырларға жатады.

*Коррозияға төзімділік* - бұл сыртқы факторлардың әсерінен металдарды жоюға қарсы тұру қабілеті. Ауа, ылғалдың және басқа да факторлардың әсерінен металдардың беті уақытты тотықтырады, бұл металды бұзады. Металдардың қирауы қышқылдар мен сілтілердің әсерінен, масштабтың пайда болуына байланысты илектеу барысында орын алады. Сыртқы ортадағы химиялық немесе электрохимиялық өзара әрекеттесу нәтижесінде металдарды жою үрдісі *коррозия* деп аталады.

Жоғары температура кезінде металдарға тоттануға төзімділік беру және қышқылдар мен шелаттарға төзімділікті қамтамасыз ету үшін құрамына қоспалаушы қоспалар қосылады.

### 3.2.5. Технологиялық қасиеттері

Технологиялық қасиеттер материалдың физика-химиялық қасиеттерінің жиынтығымен анықталады. Материалдың қасиеттерін анықтау үшін тиісті зертханалық зерттеулер жүргізіледі.

Технологиялық сипаттамалары машинаның қолайлылығын, өңделуін, құю қасиеттерін, пісіру мүмкіндігін және басқаларды қамтиды.

Кесу арқылы кесу өңделетін материалдардың сапасының

көрсеткіштері, өңделмеген бетінің кедір-бұдырлығы мен дәлдігін сипаттайды; кесуге кедергі; құралдың қызмет мерзімі. Сапа көрсеткіштері өңделген үлгісін стандартты салыстыру арқылы анықталады.

Пластикалық деформацияға арналған материалдарды сынау кезінде қысымның өңделуі мүмкін. Қысымның өзгергіштігін бағалау әдістері материалдардың түріне және оларды өңдеу технологиясына байланысты. Мысалы, парақтар мен таспалар экструзия үшін сыналады, ұзын өнімдер - шөгу үшін. Ұнтақ материалдарының жұмыс қабілеті сұйықтық, формалылық және шөгуімен сипатталады. Материалдың құю қасиеттері - балқытылған материалдарды құйып құю арқылы кастинг қалыптастыруды сипаттайтын техникалық көрсеткіштер жиынтығы. Материалдардың құю қасиеттері сұйықтық, кристаллдану және кеуіп қалған шөгуімен анықталады.

Сұйықтық ағымы - балқытылған металды құйып алу мүмкіндігін береді. кристаллдану деп аталатын аморфты немесе кристаллды күйде заттың балку, шешім немесе газ фазасындағы жылғы кристаллдардың қалыптастыру және өсуі.

Металл сұйық күйден қатты күйге өтсе, балқыттың көлемі азаяды. Металлдардың бұл қасиеті кеуекті шөгу деп аталады. Шөгу - сызықты немесе көлемді. Дәнекерленген қосылыстардың сапасы сыртқы көріністе, сондай-ақ дәнекерленген үлгілерді сынау нәтижелері бойынша бағаланады. Микросхема корпусын дайындау үшін пайдаланылатын материалдар тек күшті емес, сондай-ақ герметикалық дәнекерленген буындарды да қалыптастыруы керек.

### **3.3 Өткізгіштігі жоғары материалдар**

Жоғары өткізгіштікке ие материалдар үшін келесі талаптар орындалады:

- меншікті электр кедергісінің минималды мәні;
- жеткілікті жоғары механикалық қасиеттер (негізінен, созылу кезіндегі беріктік шегі және үзілу кезіндегі салыстырмалы ұзаруы);
- кішкентай және орта қима сымдарын дайындау үшін қажетті оңай өңдеу қабілеті;
- дәнекерлеу және сымдарды жалғастырудың басқа әдістерін пайдалану кезінде шағын өтпелі кедергісі бар байланыстарды қалыптастыру мүмкіндігі;
- тоттығуға төзімділігі.

Негізгі талап материалдың максималды өткізгіштігі болып

табылады. Дегенмен, металлдың электр өткізгіштігі ластаушы заттардың салдарынан төмендеуі мүмкін, мортанбалау немесе сызу кезінде пайда болатын металлдың деформациясы, бұл металлдың жекелеген дәндерінің жойылуына әкеледі. Металлдағы ақаулар саны азайғанда және металл кристаллдарының орташа мөлшері артқанда, металл деформациясы оның электр өткізгіштігіне әсері жасып қалғанда жойылады. Осыған байланысты өткізгіштік материалдар негізінен жасытылған (жұмсақ) жағдайда қолданылады.

Радиоэлектроникада қолданылатын ең кең таралған жоғары өткізгіштік материалдар - бұл таза формаларда қолданылатын түсті металлдар (мыс, алюминий, мырыш, қалайы, магний, қорғасын) және қара металлдар (темір). Бұл металлдардың қорытпалары кеңінен қолданылады, өйткені олар жақсы қасиеттерге ие және таза металлдарға қарағанда арзанырақ. Алайда, түсті металлдарды мен олардың қорытпаларын шойын мен болатты қолдану арқылы барлық қажетті қасиеттерді алу мүмкін емес жағдайда пайдалану экономикалық мақсатқа сай.

Түсті қорытпалардың қасиеттерін жақсарту үшін термоөңдеуге ұшырайды: жасытуға, суаруға және ескеруіне. Жасыту материалдың жұмсақтығына әсер етеді және құюдағы кернеулерді азайтады. Суару және ескеру металлдың механикалық қасиеттерін көтереді.

### 3.3.1. Мыс және оның қорытпалары

**Мыс.** Мыс (Cu) жоғары өткізгіштігінің ең көп таралған материалдарының бірі болып табылады. Ол аз меншікті электрлік кедергісіне ие (барлық металлдардан мысқа қарағанда тек күмісте бірнеше пайызға төмен электрлік қарсылығы бар); жоғары механикалық беріктілігімен; тоттануға төзімділігімен (тіпті ауа ылғалдығы жоғары болған жағдайда, мыс темірден әлдеқайда баяу тотықтырады; мыстың қарқынды тотығуы тек қана жоғары температураларда болады); жақсы дәнекерлілігімен және пісірімдеуімен; жақсы өңделіп шығуымен (мыс лентаға оралады және сымға созылады).

#### Мыс сымының қасиеттері

Маркасы .....	МТ	ММ
Тығыздығы D, кг/м <sup>3</sup> .....	8,96 · 10 <sup>3</sup>	8,90 · 10 <sup>3</sup>
Меншікті электр кедергісі ρ, мОм·м, артық емес .....	0,0179...0,0182	0,0175
Созылу кезіндегі беріктілік шегі σ <sub>p</sub> , МПа, кем емес .....	360.390	360.390

Мысты көбіне сульфидті кендерді қайта өңдеу нәтижесінде алады. Қоспалар мыстың электр өткізгіштігін төмендетеді. Олардың ең зияндысы - фосфор, темір, күкірт, күшән. Фосфор құрамы шамамен 0,1% мыс қарсылығын 55%-ға арттырады. Күмістің, мырыштың, кадмийдің қоспалары қарсылықтың 1...5% артуына әкеледі.

Сондықтан электрлік мақсаттарға арналған мыс электролиттік тазартылуы керек. Қажетті көлденең қиманың өнімдерін жасайтын электролиз нәтижесінде алынатын мыс катодтық тақталарын салмағы 80...90 кг кесектерге балқытылады.

Сым жасау үшін, алдымен қаптамалар қажетті диаметрі 6,5...7,2 мм болатын таяқшаға ыстықтай жылжиды, содан кейін қыздырусыз созылады, қажет қиманың сымына ие болады.

Сым өткізгіштің материалы ретінде М1 және М0 мыс маркалары қолданылады. М1 мыс маркасы құрамында 99,9% мыс, құрамында 0,1% қоспасыз, оттегінің жалпы мөлшерінде 0,08% артық болмауы керек. М0 маркалары құрамында 0,02% артық емес қоспалар, соның ішінде оттегі - 0,02% артық емес. Төменгі оттегінің құрамына байланысты М0 мыс маркасы М1 мысынан жақсы механикалық қасиеттерге ие. Вакуумдық индукциялық пештерде балқытылған тіпті таза өткізгіш металл, (0,01% артық емес қоспалар) вакуумдық МБ мыс болып табылады.

Суық сығымдау кезінде қатты созылғыш мыс (МТ) алынады, ол жоғары беріктікке, қаттылыққа және икемділікке ие (қайнатылған кезде, қатты мыстан жасалынған сым біршама серпіледі).

Қатты мысты (байланыс сымдар үшін, 0,2 мм дейін диаметрі машиналар, өндіру толқын жүргізгіштер, қалқандар, өткізгіш сымдар кабельдер мен сымдар электр коммутациялық шина жинаушы нөмірлер) жоғары механикалық беріктігі, қаттылығы мен тозуға төзімділігін қамтамасыз ету үшін қажет болған жағдайларда қолданады.

Кейінгі салқындату арқылы бірнеше жүз градусқа дейін (мыс шамамен 270° С температурасында қайта кристаллданады) жасытылынып болғаннан кейін жұмсақ (жабылған) мыс (ММ) алынады.

Жұмсақ мыста жез мысқа қарағанда 3,5% жоғары өткізгіштігі бар.

Жұмсақ жасытылған мыс электртехникалық стандартқа қызмет етеді, оған қатысты металлдар мен қорытпалардың нақты электрөткізгіштігі қоршаған ортаның 20 °С температурасында көрсетіледі. Мұндай мыстың электр өткізгіштігі  $TK\rho = 4,3 \cdot 10^{-3} K^{-1}$  мәнінде тиісінше 58 мкм / м, тиісінше  $\rho = 0,017$  мкОм·м.

---

<sup>1</sup> Электролиз - тікелей ток өткізген кезде заттың ыдырауы. Өнеркәсіпте көптеген металлдар электролиз арқылы өндіріледі.

Жұқа мыс иілгіштігі мен икемділігі маңызды (иілім кезінде «серіппенің» болмауы) жерде, фольганы және дөңгелек және тікбұрышты көлденеу қиманың өткізгіштерін өндіру үшін кеңінен пайдаланылады, ал күші үлкен мәнге ие емес. Мыстың арнайы электровакуумдық түрлерінен қуатты генераторлық шамдардың анодтары, микротолқынды қондырғылардың бөліктері (магнетрлер, клистондар, волновидтердің жекелеген түрлері және т.б.) жасалады.

Мыс — салыстырмалы түрде қымбат және тапшы материал, сондықтан ол аз жұмсалуға тиіс. Электр қондырғыларынан алынған мыс қалдықтары басқа металлдармен және таза мысмен араластырмай, оларды ерітіп және қайта пайдалануға болады. Кейбір жағдайларда мыс өткізгіш материал ретінде басқа металлдармен, көбінесе алюминиймен ауыстырылады.

Егер өткізгіш материал жоғары өткізгіштігін ғана емес, сонымен қатар механикалық беріктігі, коррозияға төзімділігі мен абразивті кедергісін арттыратын болса, онда аз қоспаның мөлшері бар мыс қорытпалары қолданылады.

**Қола.** Қалайы, алюминий, кремний, бериллий және басқа да элементтердің қосындылары бар мыс қорытпалары, олардың арасындағы мырыш негізгі легирленген элементі болып табылмайтын қорытпа қола деп аталады (3.3-кесте). Дұрыс таңдалған құрам кезінде, қоланың таза мысқа қарағанда механикалық қасиеттері айтарлықтай жоғары (қола күшінің мәндері 800 ... 1200 МПа немесе одан көп болуы мүмкін).

Кесте 3.3. Кейбір өткізгіш қолалардың негізгі қасиеттері

Параметр	Кадмий қоласы	Бериллий қоласы	Фосфор қоласы
Электротехникалық стандарттарға қатысты меншікті электрлік өткізгіштік, %	95/90	37/30	(10.15)/ (10.15)
Созылу кезіндегі беріктік шегі $\sigma_c$ , МПа	310/730 дейін	(700...790)/ (1620...1750)	400/970
Үзілу кезіндегі салыстырмалы ұзару $\Delta l / l$ %	50/4	20/9	50/3

Ескерту: 1. Кадмий қоласының құрамы: 0,9 % кадмий (Cd), қалғаны — мыс(Cu); бериллий қоласы: 2,25 % бериллий (Be), қалғаны — мыс (Cu); фосфор қоласы: 0,1 % фосфор (P), 7 % қалайы (Sn), қалғаны — мыс (Cu).

2. Алымда жасытылған, ал бөлгіште-қатты созылатын жез үшін деректер көрсетілген.

Қола шойын мен құрышқа қарағанда қола аз көлемді шөгуге

(0,6,0,8%) ие, онда шөгү 1,5.2.5% жетеді, сондықтан ең күрделі бөліктер қоладан құйылады. Қола Вг (қола) әріптерімен белгіленеді, содан кейін қосымшаларының түрі мен саны көрсетілген әріптер қойылады. Мысалы: бериллий қоласы Бр.В2 (2% бериллий (Be), қалғаны— мыс (Cu)); фосфор қоласы Бр.ОФ 6,5-0,15 (6,5 % қалайы (Sn); 0,15 % фосфор (P); қалғаны — мыс (Cu)).

Кадмийді мысқа енгізу механикалық беріктігі мен салыстырмалы төмен электрлік өткізгіштігімен қаттылығын айтарлықтай арттырады.

К а д м и й қ о л а с ы МК (0,9% кадмий (Cd), қалғаны - мыс (Cu)) айрықша сыни пайдаланудағы байланыстағы сымдар мен коллекторлар үшін пайдаланылады, сондай-ақ байланыс дәнекерлеу әдісімен дәнекерлеу электродтары үшін.

Кадмий қоласына қарағанда, қалыңдығы, механикалық төзімділігі, қаттылығы және қарсылылығы көбірек ( $\sigma_c$  созылу кезіндегі беріктілік шегі - 1350 МПа дейін) бериллий қоласы, өзінің қасиеттерін 250° С температураға дейін өзгертпейді. Ол электр аспаптары, щетка ұстаушылар, ток сүңгімелі және жылжымалы контактілер үшін жетекші жауапты серіппелер өндірісінде пайдаланылады.

Фосфор қоласы Бр.ОФ 6,5-0,15(6,5% қалайы (Sn); 0,15% фосфор (P); қалғаны-мыс (Cu)) төмен электроөткізгішпен ерекшеленеді. Одан электрлік аспаптарда әртүрлі төмен эквивалентті ток өткізетін серіппелер шығарылады.

**Жездер.** Жез бұл қола қорытпалары, негізгі қоспалауыш элементі мырыш (Zn) (43 %) болып табылады.

### Кейбір жездердің негізгі қасиеттері

Қорытпа және оның құрамы .....	Л68	Л59-1
	(68% Cu, 32% Zn)	(59% Cu, 1% Pb, 40% Zn)
Электротехникалық стандарттарға қатысты меншікті электрлік өткізгіштігі, %	46/30	30/20
Созылу кезіндегі беріктік шегі $\sigma_c$ , МПа .....	380/880	350/450
Үзілу кезіндегі салыстырмалы ұзару $\Delta l/l$ , % .....	65/5	25/5

Ескерту. Алымда жасытылған, ал бөлгіште-қатты созылатын жез үшін деректер көрсетілген.

Жездер қолаға қарағанда мықты, созылымды, таза мысқа қарағанда, созылу кезінде жоғары беріктігіндегі жеткілікті жоғары салыстырмалы ұзартуға ие.

Олардың арзан құны бар, өйткені олардың құрамына кіретін мырыш мыстан әлдеқайда арзан кейде тотығуға төзімділігін арттыру үшін алюминий, никель және марганец аз мөлшерде

қорытпаға енгізіледі.

Жез жақсы қалыпталады және терең сығындыға (термобиметаллдық реле, контурлық экрандар, ауыспалы сыйымдылықтың ауаның конденсаторларының тақталары, радиобелгілердің қақпақтары) оңай ұшырайды.

Күрделі жездері маркаларының белгілерінде Л (жез белгісі) қоспалауыш элементі бар болуын көрсететін әріптер қойылады, мысалы : ЛС59-1 (59 % мыс (Cu), 1 % қорғасын (Pb), қалғаны — мырыш (Zn)).

### 3.3.2. Алюминий және оның қорытпалары

**Алюминий.** Алюминий (Al) жеңіл металлдар құрамына кіреді (плотность литого алюминия — около 2600, прокатанного — 2700 кг/м<sup>3</sup>).

Алюминийдің меншікті электрлік кедергісі (0,05 % артық емес қосындылардың құрамы кезінде) мысқа қарағанда 1,63 есе көп, сондықтан мысты алюминиймен ауыстыру көбіне мүкін емес, әсіресе радиоэлектроникада. Алюминий мысқа қарағанда 3,5 есе жеңіл. Алюминийдің жылу мен балқыту қызуының жоғары болуына байланысты, алюминий сымын балқыту алдында қыздыруға және балқытуға қарағанда әлдеқайда көп энергия талап етеді. Тіпті алюминий мен мыстың құны бірдей болса да, алюминий сымының құны шамамен екі есе төмен, алайда оқшауланған сымдарды шығаруға арналған алюминийді пайдалану, көбінесе оқшаулау шығындарынан тиімді емес. Ауадағы алюминий тотығымен белсендірілген және үлкен электр кедергісі бар жұқа оксиді пленкамен жабылады, ол алюминийді одан әрі коррозиядан қорғайды, бірақ алюминий сымдарының байланыстыру жерлерінде үлкен өтпелі кедергі жасайды. Алюминий қолаға қарағанда тапшы.

Алюминийдің өткізгіш материал ретінде маңызды кемшілігі оның алюминий механикалық өңдеуге ұшыраған механикалық беріктігінің төмендігі болып табылады. Алюминийді жұқарту, созу және жасыту мысқа арналған тиісті операцияларға ұқсас. Қоспалар алюминийдің өткізгіштігін айтарлықтай төмендетеді.

А999 және А995 маркаларының жоғары тазалық алюминий (0,001...0,01% артық емес қоспалар) электролиттік конденсаторлардың анодтық және катодты фольгаларын және жұқа пленкаларды өндіруге арналған микроэлектроникада қолданылады.

Электролиттік конденсаторлар, стационарлық және роторлы ауа конденсаторларының корпустарында таза алюминийден жасалған А97 және А95 (0,03% артық емес қоспалар) алюминий маркалары қолданылады. Алюминий фольгасы мен лентасынан радиожиліктегі коаксиалды кабельдердің экрандары жасалады.

Өнеркәсіп мынадай маркалардың алюминий сымын шығарады:



АТП — қатты, беріктілігі жоғары; АТ — қатты; АПТ — жартылай қатты; АМ — жұмсақ.

### Алюминий сымының негізгі қасиеттері

Алюминий маркасы .....	АТ	АМ
Тығыздылығы $D$ , кг/м <sup>3</sup> .....	2600...2700	600...2700
Меншікті электрлік кедергісі $\rho$ , мкОм·м, артық емес. ....	0,0295	0,0290
Созылу кезіндегі беріктік шегі $\sigma_c$ , МПа, кем емес .....	160...170	80
Үзілу кезіндегі салыстырмалы ұзару $\Delta l/l$ , % ...	1,5.2,0	10...18

Сымның қаттылығы азайған сайын, созылу күшінің шегі 1,9-дан 2,7 есеге дейін төмендейді. Алюминий сымының беріктігінің  $\sigma_p$  максималды мәні мыс сымына сәйкес мәндерінен екі есе асады. Механикалық беріктігі төмен болғандықтан, алюминий сымдарының дұрыс жұмыс істеуі келесі шарттармен байланысты: оларды мыс сымымен бұрауға, беті ластанған қатты жерге сүйрелуге болмайды.

**Алюминий қорытпалары.** Альдрей қорытпасы (0,3...0,5% (Cu) мыс; 0,4...0,7% кремний (Si); 0,2...0,3% темір); қалғаны — алюминий (Al)) қатты мысқа ( $\sigma_c = 350$  МПа) жақындаған кезде механикалық беріктігі жоғары (алюминийден екі есе күшті) болады; таза алюминиймен салыстырғанда тербеліс беріктігінің жоғары шегіне ие; қорытпа таза алюминийдің жеңілдігін сақтайды және оған электр төзімділік жақын ( $\rho = 0,0317$  мкОм·м). Ол төмен жүктелген электр желілерінің сымдарын дайындау үшін қолданылады.

Магналий (алюминий мен магнийдің қорытпасы) төмен беріктілігімен ерекшеленеді. Ол әр түрлі электр-радиотехникалық құрылғылардың көрсеткілерін жасау үшін қолданылады.

Силумин кремний, мыс және марганецтің құрамдас бөлігі бар құйылатын құймалары тобына жатады. Ол алюминийге қарағанда жақсы ағымды, төмен шөгуге, үлкен тығыздыққа және күшейтілген беріктікке ие және ауа конденсаторларының қаптамаларын өндіру үшін кеңінен қолданылады.

Дюраль алюминийдің деформацияланатын қорытпалары мыс, магний және марганецке тиесілі. Мыс пен магний қорытпаның механикалық қасиеттерін жақсартады, ал марганец коррозия қорытпаларымен салыстырғанда жеткіліксіз болып келетін қаттылық пен коррозияға төзімділікті арттырады. Коррозиядан қорғау үшін ол лакпен, бояулармен немесе алюминий қабатымен жабылған.

Дюральдің белгілерінде Д әріптерінен кейін, қоспалауыш

элементтерінің бар болуын көрсететір сандар қойылады, мысалы : Д1 (3,8 % мыс (Cu); 0,4...0,8 % магний (Mg), марганец (Mn)).

### 3.3.3. Темір және оның қорытпалары

**Темір.** Темір (Fe) мыс пен алюминийден ( $\rho \approx 0,1$  мкОм·м) қарағанда электрлік қарсылығын жоғарлатады, бұл темірді өткізгіш материал ретінде пайдалану мүмкіндігін шектейді: арнайы электр кедергісі ТК<sub>p</sub> жоғары температура коэффициенті; жоғары механикалық беріктігі; материалдардың төмен құны мен қолжетімділігі; жоғары магнитті өткізгіштігі және жоғары қанықтыру индукциясы; (барлық металл кесетін машиналарда жақсы бөлшектенеді және өңделеді).

Темір ыстыққа төзімді қорытпаларды және темір құрамды компонент ретінде кіретін жоғары кедергісі бар қорытпаларды әзірлеу кезінде қолданылады. Ол сондай-ақ электрвакуумдарда анодтар үшін материал ретінде, экрандар мен 500° С дейінгі температурада жұмыс істейтін басқа элементтерде қолданылады. Ферромагниттік материал ретінде темір магнит материалдарының негізгі және арзан компоненті болып табылады. Электрлік кедергісі төмен болғандықтан, темір тұрақты магниттік өрістерде пайдалануға арналған өнімдерді өндіру үшін қолданылады.

**Болат.** 0.05% дейін көміртегі бар темір-көміртекті қорытпаларды техникалық темір деп атаймыз, көміртегі мөлшері 0,05...1,35% - болаттар, ал көміртегі 2% -дан жоғары - шойыннан жоғары болып табылады.

Көміртегіден басқа, темір-көміртекті қорытпалар әрдайым кремний, марганец, күкірт және фосфор қоспаларын қамтиды. Көміртекті болат құрылымын мен қасиеттерін анықтайды. Көміртектің мөлшері артып, қаттылық жоғарылайды және тұтқырлық, жылу және электр өткізгіштігі азаяды.

Шойынмен салыстырғанда болат жоғары физикалық және механикалық қасиеттерге ие. Ол шойыннан берік және созылымды, жақсы өңделеді, соғылады және илемделеді.

Көміртекті болатта, көміртегі негізгі қоспасынан басқа әрқашан тұрақты қоспалар бар: кремний (Si) (0,1...0,37 %); марганец (Mn) (0,2...0,8 %); күкірт (S) (0,03...0,06 %); фосфор (P) (0,03...0,07%).

Кремний қыштың ішіндегі көпіршіктерді жоюға көмектеседі, қаттылықты, бөртпе төзімділігін және болаттың серпімді қасиеттерін арттырады.

Марганец болаттың және жырықтарының төзімділігін

арттырады, ұзартуды азайтады және болаттың дәнекерлілігін азайтады.

Күкірт - бұл зиянды қоспа. Рұқсат етілгеннен артық мөлшерде күкірттің болуы, илемділікті және тотығуға төзімділікті төмендетеді, өнімдердің тозуын жоғарылатады. Фосфор да зиянды қоспа болып табылады. Оның артуы әдеттегі температурадағы болатқа қатты әсер етеді және соққы деформациясының кезінде жарықтар пайда болуы механикалық қасиеттердің бұзылуына әкеліп соғады.

Болаттағы оттегі әдетте пайыздың мыңыншы үлесінде болады.

Күкірт қышқылының мөлшері артып келе жатқанда, болаттың беріктігі артады.

Белгілеу бойынша көміртекті болат құрылымдық және құрама болатқа бөлінеді. Құрылымдық болаттар машина бөлшектері мен механизмдерін өндіру үшін қолданылады. Жартылай өткізгіш аспаптар өндірісі үшін қалыңдығы 0,05-тен 2,5 мм-ге дейін және ені 400 мм-ге дейін таспалар түрінде төмен көміртекті болат пайдаланылады.

Төмен көміртекті болаттардың белгілерінде «Болат» деген сөзден кейін көміртектің мазмұнын көрсететін сан бар. Мысалы: Болат 10 (көміртегі мөлшері - 0,1%).

Құрамында арнайы қоспалар бар болаттар *қосындылынған* деп аталады. Хром (Х), молибден (М), вольфрам (В), ванадий (Ф), титан никель (Н) сияқты қоспалаушы элементтердің бар болуы, болаттардың қаттылығын және беріктігін едәуір икемділік пен тұтқырлығын арттырады, тотығуға төзімділікті, қышқылға төзімділікті және бірқатар басқа қасиеттерді жақсартады.

### **3.3.4. Натрий**

Натрий (Na) перспективалы өткізгіш материалдардарға кіреді. Ол мысқа карағанда 2,8 есе жоғары, алюминийден 1,7 есе жоғары арнайы электр кедергісі бар; тығыздығы төмен, (ол судан жеңіл, оның тығыздығы мыс тығыздығынан тоғыз есе аз), сондықтаннатрийден өткізілген өткізгіштер әдеттегі температурада бірлік ұзындығына сәйкес өткізгіштегі басқа металлдардың сымдарынан әлдеқайда жеңіл. Натрий химиялық белсенді (ауадағы қарқынды тотығады және сумен күшпен әрекет етеді); жұмсақ; беріктік және басқа да деформацияларға ие.

Натрий сымдары пластикалық (полиэтилен) қаптамаларда тығыздалады, бұл олардың механикалық беріктігін арттырады және электр оқшаулауын жасайды.

### 3.4 Жоғары кедергісі бар материалдар

Жоғары беріктікке ие материалдар ретінде қатты қоспа ерітінділері, металл және көміртекті қабықшалар, өткізгіш композициялар сияқты металл материалдар қолданылады.

Мақсаты бойынша жоғары төзімді материалдар өткізгіш резистивті материалдарға, пленкалардың резистивті материалдарына, термопарктерге арналған материалдарға бөлінеді.

#### 3.4.1. Өткізгіш резистивтік материалдар

Өткізгіштік резистивтік материалдар сымдық резисторларға (манганин, константана) және электр қыздырғыш элементтеріне (нихром, фехраль, хром) арналған материалдарға бөлінеді.

**Сымға төзімді материалдар.** Бұл материалдар мынадай талаптарға сәйкес келеді:

- меншікті электр кедергісі қалыпты температурада 0,3 мкм • м кем емес және уақыт өте келе оның тұрақтылығының жоғары болуы;
- мыс қорытпасындағы жұп қорытпадағы термоэлектрлік қуаттың төмен температуралық коэффициенті;
- ТКр арнайы электр кедергісі төмен температуралық коэффициенті;
- технологиялығы.

Жоғары өткізгіштікпен (таза металлдармен) ерекшеленетін материалдардан айырмашылығы, резистивтік материалдар негізінен металлдардың қатты ерітінділеріне тән айтарлықтай деформацияланған кристаллдық тормен негізделген қорытпалар болып табылады. Түрлі мақсаттар үшін пленка резисторларын дайындау үшін қолданылатын түрлі диаметрлер сымдарын алу үшін мыс пен никель негізіндегі қорытпалар кеңінен қолданылады. Осы қорытпалардың ең маңызды электрлік сипаттамалары мыс пен никельдің пайызына байланысты.

**Манганин** (*лат.manganum*) — салыстырмалы түрде пластикалық қорытпа, марганецтің құрамына байланысты оның атауын алды. Оның шамамен құрамы: мыс (Cu) - 85% (мыстың көп мөлшері қорытпаның сарғыш түске ие болуын қамтамасыз етеді);

марганец (Mn) - 12%; никель (Ni) - 3%. Жоғары кедергісі бар өткізгіш қорытпалардың негізгі қасиеттері 3.4.кестесінде келтірілген.

Кесте 3.4. Жоғары кедергісі бар өткізгіш қорытпалардың негізгі қасиеттері

Параметрі	Манганин	Константан	Нихром
Тығыздығы $D$ , кг/м <sup>3</sup>	8400	8900	8200...8300
Меншікті электрлік кедергісі $\rho$ , мкОм · м	0,42...0,48	0,48...0,52	1,1...1,2
Меншікті электрлік кедергісінің температуралық коэффициенті $TK\rho$ , К <sup>-1</sup>	$(6.50) \cdot 10^{-6}$	$-(5.25) \cdot 10^{-6}$	$(100.200) \cdot 10^{-6}$
термо- ЭДС мыспен жұптасуының коэффициенті $\alpha$ , мкВ/К	1...2	45...55	—
Созылу кезіндегі беріктік шегі $\sigma_c$ , МПа	450...600	—	650...700
Үзілу кезіндегі $\Delta l/l$ , %	15...30	20...40	25...30
Жұмыс температурасы $T_{жұм}$ , °С	200	400	1000

Тұрақты электр кедергісінің температуралық коэффициентінің шамалы мәнін қамтамасыз ету. Температураның коэффициентінің төмен мәні  $TK\rho$  электр кедергісі және электр кедергісі коэффициентінің тұрақтылығы үшін манганинді вакуумдағы температурада 550...600° С температурада 10 сағ ішінде каталандырады, содан кейін баяу салқындатады. Кейде катализденген катушкаларды қосымша 200° С температурасында жасытады.

Мангинді илемдеуден және созғаннан кейін диаметрі 0,02 мм-ге дейін сым алуға болады. 60° С температурасында манганин сымының тотығуы басталып, ол жоғары электр оқшаулау қасиеттеріне ие, шыныдан оқшаулауға, жылу мен ылғалға төзімділікті арттырады.

Микротолқын миниатюралық дәлдік элементтерін жоғары дәлдіктегі дәлме резисторларды қоса алғанда құру үшін

пайдаланылады,

Манганиннің микротолқынды кемшіліктеріне мыналар жатады: шыны оқшаулауының әлсіздігі, сипаттамалардың төмен қалпына келу қабілеті және икемділіктің төмендеуі.

Константан температураның өзгеруіне байланысты белгілі бір электр кедергісі  $\rho$  коэффициентінің жоғары тұрақтылығы үшін (константа) өз атын алған, никель мен мыстың қатты ерітіндісін айтады. Константа үшін зиянды қоспасы күкірт болып табылады, ол төмен балқыту температурасымен никельден эвтетиканы құрайды. Осыған байланысты балкытылған компоненттердің дәндері арасындағы байланыс бұзылады және құймаларды сымға өңдеу мүмкін емес болады. Эвектик кристалларалық коррозиясының дамуына ықпал етеді. Күкірттің зиянды әсерін жою үшін марганец қорытпа құрамына қосылады. Гомогенизациядан кейін тұрақты құйма құймалар илектеліп, тартылып, диаметрі 0,02 мм дейін сымға созылады. Константаның болжалды құрамы: мыс (Cu) — 58,5%; никель (Ni) — 40%; марганец (Mn) — 1,5%. Константаның негізгі қасиеттері 3.4. кестесінде көрсетілген.

Тұрақты константаның жылу қарқыны манганинге қарағанда жоғары, ұзаққа созылатын жұмыс үшін ең жоғарғы рұқсат етілген температура 500° С-қа дейін жетеді. Жоғары температураға дейін қызған кезде (шамамен 900° С) константана оксидпен оқшаулағыш пленканы қалыптастырады. Бұл реагенттерді, резисторларды және электрлі қыздыру элементтерін өндіру үшін константаны арнайы оқшаулаусыз пайдалануға мүмкіндік береді. Алайда, мыс константасы бар жұптастар салыстырмалы түрде жоғары термометрді жасайды, бұл тұрақты өлшеуіштерді дәл өлшеу тізбектерінде пайдалануды қиындатады. Бірақ константаның бұл қасиеті оны термобудыжасау үшін мыс немесе темірмен бірге пайдалануға мүмкіндік береді. Константан потенциалметрлерді шығару, резисторларды сөндіру үшін қолданылады.

Құрамында никельдің көп мөлшерде болуына байланысты жоғары құндылығы жоғары константаны пайдалану кедергі келтіреді.

#### **Электр қыздырғыш элементтеріне арналған материалдар.**

Бұл материалдар келесі талаптарға сәйкес келеді:

- меншікті электр кедергісінің жоғары коэффициенті  $\rho$ ;
- төзімді электрлік кедергінің төмен температуралық коэффициенті ТКр;
- ауада жоғары температурада (кейде 1000° С дейін және одан да жоғары) ұзақ уақыт жұмыс істеуі;
- технологиялылығы;
- компоненттердің төмен құны мен қол жетімділігі.

Темір, никель, хром және алюминий негізіндегі қорытпалар жылуға төзімді болып саналады. Осы қорытпалардың жоғары ыстыққа төзімділігі олардың құрамында ауадағы қыздырылған кезде

<sup>1</sup> Гомогенизация (*грек.* homogenes — біртекті) — біртекті құрылымды немесе металдардың, қорытпалардың, ерітінділердің және т.б. алу үрдісі.

Үздіксіз тотықты пленка құрайтын жеткілікті мөлшерде металлдардың құрамына енуіне байланысты жүзеге асырылады.

**Н и х р о м д а р** никель-хром (Ni—Cr) қатты ерітінділері немесе никель-хром-темірдің қосарлы қорытпасы (Ni—Cr—Fe). Темір жеңіл қышқылданады, ол жақсы жұмыс істеуі және төмен шығындарды қамтамасыз етеді, бірақ никель мен хромдан айырмашылығы, темір оңай тотығады, бұл қорытпаның ыстыққа төзімділігін төмендетеді. Хромның болуы оксидтерге жоғары балқығышты береді. ТК / осы қорытпалардың және олардың тотықты қабыршақтарының желілік кеңеюінің температуралық коэффициенттерінің жақындығы жоғары ауа температурасында хром-никель қорытпаларының кедергісін арттырады. Температураның күрт өзгеруі оксидтік пленкалардың жарылуына әкеліп соғады. Нәтижесінде ауаның оттегісі пайда болған жарықтарға еніп, тотығу процессін жалғастырады. Сондықтан, қысқа мерзімді ауысу кезінде, нихромдағы электр қыздырғыш элементі сол температурада үздіксіз жұмыс жағдайына қарағанда тезірек жанып кетеді. Түтікшелі қыздыру элементтерінің қызмет мерзімін ұзарту үшін, нихромды сым тотығуға төзімді металдан жасалған түтіктерге орналастырылады және жоғары жылу өткізгіштікпен (магnezий Mg) диэлектрлік ұнтақпен толтырылады. Мұндай қыздыру элементтері, мысалы, ұзақ уақыт бойы жұмыс істейтін электр жылытқыштарда қолданылады.

Нихромды сым сымдық резисторлар, потенциометрлер, дәнекерлеу үтіктерін, интегралды схемалардың түнгі резисторларының электр пештерін жасау үшін қолданылады.

Нихромды қорытпалардың еруі жоғары жиілікті вакуумдық пештерде жүзеге асырылады. Балқудан кейін алынған құймалар 12 мм-ге бүктелген, содан кейін сымдау станоктарында диаметрі 0,12 мм дейін сым шығарылады.

Константан секілді нихромдарда қымбат тұратын никель тапшылығы көп.

Хром және алюминий салыстырмалы түрде арзанырақ, хром және алюминий хош иістендіргіш қорытпалары **ф е х р а л ь ж ә н е х р о м а л ь** нихромға қарағанда әлдеқайда арзан.

Дегенмен, олардың технологиясы аз, қатты және сынғыш. Олар үлкен диаметрлі сымға ие және үлкенірек қимасы бар ленталар алынады, сондықтан олар жоғары электр қуаты мен электрлік пештердің электр жылытқыштарында қолданылады.

### **3.4.2. Қабыршақты резистік материалдар**

Резистивті материалдарды өздері шығаратын кезде шикізаттан қабыршақтардың резистивті материалдарынан алады

Мұндай резистивтік пленкалардың қасиеттері бастапқы

материалдардан айтарлықтай ерекшеленеді. Жінішке резистивтік қабыршақтар вакуумдағы жылу булану әдісімен окшаулайтын субстраттарға (субстраттарға) қолданылады; катодтық, реактивті және ион-плазмалық бүрку, электрохимиялық және химиялық тұндыру және т.б. Негіз ретінде шыны, керамика, ситал, поликор, ламинатталған пластик және т.б. қолданылады.

Қабыршақты резисторларын жасау үшін қолданылатын материалдарға келесі талаптар ұсынылады:

- ТРК-ға тән электр кедергісі төмен температуралық коэффициенті бар уақытқа тұрақты резисторлар жасау мүмкіндігі;
- түптөсемдерге жақсы жабысуы;
- жоғары коррозияға төзімділік және жоғары температураға ұзақ уақытқа төзімділік.

Бастапқы материалдарға байланысты қабыршақты резисторлар металл-қабыршақты және металл-оксидті, композициялы, көміртекті болып бөлінеді.

Металлқабыршақты және металлоксидті резисторларды өндіру үшін отқа төзімді металдар: тантал, титан, никель, хром, палладий, рений, вольфрам және олардың қорытпалары қолданылады.

Металлқабыршақты резисторлар, металдарға негізделген резистивті материалдардан жасалған, келесі қасиеттерге ие:

- жұқа резистивтік қабықшалардың қалыңдығы 1...10 мкм
- меншікті кедергісінің нақты мәндерінің артуы  $\rho_h$ ;
- беттік электр кедергісінің температуралық коэффициентінің төмен мәні  $TK_r$ ;
- нақты электр кедергісінің температуралық коэффициенті  $TK_r$  қалыңдығы бірнеше нанометрден кем қабыршақтардан теріс;
- ұсақ түйіршікті құрылым;
- қабыршақтардың нақты электрлік кедергісінің қалыңдығына байланысты және бастапқы материалдарға қарағанда үлкен.

Қабыршақтардың қалыңдығына және оларды қолдану шарттарына байланысты металл пленка резисторының параметрлерін кең ауқымда реттеуге болады. Титан және тантал резистивтік қабыршақтардың электр кедергісін арттыру үшін олар азот, оттегі немесе көміртегі атмосферасындағы реактивті шашырау арқылы қолданылады. бірдей циклдегі өткізгіш және диэлектрлік қабаттарды алу процесстерін сол материалды қолданып біріктіреді. Металл пленкаларды бетіне тотықтырған кезде, жақсы диэлектрлік қасиеттері бар титан және тантал оксидтері пайда болады.

Рений мен вольфрамнан жасалған қабыршақты резисторлар катодты шағылыстырумен жасалады және электр кедергісін



тұрақтандыру үшін диоксидакремнийдің жұқа қабатымен қорғалған.

Мұндай пленка резисторы келесі қасиеттерге ие: электр кедергісі - бетінің бір шаршы метріне бірнеше мың Ом; ТКР электр кедергісінің төмен температуралық коэффициенті; тотығуға жоғары қарсылық; Жоғары арнайы жүктемелерде және жоғары температурада жұмыс істеу мүмкіндігі.

Резистивті материалдар негізінде кремнийден тұратын, жоғары электрлік кедергісі, кремнийі бар металл сицилийді көпкомпонентті қорытпалар пайдаланылады. Меншікті электрлік кедергіні арттыру үшін лантаноид<sup>1</sup> 20% дейін жүзеге асырылады.

Ұнтақ түріндегі бастапқы материалдар мұқият араластырылынады және жылу вакуумдық тұндыру орнату буландырғышқа орналастырылады.

Булану кезінде лантанан тотығы мен кремний арасындағы реакция пайда болады, бұл лантанид  $LaSi_2$  силикидін және кремний тотығы  $SiO$ -нің (металлолизидімен бір мезгілде буланған) силикидті өндіруге әкеледі.

РС маркасындағы қорытпалар құрамында кремний және қоспалауыш<sup>2</sup> компоненттері (хром, никель, темір) бар. Олар бөлшектердің мөлшері 40...70 мкм болатын еркін ағынды ұнтақтар түрінде шығарылады және жұқа пленкаға, дәлдікке, жалпы мақсаттағы микросхемаларға арналған.

МЛТ маркасындағы қорытпалардың құрамында кремний, хром, темір, никель, алюминий, вольфрам бар және олардың кейбіреулері лантанидтер. Олар майда ұнтақтар түрінде шығарылады.

Керметтік резистивтік пленкаларда өткізгіш және диэлектрлік фаза бар. Бұл пленкалар хром, никель, темір және оксид ұнтақтарының ( $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Nd_2O_3$ ) қоспаларының вакуумды булануы арқылы сақталады. Резистивті пленкалардың негізгі қасиеттері осы компоненттердің арақатынасына байланысты. Керметтік резисторлар қасиеттердің біркелкілігіне және термиялық тұрақтылыққа ие.

Металлооксидті резисторлары жоғары термиялық тұрақтылыққа ие. Осындай резистивтік пленкалар өндірісі үшін ең көп пайдаланылатын  $SnO_2$  қалайы диоксиді негізіндегі материалдар болды. Кальций диоксиді қабаттарының оқшаулағыш субстраттарға тұндыруы  $SnCl_2$  және  $SnCl_4$  хлорлы қосылыстарынан химиялық түрде жүзеге асырылады.

---

<sup>1</sup> Лантаноидтар (лантан — *грек.* түр + *eidos*) — Лантанға арналған Д.И. Менделеевтің элементтерінің периодтық жүйесіндегі 14 химиялық элементтер.

<sup>2</sup> Қоспалауыш (*неміс* legieren — байланыстыру) — Металлға немесе металл қорытпасына кіретін басқа элемент

$\text{SnCl}_2$  кальций хлоры 720...730° С температурасында гидролиз<sup>1</sup> және нәтижесінде алынған булар бірдей температураға дейін қызған камераға енгізіледі. Камерада орналасқан оқшаулағыш субстраттардың бетінде  $\text{SnO}_2$  қалайы диоксидінің пленкасы пайда болады.

Қалайы диоксидінің қабықшалары жылу булануы арқылы біртіндеп артып келе жатқан температурада жылыту арқылы оқшаулайтын субстраттарға қолданылуы мүмкін.

Қалайы диоксидінің қабықшалары оқшаулайтын субстраттарға және жоғары қышқылға төзімділікті жақсы ұстайды.

Композициялық резисторлар органикалық немесе бейорганикалық байланыстағы металлдардың ұсақ дисперсті ұнтақтарының механикалық қоспалары және олардың қосындылары болып табылатын материалдардан дайындалады. Өткізгіш фазасы ретінде өткізгіштер (күміс, палладий ұнтағы) және жартылай өткізгіштер (күміс, палладий, кремний карбидтері, вольфрам) қолданылады. Байланыстырғыштар ретінде термопластикалық және термосетит полимерлер, ұнтақ шыны, бейорганикалық эмальдар қолданылады.

Органикалық байланыстары бар композициялар ылғалдылыққа және жоғары температураға ұшырайтын композициялық резистивтік пленкаларды құрайды. Композициялық резистивтік пленкалардың шектік жұмыс температурасы 150 °С жоғары емес.

Жоғары температурада герметизациядан кейін бейорганикалық байланыстырушы элементтері бар композициялар 350 °С температурада жоғары ылғалдылыққа және ыстыққа төзімді композитивті резистивтік пленкаларды құрайды. Алайда резисторлардың жоғарғы шегі төмендейді, сызықтық емес және ішкі шу ұлғаяды.

Композициялық резистивтік пленкалардың кемшіліктері ішкі шудың деңгейін, қарсылықтың жиіліктегі тәуелділігін және ұзартылған жүктеме кезінде қартаюын қамтиды.

Көміртектік резисторлар көміртекті өткізетін модификациясы түріндегі резистивтік материал: табиғи графит, көміртегі қара, пироликалық<sup>2</sup> көміртегі. Көміртектің резисторы - Пиролиз көміртегі көмірсутектерді жоғары температурада вакуумда немесе инертті газ ортасында ыдыратады. Пиролизға әдетте метан көмірсутектеріне ұшырайды, олар жоғары температураларда ыдыратуға қабілетті, пироликалық көміртектің оқшауланған субстраттарда пайда болуымен. Құрылымы мен қасиеттері бойынша пироликалық көміртегі графитке жақын.

---

<sup>1</sup> Гидролиз (*гр. hydor — су*) — түрлі заттар мен су арасындағы иондық алмасу реакциясы.

<sup>2</sup> Пиролиз (*гр. rug — от*) — Органикалық заттарды өңдеу оларды жоғары температурада ауаға жол бермей, олардың бөлінуімен бірге жылытады.

Пиролитикалық резистивтік көміртегі қабықшаларының келесі қасиеттері бар: қалыңдығы 6...10 см-ден көп емес; параметрлердің жоғары тұрақтылығы; Импульстік жүктемелерге төзімділік; шу деңгейі төмен; ТКр электр кедергісінің теріс температуралық коэффициенті; электр кедергісін қолданбалы кернеу мен жиіліктегі әлсіз тәуелділік; салыстырмалы түрде төмен құны.

### 3.4.3. Термоқұйықтарға арналған материалдар

Термоқұйықтар үшін таза металлдар мен жоғары электр кедергісі бар түрлі қорытпаларды қолданады.

Термоқұйықтарға арналған материалдар келесі сипаттамаларға сәйкес таңдалады:

- қосылыстың рұқсат етілген жұмыс температурасы  $T_{\text{кос}}$ ;
- меншікті электр кедергісінің коэффициенті  $\rho$ ;
- меншікті электр кедергісінің температуралық коэффициенті ТКр;
- коэффициент термоЭДС.

Термоқұйықтарды жасау үшін 3.5. кестесінде көрсетілген қорытпалар қолданылады.

**Кесте 3.5. Термоқұйықтарды жасау үшін қорытпалар сипаттамасы**

Параметрлер	Копель	Хромель	Платино-родий	Алюмель
Қорытпа құрамы	44 % Ni; 56 % Cu	90 % Ni; 10 % Cr	90 % Rt; 10 % Rh	95 % Ni; 5 % Al, Si, Rh
Меншікті электр кедергісінің коэффициенті $\rho$ , мкОм·м	0,465	0,66	0,19	0,305

Термоқұйықтар келесі температураларды өлшеу үшін пайдалануға болады: 350° С дейін - мыс-константан, мыс-копель; 600° С дейін - темір - константасы, темір - копель, хромель - копель; 900,1000° С-ге дейін - хромель-алюмель; 1600° С дейін - платинородий - платина. Криогендік температураны өлшеу үшін темір-алтын термоқұймасы қолданылуы мүмкін.

### 3.5 Түрлі қолданудың өткізгіш материалдары ен қорытпалары

Әртүрлі материалдардың өткізілуі және қорытпалары арнайы қасиеттері бар арнайы өткізгіш материалдар ретінде пайдаланылады, мысалы магнитті немесе жоғары рефракторлық немесе химиялық қарсылыққа ие материалдар.

#### 3.5.1 Қымбат металдар

Қымбат металдар тобы (күміс, платина, палладий, алтын) қоршаған орта жағдайына және агрессивтік (қышқылдар, сілтілер) әрекеттеріне ең үлкен химиялық төзімді металдар болып табылады.

Асыл металдардың негізгі қасиеттері 3.6. кестесінде келтірілген.

Күміс (Ag) - электрлік өткізгіш металл (қалыпты температура кезінде арнайы электр кедергісі  $\rho = 0,016$  мкм·м), ақ түсті жылтыр металл. Ол 20 мкм немесе одан кем диаметрі бар микротолқынды қоса алғанда, түрлі диаметрлі өткізгіштерді өнеркәсіптік түрде өндіруге мүмкіндік беретін жоғары механикалық қасиеттерге ие (созылу күші,  $\sigma_c = 200$  МПа, үзіліс кезінде  $\Delta l / l \approx 50\%$ ); өртегенде немесе шашыратқанда, диэлектриктерде күшті жабындарды

Кесте 3.6. Қымбат металдардың негізгі қасиеттері

Параметрлер	Ag	Pt	Pd	Au
Тығыздығы $D$ , кг/м <sup>3</sup>	10 490	21 400	12 200	19 320
Балку температурасы $T$ °C	960,8	1773,0	1554,5	1063,0
Меншікті электр кедергісі $\rho$ , мкОм·м	0,016	0,105	0,011	0,024
$K^1$ температуралық коэффициенті: кедергісі TCR сызықты кеңейту:	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$3,98 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
желілік кеңейту-ТК/	$19 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$12 \cdot 10^{-6}$	$14 \cdot 10^{-6}$

жоғары температура мен ылғалдылық кезінде күміс атомдары қалыптастырады; диэлектриктің ішкі бетіне және ішкі бөлігіне қоныс аударып, құрылғыға кедергі келтіреді.

Күмістің химиялық төзімділігі басқа асыл металлдардың төмен болып табылады. Бұл төзімді, палладий сияқты металл күміс қаптаманың немесе лак жұқа қабатын қорғау талап ететін, өсіп кедергісі бар жоғары өткізгіш сульфиды көбігін қалыптастырады. Күміс қысқа жабдықтау материалы болып табылады.

Микротолқынды құрылғыларды талап гальваникалық жабыны және сымдар монтаж баспа сызба платаларға жылы өткізгіш жұқа пленка, бойынша материал ретінде қорытпалар түрінде конденсаторлар өндірісінде қолданылады. Ол баяу балқытылмалы күмістің бөлігі болып табылады

Платина (Pt) - бұл оттегімен үйлеспейтін ашық сұр металл. Бұл (қышқылдарға төзімді) ең химиялық төзімді металл жоғары икемділік ие ( $\sigma_c \approx 150$  МПа кейін жасыту үзілуіне беріктік; ажырау кезіндегі салыстырмалы ұзаруы  $\Delta l/l = 30...32\%$ ). Сызықтық кеңею коэффициенттерінің жақындығынан механикалық өңделуге оңай, ол төменгі балқытатын шыныларға түйіспелер жасайды, бірақ өте жоғары құны бойынша сирек пайдаланылады.

Платинаны ( $1600^\circ \text{C}$  дейін) жоғары температура өлшеуге арналған платина жұптастырылған термодары өндіру үшін, қуат генераторы құбырлар торлар үшін материал ретінде пайдаланылады, өте жұқа жіп (диаметрі: шамамен 1 мкм) өндіруге қолайлы. Платина - жұмыс істейтін паста элементтерінің құрамдас бөлігі, олар жұмыстан шығарылған кезде, электродтар монолитті керамикалық конденсаторлар тақталарында шығарылады.

Палладий (Pd) —ақ пластикалық металл, платина қасиеттеріне жақын, кейбір жағдайларда оны алмастырғыш ретінде қызмет етеді. Жабылған күйде, кернеудің беріктігі бар,  $\sigma_c = 200$  МПа,  $\Delta l/l$  қатысты салыстырмалы шама күшіне 40% дейін.

Платтинді бірге палладий пастасын жағу арқылы керамика конденсаторларында электродтар алады. Палладий мен оның қорытпалары күміс және мысмен байланыс материалдары ретінде қолданылады. Сутегі үшін жоғары өткізгіштігінің арқасында ол сутек газарту үшін электрвакуум әдісінде қолданылады.

Алтын (Au) —қалыңдығы 0,08 мкм немесе одан кем (бұл адам шашынан 250 есе жұқа) алуға мүмкіндік беретін жоғары пластикамен (ұзарту  $\Delta l/l = 40\%$ ) сары металл. Алтынның бөлме температурасында күкірт қабатының пайда болуына, сондай-ақ жылу мен химиялық қарсылыққа қарсы коррозияға төзімділігі бар.

Алтын таза түрде және платина, күміс, никель, цирконий түрінде жоғары қаттылыққа, жақсы эрозияға және тотығу төзімділігіне ие болып келеді, оны жартылай өткізгіш және гибриді-интегралды схемалардың жұқа қабыршақтарын

вакуумдық тұндыру, микротолқынды электронды түтіктердің байланыс беттерін, микросхемалар корпусын бөлшектеу үшін контактілікбеттерді алтындау, кіші релдерді, фотоселе электродтарын жасау үшін қолданылады.

### 3.5.2 Қиын балқитын металлдар

Қиын балқитын металлдарға  $C \circ 1700$ -ден астам балқу нүктесі бар металлдар жатады. Қиын балқитын металлдар күшті өзара облигациялар бар және жоғары балқу ұпай, төмен жылу кеңейту, төмен жылу, қаттылығы бар. Олардың өнімі вакуум немесе инертті газбен жұмыс істейді, сондықтан, бұл металлдар, төмен температурада, әдетте, химиялық тұрақты, бірақ жоғары температурада белсенді атмосфераға өзара іс-қимыл және тез (хром қоспағанда) тотығады (AT2 аргон, азот N2 Al.). Қиын балқитын металлдардың механикалық өңделуі олардың жоғары қаттылығы және сынғыштығынан қиын болып келеді.

Қиын балқитын металлдар (вольфрам (W), рений (Re), молибден (Mo), тантал (Ta), титан (Ti), ниобий (Nb), цирконий (Zr), гафний (Hf)) электр вакуумдық технологиясында, өндірісте және микроэлектроникада жартылай өткізгіштер үшін пайдаланылады. Кейбір балқитын металлдардың негізгі қасиеттері 3.7-кестесінде көрсетілген.

Вольфрам (W) - вакуум технологиясында қолданылатын барлық таза металлдар арасында ТК / желілік кеңеюдің температуралық коэффициентінің ең төмен мәні, ең жоғары балқу нүктесі бар, ақ немесе күміс-ақ түсті металл. Ол қымбат және өңделуі қиын, сондықтан оны ауыстыруға болмайтын жерде ғана қолданылады. Вольфрам күрделі өңдеу нәтижесінде вольфрамит алынады.

Керемет кристаллды құрылымы бар салыстырмалы түрде вольфрамның қалың бұйымдары өте осал,

Ұсақ кристаллды құрылымы бар салыстырмалы түрде вольфрамның қалың бұйымдары жеке кристаллдардың жоғары беріктігінің, олардың арасындағы тіркесудің салдарынан өте осал болып келеді.

Соғу және созу арқылы жасалған металлдың талшықты құрылымы диаметрі 10 микроннан аз болуы мүмкін жұқа вольфрам филаментінің механикалық беріктігі мен икемділігін қамтамасыз етеді.

Қыздыру шамдарын талшықтарды өндіру үшін вольфрам пайдалану бірінші 1890 F. үшін орыс өнертапқыш А. Н.Лодыгин ұсынған болатын Бұл қасиет қиын балқитын шыны бар термиялық келісілген вольфрам айрығының өндірісінде пайдаланылады. Табиғатта вольфрам негізінен қалайы, молибден, висмут, күкірт,

**Кесте 3.7.** Кейбір қиын балкитын металдардың қасиеттері

Параметрлер	W	Re	Mo	Ta	Ti	Nb	Zr	Gf
Тығыздығы $D, \text{кг/м}^3$	19300	21400	10200	16600	4500	8500	6500	13 300
Балку температурасы $T_{\text{бал}}, ^\circ\text{C}$	3380	3180	2620	2970	1680	2415	1860	—
Меншікті электрлік кедергі $\rho, \text{мкОм}\cdot\text{м}$	0,055	0,21	0,057	0,135	0,42	0,18	0,41	—
Температуралық коэффициент, $\text{K}^{-1}$ :								
Меншікті электрлік кедергінің $\text{TK}\rho$	$46 \cdot 10^{-4}$	$32 \cdot 10^{-4}$	$46 \cdot 10^{-4}$	$38 \cdot 10^{-4}$	$44 \cdot 10^{-4}$	$30 \cdot 10^{-4}$	$45 \cdot 10^{-4}$	—
Сызықтық кеңеюдің $\text{TKI}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	—

мышьяк және мыс қоспасы бар екі минерал түрінде кездеседі. Вольфрам кендері байытылған. Қосындыларды одан әрі жою үшін алынған вольфрам концентраты кальцирленген және химиялық әдістермен байытылған. Вольфрам концентратынан металл вольфрамы және ферровольфрам (вольфраммен темір қорытпасы) шығарылады.

Вольфрамды қолданудың негізгі саласы - қыздыру шамдарын, қуатты генератор шамдарының тікелей және жанама жарқылдарының катодтарын, рентгендік түтіктерді, релелік контактілерді, түрлі материалдардың жұқа қабыршақтарын вакуумдық тұндыру үшін буландырғыштарды өндіру болып табылады. Вольфрам ұнтағымен негізделген жарылыс сыйымдылығының үлкен мәндері бар байланыстар үшін қолданылады.

Рений (Re) — тоттану төзімділігі жоғары ( $1000^{\circ}$  С дейін тотықтырмайды) және техникалық вакуумдық ортада жоғары температурада төмен буланушылығы бар сирек кездесетін жер металлы.

Табиғатта рений күкіртті минералдардағы қоспалар ретінде анықталады.

Рений оларды қызмет ету мерзімін ұзарту мақсатында вольфрам жіптерін жабу үшін қолданылады. жабын  $2000^{\circ}$  С дейін қыздырылған вольфрам сутегі атмосферасындағы ренийдің ұшпа қосылыстарын біріктіру арқылы қолданылады.

Молибден (Mo) екі реңкте болуы мүмкін. Мөлдір молибденнің сұр-болат түсі бар, ал ұнтақ - қара-сұр түсті. Оның қасиеттері бойынша ол вольфрамға жақын, бірақ ол шамамен екі есе аз. Отқа төзімді металлдардың ең төменгі электр кедергісі бар, рұқсат етілген жұмыс температурасы вольфрамнан төмен. Молибден тотығуы  $500^{\circ}$  С температурада басталады.

Молибден молибденит рудасы  $Mo_2S$  өндіріледі, ол вольфрам сияқты технологиямен сәйкес келеді.

Соққыға салынған және ұзартылған молибден құрылымы вольфрам құрылымына ұқсас. Дегенмен, жақсы жасатылған молибденнің иілгіштігі бар және оның өңделуі ерекше қиындықтарды тудырмайды.

20 молибден бар минералдар белгілі. Молибден кендері байытылған. Алынған концентрат ферромolibденді және молибден химиялық қосылыстарын өндіру үшін шикізат ретінде



қызмет етеді, оның ішінде молибден химиялық немесе электрлік пештерде өндіріледі.

Металл молибден генераторлық шамдардың анодтары мен торларын өндіру үшін қолданылады жоғары жиілікті және асқын жоғары жиілікті жартылай өткізгіш аспаптарда вольфрамды қыздырғыштарды қолдауға арналған ілгектер үшін, инертті ортадағы және вакуумдағы 2000° С дейінгі температураны өлшеуге арналған термопарктерді өндіруге арналған вольфраммен жұпталған үзік-үзік электрлік контактілер ретінде қолданылады.

Тантал (Ta) — бөлме температурасында және электровакуалды құрылғыдағы газдарды сіңіру қабілетін жақсы төзімділікпен, қаттылықпен, жоғары төзімділігімен ерекшеленетін сұр-ақ түсті өткізгіш металл. Вольфрам мен молибденнен айырмашылығы, тантал суық өңдеу мен дәнекерлеуге мүмкіндік береді. Электровакуалды құрылымдық материал ретінде ол 1200° С температураға дейін төтеп бере алады. Тантал калий флюоротанталатының электролизі арқылы алынады. Прокаттау арқылы электролиттік конденсаторлар үшін бірнеше микрон қалыңдығына арналған тантал фольгасын шығарады.

Титан (Ti) - сұр металл. Оның төмен температуралы (882 температурасына дейін °С бар) және жоғары температуралы (температура = 900° С) түрлендірілуі бар. Титанның тығыздығы төмен; төмен модулі (темір, никель қарағанда шамамен екі есе аз); жоғары механикалық беріктігіне; жоғары коррозияға төзімділігіне; (50 бастап...70° С сутегі сіңіреді; 400...500 астам ° С - оттегі; 600...700 °С - азот, көміртегі тотығы және көмірқышқыл газы) төмен антифрикционды қасиеттеріне ие (үйкелудің төмен коэффициенті).

Титанның тек 20...25° С температурасында ғана емес, сонымен қатар терең суықта (температураның 250° С-ға дейін көтерілуімен, созылу күші шамамен екі есе азаяды) жоғары беріктігі бар. Аргонмен имектеп және нүктелік пісірумен жақсы дәнекерленген (дәнекерлеу тігісі жақсы иілімділікке ие, дәнекерлеу беріктілігі - негізгі металлдың беріктігінің 90% құрайды). Ол балқытылған түрінде жоғары реакциялық қабілеті бар, сондықтан балқыту және доғалық дәнекерлеу кезінде вакуумда немесе инертті атмосферада газ пайдалануды талап етеді. Титан жақсы қысыммен өңделеді; кесуі нашар өңделген, аспапқа жабысады, соның нәтижесінде аспап тез тозады, сондықтан титанды өңдеу үшін тез кесілетін болат және қатты қорытпалар, үлкен берілістер кезіндегі кесудің төмен жылдамдықтары, қарқынды салқындату қажет.

Титанның механикалық қасиеттері титанның қоспаларынан

және аралық фазалардан тұратын қоспалардың, әсіресе сутегі, оттегі, азот және көмірдің болуына қатты тәуелді: гидридтар, оксидтар, нитридтар және карбидтар. Аз мөлшердегі оттегі, азот және көміртек қаттылықты, уақытша кедергісі және беріктікті арттырады. Дегенмен, икемділік айтарлықтай төмендейді, коррозияға төзімділік төмендейді, дәнекерлеу қабілеттілігі және қалыптаулығы нашарлайды, сондықтан бұл қоспалардың мазмұны титанға жүзден, ал кейде мыңдаған пайызбен шектеледі.

Титан құймалары алюминий, темір, хром, марганец, қалайы және басқа металлдармен титан қосындыларының нәтижесінде пайда болады. Олар төмен тығыздығы, жоғары коррозияға төзімділігі, беріктігі, ыстыққа төзімділігі, төмен құю қасиеттері, карбид құралымен кесу арқылы қанағаттанарлықтай өңделеді, аргонмен имектеп және байланыс дәнекерлеу арқылы пісіріледі. Кейбір титан қорытпалары термиялық өңдеу арқылы қатайтылады.

Техникалық титан өндірудің индустриялық әдісі одан кейінгі титанның тетрахлоридінен темір магнийге дейін төмендеуімен титан кенін байыту және хлорлаудан тұрады.

Алынған титан сығындысы вакуумдағы доғалы пештерде немесе инертті газдардың атмосферасындағы қысылған, синтетикалық немесе эпилацияланған ұнтаққа айналады. Техникалық титаннан басқа, йодты қосылыстардың жылу диссоциациясы<sup>1</sup>, сондай-ақ аймақты балқыту арқылы дайындалған йодты титан қолданылады.

Титан жоғары температурада жұмыс істейтін вакуумдық құрылғылардың молибден және вольфрам электродтарының ұнтақ жабуларында қолданылады.

Ниобий (Nb) — жақсы өңделетін ақшыл-ақ түсті металл; құймалардағы бөлме температурасында тербелмейді, бірақ оның ұнтағы ауада айтарлықтай тотықтырылады.

Ниобий генераторлық шамдар, анодтар, бақылау торлары катодтарын дайындау үшін қолданылады.

Цирконий (Zr) — кесектерде болатқа ұқсас металл, жақсы күйдіріледі. Цирконий шаңының жоғары концентрациясының ауада өрт қаупі бар, өйткені 75° С жоғары температурада ұнтақ цирконий оңай тұтанады.

Жоғары электрөткізгіштікке ие цирконийдің (карбидтер, нитридтер) отқа төзімді қосылыстары электронды құрылғылардың

---

<sup>1</sup> Диссоциация (*lat. dissociato* — бөлу, ажырату) - молекулалардың бірнеше қарапайым бөлшектерге ыдырауы - атомдарға, радикалдарға немесе иондарға.

Гафний (Gf) — металл, сыртқы түріне болатқа ұқсас, жақсы икемділігі мен иілгіштікке ие;  $950^{\circ}\text{C}$  температурасында тотығуға төзімді. Ол вольфрам, молибден, танталға олардың қызмет мерзімін ұзарту үшін, сондай-ақ электрлік шамдар, рентгендік түтіктердің катодтары үшін жіп шығаруға арналған қоспалар ретінде пайдаланылады.

### 3.5.3. Түрлі мақсаттарға пайдаланылатын металлдар

Сынап (Hg) ( $T_{\text{бал}} = -38,9^{\circ}\text{C}$ ;  $D = 13\,550\text{ кг/м}^3$ ) — қалыпты температурада сұйық күйде болатын жалғыз таза металл болып табылады. Таза сынап пен оның қосылыстары улы заттарға жатады, тіпті бөлме температурасында да оңай буланады, сынап буы өте зиянды. Газды кетіру құрылғыларында сынап буларын қолдану дәстүрлі және инертті газдарға қарағанда әлдеқайда төмен иондалуы мүмкін. Сынап, сілтілік және сирек-жер металлдарында (магний, алюминий, мырыш, қалайы, қорғасын, кадмий, платина, күміс, алтын) оңай еритін болады. Мыс пен никель сынапта нашар ериді. Темір мен титан сынапта ерімейді.

Сынап металлургиялық жолмен алынып, бірнеше рет тазартылады. Түпкілікті операция - бұл шамамен  $200^{\circ}\text{C}$  температурада вакуумдық айдаумен аяқталады.

Сынапты күндізгі жарық шамында, реледегі сынаптың байланыстарына, сынап түзеткіштерінде, сынап шамдарында сұйық катод ретінде қолданады.

Галлий (Ga) ( $T_{\text{бал}} = 29,7^{\circ}\text{C}$ ;  $D = 5910\text{ кг/м}^3$ ) — бөлме температурасында еритін металл. Галлийді германий үшін жартылай өткізгіш техникада қолданылады, ол төмен температурадағы дәнекерлеуді құрайды. Бөлме температурасынан төмен индий мен галлийдің қоспаларын түрлі диэлектрлік және жартылай өткізгіш материалдарға электродтарды қаптау үшін, сұйық өткізгіш материалдары ретінде қолданады, сонымен қатар сондай-ақ микроэлементтердің қабықшаларын жапқан кезде дәнекерлеу қондырғыларында сұйық контакт ретінде қолданылады.

Индий (In) — төмен балку нүктесі бар күміс түсті металл. Индий акцепторы қоспалар ретінде пайдаланылады, және транзисторлар және жартылай өткізгішті құрылғылар дайындау кезінде байланыс материалдық, және ол (мысалы, өсімдіктер роликті шовной пісіру хабарласыңыз) төмен температурада дәнекерлеудің және өткізгіш байланыс сұйықтықтың бөлігі болып табылады.

Қалайы (Sn) — айқын пішінді ірі кристаллды құрылымы бар, күміс-ақ металл. Қалайы таяқшасының иілуі кезінде

кристаллдардың бір-біріне үйкелуінен туындаған жарықтар естіледі. Қалыпты температурада қалайы ауада тотықсыздандырылмайды; ұзаққа созылған жылытумен тотықтандырылады және қалайы диоксидінің қабаты жабылады; су әсерінен өзгермейді. Сұйылтылған қышқылдар қалайыда баяу жұмыс істейді (күкірт қышқылына, қалайы өте тұрақты және күкірт және азот қышқылдарының қоспасында ол ерімейді). Төмен температура кезінде, аяз болған кезде, қалайы ұнтақ болып қалуы үшін қалайы сұр сынғыш массаға айналады. Төмен механикалық қасиеттерге, төменгі беріктікке және төменгі қаттылыққа байланысты, қалайы машина бөлшектері мен механизмдерін дайындау үшін жарамсыз.

7310 кг/м<sup>3</sup> тығыздығы бар төртбұрышты жүйеге кристаллданған қалайы *ақ қалайы* деп аталады. Ақ қалайы беріктігі 16-дан 38 МПа-ға дейін өзгереді. Төмен температурада ақ қалақшаларда сұр түсті дақтар пайда болады, олар *қалайы обасы* деп аталады (5600 кг/м<sup>3</sup> тығыздығы бар сұр қалайының екінші модификациясы шығарылады).

Қызған кезде, сұр қалайы қайтадан аққа айналады. Егер қалайы 160° С жоғары температураға дейін қызса, онда ол үшінші (ромбикалық) модификацияға өтеді және сынғыш болады.

Қалайы - жұмсақ, тұтқыр металл, оның арқасында илеудің жұқа фольгасы алынады. Қалайы қоспалары (15% қорғасын және 1% сурьмаға дейін) механикалық беріктендіруді жеңілдету және жақсарту үшін қосылады. Қондырғыштардың кейбір түрлерін өндіру үшін қоспадағы жұқа қалайы фольга (6...8 мкм) қолданылады. 20...40 мкм қалыңдығы бар қалың қабықша фольга микс конденсаторларында қоршау ретінде қолданылады.

Саф қалайы ешқашан табылмайды. Қалайы күкірт, сурьма және мышьяк қоспалары бар табиғи түрде кездесетін қалайы минералдарынан алынған. Кен рудалары байытылып, концентрат алады. Қоспалардың ішінара алынуы үшін концентрат кальциленген. Қосындылардың құрамын одан әрі азайту концентратты тұз қышқылымен шаймалау арқылы жүзеге асырылады. Алынған қалайы концентраты көмірмен және ағынмен араласып, ерітілген немесе электролиттік әдіспен тазартылған қалайы қалқаны алынады.

Қалайыны қолданудың ең маңызды саласы металлдардың коррозияға төзімділігін жақсарту және қалайы қорғасынмен жұмыс жасайтын өндірушілерді дайындау болып табылады.

---

<sup>1</sup> Тазарту (*фр.* raffineur — тазарту) - кез-келген техникалық өнімнің қоспаларын тазарту.

Кадмий (Cd) ( $T_{\text{бал}} = 321 \text{ }^\circ\text{C}$ ) — мырыш өндірісінде жанама өнім ретінде өндірілген мырыштың тұрақты құрамдас элементі болып табылатын күміс-ақ металл. Мырыш сияқты, кадмий электролитті тазалауға ұшырайды. Ең таза металл 99,997% кадмийден тұрады. Ол дәнекер және қола құрамына кіреді. Кадмий фотоэлемент жасауға, күміс, гальваникалық ұяшықтардың орнына толқын арнасын жабу үшін, сондай-ақ модератор ретінде ядролық реакторларда қолданылады..

Қорғасын (Pb) ( $T_{\text{бал}} = 327 \text{ }^\circ\text{C}$ ) - жоғары электрлік қарсылыққа ие және өрескел құрылымы бар жұмсақ көк түсті металл. Оның кристаллдары азот қышқылымен сүртілген кезде тіпті көзге көрінбейді. Оның жоғары пластикасы бар; төменгі күшіне (ұзақтығы  $\Delta l / l$  55%-дан жоғары салыстырмалы ұзарту бар  $\sigma_c \approx 14 \text{ МПа}$ ); жоғары коррозияға төзімділік (қорғасын судан өтпейді және күкірт қышқылына төзімді). Жана пішінде қорғасынның күшті металлды мөлдірлігі бар, бірақ ол бетінің тотығуына байланысты ауада тез кетеді; дымқыл ортада сақтаған кезде оны одан әрі тотығудан қорғайтын қорғасын тотығы бар. Қорғасын және оның қосылыстары улы болып табылады.

Тотығуға төзімділігі жоғары болғандықтан, қорғасын кабельді ылғалдан қорғайтын кабель қаптамаларын дайындау үшін көп мөлшерде пайдаланылады. Ол сондай-ақ сақтандырғыштарды, қорғасын такталарды аккумуляторларда және рентген сәулелерін жұтатын материалда жасау үшін қолданылады. Ірі мөлшерде қорғасын дөңгелек және үшбұрышты шыбықтар, сым, таспа түрінде және ағынмен толтырылған дөңгелек түтіктер түрінде жеткізілетін лизерлерді өндіру үшін қолданылады.

Қорғасын өндіру үшін шикізат, негізінен, сульфид болып табылады. Қорғасын кендері, әдетте, қорғасынға қосымша мырыш пен күмістен тұрады, мырыштың құрамы қорғасынның құрамынан асып кетеді.

Мырыш (Zn) ( $T_{\text{бал}} = 420 \text{ }^\circ\text{C}$ ) — қалыпты температура кезінде тоттануға төзімді, ашық түсті борпылдақ металл;  $200^\circ \text{C}$  температураға дейін қызған кезде ол сынғыш болады; қалыпты температурада құрғақ ауада өзгермейді, ал ылғалды атмосферада оның беті тотығу пленкасымен жабылады, ол одан әрі тотығудан қорғайды.

Темір мырыштың зиянды қоспасы болып табылады, ол оның қаттылығын және сынғыштығын арттырады және антиоксиданттық қасиеттерді нашарлатады.

Мырыш мырыш минералдары бар рудалардан металлургиялық әдістермен, электролитті тазартудан кейін (жоғары тазартылған металлда 99,99% мырыш бар) алады. Мырыш рудалары полиметалл кендері болып табылады және әдетте мырышқа қосымша мыс пен қорғасын қосады. Алтайда, Оралда, Кавказда

мырыш рудалары бар.

Мырыш жоңқалар өндірісінде, негізгі компонент болып табылатын, инъекционды құюға арналған мырыш қорытпалары бар мойынтіректер қорытпаларын өндіруде қолданылады. Мырыш басқа металлдарға (мысалы, темірге), фотосэлементтерге, сондай-ақ металл конденсаторлардағы қағазды металлдандыруға арналған қорғаныш қабаты ретінде қолданылады. Металл қабатты қағазға тұндыру шамамен 600° С температурада вакуумдағы мырышты буландыру кезінде жүзеге асырылады.

Бериллий (Be) — төмен температуралы (1250° С) температурада және жоғары температура (1250...1284° С температуралық диапазонда) түрінде пайда болатын сұр түсті металл. Жер қыртысында бериллийдің мөлшері шамамен 0.0005% құрайды. Бериллий айрықша беріктігіне (магний, алюминий және титан жеңіл металлдар негізінде жоғары берікті болаттар мен қорытпалардан жоғары); жоғары арнайы қатаңдығына (вольфрам мен молибденге қарағанда жоғары); жоғары жылу қуатына; жақсы жылу өткізгіштік және электр өткізгіштігіне; механикалық, электрлік және басқа жүйелердегі ауытқуларға жол бермеуіне; табиғаттың төмен таралуы, кеннен алынған экстракция технологиясының күрделілігі мен жоғары құны анықталған жоғары құнына ие. Бериллийде булану мен жылудың жоғары температурасы өте жоғары жасырын жылу бар, (алюминийден 2,5 есе жоғары, титанға қарағанда 4 есе артық, болатқа қарағанда 8 есе артық жоғары температурада). Ол улы, рентген сәулелерін (17 есе алюминий қарағанда нашар) өте нашар сіңіреді (өкпеге түсіп, ол ауыр өкпе ауруларын тудырады; терідегі бериллий шаңы,жараға түскеннен кейін тітіркенуді тудырады, ісінуді туғызады). Бериллий химиялық инертті, сондықтан өндіру кезіндегі оның технологиясы өте күрделі.

Бериллий сирек металлдардың бірі болып табылады. Ол бериллий мен алюминийдің қос силикаты болып табылатын бериллий минералынан шығарылады. Вакуумды қалпына келтірумен алынған құймалар жартылай фабрикаттар шығару үшін қысыммен өңделеді немесе ұнтақ өңделеді, оның ішінен жартылай фабрикаттар мен бұйымдар ұнтақты металлургия әдістерімен өндіріледі.

Бериллий құймасы қатты және майысқақ. Икемділікті жақсарту үшін, жұқарту жылумен жүзеге асырылады. Алайда, 700° С жоғары температура кезінде, бериллий құралмен «ұсталынып» кетеді, сондықтан оны болат кеспекте домалатады, содан кейін оны бәсеңдетеді.

Ұнтақ металлургия әдісімен алынған бериллий жақсы құрылымдалған және жоғары механикалық қасиеттерге, соның ішінде пластикалық қасиетке ие.

Бериллийді ұшақ қанаттарының, аэрондардың, бақылаушы шыбықтардың және басқа да әуе кемелерінің конустарында қолданады, зымыран технологиясында одан панельдер, аралық бөліктер, байланыстырушы элементтер, аспаптар тіректері және т.б. жасайды. Жылулық нейтронды сәл сіңіру қабілетіне байланысты бериллий атом техникасындағы құрылымдық материал ретінде қолданылады. Сонымен қатар, бериллий сәуле көзі ретінде және рентгендік түтіктер өндірісі үшін қолданылады.

### 3.6. Жоғары өткізгіштер және криоөткізгіштер

Мұнда жоғары өткізгішті күйге көшу мүмкін болатын 27 таза металлдар және мыңнан астам түрлі қорытпалар мен қосылыстар бар. Оларға таза металлдар, қорытпалар, интерметаллы қосылыстар және кейбір диэлектрлік материалдар кіреді.

#### 3.6.1. Жоғары өткізгіштер

Температураның төмендеуімен металлдардың арнайы электр кедергісі төмендейді және өте төмен (криогенді) температураларда абсолютті нөлге жетеді.

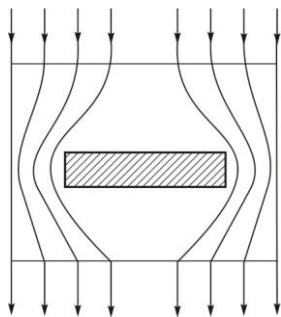
1911 жылы мұздатылған сынаптан 4,2 К температураға дейін салқындататын сақинадан кейін голландиялық ғалым Г. Каммерлинг-Оннес, сақинаның электр кедергісі  $\rho$  өлшенбейтін өте аз мәнге кенеттен түсетінін анықтады.

Мұндай электр кедергісі жоғалуы, яғни, материалдағы шексіз өткізгіштігінің пайда болуы *жоғары өткізгіштік* деп аталды.

Асқын өткізгіш материалға өту қабілеті бар материалдар жеткілікті төмен температураға дейін салқындаған кезде, *жоғары өткізгіштер* деп аталатын болды.

Асқын өткізуші күйіне көшу кезінде пайда болатын сындарлы суыту температурасы *асқын өткізгішті өтудің температурасы* немесе  $T_{кр}$  *сыни өту температурасы* деп аталады. Переход в сверхпроводящее состояние является обратимым. Температура  $T_{кр}$  дейін көтерілген кезде, материал қайтадан ақырғы электроөткізгіштік қалпына түседі.

Өткізгіштердің ерекшелігі, жоғары өткізгіш тізбектегі электр тогының ұзақ уақыт бойы (бірнеше жылдар бойы) оның контуры бойымен оның күші мен сырттан қосымша энергия берілуін едәуір төмендетусіз айналып өтуі болып табылады. Тұрақты магнит сияқты, мұндай схема қоршаған кеңістіктегі магнит өрісін жасайды.



3.4-сур. Енгізілген суперөткізгіштік магнит өрісі

1933 жылы неміс физиктері В. Мезнери Р. Оксенфельд жоғары өткізгіштікке көшкенде өткізгіштер *диамагнит* диаметрлері тамаша болып табылатынын анықтады. олардың магниттік өткізгіштігі  $\mu$  1-ден 0-ке ауысады. Сондықтан сыртқы магнит өрісі жоғары өткізгіштегі денеге енбейді. Материалды жоғары өткізгіш күйге өту магнит өрісінде орын алса, өріс суперөткізгіштен «сыртқа шығады» (3.4-сурет).

Белгілі өткізгіштердің өте өткір өтпелі температурасы  $T_{кр}$  бар, сондықтан өткізгіштерді қолданатын құрылғылар сұйық гелий салқындату жағдайында жұмыс істеуге тиіс (қалыпты қысым кезінде гелияның сұйылту температурасы шамамен 4,2 К құрайды).

Сынаптан басқа, жоғары өткізгіштік басқа таза металлдарға (химиялық элементтерге) және әр түрлі қорытпалар мен химиялық қосылыстарға тән. Алайда күміс және мыс сияқты металлдар қазіргі кездегі ең төменгі температураларда жоғары өткізгіштік күйге ауыстырылмайды. Жоғары өткізгіштік құбылысын қолдану мүмкіндіктері жоғары өткізгіштегі  $T_{кр}$  өтудің температурасы мен сыни магнит өрісінің қарқындылығы  $H_{кр}$  мәндерімен анықталады. Жоғары өткізгіштердің материалдары жұмсақ және қатты материалдарға бөлінеді.

Жұмсақ өткізгіштерге ниобий, ванадий, теллурды қоспағанда таза металлдар жатады.

Жұмсақ өткізгіштердің негізгі жетіспеушілігі сыни магнит өрісі  $H_{кр}$  күшінің төмен мәні болып табылады.

Радиотехникада жұмсақ өткізгіштер пайдаланылмайды, өйткені осы материалдардағы жоғары өткізгіш күйі магниттік өрістерде әлсіз төмен тығыздықта жоғалады.

Бұрмаланған кристаллды торлар бар қорытпалар қатты өткізгіштерге жатады. Олар тіпті салыстырмалы жоғары ток тығыздығы мен күшті магниттік өрістерде жоғары өткізгіштігін сақтайды. Қатты өткізгіштердің қасиеттері XX ғасырдың ортасында табылған және қазіргі таңда оларды зерттеу және қолдану проблемасы заманауи ғылым мен техниканың маңызды мәселелерінің бірі болып табылады.

Салқындағаннан кейін қатты өткізгіштерде жоғары өткізгіш күйіне өту жұмсақ өткізгіштердегі сияқты өткір емес,

Бірақ белгілі бір температура аралығындағы кезеңде орын алмайды. Қатты жоғары өткізгіштердің кейбіреулері тек қана өткір



өтпелі температураның  $T_{кр}$  салыстырмалы түрде жоғары мәндеріне ғана емес, сонымен қатар сыни магниттік индукцияның  $B_{кр}$  салыстырмалы жоғары мәндеріне де ие.

Магниттік индукция өзгерген кезде, қатты аралық өткізгіштер жоғары өткізгіштіерде және қалыпты арасындағы аралық жағдайларды байқай алады.

Қатты өткізгіштер энергияны таратып жібереді, сондай-ақ, технологиялық өндіріс режимдерінде жоғары өткізгіштері қасиеттерінің тәуелділігі, материалдың тазалығы және оның кристаллдық құрылымын жетілдіреді.

Технологиялық қасиеттеріне сәйкес жоғары өткізгіштер келесі түрлерге бөлінеді:

- сым мен таспаларды (ниобий, ниобий-титан (Nb-Ti), ванадий-галий (V-Ga) қорытпалары) жасау мүмкін салыстырмалы оңай деформацияланатын;

- ұнтақты металлургия әдістерімен өнімді алу (қиындықтарға байланысты) деформациялауы қиын (интерметаллдық материалдар, мысалы, станид ниобия  $Nb_3Sn$ ).

Жоғары өткізгіш сымдар көбінесе мыс және басқа металлдан жасалған «тұрақтандырушы» қаптамамен жабылып, электр және жылуды тиімді өткізеді, бұл өткізгіштің негізгі материалын температураның кездейсоқ көбеюіне жол бермеуге мүмкіндік береді. Көптеген жағдайларда композитті жоғары өткізгіш сымдар, онда көптеген жұқа жіп тәрізді өткізгіштердің массивті қабықшамен қапталған мыс немесе басқа өткізбейтін материал пайдаланылады.

Өткізгіш материалдардың қабыршақтары ерекше қасиеттерге ие: көптеген жағдайларда  $T_{кр}$  сыни өту температурасы  $T_{кр}$  материалдарының көлемінен әлдеқайда жоғары; шектік токтардың үлкен мәндері өткізгіш Isg арқылы өтті; жоғары өткізгіш күйіне көшу үшін аз температуралық интервал.

Жоғары өткізгіш электр машиналары мен тиімділігі жоғары коэффициенті бар шағын массалар мен өлшемдегі трансформаторларды құру кезінде қолданылады; ұзын қашықтыққа жоғары энергияны беру үшін кабельдік желілер; әсіресе әлсіреуі бар толқынды бағыттағыштар; энергия сақтау құрылғылары мен жад құрылғылары; электрондық микроскоптардың магниттік линзалары; басылған монтаждалған катушкалар.

Қабыршақты жоғары өткізгіштерге негізделген бірнеше автоматика мен компьютерлік техниканың жад құрылғылары мен элементтері жасалады. Өткізгіштерден электр магниттерді желдету магнит өрісінің беріктігінің максималды мәндерін алуға мүмкіндік

береді.

### 3.6.2 Кривоөткізгіштер

Кейбір металлдар төмен температураларда  $\rho$  қарсылықтың өте төмен мәніне жете алады,  $\rho$  бұл қалыпты температурада электр кедергісінен жүздеген және мыңдаған есе аз. Осындай қасиеттерге ие материалдар *криоөткізгіштер* (*суперөткізгіштер*) деп аталады. Кривоөткізгіштің физикалық құбылысы жоғары өткізгіштік құбылысына ұқсас емес.

Жұмыс температурасындағы криоөткізгіштердің ағымдағы тығыздығы қалыпты температурада ток тығыздығынан мыңдаған есе көп, олар сенімділігі мен жарылыс қауіпсіздігіне қойылатын жоғары талаптарды қажет ететін жоғары ток электр құрылғыларында пайдалануды анықтайды.

Электрқұрылғылар мен кәбілдердегі криоөткізгіштерді қолдану жоғары өткізгіштермен салыстырғанда айтарлықтай артықшылыққа ие. Егер сұйық гелий жоғары өткізгіштегі құрылғыларда салқындатқыш құрал ретінде пайдаланылса, криоөткізгіштердің жұмысы жоғары қайнаған және арзан хладагента-сұйық сутегі немесе тіпті сұйық азотпен қамтамасыз етіледі. Бұл құрылғының өндірісі мен жұмысының құнын жеңілдетеді және азайтады. Дегенмен, компоненттердің белгілі бір қатынасында ауамен жарылғыш қоспаны құрайтын сұйық сутегін пайдалану кезінде туындайтын техникалық қиындықтарды ескеру қажет. Кривоөткізгіштер ретінде мыс, алюминий, күміс және алтын пайдаланады.

## 3.7. Металл емес өткізгіш материалдар

Өткізгіштердің қасиеттеріне ие және өткізгіш материалдар ретінде пайдаланылмайтын металл емес материалдар - табиғи графит, көміртегі қара, пироликкалық көміртек, борокарбонатты пленкалар.

### 3.7.1. Электрлік көміртекті өнімдерге арналған материалдар

Электр көміртегі өнімдері (қысқартылған - электр бұйымдар) көміртек ұнтақ, көміртек жоғары резисторы, телефон желілері үшін ауытқуынан қорғайтын бар электролизер үшін электр машиналары, проекторлар және электродтардың щеткалар, электрохимиялы анодтар, микрофондар болып табылады.

Электрлік көміртекті өнімдерді өндіруге арналған шикізат табиғи графит, күйе және антрацит болып табылады.

Табиғи графит — бұл кристаллдық зат - қабатты құрылымның көміртегі формаларының бірі (көміртек үш модификация түрінде белгілі: алмас, графит және аморфты көміртегі-көмір).

Графит қабатты кристаллдық торды құрайды, оның әрқайсысының түйіндерде көміртегі атомдары бар алтыбұрышты тор орналасқан. Бөлек қабаттар бір-бірінен әр қабаттағы атомдарға қарағанда үлкен қашықтыққа бөлінеді, сондықтан сырғу байланыстарын пайдалану арқылы графит оңай бөлінеді. Бұл қасиет графит негізіндегі құрғақ майлау материалдарын өндіруде де қолданылады. Оның физикалық қасиеттері қатпарлық бағытында және оған перпендикулярлы. Қабаттар бағытында графит электрөткізгіштігінің «металлды» сипаттамасы бар ( $\rho = 8 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ,  $\text{TK}_\rho = 1\cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ ); температура көтерілген сайын, графиттің беріктілігі ұлғаяды. Ауада графит  $600^\circ \text{C}$  температурасынан жоғары жанады. Еш температурада ол күкірт, гидрохлорлық және гидрофторлық қышқылдармен және азот пен тұз қышқылының қоспасымен және  $170^\circ \text{C}$  температурасына дейін қызған кезде ауамен әрекет етпейді. Шоғырландырылған азот және күкірт қышқылдары бар қоспада графит (1 г) ериді және графит қышқылын құрайды; концентрлі азот қышқылымен әрекеттеседі; балкытылған сілтілі өзара әсер етпейді.

Арнайы кендерді байыту арқылы табиғи графитті алады.

Жасанды графиттер  $2200\text{...}2500^\circ \text{C}$  температурада көмірді қайта кристаллизациялау арқылы алынады. Көптеген жағдайларда олар табиғи түрде артықшылық береді, өйткені жасанды графиттер өте таза құрамы бар және олардың құны табиғи графиттің құнын асырмайды.

Графит өнімдерін тек инертті ортада немесе вакуумда  $2000^\circ \text{C}$  дейінгі температурада, ал көміртегі және көміртегі диоксидінің ортасында  $500^\circ \text{C}$  дейінгі температурада пайдалануға болады. Табиғи графиттің негізгі сипаттамалары 3.8. кестесінде келтірілген.

Графит шыбықшалар, пластиналар, кесектер түрінде шығарылады.

Пиролит көміртегі камерада газ тәрізді көмірсутектердің оттегі (пиролізі) болмаған кезде термиялық ыдырау процессінде жасалады, онда сымдық емес резисторлар үшін шыны немесе керамикалық қаптамалар бар. Әдетте, олар жоғары температурада ыдыратуға қабілетті, окшаулайтын субстраттарда пиролитикалық көміртектің пайда болуымен пиролизаторлар метан көмірсутектеріне ұшырайды, Сымдық емес резисторларды жасаудың технологиялық процесстерінде метан, бензин немесе гептан жұптары жиі қолданылады.

### Кесте 3.8. Табиғи графиттің негізгі сипаттамалары

Параметрлері	Базистік жазықтықтарға қатысты графит монокристаллы		Поликристалл графит
	Өң бойына	көлденең	
Тығыздығы $D$ , кг/м <sup>3</sup>	2000...2400		2260
Меншікті электр кедергісі $\rho$ , мкОм · М	0,4	100	8
Температуралық коэф-фициент, К <sup>-1</sup> :			
меншікті электр кедергісінің ТКр	$-9 \cdot 10^{-4}$	$-4 \cdot 10^{-2}$	$-1 \cdot 10^{-3}$
Сызықтық кеңеюдің ТКІ	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$

Монокристаллді графиттен өзгеше, пиролизтік көміртектің құрылымы атом қабаттарының орналасуында параллелизмді сақтай отырып, қатаң кезенділікке ие болмайды. Пиролитикалық көміртегінің көміртегі атомдары арасындағы қашықтық графиттен гөрі аз. Пиролитикалық көміртек оқшаулағыш субстрат (түптөсем) бетіне қойылған жеке поликристаллды конгломераттардан тұрады.

#### Пиролит көміртегінің негізгі қасиеттері

Қабық қалыңдығы, см, артық емес .....	$10^{-6}$
Тығыздығы $D$ , г/см <sup>3</sup> .....	2,05
Меншікті электр кедергісі $\rho$ , Ом·см .....	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Температуралық коэффициент, К <sup>-1</sup> :	
меншікті электр кедергісінің ТКр *	$-2 \cdot 10^{-4} (-4 \cdot 10^{-4})$
сызықтық кеңеюдің ТКІ .....	$6,6 \cdot 10^{-6}$

\*Қабық қалыңдығының көбеюімен ТКр абсолюттік мәні артады.

Пиролитикалық көміртекті қабықшалардың құрылымы мен қасиеттері байланысты:

- көмірсутектердің температурасы мен ыдырау үдерісінен (пиролиз температурасының ұлғаюымен, көміртекті кристаллдардың өсуі, онда әр түрлі қоспалардың болуы және

қарсылықтың төмендеуі);

- пиролиз реакциясының жылдамдығына;
- бедердің кедір-бұдырлығына;
- вакуумның тереңдігіне.

Көміртегінің пироликалық қабықшалары параметрлердің жоғары тұрақтылығына ие; шу деңгейі төмен; қарсылықтың шағын және тұрақты температуралық коэффициенті; қарсылықтың қолданбалы кернеуге ұсақ тәуелділігі; импульстік жүктемелерге төзімділік; салыстырмалы төмен шығындар. Бор қосылыстары ( $V(C_4H_9)_3$  немесе  $V(C_3H_7)_3$  пиролизі нәтижесінде, ТКр арнайы электр кедергісі төмен температуралық коэффициенті бар бор көміртегі пленкалары алынды.

Табиғи графит, көміртегі қара, пироликалық көміртек және борокарбоннан жасалған пленкалар жоғары температура мен ылғалдылық кезінде жоғары кернеуге және тұрақтылығына шағын электр кедергісі болуы тиіс, сымды емес желілік резисторлар үшін өткізгіш материалдар ретінде қолданылады. Сымға берілмейтін резисторлар кіші өлшемдері мен номиналды қарсылықтың жоғары жоғарғы шегі бар сымдардан ерекшеленеді. Көміртекті материалдар қылқалам жасау үшін қолданылады. Қылқалам электр машинасының стационарлық және айналмалы бөліктері арасында жылжымалы байланыс құруға қызмет етеді. Электр кедергінің шамасы әртүрлі қылқалам түрлі маркаларын, рұқсат етілген ток тығыздығымен, үйкеліс коэффициентімен, құрамымен, өндірістік технологиясы бойынша сызықтық жылдамдығымен, қылқалам жинаушы байланыс бетіне іргелес мөлшерімен ерекшеленеді ( $4 \times 4$   $35 \times 35$  мм, щетка биіктігі габариты болуы мүмкін - 12...70 мм).

Өнеркәсіп әртүрлі маркалардың қылқаламдарын шығарады: көмір-графит (Т және УГ); графит (Г); электрлік графиттенген; графитизацияға (ЭГ) ұшыраған; мыс құрамына ие мыс-графиттер, бұл электр кедергісін азайтады және щетка мен коллектор арасында байланыс кернеуінің төмендеуіне әкеледі.

К ү й е - шайырлы заттардың қосындысы бар тамаша көміртек. Көміртекті қоспалармен лактар, арнайы электр кедергісінің кең спектріне ие (0.01...400 Ом·м).

Шойын электродтарын өндіру үшін көміртекті қара және графит көмір қабаты, кейде сұйық шыны болып табылатын байланыстырушы материалмен араласады. Алынған масса мүштік арқылы немесе тиісті пішін-пресстерінде басылады және термиялық өңдеуге ұшырайды. Өнімдегі көміртектің нысаны термиялық өңдеу режиміне байланысты. Күйдірудің жоғары температурасында ( $2200^\circ C$ ) көміртегі жасанды түрде графитке айналады, графит кристаллдарының өлшемдері артады,

материалдың өткізгіштігі артады және оның қаттылығы төмендейді. Бұл процесс *графитену деп аталады*.

А н т р а ц и т бұл көмірдің қатарында құрылымдық өзгерістердің ең жоғары дәрежесі бар қара, түсті көмір. Ол әлсіз алаумен күйдіреді, түтіні жоқ деуге болады. Антрацит көмір материалдарының көмір ұнтақтары түрінде қолданылады.

Микрофондарға арналған көмір ұнтақтарын антрацитты ұсақтау арқылы алады. Ұнтақтың нақты электр кедергісі дән мөлшеріне, ұнтақты құйма тығыздығына және термиялық өңдеуге байланысты. Жұқа ұнтақтары  $1\text{см}^2$  алаңда 52 тесік електен өткізілгеннен кейін және  $1\text{см}^2$  алаңда 45 тесік електен алынған ірі түйіршіктерден алынады.  $600\text{...}800^\circ\text{C}$  температурада жасыту процессінде ұнтақтың ерекше электр кедергісі артады. Ұсақ ұнтақтың ерекше электр кедергісі  $\rho = 0,4\text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Жоғары температура кезінде жұмыс істеуге арналған көміртектік электродтар үшін көміртекті материалдар (қышқылдандырылған антрацит бар)  $3000^\circ\text{C}$ -қа дейін температурада жұмыс істейді.

Көмір өнімдерінің ерекшелігі - олардың ТКр электр кедергісінің теріс температурасының коэффициенті.

### **3.7.2. Өткізгіш және резистивті композиттік материалдар**

Өткізгіш композиттік материалдар - органикалық немесе бейорганикалық байланыстағы металлдар мен қосылыстардың ұсақ бөлінген ұнтақтарының механикалық қоспалары.

Композициялық материалдар бірқатар құнды қасиеттерді біріктіреді. Олар үлкен электрлік кедергісі бар, ол температураға нашар байланысты; құрамын өзгерту арқылы электр қасиеттерін бақылау мүмкіндігі; қарапайым өндіру технологиясы.

Композиттік материалдардың негізгі кемшіліктері - ішкі шу деңгейінің жоғарылауы; қарсылықтың жиіліктен тәуелділігі; Ұзақ жүктеме кезінде ескеруі.

Өткізгіш композиттік материалдар пасталар немесе ұнтақтар түрінде қолданылады. Металл-керамикалық корпусы металлизациялау үшін, олар сымдық композициялық резисторлар, өткізгіштер және қалың қабықшалы микросхемалар резисторлары үшін композиттік материалдарға бөлінеді.

Композициялық резисторларды дайындау үшін өткізгіш материалдар, органикалық және бейорганикалық байланыстырғыштар, толтырғыштар, пластификаторлар

араластырады.

Күрделі гетерогенді жүйелер<sup>1</sup> пайдаланылған кезде Ом бөліктерінен бірнеше мың Ом дейін композиттік резисторлар алынды.

*Өткізгіш фазалар* ретінде өткізгіштер (күміс, палладий, алтын, родий ұнтағы); жартылай өткізгіш материалдар (кальцид диоксиді, кадмий тотығы, кремний карбидтері, вольфрам, металл силиклидтері, сондай-ақ графит немесе көміртегі қара) қолданылады.

*Органикалық байланыстырғыштар* ретінде эпоксидті, глифант, силикон сияқты фенол немесе эфир шайыры пайдаланылады. Органикалық байланыстырушы заттар бар композициялар ылғалдылық пен температураның жоғарылауы әсерінен салыстырмалы түрде оңай өзгереді. Олардың шектейтін жұмыс температурасы 150° С аспайды.

Металл-керамикалық және металл-полимерлі композицияларда *бейорганикалық байланыстырғыш* заттар (полимерлер, ұнтақ шыны, бейорганикалық эмальдар) бар, жоғары температурада ерітінділерден кейін жоғары ылғалдылық пен ыстыққа төзімділігі артады, (жұмыс температурасы 350° С-қа дейін көтеріледі), бірақ сызықты емес және ішкі шудың артуы және резистордың кедергісінің жоғарғы шегі төмендейді. Металл-керамикалық композиттік материалдардың қарсылықтың температуралық коэффициентінің абсолютті төмен мәні бар, бұл шамамен  $2 \cdot 10^{-8} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Өткізгіш компоненттердің құрамын және олардың көлемін өзгерту арқылы, қарсылықтың температуралық коэффициенті өзгертілуі мүмкін.

*Кермет* - жарықтан қара сұрға дейін ұнтақ түріндегі композиция. Керметтің құрамында кремний оксиді және 90% хром ұнтағы бар (хромның орнына композиция 5: 4 қатынасында күміс және палладий қамтуы мүмкін).

Кермет түріндегі композиттік материалдар *металл шыны* деп аталады. Оларды дайындау технологиясы еріткіштің қатысуымен металлдардың ұнтақтарын кремний тотығы бар тегістеуге және араластыруға дейін азаяды. Пастаны түптөсемге жағады, 1100 °С температурада термоөңдеуден өткізеді және қалыңдығы 20...25 мкм қабыршағын алады. Мұндай қабыршақтар 1,000...10000 Ом / □. бастап жылу қарсылығымен, ылғалға төзімділігімен, тұрақты сипаттамаларымен 0,1% жылу циклдарының,  $10^3 \dots 10^6$  Ом кедергісімен және меншікті бетінің кейінгі қарсылық дәлдігімен ерекшеленеді.

---

<sup>1</sup> Гетергенді жүйелер (*gr.heterogenes* — құрамы бойынша әртекті) — әртүрлі бөліктерден немесе химиялық құрамынан тұратын, физикалық-химиялық жүйе, мысалы, булардың ішіндегі су.

Қалың-пленкалық тізбектер элементтерін өндіру үшін материал ретінде өткізгіш және резистивті пасталар қолданылады. Бұл материалдар белгілі бір ағындыққа ие болуы керек, себебі жоғары ағында паста таралуы және сызбаның бұрмалануы бар, ал төменгі ағындықта паста трафарет арқылы нашар басылады.

Механикалық жүктемелердің әсерінен ағынның жоғарылауы артады. Қысымды алып тастағаннан кейін паста қатты пішіндейді, нәтижесінде алынған пішінді сақтайды. Паста қабаттарының бұл қабілеті *тиксотропия* деп аталады. Тиксотропияның арқасында пасталар астыңғы қабатқа таяқшаның тесіктері арқылы қысым күштерін қолданумен ғана енеді, ал күштер жойылғаннан кейін субстраттың үстіне таралмайды. Пасталарға тиксотропты қасиеттерді беру үшін олардың құрамына жоғары молекулалы қосылыстар (мысалы, терефталат қышқылы) енгізіледі.

**Өткізгіш пасталар.** Өткізгіш пасталар жоғары температурада химиялық белсенді заттармен байланыста болған кезде пленкалардың төменгі электрлік қарсылығын және төмен белсенділікті қамтамасыз етуі керек.

Өткізгіш пасталар құрамына функционалды материал (жұқа металл ұнтақтары), тұрақты байланыстырғыш (шыны) және уақытша байланыстырушы (бірнеше органикалық сұйықтықтардың қоспасы) кіреді.

Өткізгіш пастаның электрлік қасиеттері оған енетін металл ұнтақтары арқылы анықталады. Күміс, алтын, платина, палладий және олардың қорытпалары негізінде қымбат металлдарға негізделген паста көп қолданылады.

Қабыршақтың адгезиясы тұрақты контактілі, шыны ұнтағы арқылы қамтамасыз етіледі. Пастада пайдалануға арналған шыныдан жасалған ұнтақ *фритт* деп аталады. Бұл балқытылған шыны суға жылдам салқындату немесе қысылған ауамен шашырату арқылы, содан кейін бөлшектерді 1...3 мкм мөлшеріне дейін ұнтақтау арқылы жүзеге асырылады.

Компоненттердің біркелкі үлестірілуі және паста қажетті тұтқырлығы сұйық шайыр, этил целлюлозасы және т.б. ретінде пайдаланылатын органикалық сұйықтықтарға байланысты.

Күміс негізіндегі паста көмірқышқыл күміс немесе күміс оксиді бар, ол 500 °С жоғары температурада ыдырайтын көміртегі диоксиді мен оттегіні шығарып тастайды, және ол субстрат бетінде таза күміс қалады.

Күміс пен керамиканың қосындысын жақсарту үшін паста құрамына висмут оксидінің бір бөлігінің ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), қорғасын боратының ( $\text{PbV}_4\text{O}_4$ ) немесе сусыз бураның ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) балқытпаларын енгізеді.

Байланыстырушы ретінде скипидарда ерітілген канифольді қолданады. Пастаны қыздыру температурасы 825 °С құрайды. 200...370° С температурасында қыздыру процессінде канифоль мен скипидар жанып кетеді, ал 750° С температурасында балқытпа таза



күмістен керамикаға бірте-бірте ауысып тұратын металлокерамиканы құрап балқытылады. Екі-үш жағудан кейін шамамен 10 мкм қалыңдығы бар қабыршақ пайда болады.

Күмістің негізінде өткізгіш пастаны оттығынан алынған қабыршақтар субстраттарға жақсы араласады; төмен шығындар; коррозияға төзімділігі төмен; субстрат бетіндегі күміс бөлшектердің көші-қонына ұшырайды, олардың қарқындылығы ылғалдың жоғарылауымен және электр өрістерінің әсерімен артады.

Шығындарды азайту және қажетсіз құбылыстарды азайту үшін күмістен және палладийден жасалған пасталар қолданылады.

Күміс-палладий пасталары экранды басып шығару әдісімен өткізгіш қабаттарды, токөткізгіш жолдарды және керамикалық субстраттардағы контакт аймағын жасау үшін қолданылады. Қыздыру температурасы  $800^{\circ}\text{C}$ ; қабықшалардың бетіне электр кедергісі  $0,02... 0,05\ \text{Ом}/\square$ ; керамика бетіне жабысқақтықтың беріктігі  $5 \cdot 10^6\ \text{Н}/\text{м}^2$  құрайды.

Алтын негізіндегі пасталар 75...80% алтыннан тұрады. Алтынға негізделген пастаны жағу нәтижесінде алынған қабыршақтар керамикамен  $10\ \text{Н} / \text{м}$ , ал шыны -  $5 \cdot 10^6\ \text{Н}/\text{м}^2$  беріктігі бар  $0.002...0.005\ \text{Ом}/\square$  нақты беттік кедергісі бар; жоғары тұрақтылығымен, пайдалану сенімділігімен, жоғары температурадағы қарсылығымен, жоғары құнымен ерекшеленеді, бірақ кейбір жағдайларда алмастырылмайтын болып табылады.

**Резистивті пасталар.** Олар оқшауланған және жартылай өткізгіш материалдармен бірдей металлдарды пайдаланатын құрамдық функционалды материалдардағы өткізгіштерден ерекшеленеді. Өткізгіш және уақытша байланыстырушы элементтер оларда бірдей. Пастадағы компоненттердің пайыздық мөлшерін өзгерту арқылы кедергісі бар резистивтік қабықшаларды кең ауқымда алуға болады.

Палладиймен күмістің негізіндегі пасталар  $10^6\ \text{Ом}/\square$  нақты кедергісі бар резисторлар алуға болады. Рутений диоксиді негізінде пасталар күйдіру процессінде неғұрлым төмен сезімталдығы бар.

Қымбат металлдарды қамтымайтын қарсыласу композициялары әр түрлі металлдардың (боридтер, карбидтер және т.б.) таллий, индий, кальций, кадмий оксиді және отқа төзімді қосылыстар негізінде алынады.

Молибден және марганец ұнтақтарынан тұратын, молибден-марганец пастасы байланыстыратын қосылыстармен (байластырғышпен) араласқан, көбінесе металл-керамикалық қаптамаларды металлдандыру үшін қолданылады.

Ұнтақтар белгілі бір бетінің ауданымен сипатталатын нақты дисперсияға ие болуы керек. Пастадағы ұнтақтардың сандық қатынасына қарай, олардың беті молибден үшін 4500-ден 5500-ге дейін және марганец үшін 9000-нан 11000  $\text{см}^2 / \text{г}$ -қа дейін.

Ұнтақталған (ұнтақтау) кезінде ұнтақтардың нақты беті материалдық бөлшектердің азаюымен көбейтіледі. Берілген нақты беті бар ұнтақтар шар шойынында шикізатты ұнтақтау арқылы алынады. Молибден жер болған кезде ацетон қосылады және марганец жер болған кезде сусыз спирт қосылады. Тегістеуден кейін ұнтақ  $80^{\circ}\text{C}$  температурасында кептіріледі, себебі жоғары температурада және ұнтаққа кіретін ылғалдың әсерінен марганец жануы мүмкін.

Металлизациянды пасталарға қоспа ретінде, 22ХС алюминий оксидінің ұнтағы қосылады (ұнтақтың құрамы 5.3.3-бөлімде келтірілген) және шар шойынында орналасқан шыны. Шыны ұнтақ шыны фазасы жоқ керамикалық материалдарды металлдандыру үшін пасталарға қосылады. Металлдандырудың кейбір қасиеттерінің өзгеруіне ықпал ететін молибден-марганец пасталарына қосындылар қосылады. Мысалы, титан гидрид ( $\text{TiH}_2$ ) молибден тотығуын күшейтеді және металлизацией қабатын жылыту кезде осы паста газ тәрізді ортаның құрамы кем маңызды болып табылады, және молибден бориде ( $\text{Mo}_2\text{B}_3$ ) жоғары термо-механикалық төзімділігі пастасын қамтамасыз етеді.

Биндер құрамы 1: коллоксиллин (нитроөзек) — 2,5 г; изоамилацетат — 100 мл.

*Коллоксиллин* жарылғыш заттарға жатады, сондықтан оны эбонит немесе шыны контейнерлерде ылғал жағдайда (су немесе алкогольмен толтырылған) кішкене пакеттерде (300 г дейін) сақтайды. Әйнек үстіндегі шыны стоперлерді пайдалануға тыйым салынады, себебі әйнекті әйнектің үстіне жалтырағанда, ұшқын пайда болуы мүмкін. Соққыларға немесе қырып-жоюға қарсы құрғақ коллоксидин жарылуы мүмкін. Құрғақ коллоксидин алюминий немесе эмальді ыдыста  $70\text{...}80^{\circ}\text{C}$  температурада кептіру шкафының есігі ашық болуы керек.

*Изоамилацетат* улы, өткір иісті, тыныс алу жүйесінде жағымсыз әрекетке ие. Сондықтан, биндермен барлық жұмыстарды беті электроқшауланған жіксіз материалмен (винипласт, текстолит, гетинакс) қаптамаланған<sup>1</sup> арнайы сорып шығатын шкафтарда орындалады.

Биндер құрамы 2: поливинилбутираль — 2 бөлігі (масса бойынша); еріткіш —  $70\text{...}90$  бөлік (масса бойынша).

Баяу кептіру пастасы (кептіру уақыты –  $80\text{...}100$  с) үшін изобутил спирті және этил спирті тез пастасын кептіру дайындады ( $3\text{...}5$  сек уақыт кептіру.) - орташа пастасын ( $20\text{...}30$  с кептіру уақыты) кептіру үшін, еріткіш циклогексанона ретінде пайдаланылады.

<sup>1</sup> Қаптама (*нем.futter* — подкладка) — металлургиялық пештердің ішкі қабаттарын (қабырғалары, төбесі), отқа төзімді, химиялық тұрақтылықты және жылу оқшаулағыш материалдардан жасалған химиялық аппараттар.

Поливинилбутирал негізіндегі биндер алғашқы компоненттерді орамдағы 1...2 күн ішінде араластыру арқылы айқын ерітіндіні келесі артықшылықтармен алуға болады: жоғары механикалық беріктік, металл-керамикалық торлардың жылу қарсылығы, әр түрлі кептіру уақыты бар пасталарды алу мүмкіндігі, жарылыс қауіпсіздігі, дайындықтың қарапайымдылығы (поливинилбутирал арзан және қымбат емес).

Металлизационды паста дайындауға арналған компоненттер (ұнтақ және биндер) бірнеше сағат бойы шар диірменде мұқият араласып, електен сүзгіден өткізіледі. Дайын паста шыны ыдыста паста құрамын және жапсырмаларда оны дайындау күнін көрсететін мықты тығындармен сақталады.

Металлизированные пасталары шектеулі сақтау мерзіміне ие, себебі олар тез қоюланады және қатпарланады, сондықтан жұмыс кезінде оларды үнемі араластырады және тұтқырлығын мезгіл-мезгіл бақылайды. Пастердің құрамына қарамастан, оларға судың түсуі орынсыз, себебі пастаның тұқыртуы (коагуляция<sup>1</sup>) орын алады.

Паста керамикаға қылқаламмен, шашыратқышпен, сондай-ақ контактілерді беру, құю, жібекті басып шығару, басу, бүрку арқылы қолданылады.

Пастаны қыздыра жабындау кезінде металлды қабыршақтың және оның керамикалық компоненттері мен шыны арасындағы химиялық өзара байланыстың әсерінен туындаған бірігудің күрделі процесстері пайда болады. Термиялық өндеуден кейін металлдалған қабаттардағы молибденнің тығыздығы құрылымдық молибденнің тығыздығының 50...60% -ын құрайды.

### 3.7.3. Контактторлар

Радиоэлектроникада электрлік контактілерді алу үшін жалпы атауы - *контактторлармен* біріктірілген өткізгіш пасталар, желімдер, эмальдар қолданылады. Олар жоғары жылу өткізгіштігі бар металл ұнтақтарын қосу арқылы эпоксидті және силикон шайырларына негізделген композициялар. Мұндай композициялардың жабысқақ қасиеттері байланыстырушы базамен (шайыр) анықталады, ал өткізгіштігі толтырғыштарды (майда ұнтақты металл ұнтақтарын) пайдалану арқылы жүзеге асырылады. Контактторлардың полимерлеу жылдамдығы еріткіштің құрамына және мөлшеріне байланысты.

---

<sup>1</sup> Коагуляция (*лат. coagulatio* — үю, қойылу) - дисперстік жүйелердегі бөлшектердің бөлінуі, коллоидтық ерітіндіден немесе қалыңдығынан флокуланған тұнбаға әкеледі.

Дайындалған құрам еріткіш буларда нөлден төмен температурада сақталады. Контактторлар жоғары беріктігі мен икемділігіне; жақсы коррозияға қарсы қасиеттеріне; төмен тығыздылыққа ие; арнайы электр кедергісі жұмсақ дәнекерлеуге қарағанда 5-100 есе жоғары (нақты электр кедергісі  $1 \cdot 10^{-2} \dots 6 \cdot 10^{-4}$  Ом·см)

Металл толтырғыштың түріне байланысты күміс, никель, палладий және т.б. бар контактолар өндіріледі.

Күміс контактторлар жоғары электр кедергісі бар паста болып табылады ( $\rho = 1.6$  мкОм·м); климаттық және механикалық әсердің қасиеттерінің жоғары тұрақтылығы; әртүрлі материалдарға жақсы бейімделу; кесу күші  $\sigma_{сдв} = 2,5 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>.

*К-3 өткізгішті желім* - бұл электрлік қарсылыққа ие  $\rho = 0,05$  Ом·см; «тіршілік етуі» 24 сағат; алюминий, ковар, никель және алтынға жақсы адгезия; ығысу күші  $\sigma_{сдв} = 2 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>; температура -60-дан +120° С-ге дейін өзгерген кезде, бес жылулық циклге төзе алады.

Желім құрамына PE-933 лагі (салмағы 100 бөліктен) және күміс ұнтағы (салмағы 200 бөлік) кіреді

Мұндай желімді цифрлық индикаторлардың кристаллдарын электрөткізгіштігі қамтамасыз ететін корпустың негіздері мен негіздеріне бекіту үшін қолданылады.

*АС-40В ток өткізгіш желім* - бұл электрлік кедергісі  $\rho = 0,01$  Ом·см болатын болат түсінің паста тәрізді сұйықтығы; «тіршілік етуі» 24 сағат; алюминий, ковар, никельге жақсы адгезия; керудің күші  $\sigma_{сдв} = 2 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>; Жұмыс температурасының диапазоны -60-тан +450° С-ге дейін; температура -60-дан +450° С-ге дейін өзгерген кезде он жылулық циклге шыдай алады;

Желім құрамына АС-40 желімі (салмағы 100 бөлік), глицидильді эфирі (салмағы 10,15 бөлік), толуол (салмағы 20 бөлік), күміс ұнтағы (салмағы 200 бөлік) кіреді.

Электрлік контакті бар корпустың негізіне цифрлық кескін индикаторларының кристаллдарын бекіту үшін осындай желімді пайдаланады.

*ЭВТ тоқтатқыш желімі* - сұр түсті пасталы біртекті масса; бұл электр төзімділігі  $\rho = 0,005$  Ом·см; «тіршілік етуі» 12 сағаттан артық емес; -60-тан +200° С дейінгі жұмыс температурасының диапазоны; 250° С температурада 3 сағ ішінде емдеу уақыты; алюминий үшін керудің беріктігі  $= 2,5 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> мыс,  $\sigma_{сдв} = 4 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>, никель,  $\sigma_{сдв} = 4,5 \cdot 10^6$  Н / м<sup>2</sup>; алтын жалатылған беттердің байланысының беріктігі  $3 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>; 400° С дейін 15 минутқа дейін температураға төзе алады.

Жартылай өткізгіш аспаптар мен микросызбаларды өндіруде

монтаждау жұмыстарында дәнекерлеудің орнына осындай желімді пайдаланады.

Құрамында никелі бар контактолар құрамында күмістен тұратын желімдік композицияларға қарағанда, электрлік кедергісі төменірек. өмір сүру деңгейінің төмен; әртүрлі материалдарға нашар бейімделу; керудің күші  $\sigma_{сдв} = 2 \cdot 10 \text{ Н/м}^2$ ; Климаттық және механикалық әсердің қасиеттерінің жоғары тұрақтылығы.

*KN-1 тоқаткізгіш желімі* - бұл ерекше қарсылыққа ие  $\rho = 0.01$  Ом-см болатын, қара түсті біртектес масса; өміршеңдігі 30 минут; -60-тан +120° С дейінгі жұмыс температурасының диапазоны; Алюминий, никель, алтын, ковар  $\sigma_{сдв} = 2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  үшін қиылысатын беріктік шегі; температура -60-тан +120° С дейінгі үш жылулық циклге төзімді бола алады.

Желім құрамына эпоксидті шайыр ED-20 (салмағы 100 бөлік), ТЕГ-1 шайыры (салмағы 9 бөлік), қатты (полиэтилен полиамин) (салмағы бойынша 20...30), никель ұнтағы (салмағы бойынша 200...300 бөлік) кіреді.

Мұндай желім жартылай өткізгіш кристаллдардың электр байланысымен өткізгіш жолдары бар диэлектрлік субстратқа бекіту үшін қолданылады.

Құрамында палладий бар контактолар — жоғары электрлік кедергісі бар паста болып табылады, олар  $\rho = 10...20$  мкОм·м; байланыс контактілерінің жоғары тұрақтылығы; барлық металлдарға және бірнеше жартылай өткізгіш материалдарға жақсы бейімделу; керудің күші  $\sigma_{сдв} = 4...10 \text{ Н/м}$ .

Контактолар мөлшерлеуіштер (шприцтер) арқылы қапталады. Бұл байланыстың жоғары сапасын қамтамасыз ету үшін маңызды болып табылатын желім мөлшерін мөлшерлеуге мүмкіндік береді.

### **3.8. Жылжымалы байланыстар үшін материалдар**

Барлық байланыс материалдары жұмыс кезінде тозу (нашарлау) әсеріне ұшырайды. Механикалық, химиялық және электр тозуын ажыратып көрейік.

*Механикалық тозу* контактілердің әсеріне және кейінгі контактты басу әсеріне байланысты белгілі бір күштің қолданылуына байланысты контакт беретін беттердің материалдарының қажалуына және деформациясына байланысты. Бұл материалдың қасиеттеріне және байланыс құрылғысына тәуелді.

*Химиялық тозу* (коррозиядан) байланыс материалдарының қоршаған ортамен химиялық өзара әрекеттесуіне байланысты, яғни

олардың беттерінде тотықты, сульфидті, карбонатты және басқа электрөткізгіштігі нашар көрінеді.

Барлық металл бұйымдар жұмыс кезінде тоттануға ұшырайды, алайда контактілер материалдарының тотығуы жоғары температураға дейін қыздыруға байланысты әлдеқайда белсенді. Коррозияға төзімділікті арттыру үшін байланыс құрылғысында вакуум немесе инертті газ атмосферасы құрылады, ал беттер беті коррозияға төзімді металлдармен жабылады.

*Электрлік тозу* (электрлік эрозия немесе жану) тек созылғыш және ішінара сырғанайтын контактілерде байқалады. Бұл байланыстардың полярлығына байланысты және контакт материалы бөлшектерінің контактілі сынуы болған жағдайда электр доғасының әрекет етуіне байланысты булану мен ауыстыруды азайтады. Нәтижесінде, бір бетінде байланыс өседі, екіншісі - тереңдетуге ұшырайды(кратер). Металлды анодтан катодқа ауыстыру кезінде олардың арасында инелер пайда болуы мүмкін, ол контакттың бұзылуына және жұмысының бұзылуына жол бермейді. Тығыз салыстырмалығы жоғары жағдайда байланыс беттерін дәнекерлеуге болады. Ең белсенді эрозия тұрақты ток тізбектерінде көрінеді.

Байланыс материалдары келесі талаптарға сәйкес келеді:

- төмен өтпелі электр кедергісі (байланыс беттерінің қиылысуындағы кедергі);
- тозу төзімділігі;
- жұмыс кезінде өтпелі кедергінің тұрақтылығы.

Электротехникада пайдаланылатын ең жауапты байланыстар, электр тізбектерінің (сырғымалы және ажыратқы) мерзімді ашу және жабу үшін қызмет ететін байланыстар болып табылады.

### **3.8.1. Сырғымалы контактілер үшін материалдар**

Сырғымалы контактілер құрылғының бекітілген бөлігінен жылжымалы бөлікке электр тогының берілуін қамтамасыз етеді. Сырғымалы контактілерді пайдаланған кезде олардың беттері механикалық тозу мен коррозияға ұшырайды.

Сырғымалы серіппелі контактілерге арналған материалдар мынадай қасиеттерге ие болуы керек:

- жоғары беріктігі мен қаттылығы;
- жоғары икемділігі;
- төмен меншікті электрлі кедергісі;
- контакт бойынша кернеудің төмендеуі;
- тозуға төзімділігі;
- үлкен жылдамдықтарда жұмыс жасау мүмкіндігі;

- тотығуға төзімділігі.

Серіппелі металлды және электрлік көмірлі сырғымалы контактілерге жатады.

Серіппелі металлды контактардың материалдары ретінде қатты созылатын электролитті мысты, қоланың арнайы сұрыптарын (кадмий, кадмий-қалайы, раллий) қолданылады, сонымен қатар күміс қосындысы- кадмий оксиді.

Серіппелі контактілі материалдардың негізгі қолданысы сымды потенциометрлерде, реостаттарда, ажыратқыштарда.

Электротехникалық көмір байланыс материалдары электр машиналарының щеткаларын, гальваникалық элементтер үшін көміртек электродтарын, доғалы пештерді және т.б. жасау үшін кеңінен қолданылады.

Электр щеткалары үшін материалдар машинаның құрылымы мен жұмыс режиміне байланысты таңдалады. Өнеркәсіп түрлі маркалардың щеткаларын шығарады: графит (Г); көмір-графит (УГ); металлографиялық, яғни. құрамында металл ұнтақ бар (М және МГ); электро-графирленген, яғни графитизацияға (ЕГ) ұшыраған. Осы мақсаттарда көмір, графит, қола және арнайы термиялық өңдеуге ұшыраған белгілі металлдардың қысылған композициялары қолданылады.

Электртехникалық көмір материалдарының негізгі қасиеттері 3.8. кестесінде келтірілген.

### **3.8.2. Ажыратылатын контактілер үшін материалдар**

Ажыратқыш контактілер байланыстарына арналған материалдар күрделі жағдайларда жұмыс істейді, өйткені жұмыс кезінде ажыратқыш контактілерінің байланыс беттерімен арасында ұшқын немесе доғал тәрізді электр зарядтары пайда болуы мүмкін.

Бұл үрдіс электрлік эрозиямен,<sup>1</sup> бірге жүреді, бұл тиісті құрылғының дұрыс жұмыс істеуіне әкеледі. Оксидтік пленкалар ашық контактілердің беттерінде қалыптасады, сондықтан олар сондай-ақ коррозияға немесе химиялық тозуға ұшырайды.

Ажыратылатын контактілер үшін материалдар:

- төменгі меншікті электрлік кедергісі;
- контактілердегі төменгі кернеуі;
- механикалық және электрлік тозуға беріктілігі;

<sup>1</sup> Эрозия (*лат. erosio*— ажырату) — газ немесе сұйықтық ағынында металл бұйымдарының беткі қабатын біртіндеп бұзу, сондай-ақ механикалық әсерлердің ықпалынан, электр разрядтары және т.б.

- байланыстыру беттерінің эрозиясынан (жанудан) аулақ болу
- контактілер ашық болғанда электр доғасының әсерінен байланыс беттерінің бір-біріне дәнекерлеуіне жол бермеу;
- байланыс электр кедергісінің үздіксіздігін қамтамасыз ету;
- өңделуі оңай;
- төмен құнының болуы.

Ажыратылатын контактілері үшін материалдарды таңдау қосқыш токтың мәніне немесе электр тізбектерінің ашылу қуатына негізделеді.

Ажыратылған ток шамасы бойынша төменгі ток контактілері (10 А дейін токтарда жұмыс істейді) және жоғары ток контактілері (бөлінген ағындарда 10 А астам) болып бөлінеді.

Электр тізбектерінің ажырату қуаты бойынша ажыратылатын контактілер төмен ток (төмен қуатты) және жоғары ток (жоғары қуат) деп бөлінеді.

Төмен жиілікті (төмен қуатты) үзік контактілер қатты және ерітілген металлдардан және қатты ерітінділердің негізінде қорытпалардан жасалған (осы материалдардың негізгі қасиеттері 3.5.1, 3.5.2-де келтірілген).

Байланыстардың кең ауқымында жоғары электрөткізгіштігі мен өтпелі электр кедергісін қамтамасыз ететін, бірақ эрозияға төзімділігі төмен таза күміс қолданылады. Бұдан басқа, күміс контактілер беті оңай дәнекерленген болады. Таза күміс де байланыстың төменгі контактары (жеңіл жүктелген) және күкірт бар материалдармен (мысалы, резеңке, эбонит) өте дәл ажыратқыш байланыс үшін пайдаланылмайды.

Таза күміспен салыстырғанда эрозияға үлкен қарсылығына, күміс пен мыстың қосындысына ие, бірақ аз салмақты контактілерде ол жеміріледі.

*Күміс-кадмийдің* қорытпалары кадмий және оттегі буларының арқасында байланыстар арасындағы доғаның жоғары қарқындылығына байланысты жоғары эрозияға төзімділікпен сипатталады, алайда, осы қорытпалардың контактілері үлкен байланыс қысымын талап етеді. Мұндай материал, құрамында кадмий оксидінің массасының 2% -дан 12% құрайтын, бинарлы күміс-кадмий қорытпасын тотықтырғыш ортада қыздыру арқылы алынады.

Алтын және цирконий қосындылары бар *күміс-магний-никель* қорытпалары серпімді және контактілі материалдардың қасиеттерін табысты біріктіреді. Бұл оларды кішкене және кішігірім құрылғыларда өте құнды болып табылатын бір контактілі-серіппелі байланыс ретінде табысты пайдалануға мүмкіндік береді.

Бұл қорытпалар күміс сияқты өтпелі электрлік кедергіге ие.

Күміс және оның қорытпаларынан жасалған төменгі ток



ажыратқыштары доғалық режимде жұмыс істейтін электронды құрылғыларда;автоматика құрылғыларында; авиациялық және теңіз техникасының жабдықтарында. қолданылады.

Алтынның бөлме температурасында және қыздыру кезінде күкірт қабыршақтарының қалыптасуына коррозияға төзімділігі бар, бірақ эрозия нәтижесінде тікендер мен бұлтықтардың пайда болуына байланысты алтын доғалы, тіпті төменгі токтарда да доғаланады. Сондықтан, *таза нысандағы* алтын төмен кернеулерде жұмыс жасайтын дәлме-дәл контактілерді және шағын байланыс қысымын қамтамасыз етеді. Байланыстағы материал ретінде алтын негізінен платина, күміс, никель, цирконий қорытпалары түрінде, қаттылықты, жақсы коррозия мен эрозияға төзімділігін арттырады.

*Платина* өзінің таза түрінде байланыс жасау үшін сирек пайдаланылады. Ол бірқатар байланыстық қорытпалар үшін жақсы негіз болып табылады, себебі ол ауадағы тотықсызданбайды және күкірт қабыршақтарды құрмайды, сондай-ақ платина контактілеріне тұрақты өтпелі қарсылықты қамтамасыз етеді.

Ең көп таралған платина қорытпалары никель, күміс, алтын, иридий болды, ол қаттылықты және арнайы электр кедергісін арттыра отырып, доғалық разрядсыз жұмыс істейтін дәл реле, әуе кемелерінің электр жабдықтарын басқару релесі, шағын және кішкене көлемді реле электрондық жабдықтар.пайдаланылады.

*Вольфрам* контактілі материалдардың ең қажет сипаттамаларының комбинациясын қанағаттандыратын көптеген қасиеттерге байланысты контакт материалы ретінде кеңінен қолданылды. Вольфрам контактілері жұмыс кезінде дәнекерленбейді, себебі вольфрамның балқу нүктесі 3380 °С құрайды. Вольфрамның эрозияға төзімділігі платинадан бірнеше есе көп. Вольфрам контактілері олардың қатты қаттылығына байланысты механикалық тозуға ұшырамайды. Вольфрам сымымен байланыстар бойлық талшықты құрылымымен жақсы қасиеттерге ие. Егер сымнан кесілген контактілердің түйірлері байланыс осі бойымен ұзартылса, онда оның тозуға төзімділігі ұлғаяды.

Молибденмен вольфрамның допингін оның қаттылығын, нақты электр кедергісін арттырады және рефракторлықты төмендетеді. Алайда, молибден бөлек қорытпаға вольфраммен шектеулі мөлшерде енгізіледі, өйткені молибден бөлме температурасында бос тотықты пленкалардың пайда болуымен бұзылады.

Вольфрам контактілері әуе кемелерінің басқару релелерінде, телеграфтық және сигналдық релелерде, үзілістерде және ағымды түрлендіргіштерде, вакуумда немесе газбен толтырылған қосқыштарда қолданылады.

Ұзындықты (жоғары қуатты) сынған контактілер ұнтақ металлургиясы әдістерімен алынған металл-керамикалық

материалдардан дайындалады (металл-керамикалық материалдардың негізгі қасиеттері 3.10 бөлімінде қарастырылған). Металл-керамикалық контактілер дәстүрлі металлдан жасалған бірқатар артықшылықтарға ие. Олар дәнекерлеуге төзімді; жоғары ток және механикалық жүктемелерде ауыстыруға болмайды; қалыпты жүктемелер кезінде контактілердің қызмет ету мерзімін едәуір арттыруға; күмісті күміс жинақтаған құрылғылардың сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін арттырады (10-дан 70% -ға дейін).

Жоғары токөткізгіш контактілерге арналған металлокерамикалық материалдар өзара байланыссыз компоненттерден тұрады, олардың біреуі әлдеқайда жоғары қиын балкумен, ал екіншісі материалды жақсы өткізгіштігі нқамтамасыз етеді. Неғұрлым төмен отқа төзімді компонент беткі жағын күшейтетін неғұрлым өрескел беткейлерде сақталады.

Күміс және мыс бар композициялар жоғары электрлік және жылу өткізгіштігін қамтамасыз етеді.

Кадмий, мыс, никель, вольфрам, графит оксидтерінің біркелкі қоспалары түрінде отқа төзімді фазалар бар композициялар олардың байланыстарын дәнекерлеуге жол бермейді, олардың тозуын және ыстыққа төзімділігін арттырады. Бұл жағдайда кадмий тотығы шамамен 900° С температурада және жоғары температураларда мыс оксидінің, кадмий және оттегі, мыс пен оттегіне ыдырау кезінде, доға сөну жылдамдығын арттырады.

Никельден жасалған күмістің құрамы жақсы өңделеді және коррозияға төзімділігі жоғары.

Кадмийдің оксиді бар күмістің құрамында өткізбейтін тотықтар пайда болмайды, сондықтан жоғары қысымды қажет етпейді. Тұрақты ток тізбектерінде (300 А, 500 В) жұмыс істейтін байланыстар жасау үшін қолданылады. Бұл композицияның негізінде контактілерді пайдалану барысында зығыр қағаздармен құмдалауға болмайды.

Материалдың бастапқы компоненттері 50...150 мкм әдеттегі өлшемдердің орнына 0.5...2 мкм болатын болса, ұсақ шашыраған контакт материалдары майда дисперсті байланыстарының қызмет ету мерзімін 1,5-тен 3 есеге дейін арттырады.

Дәнекерлеуге беріктілігі бойынша (төмендеу тәртібімен) байланыс материалдары келесі тәртіпте орналасады: графит (С); вольфрам (W); вольфрам — молибден (W—Mo); металлокерамика вольфрам—мыс (күміс) (W—Cu (Ag)); вольфрам карбиді—күміс (WC—Ag); күміс — кадмий қорытпасы (Ag — Cd); металлокерамика күміс — кадмий оксиді (мыс оксиді) (Ag—CdO (CuO)); күміс (мыс) — графит (Ag (Cu) — С).

Металл-керамикалық жоғары қысымды контактілер жалпы өнеркәсіптік мақсаттарда, атап айтқанда әуе кемелерінің релелерінде және орташа және ауыр қосқыштарда, автоматты

сақтандырғыштарда, контакторларда, стартерлерде және дабылдарда қолданылады.

Барлық қажетті талаптарға жауап беретін байланыс материалдары жоқ. Материалдарды жасау ең қажетті сипаттамалардың үйлесімімен жақындауға болады. Сондықтан ажырату және жылжымалы контактілері бар құрылғылар тиісті жағдайда схемалық шешімдермен алмастырылады. Бұл құрылғыны аса қатаң жағдайларда пайдалануға мүмкіндік береді, ақаулар санын азайтады және құрылғылардың қызмет ету мерзімін ұзартады.

### 3.9. Дәнекер

Электрондық жабдықта контактілерді жылжытудан басқа, тіркелген контактілер кеңінен қолданылады, олардың негізгі бөлігі контакторлармен дәнекерлеу және дәнекерлеу болып табылады. Дәнекерлеу тек шағын өтпелі кедергісі мен жақсы механикалық күші бар тұрақты электр байланысын алу үшін ғана емес, сондай-ақ, вакуумды тығыз жерлерді алу үшін де қолданылады.

Дәнекерлеу үшін қолданылатын арнайы қорытпалар *дәнекер* деп аталады. Дәнекер - бұл металл қосылыстарының қосылуы, сұйық балқыту металлдардың беткі қабаттарымен өзара әрекеттесуінен туындайтын қорытпа. Металлдарға қарағанда балку температурасы төмен және оның ылғалды болу мүмкіндігі бар. Пісіру процесі қыздырумен бірге жүреді. Нәтижесінде ерітінді балқиды, біріктірілген бөлшектердің бетіне таралады, олардың арасы толтырылады. Кешенді физикалық және химиялық процесстер балқытылған тұзды және қосылатын бөліктердің беттерінің арасындағы интерфейсіне орын алады. Сұйытқыш базалық металлды диффузияға айналдырады, ал негізгі металлдың беткі қабаты тұштықшыта ериді, ол интерлейерді құрады. Қаттылдаудан кейін интегралды қосылыс пайда болады.

Байланыстырылатын бөліктердің беттерінде тотықты пленкалардың, механикалық және органикалық қоспалардың болуы ұсақ дәнекерлеу процессін қиындатады, сондықтан ұсақ дәнекерлеуге дейін біріктірілген беттер мұқият тазаланып, дәнекерлеу кезінде ағындар деп аталатын қосалқы композициялар арқылы тотығудан қорғайды (5.2.9 бөлімін қараңыз).

Дәнекерлер келесі қасиеттерге ие болулары қажет:

• жақсы сұйықтық, яғни. балқытылған күйде оңай таралуға және тар жерлер мен жарықшақтарды толтыруға;

- шағын кристаллизация температурасы;
- жоғары механикалық беріктігі;
- тотығу тұрақтылығы;
- жоғары электрөткізгіштігі.

Дәнекерлер механикалық қасиеттер бойынша едәуір

ерекшеленеді.

Дәнекерлеу маркаларының атауы ең көп мөлшерде енгізілген металлдармен анықталады (қалайы — О, қорғасын — С, алюминий — А, күміс — Ср, сүрме — Су, мыс — М, мырыш — Ц, висмут — Ви, кадмий — К). Бағалы немесе сирек кездесетін дәнекерлеудің құрамына кіретін металлдың тағайындалуы, осы металлдың қорытпада аз мөлшерде кездесетініне қарамастан марканың атауында міндетті түрде жазылады. Кесектің маркасы біріктірілетін металлдар мен қорытпалардың түріне, қажетті механикалық беріктігіне, коррозияға төзімділігіне және тұздардың нақты электр өткізгіштігіне байланысты (тоқ бөлшектерін дәнекерлеу кезінде) таңдалады.

Балқу нүктесіне байланысты, дәнекерлеу жұмсақ және қатты болып бөлінеді. Қатты және жұмсақ дәнекерлеу арасындағы айырмашылық мынада, бұл жұмсақ дәнекерлеу кезінде адгезия басым (бетінің адгезиясы) ол ылғалдандыруға ықпал етеді, және дәнекерлеумен бірге адгезиямен қатар, біріктіру және диффузия орын алады. Температура артуы кезінде өзара диффузия мен ылғалдану жылдамдығы артады.

**Жұмсақ дәнекерлеу.** Жұмсақ жуғыш заттардың салыстырмалы төменгі балқу температурасы ( $400^{\circ}\text{C}$ -қа дейін). Олар 50...70 МПа-дан кем емес созылу күшіне ие және кейбір жағдайларда қажетті механикалық беріктікті қамтамасыз етпейді. 18% -дан (ПОС-18) 90% -ға дейін (ПОС-90) қалайы бар қорғасын өнімдері (ПОС) негізінен жұмсақ болады. Бұл иеленушілердің нақты өткізгіштігі мыстың өткізгіштігінің 9,13%-ын құрайды, ал сызықтық кеңеюдің температуралық коэффициенті мыстан 60,70% -ға көбірек, балқу температурасы  $T_{\text{бал}} = 183^{\circ}\text{C}$ .

Сүрмелерді енгізу ПОС брендінің иілу қабілетін арттырады және жүктің астына түседі. Сүрменің мазмұнына сәйкес, ПОС маркалары , төмен бағаналы (0,2...5% сүрме, мысалы ПОССу-30-0,5) және аз сүрмелі (1...5% сүрме мысалы ПОССу 40-2) және сүрме әгі ретінде жіктеледі.

Кадмийдің қосылуы контактінің өткізгіштігін және механикалық беріктігін арттырады (мысалы, ПОСК маркалы дәнекерлеу).

Жұмсақ дәнекерлеу де  $400^{\circ}\text{C}$  температураға дейін балқыту нүктесі бар және төменгі температурадағы  $T_{\text{бал}}$  дейін  $145^{\circ}\text{C}$ -ға дейін балқыту нүктесіне бөлінеді.

Бұл дәнекерлеудің механикалық беріктігі маңызды емес, бірақ сезімтал бөлшектерді ыстыққа еріту кезінде қолдануға болады (жартылай өткізгіш құрылғылары, жұқа пленка гибриді қорытындылар мен көпкристаллды үлкен интегралды схемалар). Дәнекерлеуге осындай қасиеттерді беру үшін, олардың құрамына индий, висмут, кадмийді енгізеді.

Мысалы, Вуда ерітіндісі (50 % Bi, 25 % Pb, 12,5 % Sn, 12,5 % Cd) балқыту температурасы бар болғаны  $60,5^{\circ}\text{C}$ .

Жұмсақ дәнекерлеуді пайдалану қасиеттері, құрамы 3.9 кестесінде келтірілген.

**Кесте 3.9. Жұмсақ дәнекерлеуді пайдалану қасиеттері, құрамы**

Дәнекерлеу маркасы	Химиялық құрамы, %	Балку температурасы $T_{бал}$ , °C	Қолдану аясы
ПОС-30	Sn—30; Pb — 68; Sb — 2	256	Мысты, жезді, мырышталған темірді дәнекерлеу
ПОС-61	Sn—61; Pb — 38,1; Sb — 0,8; Bi — 0,1	183	Гибридті-кішкентай микро-схемаларды, жартылай өткізгіш чиптерді, баспа схемаларын, радиоқабылдағыштар сымдарын дәнекерлеу
ПОС-61 + + 3% Ag	Sn—61; Pb — 35,9; Sb — 0,1; Ag — 3	190	Бірдей
ПОС-90	Sn—90; Pb — 9,7; Sb — 0,3	222	Бөлшектерді гальваникалық қаптаумен дәнекерлеу
ПОС-47	Sn—47; Pb — 36; Sb — 5,5; Cd —11,5	142	Күмістендірілген және мыс керамикамен байланыстар жасау
ПОСИС-1	Sn—30; Pb—19; In—50; Ag—1	130	Шыны субстраттардағы жұқа пленкаларға сақиналы сымдарды дәнекерлеу
Вуда ерітіндісі	Sn—12,5; Pb — 25; Bi — 50; Cd—12,5	65	Температураны қажет ететін контактілерді дәнекерлеу. Алюминий мен оның қорытпаларын пісіру
АВИА-1	Sn—55; Cd—20; Zn—25	200	Температураны қажет ететін контактілерді дәнекерлеу. Алюминий мен оның қорытпаларын пісіру
АВИА-2	Sn—40; Cd—20; Zn—25; Al — 15	250	Сондай
ПСр-2,5	Pb — 92,7; Ag — 2,5	300	Жоғары температура кезінде жұмыс істейтін радио бөліктердің сақиналы сымдар; микроэлектрониканың элементтерін дәнекерлеу

Алюминий және оның мырыш, кадмий және алюминийден

тұратын қорытпалар дәнекерлеуге арналған микроэлектроникада кең қолданылмады.

Жұмсақ дәнекерлеу микросхема корпусының ішкі терминалдарын, ілгекті компоненттердің сымдарының ұшын алу үшін қолданылады; корпустардың герметезациясы, микросхемалар корпусының сыртқы түйрістерін тазалау, баспа схемаларының қабаттарын ауыстыру және шифрсыз интегралды схемаларға арналған монтаждық орындар.

**Қатты дәнекерлеу.** Қатты дәнекерлеу қиын балкумен сипатталады (балку температурасы  $500...900^{\circ}\text{C}$ ) және жоғары механикалық беріктігі ( $500\text{ МПа}$  дейін созылу беріктігі), бірақ дәнекерлеу процесі әлдеқайда күрделі және арнайы электрлік пештерде жүзеге асырылады.

• Күмістің (ПСр) негізіндегі қатты дәнекерлеу маңызды электронды өнімдерді пісіру үшін пайдаланылады. Бұл дәнекерлеудің температуралық диапазоны  $600...1000^{\circ}\text{C}$ . Олар жоғары беріктігі мен икемділігі, коррозияға төзімділігі бар. Күміс дәнекерлеудің құрамында мыс, мырыш, кадмий және кейбір жағдайларда алтын бар; Күміс мөлшері 25-тен 70% -ға дейін. Қатты дәнекерлеу келесі талаптарға сай болуы керек:

• ағынның пайдаланылмай инертті атмосферада немесе вакуумдағы қосылыстың жоғары механикалық беріктігін қамтамасыз етуі тиіс, өйткені ағынның қалдықтары нәтижесінде пайда болатын оксидтер электрқұраушы қондырғының ішкі бетін ластауы мүмкін;

• құрылғы ішіндегі бөлшектерді қыздырып, ластанған кезде буланбау керек;

• ерітінділердің балку нүктесі вакуумды эвакуациялау кезінде  $T_{\text{кы}}$  құрылғының қыздыру температурасынан шамамен  $100^{\circ}\text{C}$  жоғары болуы тиіс;

• электрлік және жылу өткізгіштігінің жеткілікті үлкен мәндері болуы керек.

Қатты дәнекерлеуді пайдалану қасиеттері, құрамы 3.10 кестесінде келтірілген.

Электрвакуум өнеркәсібінде электрондық түтіктердің, электрвакуумдық құрылғылардың, сондай-ақ герметикалық бөлшектердің жартылай бөліктерімен дәнекерленеді. Мұндай дәнекерлеу «*электрвакуумді*» деп аталады.

Электрвакулярлық құрылғыларға арналған дәнекерлеу, жалпы сипаттамалардан басқа, эвакуация кезінде қыздыру температурасының жоғары температураға (шамамен  $100^{\circ}\text{C}$ ) ие болуы керек. Құрылғының температурасы ( $T_{\text{кы}} = 500...700^{\circ}\text{C}$ ) бу қысымы 10-7 мм сн. бағ. артық болмауы керек.

Құрылғының рұқсат етілген қыздыру температурасына қарай жылу температурасы  $T_{\text{кы}} = 450^{\circ}\text{C}$  немесе  $T_{\text{кы}} = 700^{\circ}\text{C}$  болатын

құрылғыларға арналған.

**Кесте 3.10.** Қатты дәнекерлеуді пайдалану қасиеттері, құрамы

Дәнекерлеу маркасы	Химиялық құрамы, %	Балку температурасы $T_{пл}$ , °С	Қолдану аясы
ПСр-25	Ag—25; Cu—40; Zn—35	765	Болат пен мыс бөлшектерін дәнекерлеу
ПСр-70	Ag — 70; Cu—20; Zn—10	730	Күміс пен платинаны дәнекерлеу
ПСр-36	Cu — 36; Zn—64	800	Жез және қоланы дәнекерлеу
ПМЦ-62	Cu — 62; Zn—38	920	Мыс және құрышты дәнекерлеу

$T_{кы} = 450^{\circ} \text{C}$  жылыту температурасы бар құрылғылар үшін дәнекерлеу күміс-мыс-қалайы, күміс-мыс-индий ерітінділерін қамтиды, олар осал болып келгендіктен, көбіне ұнтақ түрінде пайдаланылады.

Жылыту температурасы бар құрылғыларға арналған  $T_{кы} = 700^{\circ} \text{C}$  алтын, палладий, никель және мыс негізіндегі қорытпалар болып табылады және балку температурасы  $T_{бал} = 810...1100^{\circ} \text{C}$ .

Радиоэлектроникада электрлік контактілерді алу үшін *контакторлардың* жалпы атауымен біріктірілген өткізгіш пасталар, желімдер, эмальдар қолданылады. Жұмсақ дәнекерлеумен салыстырғанда, контакторлар жоғары беріктігі мен икемділігіне, жақсы коррозияға төзімділікке және төмен тығыздыққа ие. Контакторлардың арнайы электрлік кедергісі 5 – 100 және одан да көп рет жұмсақ дәнекерлеуге қарағанда жоғары.

Металл толтырғыштың түріне байланысты күміс, палладий, никель, күміс никель, алтын бар контакторлар оқшауланады

Контакторлар – күмісі бар пасталар әр түрлі материалдарға жақсы жабысып, жоғары электр өткізгіштігі, климаттық және механикалық әсерлері бойынша қасиеттерінің жоғары тұрақтылығына ие.

Олар әртүрлі мақсаттарға арналған тізбекті элементтерді монтаждау үшін қолданылады.

Контакторлар – палладийі бар пасталар барлық металлдармен байланыстық қосылыстардың жоғары тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Оларды металл контактілерін, сондай-ақ кейбір жартылай өткізгіш материалдар алу үшін қолданылады.

Контактолды-желімдер металлдалған беттерге қосылу үшін;

жіңішке металл және лак қабықшалармен, композициялық материалдардың қабыршақтарымен жабылған беттер; жартылай өткізгіш материалдармен электрлік және жылулық байланыс жасау үшін қолданылады.

### 3.10. Металлқыш

Металл-керамика немесе ұнтақ қорытпалары металл ұнтақтарынан баспа материалдарының балку нүктесінен төмен температурада немесе қоспаның ең балқытатын компонентінің ішінара балқыту әдісімен оларды синтездеу әдісімен алынады.

Металлқыш бұйымдарды алу үшін негізгі шикізаттар вольфрам, титан, кобальт, марганец, хром, темір, мыс, қалайы, алюминий, феррокорытпа, және басқа да металлдар мен қорытпалар ұнтақтар болып табылады.

Ұнтақты металлургия әдісімен металлқыш бөлшектер, қатты ерітінділер, үйкелістік<sup>1</sup> және үйкеліссіз<sup>2</sup> материалдар, сонымен қатар жартылай өткізгіш материалдар алынады.

Ұнтақты металлургия әдістерімен алынған материалдар мен бұйымдар төзімділікке, тозуға төзімділікке, тұрақты магниттік қасиеттерге, құйылған және соғылған дайындаманың механикалық қасиеттерінен сәл төмен болатын қасиеттерге ие.

Ұнтақты металлургия әдістерін құйылған бөлшектерді өндіру үшін қолдануға болады, бірақ ұнтақты металлургия бөліктерінің өндірісіндегі шығындар 3...7%, ал құйма кезінде материалдың қалдықтары 80% жетеді. Алайда, ұнтақ металлургиясының әдісі сериялық өндіріс және жаппай өндіріс жағдайында ең тиімді болып табылады.

Металл – керамикалық бұйымдарды өндірудің технологиялық процесі мынадай негізгі операциялардан тұрады: ұнтақтарды дайындау, осы құрамның ұнтақтарын қоспалау (шихталар<sup>3</sup>) дайындау, бөліктерді кесу, агломерация, калибрлеу немесе таптау, өңдеу операциялары, (термиялық өңдеу, механикалық өңдеу, гальвациялық жабынды).

---

<sup>1</sup> Үйкелістік (*лат. frictio* — трение) — үйкеліс әсерінен әрекет, үйкеліс, үйкеліске сілтеме.

<sup>2</sup> Үйкеліссіз (анти + *лат. frictio* — үйкеліс) — үйкеліс коэффициенті төмен материалдар; жылжымалы үйкеліс кезінде жұмыс істейтін бөліктерді өндіруге арналған (мойынтіректер, ішпектер және т.б.).

<sup>3</sup> Шихта (*нем. schicht* — смесь) — металлургиялық қондырғыларда өңделетін материалдардың қоспасы.



Ұнтақтарды өндіру үшін шикізатті ұнтаққа (қара және түсті металлдар) немесе құйындыға (темір, мыс, алюминий, күміс, жеке титан және олардың қорытпалары) ұсақтайды.

Ұсақталған материалды қосындылардан тазартады және електен өткізеді. Електен өтпейтін бөлшектер қайталағыш күйге қайтарылады.

Осылайша алынған ұнтақтар вибрациялық немесе барабан араластырғыштарында аралатырады. Алынған заряд массасы бойынша немесе көлем әдісімен дозалаыады. Өнімдерді қалыптау үшін, жұмыс беттерінің жоғары тазалығымен қатты қоспаланған болаттан жасалынатын пішіндер қолданылады.

Пішіндер гидравликалық немесе қосиінді баспа машиналарында орналасады және басу жұмыстары жүргізіледі. Бөліктің өлшемдеріне байланысты бір немесе екі жақты басу пайдаланылады.

Металлдарды тотығудан қорғау үшін, электрлік немесе вакуумдық пештерде синтездеу қысқарту немесе қорғау ортасында жүзеге асырылады. Бірігу процессінде ұнтақ бөлшектердің бірігуі атомдардың өзара диффузиясының<sup>1</sup> арқасында жүзеге асырылады, сондықтан ұнтақтың жекелеген бөлшектерін дербес тоқтатады. Бірігу процессінің ұзақтығы бірнеше минуттан бірнеше сағатқа дейін болуы мүмкін, бұл өнімнің конфигурациясына және мөлшеріне байланысты.

Ыстық сығымдау кезінде басу және синтездеу процесстері бір уақытта жүзеге асырылады, бұл синтездеу уақытын 20-30 есеге азайтады. Бірігуден кейін дайындамалар калибрленеді немесе араластырылады, яғни олар дайын өнімнің өлшемдерінде, дайындаманың ақаулы беткі қабатында орындалатын, құйма арқылы жоғары қысыммен жойылады.

Құрамында вольфрам, молибден, хром және титанның карбидтерінің болуына байланысты қаттылық пен тозуға төзімділігі жоғары термиялық қатты қорытпалар кеңінен қолданылады.

Металлқыш қатты қоспаларды кесетін және қалыптайтын құралдар, тез тозатын бөлшектердің қаптамасы үшін қолданады.

Металл-керамикалық қатты қорытпаларды дайындау үшін вольфрамның карбиді немесе титан карбидінің ұнтақтары пайдаланылады, олар жоғары қаттылыққа ие. Қою тұтқырғыштар ретінде кобальт немесе никель қоспаға қосылады. Соқпалы конденсатын дәнекерлеу арқылы микросхемалар қабықтарын тығыздау үшін қолданылатын электродтарда қатты қорытпа эльконайт пайдаланылады.

---

<sup>1</sup> Диффузия (*лат. diffusio* — таралуы, ағуы) - бір заттың атомдарының тікелей байланыста болған кезде енуі.

Қорытпа ұнтақты металлургия әдісімен өндіріледі, сығылған вольфрам илектерін цилиндр құймалары балқытылған мыспен сіңдіреді.

### 3.11. Металл жабындары

Білгалдың немесе технологиялық факторлардың әсерінен металлдардан немесе қорытпалардан жасалған өнімдер түсті, сыртқы түрін, механикалық және электр қасиеттерін өзгерте алады және ішінара немесе толықтай жарамсыз болуы мүмкін. Бұл қоршаған ортаның химиялық немесе электрохимиялық әсерлері нәтижесінде металлды немесе қорытпаны бұзатын коррозияның салдары.

Коррозия барлық бетінде біркелкі, жергілікті және интеркристаллды болуы мүмкін.

*Біртекті* коррозия кезінде, сыну металлдың бүкіл бетінде бірдей күшпен жүреді. Коррозиялық ортада таза металлдар мен фазалы қорытпалар біркелкі тоттануға ұшырайды.

*Жергілікті* коррозия - металлдың кейбір бөліктеріндегі беткі қабаттың бұзылуы және жабынды қабаты бұзылған кезде байқалады.

*Интеркристаллды* (кристаллаларлық) коррозия - дәндер бойынша материалдың бұзылуы.

Химиялық және электрохимиялық коррозияларды ажыратады. Металл, бу және сұйық электролиттер (минералды май, керосин және т.б.) жоғары температурада металлға ұшыраған кезде *химиялық* тоттану орын алады

*Электрохимиялық* коррозия металлдардың электролиттері әсерінен пайда болады - тұздардың, қышқылдардың, сілтілердің, жаңбырдың, өзен мен теңіз суының ерітінділері.

Коррозиядан қорғау үшін, сапалы, сенімді жұмыс жасай отырып, электронды жабдықтың бөлшектеріне эстетикалық көрініс беру үшін қорғау және сәндік жабулар қолданылады.

Ең кең таралған металлдар, химиялық және бояулар. Металл жабындарды қарастырайық.

Олар - бетіне жағылған жұқа қабат. Металл жабындары коррозиядан қорғауға, жоғары беткі тазалыққа ие болуға, дәнекерлеуге және сыртқы түрін жақсартуға арналған беттерге сынғыш пленка жасау үшін қолданылады

Металл қаптамаларға мынадай негізгі талаптар қойылады:

- негізгі металлмен мықты тұтасу ;
- жақсы механикалық қасиеттерін қамтамасыз ететін жақсы құрылымды қасиет;

- біркелкі қалыңдығы.

Металл жабындарды қолданудың технологиялық процессі келесі негізгі операцияларды қамтиды: бетті дайындау, жабу, жуу және кептіру.

Жабуға дейін бетті:

- бет тазалығын жақсарту, тегіс емес және коррозия өнімдерін жою үшін өңдеуге;

- органикалық еріткіштерде (керосин, бензин) жуу арқылы, әк және ыстық сілтімен ерітінділермен өңдеу арқылы майсыздандыру; жұқа тотықты қабыршақтардың бетінен бөліктерін жою және металлдардан металл жабынның жақсы адгезиясы құрылымын анықтау үшін күкірт немесе тұз қышқылы бір-екі минут бөліктерін 5 ...10% ерітінді арқылы жеңіл оюға ұшыратады.

Металл жабындарын гальваникалық, вакуумдық және химиялық әдістермен, сондай-ақ металлдандыру арқылы қолдануға болады.

Гальваникалық (электролиттік) әдіс - тиісті тұздардың су ерітінділерінің электролизі кезінде металлдардың тұнуы.

Гальваникалық жабындар қышқыл және цианидті электролиттерде<sup>1</sup> тікелей токпен шығарылады.

Жабылған бөлік - теріс полюс (катод) және металл жабын - оң полюс (анод болып табылады).

ЭМӨ әсерімен су ерітінділеріндегі тұз молекулалары электрлік зарядталған (оң және теріс) бөлшектер-иондарға бөлінеді. Бұл жағдайда оң иондар катодқа қарай жылжиды және оған қоныс аударады, ал теріс рекомбинация<sup>2</sup> жүзеге асатын анодқа көшеді және электрод металлын оң иондар түрінде ерітіндіге ауыстырады. ЭМӨ әсерінен иондарды беру *электролиз* деп аталады

Егер металл жабындысы базалық металлдан әлдеқайда әлеуетке ие болса, онда мұндай жабу *анодтық* деп аталады. Бұл жағдайда металл жабынды гальваникалық жұп базалық металлды қалыптастырады,

<sup>1</sup>Электролиттер (электро + *лат.* lytos — ыдырайтын) химиялық заттар мен жүйелер болып табылады, онда электр энергиясын беру иондардың қозғалысы арқылы жүзеге асырылады. Бұл электролиттер металлдардан ерекшеленеді, олардың ағымдық тасымалдаушылары электрондар болып табылады.

<sup>2</sup>Рекомбинация (*ре...* + *лат.* combinatio — қосылым) - процесс, кері ионизация. Комбинация кезінде кері таңбалардың иондары біріктірген кезде бейтарап молекуланы қалыптастырады, ал электрон мен иондалған атом бейтарап атом болып табылады.

Онда анод болатындай металл жабындылар құлдырап, негізгі металлды бұзуға жол бермейді. Анод жабындыларына мырыш, кадмий, қалайы кіреді.

Негізгі металлдан әлдеқайда оң потенциалы бар металл жабынды *катодты* деп аталады. Бұл жағдайда бөліктің металлдан және металдалған қаптамасы гальваникалық жұпты құрайды, анодтың негізіндегі негізгі металл болып табылады.

Егер ылғал қақпақ пен негізгі металлдың жабуындағы ақаулы жерлерден өтсе, онда негізгі металл бұзылады.

Катод жабындыларына никель, мыс, күміс жатқызылады.

Радиоэлектроникада, мырыштау, кадмий, никель қаптамасы, хромды қаптау, күмістендіру және тазалау қолданылады. Болат өнімдері көбінесе мырыш, кадмий, никель немесе хроммен, ал мыс қорытпасынан жасалған никель, күміс, қалайы бар. Ковардан шыққан микросхемалар корпусы гальваникалық никельмен жабылған, олар алтыннан жасалған қаптаманы кейінгі қолдану үшін қорғаныш жабын және ішқабат болады.

Вакуум әдісі металлды бетіне және вакуумдағы металл емес бөлшектерге жұқа қабатын қолдануды білдіреді. Бұл жағдайда катодты қосыту немесе вакуумды буландыру қолданылады.

Вакуумдық бөлімшелерде *катодты қосыту* жүзеге асырылады. Анод ретінде бөлікті бекіту үшін металл плита қолданылады. Металл табақша катодты болып табылады, ол осы бөлікпен жабылуы керек. Потенциалдық айырмашылықтың әсерінен катодтың бөлшектерін анодқа ауыстырып, оның бөлігіне қойылады. Катодты шашырау процесі жоғары кернеуді қажет етеді (шамамен 10...30 кВ) және бірнеше сағатқа созылады.

Вакуум қондырғыларында *вакуумды буландыру* да жүзеге асырылады. Бөлік ұстаушыға буландырғыштан белгілі бір қашықтықта бекітіледі. Бу буландырғыш - бұл булануға ұшырайтын металлмен қапталған вольфрам спиралі. Спираль вакуумда қыздырылады, онда интенсивті булану және металлдың үстіне тұндыру пайда болады..

Вакуум булануы кеңінен қолданылады, себебі катодты шөгінділердің кемшіліктері жоқ.

Химиялық әдіс электр тоғы жоқ арнайы шешімдердің көмегімен металл жабындарды шығару үшін қолданылады. Ол қалпына келтіру агентімен өзара әрекеттесу нәтижесінде металлдың иондарының азаюына негізделген. Азайтатын зат тотығады және оның электрондарын береді. Ерітіндідегі металл иондары осы электрондарды бекітеді, олар атомдарға айналады және металл пленка түрінде орналастырылады.

Қалпына келу реакциясы металл бетінде ғана жүзеге

асырылады.

Ең көп қолданылатын химиялық никель және химиялық мыс төсеу.

*Химиялық никель* қаптамасы күрделі пішіндерді және гальваникалық жабуға қол жетімді емес ішкі беттерді жабуға мүмкіндік береді. Микроэлектроникада химиялық никель контакт дәнекерлеу әдісімен тығыздалған микросхемалар корпусының бөліктеріне қолданылады.

*Химиялық мыс* пластмассада баспа пластиналарын дайындау кезінде металлдандыру үшін қолданылады.

**Металлизация** — бұл қалың металл қаптамасын алу тәсілі, ол бөлшектер еріп кеткен металлға (ыстық металлизация) немесе бүріккіш пистолетпен (ыстық бүріккіш) батырылған кезде пайда болады.

*Ыстық металлдандыру* металл бөліктерге ғана жабын алу үшін қолданылады. Металлдандыру үшін мырыш пен қалайы пайдаланылады. Қаңылтыр жабыны жер үсті электр өткізгіш қабатын алу және коррозиядан қорғау үшін радиоэлектрондық құралдарды өндіру бойынша жұмыстарды орындаған кезде жүзеге асырылады.

*Ыстық бұрку* металл, керамика, пластмасса, шыны, конденсатор қағазы, ең жақсы мата, полистирол пленка және төмен жылу қарсылығы бар басқа материалдарға металл жабындарды шығару үшін қолданылады.

Тапаншада қыздырылған металл азот немесе көміртегі диоксиді бар бейтарап газбен беткі қабатқа шашырайды.

### 3.12. Өткізгіш бұйымдар

Электр энергиясын беру және тарату үшін әртүрлі құрылғыларды және олардың бөліктерін қосу, электр машиналарының орамаларын жасау үшін орамдық сымдарды, монтаж сымдарын, кабельдерді қолданады..

**Орамалық сымдар.** Орамалық сымдар электр машиналары, аппараттары мен аспаптары орамдарын өндіру үшін қолданылады. Орамдық сымдардағы өткізгіш материал ретінде мыс және алюминий қолданылады, олардың қасиеттері 3.3.2, 3.3.3. бөлімдерінде сипатталған. Пайдаланылатын оқшаулауға байланысты, орамдық сымдар эмальмен, талшықты, пленкамен және эмальды талшықты оқшаулаумен жасалады. Эмаль оқшауланған сымдарды орау ең жарқын болып табылады, себебі олар оқшаулаудың ең аз қалыңдығына ие (0.007...0.065 мм).

Осындай сымды қолданып, орамның көлеміндегі

бұрылыстардың үлкен санына байланысты электр машинасының қуатын арттыруға болады. Эмаль оқшаулау икемді лак қаптамасы түрінде эмаль станоктарында қолданылады.

Поливинил ацеталь және полиэфир шайыр негізінде жоғары беріктігі эмаль бояумен сымдар (сым белгілері 130° С дейін ПЭВ және ПЭТВ), және 120 °С дейін ыстыққа консервіленген жоғары эмаль негізделген полиуретанды шайырмен жабу көбірек қолданысты табады ( ПЭВТ маркасының сымдары бар).

Оқшаулау жабынының жіңішке қабатында сымдағы бөртпелердің болуы және эмальдау технологиясының жетілмегендіктен болғандықтан, ұсақ нүктелердің зақымдары бар (аз саңылау арқылы). Сым ұзындығы 1 м болғанда 5-15 нүктелік зақым болуы мүмкін. Осылайша, эмаль оқшауланған сымдардан жасалған орамалар электр оқшаулағыш лактармен сіңдірілген.

Эмаль оқшауланған кейбір мыс пен алюминий сымдарының сипаттамалары 3.11. кестесінде келтірілген.

Эмальданған сымдардың ең маңызды сипаттамалары икемділік, ыстыққа төзімділік және электрлік беріктігі болып табылады.

Эмальды сымның *серпімділігі* сынаудан кейінгі эмальды сыну болмағанымен анықталады. Диаметрі 0,38 мм-нен астам диаметрлі сымдар сымның екі немесе үш диаметріне эмаль болмайтын болат шыбыққа оралған. Диаметрі 0,38 мм-ден төмен сымдар ұзарту үшін 10% -ға дейін немесе ол үзілгенге дейін созылады.

Эмаль оқшаулаудың *ыстыққа төзімділігі* эмальданған сым үлгілері ескеруімен анықталады. Эмаль қаптамасының құрамына байланысты сым сегменттерінің үлгілері термостатқа орналастырылып, 24 сағат ішінде 105, 125, 155 немесе 200° С температурасында сақталады. Температураның ескеруінен және бөлме температурасына дейін салқындағаннан кейін диаметрі 0,38 мм-ден астам сымдық сегменттер белгілі бір диаметрлі дөңгелек болаттан жасалынады. Кіші диаметрлі сымдардың кесінділері 10% немесе үзілуге дейін ұзарту үшін созылуға ұшырайды. Бұл сынақтардан кейін эмаль бетіндегі сымның шытынауы байқалмауы тиіс.

Алюминий сымдардағы эмальды оқшаулаудың жылу кедергісі органикалық эмаль қаптамасында алюминийдің аз каталитикалық әсері есебінен мыс сымдардағы тиісті эмальдардың жылу қарсылығына қарағанда орташа алғанда 6...8° С жоғары.

Эмальданған сымның *электрлік беріктігі* сыну кернеумен анықталады. Тесерлік кернеуін бір-біріне бұралған 200 мм ұзындығының екі сым кесіндісімен өлшейді.

Кесте 3.11. Эмаль оқшаулағышы бар кейбір мыс және алюминий сымдардың сипаттамасы

Сым маркасы	Тарам диаметрі (бөлектеусіз), мм	Бөліктеу қабығының қалыңдығы (бір жағынан), мм	Сым сипаттамасы	Пайдалану аясы
<i>Мысты</i>				
ПЭЛ	0,02...2,44	0,0075...0,05	Кептіру майларындағы эмальмен оқшауланған сым	Электр аспаптары мен құрылғыларындағы катушалары үшін. Рұқсат етілген ең жоғарғы температура - 150 °С
ПЭВ-1	0,05...2,44	0,012...0,05	Жоғары беріктік эмальмен (винфлекс) оқшауланған сым	Электр машиналары мен аппараттарындағы орамаларға арналған. Рұқсат етілген максималды температура - 110 °С
ПЭВТЛ-1	0,06...1,0	0,010...0,05	Қуаттылығы жоғары полиуретанды эмальмен оқшауланған сым	Электр машиналары мен аппараттарындағы орамаларға арналған. Рұқсат етілген максималды температура 120 °С. Кесектеу кезінде эмаль қышқылдануды талап етпейді, себебі ол ерітіліп, ағын ретінде қызмет етеді
ПЭВТЛ-2	0,06...1,0	0,015...0,065	Жоғары полиуретанды эмальмен оқшауланған, сым тығыздығы жоғары эмальдік қабатымен қалайы қапталған жылу сыйымдылығы	Осы сияқты

### 3.11 кестесінің аяғы

Сым маркасы	Тарам диаметрі (бөлектесіз), мм	Бөліктеу қабығының қалыңдығы (бір жағынан), мм	Сым сипаттамасы	Пайдалану аясы
ПЭВТ	0,06...2,44	0,015...0,065	Беріктігі жоғары ыстыққа төзімді полиэстер эмальмен оқшауланған сым	Электр машиналары мен аппараттарындағы орамаларға арналған. Рұқсат етілген ең жоғарғы температура 130 °С
<i>Алюминий</i>				
ПЭЛ	0,03...0,55	0,007...0,025	Кептіру майларындағы эмальмен оқшауланған сым	Электр аспаптары мен құрылғыларындағы катушкалары үшін. Максималды рұқсат етілген температурасы 105 °С
ПЭВА	0,82...2,44	0,015...0,065	Жоғары беріктігі бар эмальмен (винфлекс) оқшауланған сым	Электр машиналарында орамаларға арналған. Рұқсат етілген максималды температура - 110 °С
ПЭЛРА	0,08...2,44	0,015...0,065	Жоғары беріктігі бар эмальмен (полиимидті-резол) оқшауланған сым	Электр аспаптары мен құрылғыларындағы катушкалары үшін. Максималды рұқсат етілген температурасы 105 °С



Шиыршықтардың саны сымның диаметріне байланысты төмендейді. Эмаль оқшаулаумен әртүрлі материалдардың бұралған сымдарының кернеуінің мәндері 3.12 кестесінде келтірілген.

**Кесте 3.12. Эмаль оқшаулауымен әртүрлі материалдардың бұралған сымдарының сыну кернеуінің мәндері**

Сым диаметрі (мыс бойынша), мм	200 мм ұзындығы үшін бұрылыстардың саны	Эмаль оқшаулаумен әртүрлі материалдардың бұралған сымдарының ең аз кернеуі, В			
		ПЭЛ	ПЭВ-1	ПЭВТЛ-1	ПЭТВ
0,05...0,07	60	350	350	350	450
0,15...0,20	33	550	600	600	800
0,21...0,41	25	800	800	800	1200
0,86...1,35	15	1000	1200	1200	1800
1,4...2,44	8	1250	1400	—	—

Талшықты оқшауланған сымдарды оқшаулаудың қалыңдығы (0,05...0,17 мм) эмальданған сымдармен салыстырғанда жоғары.

- Талшықты оқшаулау орамасының сымдарына келесі талаптар қойылады:

- орамдық жіптер арасындағы бос орындардың жоқтығы;
- диаметрі екі қабаттарының немесе сым он диаметрі тең диаметрі оның бір қабатты оралатын сым оқшауланған өзек, талшықты оқшаулаумен сымдар бес диаметрі болып табылатын болат өзектің болмауы.

Иірілген жіптер талшықты изоляция ретінде : мақта, жібек, капрон, асбест, лавсан және шыны талшықтары пайдаланылады

Орамдық сымдардың ең үлкен жылу кедергісі шыны мен асбестті иірілген жіптерді глифон және силикон-органикалық лактар арқылы жылуға төзімділігі жоғары сым арқылы жабыстырылады.

Талшықты және пленкалық оқшауланған мыс және алюминий сымдарының кейбір сипаттамалары 3.13. кестесінде келтірілген.

Талшықты орамасы бар желілі сымдар электрлік оқшаулау қасиеттерінің төмендігімен ерекшеленеді, өйткені талшықты оқшаулаудың барлық түрлері гигроскопиялық болып табылады, яғни олар ауадан ылғал сіңіреді; талшықты оқшауланған сымдардан жасалған орамалар оқшаулайтын лактармен немесе қосылыстармен мұқият кептіруді және сіңдіруді қажет етеді;

**Кесте 3.13.** Талшықты және пленкалық окшауланған мыс және алюминий сымдарының сипаттамалары

Сым маркасы	Тарам диаметрі (бөлектеусіз), мм	Бөліктеу қабығының қалыңдығы (бір жағынан), мм	Сипаттамасы
<i>Мыс</i>			
ПБ	1,0...5,2	0,15...0,30	Кабель қағазының бірнеше қабатымен окшауланған сым
ПБО	0,2...2,1	0,05...0,07	Мақта талшығынан жасалған орамның бір қабатын окшауланған сым
ПБОО	1,0...5,2	0,42	Мақта талшығының жіптері мен орамдарының бір қабаты окшауланған сым
ПШД	тікбұрыш қимасы 0,83 x 3,53	0,07...0,08	Мақта талшығының жіптері мен орамдарының бір қабаты окшауланған сым
ПСД	0,31...5,2	0,11...0,165	Ыстыққа төзімді глифал лакпен сіндірілген шыныдан жасалған орамның екі қабатымен окшауланған сым
<i>Алюминий</i>			
АПБ	1,35...8,0	0,15...0,90	Кабельді қағаз таспалардан жасалған орамның бірнеше қабатымен окшауланған дөңгелек немесе тікбұрышты көлденең қиманың сымы
АПБД	Аз жағы — от 2,1 до 5,5; үлкен — 4,1 до 14,5	0,165...0,220	Мақта талшығынан дайындалған орамның екі қабатымен окшауланған дөңгелек немесе тікбұрышты көлденең қиманың сымы
АПСД	1,62...5,2	0,125...0,150	Ыстыққа төзімді лакпен сіндірілген шыны шыныдан жасалған орамның екі қабатымен окшауланған

Жібек оқшауланған сымдардың бұзылу кернеуі - 450...600 В, мақталы оқшаулаумен - 700...1000 В, асбестті оқшаулаумен 450. 500 В Трансформатор орамаларының өндірісінде пленкалық оқшауламасы бар сымдар пайдаланылады. Пленкалық оқшаулағыш ретінде минералды маймен жақсы сіңірілген қағаз таспасын пайдаланады. Қағаз негізіндегі қағаз оқшаулағышы бар сымдар трансформаторлардың орамасының жоғары электр беріктігін қамтамасыз етеді. Қағаз таспасынан оқшаулаудың механикалық беріктігін арттыру үшін мақта немесе капрон жіппен жабады.

Пленкалық оқшауланған мыс пен алюминий сымдарының сипаттамалары 3.13 кестесінде келтірілген.

Эмаль-талшықты оқшауламасы бар орамалы сымдарда эмаль қабатына мақта, жібек, нейлон немесе шыны жіптің катушкасы қолданылады. Ең үлкен механикалық беріктігі лавсан талшықтарынан жасалған ораммен қамтамасыз етіледі. Шыны иірімінен дайындалған орамал жылуға төзімділікке ие. Осындай сымның электрлік беріктігі талшықтар арасында сақталған ауаның электр беріктігімен, сондай-ақ эмаль оқшаулауының электрлік беріктігімен анықталады.

Эмаль-талшықты оқшауламасы бар орамдық сымдар аса ауыр жағдайда жұмыс істейтін және эмаль оқшаулауын қорғауды талап ететін тартқыш, шахталық электр қозғалтқыштары, электр машиналары мен аппараттарын өндіру үшін қолданылады.

Эмаль-локнисті оқшауланған мыс сымдарының сипаттамалары 3.14.кестесінде келтірілген.

**Монтаж сымдары.** Монтаж сымдары оқшаулағыш резеңке немесе поливинилхлоридті пластикпен жабылған мыс немесе алюминийден тұрады, сондай-ақ мақта, жібек немесе капрон жіптері және синтетикалық пленка. Ең үлкен икемділік көп вирустық сымдарға ие, оның виналары көптеген жұқа сымдардан тұрады. Монтаждау сымдары қалайы жалатылған мыс сымдарымен шығарылады, бұл сымдардың дәнекерлеуін жеңілдетеді.

Резеңке және полихлорвинилді оқшаулағышымен монтаждау сымдары 380 В айнымалы кернеумен және 500 В-қа дейін электр қондырғыларында және аппараттарда қолданылуы мүмкін.

Талшықты оқшауланбаған сымдардың көпшілігі (мақта, жібек және т.б.) кернеуліктерде 60.100 В дейін пайдаланылуы мүмкін, ал олардың кейбіреулері 20 В дейін.

Бекіткіш сымдарды тану үшін олардың оқшаулағыш қабығы әр түрлі түстермен боялады.

**Кесте 3.14. Эмаль-талшықты оқшауламасы бар мыс орамдары  
сымдарының сипаттамасы**

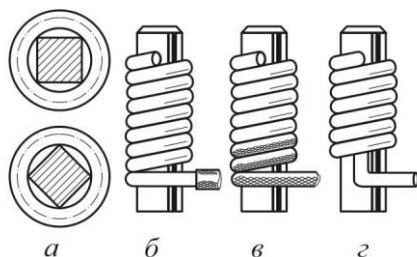
Сым маркасы	Тарам диаметрі (бөлектеусіз), мм	Бөліктеу қабығының қалыңдығы (бір жағынан), мм	Сипаттамасы
ПЭЛБО	0,1...2,1	0,062...0,105	Мақта талшығынан жасалған орамның бір қабатын оқшауланған сым
ПЭЛКО	0,2...2,1	0,062...0,105	Ораманың бір қабаты нейлон жіптен жасалған эмальмен оқшауланған сым
ПЭЛШО	0,05...2,1	0,035...0,078	Майлы эмальмен оқшауланған және табиғи жібектен жасалған орамның бір қабатты сым
ПЭТСО	0,31...2,10	0,10...0,12	Ыстыққа төзімді глифал лакпен сіңдірілген шыныдан жасалған орамның екі қабатымен оқшауланған сым
ПЭТКСО	0,38...1,56	0,08...0,10	Ыстыққа төзімді кремний-органикалық эмальмен және шыны иірімінен жасалған орамның бір қабатынан оқшауланған сым

Орнату сымдары электр схемаларына сәйкес белгіленеді және олардың ұштарына қойылған желім таспаларын және тегтерін пайдаланып электр схемаларына сәйкес белгіленеді.

Электр қосылымдарын монтаждаудың технологиялық процессі монтаждау үшін сымдарды дайындау, монтаждық сымдарды механикалық бекіту, сымдар өткізгіштерін қосу орындарын бекіту, дұрыс орнатуды тексеруден тұрады..

Орнату сымдарын дайындау - қажетті ұзындықты сымдарды кесу, ұштарды алып тастау және сымның соңында оқшаулауды бекіту.

Өзінің құрамында асбест немесе шыны талшығы жоқ, талшықты оқшалауды күйдіру арқылы жояды.



3.5-сур. Қаптама байланысы:

*а* — нәтиженің көлденең қимасы; *б* — дәстүрлі (өзгеріссіз) байланыс; *в* — түрлендірілген қосылыс; *г* — бандаж байланысы

Жіңішке сымнан жасалған сымдардан алдымен қабық алынып тасталады және эмальданған сымның жұқа сымдары 4..6 с дейін қыздырылады және 10% мүсәтір спиртіне түсіреді. Оқшауланған сымның сымдары пышақпен немесе арнайы құрылғының көмегімен металлды жылтырға дейін тазалайды. Нитроцеллюлозамен жабыстырылған изоляцияның сабақтанған ұштары, оларға поливинилхлорид және басқа түтіктер салып, талшық таңғышты қойып, ұштарын пластикалық кеңестерге басады.

Есептеу техникасын орнатқан кезде белгілі бір тәртіппен жалғанған және жинақталған сымдар кабельдері пайдаланылады. Топтамалардың орналасуы арнайы жалпақ және кеңістіктік үлгілерде жасалады.

Электр қондырғыларында, жыртылған және дәнекерленген қосылыстардан басқа, бір талшық сымның бұрылыстарының белгілі бір санын бұрандамен тығыздау пайдаланылады (3.5-сурет). Кейбір мыс орнату сымдарының сипаттамалары 3.15.кестесінде келтірілген.

Кесте 3.15. Кейбір мыс сымдарының сипаттамалары

Сым маркасы	Сым қимасы (мыс бойынша), мм <sup>2</sup>	Сипаттамасы	Пайдалану аясы
МР	0,35...1,5	Резеңке оқшауламасы бар жалғыз сым	Кернеуі 380 В-қа дейін және 500 В-қа дейінгі кернеулерде -40-ден +65° С-қа дейін
МРГ	0,35...1,50	Резеңке оқшауланған көпсымды	Кернеуі 380 В-қа дейін және 500 В-қа дейінгі кернеулерде -40-ден +65° С-қа дейін

3.15 кестесінің аяғы

Сым маркасы	Сым қимасы (мыс бойынша), мм	Сипаттамасы	Пайдалану аясы
ПМВ	0,20...0,75	Поливинилхлоридті окшауламасы бар бір реттік сым, ылғалға төзімді	380 В айнымалы кернеулер кезінде жоғары ылғалдылыққа және қатты диаметрі 500 В-ға дейін -55-ден +55° С-қа дейін
ПМОВ	0,20...0,75	Мақта талшығының және полихлорвинил пластиктен орамаланған жалғыз сым	Осы сияқты
МГВ	0,10...1,0	Көп қабатты, полихлорвинил пластикпен окшауланған	°С -55-ден +55 дейін температурада 380 В және 500 В дейін кернеуде жоғары ылғалдылық кезінде монтаждау және -50 +70 дейін
МГСЛ	0,20...1,5	Қосарланған ораумен және шыны иірілген жіптермен окшауланған көп қабатты, лакталған	°С -55-ден +55 дейін температурада 380 В және 500 В дейін кернеуде жоғары ылғалдылық кезінде монтаждау және -50 +70 дейін

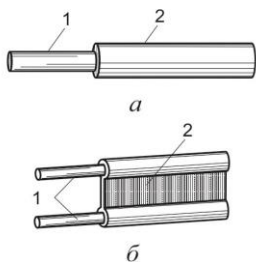
**Орнату сымдары мен баулары.** Орнату сымдары мен баулар электр энергиясын таратуға, сондай-ақ электр қозғалтқыштарын, шамдарын және басқа ағымдағы тұтынушыларды желіге қосу үшін қызмет етеді. Орнату сымдары мен бауларының өткізгіштері мыс пен алюминий сымдарынан жасалған. Үлкен икемділікті қамтамасыз ету үшін баулардың жіптері мен сымның кейбір түрлерін көп қабатты түрде жасайды. Полихлорвинил оқшаулағышы бар сымдар мен баулар қорғағыш қақпақсыз шығарылады (3.6-сурет).

Электр сымдары электр оқшаулағыш резеңкемен (3.7-сурет) немесе поливинилхлоридті пластикпен оқшауландырады. Полихлорвинил оқшаулағышы бар сымдар судың тұрақтылығына, май кедергісіне және жанармайсыздығына ие, бұл жағдайларды кеңінен қолдануды қамтамасыз етеді. Оқшаулағышты мақта немесе жібек жіптің қорғаныс қаптамасымен жабады.

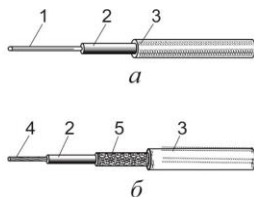
Кейбір сымдар үшін қорғаныш орамы шіруге төзімді құраммен сіндіреді. Жекелеген сым конструкцияларында орамды жеңіл механикалық әсерден қорғау үшін мырышталған болат сымдардан жасайды. Орнату сымдары 220, 380, 500, 2000 және 3000 В айнымалы ток үшін бір, екі, үш, төрт және мультиоррекалды шығарылады.

Сымдар екі қостінді баусымнан жасалған, яғни. екі оқшауланған және бір-бірінің желілерімен қапталған (3.8-сурет). Кабельдер 220 В айнымалы кернеуге дейін жасалған.

Сымдар мен баулардың белгілерінде әріптер сымның немесе баудың құрылымдық бөлігін және оқшаулау түрін белгілейді және сандар осы сым қолданылуы мүмкін кернеуді көрсетеді.

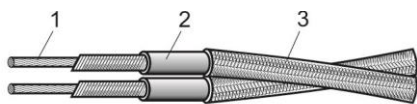


3.6-сур. Поливинилхлоридті оқшаулаумен орнату сымдары:  
*a* — маркалы ПВ; *б* — маркалы ППВ (екі сымды); 1 — бір сымды вена; 2 — ПВХ оқшаулағышы



3.7-сур. Резеңке оқшаулаумен орнату сымдары:  
*a* — маркасы ПР; *б* — ПРГ маркасы;  
 1 — бір баусым; 2 — вулканизацияланған резеңкеден оқшаулау; 3 — мақта-мата кездемесінің орамы 4 — көпбаулы; 5 — жабыны - резеңкеленген таспаның орамасы

Мысалы, ПР-500 сым резеңке оқшауланған мыс корпусынан



3.8-сур. Резеңке оқшаулауымен ШР маркасы:

1 - қапталған сым;

2 - вулканизацияланған резеңкеден оқшаулау;

3 - мақталы иірілген жіптен жасалған кеудеше

тұрады және номиналды кернеуі 500 В-тан аспайтын қондырғыларда қолданылуы мүмкін.

Кейбір орнату сымдары мен баулары сипаттамалары 3.16 кестесінде келтірілген.

Кесте 3.16. Кейбір орнату сымдары мен бауларының сипаттамалары

Сым маркасы	Тарам және қима саны, мм <sup>2</sup>	Сипаттамасы	Қолданылу аясы
<i>Резеңке оқшаулауышымен</i>			
ПР	1 0,75...400	Резеңке оқшаулағышы және шіруге қарсы құраммен қанықтырылған мақтата иірімжіптен тұратын мыс сым	500 В айнымалы кернеудегі (ПР-500) 3000 В айнымалы ток (ПР-3000) үй-жайдың үшінде немесе сыртындағы күш және жарықтандыру желілері
АПР	1 2,5...400	Резеңке оқшаулағышы және шіруге қарсы құраммен қанықтырылған мақтата иірімжіптен тұратын алюминий сым	500 В айнымалы кернеудегі айнымалы ток үй-жайдың үшінде немесе сыртындағы күш және жарықтандыру желілері
АПРТО	1.4 2,5...400	Резеңке оқшаулағышы және шіруге қарсы құраммен қанықтырылған мақтата иірімжіптен тұратын орағышы бар алюминий торабынан тұратын сым	500 В айнымалы ток (АПРТО-500) кернеуінде қуат және жарықтандыру желілері (болат құбырлар мен металл тығыздамалар)
РКГМ	1 (жінішке сымдар тарамы)	Иілгіш мыс сым, жоғарысында кремний органикалық лакпен қанықтырылған шыны	Жоғары жұмыс жасау температурасы (180 °С дейін) бар кернеулігі 380 В дейінгі электр

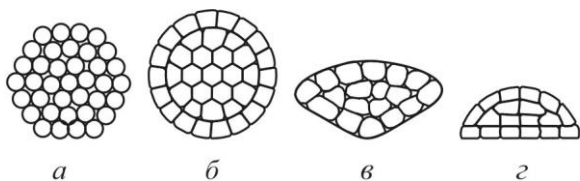


	0,75...95	талшықтарынан тұратын орамы бар қызуға қарсы кремний органикалық резинамен оқшауланған тарам	қозғалтқыштар мен аппараттар қорытындысы
ШР	1 0,75...120	Полихлорвинилді пластикпен оқшауланған алюминий тараптары бар мыс сым	Дымқыл немесе аса дымқыл үй-жайда және екіншілік мақсаттар үшін 40 °С аса температура кезінде үй-жай ішіндегі жарықтандыру күш және желілері
Полихлорвинилді оқшаулармен			
ПВ	1 0,75...120	Полихлорвинилді пластикпен оқшауланған алюминий тараптары бар мыс сым	Дымқыл немесе аса дымқыл үй-жайда және екіншілік мақсаттар үшін 40 °С аса температура кезінде үй-жай ішіндегі жарықтандыру күш және желілері
АПВ	1 0,75...120	Полихлорвинилді пластикпен оқшауланған алюминий тараптары бар алюминий сым	Дәл солай
ППВ	2...3 0,75...6,0	Полихлорвинилді оқшаулауда қорытылғандармен және параллель орналастырылған мыс тарамдары бар ленталы сым	Дымқыл немесе аса дымқыл үй-жайда және екіншілік мақсаттар үшін 40 °С аса температура кезінде үй-жай ішіндегі жарықтандыру күш және желілері
АППВ	2...3 0,75...6,0	Полихлорвинилді оқшаулауда қорытылғандармен және параллель орналастырылған мыс тарамдары бар ленталы сым	Дәл солай

**Кабельдер.** Қуат кабельдері электр энергиясын беру және тарату үшін қолданылады. Кабельдердің ағымдық таспалары жұмсақ мыс сымнан (ММ маркасы), сондай-ақ алюминийден жасалған жұмсақ немесе қатты сымнан (АМ және АТ) жасалған.

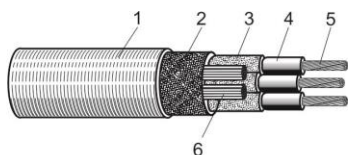
16 мм<sup>2</sup>-ге дейін созылған көлденең қиманың ағымдық өткізгіштері бір сымды өткізгіштермен жасалады. 25 мм<sup>2</sup> және одан жоғары көлденең қимадан бастап, кабельдердің корпусы кәбілдердің белгілі бір икемділігін қамтамасыз ету үшін қажет көпірлікпен жасалады. Өткізгіштердің көлденең қималары дөңгелек, сектор немесе сегменттелген болуы мүмкін (3.9-сурет). Бір қабатты кабельдерде дөңгелек ядролар екі сымды дөңгелек және сегменттік нысандарда, сондай-ақ үш және төрт ядролы секторлық нысандарда қолданылады.

500, 3000 және 6000 В айнымалы ток кернеуі бар қондырғыларда электр энергиясын беру және тарату үшін резеңкеден (3.10 сурет) және пластикпен (3.11 сурет) оқшаулаулар қолданылады.



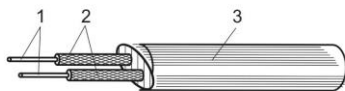
3.9-сур. Кабельдің көпбаулы желілері:

*a* — дөңгелек тығыздалмаған желі; *б* — дөңгелек тығыздалған желі;  
*в* — тағыздалған тарам; *г* — сегменттік тығыздалған тарам



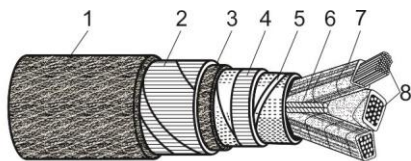
3.10-сур. Қорғаныш қабықшадағы резеңкелі оқшаулаумен қуатталмаған кабель, қапталмаған (СРГ маркасы):

1 — қорғасын қабығы;  
2 — белдеулік оқшаулама;  
3 — резеңкеленген таспаны жабу (орау);  
4 — вулканизацияланған резеңкемен оқшаулау;  
5 — мысты көп сымдық желісі;  
6 — фазааралық толтыру



3.11-сур. ПВХ пластикатынан жасалған қаптамдағы резеңке оқшалауы бар қуатты кабель:

1 — бір сымды желілер;  
2 — вулканизацияланған резеңкемен оқшаулау;  
3 — ПВХ пластикатының орамасы



3.12-сур. Қорғасын қаптамасындағы қағаз оқшауланған қуатты кабелі, брондалған (СБ маркасы):

- 1 — жартылай иілмелі жіптің жоғарғы қорғаныш қабаты;
- 2 — болат жолақтардан жасалған брондалған қақпақ;
- 3 — қорғаныс қақпағы (төменгі жастық);
- 4 — қорғасын қаптамасы;
- 5 — белдік оқшаулама;
- 6 — фазаралық толтыру;
- 7 — қағазды сіңірілген оқшаулама;
- 8 — мысты көпсымды желілер

1, 3, 6, 20, 35 кВ және одан жоғары қуат үшін қағаз оқшаулағышы бар қуат кабельдері шығарылады (3.12-сурет).

Кабельдің әрқайсысында 0,125 немесе 0,175 мм қалыңдығы бар кабель қағазының бірнеше қабатынан тұратын оқшаулағыш бар, ол ерітілген май мен канифольдан жасалған тұтқыр электрлік оқшаулағыш қосылыспен сіндірілген.

### Бақылау сұрақтары

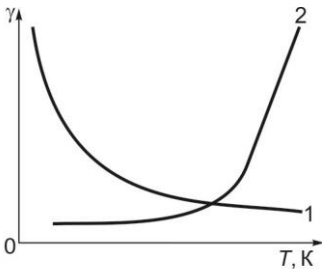
1. Электр өткізгіш материалдардың механикалық қасиеттері қандай?
2. Қандай бірліктерде салыстырмалы ұзарту және тарылту өлшенеді?
3. Сызықтық кеңейтудің температуралық коэффициенті қалай есептеледі?
4. Тұрақты электр кедергісі  $\rho$  және нақты электрөткізгіштігі  $\gamma$  қалай байланысады?
5. Қандай жоғарыөткізгіштік материалдарды қолдануға болады?
6. Қандай металл электрлік стандарт болып табылады?
7. Жоғары төзімді материалдар қайда қолданылады?
8. Қандай жағдайларда қандай да бір материалдар жоғары өткізгіштікке айналады?
9. Металл емес өткізгіштерге қандай материалдар жатады, олар қалай алынады?
10. Контакттар дегеніміз не және олардың мақсаты қандай?
11. Үздіксіз байланыстар үшін қандай материалдар қолданылады?
12. Металл жабындары қалай қолданылады?

## Жартылай өткізгіш материалдар

Жартылай өткізгіш материалдарда кернеу, температура, жарықтандыру және басқа факторлармен басқарылатын өткізгіштігі бар.

Электр тогын өткізе білу арқылы жартылай өткізгіштер өткізгіштер мен диэлектриктер арасындағы аралық орынды алады. Материалдардың электр тогын өткізуге қабілеті нақты электр кедергісі немесе нақты электрөткізгіштігі сипатталады. Сым өткізгіштер үшін арнайы кедергісі  $\rho$  диапазоны бөлме температурасында 1,6- 10<sup>8</sup>-ден 1-ге дейін 10<sup>-6</sup> Ом·м. Төмен жиіліктегі оқшаулағыш материалдар үшін арнайы электр кедергісі 10<sup>6</sup>...10<sup>8</sup>...10<sup>14</sup>...10<sup>16</sup> Ом құрайды. Жартылай өткізгіштер үшін арнайы электр кедергісі 10<sup>-6</sup>...10<sup>9</sup> Ом·м Бұл шекаралар шартты және белгілі бір ауқымда болады, бұл осы топтардың ерекшеліктеріне байланысты.

Жартылай өткізгіш материалдардың ерекшеліктерінің бірі олардың температурасы өзгерген кезде олардың мінез-құлқы. Температурада нөлге дейін жететін өткізгіш материалдарда ерекше электрөткізгіштігі артып, жоғары өткізгіш күйге көшу кезінде шексіз үлкен мәндер алады (4.1-сурет).



4.1-сурет. Металдардың (1) және жалтылау өткізгіштің электр өткізгіштігінің температураға меншікті тәуелділігі

өткізгіштерден айырмашылығы, температура төмендей отырып, олардың электр өткізгіштігі төмендейді және температура нөлге тең болғандықтан (Кельвин бойынша), жартылай өткізгіштер электр тогының өткізілуін тоқтатады және диэлектрлік диапазонға өтеді.

Температура көтерілген кезде жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі күрт артады. Жартылайөткізгіштердің бұл әрекеті температураның өзгеруіне байланысты олардың температурасын бақылау үшін жылуды пайдалануға мүмкіндік береді. Сым өткізгіштік материалдарда ықтималдылық еркін температура пайда болуымен байланысты,

бұл температураның өзгеруіне және ішкі өткізгіштің құрылымына әкеледі.

Жартылай өткізгіш материалдардың тегін заряд тасымалдаушылардың пайда үшін сыртқы энергетикалық (жылу, механикалық стресс, ядролық бөлшектердің ұшырауын, электрлік және магниттік өрістерді, және т.б.) талап етеді. тасымалдаушылар жылу әсерінен болған болса, олар *тепе-теңдікті* деп аталады. Жартылай өткізгіштегі басқа энергия түрлерінің әрекеті нәтижесінде қосымша *тепе-тең емес* заряд тасымалдау.

Жартылай өткізгішті электрөткізгіштігі оған қоспа атомдарының шамалы саны енгізілген кезде күрт өзгереді. Бұл тек мөлшерге ғана емес, сонымен қатар сыртқы элемент пайда болуына да байланысты. Мысалы, химиялық таза германийге 0,001% мышьяк қосылса, оның өткізгіштік деңгейі 10 000 есе артады.

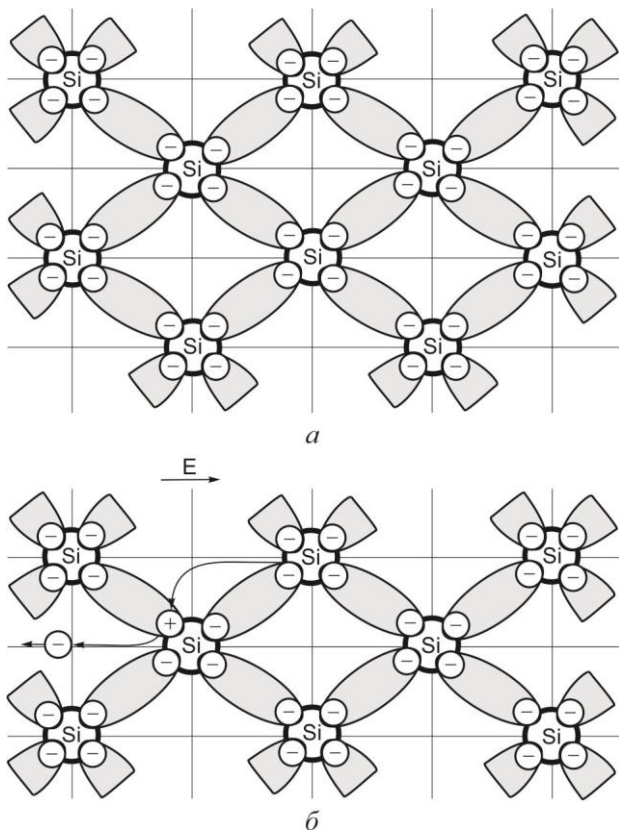
Жартылай өткізгіштер электр энергиясын жылу, жеңіл немесе механикалық түрлендіруге мүмкіндік береді. шылар пайда болады.

#### **4.1. Жартылай өткізгіштердің қасиеттері**

Жартылай өткізгіш материалдардың қасиеттері жартылай өткізгіштердің ішкі және қоспасыз өткізгіштерімен сипатталады; жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігі; жартылай өткізгіштердегі оптикалық және фотоэлектрлік құбылыстар; жартылай өткізгіштер бетіндегі электрондық процесстер; жартылай өткізгіштердегі байланыс құбылыстары.

**Жартылай өткізгіштердің ішкі және қоспасыз өткізгіштігі.** Жартылай өткізгіштердің ішкі өткізгіштігі Д.И. Менделеевтің элементтерінің периодтық кестесінің IV тобына жататын кремнийдің мысалында қарастырылуы мүмкін. Бұл элементтер әрбір атомы тор алаңында орналасқан, онда бет-бағдарланған текше торда бар алмаз тектес түрлендіру қалыптастыру, төрт басқа атомдар қоршалған және ковалентті байланыспен байланыстырылады. ковалентті байланыстыру үшін жылдан бастап әрбір сыртқы электрон атомдардың сегіз электрон құрамында сыртқы снарядтар екі атомы бір мезгілде тиесілі. Бұл жағдайда сыртқы қабықтың барлық электрондары коваленттік байланыстардың қалыптасуына қатысады және электр өткізгіштігін тудыратын бос тасушы жоқ (4.2-сурет, а). Электронның тегін заряд тасымалдаушыға айналуы үшін оған ковалентті байланысын үзу үшін жеткілікті қосымша энергия туралы хабарлау қажет. Бұл энергия тыйым салынған жолақтың ені бойынша анықталады және *активтендіру энергиясы*  $\Delta W_a$  деп аталады (4.3-сурет).

Ковалентті байланыстың бұзылған кезде жылу энергиясының әсерінен босатылған электрон жартылай өткізгіштің көлемі бойынша кездейсоқ жүреді. Бөлінген электронның орнына



4.2-сур. Кремний кристалды торының моделі:

*a* — сыртқы электр өрісі болмаған жағдайда;

*б* — сыртқы электр өрісі қолданылған кезде;

*E* — сыртқы электр өрісінің кернеуі

электронды зарядқа тең деп аталатын зарядпен оң зарядталған бос емес байланыс бар

Жолақ диаграммасында (4.3-суретті қараңыз) электронды өткізгіш жолаққа (бос жолақ)  $\Delta W_c$ , ал тесікке -  $\Delta W_v$  валенттік диапазонындағы бос күйге сәйкес келеді. Сыртқы электр өрісі болмаған жағдайда электрон сияқты тесік хаотикалық қозғалыстар жасайды. Бұл жағдайда тесік электроннан айырмашылығы кристаллдан емес. Оның қозғалысы, термиялық торлы тербелістің энергиясына байланысты, көршілес ковалентті байланыстың электроны атомдағы бос ковалентті байланыстарды тесікпен толтыруы мүмкін. Нәтижесінде барлық байланыстар толтырылған атом бейтарап болады, ал электроннан айырылған атомда тесік пайда болады (4.2-сурет, б). Осылайша тесіктердің қозғалысы әсер етеді.

Сыртқы электр өрісі жартылай өткізгіште болғанда, теріс зарядты электрон сыртқы өрістің бағытына қарама-қарсы бағытта қозғалады, жылдамдыққа жетеді. Орташа электронның жылдамдығының электр өрісінің қарқындылығына қатынасы  $\mu_n$   $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$  электронның қозғалғыштығы деп аталады

$$\mu_n = v/E$$

Ішкі өткізгіштегі электрондардың және тесіктердің мобилділігі әртүрлі болуы мүмкін, өйткені еркін электрондар мен электрондардың электр өрісінде жылжымалы байланыстардан өтпеген тесік байланыстары арқылы қозғалатын механизмі әртүрлі.

Электрондардың қозғалуы әдетте тесіктердің қозғалғыштығынан жоғары. Кремний үшін  $\mu_n = 0,145 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ ,  $\mu_p = 0,04 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$  ( $\mu_p$  — тесіктік электрөткізгіштік).

Жартылай өткізгіштегі еркін электрондардың концентрациясы металлдардан айырмашылығы атомдардың шоғырлануынан әлдеқайда төмен. Мысалы, кремнийдегі заряд тасымалдаушылардың ішкі концентрациясы  $5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$  атом концентрациясы кезінде  $3 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ .

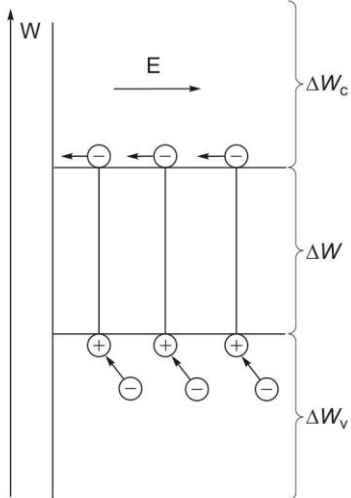
Еркін теріс зарядталған электронды және оң зарядталған өткізгіш тесіктерді қалыптастыру процесі электронды тесік жұптарын *генерациясы* деп аталады.

Электр өткізгіштегі электронды-тесік жұптарымен бір мезгілде электронды реакция электрондар электр энергиясын  $\Delta W$  босату арқылы валенттілігі диапазонына дейін электрондар оралғанда пайда болады. Бұл процесс заряд тасымалдаушылардың *рекомбинациясы* деп аталады.

Өз коваленттік байланыстарының үзілуінен туындайтын жартылай өткізгіштің өткізгіштігі *ішкі* деп аталады.

Жартылай өткізгіштің ішкі электрөткізгіштігі  $\gamma_n$  электронды өткізгіштік тен және тесіктің электрөткізгіштігі  $\gamma_p$ :

$$\gamma = \gamma_n + \gamma_p$$



4.3-сур. Ішкі өткізгіштің жолақ құрылымының диаграммасы:

$\Delta W_c$  — өту аймағы (еркін аймақ);

$\Delta W$  — тыйым салатын аймақ;  $A$

$W_v$  — валентті аймақ;

$\Delta W$  — электрон қуаты;

$E$  — ішкі электрлік өрісінің кернеуі

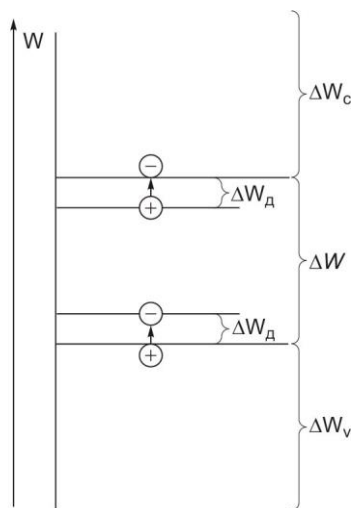
Жартылай өткізгіштердің коспаның өткізгіштігі жартылай өткізгіштің кристаллдык құрылымының жетілмегендігімен байланысты. Кристаллдык тордағы ақаулар тыйым салынған жолақтың ішіндегі қосымша энергия деңгейлерін қалыптастыруға себепші болады (4.4-сурет).

Осы себепті электронның қосымша деңгейден өткізу жолақтарына немесе валенттілігі диапазонынан қосымша деңгейге өтуі үшін тыйым салынған  $\Delta W$  жолағының ені аз энергия қажет. Қосымша электр энергиясының деңгейінен электронды өту жағдайында электр өткізгіштің қосымша жолақшасы пайда болады. Электронның валенттілігі жолағынан қосымша энергия деңгейіне өтуі кезінде қосымша өткізгіштік тесіктері пайда болады.

Кремний кристаллдык торында атом коспасы бар болса, ол Д. И. Менделеевтің элементтерінің периодтык кестесінің V элементінің элементі болып табылады, мысалы фосфор (4.5-сурет), содан кейін бес валенттілігі фосфор электрондары кремнийдің негізгі элементінің көршілес атомдары бар коваленттік байланыстардың қалыптасуына қатысады.

Фосфордың бесінші валентті электроны тек оның атомымен байланысты және бұл байланыстың беріктігі ковалентті байланыстың күшінен әлдеқайда аз. Бұл электронды энергияның қосымша деңгейіне  $W_n$  (4.4-суретті қараңыз) беру үшін,  $\Delta W$  диапазонындағы алшақтықтың энергиясынан әлдеқайда аз энергия.

Кремнийдегі валенттілігі электрон үшін,  $W_a = 0,044$  эВ иондау энергиясы және  $\Delta W = 1,12$  эВ жолағы аралықтың энергиясы. Фосфор атомынан бөлінген бесінші электронды өткізгіш электронға айналады. Бөлек электронның орнында басқа фосфор атомдарының электрондарын толтыра алмайтын тесік пайда болады, өйткені оның кремнийдегі концентрациясы өте аз және оның атомдары бір-бірінен алыс орналасқан. Демек, тесік стационар болып қалады, мұндай жартылай өткізгіште тесік өткізілмейді және өткізгіштігі электронды сипатта болады. Электрондық өткізгіштігінің басым жартылай өткізгіштері *электрондық* немесе n-тип деп аталады (n-negativ - теріс). n типті



4.4-сур. Жартылай өткізгіш коспасы бар жолақ құрылымының диаграммасы:

$\Delta W_c$  — өту аймағы;

$\Delta W$  — тыйым салатын аймақ;

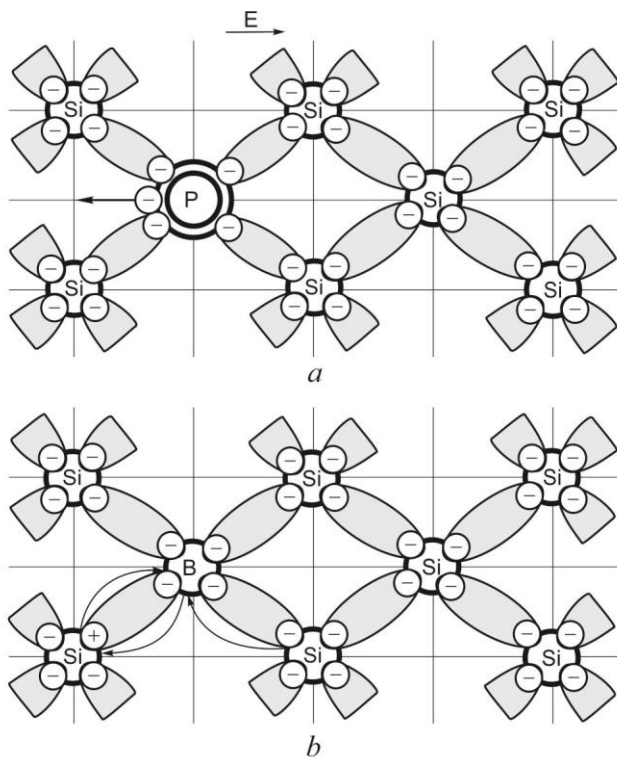
$\Delta W_v$  — валентті аймақ;

$\Delta W$  — электрон қуаты;

$\Delta W_d$  — қосымша қуат деңгейі



жартылай өткізгіштегі электрондар негізгі заряд тасымалдаушылар деп аталады, ал тесіктер негізгі емес заряд тасымалдаушылар деп аталады.



4.5-сур. Донордың (а) және акцептордың (b) жартылай өткізгіштерінің кристалды торының моделі:  
 $E$  — ішкі электрлі өрісінің кернеуі

Жартылай өткізгіштегі қосымша еркін электрондардың пайда болуына себеп болатын ақаулар донорлар деп аталады, ал донордың қоспасынан электр өткізгіштігі электрондардың қоспасы деп аталады. Электрөткізгіштігі кезінде  $\Delta W_n$  қосымша энергия деңгейлері өткізгіш таспа (еркін аймақ)  $\Delta W_c$  жанында орналасқан (4.4-суретті қараңыз).

Д. И. Менделеевтің элементтерінің периодтық жүйесіндегі III топтағы элемент болып табылатын кремний кристаллындағы кристаллдық торда қоспасы бар болса, мысалы, бор атомы, онда барлық үш валентті электрон кремнийлі коваленттік байланыстарды қалыптастыруға қатысады, ал бір кремний байланысы толтырылмай қалды. Бұл байланыс бор атомы бар төртінші қоспалық ковалентті байланыс түзуге, электрон арқылы

көрші кремний атомы толы болады.

Мұны істеу үшін электрон  $\Delta W_a$  тыйым салынған жолақ энергиясынан әлдеқайда төмен энергияны  $\Delta W$  алуы керек (4.4 суретті қараңыз). Бор үшін белсендіру энергиясы (иондалуы) -  $\Delta W_a = 0.046$  эВ. Қосымша электронды алу арқылы бор атомы иондалады және теріс ионға айналады. Бұл жағдайда көрші кремний атомының төрт байланыстарының бірі толық емес болып қалады. тесік пайда болады. Қабырғасының термиялық тербелістері нәтижесінде бұл толық емес байланыс жаңа көрмеге айналған атомның электронымен толтырылуы мүмкін. Осылайша, кейбір тесіктердің жоғалуы және басқалардың пайда болуы салдарынан хаотикалық қозғалыс кристаллданып, заряд тасымалдаушылары болып табылады. Сондықтан жартылай өткізгішті электрөткізгіштігі тесігі бар.

Жартылай өткізгіштегі қосымша өткізгіш тесіктердің пайда болуына әкелетін ақаулар *акцепторлар* деп аталады, ал акцепторлардың қоспасынан электр өткізгіштігі - *тесік өткізгіштігі*. Қабылдаушы ақаулардың энергетикалық деңгейі  $\Delta W_a$ , әдетте,  $\Delta W_v$  валенттілігі топтарының жоғарғы жағында орналасқан. Тиісінше, тесік электрөткізгіштігі басым жартылай өткізгіштер тесігі немесе *p*-типті (*p* - positive - оң) деп аталады. *p*-типті жартылай өткізгіште негізгі заряд тасымалдаушылар - тесіктер, ал негізсіз электрондар - электрондар.

Жартылай өткізгішке қоспаларды енгізу қоспалардың атомдары иондалуы нәтижесінде пайда болатын қоспаның өткізгіштігінің пайда болуына әкеледі. Ішкі қоспаның айырмашылығынан айырмашылығы тек бір белгінің заряд тасымалдаушыларының болуы (*n*-типті жартылай өткізгіштердегі электрондар және *p*-типті жартылай өткізгіштердегі тесіктер) болғандықтан қалыптасады.

Жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігінің шамасын және түрін бақылауға қабілеті қоспаларды енгізу нәтижесінде барлық жартылай өткізгіш құрылғылардың негізі құралады.

Қажетті қоспалардың жартылай өткізгіштеріне бақылауды енгізу процессі *легирлеу* деп аталады.

Егер қоспалар кристаллдық тордың түйіндері арасында енсе, олар *интерстициальды қоспалар* деп аталады. Өткізгіштігінің түрі негізінен атомның салыстырмалы өлшемдері бойынша анықталады. Егер қоспаның атомы жартылай өткізгіш атомды алмастырса және кристаллдық тордың орнына орналасса, онда мұндай қоспалар *субстанциональды қоспалар* деп аталады.

Көптеген қоспалардың атомдары кристаллдық тордағы орындарда жартылай өткізгіш атомдарды алмастыра алады және интерстициальды кеңістікке ене алады. Мұндай қоспалар *амфотериялық* деп аталады. Олар донорлар мен акцепторлар бола алады.

Нақты жартылай өткізгіш материалдар донорлық және акцепторлық қоспаларды қамтиды. Егер донорлық қоспалардың

концентрациясы  $N_d$ ,  $N_a$ , акцепторларының қоспаларының шоғырлануынан жоғары болса, еркін электрондардың концентрациясы тесік шоғырлануынан үлкен болады ( $n > p$ ).

Электрондар негізгі тасымалдаушылар болып табылады, ал тесіктер базалық емес және жартылай өткізгіштерде электрондық өткізгіштігі басым.  $N_a$  акцепторларының қоспаларының шоғырлануы донорлық қоспалардың концентрациясынан үлкен болса,  $N_d$  , онда саңылау тасымалдаушылары негізгі тасымалдаушыларға айналады және жартылай өткізгіште электрөткізгіштігі басым болып келеді.

Жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігіне әсер етпейтін қоспалар *бейтарап* деп аталады.

Жартылай өткізгіш материалдардың қасиеттері кристаллдық құрылымдағы басқа да ақауларға да әсер етеді: дислокация<sup>1</sup>, вакансии<sup>2</sup> және т.б. Бірақ бұл кемшіліктерді қолдану арқылы жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігін бақылау мүмкін емес. Сондықтан, олар кристаллдық құрылымдағы ақаулардың барынша аз мөлшерімен жартылай өткізгіш материалдарды алуға ұмтылады, содан кейін легірлеу жасалынады.

**Жартылай өткізгіштердің электрөткізгіштігі.** Сыртқы электр өрісі болмаған жағдайда, жартылай өткізгіштегі заряд тасымалдаушылар (электрондар мен тесіктер) кронштейннің ішінде хаотикалық қозғалыстар жасайды. Сыртқы өрісті қолдану нәтижесінде электрондар өріс бағытына қарама-қарсы бағытта, ал тесіктер өріс бағыты бойынша қозғала бастайды.

Ішкі жартылай өткізгіште заряд тасымалдаушылар еркін электрондар мен тесіктер болып табылады, олардың концентрациясы бірдей болып келеді. Сыртқы өріс болған кезде, оның меншікті жартылай өткізгіш арқылы өтетін ток  $J_n$ , электрондық компонентінің тығыздығы теңдеу арқылы көрсетіледі

$$J_n = nev_n,$$

$n$  — өткізгіш электронды тығыздығы;  $e$  — электрон заряды;  $v_n$  — электрондардың  $v_n$  жылдамдығы.

Сол сияқты, ішкі жартылай өткізгішке арналған ток  $J_p$  тығыздығының тесік компоненті көрініспен анықталады.

$$J_p = pev_p,$$

$p$  — тесік концентрациясы;  $e$  — тесік қуаты;  $v_p$  — тесіктердің  $v_p$  жылдамдығы

---

<sup>1</sup> Дислокация (*қабаттасқан dislocatio* — ауыстыру) - кристаллдардағы атомдық жазықтардың ,олардың өсуі немесе пластикалық деформация кезіндегі мерзімді ауысуы жергілікті бұзылуы.

<sup>2</sup> Вакансия ( *фр.vacance, лат.vacans* — бос, еркін) - атом немесе ион емес, қатты дененің кристаллдық торындағы түйін.

<sup>3</sup> Дрейф (*гол.drifven* - айдау, жүзу) - жылдамырақ (жылулық) қозғалысқа келтірілетін, зарядталған бөлшектердің баяу бағытталған қозғалысы.

Өзіндік жартылай өткізгіш арқылы өтетін ағымдағы тығыздық ағымдағы ток тығыздығының электрон мен тесік құрамдастарына тең:

$$J = J_n + J_p = nev_n + pev_p.$$

Электрондардың арқасында электронды мобильділікті ескере отырып, жартылай өткізгіштің нақты электрөткізгіштігі теңдеу арқылы анықталады

$$\gamma_n = ne\mu_n,$$

$$\mu_n = v_n/E, \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с}).$$

Тесіктерге байланысты электр өткізгіштігі теңдеулермен анықталады

$$\gamma_h = pe\mu_p,$$

$$\mu_p = v_p/E, \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с}).$$

Ішкі жартылай өткізгішті  $\gamma_{\text{соб}}$ -ның электр өткізгіштігі  $\gamma_n$  и электронның қосындысымен және  $\gamma_p$ -арнайы электрөткізгіштермен анықталады:

$$\gamma_{\text{соб}} = \gamma_n + \gamma_p = ne\mu_n + pe\mu_p.$$

Ішкі өткізгіш тігі бар жартылай өткізгіш үшін  $n$ -типті жартылай өткізгіштің электрөткізгіштігі  $\gamma_{\text{соб}}$  қоспасымен  $\gamma_{\text{пр}}$ -ға тән электрлік өткізгіштердің қосындысымен анықталады:

$$\gamma_n = \gamma_{\text{пр}} + \gamma_{\text{соб}}.$$

Кедергілердің нақты өткізгіштігі формула бойынша анықталады

$$\gamma_{\text{пр}} = n_d e \mu_n,$$

$n_d$  — электрондардың донорлық деңгейден өткізу жолақтарына өтуі нәтижесінде, донорлық қоспаның иондалуы салдарынан пайда болатын еркін электрондардың концентрациясы..

Осылайша,  $n$ -типті жартылай өткізгішті электрөткізгіштігі

$$\gamma_n = n_d e \mu_n + ne\mu_n + pe\mu_p.$$

Бөлме температурасында, германий және кремний жеке өткізгіштігінің  $\gamma_{\text{соб}}$  толығымен иондалған донорлық қоспалар дан бері айтарлықтай қоспалы өткізгіштігі  $\gamma_{\text{пр}}$ .

Температура көтерілгенде, ішкі электрөткізгіштігі артады және белгілі бір нүктеде қоспалар көп болады. Мысалы,  $\rho = 0,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  болатын германий үшін ішкі электрөткізгіштігі  $90^\circ \text{C}$  температурасында және  $500^\circ \text{C}$  температурасында  $\rho = 10^{-5} \text{ Ом}\cdot\text{м}$  кезінде басым болады-типті жартылай өткізгіш үшін электр өткізгіштігі сонымен қатар қоспалардың бақылауымен  $\gamma_{\text{пр}}$  және

нақты  $\gamma_{\text{соб}}$  электрөткізгіштердің ішкі қасиеттерімен анықталады:

$$\gamma_p = \gamma_{\text{пр}} + \gamma_{\text{соб}}$$

Қоспалы меншікті электрөткізгіштік

$$\gamma_{\text{пр}} = p_a e \mu_p,$$

$p_a$  — Электрондардың валенттік жолақтан акцептор деңгейіне ауысуының нәтижесінде, акцепторлардың қоспасының иондалуы есебінен қалыптасқан тесіктердің концентрациясы.

Жартылай өткізгіштердің арнайы өткізгіштігі тегін заряд тасымалдаушылардың шоғырлануымен және олардың қозғалғыштығымен анықталады. Тасымалдағыштардың қозғалғыштығы олардың тиімді массасы, кристаллдық тордың орындары мен ақаулары мен соқтығысу жиілігі бойынша анықталады және температураға байланысты. Сондықтан заряд тасымалдаушылардың концентрациясы жартылай өткізгіштердің электр өткізгіштігінің температураға тәуелділігіне тәуелді болады.

Бөлме температурасында, қоспасыз заряд тасымалдаушылар концентрациясы өздерінің үстінен басым болады. Температураны одан әрі жоғарылату арқылы қоспаның жоғалуы орын алады, яғни қоспаның барлық

валенттілігі

электрондарының

өткізгіштік жолына өтеді

және өткізгіштігі

жоғарылайды (4.6-сурет, 2-

бөлім, 3-сурет).

Температура жоғарылағанға

дейін өткізгіштігі тұрақты

болып қалады, бұл жылу

энергиясы өздігінен

электрондардың өткізу

жолағына (бос жолақ)  $\Delta W_c$ -

ке кіруіне жеткілікті болып

келеді, бұл тыйым салынған

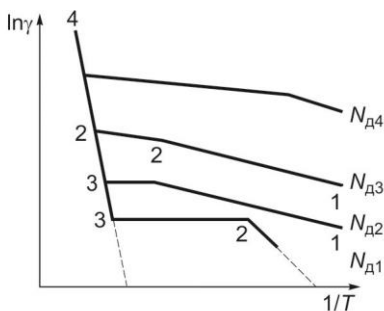
жолақ  $\Delta W$ . Бұған

байланысты тасымалдаушы

концентрациясы Ішкі электрондардың аркасында күрт өседі (4.6

суретті қараңыз, 3-4 бөлім).

Жартылай өткізгіштің ішкі атомдарының шоғырлануы қоспаның атомдарының шоғырлануынан көп мөлшерде, бұл температурадағы ішкі өткізгіштік қоспаның концентрациясынан



4.6-сур. Жартылай өткізгіштердің өткізгіштігінің донорлық қоспалардың әртүрлі концентрацияларындағы температураға теориялық тәуелділігі ( $N_{d4} > N_{d3} > N_{d2} > N_{d1}$ )

әлдеқайда көп болуы үшін. Демек, ішкі өткізгіштік шешуші болып табылады. Жоғары температура кезінде өткізгіштер өткізу бойынша жартылай өткізгіштерге жақындайды.

Қоспалардың үлкен концентрациясы болған кезде, қосымша энергетикалық деңгейлер аймағы өткізгіштің жиілігімен біріктіріледі. Бұл жағдайда, тіпті бөлме температурасында, қоспаның барлық валенттілігі электрондары заряд тасымалдаушылары болып табылатын өткізгіш жолақта және олардың концентрациясы температураға тәуелді емес. Мұндай өзгешеленген қоспалық жартылай өткізгіш деп аталады. Мұндай жартылай өткізгіште қоспаның концентрациясы ішкі өткізгіштікке әсер етпейді.

Температураның жоғарылауымен жартылай өткізгіштердің өткізгіштігінің жоғарылауы жартылай өткізгіштердің КТР-лардың ерекше электр кедергісінің теріс температуралық коэффициентіне ие екенін көрсетеді. Бұл тәуелділік жартылай өткізгішті бастапқы температуралық түрлендіргіштерді құру үшін қолданылады - термисторлар. Кремний мен германийдің ішкі электрөткізгіштігі салыстырмалы түрде төмен температураларда көрінеді, сондықтан көптеген жартылай өткізгіш құрылғылардың температуралық диапазоны (100...150° С дейін) аз.

**Жартылай өткізгіштердегі оптикалық және фотоэлектрлік құбылыстар.** Жарық өткізгіш арқылы өтетін кезде жеңіл бөлшектер (фотондар<sup>1</sup>) ішінара көрсетіліп, кристаллдық тордың электрондары мен атомдары ішінара сіңіріледі. Электромагниттік энергияның жұтылу дәрежесі сіңіру коэффициентімен сипатталады.  $1/\alpha$  сіңіру коэффициентіне қарама-қарсы мән жарықтық қарқындылығы  $e$  ( $e = 2.72$ ) факторымен азаятын кезде жартылай өтетін қабаттың қалыңдығына тең.

Фотонды сіңіру арқылы электрон жоғары энергия деңгейіне өтеді. Өткізу жолына көшу үшін электронды фотонды сіңіру керек, оның энергиясы тыйым салынған жолақшаны жеңуге жеткілікті. Мұндай фотонды энергиясымен байланыс анықталады

$$W = gv = hc / \lambda,$$

$h$  — тұрақты Планка ( $h = 4,14 \cdot 10^{-15}$  эВ·с);  $v$  — жарық жиілігі;  $c$  — жарық жылдамдығы ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с);  $\lambda$  — түсіп тұрған жарық толқынының ұзындығы

---

<sup>1</sup> Фотон (гр. photos — жарық) Жарық бөлшектерімен, электромагниттік өрістің кванты, нөлдік массасы мен спині бар қарапайым бөлшектердің біреуі 1-ге тең. Фотонды-ақ рентген кванты деп те атайды.

Мысалы, кремний жарықты  $\lambda = 1.1$  мкм-нен аз толқын ұзындығын сіңіреді.

Жартылай өткізгішті жұтатын толқын ұзындығы ұзын толқын ұзындығы немесе қызыл шекара деп аталады. Түрлі жартылай өткізгіштердің тыйым салынған жолақтарының ені 0,1-ден 3 эВ аралығында болғандығын ескере отырып, жұтылған жарықтың шекті ұзындығы спектрдің түрлі бөліктерінде болуы мүмкін: инфрақызыл, көрінетін, ультракүлгін.

Егер электронның электромагниттік энергиясы электронның валенттіліктің диапазонына өтуіне жеткілікті болса, онда мұндай көшу *тікелей* деп аталады. Егер абсорбирленген фотонды энергиясы электронның өткізгіштік жолына жету үшін жеткіліксіз болса және жылу тербелістері салдарынан қажетті қосымша энергия алса, онда мұндай *өтпелі* деп аталады.

Жартылай өткізгіштегі жарықтың сіңіруі осы температурада қосымша айнымалы заряд тасымалдаушылардың пайда болуына әкеледі, бұл электр өткізгіштігін арттырады.

Жарықтың әсерінен туындаған өткізгіштігі *фотоөткізгіштік* деп аталады.

Сәуле қарқындылығының артуымен жартылай өткізгіштегі тегін заряд тасымалдаушылардың саны артады. Сонымен қатар рекомбинация процессінің қарқындылығы артады. Жасау және рекомбинациялау процессі олардың арасында динамикалық теңгерім орнатылмайынша өседі. Бұл процесс фото өткізгіштігінің *релаксациясы*<sup>1</sup> деп аталады. Әртүрлі жартылай өткізгіштер үшін сәулеленуден кейін пайда болған айнымалы заряд тасымалдаушылардың рекомбинациясы үшін қажетті бірнеше нано секундтан бірнеше сағатқа дейін болады. Айнымалы заряд тасымалдаушылардың шоғырлануы *e* факторымен азаяды, бұл айнымалы заряд тасымалдаушылардың *тиімді өмір сүру мерзімі* деп аталады, м. Егер жартылай өткізгіштегі бос электрондардың қызмет ету мерзімі  $\tau$  болса, онда уақыт бірлігінде электрондардың өткізу жолағында электрондардың саны  $\Delta n/\tau$  төмендейді, мұнда  $\Delta n$  - айнымалы тасымалдаушылардың концентрациясының өзгеруі ( $\Delta n = n - n_0$ ). Жартылай өткізгіш материалдардың электрөткізгіштігінің жарықтандыруға тәуелділігі толқын ұзындығының кең диапазонында жұмыс істейтін фотосезгіш құралдарды жасау үшін қолданылады (ұзын инфрақызылдан бастап қысқа ультракүлгінге дейін). Жартылай өткізгішке жарықтың әсер ету процессі кері қайтарылады. Электрон жоғарғы күйден босатылған төменгі қуатқа қарай кетсе, онда қуатты кванттық жарық ретінде бөлуге болады.

---

<sup>1</sup> Релаксация (*lat.relaxtio* — шиеленісті төмендету, әлсіреу) - бұл тепе-теңдіктен туындаған факторларды тоқтатқаннан кейін осындай күйден шыққан жүйенің тепе-теңдік күйіне біртіндеп оралу процессі.

Бұл жарқыл жылу (тепе-теңдік) емес. Айнымалы сәулелер арасында люминесценция ерекше орын алады.

**Жартылай өткізгіштер бетіндегі электрондық процесстер.** Жартылай өткізгіш кристаллдың нақты беті оның үлгісінен ғана емес, сондай-ақ нақты кристаллдың массалық құрылымынан да ерекшеленеді. Жартылай өткізгіштің нақты бетінде әр түрлі макро-және микроскопиялық ақаулар бар. Олардың келбеті келесі себептерден туындайды:

- жартылай өткізгіш кристаллдану және эпитаксиалды қабаттардың тұндыру кезінде бетінде ақаулардың пайда болуы (дислокациялық ақаулар, орау ақаулары);

- өңдеу кезіндегі беткі қабаттың бұзылуы (плиталардағы күймаларды кесу, тегістеу, жылтыратқыш табақшалар), беткі қабаттардың кезеңділігінің бұзылуына әкеп соқтырады;

- жартылай өткізгішті (адсорбция<sup>1</sup>) бетін сыртқы молекулалардан, атомдардан, иондардан сіңіру. Бұл сіңіру электр өрісі (физикалық адсорбция) немесе химиялық реакциялар (химизорбция) кезінде пайда болуы мүмкін;

- соңғы өлшемді жартылай өткізгіштердің нақты кристаллдарында болуы, бұл кристаллдық тордың бетіне сынуына әкеледі. Нәтижесінде кристаллдың беткі қабатында орналасқан атомдар үшін барлық коваленттік байланыстар аяқталмайды. Сондықтан, жартылай өткізгіштің бетіндегі энергетикалық диаграммада (4.7-сурет), оның көлеміне қарағанда, тыйым салынған жолақта жатқан қосымша энергия деңгейі бар (4.7а-сурет). Жартылай өткізгіштің үстіңгі деңгейіне заряд тасымалдаушыларын беру уақыты 10<sup>-8</sup> секундқа созылады, сондықтан олар *жылдам күйлер* деп аталады. Жылдам жағдайлардың арқасында беткей рекомбинациясы жүреді;

- жартылай өткізгіштің бетіне оксидтік пленкалардың болуы сонымен қатар қосымша беттік деңгейлерге әкеледі (4.7-сурет, б). Осы деңгейге дейін еркін тасымалдаушылардың өтпелі уақыты 10<sup>3</sup> с-тан бірнеше күнге дейін. Осы деңгейлерге өту ұзақтығы тотықты пленкадан өтуге көп уақыт кететініне байланысты. Мұндай деңгейлер баяу күйлер деп аталады.

Беткей ақауларының болуы жартылай өткізгіштердің қасиеттерінің оның көлемінің қасиеттерінен айтарлықтай ерекшеленуіне әкеледі.

---

<sup>1</sup> Адсорбция (*лат. ad* — дан + *sorbere* — сіңіру, сору) сұйықтықтың немесе қатты заттың үстіңгі қабаты арқылы ерітіндіден немесе газдан заттардың сіңуі болып табылады.

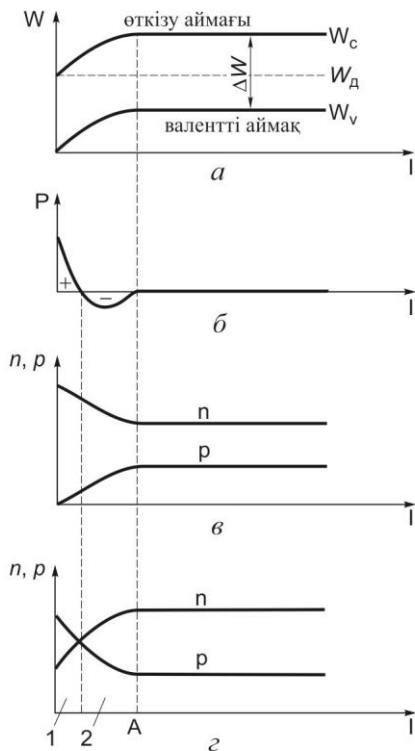


Жартылай өткізгіштің бетіне локализацияланған электрондар мен тесіктердің үстіңгі деңгейлері алынуы мүмкін. Электр заряды заряд тасымалдаушыларымен бетінде локализацияланған электрондардың өзара әрекеттесуі нәтижесінде жартылай өткізгіштегі кеңістік заряды пайда болады. Кеңістік зарядтың осы қабаттағы электр өрісінің пайда болуына және, тиісінше, энергия белдеулерінің қисаюына әкеледі.

Кеңістік заряд қабатының қалыңдығы беттік деңгейлердің тығыздығына және жартылай өткізгіштегі еркін тасымалдағыштардың концентрациясына байланысты.  $10^{15} \text{ м}^{-2}$  тәртібіндегі беттік деңгейдің тығыздығы және  $10^{22} \text{ м}^{-3}$  бос заряд тасымалдаушылардың шоғырлануы кезінде жартылай өткізгіштегі ғарыштық зарядтау аймағы  $10^{-6} \text{ м}$  тереңдікте созылады.

Беткі шығынның пайда болуы жартылай өткізгіш материалдардың жиілігін жоғарылатады, сондықтан жоғары жиілікті жартылай өткізгіш аспаптар өндірісі үшін пайдаланылатын жартылай өткізгіш материалдардың беткі сапасына, құрылғылардың тазалығы мен жетілдірілуіне және кристаллдық құрылымға қатаң талаптар қою қажет.

Өзге элементтердің адсорбциясын болдырмау үшін технологиялық құралдарды және технологиялық құралдарды және интегралды схемаларды өндіру процессінде жартылай өткізгіш



4.7-сур. Жартылай өткізгіштердегі беткі құбылыстардың диаграммалары: *a* — энергетикалық аймақ; *б* — көлемді разрядты жіктеу; *в* — *n*-типті жартылай өткізгіште тасымалдағыш тығыздығын бөлу; *г* — *p*-типті жартылай өткізгіште тасымалдаушы тығыздығын бөлу; *1* — *n*-типті электроөткізгіштік; *2* — *p*-типті электроөткізгіштік

бетімен байланыста болатын материалдарды пайдаланады.

### **Жартылай өткізгіштердегі байланыс құбылыстары.**

Жартылай өткізгіштердегі байланыс құбылысы байланыс электр өрісінің интерфейсында пайда болады. Оның жартылай өткізгіштігі бетінің қабаттарына әсері сыртқы электр өрісіне ұқсас.

Егер жартылай өткізгіштің бір аймағында электрондық өткізгіштігі болса, ал екіншісі тесікке ұқсас болса, осы аймақтар арасындағы шекара электронды тесік өтуі немесе  $p-n$  түйіні деп аталады. Жартылай өткізгіштердің әр түрлі өткізгіштігі бар механикалық байланыс кезінде  $pn$  түйінін алу мүмкін емес.  $p-n$  түйінін алу үшін жартылай өткізгіштің бір бөлігін донорлармен, екіншісінде акцепторлық қоспамен бірге қосады. Нәтижесінде жартылай өткізгіштің бір бөлігі электрондық өткізуге, ал екіншісі - тесікке ие. Байланыс кезінде электрондар тесікшелердің үлкен концентрациясы болатын тесікшелермен бірге  $p$ -аймағына тарайды. Сол сияқты тесіктер электрондардың тығыздығы үлкен болатын  $n$ -аймағына таралады. Нәтижесінде, донорлық қоспасыз иондар көлемді оң зарядты құратын  $n$ -аймағының интерфейсында қалады.  $p$ -аймағының интерфейсында өтемделмеген акцепторлар иондар теріс зарядты жасайды. Осылайша,  $n$ -типті және  $p$ -типті жартылай өткізгіштерді бөлу аймағында еркін заряд тасымалдаушылар бар аймақ қалыптасады. Бұл аймақ  $p-n$  түйінінің қалыңдығы. Алынған донорлық қоспаның иондарының пайда болған оң көлемдік заряды  $p$ -аймағынан  $n$ -аймаққа дейінгі тесіктердің одан әрі таралуына жол бермейді.

Акцепторлардың қоспасының иондарының теріс кеңістіктегі заряды электрондардың  $p$ -аймағына таралуына жол бермейді. Осылайша, өтемделмеген қоспалар иондары негізгі заряд тасымалдаушылар үшін интерфейсінде әлеуетті кедергі жасайды. Бұл кедергіні жеңу үшін негізгі заряд тасымалдаушылар жеткілікті кинетикалық энергияға ие болуы керек. Сыртқы өрісті қолдану арқылы әлеуетті тосқауылдың биіктігін өзгерту арқылы қарама-қарсылықты көбейтту немесе азайту мүмкін

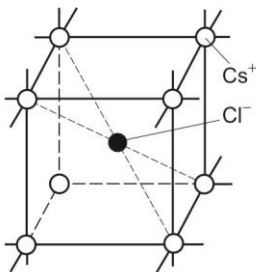
## **4.2. Қарапайым жартылай өткізгіштер**

*Қарапайым* деп, негізгі құрамы бір химиялық элементтің атомынан құралған жартылай өткізгіштерді атайды.

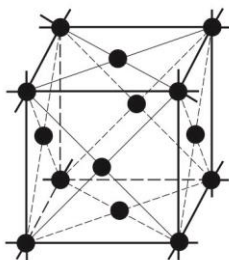
Жартылай өткізгіш материалдардың көпшілігі реттелген периодтық құрылымы бар қатты кристалл зат. Кристалл заттар қарапайым ұяшықтардан (тордан) тұрады. Қарапайым ұяшық кристалл заттың ең кішкентай параллелепед түріндегі көлемі, оның бойымен үш тәуелсіз бағытты жылжытып, кристалл алуға болады.

Жай қарапайым текше ұяшық (4.8 сур.) текше ұшында орналасқан атомдардан тұрады. Осындай құрылымы бар әдеттегі

материал болып хлорлы цезий саналады, оның ұяшығында цезидің оң иондары мен хлордың теріс иондары рет-ретімен алмасады.

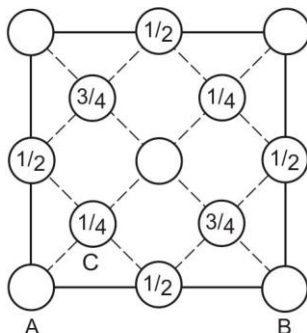


4.8-сур. Хлорлы цезидің қарапайым текше ұяшығы (тор)



4.9-сур. Қарапайым қырлыорталы текше ұяшығы.

Егер атомдар текшенің ұшында ғана емес, әр қырдың ортасында да болса, (4.9. сур) онда материал қырлыорталы текше ұяшығына (тор) ие болады. Мұндай құрылымды әдеттегі материалл болып



4.10-сур. Алмаз типті тордың кристалл қыры

хлорлы натрий (ас содасы) және алюминий табылады.

Жартылай өткізгіш материалдардың көбісі кристаллданудан кейін алмас секілді торға ие болады, ол қырлыорталы текшелі тордың түрленген түрі саналады. Бұл түрдің торында қарапайым ұяшық қабырғалары валентті байланыстардың бағыттарымен сәйкеспейді. Алмаз типті тор кристаллдарының бір қыры 4.10. суретте көрсетелген.

Монокристаллды заттар анизотроптық қасиетке ие, яғни, кристаллдардың бағыты кристаллографиялық бойлық бағыты бойынша өзгеріп отырады (1.2 бөлімін қараңыз). Сондықтан, монокристаллды материалдарды түрлі технологиялық үрдістерде пайдаланғанда кристаллографиялық жазықтықтардың бағытын анықтау керек.

Жартылай өткізгіш сикросызбалардың өндірісінде кристаллографиялық жазықтықтардың бағыты бойынша қасиеттерін пайдаланады, сондықтан, жартылайөткізгіштердің құймасын осы жазықтықтар бойынша кеседі.

#### 4.2.1. Германий

1870 ж. Германидің бар екендегі және оның негізгі қасиеттерін Д. И. Менделеев эка-силиций элементін сипаттағанда айтып кеткен. Оның жорамалын 1886 ж. неміс химигі К. Винклер, дәлелдеп, минералды шикізат ішінен эка-силициді табады және оны өзінің туған елінің атымен германий (Ge) деп атайды.

Жер қыртысындағы германидің көлемі көп емес — шамамен 0,001%. Германидің өзінің кен орны жоқ деп айтса болады. Жалғыз германид кен орнында мыс, темір мен цинк германидің өзінен көп. Германий болар-болмас мөлшерде (0,01...0,5%) цинк кен орнында, көмір тозаңында, күлде, күйеде және теңіз суында кездеседі. Ол силикаттар, сульфидті минералдар, сонымен қатар, сульфасолдер болып табылатын минералдарда шашылған. Мысалы, қорғасынды цинкті кен орнында германидің кездесуі шамамен 10 г/т, ал, йодты колчеданды кен орындарында — 1-ден 10 г/т дейін. Сирек кездесетін минералдар құрамында германий айтарлықтай көлемде кездесуі мүмкін. Мысалы, аргиродитте германидің 5,7 %-ы, реньеритте — 7 %-ға дейін. Германидің көп мөлшері (100 г/т дейін) көмірдің қоңыр түрінде кездеседі.

Германиді қиын технологиялық үрдіс нәтижесінде қоңыр көмірдің жану өнімдерінен алады. Бұл үрдістің соңғы өнімі болып құйма түріндегі монокристаллды германий болып табылады. Монокристаллды германиді алудың технологиялық үрдісі келесі негізгі үрдістерден тұрады:

- германидің тетрахлоридін алу және оны тазарту (германий тетрахлориді  $\text{GeCl}_4$  бастапқы шикізатты хлорлау және тұз қышқылымен өңдеу үрдісі кезінде алынады);

- германий тетрахлоридінің гидролизі және одан германий диоксидін алу  $\text{GeO}_2$  (германий тетрахлоридін тазалағаннан кейін әрқарай қышқылдандырып, германий диоксидіне айналдырады, ол ақ түсті ұнтақ түрінде болады);

- германий диоксидін сутегімен қайта қалпына келтіру (германий диоксидін сутекті ортада 650...700 °С температурада сұр түсті ұнтақ түріндегі қарапайым поликристаллды германиге дейін қайта қалпына келтіреді; поликристаллды ұнтақталған германиді де германий тетрахлоридінен  $\text{GeCl}_4$  бұл қосылысты жоғары температурада цинк буында шашырату әдісімен алады);

- поликристаллды құйманы алу және оны аймақтық балқыту қоспасынан тазалау (20 °С температурада поликристаллды германидің электрлік кедергісінің үлесі  $\rho = 0,05 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ).

Поликристаллды германий монокристаллды германий алу үшін шикізат болып табылады, сонымен қатар, германидің кремнимен құймасын алуға және оптикалық бөлшектерді жасауға пайдаланады. Поликристаллды германий құрамында қоспа көп болғандықтан, ол тікелей жартылай өткізгіштік өндірісте жарамсыз болып саналады, себебі, германидің өзіндік өткізгіштік қоспасы  $1 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$  дейін болы тиіс (германидің миллиард атомына 1 атом қоспа). Бастапқы кремний балқыту температурасының айтарлықтай төмендігі мен графиттік отбасыларды қолдану мүмкіндігі арқасында поликристаллды кремниді тазарту технологиясы оңай, ал тазарту сапасы жоғары;

- балқытылған поликристаллды германиден монокристаллды германий құймасын алу. Монокристаллды германий алу үшін аймақтық балқыту әдісін пайдаланады және балқымадан созып алады (тазалаудың бұл әдістері 4.2.2 бөлімдерде егжей-тегжейлі берілген).

Германидің монокристаллды құймаларын жартылай өткізгіш құралдар мен интегральды микросызба жасау технологиясында қолдану механикалық өңдеу кезінде (құймаларды тілімдерге кескенде, тілімдерді тегістеу мен жылтырлату кезінде) материалдың көп бөлігін жоғалтумен байланысты. Сондықтан, германидің эпитаксиальды қабықшасы кең көлемде пайдаланылады, оны монокристаллды германиді түрлі материалдардан (германий, кремний, кварц, сапфир) жасалған төсемнің үстіне монокристаллды қабықшатүрінде тұндыру арқылы алады.

Эпитаксиальды қабықшаны жағу үшін германий тетрахлоридін  $\text{GeCl}_4$  (түссіз оңай жылжитын сұйықтық) немесе германий тетраиодитін (сары түстізат) қолданады. Монокристаллды эпитаксиальды германиді диспропорционалдау<sup>2</sup> реакциясы нәтижесінде алады



400 °C температурадан аз кезде бұл реакция көп жағдайда солдан оңға қарай, ал, жоғарғы температураларда оңнан солға қарай жүреді.

Жартылай өткізгіш құралдарды шығаруда белгілі электрлік кедергі  $\rho$  үлесі бар электронды және саңылаулы типті германий қолданылады. Германидің өткізгіштік және электрлік кедергісінің үлесі бастапқы материалға енгізілген қоспалардың көлемімен анықталады.

<sup>1</sup>Эпитаксия ( гректің ері — үсті, жоғарыда, жанында, кейін артында + taxis — орналасу ) — бір кристаллдың екіншісінің үстіне бағытталған өсімі (төсем).

<sup>2</sup>Диспропорционалдау реакциясы — өздігінен қышқылдану реакциясы — өздігінен қалпына келу.

Сүрме, күшән, галлий және алтынмен қоспаланған түрлі маркалы монокристаллды германий 0,0004-ден 45 Ом·м дейін салыстырмалы электрлі кедергі  $\rho$  ие. Қоспалаушы қоспаларды белгілі мөлшерге балқытылған кристаллды германидің жұмыс көлеміне монокристаллдарды ала алдында қосады.

Германиді бейтарап, акцепторлы, донорлық және терең энергетикалық қатпарлар түзетін қоспалармен қоспалайды.

*Бейтарап* қоспалар жартылай өткізгіш материалдың электр өткізгіштігінің типі мен ондағы заряд тасымалдаушылар санын өзгертпейді. Германидің бейтарап қоспаларына инертті газдар, аргон мен Д.И.Менделеевтің элементтердің Периодтық жүйесінің кестесіндегі IV топтың элементтері: кремний, қорғасын, слово жатады.

Германидегі негізгі *акцепторлы* қоспаларға Д.И.Менделеевтің элементтердің Периодтық жүйесінің кестесіндегі III топтың элементтері: галлий, индий, алюминий жатады.

Германидегі *донорлық* қоспаларды Д.И.Менделеевтің элементтердің Периодтық жүйесінің кестесіндегі I топтың элементтері: күшән, сүрме, висмут, фосфор, сонымен қатар, I топтың элементі — литий құрайды.

Германидің тиым салынған аймағында терең энергетикалық қатпарларды Д.И.Менделеевтің элементтердің Периодтық жүйесінің кестесіндегі I, II, V, VII және VIII тобының көптеген элементтері құрайды. Алайда, ол элементтердің ерігіштігі акцепторлы және донорлық топтардың ерігіштігінен айтарлықтай аз.

Кристаллды германий — өзіне тән металлдық жарқырауы бар қатты нәзік материал — Д. И. Менделеевтің элементтердің Периодтық жүйесінің кестесіндегі IV топтың элементтеріне жатады. Ол тұрақты қабырғалы  $a = 0,566$  Нм, алмаз типті текшелі тор түрінде кристалданады. Атомдық массасы  $m = 72,59$ , көлем бірлігіндегі атом саны  $4,45 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$  құрайды. Кремнидің бөлме температурасындағы тиым салынған аймағының ені  $\Delta W = 0,75$  эВ; 300 К температурада –  $\Delta W = 0,67$  эВ. Сәйкесінше, германиден жасалған жартылай өткізгіш құралдардың жұмыс температурасы кремниден жасалғандардан төмен және 80 °С аспайды.

Германидің өзінің заряд тасымалдаушыларының жиынтығы  $n_t = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ , өзінің салыстырмалы электрлі кедергісі  $\rho = 0,68$  Ом·м.

Германидің электр өткізгіштігі температураға байланысты. Төменгі температурада ( $T < 5,4$  К) және жоғары қысымда ( $P > 11$  ГПа) германий асқын өткізгіштік жағдайға өтеді. Бөлме температурасында аз құрамаланған германидің заряд таушыларының қозғалғыштығы салыстырмалы түрде жоғары:

электрондар үшін  $\mu_n = 0,39 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ ; саңылаулар үшін  $\mu_p = 0,13 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ . Бұл оны жоғары жиілікті диодтар мен транзисторлар дайындау үшін қолдануға мүмкіндік береді.

Бөлме температурасындағы тығыздығы  $D = 5,35 \text{ г/см}^3$ . Германидің балқыту температурасы кремнимен салыстырғанда төмен:  $T = 937 \text{ }^\circ\text{C}$ . Балқытқан кезде тығыздығы шамамен 4,7 %-ға артады, яғни,  $D = 5,57 \text{ г/см}^3$  дейінсекірмелі өзгереді, бұл германидің қатты күйден сұйық күйге айналған жағдайдағы атомаралық қашықтықтың өзгеруімен байланысты.

$10^3 \text{ Па}$  (760 мм сн. бағ.) қысым жағдайында германидің қайнау температурасы  $T_{\text{кин}} = 2700 \text{ }^\circ\text{C}$ .  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  температурада қаныққан бу қысымы  $P = 0,13 \text{ Па}$  ( $10^{-3}$  мм сн. бағ.);  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  температурада  $P = 1,3 \text{ Па}$  ( $10^{-3}$  мм сн. бағ.);  $1400 \text{ }^\circ\text{C}$  температурада  $P = 13 \text{ Па}$  ( $10^{-1}$  мм сн. бағ.);  $1600 \text{ }^\circ\text{C}$  температурада  $P = 133 \text{ Па}$  (1,0 мм сн. бағ.).

Түрлі материалдар германиге әртүрлі әсер етеді. Ауада кристаллды германий  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  температурада тұрақты,  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  температурадан жоғары болса, ол германий диоксидіне дейін қышқылданады ( $\text{GeO}_2$ ); су германиге әсер етпейді. Германий тұзды ( $\text{HCl}$ ), азотты ( $\text{HNO}_3$ ) және суық күкіртті ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) қышқылдарда ерімейді; бөлме температурасында германий патша арағын, (тұз және азот қышқылдарының қоспасы), сутегі тотығының ерітіндісін, түрлі улағыштарды (қышқылдар қоспасын) белсенді ерітеді. Қайнаған сілтілер ерітіндісінде  $\text{KOH}$  және  $\text{NaOH}$  германий жақсы ериді, ал суығына аз ериді; сілтілердің ерітіндісіне сутегі тотығын қосу германидің ерігіштігін арттырады; балқытылған сілтілерде германий тез еріп, суда еритін германиттерді пайда болуына негіз болады. Балқытылған көмірқышқыл және азот қышқылды натрий германиді сәйкес газ шығару арқылы тез ерітеді.  $1000\text{...}1100 \text{ }^\circ\text{C}$  температурасында балқытылған германий сутегімен әрекеттесіп,  $\text{GeH}_4$ ,  $\text{GeH}_6$  және т.б. сияқты ұшатын заттарды туғызады. Хлормен германидің ұнтағы бөлме температурасында әрекеттеседі, ал, түйіршіктелген германий —  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  температурада; жай қыздырғында германий броммен әрекеттеседі;  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  төмен температурада күкіртті сутек германимен әрекеттеспейді. Тек жоғары температураларда ғана күкіртті сутектің диссоциациясы басталғанда германий күкіртпен белсенді түрде әрекеттесіп, моносульфид түзеді.

Германий күкіртті газбен  $\text{SO}_2$   $500 \text{ }^\circ\text{C}$  температурада әрекеттесіп, германий диоксидімен и дисульфидін түзеді.

Германий көміртекті тіпті ең жоғары температураларда да ерітпейді, балқыту температурасында германидегі көміртегінің ерігіштігі шамамен  $10^8 \text{ см}^{-3}$  құрайды.

Тіпті  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$  температураға дейін қыздырса да германий кварцпен әрекеттеспейді, сондықтан, жартылай өткізгіштік өндірісінде графит пен кварцты түрлі технологиялық ыдыстарды

жасау үшін кеңінен пайдаланады.

Жарықты көру үшін германий түссіз емес, ал, инфрақызыл сәулелер үшін — сәуленің 1,8 мкм қашықтығында салыстырмалы түссіз.

Монокристаллды германий жартылай өткізгіш құрылғылар мен эпитаксальді құрылымдар үшін для диаметрі 25... 35 мм болатын күймаларда шығарылады.

Германидің ЖЭС-3 маркировкасы келесілерді білдіреді: Г — германий; Э немесе Д — өткізгіштік типі (саңылаулы, электронды); үшінші әріп қоспалаушы қоспаны білдіреді (С — сүрме, З — алтын, Г — галлий); әріптерден кейін тұрған сан салыстырмалы электрлік кедергіні білдіреді.

Германидің негізгі қосындыларына германидің монооксид, диоксид және тетрахлориді жатады.

Германий монооксиді (GeO) — аморфты құрылымы бар тұрақсыз эквивалентті қосынды, германий диоксидін қалпына келтіру үрдісінде немесе диспропорционалдау нәтижесінде пайда болады. Кейбір жағдайларда ол ерітінділерде пайда болады.

Германий монооксиді келесідей қасиеттерге ие: тығыздығы  $D = 4,4 \text{ г/см}^3$ ; ауада 600 °С температурадан бастап қыздырғанда оксид қарапайым германий мен оның диоксидіне диспропорционалданады; күкіртті және тұз қышқылдарында жай ериді.

Германий диоксиді (GeO<sub>2</sub>) — аморфты, кристаллды зат немесе аморфты және гексагональді модификациялардың қоспасы.

Тығыздығы  $D = 3,66 \text{ г/см}$  аморфты (шыны тәрізді) модификацияны германий диоксидін тез суыту әдісімен алады.

Катализатор болғанда шыны тәрізді модификация 1000 °С температураға дейін қыздырғанда тығыздығы  $D = 3,27 \text{ г/см}^3$  болатын кристаллды тетрагональдыға ауысады, оны 1035 °С температурада қыздырса, тығыздығы  $D = 4,28 \text{ г/см}$  болатын гексагональдыға ауысады.

Германий диоксиді келесідей қасиеттерге ие: 1200 °С температурада сұйық германий диоксидінің тығыздығы  $D = 3,39 \text{ г/см}^3$ , ал 1400 °С температурада тығыздығы  $D = 3 \text{ г/см}^3$ ; 1200 °С температурада булану жылдамдығы  $2 \cdot 10^{-9}$  молекула/(с·см<sup>2</sup>), ал, 1500 °С температурада жылдамдық —  $7 \cdot 10^{-7}$  молекула/(с·см<sup>2</sup>) болады.

Германий диоксиді тұзды және күкіртті қышқылдарда, сонымен қатар, сілтілерде ериді; суда еруі модификация мен температураға байланысты (германий диоксидінің суда еруі оны қорғаныш қабықшасы ретінде қолдануға кедергі келтіреді, ол германиді планарлық технология бойынша интегралды микросызбаларды жасауға қолдануға кедергі).

Германий диоксиді — поликристаллды және монокристаллды



германиді алу үшін қолданылатын ақ түсті ұнтақ. Құрамындағы қоспалар (алюминидің, темірдің, кремнидің, күшәннің) 10%-дан аспайды, хлор — 0,3 %, ылғал — 4%.

### 4.2.2. Кремний

Кремний (Si) — металлды жылтыры бар кара сұрғылт түсті кристаллды материал, Д.И.Менделеевтің элементтердің Периодтық жүйесіндегі IV тобының элементі болып табылады. Ол – жер шарында оттегіден кейінгі ең көп таралған элемент. Ол жер қыртысы массасының 29,5 %-ын құрайды, оның құрамына силикаттар мен кремнезем түрінде енеді. Бірақ бос күйінде ол табиғатта кездеспейді. Кремнезем және силикаттар сияқты кең тараған табиғи материалдар оның қоспасы болып табылады. Қыртыстың минералды бөлігін құрайтын құм мен балшық та кремнидің қоспасы болып табылады.

Кремниді қоспаларда бірнеше жолмен алады. Көбіне төртхлорлы кремниді  $\text{SiCl}_4$  мырыш немесе көміртек буымен қалпына келтіру әдісін қолданылады:



Реакция 950 °С температурада жүргізіледі.

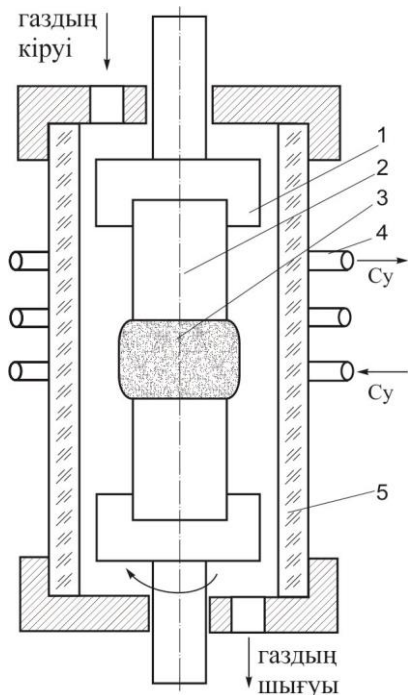
Үлкен диаметрлі (100 мм дейін) білік түріндегі құймалар монокристаллды кремниді Чохральскийдің әдісімен алу кезінде отбақырға өлшем жүктемесі ретінде қолданады. 40 мм дейінгі құймаларды отбақырсыз аймақтық балқыту үшін дайындама ретінде қолданады.

Алынған поликристаллды кремний 1...5 % қоспадан тұрады. Мұндай кремний жартылай өткізгіш өндірісінде қолдануға жарамайды, сондықтан, ол қосымша тазалауға жатады.

Технологиясы бойынша кремний германиге қарағанда күрделі материал, себебі ол жоғары температурада балқиды (1414 °С) және балқытылған күйде химиялық белсенді болып табылады (отбақыр дайындалатын барлық материалдармен реакцияға түседі). Осыған байланысты кремниді отбақырды қолданбай вакуумда аймақтық балқыту арқылы тазартады. Бұл кремний құрамындағы көптеген қоспалардың (бордан басқасы) қатты кремниге қарағанда сұйық кремниде жақсырақ ериді, сондықтан, балқыған кремний жайлап қатқан кезде қоспалары негізінен балқытпада қалады.

Егер кремний құймасының жекелеген бөлігін балқытып, оны құйманың бойымен жылжытатын болсақ, онда қоспалар да балқыған аймақпен бірге оның соңына қарай жылжиды. Осы әрекетті бірнеше рет қайталай отыра берілген дәрежеде тазартылған әрі өзінікіне жақын салыстырмалы өткізгіштігі бар поликристаллды кремний алуға болады.

Қоспасы көп кремний құймасын кварцты тұрбаның жоғары



және төмен жағында орналасқан ұстағыш арқылы тігінен бекітіп қояды (4.11 сур.)

Жоғары жиілікті индуктордың көмегімен құйманың төменгі жағын қыздырып балқытылған аймақты алады. Индуктордың жайлап төменнен жоғарыға қарай ауысуымен бірге балқыған аймақтың ауысуы жүреді, ол біртіндеп қоспалармен қаныға береді. Қоспалар құйманың жоғарғы бөлігіне шоғырланады. Құйманың бұл ластанған бөлігін кесіп алып, қайтадан балқытуға жібереді.

15...20 рет қайталағаннан кейін құрамындағы қоспасы  $1 \text{ м}^3 10^{20}$  атомнан кем және салыстырмалы электрлік кедергісі  $\rho = 20...30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  құрайтын кремний алынады.

Кремниді бордан тазарту үшін балқыту аймағын сутек ортасында жүргізеді, себебі бу кремнидің қосасын азайтып, салыстырмалы электрлік кедергіні  $\rho = 1,6 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  жеткізуге мүмкіндік береді.

Тазартылған поликристаллды кремниді монокристаллды кремний мен кремнидің эпитаксиальды қабаттарын алу үшін бастапқы шикізат ретінде қолданады, сонымен қатар, күн батареясын дайындау үшін пайдаланады.

Кремниді сондай-ақ кремний тетраидидын ( $\text{SiI}_4$ ), силанды ( $\text{SiH}_4$ ) және басқа да құрамында кремний бар материалдарды термикалық ыдырату әдісімен алады.

Көлемді монокристалды кремний алу үшін отбақырсыз аймақтық балқыту, балқытпадан созып алу (Чохральский әдісі), гарниссажды балқыту әдістерін пайдалануға болады.

**Отбақырсыз аймақтық балқыту әдісі.** Диаметрі 40 мм болатын тазартылған поликристаллды құйманы кварцты тұрбаға бекітіп, бастапқы балқыту аймағын құрады (4.11 сур.) да оған затравка ретінде монокристаллды германидің бөлігін салады. Индуктордың көтерілу көлеміне қарай, балқу аймағы затравкамен бірге балки отырып, оның кристаллды құрылымын қайталайды. Нәтижесінде кремнидің диаметрі 100 мм дейінгі монокристаллды құймасы аланады, оның

[111] және [100] бағыттарына қарай негізделген және салыстырмалы электрлік кедергісі  $\rho = 0,001...30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  құрайды.

**Балқымадан созып алу әдісі (Чохральскийдің әдісі).**

Чохральскийдің әдісі бойынша монокристалды кремний алу үшін тазартылған және газсыздандырылған поликристаллды кремниді айрықша таза кварцтан жасалған отбақырда жоғары вакуумды пеште балқытады (4.12 сур.). Штоктың көмегі арқылы балқытпаға монокристаллды затравка қосады, ол балқытпаның бетіне қажетті кристаллографиялық бағытқа негізделген. Балқығаннан кейін затрвананы жайлап айналдыра отырып көтереді. Бұл балқытпаны араластыруға және оның температурасын біркелкі етуге жағдай жасайды.

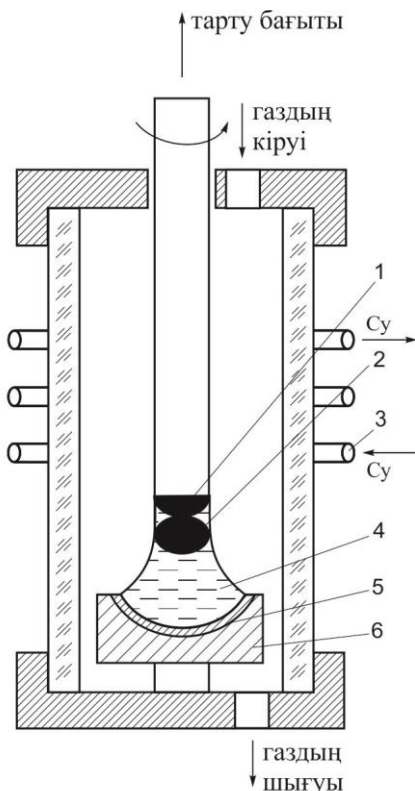
Затравка қозғала отырып жоғарыға тарту күшімен ұсталып тұрған балқытпаның бағанын тартады. Баған көтеріле суып, затравка бағытына қарай кристаллданады.

Нәтижесінде 150 мм дейінгі диаметрлі монокристаллды құймалар алынады, олар [111], [110], салыстырмалы электрлік кедергісі  $\rho = 5 \cdot 10^{-5} \dots$

Тартып алу бағыты  $0,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

**Гарниссажды әдіс.** Бұл әдісті қолданған жағдайда балқытпа аймағын электронды сәулелік қыздыру арқылы терең вакуумда жасайды. Нәтижесінде құрамында біртектілігі көп және оттегісі аз ( $1 \text{ м}^3 \cdot 5 \cdot 10^{11}$  атомнан аз) құйма алынады. Бірақ, мұндай кремнидің ауысу тығыздығы жоғары болады —  $(3.5) \cdot 10^8 \text{ м}^{-2}$ .

Монокристаллды кремниді жартылай өткізгіш өндірісінде қолдану кезінде бұл материалды көптеп жоғалтатын жағдайлар



4.12. сур. Чохральскийдің әдісі бойынша балқытпадан жартылай өткізгіш монокристалдарды алу сызбасы:

- 1 — затравка; 2 — монокристалл;
- 3 — жоғары жиілікті редуктор;
- 4 — балқытпа; 5 — балқытылған кварцтан отбақыр; 6 — графиттік кабық (қыздырғыш).

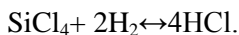
кездеседі. Бұл жартылай өткізгіштердің көпшілігі жартылай өткізгіш үрдістері оның өте жіңішке қырында немесе жоғарғы қабаттарында өтугенегізделгендіктен.

Монокристаллдың қалған қабаттары әдетте паразиттік болып саналады және құрылғының параметрлерін нашарлатады. Материалдың көп бөлігі құймаларды механикалық өңдеу кезінде жоғалады (тілімдерге бөлгенде, өңдегенде, жылтырлатқанда және т.б.).

Бұл шығындарды азайту мақсанд жартылай өткізгіш өндірісінде монокристаллды қабаттар түріндегі кремний қолданылады, олар көлемді монокристаллдарға тұады, оларды *төсемдер* деп атайды.

Кристаллографиялық төсем бағытын сақтап қалатын монокристаллы қабаттар *эпитаксиальды* деп аталады. Төсем ретінде кремний, сапфир, корунның және т.б. монокристаллдарын пайдаланады.

Монокристаллды кремнидің эпитаксиальды қабаттарын кремний тетрагидридін сутегімен қайта қалпына келтіру реакциясы нәтижесінде алады:



Бұл реакция солдан оңға қарай жоғары температурада (шамамен 1100...1200 °C) жүреді.

Мұндай эпитаксиальды қабаттарды жартылай өткізгіштер өндірісінде жаппай қолданады, бұл жерде планарлық технологияны қолданады.

Жартылай өткізгіш өндірісінде таза монокристаллды кремниді сирек қолданады. Әдетте жартылай өткізгіш құрылғыларын алу үшін электр өткізгішті қоспалы кремний пайдаланылады. Бұл үшін кремниге қажетті қоспа көлемін қатаң бақыланған мөлшерде енгізеді.

Электр өткізгіштігіне әсері сипатына байланысты қоспаларды бейтарап, донорлық, акцепторлы және кремнидің тиым салынған аймағында терең энергетикалық қатар түзетін түрлеріне бөледі.

Кремнидің *бейтарап* қоспаларына сутегі, азот, инертті газдар, сонымен қатар, Д.И.Менделеевтің элементтердің Периодтық жүйесіндегі IV топтың элементтері: германий, калайы, қорғасын жатады.

Негізгі донорлық қоспалар болып Д.И.Менделеевтің элементтердің Периодтық жүйесіндегі V топтың элементтері табылады (фосфор, күшән, сүрме, висмут).

Кремний үшін *акцепторлы* қоспалар ретінде негізінен Д.И.Менделеевтің элементтердің Периодтық жүйесіндегі III топтың элементтері: бор, алюминий жатады.

I, II, VI, VII тобының элементтері кремнидің тиым салынған аймағында терең энергетикалық қатпарларды құрайды және донорлық және акцепторлы бола алады. Мұндай қоспа ретінде көбінесе алтын және цинк қолданылады. Алтынмен қоспалаған кезде кремниде

заряд тасушылардың қосымша рекомбинация орталықтары пайда болады, бұл әркелкі заряд тасымалдаушыларының өмір сүру уақытын азайтады.

Кремниді қоспалау көлемді монокристаллдар мен эпитаксальды қабықтарды алу кезінде жүргізіледі.

Отбақырсыз аймақтық қоспалау кезінде қоспалаушы қоспа сутегіден алынады, ол қоспаның ұшып жүрген буымен бірге кварцтар тұрбаға түседі. *n*-типті кремниді үшхлорлы фосфор мен күшәнді пайдалан отыппнемесе бесхлорлы сүрмені қолдана отырып алады. *p*-типті кремниді алу үшін әдете үшбромды борды жиі қолданады. Қатты қоспалаушы қоспаны қолданған кезде (мысалы, алюминий) оны кремни құймасының бір жақ бөлігімен балқытады және балқыған аймақты қозғалта отырып барлық көлемі бойынша жаяды.

Монокристаллдарды алуда Чохральскийдің әдісін қолданған кезде қажетті қоспаның өлшеулі көлемін тікелей балқытпаға қосады және монокристаллды созу шамасына қарай оны қоспалау жүзеге асырылады.

Эпитаксиальды кабаттарды қоспалау газалық фаза кезінде оларды өндірумен бірмезгілде жүргізіледі.

Қоспалаушы қоспаларды диффузия әдісінің көмегімен де енгізеді.

Монокристаллды кремниді оны алу әдісіне байланысты маркерлейді. Бұл кезде тобы, топ бөлігі, қосымша сапалық параметрлер, электр өткізгіштігі типі, қоспалаушы қоспаның түрі, салыстырмалы электрлік кедергісінің номиналы, негізгі емес заряд тасымалдаушыларының жүріп өткен диффузиялық қашықтығы, құйма диаметрі көрсетіледі.

Кристаллды кремний - бұл металл боялған, химиялық жағынан өте инертті қара, сұр және қатты зат. Германия сияқты, ол барлық атомдар бір-бірінен бірдей қашықтықта торлы тұрақты  $a = 0,357$  Нм орналасқан алма түріндегі күрделі текше текше торына кристаллдайды. Кремний атомының сыртқы валенттілігі қабаты төрт электрон болып табылады. Кремний келесі қасиеттерге ие: атом массасы  $m = 28,08$ ; бірлік көлеміндегі кремний атомдарының саны  $1 \text{ м}^3$ -де  $5 \cdot 10^{28}$  құрайды. Жартылай өткізгіш құрылғылардың негізгі параметрі -  $20^\circ \text{ C}$ -де тыйым салынған жолақтың ені  $\Delta W = 1.12 \text{ эВ}$ . Бұл сізге жоғары жұмыс температурасы ( $125^\circ \text{ C}$  дейін) бар кремний жартылай өткізгіш құрылғыларын жасауға мүмкіндік береді. Кремний қондырғыларының жоғарғы температуралық шегі  $200^\circ \text{ C}$ -қа дейін жетеді.

Бөлме температурасында ішкі заряд тасымалдаушылардың концентрациясы  $n_i = 3 \cdot 10^{16} \text{ м}^3$ . Ішкі электрөткізгіштігі бар кремнийдің  $\rho$  электр кедергісі  $\rho \approx 2.3 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  қоспалардың концентрациясының артуымен күрт төмендейді. Төмен температура кезінде ( $T < 6.7 \text{ K}$ ) және жоғары қысымды ( $P > 12 \text{ GPa}$ )

кремний сверхпроводящей күйге өтеді, яғни. кремнийдің арнайы электр кедергісі р нөлге дейін азаяды.

Зарядты жүктеме кремнийіндегі заряд тасымалдаушылардың  $\mu$  мобильділігі мынада:  $\mu_n = 0.145 \text{ м}^2 / (\text{В}\cdot\text{с})$  - электрондар үшін;  $\mu_p = 0,045 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$  - тесіктерге арналған. Зарядтағыштардың салыстырмалы түрде төмен қозғалуы микросхемалардың параметрлеріне іс жүзінде әсер етпейді, өйткені олардың жиілік қасиеттері, негізінен, р-п мөлшері мен пішіні, допанды қоспалардың түрі, кристаллды құрылымның ақаулары сияқты техникалық параметрлермен анықталады.

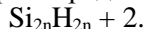
Бөлме температурасында қатты кремний тығыздығы  $D = 2320 \text{ кг} / \text{м}^3$ ; балку нүктесінде сұйық кремний тығыздығы  $D = 2530 \text{ кг} / \text{м}^3$ ; балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 1414^\circ \text{ С}$ ;  $10^5 \text{ Па}$  (760 мм Hg) қысымындағы қайнау температурасы  $T = 2477^\circ \text{ С}$  болады.

Қаныққан будың температурасы температураға байланысты. Қаныққан бу қысымы  $P = 0,13 \text{ Па}$   $1225^\circ \text{ С}$  таңда температурасында;  $1343^\circ \text{ С}$  температурада,  $P = 1.3 \text{ Па}$ ;  $1465^\circ \text{ С}$  температурасында  $P = 13 \text{ Па}$ ;  $1670^\circ \text{ С}$  температурада,  $P = 133 \text{ Па}$ ;  $1890^\circ \text{ С}$  температурасында,  $P = 1.3 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ;  $2083^\circ \text{ С}$  температурада,  $P = 1.3 \cdot 10^4 \text{ Па}$ .

Кремнийдің басқа материалдармен өзара әрекеттесуі температураға байланысты. Кристаллды кремний - төмен температура кезінде химиялық инертті; бөлме температурасында ол химиялық тұрақты; кезде  $С^\circ 700 \dots 200$  температураға дейін қызады, бұл кремний галогениды (және т.б.  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiJ}_4$ ,  $\text{SiBr}_4$ ,  $\text{SiF}_4$ ) қалыптастыру галогендері бар.

Ауадағы,  $900^\circ \text{ С}$  дейін қызған кезде, кремний тұрақты,  $900^\circ \text{ С}$  жоғары, ол кремний диоксиді қалыптастыру үшін қарқынды тотықтырады.  $1100-1300^\circ \text{ С}$  температура кезінде кремний силикон нитридінің  $\text{Si}_3\text{N}_4$  және көміртекті кремнийлі карбиді  $\text{SiC}$  қалыптастыру үшін азотпен әрекеттеседі.

Жоғары температурада ( $2000^\circ \text{ С}$ -тан жоғары) кремний сутегімен өзара әрекеттеседі, жалпы формуласы бар силандарды құрастырады



Тазартылған кремний жоғары химиялық белсенділікке ие, ол кристаллдар өндіру үшін материалдарды таңдау кезінде қиындық тудырады, өйткені таза кварц пен графит материалдар жоғары температурада кремниймен өзара әрекеттеседі. Крем көптеген балқытылған металлдарда өте еритін; суда ол еріген емес.

Кремний көптеген қышқылдармен ешқандай концентрацияда жауап бермейді, бірақ гидрофторлы және азот қышқылдарының қоспасында жақсы ерітеді, аз мөлшерде азот қышқылында ерітілген бром немесе сутегі асқын тотығы аз. Қайнаған сілтімен жақсы ериді, еріту үдерісі сілті сутегінің пероксидін сілтіліктің қайнаған су ерітіндісіне косуды жеделдетеді. Кремний ерітілген сілтіліде

ериді.

Кремний көрінетін жарыққа мөлдір емес, бірақ толқын ұзындығы 1,2 микроннан астам инфрақызыл сәулелер үшін таза кремний мөлдір болады. Кремнийдегі қоспалардың болуы электромагниттік сәулеленудің сіңіру коэффициентін арттырады.

Кремний диодтар, транзисторлар, тиристорлар, зерер диодтары, фотодиодтар, холл датчиктерін, шамандарды дайындау үшін қолданылады. Кремний де кірпіш, рефрактер, шыны, фарфор, цемент сияқты материалдардың ажырамас бөлігі болып табылады; ол кейбір арнайы болаттарға енгізіледі.

Поликристаллды және монокристаллды кремнийді өндіру үшін жартылай өткізгіш өнеркәсіпте қолданылатын негізгі қосылыстар кремний тотығы, кремний диоксиді, кремний нитраты, кремний тетрахлориді, трихлорсилан және моносилан болып табылады.

Табиғатта кремний тотығы (SiO) табылмайды және кремний диоксидінің 1350 °C температурасында немесе 1500 °C температурасында көміртектің азаюымен алынуы мүмкін.

Кремний тотығы тығыздығы  $D = 2.1 \text{ г / см}^3$ ; бөлме температурасында - ұнтақ, түйіршіктер немесе бежеван қараға дейін агломерленген заттар түріндегі аморфты зат; 1250° C температурасында және қысым  $P = 0.13 \text{ Па}$  кезінде вакуумда буланған; жоғары температура кезінде электр тоғын өткізбейді, сондықтан ол жабындарды, диэлектрлік және антиреклиптик қабыршақтарды оқшаулау үшін қолданылады.

Екі санаттағы кремний тотығын шығарыңыз. Бірінші категориядағы моноксид диэлектрлік қабаттар, пленкалық конденсатор қабаттары, сондай-ақ интегралды микросхемалар оқшаулағыш жабындары үшін пайдаланылады. Екінші категориядағы моноксид жартылай өткізгіш кристаллдардағы қорғаныш қабаттарын қалыптастыру үшін қолданылады.

Кремний тотығының қабаттары қалыңдығы 0,3-3 мкм; диэлектрлік беріктігі  $\epsilon = 6$ ; электрлік беріктігі  $E = 1 \cdot 10^6 \text{ В / см}$ ; Диэлектрлік шығын бұрышының температурасы 20° C  $\text{tg}\delta = 0.02$  температурасында.

Кремний диоксиді (SiO<sub>2</sub>) - әдеттегі шыныдан ерекшеленетін кварц әйнегі. Силикон диоксиді жоғары балку нүктесіне ие ( $T_{\text{бал}} = 1723^\circ \text{ C}$ ); термиялық кеңеюдің төмен коэффициенті (20° C ТКР =  $5 \cdot 10^{-7} \text{ 1 / }^\circ \text{ C}$  температурасында және 1200° C ТКР =  $1.1 \cdot 10^{-8} \text{ 1 / }^\circ \text{ C}$ ); 20° C температурасында жылу өткізгіштік 1,3 Вт / (м · К) құрайды және 1200 °C температурасында 2,2 Вт / (м · К) құрайды. Ол көптеген қышқылдарға химиялық төзімділігі жоғары; кремний қышқылын қалыптастыру үшін гидрофтор қышқылымен әрекеттеседі; Тұз қышқылында 20° C температурада ерігіштігі 0,1 г / (см<sup>2</sup> · сағ), ал күкірт қышқылында 0,016 г / (см<sup>2</sup> · сағ) құрайды. Силикон диоксиді алкалиттермен аса қарқынды түрде әрекет етеді:

100% С температурада 1% натрий гидроксиді ерітіндісінде (ерігіштігі  $15,2 \text{ г} / (\text{см}^2 \cdot \text{сағ})$ ); каустикалық калийде (KOH) -  $4 \text{ 632 г} / (\text{см}^2 \cdot \text{сағ})$ ; натрий хлоридінің 10% ерітіндісінде  $100^\circ \text{ С}$ ,  $0,34 \text{ г} / (\text{см}^2 \cdot \text{сағ})$ . Кремний диоксиді балқытылған металлдармен (литий, натрий, алюминий, лантан, церия, кремний және марганец) жауап береді; жоғары температураларда қатты элементтермен (титан, титанал, тантал, вольфрам, бор), сондай-ақ фторлы газбен өзара әрекеттеседі. Силикон диоксиді газдар үшін өткізгіш болып табылады, сондықтан ол микросхемалардың корпустарының металлдан жасалған қосылыстарын өндіру үшін пайдаланылмайды; гигроскопиялық, сондықтан ол адсорбенттерді өндіру үшін қолданылады (мысалы, силикагель<sup>1</sup>).

Жартылай өткізгіштерде кремний диоксиді жылу тотығу нәтижесінде жартылай өткізгіш плиталар бетінде алынған жұқа қабықшалар түрінде қолданылады. Мұндай фильмдерге келесі талаптар қойылады:

- кремний бетінің технологиялық орталардың әсерінен қорғау (ауа, түрлі газдар, ылғал және т.б.);
- диффузия және эпитакия кезінде легирленген қоспалардың енуінен қорғау үшін «маска»;
- жеткілікті электрлік беріктік;
- жоғары электр кедергісі;
- төменгі диэлектрлік өткізгіштігі (жоғары диэлектрлік өткізгіштігінің металл-оқшаулағыш-өткізгіш құрылымдары үшін);
- өндіруге, яғни өндіріс үрдістеріне және интегралды схемалар өндірісіне үйлесімділігі.

Бұл талаптар кремний диоксидінің қабыршақтары арқылы орындалады, сондықтан интегралды микросхемалар өндірісінде кремний ғана қолданылады. Кремний диоксидінің балқытылған металлдармен (мысалы, алюминиймен) өзара әрекеттесу қасиеті және қатты элементтері бар (титан, бор) жоғары температурада металл қабыршақтардың кремний диоксидіне тікелей тұндыруына мүмкіндік береді. Жоғары балқу нүктесі мен химиялық белсенділігінің төмендігінен химиялық ыдыс-аяқтарды, крестиканы, құбырларды, кассеталарды жасау үшін кремний диоксиді қолданылады.

Кремний нитрид (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) - азотпен жалғыз кремнийдің тұрақты қосындысы. Кремний нитраты микроэлектроникада жоғары электрлік қасиеттерге ие қорғаныш қабаттар ретінде кеңінен қолданылады (нақты электр кедергісі  $\rho = 10^{11} \dots 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ); ерекше

---

<sup>1</sup> Силикагель (*латын* шилексінен - шилин) - кеуекті ақ масса, композицияда - кремний диоксиді, жақсы сорбент. Газдарды, майларды, мұнай өнімдерін және химиялық химиялық төзімділікті кептіру және тазалауға қолданылады.



кремнийлі пленкаларға қарағанда диффузиялық қоспаларға қатысты үлкен күш пен маскирование қабілеті; балқытылған сілтілерге ыдырау; ыстық гидрофторлық қышқылмен өзара әрекеттеседі.

Бөлме температурасында кремний тетрахлориді ( $\text{SiCl}_4$ )  $D = 1,48 \text{ г/см}^3$  тығыздығы бар түссіз мөлдір сұйықтық; Қатталу температурасы  $T_{\text{кат}} = -68 \text{ }^\circ\text{C}$ ; қайнау нүктесі Тұтқаны  $T_{\text{қай}} = 57^\circ \text{C}$ ; сумен және ылғалды ауамен өзара әрекеттескен кезде сутек хлориді мен силикагелге ыдырайды; органикалық заттармен, эфирмен, хлороформмен, бензинмен және бензинмен жақсы араласады.

Кремний тетрахлориді техникалық кремнийді 250...600 о С температурада немесе 60...90% кремний бар кремний ферросилицасының қорытпаларынан хлорлау арқылы алады.

Трихлорсилан ( $\text{SiHCl}_3$ ) бөлме температурасында  $D = 1,35 \text{ г / см}$  тығыздығы бар түссіз мөлдір сұйықтық; температураның  $T_{\text{кат}} = 127^\circ \text{C}$  температурасында; қайнау температурасы  $T_{\text{қай}} = 31,8^\circ \text{C}$ ; жанғыш (жұптың белгілі бір көлемдік қатынасы бар оттегімен жарылғыш қоспаны құрайды); ылғалдың әсерінен сутегі хлориді мен полисилоксанға оңай бөлінеді.

Трихлорсилана кремнийлі техникалық кремнийді құрғақ сутегі хлориді 300...400  $^\circ\text{C}$  температурада немесе 600...700  $^\circ\text{C}$  температурада сутегімен кремний тетрахлоридін азайту арқылы алуға болады.

Бөлме температурасында моносилан ( $\text{SiH}_4$ ) - бұл түссіз газ, ол 111,9  $^\circ\text{C}$  температурасында сұйық күйге айналады және 185  $^\circ\text{C}$  температурасында қатты күйге түседі; сұйық күйдегі тығыздық -  $D = 0,68 \text{ г / см}^2$ . Монослана қатты оттекпен тотығады, тіпті қататын температураға жақын температурада; галогендермен белсенді әрекет етеді; тіпті жоғары температура кезінде сутегі хлоридімен де жауап бермейді.

Моносилан минералды қышқылдың әсерімен Менделеев элементтерінің периодтық кестесінің II және III топтарының металлдарының силикидтерінің ыдырауымен алынады.

### 4.2.3. Селен

Селен (Se) - сұр кристаллдық зат - бірінші жартылай өткізгіш материалдардың бірі болған Д.И. Менделеевтің элементтерінің периодты жүйесіндегі IV элемент. Ол жер қыртысында кеңінен таратылады, бірақ шағын концентрацияларда. Жер қыртысындағы оның мөлшері  $6\text{-}10^{-5}\%$  құрайды (массасы бойынша) және сурьма, кадмий және күмістің жер қыртысына шамамен тең.

Өнеркәсіптік типтегі пайдалы қазбалар, селен минералдары

пайда болмайды, сондықтан сирек шашыраған элемент ретінде жіктеледі. Селен - ауыр түсті металлдардың сульфидті кендерінің құрамдас бөлігі. Оларды өндірудің негізгі көздері - мыс пен никельді электролит өндірісінің анодтық шлактары.

Аморфтық немесе кристаллды құрылымның әр түрлі түстеріндегі селендің бірнеше сорттары бар. Қызған кезде барлық аллотропты нысандар алтыбұрышты кристаллды түрлендіруге айналады. Селендің атом массасы  $m = 78,96$ ; балқу температурасы  $T_{бал} = 220^\circ \text{C}$ ; қайнау температурасы  $T_{қай} = 685^\circ \text{C}$ ; химиялық қасиеттері бойынша ол күкіртке жақын, бірақ белсенді емес.

Бөлме температурасында селен ауаның оттегіге әсер етпейді, ал ауада қыздырылғанда селен оксидінің пайда болуымен күйеді; кристаллды селен сумен  $150^\circ \text{C}$  температурасында да әрекет етпейді және  $100^\circ \text{C}$  температурасында аморфты селен аздап тотықтырылып, селен қышқылын қалыптастырады.  $200^\circ \text{C}$  температурасында селен сутегі селенаидін қалыптастыру үшін реакцияға түседі, оттегі қосылыстар сериясын, ( $\text{SeO}$ ,  $\text{SeO}_2$ ,  $\text{SeO}_3$ ) және галогендермен  $\text{SeCl}_4$  түрінің бірнеше қосылыстарын құрайды.

Селендегі тұзды және сұйылтылған күкірт қышқылы әрекет етпейді; азот қышқылы селениумды селен диоксидіне тотықтырады; селен ерітіндіде ерітіндіде тұз қалыптастыру үшін; күкірт, азот, фосфор және көптеген металлдармен қосылыстар құрайды.

Д.И. Менделеевтің мерзімді элементтер кестесіндегі II топтағы металлдармен селен өнімі жартылай өткізгіш қасиетке ие және  $A^{11} B^{IV}$  типіндегі жартылай өткізгіш қосылыстар тобына енгізілген. Процессті алу тәсілі мен режиміне байланысты (температура, қысым, салқындату жылдамдығы және т.б.) селен, аморфты, моноклиниялық және алкогольдік аллотропты нысандарда болуы мүмкін. Бұл модификациялардың қасиеттері бір-бірінен өте ерекшеленеді. Шыныдан жасалған селениум плиталар немесе жұқа пленкалар түрінде алынады. Егер балқу температурасы балқу нүктесінен жоғары температураға дейін салқындаса, салқындатылған металл плитаға немесе суық суға құйылса, селен оны плиталар немесе шағын түйіршіктер түрінде алады.

Жіңішке қабықшалар вакуумдағы селен буларының конденсациясы есебінен алынады. Төмен температураларда вакуумда алынған шыныдан жасалған селениум пленкалары  $D \approx 4.3 \text{ г/см}^3$  тығыздығы мен қара түсті болады.

Ксерографиялық<sup>1</sup> үшін стерогенді селенді қолданыңыз, оның фотопродукциялық сипатын қолданыңыз.

<sup>1</sup>Ксерография (топтың гаросы - құрғақ) - сәуле энергиясын электр энергиясына айналдыруға негізделген кескіндердің фотоматериалдарын көбейту әдісі.

Аморфты селен, коллоидтық бөлшектердің дисперстік дәрежесіне қарай, қалпына келтіретін агенттерді қосу арқылы селен (селена) тұздарының разбавленный ерітіндісінен түсетініне байланысты түрлі түсті болуы мүмкін. Селен алынатын ерітінділерді  $70^{\circ}\text{C}$  төмен температурада азайту кезінде алынған селен,  $D = 4,45 \text{ г / м}^3$  тығыздығы бар аморфты қызыл бояуға ие.

Моноклический селен стерильді көміртектің дисульфидпен өңделіп алынған. нәтижесінде қаныққан ерітінді қара қызғылт түсті тығыздығы  $D \approx 4,5 \text{ г / см}^3$  бар селен Эвклездың кристаллды құрылымын баяу булану арқылы дайындалады.

Гексагональ селені жиі укленен деп атайды. Тесік-түрі өткізгіштігін бар жартылай өткізгіш материалдың тән. Бұл сұр селен деп аталатын, ең тұрақты модификациясы болып табылады. Ол мынадай қасиеттері бар: құрылымы ирек нысаны спиральды тізбектерін бар; тығыздығы сұр қатты селен  $D = 4,81 \text{ г / см}^3$ , сұйық -  $D = 4,06 \text{ г / см}^3$ .

Басқа жартылай өткізгіш материалдардан айырмашылығы, гексагональный селен, еркін тасушы тасымалдаушылардың шоғырлануының ауытқуы бар (температура көтеріліп, тегін тасымалдағыштардың концентрациясы төмендейді және бұл жағдайда олардың қозғалғыштығы артады); балқығанда, көлемі шамамен 15% -ға артады; тыйым салынған жолақтың ені  $\Delta W = 1,8 \text{ эВ}$ ; бөлме температурасында тесіктердің жылжымалығы өте аз,  $\mu_p = 1 \text{ см}^2 / (\text{В}\cdot\text{с})$ .

Арнайы электр төзімділігі бойынша таза селениум изоляторларға жақын ( $\rho 10^{12} \text{ Ом дейін}\cdot\text{см}$ ); электр кедергісі өндіріс әдісіне, құрылыстың сипатына, қоспалардың түрі мен мөлшеріне байланысты; белгілі бір электр кедергісін төмендету акцепторлардың қоспасын - хлор, бор, йод енгізу есебінен қол жеткізіледі.

Сұр селеум кез-келген аллотроптық модификацияны балку нүктесіне жақын  $180\text{...}200^{\circ}\text{C}$  температураға дейін қыздыру арқылы алынады.

Сұр селеннің кристаллохимиялық ерекшеліктері оның механикалық, электрлік және жылулық қасиеттерінің айтарлықтай анизотропиясына әкеледі. Мысалы, селениум заряды тасымалдаушыларының өткізгіштігі мен ұтқырлығы кристаллографиялық осьтерге қатысты бағыт бойынша бес фактормен өзгереді.

Жартылай өткізгіштерде сульфат немесе сода әдісімен алынатын техникалық селен пайдаланады. Оның құрамында селен - 97,5-дан 99% -ға дейін; темір - 0,02%; мыс және қорғасын - 0,05%; мышьяк - 0,5%; күкірт - 0,05%; теллурум - 0,05%.

Техникалық селендегі қоспалардың көп мөлшері оны еденді жасау үшін тікелей пайдалануға мүмкіндік бермейді өткізгіш құрылғылар. Ол таза селен сорттарын өндіру үшін шикізат ретінде қызмет етеді. Селениді алдын-ала тазарту және бөліп алу үшін химиялық әдістер қолданылады, ал физикалық тазарту үшін - физикалық әдістер (вакуумды айдау<sup>1</sup>, аймақты балқыту және т.б.).

Меншікті электр өткізгіштігі  $\gamma \approx 10^{-10}$  См/м болатын құрамында 99,998 және 99,992 % селеннің сәйкесінше СЧ-1 және СЧ-2 маркаларын шығарады. Жартылай өткізгішті байланысының синтезі үшін көбіне СЧ-1 селенін тазарту кезінде алынатын, құрамында  $10^{-5} \dots 10^{-6}$  % қосындысы бар ОСЧ-А таза селен қолданылады<sup>2</sup>.

Селеннің біртектес кристаллдары булардың фазасынан немесе балқудан кейінгі жауын-шашынмен алынады.

Жіңішке қабықшалар селенді металдан жасалған субстраттарға (болат немесе алюминий) вакуумды булану арқылы қолдану арқылы алынады. Қолданудан кейін пленкалар 1,5 сағат бойы 160, 220° С температурада термиялық өңделеді, мұндай қабықшалардың қалыңдығы 50-ден 100 мкм-ға дейін болады.

Селенді түзеткіш - фоторезисторлар мен фотоэлементтерді дайындау үшін қолданылады, өйткені селен электромеханикалық құралдарының спектральды сипаттамалары көздің спектральдық сипаттамасымен толығымен сәйкес келеді. Инфрақызыл диапазондағы құрылғыларда қорғаныш жабындары ретінде селенді қолдану инфрақызыл спектрде мөлдір болады.

Селен ректификаторларының температуралық диапазоны -60-дан +75 °С-ға дейін. Ауылдағы бақылаусыз қоспалардың мазмұны түзеткіштерді дайындау үшін жарамды, 8·10% дейін болуы мүмкін.

Селен диоксидінің бояуы шырышты қабатта болады.

#### 4.2.4. Теллур

Теллур (Te) - күміс-ақ кристаллды зат - Д.И. Менделеевтің элементтерінің периодтық жүйесінің VI тобының элементі.

Теллур жолағы  $\Delta W = 0,35$  эВ жолағы бар; балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 451^\circ \text{C}$ ; Атмосфералық қысым кезінде қайнау температурасы  $T_c = 500^\circ \text{C}$ ; 500° С температура кезінде будың қысымы  $P = 67$  Па; арнайы электр кедергісі.

<sup>1</sup>Айдау (лат distilatio - Тамшылатып) - сұйықтық қоспасы (айдау) компоненттері қайнаған айырмашылыққа негізделген құрамы фракциялары ерекшеленетін сұйық қоспаларды бөлу.

<sup>2</sup>Ректификация (латынша rectus-direct, simple + fication-дан) - сұйық қоспалардың компоненттерін сұйықтықты булануына негізделген және оның құрамдас бөліктерінің буларының бөлек конденсациясы арнайы айдау агрегаттарында - дистилляциондық бағандарда.

Қоршаған ортаның температурасы  $p = 29 \cdot 10$  таза теллур фракцияланған баған - сұйық булану және арнайы қайнау бу жекелеген компоненттерін конденсация негізінде сұйықтық қоспалар. Компоненттерін бөлу әдісі  $-4 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ; ішкі заряд тасымалдаушылардың шоғырлануы,  $= 9,3 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$ ; қосалқы электронды қозғалғыштығын  $Q_p = 0,17 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ , тесік  $CR = 0,12 \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ ; оңай буланып кетеді.

Поликристаллы теллурлар құймасы ашық балқытылған теллурды баяу салқындату арқылы алынады. Кесектен бірнеше монокристалл кесіледі. Теллурды қоспалардан тазарту бірнеше дистилляциямен жүзеге асырылады.

Техникалық теллур термиялық электр генераторларын дайындау үшін пайдаланылатын висмут, сурьма және басқа металдармен қорытпалар түрінде қорғасынға қоспалаушы қоспасы ретінде пайдаланылады. Шыны және керамика салаларында бояғыш ретінде қолданылады.

### 4.3. Жартылай өткізгіш қосылыстар

Қарапайым жартылай әрқашан жартылай өткізгіштер құрылғылардың уақыт өндіруімен талаптарға сай келмейді. Өте әр түрлі қасиеттері бар материалдармен ғимараттар үшін кеңінен, бейорганикалық тұздардың-техникалық және органикалық сияқты ТМД-жартылай өткізгіштерге қосылыстар болып табылады.

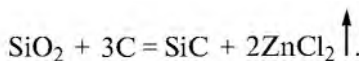
Кешенді жартылай өткізгіштердің құрылымын түрлі химиялық элементтердің атомдары құрайды. Қосылыстар осы элементтің атомдарының саны - бұл топқа қатты шешімдерді немесе химиялық қосылыстардың жоғарғы индекстері ( $m, n$ ) Д. И. Менделеевтің Периодтық кестесі тобы, және төменгі ( $x, y$ ) білдіреді, мысалы,  $A^m_x B^n_y$  қамтиды.

Ең кеңінен қолданылатын бейорганикалық кристаллдық жартылай өткізгіштер.

#### 4.3.1. $A^{IV}$ және $B^{IV}$ түріндегі кешенді жартылай өткізгіштер

Табиғатта шектеулі тең жартылай өткізгіштерөте сирек кездеседі. Кремний карбиді  $SiC$ , - қатты фазада периодтық кесте Д. И. Менделеевтің қос тобы IV элементтері ғана қосылыс көміртегі бар кремний қосылуы болып табылады.

Кремнийдің жартылай кристалды карбидін көміртекті кремний диоксидің электр пештерінде қалпына келтіру кезінде мына теңдеу бойынша алады:



Кремнийдің жартылай кристалды карбидін монокристалдарды өсіру үшін және ұсақтау кезінде SiC кремний карбиді ұнтақ үшін пайдаланылады.

Киликон карбиді екі модификацияда бар: текше  $\beta$ -SiC және гексагональнй  $\alpha$ -SiC.  $D = 3.1 \text{ г / см}^3$  тығыздығы бар  $\beta$ -SiC температурасының төменгі температуралық өзгеруі  $2000...2100^\circ \text{C}$  температурасына дейін тұрақты температурада  $D = 3,2 \text{ г / см}^3$  тығыздығы бар кезінде қалыптасады және полиппи деп аталатын көптеген сорттарға ие. Барлық полиптерлерде торлы константасы  $= 0.3078 \text{ Нм}$  бар, бірақ кристалдық торда кремний атомдарының орналасуында және оларды ауыстыруда ерекшеленеді. Жартылай өткізгіштерде тек кремний карбиді қолданылды.

A-SiC кристаллдары сублимация<sup>1</sup> арқылы алынады, онда кристаллдар  $2500^\circ \text{C}$  температура кезінде инертті газ атмосферасындағы графит крестілерінде газ фазасынан өсіріледі. Нәтижесінде бақыланбайтын қоспалардың қалдық концентрациясы  $1022 \text{ м}^{-3}$  дейін электрометрлік екі түрдегі бірдей кристаллдардың мөлшері  $30 \text{ мм}$ -ге дейін жетеді.

Кремний карбиді стехиометриялық құрамының құрамы  $70\%$  кремний және  $30\%$  көміртек. Кремнийдің артықшылығы электр өткізгіштігінің түріне әкеледі, ал көміртектің артуы тесік түріне әкеледі.

Кремний карбидіндегі қоспалар кремний карбидінің кристаллдық торына шетелдік элементтердің қосылуы түрінде де, сыртқы және де бір немесе басқа компоненттің стехиометриялық құрамы бойынша артық болуы мүмкін. кесте Д.И Менделеев (азот, фосфор, мышьяк, сурьма, висмут) тобы V элементтерін пайдаланды қоспалар ретінде кремний карбиді электрондық фигуралар үшін. Бұл қоспалар кремний карбидінің жасыл түсі. Карбид кристаллдар тобымен қара түс береді элементтері Д.И. Менделеевтің периодтық кесте жүйесінің II элементтері (бор, алюминий, галий, индий), және III тобына (магний) допинг арқылы өткізгіштігі өседі. Стехиометриялық композицияның таза кремний карбиді түссіз болып келеді.

Кремний карбидінің кристаллдары шамалы мөлшерде, ең үлкен кристаллдардың ауданы  $10$ -нан  $80 \text{ мм}$ -ге дейін. Молекулярлық салмағы  $m = 40,16$ .

Химиялық байланыстың түріне қарай кремний карбиді ковалентті кристаллдарға жатады; иондық байланыс  $10,12\%$  аспайды.

Кремний карбидінің энергетикалық аймақтардың өте күрделі құрылымы бар. Түрлендірудің әртүрлі полиотиптеріне тыйым салынған жолақтың ені  $\Delta W = 2.72.3.34 \text{ эВ}$ . Тыйым салынған жолақтың осындай үлкен ені кремний карбиді жартылай өткізгіштер негізінде жұмыс істейді.

<sup>1</sup> Сублимация (латын сублимаратынан) - сұйық күйді  $700^\circ \text{C}$  дейінгі температурада айналып өтіп, қаттыдан газ тәріздес күйде болған кезде заттың өтуі. Бұл құрылғылар пештерде, реактивті турбиналарда және т.б. жоғары температура процесстерін бақылау үшін қажет.

Кремний карбидінің ішкі электрөткізгіштігі  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$  температурадан басталып, диапазонның үлкен айырмашылығына байланысты байқалады. Кремний карбидіндегі заряд тасымалдаушылардың қозғалғыштығы төмен, ал электрондар үшін ол  $\mu_n = 0,1\text{ м}^2 / (\text{В}\cdot\text{с})$  аспайды; тесіктерге арналған  $\mu_p = 0.02\text{ м}^2 / (\text{В}\cdot\text{с})$ .

Атомдардың өте жоғары байланыстырушы энергиясы арқасында кремний карбиді өте жоғары беріктігі бар, қаттылық гауһардан біршама төмен.

Кремний карбиді жоғары химиялық қарсылыққа ие. бөлме температурасында ол балқытылған Лена ортофосфор қышқылы және азот және балқытқыш қышқылдар қоспасымен ғана жауап, және (тұз  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}_2$  балқымалар ретінде пайдаланылады )  $100^{\circ}\text{C}$  температурасында кремний карбиді хлормен әрекеттеседі.

Кремний карбидінің тотығуы тек  $800^{\circ}\text{C}$ -тан астам температурада болады.

Қоспалардың кремний карбидіне диффузиясы жабық бөлікте  $1800\text{...}2200\text{ }^{\circ}\text{C}$  температурасында жүзеге асырылады. Диффузия әдісімен әртүрлі акцепторлық қоспаларды енгізе отырып, ең көп сәулену көзге көрінетін спектральды аймақтың әр түрлі бөліктерінде орналасқан инжекторлық жарық шығаратын диодтар жасалады. Кремний карбидінің ең маңызды және кеңінен пайдаланылатын қасиеті оның спектрдің көрінетін бөлігіндегі люминесценция қабілеттілігі болып табылады.

Әртүрлі материалдарды өңдеу үшін қаттылыққа байланысты кремний карбиді қолданылады, жоғары температуралы жылытқыштар үшін пайдаланылатын алынған азот атмосфера silit, жылы күйдіру жолымен кремний карбиді ұнтақ бастауыш кремний және көміртегі қоспасынан. Кремний карбиді варисторларды (сызықты емес резисторлар), жарық бағыттаушыларын, түзеткішті және туннельдік диодтарды дәйекті өндіру үшін де қолданылады.

Кремний карбидінің негізінде әр түрлі материалдар алынды. Мысалы, силикон карбиді саз байланысы бар кезде, сызықты емес материал шығарылады және ол ультра-рафароф байланыстырғышпен жалындаған кезде, сызықты емес материал, летин алынады.

### 4.3.2 $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ үлгісіндегі күрделі жартылай өткізгіштер

$\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  үлгісіндегі күрделі жартылай өткізгіштер, Д. И. Менделеевдің элементтер периодтық жүйесіндегі III топтың металлдарының (бор, индий, галлий, алюминий) V тобындағы элементтердің (азот, фосфор, сурьма, күшән) химиялық қосылысын білдіреді.

Осы үлгідегі барлық жартылай өткізгіш қосылыстарының мырыштық алдамшасы немесе сфалерит үлгісіндегі құрылымы

бар<sup>1</sup>. Кремний мен германийдің кристалл торына ұқсас осындай құрылымы, ондағы әр атом ковалентті байланысы бар төрт басқа атомдармен байдланысты. Айырмашылығы, қоторой қаждый атом связан с четырьмя другими атомами ковалентными связями.  $A^{IV}V$  қосылыстарының кристалл торлары түйіндерінде, бейтарап атомдар емес, кезекпен орналасқан оң зарядталған  $V$  иондары мен теріс зарядталған  $A^{III}$  иондарының болуында болып отыр. Байланыстың осындай түрін донорлы-акцепторлы деп атайды.

$A^{III}V$  қосылысын балқыту температурасы, индий амонитін қоспағанда бастапқы элементтерді бақыту температурасынан жоғары.

Қосылыстарды қыздырғандағы бет алысына қарай оларды ыдырайтын және ыдырамайтын болып бөлінеді. Ыдырамайтын тобына антимонидтер<sup>2</sup> жатады.  $A^{III}V$  қалған қосылыстары, қыздыру кезінде  $V$  ұшатын компоненттерінің қарқынды булануымен ыдырайды. Сондықтан да форфорид пен арсенидтердің балқытпасының үстіндегі бу тек қана  $V$  компоненттерінен, осфор және күшәннен тұрады.

Тыйым салынған  $\Delta W$  салынған аймақтарының ені, антимонидтер үшін 0,18 эВ алюминий форфоры үшін 2,45 эВ дейінгі ауқымды шекте өлшенеді.

Электрондардың жоғары қозғалғыштығы,  $A^{III}V$  қосылыстары негізінде жоғары жиілікті жартылай өткізгіш құруға мүмкіндік береді.

Толқын ұзындығының ауқымды аралығында, оған қоса спектрдің көрінетін және инфрақызыл ортасын қосқанда, оптикалық қасиеттері бойынша анық көрінеді: электромагнитті сәуленің жұтылуы, фотоөткізгіштік, ерікті және мәжбүр сәуле шығару.

Маңызды қасиеті, негізінен қоспа түрі мен санына қарай анықталады. Бірақ қарапайым жарытлай өткізгіштерден бастап, жартылай өткізгіштік қосылыстар үшін, осы және басқа қоспаның рөлі қандай болатындығы жөнінде тәжірибешлі деректерге қарамастан, алдын ала болжау анағұрлым қиынырақ.

Жартылай өткізгіштер технологиясымен салыстығанда, күрдеоі жартылай өткізгіштік қосылыстарды алу үдерісіне, бастапқы элементтерден қосылыстарды тікелей және синтездің қосымша операциялары жатады.

Тікелей синтез кезінде, бастапқы заттарды қарапайым түрде қолданады. Тікелей синтез әдісімен ыдырайтын қосылыстар-антимонидтер алынады.

---

<sup>1</sup> Сфалерит (*sp.sphaleros* — алдамшы дегенді білдіреді) — минерал, күкіртті мырыш, әдетте темір, кадмий қоспасымен, сирегірек-индий және галлий қосыпасымен; ашық, түссіз, сарғыш түстен (клеюфан) до қоңыр-қара (марматит) түске дейін; күшті, алмазды жалқыл; мырышты алуға арналған кен, сонымен бірге кадмий, индий, галлийді шығарып алуға арналған.

<sup>2</sup> Антимониды (*лат.antimonium* — сүрме) — сүрменің басқа элементтермен қосылысы; жартылай өткізгіш ретінде қолданылады.



Жанама синтезде, бастапқы элементтердің ең болмағанда біреуін химиялық қосылыс ретінде қолданады.

Жартылай өткізгіш өндірісінде  $A^{III}B^V$  қосылыстарының эпитаксильді қабаттарын кеңінен қолданады. Эпитаксильді әдістің артықшылығы, көпқабатты құрылымдар алу және эпиталсильді қабаттардың өсуін басқарудағы қарапайым болып табылады.

Галлий арсениді ( $GaAs$ ),  $A^{III}B^V$  үлгісіндегі қосылыстар арасында ерекше орынға ие. Ол келесі қасиеттерге ие: сфалерит құрылымында кристаллданады; молекулалық массасы  $m = 164,63$ ; тығыздығы  $D = 5,4 \text{ г/см}^3$ ; сұйық күйіндегі тығыздығы  $D = 5,9 \text{ г/см}^3$ ; тыйым салынған аймақтың үлкен ені ( $\Delta W = 1,4 \text{ эВ}$ ); электрондардың жоғары қозғалғыштығы (температурасы  $300$  болғанда,  $K \mu_n = 0,85 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ ); стехиометриялық құрамның балку температурасы  $T_{бал} \approx 1237 \text{ }^\circ\text{C}$ , күшән буының қысымы кезінде  $760$ -қа жуық мм сн. қс.; сыну көрсеткіші —  $3,2$ ; диэлектрлік өтімділік  $\epsilon = 11,1$ ; Галлий арсенид негізінде жасалған р-түйіндердің жұмыс температурасы  $T_{гар} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ -ге дейін жетеді. Бөлме температурасында галлий арсениді сумен әрекеттеспейді;  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  дейінгі температурада қыздыру кезінде, ауа оттегісімен тотықпайды; бөлме температурасында, күшті уытты заттар-арсиндер ( $AsH_3$ ) бөліп, қышқылдармен әрекеттеседі.

Галлий арсенидінің ерігіштігі, қышқыл қоспасында ұлғаяды. Бөлме температурасында галлий арсениді, тұзды қышқыл ерітіндісінде кең ауқымды концентрацияда  $2 \cdot 10^{-5} \text{ мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  құрайды. Азотты және балқыған қышқыл қоспасындағы ерігіштік  $1200 \text{ мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$  құрайды.

Галлий арсенидінің электрлі қасиеттеріне кремний мен мыс көбірек әсер етеді. Кремний, галлиймен кварцтің термикалық температурада әрекеттесуі нәтижесінде, галлий атомдарын галлий арсениді торында араластырады.

Жоғары концентрацияда (от  $2 \cdot 10^{18}$  до  $1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ) галлий арсенидіндені кремний электрлі бейтарап қоспа болып саналады. Мыс галлий арсенидінде, монокристаллдар алу кезінде қолданылатын, тигель, қайықша, түтіктерден өтеді, және электрондардың қозғалғыштығын бірден төмендетеді.

Қоспасыз галлий арсенидінің қуат тасушы концентрациясымен электронды өткізгіштік түріне ие,  $n = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  және электрондардың қозғалғыштығы мынаған тең,  $\mu_n = 8000 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ . мырышпен қоспалау кезінде, қуат тасушы концентрациясы  $10^{17} \dots 10^{20} \text{ см}^{-3}$ , кемтіктікті өткізгіш түрін түзеді және кемтік қозғалғыштығы  $\mu_p = 200 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$  тең болады.

Жоғары меншікті электрлі кедергісі бар галлий арсенидін алу үшін,  $\rho$  ( $10^4$ - $10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  дейін) балқытпаны қуат тасу концентрациясына дейін темір немесе хроммен қоспалайды,  $n = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ .

Жапы қолданыстағы галлий арсенидін диаметрі  $12 \text{ мм}$

монокристаллды құйма түріде шығарылады, ол Чохральский әдісімен алынады. Бұл құймаларды жартылай өткізгіш құрылғыларды әзірлеу үшін қолданады. Монокристалл галий арсенийдін Чохральский әдісімен алады және эпитаксальді құрылымды өсіру үшін қолданады.

Галлий арсенийді, сәулелену толқынының ұзындығы 0,83...0,92 мкм жартылай өткізгіш лазерлерін өндіру үшін негізгі материал болып саналады. Оны тунельді диодтар, 100 ГГц дейінгі генерациялау жиілігі бар АЖЖ тербелісінің генераторларын дайындау, сонымен бірге интегралды шағын сызба түрлерін дайындау үшін кеңінен қолданады.

Галлий антимониді (GaSb) қосылыстардың стехиометрикалық емес қасиет белгілері бар материалдарына жатады, себебі технологиялық тәсілдермен қосылыс  $1,5 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$  қарағанда кем акцепторлы қоспа концентрациясын төмендете алмайды. Галлий антимониді текшелі шектіорталықтандырылған торда кристаллданады; молекулалық массасы  $m = 191,48$ ; тұрақты торы  $a = 0,6 \text{ Нм}$ ; тығыздығы  $D = 5,61 \text{ г/см}^3$ ; балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 712 \text{ }^\circ\text{C}$ ; диэлектрлі өткізгіштігі  $\epsilon = 14,8$ ; сыну көрсеткіші — 3,9; 300 температурадағы тыйым салынған аймақтың ені,  $K \Delta W = 0,67 \dots 0,72 \text{ эВ}$ ;  $300^\circ$  температурадағы электрондардың өткізгіштігі  $S \mu_n = 0,4 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ .

Галлий антимониді механикалық кернеулерге аса сезімтал. Қысымының әсер етуі кезінде,  $4 \cdot 10^8 \text{ Па}$  «газа» галий антимонидтің меншікті электрлі кедергісі кекі есеге өседі. Галий арсенийді мен индий форфидіне салынған осындай қысым кезінде, олардың меншікті электрлі кедергісі 3 % ғана кемиді.

Галлий антимонидінің монокристаллды құймасын стехиометриялық құрамы бар монокристаллды материалдардан олардың балқытпасын өсіру арқылы қолданады.

Галлий антимонид деформациясына қатысты жоғары сезімталдықтың арқасында, тензометрлердә әзірлеу үшін қолданады. Бұдан басқа, туннельді диодтар мен шағын толқынды детекторлар өндіру кезінде қолданады.

Галлий фосфиді (GaP) тік емес өткелі бар жартылай өткізгіштерге жатқызылады. Оның электромагнитті сәулеленуінің толқын ұзындығы, сәулеленетін қайта әрекет ететін энергетикалық орталық деңгейлеріне тәуелді. Қызыл сәуле тарататын галиф форфидінің жарық диодтары үшін, осындай деңгейлер мырыш пен қышқылды немесе кадмий және оттегімен қоспалайды. Жасыл ортадағы сәуле тарату галий фосфидін азотпен қоспалау кезінде алады, оны бос қуат тасушылар концентрациясының өзгеруінсіз үлкен көлемде галий фосфидінде енгізуге болады.

Галлий фосфиді сфалерит құрылымында кристаллданады; тұрақты торы  $a = 0,54 \text{ Нм}$ ; молекулалық массасы  $m = 100,7$ ; қатты күйдегі тығыздығы  $D = 4,1 \text{ г/см}^3$ ; сұйық күйдегі тығыздығы  $D =$

4,6 г/см<sup>3</sup>; фосфор буының қысымындағы стехеиометриялық құрамның балку температурасы  $P \approx 2,8 \cdot 10^6$  Па; балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 1500$  °С; жұмыс температурасы р-п - өту  $T_{\text{жұм}} = 500$  °С; тыйым салынған аймақтың үлкен ені ( $\Delta W = 2,24$  эВ).

Қоспаланбаған кристаллдар кемітпелі электр өткізгіштігіне ие; негізгі акцептор ретінде мырыш, донорлы қоспа ретінде-теллур мен күкір қолданылады.

Тыйым салынған аймақтың үлкен еніне байланысты, галий фосфиді жоғары беріктілігімен ерекшеленеді; стоек на воздухе при нагреве до температуры 700...800 °С дейінгі температурада қыздыру кезінде ауадағы тіреу; оттегі және су буымен дағдылы жағдайларда әрекеттеспейді; көптеген ерітінділерге тұрақты.

Бөлме температурасында концентрацияланған азот қышқылындағы ерітінді жылдамдығы — 0,16 мг/(см<sup>2</sup>·с), тұз қышқылында — 0,01 мг/(см<sup>2</sup>·с), 1:3 ара қатынасынан алынған, азот және тұз қышқылының қоспасында, — 7,8 мг/(см<sup>2</sup>·сч). Ең жоғары еру жылдамдығы балқығыш қышқылда және қышқыл қоспасында, оның қатысуымен, сонымен бірге азот қышқылы мен тұз қышқылының қоспасында байқалады. Қышқылмен әрекеттескенде, өте уытты зат — фосфин (PH<sub>3</sub>) бөлінеді. Галий фосфиді сілті ерітіндісіне берік.

Галлийдің жартылай фосфидін полу 1500 °С температурада, екі аймақты пештегі бастапқы заттардың синтезі нәтижесінде алады. Алынған зат, қалыңдығы 20 мм жарық сәуленің ұсақ дәнді сұр түсті кристаллдардың білдіреді. Галлийді жартылай фосфиді ұзындығы 50 мм құйма және диаметрі 38 мм, қалыңдығы 0,5-ден 50 мм дейінгі шайба және түрінде шығарылады. Жартылай кристаллды құймалардың электронды электр өткізгіштік түрі, қуат тасымалдушылар концентрациясына  $5 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> және 60 м<sup>2</sup>/(В·с) дейінгі қозғалғыштығына ие.

Галлийдің жартылай кристаллды фосфиді монокристаллды материал алу үшін бастапқы материал болады.

Галлийдің жартылай кристаллды фосфидін қосынды қабатынан Чохральский әдісімен алады. Алынған заттар электронды және кемтікті өткізгіштік түрлерінің  $5 \times 5 \times 1,5$  мм өлшемді дендритті<sup>1</sup> тілімшелерін білдіреді.

Тыйым салынған аймақтың үлкен ені нәтижесінде, галлий фосфидіндегі сәулелену өткелдері спектрдің көрінетін бөлімінде болып келеді, бұл оларды қолдану саласын-жарық диодтарын өндіруді анықтайды.

<sup>1</sup>Дендритті *gr.dendron* — ағаш — дамуы аяқталмаған, кристаллдар немесе қандай да бір материалдың, әдетте жайпақ бұтақ, қырыққұлақ жапырағының күрделі тармақталған пішініне ие қосыла өскен агрегаттар және т.б.; өсуі үшін қысылған кристаллдар жағдайында жылдам кристаллдану кезінде түзіледі, мысалы, жұқа жарықшақтарда, тұтқыр ортада және т.б.

Үлкен термо және радиациялық беріктілігінің арқасында, галлий фосфидін күн сәулелі батареяларды дайындау үшін қолданады. Галлий фосфидінің жартылай окшауланған төсемін гетероэпитаксальді (әртүрлі бағдарлы) қабаттар алу үшін қолданады.

Индий арсенийді (InAs) қасиетіне қарай индий антимионидіне ұқсайды.

Ол текшелі шеттері орталықтандырылған торда кристаллданады; молекулалық массасы  $m = 189,67$ ; тұрақты торы  $\alpha = 0,6$  Нм; тығыздығы  $D = 5,56$  г/см<sup>3</sup>; балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 943$  °С; сыну көрсеткіші — 3,9; микроқаттылығы —  $4 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>; диэлектрлі өткізгіштік  $\epsilon = 14$ ; тыйым салынған аймақтың ең кіші ені (300 температурада  $K \Delta W = 0,36$  эВ); электрондардың үлкен қозғалғыштығы  $\mu_n = 3,3$  м<sup>2</sup>/(В·с); кемтіктердің қозғалғыштығы  $\mu_p = 0,046$  м<sup>2</sup>/(В·с). индийдің анағұрлым таза арсенийді,  $n_i = 2 \cdot 10^{21}$  м<sup>-3</sup>. Балку нүктесіндегі индий арсенид буының қысымы  $P = 0,3 \cdot 10^5$  Па, бұл технологиялық қиындықтар тудырмайды.

Индий арсенийдінің монокристаллды құймасын Чохральский әдісімен немесе көлденең бағытталған кристаллдау арқылы алады.

Индий арсенийдін Холл қадағаларын, фотодиодтар, лазерлер, сонымен бірге гальваномагниттік эффекті бар құрылғыларды қолданады.

Индий антимиониді (InSb) А типті барлық қосылыстардың ең көп зерттелетін түрі:  $A^{II}B^V$ , ол оны дайындаудың қарапайымдылығымен түсіндіріледі. Ол кристаллды бетке арналған торлы торға кристаллдайды; тордың тұрақты мәні = 0.64 Нм; молекулалық салмағы  $m = 263.58$ ; тығыздығы  $D = 5.77$  г / см<sup>3</sup>; балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 525$  ° С; сыну көрсеткіші - 3,75; микроағзалықты - 2,5 - 109 Н / м<sup>2</sup>.Тыйым салынған аймақ енінің кішкентай болуынан ( $\Delta W = 0,18$  эВ) индий антимиониді бөлме температурасынан төмен болғанда өзгешеленген жартылай өйткізгіш болады. Осы себепке байланысты, индий антимионидтің электр өткізгіштігі қоспалы емес, жеке болады.

Тыйым салынған аймақ енінің кішкентай болуынан ( $\Delta W = 0,18$  эВ) индий антимиониді бөлме температурасынан төмен болғанда өзгешеленген жартылай өйткізгіш болады. Осы себепке байланысты, индий антимионидтің электр өткізгіштігі қоспалы емес, жеке болады.

Индий антимиониді, төмен температурадан аспайтын электрондардың рекордты қозғалғыштығына ие  $10$  м<sup>2</sup>/(В·с). Фото-өткізгіштік, 6,7 мкм толқын ұзындығына сәйкес келетін, жоғарғы фотоөткізгіштігі бар спектрдің инфрақызыл бөлігінде жатыр.

Индий антимионидін, атмосферадағы сутегін стехиометриялық қатынаста жоғары таза индий мен сүрмені бақыту арқылы алады.

Содан кейін, монокристаллды құйманы Чохральский әдісімен, аймақты құйма әдісімен тазартып өсіреді.

Өнеркәсіп индийдің монокристаллды антимонидін құйма түрінде және қуат тасымалдаушы  $10^{20} \dots 10^{24} \text{ м}^{-3}$  концентрациясы бар электронды және кемтіктік өткізгіштігі бар тілімшені шығарады. Қоспалау үшін теллурді, мырышты, германийді қолданады.

Индий антимонидін Холл қадағасын, оптикалық сүзгілер мен термоэлектрлі генераторлар мен тоназытқыштарды әзірлеу үшін қолданады. Индий антимонидінің өте жоғары фотосезімталдығы ұзын толқынды инфрақызыл сәулелену ( $1,5 \text{ К}$  дейін салқынндаған кезде) детекторларды, сонымен бірге фоторезисторлар әзірлеу үшін қолданадылуция (при охлаждении до  $1,5 \text{ К}$ ).

Индий фосфиді ( $\text{InP}$ )  $\text{A}^{\text{IV}}\text{V}$  үлгісіндегі жартылай өткізгіш құрылымына жатады, оны алу технологиялық қиындықтарға байланысты болады. Ол балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 1062 \text{ }^\circ\text{C}$  тең; анағұрлым таза индий фосфидіндегі электрондар концентрациясы  $n = 10^{21} \text{ м}^{-3}$ ; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 1,29 \text{ эВ}$ ; диэлектрлі өткізгіштік  $\epsilon = 14$ .

Индийдің монокристаллды фосфидін өсірудің технологиялық қиындықтары, балку нүктесіндегі будың жоғары қысымымен байланысты ( $P = 21 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ). Индий фосфидін лазер дайындау үшін қолданады.

### 4.3.3 $\text{A}^{\text{IV}}\text{VI}$ үлгісіндегі күрделі жартылай өткізгіштер

$\text{A}^{\text{IV}}\text{VI}$  тәрізді жартылай өткізгіш материалдардың тобы Д.И. Менделеевтің элементтерінің периодты жүйесіндегі II топтағы металдардан тұратын қос тотықтырулардан тұрады: мырыш, кадмий, сынап. Халькогендер құрамында күкірт (S), селен (Se) және теллур (Te) және осы элементтермен қосылатын қосылыстар (сульфидтер, селендер, теллуридтер) *халькогенидтер* деп аталады.

$\text{A}^{\text{IV}}\text{VI}$  күлгісіндегі халькогенидтер екі екі түрдің құрылымда кристаллданады: төмен температурада түзілетін текше үлгісіндегі сфалерита және гексагональді. Бұл тордағы эро атом төрт көршілеспен байланысты, олардың екеуі коавалентті сипатта, ал екі өзгесі-ионды сипатта. Кристаллды ордағы атомдар байланысының беріктігі әр топтың ішінде (сульфидтер, селенидтер, теллуридтер) жиынтық атом нөмірі ұлғайған кезде кемиді.

Халькогенидтер өзара тыйым салынған аймақтың енімен ажыратылады  $\Delta W$ ,  $\text{ZnS}$  үшін  $3,7 \text{ эВ}$ ,  $\text{HgTe}$  үшін  $0,02 \text{ эВ}$  құрайды. Балку температурасы  $T_{\text{пл}}$   $1830$ -ден  $670 \text{ }^\circ\text{C}$  дейін құрайды.

Барлық халькогенидтер инфрақызылдан рентген спектріне дейін сәулеленуге, фоторезестті және люминисцентті қасиеттерін анық көрсете отырып, жоғары сезімталдыққа ие.

Халькогенидтер компоненттерінің ара қатынасына байланысты электронды, сондай-ақ кемтікті өткізгіштікке ие:  $\text{A}^{\text{II}}$  металлының

артылуы электронды электрлі өткізгіштіктің, ал  $B^{VI}$  халькогеннің артылуы — кемтікті электрлі өткізгіштіктің байқалуына әкеліп соқтырады.

Электрлі өткізгіштік кадмий сульфидінің оқшауланған материалынан металлға жақын қорғасын теллуридінің жоғары мәніне дейін өзгереді.

Хальгенидтер суда аз ериді; химиялық түрде берік; сұйытылған тұз және күкірт қышқылдарында нашар ериді; сутек тотығы, азот қышқылы және басқа да тотықтырғыштар оларды сәйкес күкір, селен және теллур қышқылы тұзына ауыстырады.

$A^{II}B^{VI}$  үлгісіндегі қосылыстарды жартылай кристаллдар (қабаяқшалар мен нығыздалған таблеткалар) және монокристаллдар түрінде қолданады.

$A^{II}B^{VI}$  дүлгісіндегі қосылыстарды алу технологиясы біршама қарапайым.

*Жартылай кристаллды сульфидтер және теллуридтерді*, көбінесе  $H_2S$  күкірт қышқылымен су ерітіндісінен тұздарды тұндыру арқылы алады. Кадмий теллуриті мен селенидтерді лу үшін бастапқы компоненттердің тікелей қорыту арқылы қолданады.

*Жартылай кристаллды қабықшаларды*, көбінесе вакуумда катодты әдіспен кезекті босандатып қайта кристаллдау арқылы алады. Осындай қабықшалар жоғары пеезоүлгіге ие және ВЧ және СВЧ ауқымында акумстикалық электромагнитті тербелістерді түрлендіргіштер ретінде пьезоэлектртермен қатар қолданылады.

*Монокристаллдарды* пбалқытпадан өсіру және бағытталған кристаллдаумен алады.

*Эпитаксиальді қабықшаларды*, бағдарлы төсемдегі бу күйінен салқындаты арқылы алады.

Халькогенидтер сонымен қатар люминесценцияның барлық түрлеріне және фототілшілерге арналған материалдарға арналған люминофорлар<sup>1</sup> ретінде қолданылады. Фосфордың активаторлары ретінде Д.И. Менделеевтің (мыс, күміс) элементтерінің периодты жүйесіндегі I топтағы металдар, сондай-ақ сирек жер элементтері қолданылады. Мырыш халькогенидтері. Оларға сульфид, селенид және мырыш теллуридi жатады.

Мырыш сульфиді ( $ZnS$ ) келесі қасиеттерге ие: тығыздығы  $D = 4,08 \text{ г/м}^3$ ; балқу температурасы  $T_{бал} = 1830 \text{ }^\circ\text{C}$ ; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 3,7 \text{ эВ}$ ; электрондардың қозғалғыштығы  $\mu_n = 140 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ ; кемтік қозғалғыштығы  $\mu_p = 5 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ ; меншікті электр кедергісі  $\rho = 10^6 \dots 10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}$  (электр өткізгіштік және диэлектрикке жуық тыйым салынған аймақ ені бойынша); қоспаланған кристаллдарда-электронды өткізгіштік кемтікті электр өткізгіштікті алу үшін Д. И. Менделеев элементтерінің Перидтық жүйесіндегі I топтағы элементтерімен қоспалау арқылы қолданады.

---

<sup>1</sup> Люминофорлар (*лат.lumen (luminis)* — жарық + *phoros* — салмақ түсіретін —

олармен жұтылған қуатты жарық сәулесіне түрленетін зат.

Кристалл ұнтақ түрінде (қабықша түрінде сирек) мырыш сульфидін әртүрлі құралдардың люминофорлары: осциллографиялық және теледидар электронды-сәуле түтікшелері, люминесцитті жарық беретін және сандық шамдарында қолданылады. Белсендіргіштер ретінде күміс, мыс, марганец 0,001...3% көлемінде қолданылады. Артылған мырышты енгізу өте аз қалдық жарықтанудың өте аз уақытын алуға мүмкіндік береді. Мырыштың монокристаллды сульфидін спектрдің инфрақызыл ортасында, толқын ұзындығы  $\lambda = 0,32$  мкм лазерледі құру үшін, сонымен бірге акустикалық тербелістердің пьезокүйеткіштері үшін ашық оптикалық материал қолданады.

Мырыш селениді ( $ZnSe$ ) тығыздығы бар  $D = 5,26$  г/м<sup>3</sup>; балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 1515$  °C; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 2,7$  эВ; электрондардың қозғалғыштығы  $\mu_n = 700$  см<sup>2</sup>/(В·с); кемтіктердің қозғалғыштығы  $\mu_p = 28$  см<sup>2</sup>/(В·с).

Мырыш селениді, көбінесе мырыш сульфидіне ұқсас, оның қасиетін өзгерту жеңіл. Мырыш селенидін люминофор мен фоторезист ретінде қолданылады.

Мырыш теллуридіннің ( $ZnTe$ )  $D = 5,7$  г/м<sup>3</sup> тығыздығына ие, балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 1295$  °C; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 2,2$  эВ; электрондар қозғалғыштығы  $\mu_n = 1540$  см<sup>2</sup>/(В·с); кемтік қозғалғыштығы  $\mu_p = 300$  см<sup>2</sup>/(В·с); теллур атомының артығынан электронды электр өткізгіштігі; меншікті электр кедергісі  $\rho = 10^2 \dots 10^4$  Ом·м-ге тең.

Мырыш теллуридін электр люминофоры мен фоторезист ретінде қолданады.

Кадмий халькогенидтері. Материалдардың бұл тобына сульфид, селенид және кадмий теллуридін жатады.

Кадмий сульфидін ( $CdS$ ) тығыздығы  $D = 7,6$  г/м<sup>3</sup>-ге тең. Балку температурасы  $T_{\text{бал}} = 1114$  °C; жылу өткізгіштігі  $A = 0,03$  Вт/(см·°C); сыну көрсеткіші — 4,19; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 0,4$  эВ; электрондардың қозғалғыштығы  $\mu_n = 600$  см<sup>2</sup>/(В·с); кемтік қозғалғыштығы  $\mu_p = 400$  см<sup>2</sup>/(В·с). Күкірттің жетіспеушілігінен, стехиометриялық құрамына қатысты, кадмий сульфидін үнемі электронды өткізгіштікке ие. Меншікті электрлі кедергісі,  $\rho$  қоспаның, температура мен сәулелену әсерінен, 0,1-ден  $10^7$  Ом·м-ға дейін өзгереді. Ол спектрдің көрінетін бөлігінде ең сезімтал фоторезисторы болып саналады.

Кадмий сульфидін люминофор ретінде, ультракүлгін мөлшерөлшегіштерді және рентген және  $\gamma$ -сәулелерді, бөлшектерді есептегіштерді және т.б. әзірлеу үшін қолданылады.

Кадмий селениді мен теллуридін кадмий сульфид әдістерімен алады.

### 4.3.4 $A^{IV}B^{VI}$ үлгісіндегі күрделі жарытлай ткізгіштер (қорғасын халькогенидтері)

$A^{IV}B^{VI}$  үлгісіндегі жартылай өткізгіш тобына қорғасын сульфиді ( $PbS$ ), қорғасын селениді ( $PbSe$ ) және қорғасын теллуридін жатады ( $PbTe$ ).

Қорғасын халькогенидтер текшелі торда кристаллданады. Атомның химиялық байланыс сипаты коваленттіге жуық. Олар стехиометриялық құрамның бұзылуына сезімтал, өйткені қорғанның 0,003 % артылуы электронды өткізгіштікке әкеліп соқтырады; осындай халькогеннің артылуы кемтікті электр өткізгіштігіне әкеледі. Акцепторлы қоспалар, қорғасын атомын алмастыратын, Д.И. Менделеев элементтерінің (күміс, мыс, калий, натрий), Перидтық жүйесінің I тобындағы металлдар болып табылады.

Донорлы қоспалар II топтағы элементтер, қорғасын атомын алмастырушылар және VI топтың галогендері, халькоген атомын алмастырушылар болып табылады. Қоспалы энергетикалық деңгейлер тіпті төменгі температураларда да дискретті болып табылады.

Қорғасын халькогенидтері суда ерімейді, ауада баяу тотығады. Улау үшін қыздырылған тұз және азот қышқылын, сонымен бірге жанғыш сілті ерітінділерін қолданады. Төменгі температурада қуат тасымалдаушылардың сәулелелену рекомбинациясы байқалады, бұл қорғасын халькогенидтерін инфрақызыл ауқымды лазерлер құру үшін қолдануға мүмкіндік береді. Қорғасын халькогенидтері сонымен бірге фоторезистивті қасиетке ие.

*Қорғасын халькогенидтерінің жартылай кристаллдарын* вакуумда кварцтелгенампулада компоненттерді балқыту немесе ерітіндіде тұндыру арқылы алады. Халькогендердің жоғары ұшпалылығынан, балқытпадан кристаллдандыру кезінде сұйық күйдегі бу қысымын бақылау қажет.

*Монокристаллдарды* пбағытталған кристаллдану және қосынды қабатынан Чохральский әдісімен балқытпаны тарту арқылы алады.

*Жұқа қаюықшаларды, вакуумдағы бу күйінен тұндыру әдісімен, химиялық тұндыру әдісімен және эпитаксильді өсіру арқылы алады.*

Қорғасын сульфиді ( $PbS$ ) шынайы күйінде галенит минералы түрінде кездеседі, қорғасынның кең таралған кендерінің бірі болып саналады. Жартылау өткізгіштік қасиеті бойынша, зертаханалық жағдайларда алынған, ең үздік материалдардан кем қалмайтын көп монокристаллдар кездеседі.

Қорғасын сульфидінің молекулалы массасы  $m = 120$ ; тұрақты торы  $a = 0,594$  Нм; тығыздығы  $D = 7,6$  г/см<sup>3</sup>; балку температурасы  $T_{бал} = 1114$  °С; жылу өткізгіштігі  $A = 0,03$  Вт/(см·°С); сыну көрсеткіші— 4,19; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 0,4$  эВ; электрондар қозғалғыштығы  $\mu_n = 600$  см<sup>2</sup>/(В·с); кемтік қозғалғыштығы  $\mu_p = 400$  см<sup>2</sup>/(В·с).



Қорғасын селениді (PbSe), табиғатта сирек кездесетін клаусталит минерал түрінде бар.

Қорғасын селенидінің т молекулалы массасы  $m = 143$ ; тұрақты торы  $\alpha = 0,612$  Нм; тығыздығы  $D = 8,15$  г/м<sup>3</sup>; балку температурасы  $T_{бал} = 1065$  °С; жылу өткізгіштігі  $A = 0,017$  Вт / (см·°С); сыну көрсеткіші 4,54; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 0,3$  эВ; электрондардың қозғалғыштығы  $\mu_n = 900$  см<sup>2</sup>/(В·с); кемтік қозғалғыштығы  $\mu_p = 500$  см<sup>2</sup>/(В·с).

Қорғасын теллуриді (PbTe), сирек кездесетін табиғи алтаит минералының құрамында болады. Қорғасын теллуридінің молекулалы массасы  $m = 168$ ; тұрақты торы  $\alpha = 0,65$  Нм; тығыздығы  $D = 8,16$  г/м<sup>3</sup>; балку температурасы  $T_{бал} = 910$  °С; жылу өткізгіштігі  $A = 0,017$  Вт/(см·°С); сыну көрсеткіші 5,48; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 0,3$  эВ; электрондардың қозғалғыштығы  $\mu_n = 300$  см<sup>2</sup>/(В·с); кемтік қозғалғыштығы  $\mu_p = 200$  см<sup>2</sup>/(В·с).

Қорғасын теллуридінің жоғары термо ЭДС коэффициенті және ең аз жылу өткізгіштігіне ие, сондықтан да 300... 700 °С температурасында жұмыс істейтін жартылай өткізгіш термоэлементтерін құру үшін тиімді материал болып саналады.

#### 4.3.5. $A_2V B_3IV$ үлгісіндегі күрделі жартылай өткізгіштер

Осы жартылай өткізгішті материалдар тобы сүрме сульфиді ( $Sb_2S_3$ ), висмут селениді ( $Bi_2Se_3$ ) және висмут теллуриді ( $Bi_2Te_3$ ) түрінде беріледі. Бұл материалдар төмен симметрияға ие, ромб және ромбэдриалық құрылымда кристаллданады.

Олар, тіпті қабықша түрінде де күшті анизотропиялық қасиеттерге ие, сонымен бірге стехиометриялық құрамнан болатын ауытқуларға өте сезімтал.

$A_2V B_3IV$  үлгісіндені халькогенид қосылыстары, дәнекерленген кварцті ампулаларда төмен қысым кезінде бастапқы компоненттерін балқытуымен синтезделеді.

Монокристаллдар бағытталған кристаллдану әдісімен алынады.

Сүрме сульфидінің жоғары фотосезімталдығының арқасында, теледидар түтікшелерін тарататын фото өткізетін қабықшаны әзірлеу үшін қолданылады.

#### 4.3.6. Оксидті жартылай өткізгіштер

*Оксидті жартылай өткізгіштерді*, металл және металлды емес (металлоидті<sup>1</sup>) компоненттерді анық ажырататын және ионды қосылыстар түрінде қарастырылатын полярлі үлгідегі бинарлы қосылыстарды атайды.

---

<sup>1</sup> Металлоид (металл...+ *gros* — түр) — металлды емес элементтердің (күкірт, азот және т.б.) ескірген атауы, қазіргі уақытта «металлдар емес» деген атпен ауыстырылған.

Жартылай өткізгіштер қасиеттеріне, металл ионы Д. И. Менделеев элементтерінің (Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti), Периодтық жүйесінің өтпелі қатарындағы элементтерге жатқызытын, кейбір металл оксидтері ие.

Өтпелі металдардың стехиометриялық оксидтерінің электрөткізгіштігі қарапайым жартылай өткізгіштердің (кремний және германий) электр өткізгіштігі жоғары. Осылайша,  $ZnFeO_4$ ,  $MnCr_2O_4$  құрамындағы  $Cr_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $Mn_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $NiO$ ,  $CoO$ ,  $Cu_2O$  және одан да күрделі оксидтердің электр өткізгіштігі  $10^7$ -ден  $10^{11}$  Ом·см-ге дейін өзгереді. Оксид жартылай өткізгіш материалдардың электрлік қасиеттері қоспалардың.

Мыс шала тотығы ( $Cu_2O$ ), мырыш ( $ZnO$ ), титан диоксиді ( $TiO_2$ ), темір оксиді ( $Fe_2O_3$ ), никель оксиді ( $NiO_2$ ) тәжірибеде кен қолданысқа ие болды.

Мыс шала тотығы ( $Cu_2O$ ), сары және қызыл түсті қалыпты күрделі кемтікті жатытлац өткізгіш материалды білдіреді, оның молекулалы массасы  $m = 143$ ; тыйым салынған аймақ ені  $\Delta W = 1,9$  эВ; балқу температурасы  $T_{бал} = 1230$  °С (ыдырамай қалқиды); кемтіктік өткізгіштігі (стехиометриялық құрамға қатысты артылған оттегі есебінен); кемтік қозғалғыштығы  $\mu_p = 8 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/(В·с). Меншікті электр кедергісі  $\rho$ , магнит оксидіндегі кемел изолятордың меншікті электр кедергісінен бірнеше қатарға кем.

Мыстың шала тотығы суда мүлде ерімейді, бірақ қышқылда жеңіл ериді; ыдырау 1800 °С температурада болады. Электронды өткізгіштігі бар мыс оксидін алу үшін, мыс диффузиясын қолданады. Мыстың шала тотығын купроксті түзеткіште қолданады.

Мырыш оксидінің ( $ZnO$ ) молекулалы массасы  $m = 41$ ; балқу температурасы  $T_{бал} = 1975$  °С; тыйым салынған аймақтың ең үлкен ені ( $\Delta W = 3,2$  эВ); электрондардың қозғалғыштығы  $\mu_n = 1000$  м<sup>2</sup>/(В·с). Оксидте үнемі болатын артылған мырыштың арқасында, ол электронды өткізгіштікке ие.

Титан диоксидін ( $TiO_2$ ) тыйым салынған аймағының ені үлкен ( $\Delta W = 3,0$  эВ). Титан диоксиді тотықсыздану барысында титанды артылдыра отырып,  $\rho$  үлгілі меншікті электр кедергісінің төмендеуіне қол жеткізіп, олардан электр өткізгіштік алады.

Темір оксидінің ( $Fe_2O_3$ ) молекулалы массасы  $m = 160$ ; балқу температурасы  $T_{бал} = 1500$  °С; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 2,2$  эВ.

Никель оксидінің ( $NiO_2$ ) молекулалы массасы  $m = 75$ ; балқу температурасы  $T_{бал} = 1700$  °С; тыйым салынған аймақтың ені  $\Delta W = 1,2$  эВ.

Темір оксиді  $Fe_2O_3$  мен никель оксидінің  $NiO_2$  меншікті электрлік кедергісі  $\rho$ , стехиометриядан ауытқудан ғана емес, сонымен қатар металл иондарының ауыспалы валенттілігі есебінен

төмендейді.

Оксидті жартылай өткізгіштердің артықшылықтары, олардың дайындау технологиясы салыстырмалы түрде қарапайым екендігіне негізделген. Өндірісте жарытлай кристаллды оксидтерді, керамикалық технология әдістерімен жеңіл алынатын қақталған үлгілер ретінде қолданады

Оксид қоспаларын, ТКр электр кедергісінің теріс температуралы коэффициентімен, фоторезисторлар, варисторлар және салынған кернеуге күшті тәуелді кедергілер терморезисторлар (термистор) әзірлеу үшін қолданады.

### 4.3.7. Шыны тәрізді жартылай өткізгіштер

Жартылай өткізгіштердің қасиеті кристаллды ғана емес, сонымен қатар аморфты қосылыстарда да байқалады. Осындай қосылыстарға органикалық емес шыныны жатқызады.

*Шыны тәрізділік* — бұл ерекше аморфты түр, ол қатты кристалл заттардың механикалық қасиеттеріне ұқсас механикалық қасиеттерге ие. Кристаллдыдан айырмашылығы, шыны тәрізді жартылай өткізгіш материалдарда қоспа электр өткізгіштік мүлде жоқ, яғни. Оларда донорлы ды, акцепторлы да қоспалар болмайды. Алайда, қоспалар жартылай өткізгіш материалдардың стехиометриялық құрамының ауытқуына әсер ете алады, бұл оның электрофизикалық құрамының өзгеруіне алып келеді.

Шыны тәрізді жартылай өткізгіштер, -разиориен-титрленген құрылыммен және қанықпаған химиялық байланыстармен сипатталады. Кеңістіктік торда осындай материалдар, ковалентті байланыскн атомдардан басқа, иондардың полярлі топтастамасына ие және атомдар арасындағы байланыс Ван-дер-Ваальстің қысқа әрекет ететін ковалентті күштері есебінен жүзеге асырылады.

Жартылай өткізгіштік қасиеттерге құрамында оттегі бар шыныоар, сонымен бірге кристаллды емес халькогенді шынылар да ие.

*Оттекті шынылар*, металл оксидімен балқыту арқылы алады, мысалы, ванадий-фосфатты шыны үлгілері,  $V_2O_5—P_2O_5—ZnO$ .

*Оттексіз халькогенидті шыныны*, Д. И. Менделеев элементтер Перидтық жүйесінің II, IV және V тобындағы элементтермен балқыту арқылы алынады, мысалы  $As_2Se_3—ASJ_3$

Шыны тәрізді жартылай өткізгіш материалдар әлі аз зерттелген және өнеркәсіптік қолданыста кеңінен қолданлмайды.

### 4.3.8 Органикалық жартылай өткізгіштер

Органикалық қосылыстардың жартылай өткізгіштік қасиеті (ан-

трацена) 1906 жылы ашылды. Алашқыда бояғыштардың фотоөткізгіштігі анықталды. Содан кейін, органикалық өтекiзгiштердiң, органикалық емес жартылай өткізгіштер сияқты температурасынан болатын дәл осындай өткізгіштікке ие екендігі анықталды.

Алайда, органикалық жартылай өткізгіштер, кбінесе қарапайым жартылай өткізгіштерден (германий, кремний) ерекшеленеді. Олар құрылымында, түйіндескен байланысы бар қатты органикалық жартылай өткізгіш хош иісті шығыршықтарға ие. Қуат тасымалдаушылардың, германийге қарағанда, қозғалдығыштығының бірнеше ретке төмен. Көптеген қосылыстарда, төмен температурада айқын қоспалы өткізгіштік байқалмайды. Жартылай өткізгіштік қасиет, иілімділікпен, қабықшалар мен талшықтар түзілуімен үйлеседі. Органикалық жартылай өткізгіштер- жоғары берік материалдар.

Өткізгіштік үдеріс зат молкуласының ішіндегі қуат тасушылар қозғалысымен және олардың молекуладан молекулаға өтуімен анықталады. Бөлме температурасында төмен температуралы қосылыстар үшін, меншікті электр кедергісі  $\rho = 10^{10} \dots 10^{16} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ -ға, ал жоғары температура үшін —  $\rho = 10^5 \dots 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ .

Фотоөткізгіштік жарықтылық пен температураға байланысты өседі және белгілі спектрлі сипаттамаға ие.

Оттегіні өткізгішке енгізу кезінде өсуі де, сол секілді кемуі де мүмкін.

Барлық органикалық қатты жарытлай өткізгіш материлдар бес топқа бөлінеді: молекулалы кристаллдар; молекулалы кешендер; металлоорганикалық кешендер; полимерді жартылай өткізгіштер; пигменттер.

Молекулалы кристаллдар, жартыла йкезендік төмен молекулалы хош иісті қосылыс. Олар кристаллды құрамымен және қабаттасқан қос байланыс жүйесі бар хош иісті дөңгелектің болуымен ерекшеленеді.

Молкулалы кристаллдарға антрацен ( $C_{14}H_{10}$ ), нафталин ( $C_{10}H_8$ ), фенантрен, перилен, коронен, виолантрен, изо- виолантрен және фталоциандар жатады.

Олардың, шамамен 1.3 эВ жуық белсендіру қуаты; қуат тасымалдаушыларының төмен өткізгіштігі ( $\mu = 0,5 \cdot 1,0 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ ); 7-ден  $10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{см}$  дейінгі меншікті электр кедергісі ( $\rho$ ) бар.

Ос санаттағы материалдардың көпшілігі кемшікті өткізгіштікке ие.

Молекулалы кешендер, зат молекулалары арасындағы электронды өзара әрекеттескен жартылай төмен молекулалы қосылыстарды білдіреді.

Олар кемтікті-екцепторлы өткізгіштікке ие: бір молекула электронды беруге, ал екнішісі-қосуға қабілетті; қуат беру кезінде

молекулалар арасында ионды байланыс туындайды; электрөткізгіштік, молекулалы кристаллдарға қарағанда, электр өткізгіштік көбірек.

Құрылымына қарай молкулады кешендер  $n$ -үлгісіндегі ээне  $p$ -үлгісіндегі бір текті және қабатты болып келеді.

*Бір текті құрылым* игалогенді хош иісті ешендерді білдіреді. Қалыпты бір текті молкулалы кешендер, ви- олантрен-йод болып табылады, ондағы виолантрен донор қасиетіне, ал йод — акцептор қасиетіне ие. Йод концентрациясы ұлғайған кезде, тыйым салынған аймақтың ені 0,18-ден 0,45 эВ дейін өзгереді. Бұл материал кемтікті өткізгіштікке ие.

*Қабатты* молекулалы кешен калий – изовиолан-рені болып табылады.

Металлорганикалық кешендер дтөмен молекулалы заттарды білдіреді, молекула металл атомының ортасында болады. Осындай материалдардың 1 эВ артық қуат тасымалдаушыларды белсендіру энергиясы болады; қуат тасушылардың қатыстық жоғары қозғалғыштығы (шамамен  $10 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ ). Негізгі қуат тасымалдаушылар кемтіктер болып табылады.

Металлоорганикалық кешендер полимерлеуге бейім және үлкен меншікті электр кедергісіне ие  $\rho$  —  $10^9$ -нан  $10^{13}$  Ом·см-ға дейін.

Металлорганикалық кешендерге мыс фталечи- анині мысал бола алады.

П олимерлі жартылай өткізгіштер, қабаттасқан ұзын тізбектері және күрделі физикохимиялық құрылымы бар матоериалдарды білдіреді.

Пигменттер, жартылай өткізгіштік қасиеті бар, байланысатындармен (майда, лакта және т.б. ерімейтін бочлған минералды немесе органикалық заттарды білдіреді.

Химиялық құрамына қарай, минералды пигменттер металл оксидтерін білдіреді. Олар үшін тыйым салынған аймақтың жоғары энергия және төмен электр өткізгіштігі тән.

Полмерлі пигменттерге, индиго, эозин, пинациа- нол, радофлавин, радамин, трипафлавин және тағы басқалар жатқызылады. Табиғи пигменттерге хлорофилл, каротин және т.б. жатады.

Пигменттер,  $n$ -үлгісіндегі өткізгіштігі бар жне  $p$ -үлгісіндегі кемтікті-өткізгіштігі бар электронды жартылай өткізгіштер болады.

Бпастапқы материал ретінде, әртүрлі құрылғылар эзірлеу үшін монокристаллды, сондай-ақ жартылай кристаллды органикалық жартыла йөткізгіштер қолданылады.

Органикалық жартылай өткізгіштерді қолданудағы негізі өлшем олардың жиілігі болып табылады. Органикалық материалдарды

тазарту үшін ерітіндіден алынған кристаллдануды, айналдыруды, ерітіндіден алынған хроматографияны<sup>1</sup> немесе бу мен аймақтық тазартуды қолданады.

Органикалық жартылай өткізгіштерді, пьезоэлементтің, интергалды сұлбалардың резонансты контурының, радиациялық дозиметртер, инфрақызыл сәулелену детекторлары, фоторезисторлар, квантты генераторлар, жоғары сезімталды тензоқадағалардың жоғары температуралы тұрақтылығымен терморезисторлар әзірлеу үшін қолданады.

Органикалық жартылай өткізгіштер негізінде әзірленген құрылғылар, тропикалық климат жағдайында жоғары механикалық және климаттық тұрақтылығымен және шамадан тыс дірілді және соқпалы жүктемеде ерекшеленеді. Мысалы, радиациялық дозиметрлерді атом реакторларында, терморезисторларды- дірілді орнатуларды температуралық режимді бақылау үшін қолданады.

### Бақылау сұрақтары

1. Жеке өткізгіштік қоспалы өткізгіштіктен несімен ерекшеленеді?
2. Монокристаллды жартылай өткізгіштерді қандай тәсілдермен алады?
3. Күрделі жартылай өткізгішті қосылыстар дегеніміз не?
4. Жартылай өткізгішті қосылыстарды қайда қолданады (күрделі өткізгіштер)?

---

<sup>1</sup> Хроматография (*гр.* chro'ma (chromatos) — түс + ...графия) — қоспаларды бөлу тәсілі, компоненттердің қатты таымалдаушылар қоспасында сіңірілуінде және оларды кезекпен шаю (элюирлеу). Пигменттер қоспасын түссіз сорбент қабаты арқылы өткізу кезінде кеңінен қолданылады; пигменттер, жұтыла отырып, жеке баялған аймақ түрінде орналасады. Сорбенттер (*лат.* sorbens (sorbentis) — жұтылатын, жұтушылар) — қатты денелер немесе сұйықтықтар, мысалы, тазарту, иісті кетур мақсатында ерітіндіден қандпай да бір затты сіңіру үшін қолданылатын зат, мысалы, белсендірілген көмір.

**ДИЭЛЕКТРЛІ МАТЕРИАЛДАР**

Диэлектриканың қатты денелерінің аймақтық теориясына сәйкес — бұл зат, тыйым салынған аймақ енінің үлкен болғаны соншалық, қалыпты жағдайларда электр өткізгіштік онда болмайды. Диэлектриктің өзіне тән ерекшелігі, оның электр өрісінде полярлену қабілеті болып табылады. Сыртқы электр өрісін салу кезінде байланысқан электр қуаттары өрістің әрекетінен жылжиды.

Жылжыған зарядтар жеке ішкі электр өрістерін құрады, ол қарама-қарсы салынған сыртқы өріске бағытталады. Полярлеу өлшемі диэлектрлі өткізгіштік ( $\epsilon$ ) болып саналады.

Конденсаторларда қолданылатын диэлектриктерде, диэлектрлік өткізгіштік 1.2...1.5 – тен 100 000 дейінгі шекте өзгереді.

Қатты диэлектрикте бір мезгілде полярлеудің бірнеше түрлері байқалады және жиынтық түрінде диэлектрлі өткізгіштік ( $\epsilon$ ) мәнін анықтайды.

Қолданылуына қарай диэлектрлі материалдар электрлі оқшауланған материалдар мен белсенді диэлектрик болып бөлінеді.

Агрегатты күйіне қарай диэлектрлі материалдар қатты, сұйық және газ тәрізді болып бөлінеді.

Ерекше топты *қатты металлдар* құрады, бастапқы күйі сұйық болып табылады, оқшаулау барысында қатаяды және пайдалану кезінде қатты заттарды білдіреді, мысалы компаундтер, желімдер, лактар мен эмальдер.

Химиялық негізі бойынша диэлектрлі материалдар органикалық және органикалық емес болып бөлінеді.

**5.1. Диэлектриктердің қасиеті**

Диэлектриктердің пайдалану қасиеттерін және оларды қолданылу салаларын бағалау үшін, физикалық құбылысты, оларға электромагнитті өріс әсет еткен кезде материалдарда болатын физикалық құбылымтарды зерттеу және негізгі электрлі, жылу, ылғалды және физикалық-химиялық қасиеттерді анықтау қажет.

**5.1.1. Электрлі қасиеттері**

Электрлі қасиеттерге полярилеу, электр өткізгіштік, диэлектрлі жоғалулар мен байқаулар жатады.

**Диэлектриктерді полярлеу.** Диэлектр кернеуі өткізілетін электродтар арасында орналастырылған электр полярленеді. Полярлеу – бұл үдеріс, органикалық араласудан тұратын немесе байланысқан зарядтардың диэлектрикте оған эдлектр өрісінің әсері кезінде бағытталуы.

Кез келген затта, соның ішінде диэлектрикте, ондағы бос зарядтардың болуына не болмаса болмауына тәуелсіз, үнемі байланысқан зарядтары болады: атом қабықтарының электроны, атом яросы, иондар. Диэлектрикте сыртқы электр өрісінің әсерінен, байланысқан электр зарядтары өз тепе-теңдік күйінде жылжиыды: оң —  $E$  өрісінің кернеулілік векторы бағытында (теріс зарядқа қарай), ал теріс — кері бағытта (5.1-сурет).

Өйткені, диэлектрик тереңдігінде оң және теріс зарядтар өзара компенсацияланады, компенсацияланбаған электр зарядтары тек диэлектрик бетінде ғана қалады. Сонымен бірге, теріс зарядтардың ішкі бетінде компенсацияланбаған оң зарядтар пайда болады, ал онда- теріс пайд болады. Диэлектриктерде, құрамында дипольді молекуласы бар диэлектриктерде, полярлеу кзінде сол секілді электр өрісіндегі дипольдер байқалады. Полярлеу әр қарапайым диэлектр көлемінде  $dV$  индукциялы<sup>1</sup> (нысаналы) электр кезеңінің ( $dp$ ) пайда болуына әкелік соқтырады.

Диэлектрикте индукциялы электр кезеңінің пайда болуы полярдеу құбылысын білдіреді. Диэлектриктің қарқынды полярленумен  $P$ , сипаталады, ол осы көлемге диэлектрик көлемінің индукциялы электр кезеңінің қатынасына тең, а көлем нөлге тең:

$$P = dp/dV.$$

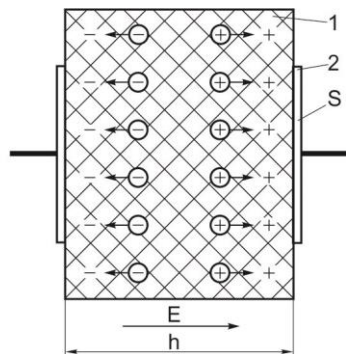
Полярлену — векторлық шама, бағыты электр кезеңінен – теріс зарядтан оң зарядқа дейін бағытқа сәйкес келеді.

Диэлектриктің полярлену дәрежесі ( $\epsilon$ ) *қатыстық диэлектрлі өткізгіштікпен бағаланады. Оның мәні қанша жоғары болса, диэлектр соғұрлым күшті полярленеді.*

<sup>1</sup> Индукция (*лат.inductio* — қозу, бағыттау) — электр өрісінің әсерінен, атомлар немесе диэлектрик құрамына кіретін, қуатталған бөлшектерге қарама-қарсы еріксіз қатысты жылжу.



5.1-сур. Полярленген диэлектриктегі зарядтардың орналасуы сызбасы:  
 1 — диэлектрик; 2 — электродтар қоршауы;  
 S — әр қоршаудың ауданы;  
 h — электродтар арасындағы ара қашықтық (диэлектрик қалыңдығы);  
 E — сыртқы электр өрісінің кернеулілігі



Қатыстық диэлектрлі өткізгіштік конденсатордың диэлектрик тұрған зарядының  $Q$ , тілімшелер арасындағы зарядын, сол өлшемдегі және сол кескіндемедегі электрод конденсаторында, сонымен бірге кернекеде, тілімшелер арасындағы диэлектрик орнына вакуум болады:

$$\varepsilon = Q / Q_0$$

ондағы,  $Q$  — конденсатор заряды, қоршау арасында диэлектрик болады;  $Q_0$  — конденсатор заряды, ондағы диэлектрик вакуум болып табылады.

Конденсатор заряды

$$Q = Q_0 + Q_d$$

ондағы,  $Q_d$  — полярленуге негізделген заряд. Сонымен,

$$\varepsilon = \frac{Q_0 + Q_d}{Q_0} = 1 + \frac{Q_d}{Q_0}$$

Диэлектрлі өткізгіштік диэлектриктің электр қасиетінің сандық сипаты болып табылды, оның мәні үнемі бірліктен көп болады.

Конденсатордың қоршаулары арасында вакуум болады,

$$Q_d = 0 \text{ және } \varepsilon = \varepsilon_0 = 1,$$

ондағы,  $\varepsilon_0$  — вакуумның диэлектрлі өткізгіштігі.

Диэлектр вакуум болып табылатын конденсатор сыйымдылығы  $C_0$ , мына формуламен анықталады:

$$C_0 = Q_0 / \varepsilon_h$$

Диэлектригі бар сол өлшемдегі конденсатор сыйымдылығы  $C_d$  мына формуламен анықталады

$$C_d = \varepsilon Q_0 / \varepsilon_h,$$

Ондағы,  $h$ — диэлектрик қалыңдығы, м.  
Демек, қатыстық диэлектрлі өткізгіштік

$$\varepsilon = C_d / C_0$$

Диэлектрлі өткізгіштіктің өсуі, аталған диэлектригі бар конденсатор сыйымдылығы, вакуум бар қоршау арасындағы конденсатор сыйымдылығымен салыстырғанда өсетіндігін растайды.

Диэлектриктің құрылымына және агрегатты күйене қарағанда электронды, ионды, дипольді, көшпелі, кенеттен (өз ерікті) және резонансты деп бөлінеді.

Электронды полярлеу - бұл электронды орбиттердің сыртқы электр өрісінің әсерінен қуатталған оң ядроға қатысты жылжуы. Электрондар түгел дерлік кенеттен жылжиды, полярлеу қысқа уақыт ішінде орнатылады ( $10^{-14} \dots 10^{-15}$  с), сондықтан да ол жиілікке байланысты. Атом өлшемі өскен кезде, электронды полярдену ұлғаяды.

Диэлектрлі өткізгіштік аз шекте тербеледі және оның мәні ток жиілігіне тәуелді емес.

Электрлі полярлеу, кез келген заттың барлық атомдарында болады, олай болса оларды басқа полерлеу түрі болғанына қарамастан, барлық диэлектриктерде. Ионды құрылымы бар заттар үшін электрлі полерлену атомдарда емес, иондарда біршама.

Электр өрісіне қатысты орнын ауыстыратын зарядтардың статистикалық тепе-теңдігінің кешігуін белгілеу *релаксациялық* полярлеу деп аталады.

*Электронно-релаксациялық полерлеу* пәлектрондық құрылымында ақауы бар (мысалы, құрамына титан бар керамика) материалдарда байқалады; ол электрондардың бағытталуымен байланысты.

Ионды полердену – бұл әртүрлі атаулы зарядталған иондардың бір-біріне ара-қашықтықта жылжуы және иондар арасындағы ара қашықтықтан аспайды (тұрақты кристаллды тор). Теріс иондар оң электрод жағына, ал оң иондар-теріс электрока қарай жылжиды.

Ионды полярденуді уақытын белгілеу сол секілді аз ( $10^{-13} \dots 10^{-14}$  с), бірақ ол, электронды полярлеу кезіне қарағанда анағұрлым көп. Монды полярлеу, электронды полярлеу секілді, энергияны жоғалту

және жиілікке байланысты емес, және инфрақызыл ауқым жиілігіне дейін жиілікке тәуелді болмайды.

Ионды полярлеу, тығыз иондар жиіні бар ионды құрылымның кристаллды диэлектриктеріне тән. Ол ол иондар бір-бірімен нашар байланысқан заттарда көбірек және үлкен электр зарядтары жоқ.

*Ионды-релаксациялық полярлену* салыстырмалы құрлымыдық бөлшектері ионды диэлектригіне тән (мысалы, изоляторлы фарфор, қыздыруға төзімді керамика, сілтілі шыны). Ол электр энергиясының шашырауынан болады және температура және ток жиілігіне тәуелді болады.

Дипольді полярлеу, дипольді молекулалардың сыртқы электр өрісі бағытында айналуына (бағытталуына) негізделген.

Дипольді полярлеуді полярленген молекулалардың, сыртқы электр өрісінің әсерінен тікелей айналуы ретінде ғана емес, осы өріспен кейбір полярленген молекулалардың тізбектеліп орналасуын, және хретсіз жылу қозғалыс жасайтындығымен түсіндіруге болады. Демек, дипольді полярлеу молекулалардың жылу қозғалысымен байланысты.

Дипольді полярлеу газдарда, сұйықтықтарда және аморфты заттарда байқалады. Кристаллдарда (балку нүктесінен төмен температурада) молекула дипольі әдетте «қатып қалған», яғни өз орнында және бағыттала алмайды.

Дипольді полярленудегі полярлеу түсірілген кернеуді алып тасталғаннан кейін кемиді, яғни дипольді релаксациялы полярленуге ие.

*Дипольді-релаксациялық полярлеу,* полярленген сұйықтықтарда және құрамында молекулалардың полярлі тобы бар қатты диэлектриктерде немесе өрістің әсерінен бағытталуға бейім сәйкес радикалдарда (мысалы, совол, канифоль, оқшауланған қағаздар) болады. Электр өрісі түсірілгенде, дипольдер айналады, ал оны алып тастағанда бастапқы ретке келтірілмеген күйіне қайта оралады. Бұл полярлеу электронды және ионды полярленуге қарағанда, анағұрлым баяу пайда болады және жоғалады. Полярлену, әсіресе, иондар ара қашықтықта жылжығанда, иондар арасында ара қашықтық үлкен болғанда артады. Бұл диэлектриктерді қыздыру кезінде болады. Бұл жағдайда, полярлеу баяу орнатылады ( $10^{-15} \dots 10^{-3}$  с) және жиілікке байланысты болады.

Көшпелік полярлеу өткізгіштігі әртүрлі өткізетін және жартлай өткізетін техникалық диэлектриктерде болуына негізделген.

Электр өрісіне бір текті емес материалдарды ернгізу кезінде, бос электрондар мен иондар әр қосылған сайын ауыса бастайды (көшеді) және полярленген орта түзе отырып, шекарада жиналады.

Көшпелі полярлену үдерісі, салыстырмалы түрде баяу және секундтар, минуттар, тіпті сағаттар жалғасу ымымкін, сондықтан да көшпелі полярлеу әдетте төмен жиіліктерде ғана байқалады.

Тосыннан (өз еркімен) полярлену, доменді құрылымды диэлектриктерді байқалады, сыртқы электр өрісі түсірілгенге дейін мұндай материалдарда шағын полярленген орта-домендер пайда болады<sup>1</sup>.

Өз еркімен полярлеу кезінде үлкен диэлектрлі жоғалулар мен кенет білінген диэлектрлік өткізгіштіктің температураға және электр өрісінің кернеулілігіне анықт тәуелділігі байқалады. Диэлектрлі өткізгіштік, сонымен бірге өте жоғары мәндерге жетуі мүмкін. (100000 дейін).

Өз еркімен полярлену тек бір санаттағы диэлектриктерде — *сегнетдиэлектриктерде* (сегнетті тұз, барий титанаты ( $BaTiO_2$ ), стронций титанаты ( $SrTiO_3$ ) және т.б.). сегнетдиэлектриктердің Кюри нүктесінен төмен температурада салқындауы кезінде, полярлеу өз еркімен, сыртқы әсерлерсіз болады. Электр өрісі болмағанда, домендер ретсіз орналасады және жынтық полярлеу нөлге тең болады. Электр өрісі түсірілген кезде, домендер қайта бағытталады және полярлеу сызықтық түрле ұлғаяды. Өріс кернеулілігі өскенде, полярлеу қанығу деңгейіне жетеді. Сонымен бірге диэлектрлі өткізгіштігі жоғары мәнге жетеді және қайтадан кемиді.

Резонансті полярлену, газдарда және кристаллды құрылымында ақау бар қатты диэлектриктерде жоғары жиілікті ортада байқалады.

Полярдеу механикасына байланысты, барлық диэлектриктер полярлі және полярлі емес болып бөлінеді.

*Полярлі диэлектриктер*, сқұрамында тұрақты электрлі дипольдер бар, сыртқы электр өрісіне қайта бағытталуға бейім материалдар тобы құрайды.

Полярлі диэлектриктерде электронды және дипольді — релакциялы полярлеу жүреді. Олардың, полярлі емес диэлектриктерге қарағанда бірнеше төмендетілген электрлі қасиеттері бар және жиілігі төмен орталарда электрлі оқшаулаған материалдар ретінде қолданылады.

Полярлі болып поливинилхлорид, эпоксидті шайырлар, политрифторхлорэтилен (фторопласт-3), полиэтилентерефталат (лавсан), полиметилметакрилат (органикалық шыны) және т.б. саналады.

<sup>1</sup> Домен (*лат. dominium* — иелену) — аралас ортадан физикалық қасиеттерімен ерекшелетін заттағы шағын орта. Сыртқы өрісі домендерді бағыттайды, электр кезендері бей-берекет бағытталған және материалдар көлемінде компенсацияланған векторлар диэлектригі полярленеді.

*Полярлі емес диэлектриктер*, құрамында диэлектрлі диполдер жоқ, сыртқы электр өрісіне бағытталуға қабілетті материалдар тобы құрайды.

Полярлі емес диэлектриктерде негізінен электронды өткізгіштік байқалады. Олар жоғары және жоғары жиілігі көп техникада жоғары сапалы электрлі оқаулағыш материалдар ретінде қолданылады..

Полярлі деп ауа, полистирол, полиэтилен, политетрафторэтилен (фторопласт-4), бензол және т.б. саналады.

Диэлектриктердің электр өткізгіштігі. Диэлектрлі материалдар кейбір электр өткізгіштікке ие, ол зарядталған бөлшектердің (электрондар, иондар, молондар) ауысу бағытымен байланысты. Бұл бөлшектер әртүрлі себептермен пайда болады. Электрондар зат молекулаларының иондалу кезінде және аонд бетімен зарядталған бөлшектердің соқтығысуынан пайда болады. Иондар бейтарап молекулалардың, сыртқы факторлардың әсерінен (ғарыш сәулесі, радиациялық сәулелену жәе т.б.) және негізгі заттар мен қоспалардың диссоциациялануынан пайда болады. Молиондар коллидті<sup>1</sup> жүйелерде пайда болады.

Диэлектриктердің электр өткізгіштігі көп жағдайларда ионды сипатта болады, яғни қуат тасушылар иондар болып саналады.

Диэлектриктердегі ток *жылыстайтын ток деп аталады*. Материал көлемінен өтетін ток, *көлемді деп аталады*, ал бетінен өтетін ток — *беткі деп аталады*..

Диэлектрикті тұрақты кернеулі тізбекке қосқан кезде, ток кенеттен секіреді, содан кейін оның тұрақты мәнше төмендейді. Бұл тұрақты мән алмаспайтын өткізгіштік тогы  $I_{\text{алм}}$  деп аталады.

Бос зарядтардың қайта бөлінуіне негізделген уақытпен төмендейтін токты *абсорбциялық*  $I_{\text{аб}}$  деп аталады.

Электронды және ионды полярлеуге ілеспелі ток *ығысу тогы деп аталады*; оның лездік  $I_{\text{ығ}}^1$  мәні

Осылайша, диэлектрик арқылы өтетін ток, ығысу тоғы жиынтығын  $I_{\text{ығ}}$ , абсорбцилар  $I_{\text{аб}}$  және алмаспайтын  $I_{\text{алм}}$  токты білдіреді:

$$I = I_{\text{ығ}} + I_{\text{аб}} + I_{\text{алм}}$$

Ондағы,  $I$  — жалпы ток, А.

Сонымен, абсорбциялық ток тез сөнеді, тұрақты кернеудегі оқшауланатын материалдардың электр өткізгіштігі алмаспайтын ток бойынша анықталады:

$$\gamma = \text{Лк} / U,$$

ондағы  $I_{\text{ауыс}}$  — ауыспалы өткізгіштік тогы;  $U$  — түсірілген кернек, В.

<sup>1</sup> Коллоидтер (*гр.* kolla — желім + eidos — түр) — шынайы ерітінділер мен ірі ұнтақталған жүйелер арасында (суспенялар мен эмульсилар) аралық шашыранды жүйелер.

Диэлектриктің электр өткізгіштігі анықтау кезінде тоқты өлшеу қажет, онда  $I_{ауыс} + I_{аб} = 0$ .

Диэлектриктің электр өткізгіштігі тұрақты токтың меншікті электр кедергісі көлемімен бағаланады  $\rho$ , Ом·м:

$$\rho = I / \gamma,$$

ондағы  $\gamma$  — меншікті өткізгіштік, Ом/м.

радиотехникалық бұйымдар құрылымына байланысты меншікті көлемді электр кедергісі  $\rho_v$  меншікті беткі электр кедергісін  $\rho_s$  есептеу қабылданған.

Меншікті көлемді электр кедергісі  $\rho_v$  оқшаулау қасиетін анықтайды, токтың негізгі кемуі материал арқылы өтеді, мысалы экрандалған электр сымдарында.

Меншікті беткі электр кедергісін  $\rho_v$  чсандық түрде бірыңғай өлшемдер қабырғалары бар тектше түріндегі материалдар үлгісінің кедергісіне тең, кернеу оның екі қарама-қарсы қырларына салынады. Жазық үлгілер үшін ол мына формула бойынша анықталыды.

$$\rho_v = R_v \frac{S}{b},$$

ондағы  $R_v$  — тұрақты ток үлгісінің көлемді кедергісі, Ом;  $S$  — сыналатын үлгімен әрекеттесетін электродтар аудану,  $m^2$ ;  $b$  — үлгі қалыңдығы, м.

**Меншікті беткі кедергі**  $\rho_s$  чсандық түрде, токтың оның екі қарама-қарсы жақтарынан өту кезінде, бірдей өлшемдерімен тектше түріндегі материал үлгісінің кедергісіне тең:

$$\rho_s = R_s \frac{l}{h}$$

ондағы  $R_s$  — электродтар арасында тұрған, материал үлгісінің беткі кедергісі, Ом;  $l$  — электродтар ұзындығы;  $h$  — электродтар арасындағы ара қашықтық, м.

меншікті беткі электр кедергісі  $\rho_s$ , сызықтық изолятор секілді бөлшектерде оқушаулағыш материалдарды бағлау кезінде маңызды сипаттама боып саналады.

Қатты диэлектриктердің меншікті көлемді жәе беткі электр кедергілері, температураға, ылғалдылыққа және түсірілген кернеуге тәуелді.

Диэлектриктердің электр өткізгіштігі қоспа құрамына байланысты. Қоспа құрамында қаншалықты көп болса, соншалықты оқушаулағыш материалдардың меншікті көлемді

кедергісі аз болады.

Сыртқы өрістің крнеулілігі диэлектриктердің электр өткізгіштігіне тек тесіп өтетінге жуық өріс ортасында ғана әсер етеді.

Көптеген оқшаулағыш материалдардың электр өткізгіштігі оның құрылымына ғана емес, оның химиялық құрамына, сонымен бірге дайындау технологиясына да байланысты. Мысалы, синтетикалық шайырлардың өткізгіштігі каучуктерді полимерлеу, өткізгіштігі-каучукты ысыту арқылы өңдеуге байланысты.

Қатты диэлектриктердің беткі электр өткізгіштігі, олардың құрылымында абсорбциялық су-колоидті қабықшалардың болуымен анықталды. Суға қатысты оқшаулағыш материалдар гидрофобті<sup>1</sup> және гидрофильді<sup>2</sup> болып бөлінеді. Гидрофобті материалдарға, мысалы, балауыздар, янтарь, полистирол және тағы басқалар жатады. Олардың юеткі өткізгіштігі аз және ауа ылғалдылығына мүлде тәелді емес. Гидрофильді материалдарға электр оқшаулағыш шынылар, мәрмәр, қағаз, көптеген пластмасса түрлері жатады. Олардың электр өкізгіштігі қоршаған ортаға байланысты.

**Диэлектрлі жоғалулар.** Диэлектрлі жоғалулар, материалда оған электр өрісі әсерінен болатын күрделі құбылыстармен байланысты. Олар тұрақты токте, сонымен бірге айнымалы токта болады. Алайда, тұрақты токтағы диэлектрик ретінде, әдетте диэлектрлі жоғалулар , ал меншікті көлемді және бнеткі кедергілермен сипатталады.

Электр өрісінің олармен тұтынылатын электр қуатының кез кедлген бөлігінің әсері кезінде жылу айналады және шашырайды.

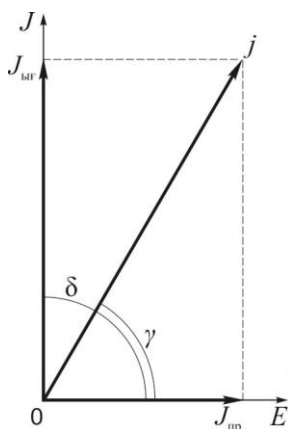
Диэлектрикпен жұтылған электр қуатының шашырған бөлігі *диэлектрлі жоғалулар деп аталады.*

Кернеуі бар  $E$  айнамалы электр өрісінде орналастырылған диэлектриктерде және бұрыштық жиілігінде  $\omega$ , ығысатын ток пен өткізгіш ток пайда болады (5.2-сурет). Диэлектриктің айнымалы ток тығыздығы векторлары арасындағы  $\delta$  бұрыш  $J$  және ығысатын ток  $J_{\text{ығ}}$  кешенді жазықтықта *диэлектрлі жоғалу бұрышы деп аталады.* Диэлектрлі жоғалудың бұл бұрышының тангенсі тк диэлектриктер ғана емес, конденсаторлар, изоляторлар және басқа да электрлі оқшаулау материалдары үшін маңызды параметр болып саналады.

---

<sup>1</sup>Гидрофобті (гидро... + *gr. phobos* — үрей, қорқыныш; дәлме-дәл - еруге қорқатын) — суда әлсіз еритін заттар қасиеті (жібімейді).

<sup>2</sup>Гидрофильді (гидро. + *gr. phileo*— жақсы көремін; дәлме-дәл — еруді жақсы көретін) — сумен қарқынды түрде әрекеттесетін материалдардың, заттардың қасиеті (жібиді).



5.2-сур. Диэлектриктегі ток тығыздығының векторлық диаграммасы:  
 $\delta$  — идеал диэлектриктің жиынтық қатыстық токтың жылжу бұрышы;  
 $\gamma$  — ток пен кернеу арасындағы сатының жылжу бұрышы;  
 $J_{\text{ығ}}$  — ығысу тоғының тығыздығы;  
 $J_{\text{пр}}$  — өткізгіш тоғиң тығыздығы;  
 $J$  — диэлектрдің айнамлы тоғиң тығыздығы;  
 $E$  — сыртқы электр өрiсiнiң кернеулiлiгi;  
 $j$  — айнамлы токтың тығыздығы.

Диэлектрді жоғалу бұрышының тангенсі белсенді қуатты анықтайды, ол айнымалы кернеуде жұмыс істейтін диэлектрикте жоғалады. Ол өткізгіш ток тығыздығының  $J_{\text{пр}}$  ығысу тоғи тығыздығына қатысты ара қатынасымен анықталды  $J_{\text{ығ}}$ :

$$\operatorname{tg} \delta = J_{\text{пр}} / J_{\text{ығ}}$$

өлшемсі параметрлі енгізу,  $\operatorname{tg} \delta$ , уокшаулау телімінің түрі мен өлшеміне байланысты емес болғандықтан ыңғайлы және тек диэлектрлі материалдар қасиеттерімен анықталды.

Диэлектрлі жоғалу бұрышының тангенсі қаншалықты жоғары болса  $\operatorname{tg} \delta$ , соншалықты берілген жиілік пен кернеудің электр өрiсiндегi қыздырылған диэлектрик соғұрлым көп болады.

**Тесіп өту.** Ядиэлектрикте, электр өрiсiнiң әсерiнен пайда болған өтетін кналдардың, электр өткізгіштіктің бірден өсу пайда болу құбылысы *тесіп өту* деп аталады.

Тнесіп өту кезінде, тар кнала арқылы өтетін барлық ток, баулы ток деп аталады. Сонымен тесіп өтетін жердегі газдарда газ разрядты плазмалар түзіледі.

Сұйық диэлектриктерде тесіп өтілген жерде қайнау және газ бөлінеді.

Қатты диэлектриктерде, күшті токтар жанады және материалды бұзатын өнімдерді бөле отырып, тесетін жерде тесікті балқытады, ол жоғары электр өткізгіштікке ие.

Егер жеткізетін бір электродтан екінші электродқа өтетін болса және тұйықталса, онда толық тесіп өтеді.

Егер жеткізгіш канал, кем дегенде бір электродқа жетпесе, онда толық емес тесіп өту жүреді. Ішінара тесіп өту екзінде, қатты диэлектриктің газ және сұйық күйінде болғнада өтеді.



Қатты диэлектриктерде, көлемі бойынша өтуден басқа бетімен өтуі де мүмкін, *беткі деп аталады.*

Диэлектриктердің жеткізілуіне апаратын ең төменгі кернеу *тесіп өтетін кернеу деп аталады және*  $U_{\text{тес}}$ . Тесіп өтетін кернеу  $U_{\text{тес}}$  радиэлектриктің қалыңдығының өсуімен  $h$  ланықталады. Материалдың электр өрісінде бұзылуға қарсылығын сипаттау үшін электр өрісі кернеулілігінің көлемі қолданылады  $E_{\text{тес}}$ , мВ/м, онда тесіп өту орын алады:

$$E_{\text{тес}} = U_{\text{тес}} / h,$$

ондағы  $U_{\text{тес}}$  — вдиэлектрикке түсірілген кернеу көлемі, онда тесіп өту жүреді, кВ;  $h$ — тесетін орындағы материалдың қалыңдығы, м.

Тесіп өтуге әкелетін, электр өрісінің бір текті кернеулілігі *электрлі беріктілік деп аталады.* Жсұйық диэлектриктер, газға қарағанда анағұрлым жоғары беріктілігімен ерекшеленеді.

Газ тәрізді, сұйық және қатты диэлектриктердегі тесіп өту мезанизмі елеулі айырмашылықтары бар.

## 5.1.2. Механикалық қасиеттер

Әр нақты жағдайда диэлектрлі материалы таңдау кезінде, тек электрлі қасиеттеріне ғана емес (қатыстық диэлектрлі өткізгіштік  $\omega$ , диэлектрлі жоғалу бұрышыны тангенсі  $\text{tg}\delta$ , электрлі беріктік  $E_{\text{пр}}$ ), сонымен бірге механикалық қасиеттерін де ескеру қажет.

Негізгі механикалық қасиеттерге серпімділік, беріктілік пен тұтқырлықты жатқызуға болды.

**Серпімділік.** Материалдарда концентрацияланған немесе бөлінген жүктемелер арқылы әрекет етуге болады, оларда механикалық кернеулерді тудырады. Механикалық кернеулердің әсерінен материал деформацияланады.

Төмен механикалық кернеулер кезінде, механикалық кернеулер  $\sigma_j$  мен салыстырмалы деформация  $x_i$  арасындағы сызықтық байланыс орнататын Гук заңы орын алады. Бұл жағдайда жүктемені алып тастағаннан кейін үлгінің пішіні қалпына келтіріледі.

**Беріктік.** Материал қасиеті бұзылуға қарсы тұрады, сонымен бірге сыртқы жүктеменің әсерінен түрді қайтарымсыз өзгеруіне әкелетін *беріктілік* деп аталады.

Беріктілік, материалдың құралған атомдардың өзара әсер ету күшіне негізделген. Екі атомның өз-ара әрекеттесу күші олардың ара қашықтығына тәуелді.

Егер телімдегі қатты материал, өлшемі атом арасындағы ара қашықтық өлшемін тең, керу беріктіктен көп болса, онда осы телім

бойынша алшақтық болады.

Гук заңы белгілі шекке дейін ған әділ. Механикалық кернеудің кейбір мәнін  $\sigma$ , деформация, сызықтық заңға қарағанда, жылдам өседі. Материалдың салқын пластикалық кемуі жүреді, және кернеу алып тасталғаннан кейін, үлгі түрі қалпына келмейді. Кернеу  $\sigma$ , кему шегі деп аталады.

Одан әрі механикалық кернеудің өсуі  $\sigma_{пр}$ , кернеуде, үлгінің бұзылуына әкеледі, ол *беріктілік шегі* деп аталады.

Материалдардың беріктігі, созылу кезінде  $\sigma_p$ , сығылу кезінде  $\sigma_{сығ}$  және иілу кезінде  $\sigma_{иіл}$  беріктілік шегімен сипатталады. Беріктілік шегі механикалық кернеудің бірліктерімен өлшенеді.

Созылу кезіндегі материалдың беріктілік шегі,  $\sigma_p$  Н/м:

$$\sigma_p = P_p / S_0$$

ондағы  $P_p$  — материал үлгісінің созылу кезіндегі бұзылатын күші (алшақтық), Н;  $S_0$  — ыснауға дейінгі материал үлгісінің көлденең қима ауданы, м<sup>2</sup>.

Сығылу кезіндегі материалың беріктілік шегі,  $\sigma_{сығ}$ , Н/м:

$$\sigma_{сығ} = P_{сығ} / S_0$$

Ондағы  $\sigma_{сығ}$  — материал үлгісі сығылған кездегі бұзатын күш, Н;  $S_0$  — сынауға дейінгі көлденең қима ауданы, м<sup>2</sup>.

Статикалық иілу кезіндегі материалдың беріктілік шегі  $\sigma_{иілм}$ , Н/м<sup>2</sup>:

$$\sigma_{иіл} = 1,5P_{иіл}L/b s^2,$$

ондағы  $P_{иіл}$  — иілу кезіндегі үлгінің ортасына түсірілген бұзатын күш, Н;  $L$  — сынау кезінде үлгіші қойылатын тірек арасындағы ара қашықтық, м;  $b$  — үлгі ені, м;  $s$  — үлгі қалыңдығы, м.

Механикалық беріктілік, зат молекулаларының байланысу түріне байланысты: олар ковалентті байланысы бар кристаллдарда жоғары және молекулалы байланысы бар кристаллдарда төмен.

Металлдар үшін барлық үш беріктілік жуық, ал диэлектриктер үшін күшті ерекшеленуі мүмкін:  $\sigma_{сығ} \gg \sigma_p, \sigma_{иіл}$ .

Пластикалық деформация байқалмады және үлгі бұзылады (мысалы, шыны, керамика), ол *нәзік* деп аталады. Осындай материалдар үшін мына теңдеу әділ  $\sigma_{пр} = \sigma$ . Нәзі материалдар ділір және динамикалық жүктеме әсірнен жеңіл бұзылады.

Материалдар, ондағы пластикалық деформацияланатын жер  $\sigma$ , —  $\sigma_{пр}$  өте кең олар *иілімді* деп аталады.

**Тұтқырлық.** Тұтқырлық, сұйық агрегатта күйдегі материалдарға тән және олардың ағысына кедергімен сипатталады.

Динамикалық  $n_d$  және кинематикалық  $n_k$  тұтқырлықтар ажыратылады. Динимикалық тұтқырлық паскальмен, секундқа

көбейту арқылы өлшенеді (Па·с). Кинематикалық тұтқырлық динамикалық тұтқырлықтың  $p_d$  сұйықтық тығыздығына  $D$  ара қатынасымен анықталады және секундына шаршы метрмен өлшенеді ( $m^2/c$ ).

Тұтқырлық температураның артумен күшті кемиді. Бұл әсіресе күймалы және сіңірілген электрлі оқшауланған материалдарда маңызды. Осындай материалдарды құю қыздырылған күйінде жүргізіледі және олар ұсақ қуыстарға тез толтырылады.

### 5.1.3. Жылу қасиеттері

Диэлектриктің жылу қасиеттеріне қызуға төзімділік, жылу өткізгіштік, жылудың ұлғаюы мен салқынға төзімділік (аязға төзімділік) жатады.

**Қыздыруға төзімділік.** Диэлектриктің жоғары температурада және оның қасиеттерінің төмендеуін болдырмай температураны күрт төмендету кезіндегі қабілеті *қыздыруға төзімділік* деп аталады.

Материал түрі және оның пайдалану жағдайына байланысты, жоғары температураның ұзақ мерзімді немесе қысқа мерзімді әсері диэлектрикте әртүрлі өзгерістер тудырады. Мысалы, температураға байланысты сзықтық полимерлер шыны тәрізді, жоғары иілімді немесе тұтқыр аққыштық күйде болуы мүмкін. Басқа жағдайларда, жоғары температураның нәтижесі бұйымның пішінін бұзатын және оның механикалық қасиетін төмендететін үлкен қалдық кернеудің пайда болуы болып саналады. Лак бетінде, мысалы, ұзақ қызған кезде олардың иілімділігі күрт төмендейді.

Кейбір материалдарда, қыздыру кезінде химиялық ыдырау, қарқынды тотығу, күйдірк және тіпті жану байқалады. Оқшаулау қасиетінің төмендеуінен басқа, қысқа мерзімді температураның өсуінде байқалатын, ұзақ мерзімді температураның артуында, баяу жүретін химиялық үдерістерден-жылу оқшаулығыштардың ескіруінен өзгерістер байқалады. Трансформаторлы майда ескіру тотыққан өнімдерде, ал ла қабықшасында-сынғыштықтың артуында, төсемінде жарықшақтар мен қабаттанудың пайда болуынан байқалады.

Жылу ескіру, үлгінің ультракүлгінді сәулелермен жарық берілгенде, электр өрістерінің, механикалық жүктеменің әсерінен жеделдетіледі және т.б.

Қыздыруға төзімділік, диэлектриктердің пайдалану сипаттамасының қол жетімсіз өзгеруінде болатын температурамын сипатталады.

## 5.1-кесте. Электр оқшаулағыш материалдардың санаттары

Қыздыру-ға төзімді санаттар	Меншікті қол жетімді жұмыс температурасы $T_{жұм}, ^\circ\text{C}$	Диэлектриктер
Ү	90	Целлюлоза мен жібек негізінде талшықты материалдармен сіңірілмеген органикалық диэлектриктер (ағаш, қағаз, қатырма қағаз, талшық, иірім жіп), полистирол, полиэтилен
А	105	Целлюлоза мен жібек негізінде талшықты материалдармен органикалық диэлектриктер (ағаш, қағаз, қатырма қағаз, талшық, иірім жіп), полистирол, полиэтилен, шайыр, майлы-шайырлы және поливинилацетті лактармен сіңірілген
Е	120	Қабатты пластик (гетинакс, текстолит), органикалық толтырмасы бар пластмассалар
В	130	Құрамында органикалық емес компоненттері көп материалдар (шыны, мата, шынытекстолит)
F	155	Материалы на основе слюда, шыны талшық, байланыстыратын жоғары қыздырғыштығымен үйлестірілген асбест (кремнийорганикалық, эпоксидті заттар)
Н	180	Кремнийорганикалық лактар, резеңкелер, слюдадан жасалған құрастыру материалдары, қыздыруға төзімді кремний органикалық шайыры арқылы жабыстырылған асбест
G	180 артық	Органикалық құрамдардың желімделмейтін және сіңірілмейтін органикалық емес материалдар (слюда, шыны, кварц, асбест); органикалықтан — тек фторопласт-4 және полиамидтер

Электрлі оқушауланатын материалдар үшін, қыздыруға төзімді жеті санат және оларға сәйенс меншікті қол дерімді жұмыс температурасы белгіленген. (5.1-кесте).

Қатты диэлектриктердің температураның әсерінен қатты күштен ағретты күге өзгеруі әртүрлі өтеді. Диэлектриктерде кристаллды құрылым (слюда, парафин және т.б.) қатты күштен сұйық күйге ауысу, аныө көрінген балқу температурасында болады,  $T_{\text{бал}}$ .

Аморфты диэлектриктерде (сшайырлар, битум және т.б.) қатты күштен сұйқ күйге айналу біртіндеп жүреді (температураның кең интервалында) және  $T_{\text{жұр}}$  жұрсарту температурасымен сипатталады.

Белгілі концентрацияларда, кейбір электр оқушауланған сұйқтықтар балқиды. Сұйықтық буының қоспасы кезінде температура аумен кірген жанарғының жалынынан тұтанады, ол *будың тұтану температурасы* деп аталады.

**Жылу өткізгіштік.** Диэлектриктің жылу жеыткізу қабілеті *жылу өткізгіштік* деп аталады. Материалдың жылу өткізгіштігі қаншалықты көп болса, соншалықты құрылғы жақсы салқындайды, соғұрлым қол жетімді жұмыс температурасы жоғары болады.

Өткізгіштердегі, диэлектрлі изолятормен оқулауланған электр тогының өтуі кезінде туындаған жылу, изоляторға беріледі. Бұл өз кезегінде, диэлектрлі жоғалу нәтижесінде, жылу излятордың зінде бөлінеді. Өткізгіш пен изолятордың жиынтық жылу жоғалуы қоршаған ортаға беріледі. Оқшаулау қабілетінен жылуд ыөткізуге өткізгіштің қызлыруы мен оқшаулаудың электрлі өткізгіштігі байланысты. Жылу өткізгіштік құрылғыдағы қалың оқушаулаудың жоғары кернеуімен салыстыранда ерекше маңызы бар.

Сандық жылу өткізгіштік жылу өткізгіштік коэффициентімен бағаланады  $\gamma_{\text{ж}}$ , ол 1 К/м. температурадағы градиент<sup>1</sup> кезінде бірлік арқылы өтетін жылу санымен анықталады.

Кейбір металлдардың жылу өткізгіштігінің бағдарлы мәні 5.2-кестеде берілген.

Көптеген диэлектриктердің жылу өткізгіштік коэффициенті  $\gamma_{\text{ж}}$ , нжартылай өткізгіш материалдарға қарағанда төмен. Жартылай өткізгіш материалдарға жуық коэффициент кейбір металл оксидетірінде бар (мысалы,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{BeO}$ ). Жылу өткізгіштік коэффициенті берилий оксиді, металл берилийге қарағанда жоғары болады. Жылу өткізгіштік коэффициентінің ең төменгі мәні газ қосылыстары бар кеуекті диэлектриктерге ие.

---

<sup>1</sup> Градиент (*лат. gradіens* — адымдаған, ақырын жүретін) — ұзындық бірлігіне кандай да бір физикалық көлемнің кеңістіктегі өсу және кемі өлшемі.

5.2-кесте. **Кейбір материалдардың жылу өткізгіштігінің коэффициенті мәні**

Материал	$\gamma_{ж} / (м \cdot К)$	Материал	$\gamma_{ж} / (м \cdot К)$
Ауа (кішкентай саңылауда)	0,05	Темір	68
Полистирол	0,08... 0,16	бор нитриті (BN): Жанғыш нығыздалған- ік бағытта;	19
		перпендикулярлы бағытта	37
Қағаз	0,10	Берилий оксиді (BeO)	218
Лакты мата	0,13	Алюминий (Al)	226
Г етинакс	0,35	Мыс (Cu)	290
Фарфор	1,6	Кварц шыны	1,16
Графит	18	Фторопласт-4	0,23...0,24
Алюминий оксиді (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	25... 30	Винипласт	0,17

Олардың жылу өткізгіштігін арттыру үшін қуысты бітеу немесе қысыммен материалды нығыздау арқылы қолданылады.

Жылу өткізгіштікті бағлау үшін, жылу өткізгіштік коэффициентінен  $\gamma_{ж}$  басқа, сонымен бірге температура өткізгіштікті  $A$  қолданыды, ол мына ара қатынаспен анықталады:

$$A = \gamma_{ж} / cD,$$

Ондағы,  $c$  — меншікті жылу сыйымдылық, Дж/(кг·К);  $D$  — материал тығыздығы, кг/м<sup>3</sup>.

**Жылулық ұлғаю.** Диэлектриктің өз сызықтық өлшемінен температура қысымының әсерімен өзгерту қабілеті *жылулық ұлғаю* деп аталады. Жылулық ұлғаю сызықтық ұлғаю коэффициентімен (ЖКІ) анықталады.

Сызықтық ұлғаюдың (ЖКІ) температуралық коэффициентінің орташа мәні 5.3.-кестеде келтірілген.

**Суыққа төзімділік (аязға төзімділік).** Сәлектр оқшауланудың төмен температурада пайдалану сипаттамаларының төмендеуін болдырмау қабілеті *суыққа төзімділік* деп аталады.

**5.3-кесте. Кейбір диэлектриктердің сызықтық ұлғаю  
температуралық коэффициентінің орташа мәні**

Материал	$\text{ЖКІ} \cdot 10^{-6} \text{К}^{-1}$	Материал	$\text{ЖКІ} \cdot 10^{-6} \text{К}^{-1}$
<i>Органикалық материалдар</i>		<i>Органикалық емес материалдар</i>	
Поливинилхлорид	160	Мусковит слюда (жарылу қабатына жақын )	13.14
Полиэтилен	145	Шыны	9,0
Фторопласт-4	100	Фарфор	3,5
Органикалық шыны	70	Кварц шыны	0,55
Полистирол	68		

Диэлектриктердің электрлі окшаулау температурасы төмендеген кездешгі қасиеті, әдетте, артады, алайда, механикалық қасиеттері төмендеуі мүмкін. Төмен температура тұсындағы органикалық диэлектриктер жарықшақтанады, иілімділігін жоғалтады. Мысалы, резеңке температурад  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  болғанда, шыны тәрізді сынғыш болып келеді.

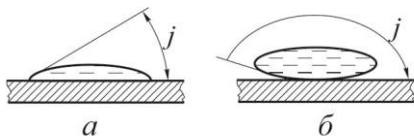
Кейбір диэлекориктердің төменгі жұмыс температурасындағы бағдарлы мәні:  $-269 \text{ }^\circ\text{C}$  фторопласттар үшін  $-4$ ;  $-(50 \dots 60) \text{ }^\circ\text{C}$  лавсандар үшін;  $-(40 \dots 70) \text{ }^\circ\text{C}$  полиэтилен үшін;  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  полистирол үшін;  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  капрон үшін;  $-(5 \dots 15) \text{ }^\circ\text{C}$  полипропилен үшін.

Материалдардың жылу қасиетінің қыздыруға төцзімділік қасиетінен басқа, аморфты заттар мен кристаллды құрылымы бар материлдар үшін балку температурасының жұмсаруымен сипатталады. Сұйық диэлектриктер үшін, ауа қоспасындағы будың тұтану температурасы тән болып саналады, яғни, диэлектрик буының ауамен қоспасы кезінде әлсіз жалын әсерінен тұтанатын температура.

### 5.1.4. Ылғалды қасиеттері

Барлық окшауланатын материалдар ылғалға жұтылады. Сонымен, су молекулаларының өлшемі , шамамен  $2,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}$  құрайды, бұл оған тіпті шыны тәрізді диэлектриктердің қусысынан өтуге мүмкіндік береді.

Материалға өтетін ылғалдың қарқындылығы мен көлемі, негізінен материалдың құрамы мен құрылымына байланысты. Су молекулалары мен окшуаланатын материал арасында химиялық



5.3-сур. Дымқылданған (а) және дымқылданбаған (б) беттегі сұйықтық тамшысы:

$j$  — дымқылдану бұрышы

құралдар қаншалықты көп болса, ылғалға сіңіру қарқыны соғұрлым жоғары болады. Атмосферамен хабарланатын қуыстың болуы, материалдың ылғалға төзімділігінің төмендеуіне әкеледі, ал сол кезде оның тығыз құрылымы судың өтуін қиындатып, ылғалға төзімділікті арттырады.

*Ылғалға төзімділік* — материалдың ылғалдың әсерінен өз пайдалану қасиеттерін сақтау қабілеті.

Лак бояулы төсемені жағу, лакпен, маймен және копаундтармен сіңіру, пластмассамен тығыздау материалдың ылғалға төзімділігін арттырады, бірақ оның көлеміне ылғалдың өтуін толық кетірмейді. Композитті құрылымдарда, көлемге ылғалдың сыни өтуі тұрғысынан, әртүрлі термотехникалық қасиеттермен (шының металлмен дәнекерленуі (металлдың шынымен дәнекерленуі, керамиканың металлмен, металлдың пластмассамен дәнекерленуі) материалдардың түйіндесу орын болып табылады.

Қатты материалдар дене бетіне түсітірілген сумен жібітудің әртүрлі қабілетіне ие (5.3-сурет).

жібіту бұрышы қаншалықты кем болса  $j$ , материалдың жібігіштігі соғұрлым қиын көрінген. Материалдарды жібіту үшін,  $j < 90^\circ$  (5.3-сурет, а), жібімейтін материалдар үшін  $j > 90^\circ$  (5.3-сурет, б).

Диэлектриктердің ылғалдылық қасиеті гигроскопиялық (ылғалды сіңіру), ылғалды сіңіру және ылғалды өткізбеушілігімен анықталады.

**Гигроскопиялық (ылғалды сіңірушілік).** Қоршаған ортаны ылғалды жағжайындат тұрған, электроқшаулау материалдар, ауадан ылғалды біртіндеп сіңіреді.

Материалдың қоршаған атмосферадан су буларын сіңіру қабілеті *гигроскопиялық* деп аталады.

Материалдардың гигроскопиялылығы, құрлымы мен химиялық табиғатына байланысты. Құрамында капиллярлар бар материалдар, құрылымы тығыз материалдарға қарағанда, ылғалды анағұрлым гигроскопиялық түрде сіңіреді. Қусы жоқ материалдар, мысалы, керамика немесе шыны, қоршаған ортадан сіңірілген ылғалды өз бетіне жұқа қабықша түрінде жинайды. Бұл ылғал материалға терендеп өтіп, материалдар гигроскопиялық бетке ие.

Ылғалдың артуы, әдетте, диэлектриктердің электрлі қасиеттерін



(меншікті электр кедергісін  $\rho$ , электрлі тығыздығын,  $E_r$ , диэлектрлі өткізгіштігін  $\varepsilon$ , диэлектрлі жоғалу бұйышының тангенсін  $\text{tg}\delta$ ) біршама төмендетеді. Сіңірілген ылғалдың бір көлемі әртүрлі материалдардың электр оқушаулану қасиетіне әртүрлі әсер етеді.

Егер сіңірілген ылғал, изолятордың ішіндегі барлық аралықты немесе электродтар арасындағы біршама бөлікті түзетін болса, онда тіпті ең аз көлемді ылғалдың өзі оқшаулаудың электр қасиеттерінің күрт төмендеуіне әкеліп соқтырады. Егер ылғал электрлі оқшауланатын материал көлеміне қарай жеке, өзара шағын қосылыстарда бірікпеген болса, онда ылғалдың материалдың электрлі қасиетіне әсері аз болады.

Жібітпеген материалдар үшін, меншікті электр кедергісі бетінің төмендеуі<sup>s</sup>, ылғалды ортада біршама ұстап тұру кезінде, олардың бетіне жеке тамшылар, тұтас су қабығынсыз шық түзеді.

Электр қасиеттерінің анағұрлым елеуді төмендеуі, кеуекті материалдарда байқалда. Анизотропты<sup>1</sup> материалдар ылғалды әртүрлі бағытта және әртүрлі жылдамдықта сіңіреді. Сонымен, жылдамдығы үлкен қабатты ылғал пластиктер қабаттарының жанында, ал ағаштарда-талшықтар жанында таралады.

Гигроскопиялылық  $W_r$ , %, ылғалданған үлгінің оның бастапқы массасына ара қатынасымен анықталады:

$$W_r = \frac{m_2 - m_1}{m_1}$$

ондағы,  $m_2$  — үлгі массасы, г, оны қатыстық ылғалдықта ұстап тұрғаннан кейін 96...98 %;  $m_1$  — құрғақ үлгі массасы, г.

Қатты диэлектриктердің гигроскопиялық үлгілерін бағалау үшін оларды кетіріп, сосын атмосферада қатыстық ылғалдылықта, 96...98% қалыпты температурасында 24...48 с. орналастырады. Үлгіні ұстап тұру уақыты өткеннен кейін, оны өлшеп, сосын бастапқы массасымен салысытра отырып, массаның ұлғабын анықтайды.

**Суды сіңірушілік.** Икейде электрлі оқушауланатын материалдар, құрамында су буы бар тек ауамен ғана емес, сонымен бірге сумен де тікелей байланысады. Бұл жағдайларда, ашық құрылғыларды оқшаулау жұмыс істейді, олар атмосфералық жауын-шашынға ұшырайды; корабльжердегі радиациялық аппаратураның оқшаулануы немесе сорғыдағы бөлшектерінің оқшаулануы. Бұл жағдайларда суды сіңіру қызығушылық беріледі.

**Суды сіңіруші** — бұл материалдың суды сіңіру қабілеті. Суды сіңіру  $W_c$ , %, үлгіи массасының суда 24 с. ішінде ұстаудан кйеінгі қатыстық көбеюімен анықталады:

<sup>1</sup> Анизотропия (*gr.anisos* — тең емес + *tropos* — қасиет) — осы дененің ішіндегі әртүрлі бағыт бойынша физикалық қасиеттің әркелкілігі

$$W_c = \frac{m_3 - m_1}{m_1}$$

онда,  $m_3$  — үлгінің суда ұстап тұрғаннан кейінгі массасы, г;  $m_1$  — бастапқы күйдегі үлгінің массасы, г.

**Су өткізгіштік.** Бқорғаныс беттерді бағалау кезінде үлкен тәжірибелік мәні **су өткізгіштікке** — сматериалдың өзінен бу буын өткізбеу қабілетіне ие.

Көптеген материалдар осы және өзге дәрежеде суды өткізеді. Тек шыны үшін, жақсы күйдірілген керамика мен металлдарда су өткізгіштік нөлшеге тең.

Су өткізгіштік  $\Pi$  төмендегі ара қатынаста анықталады:

$$\Pi = a \frac{(p_2 - p_1)St}{s}$$

ондағы  $\Pi$  — бу тәрізді су массасы, стационарлы режимде, материалдың өтеетін бөлігінің қалыңдығы үст  $s$  және ауданы  $S$  уақыт  $t$  пішінде, үлгіден өткенге және өткеннен кейінгі су буының әртүрлі қысымының әсерінен ( $p_2 - p_1$ );  $a$  — су өткізгіштік коэффициенті, ол температура мен бірлікті таңдау жүйесіне ( $\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{Па}) = 1 \text{ с}$ ) тең;  $p_1$  — үлгінің бір жағынан су буының аауадағы парциалді қысымы;  $p_2$  — үлгінің екінші жағынан ауадағы су буының парциалді қысымы.

### 5.1.5. Физикалық-химиялық қасиеттер

Диэлектриктердің физикалық және химиялық қасиеттеріне, ерігіштік, химиялық тұрақтылық, қышқыл саны, жарық тұрақтылық және радиациялық тұрақтылық жатады.

**Ерігіштік.** Рәртүрлі материалдар бір-бірімен жанасқанда, бұйымды әзірлеу және пайдалану кезінде ішінара немесе толықтай бір-біріне өтеді.

Осындай өту **ерігіштік** деп аталады. Эбұл қасиет лак еріткіштері немесе электр оқшауланатын материалдардың, олардың әрекетесетін әртүрлі сұйықтықтардың әрекетіне тұрақтылығын бағалау үшін маңызды

Қатты металлдардың ерігіштігін екі жолмен бағалауға болады:

- материал санына қарай, уақыт бірлігімен ерітіндіге материал бетінің бірлігімен өткен;
- заттардың шағын көлемі, аталған ерітіндіде ертитін, яғни қаныққан ерітінді концентрациясы бойынша.

Материалдардың ерігіштігі температураның артуымен біршама артады және полимерлеу дәрежесінің артуымен төмендейді

Бәрінен де, химиялық табиғаты бойынша ерітіндіге жуық және

молекулалада атомдар топтамасындағы молекулаларға ұқсас, заттар оңай ериді. Полярлі заттар полярлі сұйықтықтарда жеңіл ериді. Мысалы, полярлі фенолформальдегидті шайырлар спиртте және басқа еріткіштерде ериді; полярлі емес көмірсутектер (парафин, каучук) сұйық көмірсутектерде ериді.

**Химиялық тұрақтылық.** Пхимиялық белсенді заттармен (газдармен, сумен, қышқылдармен, сілтімен және тұз ерітінділерімен) жанасқанда электрлі оқушаулағыш материалдар олармен химиялық әрекеттесуі және бұзылуы мүмкін.

ҮМатериал үлгілердің химиялық тұрақтылығын анықтау үшін, оларды химиялық белсенді элементтердің концентрациясы бойынша пайдалану немесе анағұрлым қатаң ортаға және температуралық жағдайларға жуық белгілі уақытта ұстап тұрады. Бұдан кейін олардың массасы, сыртқы түрі мен басқа да көрсеткіштеір анықталады

**Қышқылды сан.** Майлар мен шайырлар үшін қышқылды сан өлшенеді, олар материал құрамындағы бос қышқылдарды сипаттайды және диэлектрик қасиетін төмендетеді. Қышқыл сан күйдіргіш калий милиграмі мөлшерімен анықталады (КОН), ол барлық бос қышқылдарды бейтараптандыру үшін талап етіледі, 1 г сыналатын материалдан тұрады (мысалы, 0,5 мг КОН/г).

Қашқыл сан материалдың технологиялық ерекшеліктерін анықтайды және оның онымен жанасқан денелердің тозуын тудыру қабілетіне ие. Трансформат майларында үлкен қышқылды сан майды дайындау кезінде немесе майдың ескіру белгілері бойынша оның нашар тазаланбау белгісі болып табылады.

**Жарыққа тұрақтылық** Материалдардың жарық сәулесінің әсерінен пайдалану сипаттамаларын сақтау қабілеті *жарыққа тұрақтылық* деп аталады.

Жарықтық, әріресе, ультракүлгін сәулелер, фотоөткізгіштік, кейбір органикалық материалдардағы химиялық өзгерістерді, сонымен бірге, олардың механикалық беріктілігі мен иілімділігін төмендетеді. Жарықтық сәлелену әсерінен, сонымен бірге электрлі оқшаулағыш материалдардың ескіруі жеделдетіледі.

**Радиациялық тұрақтылық.** Сдиэлектриктің ионды сәулелену әсерінен өз пайдалану сипаттамаларын сақтау қабілеті *радиациялық тұрақтылық* деп аталады.

Ионды сәулеленуге мыналар жатады:

- корпускулярлі сәулелену (жылдам және баяу нейтрондар, ядро жарықшақтары,  $\alpha$  –және  $\beta$ -бөлшектер), өлшем бірлігі рад және Дж/кг (1 рад = 0,01 Дж/кг);
- толқынды сәулелену ( $\gamma$ -сәулелер, қатты және жұмсақ рентген сәулелену), өлшем бірлігі Р (рентген) және Кл/кг (1 Р =  $2,58 \cdot 10^{-4}$

Кл/кг).

Сәулелену әсері бір қатар молекулалы түрленулер мен химиялық реакцияларға әкелуі мүмкін, бұл өз кезегінде, материалдың барлық қасиеттерінің өзгеруіне: электрлік, механикалық, физико-химиялық әкеліп сотыруы мүмкін.

Сәулелену әсеріне анағұрлым органикалық диэлектртриктер анағұрлым көп ұшырайды, себюебі, ұзақ немесе қарқынды сәулелену нәтижесінде кез келген полимердің бұзылуы мүмкін. Органикалық диэлектртриктер, атап айтқанда, мысалы кварц, слюда, бериллий оксиді және цирконий, сәулелену әсеріне аз ұшырайды.

Радиациялық сәулелену, тек қана диэлектриктердің қасиеттерін төмендетіп қана қоймады, сонымен бірге оларға жаңа қасиет береді (полимерлердің радиациялық бірігуі, жартылай өткізгіштердің қоспалануы

Көбінесе, радиациялық тұрақтылық, зат ауданының бірлігіне тап келетін радиациялық бөлшектердің жалпы санымен және оның негізгі сипаттамаларының біршама төмендеуінен көрінеді. (мысалы, нейтрон / $m^2$ ). Көптеген диэлектриктер сәулелену мөлшерлемесін ұстап тұрады  $10^{22}$  дейін нейтрон/ $m^2$  (салыстырмалы түрде: жартылау өткізгіш материалдар мен құрылғылар үшін меншікті қол жетімді сәулелену мөлшерлемесі  $10^{18}$  нейтрон/ $m^2$  құрайды.

## 5.2. Қатты органикалық диэлектриктер

Органикалық диэлектриктерге, құрамында көміртегі бар материалдар кіреді.

Органикалық диэлектриктер ретінде, өнеркәсіпте табиғи, сондай-ақ синтетикалық полимерлерді қолданады, олар химиялық синтез әдісімен алынады. Көбінесе оларды шайыр деп атайды.

Ашық синтетикалық полимерлер көптеген салалардың, соның ішінде электротезника мен радиотезхника салаларын даымтуда үлкен рөл атқарады.

Кейбір органикалық диэлектриктер төмен молекулалы заттарды білдіреді. Осындай заттар молекуласының құрамына салыстырмалы түрде аз көлемді атомдар (бірліктер, ондықтар немесе жүздіктер) сан жатады. Төмен молекулалы заттарға парафин, трансформатор сайы және т.б. жатады.

Көптеген органикалық диэлектриктерге, құрамында өте көп атаомдар немесе қарапайым молкулалар бар жоғары молекулалы заттар жатады.

Осындай молекулалардың молекулалық массасы<sup>1</sup>  $10^6$  жетеді. молекулалардың геометриялық өлшемдері, мысалы, каучуктің, мынаны құрайды: ұзындығы  $4...8 \cdot 10^{-5}$  см кесе көлденең енінде  $(3...7) \cdot 10^{-8}$  см (сабылстыру үшін: су молекуласының өлшемі  $3 \cdot 10^{-8}$  см-ге тең).

Көптеген жоғары молекулалы диэлектриктер негізін полимерлі қосылыстар құрайды, (төмен молекулалы қосылыстар) полмерлеу және поликонденсациялау реакциясы кезінде олар иономерлерден алады.

*Полимерлеу* — әбұл реакцияның жанама өнімдерінің бөлінуінсіз жаңа жоғары молекулалы заттардың (полимер) түзілуімен мономерлердің көп көлемімен біріктіру үдерісі.

*Поликонденсациялау* — бұл полмерлеуді түзу және реакцияның жанама өнімінің бөлінуімен әр текті мономерлерді біріктіру үдерісі.

Полмерлер қасиеті химиялық құаммен, аотомдар мен макромолекулалалар құрылымыен анықталады.

Макромолекулалардың құрылымына қарай, полимерлер сызықтық (жіп тірізді) және кеңістіктік (торлы) болып төлінеді.

Сызықтық полимерлер қандай да бір белгілі құрылым бөлімдерінің үйлесуін білдіреді. Екі немесе үш химиялық әртүрлі бөлімдердің үйлесуі полимерлерді түзеді, олар *біріктірілген*, немесе *сополимерлі* деп аталады.

Сызықтық полимерлер термопластикалық материалдарға жатады. Олар келесі қасиеттерге ие: жұмсарту температурасы  $50...120$  °С; көлемді ұлғаюдағы салыстырмалы жоғары температуралық коэффициенті  $\alpha_{TK}$ ; жоғары емес жылу тұрақтылығы; қыздыру кезінде жеңіл деформацияланады және салқындату кезінде қатайды; аморфты құрылымы болады және қыздыру кезінде қатты күйден сұйық немесе аққыш күйге бір қалыпты өтеді.

Сызықтық полимерлердің электр қасиеті атомдардың орналасуына немесе макромолекулалар тізбегідегі атомдар тобына тәуелді. Атомдар симметриялы құрылымы бар сызықтық полимерлер полярлі болып саналады және шағын диэлектрлі жоғалуы болады. Мономерлерінің симметриялық құрылымы бар сызықтық полимерлер полярлі емес болып саналады және аморфты құрлымы болады және көптеген материалдар сызықтық полимерлер негізінде қыздыру кезінде қатты күйден сұйық немесе аққыш күйге бір қалыпты өтеді, яғни кристаллданады.

Кеңістіктік полимерлерде, макромолекуланың көлденең химиялық байланыстарымен байланысты.

---

<sup>1</sup> Заттың молекулалық массасы деп оның қышқылды бірлікте берілген молекуласын (оттегі атомының 1/16 массасы) атайды.

Кеңістіктік полимерлер термореактивті материалдарға жатқызылады. Олар үлкен, сызықтық полимерлерге қарағанда, үлкен қаттылыққа ие; қыздыру кезінде жұмсарады, қабықтар мен талшықтар түзбейді; еріткіште ерімейді.

Жылу қасиеттері бойынша полимерлер термопластикалық және термореактивті болып бөлінеді.

Термопластикалық полимерлер (термопласттар), пластикалық күйге сәйкес келетін температураға дейін қыздырумен сипатталады, олардың қасиетінің қайтарымсыз өзгерістерін тудырмайды, сондықтан оларды көп рет қолдануға болады.

Қазіргі уақытта термопластикалық материалдар, дүниежүзілік электротехникалық өнеркәсіппен тұтынылатын полимерлі материалдардың барлығының шамамен 75% құрайды.

Термоактивті полимерлерде (термо катайтқыш), өту температурасына сәйкес температураға қыздыру кезінде, қайтарымсыз үдерістер болады, нәтижесінде олар механикалық қатты болады және қайталама қайта өңдеуге жатпайды.

### 5.2.1. Полимерленген синтетикалық полимерлер

Полимерленген синтетикалық полимерлер, жылу, қысым, ультракүлгін сәулелер, сонымен бірге инициаторлар мен аталмизаторлардың әсерінен алады. Полимерлеу кезінде, екі және үш мономер байланыстары бөлінеді және молекулалар өзара біріге отырып, тағы да ұзарады.

Блоқты, эмульсиялы, лак және газбен полимерлеу тәсілдері кеңінен таралды.

Полимерлеудің болкті тәсілі, қоспадан алдын ала тазартылған сұйық мономер катализатормен араластырылады, белгілі температураға дейін қыздырылған пішінге құйылады, сосын осы температурада полимерлеу үдерісі аяқталғанға дейін ұстап тұрылады. Нәтижесінде, материалдың қатты блоктары алынады, олар бұдан әрі қайта өңдеуге жөнелтіледі.

Осында йтсілмен полистирол, полиметилметакрилат (оргшыны) алынады.

Полимерлеудің эмульсиялық тәсілі, бастапқы сұйық мономер, бұл мономерде ерімейтін, басқа сұйықтыққа өлшенген эмульгатор<sup>1</sup> арқылы ұсақ тамшыларға (су, бензин және т.б.) айналады.

---

<sup>1</sup> Эмульгаторлар — эмульсиялар түзуге ықпал ететін заттар; эмульгаторлар сабын, желатин және көптеген басқа синтетикалық заттар болып саналады.

Алынған эмульсиялар<sup>1</sup> инициаторға<sup>2</sup> және массаға температура қызғанға дейін енгізіледі, содан кейін химиялық реакци басталады. Эмульсиын полимерлеу үдерісінде үнемі араластырылады. Нәтижесінде, шамалы ласталған эмульгатормен ұнтақ тәрізді полимер алынады, бұл оның диэлектрлі қасиетін төмендетеді. Содан кйеін ұнтақ түйіршіктелуге ұшырайды.

Осы тәсілмен поливинилхлорид, нитрон алынады.

Полимерлеудің лак тәсілі, тікелей мономерде жүзеге асырылады, онда белгілі еріткіште ериді.

Осы тәсілмен получают поливинилацетат алынады.

Газбен полимерлеу тәсілі, 200 °С жуық температурады және жоғары қысымда катализатор болған кезде газ күйінде жүзеге асырылады. Бұл тәсіл, жоғарыда атап көрсетілген тәсілдердің ешбіреуімен мономер полимерленбегенде қолданылады.

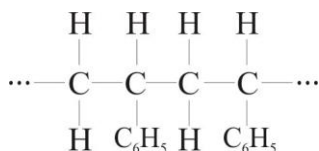
Осы тәсілмен жоғары қысымды полиэтилен алынады.

Полимерленген синтетикаоық полимерлерге полимерді көмірсутектер, фторорганикалық полимерлер, кремнийорганикалық полимерлер (полисилоксаны) жатады.

**Полимерлі көмірсутектер.** Оларға полистирол, полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид (ПВХ), винипласт, полиметилметакрилат (оргшыны, плексиглас) және т.б. жатады.

Полистирол — бұл қатты ашық түсті зат, жоғары электр оқушаулағыш қасиеті бар полярленбеген диэлектрик. Ол әртүрлі инициаторлар (тотықтар, гидрототықтар) болғанда, мономерлі стиролді полимерлейтін өнім болып саналады:

Полистироді алу тәсілі бойынша блокті және эмульсиялы деп бөлінеді. Полистирол келесі қасиеттерге: жұмсарту температурасы  $T_{жұм} = 110... 120$  °С; Мартенс жылу тұрақтылығы — 78...80 °С;



төмен гигроскопиялық; жоғары суға тұрақтылық; диэлектрлі жоғалу бұрышының ең аз тангенстік мәні  $\text{tg}\delta$  (жиілікте  $50...10^7$  Гц  $\text{tg}\delta = 0,0002...0,0006$ );

<sup>1</sup>Эмульсия (*лат.emulsus* — сауылған; ең бірінші эмульсия сүт болды) — басқа сұйқтықтың микроскопиялық тамшысының өлшенген күйінде тұрған сұйықтық.

<sup>2</sup>Инициатор — жүйеде сыртқы әсерлер нәтижесінде тізбекті химиялық және ядролы реакцияларды бастаушы.

Диэлектрлі өткізгіштік жиілік интервалында 50...109 Гц 2,55...2,52 құрайды; меншікті көлемді кедергі  $\rho_v 10^{14} \dots 10^{17}$  Ом·см; нейтрондар мен  $\gamma$ -сәуле әсеріне төзімді; спиртте, парфинді көмрсутектерде ерімейді, сілті мен бір қатар қышқылдың әрекетіне төзімді; электрлі қасиеті, оның диэлектрик жоғалу ерекшелігі, полимерлеу әдісіне тәуелді.

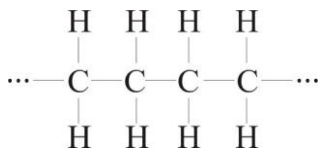
Полистиролдің кемшіліктеірне, төмен температурады сынғыштық; жарықшақтардың түзілуімен ескіруге бейімділігі; хош иісті көмірсутектерде ерігіштігі (бензолде, толуолде), хлороформде, концентрацияланған қышқылда; қыздыруға аз тұрақтылық.

Полистиролдің жылу тұрақтылығы мен механикалық беріктілігі, стиролдің басқа мономерлермен сополимерленуімен және мезаникалық беріктілігімен және оның каучукпен бірігуімен артады. Стирол сополимерлері анағұрлым жоғары жылу тұрақтылыққа, механикалық беріктілігімен ерекшеленеді, бірақ олардың эиэлектрлік қасиеті төмен болмайды.

Полистирол жоғары жиілікті ең жақсы диэлектрик болып табылады. Ол индуктивті орауыштарды, радиоқабылдағыштар мен теледидарлар тұрқы, қайта қосқыштар тақтасын әзірлеу, кабельдер мен конденсаторларды оқшаулау үшін қолданылады.

Блокті жұмсартылған полистиролден тарту арқылы электроқшаулау жіптері және иілімді полистрольді қабықтарды алады. Радиобөлшектеріне арналған полистирольді қабық ашық түсті, беті тазартылған күйінде, қуыссыз, сынусыз, жарықшақтар мен тесіктерсіз болуы қажет.

Полистиролден әзірленген бөлшектер қысыммен, нығыздалуымен және мезаникалық өндеумен бақыту арқылы алынады. Бөлшектерді дайындағаннан кейін 2.3 с. ішінде 70...80 °C температурада термоөндеуге ұшырайды, содан кейін ішкі кернеуді



алып тастау үшін және жарықшақтардың түзілуін ескерту үшін салқындатылады.

Полиэтилен — қатты ақ немесе ашық-сұр түсті, иіссіз, полярленбеген, этилен газін полимерлеу реакциясы нәтижесінде алынған диэлектрик:

Электрлі оқшаулау қасиеттері, полистриол секілді жоғары, тек жоғары тұрақтылығымен ерекшеленеді. Полистиролмен салыстырғанда, полиэтилендер құрамында біршама кристаллды күйлер болады.

Полиэтилен жоғары аязға төзімділікке ие (-70 °C температурасы иілімділігін сақтайды); жоғары ылғалға төзімділігімен (гигироскопиялық емес);



Мықты қышқылдар әрекетіне тұрақты (азоттан басқа), сілті және көптеген еріткіштер; бөлме температурасында бір де бір еріткіште ерімейді; зенге төзімді; газ өткізбейді; сызылуыға және дірілге тұрақты; жалында жанады және балқыды; шекті жұмыс температурасы 100 °С (60 °С температурадан жоғары қыздырған кезде ғана тығыздылығы кемиді) құрайды. Молекулалардың электрлі симметриясы салдарынан жоғары электрлі қасиеттерге ие, мүлде жиілігі және температурасымен өзгермейді. Меншікті электр кедергісі  $10^{17}$  Ом·см-ді құрайды; 50 Гц жиілікте диэлектрлі жоғалу бұрышының тангенсі — 2,3.

Полиэтилен кемшіліктеріне жылу ескіру жатады, ол бұйымның бетіне жарықшақтардың түзілуіне әкеліп соқтырады; 80 °С дейінгі және одан жоғары температураға дейін қыздыру кезінде ол хош иісті және хлорлы көмірсутекте ериді; күкірт қышқылы концентрациясының әсерінен қараяды, ал концентрацияланған азот қышқылында тіпті бөлме температурасында, өз массасын 4,6 % ұлғайта отырып, 85 тәулік ішінде ісінеді; жылудың әсерінен, ультракүлгін сәулелену, ауа оттегісі ескіреді; күшті электр өрістерінде оқшаулану сапасын төмендететін, құрылымдық өзгерістер жүреді.

Қажетті қасиеттері бар электрлі оқшауланған материалдарды алу үшін полиэтиленді бір – бірімен үш түрмен немесе басқа полимерлермен араластырады, сонымен бірге иондалған сәулененуге ұшыратады.

Жоғары электрлі оқшаулау қасиеттерінің арқасында полиэтилен, орауыштардың, жоғары жиіліктегі тізбектерде жұмыс істейтін бөлшектерді әзірлеу үшін құрастырмды матеиал ретінде кеңінен қолданылады.

Қалыңдығы 0,02-ден 0,2 мм –ге дейінгі полиэтилен қабықшалары, кабельдер мен сымдар әзірлеу үшін қолданылады. Микроэлектроникада полиэтилен түтіктер жалғастырғыш құбыршектер ретінде, әртүрлі газдарды тазарту үшін қондырғыларда, с онымен қатар ерекше таза суларды беру және құю үшін арналған құбыр желілерінде және сақтауға арналған ыдыс-аяқтарды, сұйық органикалық емес химикаттарды тасымалдау үшін арналған ыдыстарды әзірлеу үшін қолданылады.

Полиэтиленді өнеркәсіптік жолмен алудың үш негізгі түрі белгілі:

- 300 МПа жоғары қысымда және температуре около 200 °С жуық температурада, инициаторлардың қатысуымен, (оттегі, органикалық тотықтар) этилендерді полимерлеу. Осындай әдіспе алынған полиэтилен *қысымы жоғары полиэтилен* деп аталады. Ол 55...67 % кристаллды күй және түсіз және боялған күйде шығарылады;

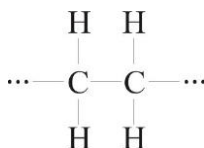
- төмен температурада (0,3.0,6 МПа) және 80 °С жуық температурада металл органикалық катализаторлардың қатысуымен этилендерді полимерлеу. Осындай әдіспен алынған полиэтилен *төмен қысымды полиэтилен* деп аталады. Оның 75...85

% кристаллды күй болады және жоғары қысымды полиэтиленге қарағанда, анағұрлым жоғары механикалық қасиеттерге және жоғары балқу температурасына ие;

• 40 °С атмосфералық қысымда және 150 °С жуық температурада, айнмалы валентті металл оксидтерін қолданып, этилендерді полимерлеу. Осындай тәсілмен алынған полиэтилен *орташа қысымдағы полиэтилен* деп аталады. Ол анағұрлым тізбектелген құрылымға ие және 95 % дейінгі кристалл күйге ие.

Полиэтиленнен бұйымдар әзірлеу әдістерінің бірі, 150...180 °С температурада қысымның әсерінен балқыту болып табылады. Металлдарлы өңдеу үшін қолданылатын полиэтиленнен дайындалатын тілімшелер, блоктар, табақшалар мен білікшелер бiлдектерде кесу, бұрғылау, фрезерлеу үшін қолданылады.

Полипропилен — сызықтық полярлі емес полимер, пропилен газыын полимерлеу арқылы төмен қысымды этиленді полимерлеуге ұқсас алынады:



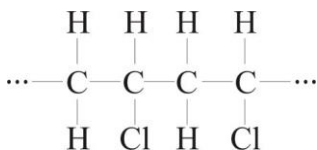
Ол полиэтилен сияқты электрлі оқшаулау қасиеттеріне ие.

Полипропилен 160...170 °С жұмсарту температурасына ие (полиэтиленге қарағанда жоғары); жоғары балқу температурасына (200 °С дейін); жоғары суға тұрақтылығына; жақсы механикалық қасиеттерге ие. Ол, полиэтиленген қарағанда, суға анағұрлым төзімді және иілімді; иілгіш (бөлінгендегі ұзаруы 500...700% кұрайды).

Полипропилен біріктірілген қағаз таспалы эиэлектрик ретінде күшті конденсаторларда, таспалы диэлектр ретінде ормалық сымдарда қолданылады.

Полипропилен бұйымда, полиэтилен секілді қайта өңделеді. Оны ұнтақ, түйіршік түрінде шығарады, одан таспа, талшық, маталар мен фасонды бұйымдар алынуы мүмкін.

Поливинилхлорид (ПВХ) — ақ ұсақ дисперлі ұнтақ. Эмульгаторларды қатыстыру арқылы винилхлоридтің газ тәрізді мономерін полимерлеу арқылы алынған сызықтық полярлі полимер, (желатин, поливинил спирті) және инициаторлар арқылы (сутегі тотығы, ацетилен тотығы) алынады:



Полярлі құрылым нәтижесінде, поливинилхлорид, полярлі еместермен салыстырғанда төмендетілген электр қасиеттеріне ие, алайда меншікті электр кедергісі, 90 °С дейінгі температураға дейін мүлдем өзгермейді.

Поливинилхлорид суда, бензинде және спиртте ерімейді; дихлорэтан мен метиленхлоридте ериді; ацетон мен бензолда ісінеді.

140 °С жоғары температуралы қыздырғанда, жарықтың әсерінен поливинилхлорид хлорлы сутегін бөлу арқылы ыдырайды. Бөлінген газ адам ағзасына зиян келтіреді және аппараттың тозуына әкеліп соқтырады.

Бұл үдеріс физикалық-механикалық қасиеттердің өзгерімен көрсетіледі: бөліну кезінде қатыстық ұзаруда беріктілік төмендейді; жарықшақтардай пайда болуына әкелетін сынғыштық артады; түсі өзгереді.

Полимерлеу әдісіне байланысты, көбік<sup>1</sup> және латекс<sup>2</sup> поливинилхлориді суспензия жасалады.

*Суспензиялы* поливинилхлоридті, кабельді жарықтнермотұрақты оқшуаланған материалдың, кабельді пластикатты, сонымен бірге винипласты әзірлеу үшін шығарылады.

*Латексті* поливинилхлоридті, берік пластикаттар, жұмсақ таспалар, техникалық пасталар мен оқшуланатын бұйымдар әзірлеу үшін қолданады.

*Винипласт* — қатты, құрамында пластификатты полимер жоқ зат, оны ұнтақ тәрізді немесе таспалы поливинилхлоридті жалынмен нығыздау арқылы алады.

Винипласттің меншікті жұмыс температурасы 80 °С; соғуға жоғары беріктілігі; жақсы мезаникалық беріктілігі; төмен гигроскопиялылығы; жақсы оқшаулау қасиеттеріне; төмен суыққа төзімділігіне және жылу тұрақтылығына ие. Ол бензин, майлар мен спиттер, фенолдардың әсеріне тұрақты; 40 °С температураға дейін қышқылдардың, сілтілердің, тұз ерітінділері мен хлордың әсеріне төзімді.

Винипласт, 165 °С, температурада соғып тығыздау арқылы механикалық өңдеу, дәнекерлеу және желімдеу арқылы қайта өңделеді.

Винипласт таспаларын су тиейтін электр қозғалтқыштарында, катодтар мен анодты тақтайшаларды оқшаулау, аккумулятор батаеряларында және басқа да жоғары ылғалдылықта қышқылдардың әсер ету жағдайында жұмыс сітейтін электр аппараттарында қолданылады.

<sup>1</sup> Суспензия (*лат. suspensio* — асылған) — дисперсті жүйе, екі астан тұрады-сұйық және қатты, ұсақ қатты бөлшектер сұйықтықта өлшенген.

<sup>2</sup> Латекс — құрамында 30 % каучук бар каучукты өсімдік. Өнеркәсіпте синтетикалық латекстер — сулы синтетикалық каучук қолданылады.

Құрастырымдық материал ретінде, винипластті галваникалық ванналар, қышқылға төзімді ыдыстар (қышқылды сақтауға арналған ыдыс, өңделген қышқылдарды, сілтілерді құюға арналған түтікшелер және т.б.)

Поливинилхлоридтердің қасиетін, кең ауқымда, әртүрлі қоспалар (пластификаторларды, тұрақтандырғыштарды, толтырғыштар мен бояғыштарды) қоса отырып, пластикаттарды ала отырып өлшеуге болады. Құрылымдағы пластификаторлардың ұлғаюымен, пластикаттардың тығыздығы кемиді, қатыстық ұзартылуы өседі, ал диэлектрлік қасиеті төмендейді, алайда олар анағұрлы жоғары салқынға төзімділік пен ( $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ –қа дейін) және үлкен иілігіштікке ие.

Поливинилхлоридті пластикатты, оқшауландырылған жолақтар, құрастыру және телефон сымдары, арнайы жарықтермикалық тұрақты оқушауланған және құбыршекті материалдар ретінде түтік ретінде қолданады. Электр доғасының әсерінен, поливинилхлорид көп көлемді газ тәрізді өнімдер бөледі, бұл доғаның сөнуіне әкеліп соқтырады

Полиметилметакрилат (орғышын, плексиглас) — ашық түсті түссіз материал, полярлі диэлектрик, оны метакрилді қышқыл эфирлері нәтижесінде алады.

Полиметилметакрилаттың аз гигроскопиялығы; жоғары химиялық тұрақтылығы бар;  $140\text{...}150\text{ }^{\circ}\text{C}$  температурада арнайы құрылғыларда жеңіл дәнекерленеді;  $0,5\text{...}1,0\text{ МПа}$  дәнекерленетін беттегі қысымды қолдану арқылы; полярлі еріткіштерге жабысады.

Органикалық шыны құрылғыларды, шкалалар, линзалардың тұрқын әзірлеу, сонымен қатар доғалы сөнетін материал ретінде қолданылады, себебі ол электр доғасының әсерінен көп көлемді газдар ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), булар бөледі.

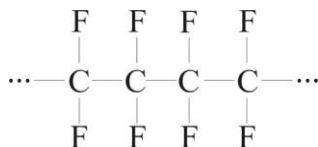
Фторорганикалық полимерлер. Органикалық синтетикалық полимерлердің елеулі кемшілігі төмен жылуға тұрақтылық болып саналады. Көптеген органикалық полимерлер үшін қол жетімді жұмыс температурасы  $-60$  -тан  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа дейінгі ауқымда болады. Бұдан басқа, органикалық полимерлердің негізін құрайтын көміртегі, ауада болады және қыздыру кезінде тотығуы және полимердің бұзылуына алып келуі мүмкін. Жылуға тұрақтылықты арттыру үшін органикалық полимерлер негізі ретінде көміртегіден басқа, фторды, кремнийді титанды қолданады. Осы металлдардың ең көп таралғаны фторорганикалық (фторопласттар) және кремний органикалық полимерлер (полисилоксандар) ие болды.

*Фторопласттар* — фтортуынды этилен кристаллды полимерлері, онда сутегу атомдары фтормен алмастырылған. Молекулаға фтор полимерін қосу, оны көміртегімен байланыстырады, алынатын заттын жылу тұрақтылығын және

химиялық тұрақтылығын арттырады. Оларды жоғары қысымда, газ тәрізді төмен қайнайтын мономерлерді полимерлеу арқылы алады.

Радиотехникада фторопласт-4 (политетрафторэтилен) және фторопласт-3 (политрифторхлорэтилен) көп қолданады.

*Фторопласт-4* — басқа органикалық полимерлерге қарағанда, анағұрлым тығыздығы жоғары, ақ немесе сұр түсті материал. 4



саны

мономер молекуласындағы фтор атомдарының санын білдіреді. Ол сонымен бірге «фторлон-4», ал шет елде- «тефлон» атауымен шығарылады:

Фторопласт-4 — барлық белгілі полимерлерге қарағанда анағұрлым химиялық төзімді материал. Оның, алтынға, платинаға, шыныға, фосфорға және эмальге және тағы да басқа ең күшті әрекет ететін өткір ортада тозудан қорғайтын материалдарға қарағанда, химиялық әсерлерге тұрақтылығы жоғары. Фторопласт-4 келесі қасиеттерге ие: жұмыс температурасының ауқымы  $-250$ -ден  $+250$  °С-ке дейін; жоғары диэлектрлі қасиеті, температураға аз тәуелді; жақсы вакуумды қасиетке ие; сумен жібімейді және онымен ісінбейді; бір де бір еріткіште ерімейді; жанбайды; электр оқшаулағыш қасиеті бойынша ең жақсы танымал диэлектр қатарына жатады; тропикалық жағдайларға өте төзімді және өңнездену әсеріне ұшырамайды; жиіліктегі диэлектрлі өткізгіштігі  $50 \cdot 10^{10}$  Гц  $\epsilon = 1 \dots 2,2$ ; жиілікте диэлектрлі жоғалу бұрышының тангенсі  $50 \dots 10^{10}$  Гц  $\text{tg} \delta = (2 \dots 2,5) \cdot 10^{-4}$ .

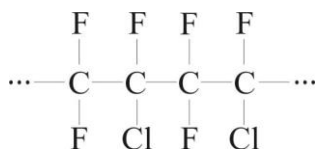
Фторопласт-4 кемшіліктеріне, төмен радиациялық тұрақтылық; күрделі қайта өңдеу технологиясы; жоғары баға;  $400$  °С-тан артық температурада ыдырау нәтижесінде улы газ тәрізді фтордың бөлінуі; салыстырмалы түрде жұмсақтығы мен суықта ағуға бейімділігі.

Фторопласт-4 жұқа конденсаторлы және электр оқшаулағыш таспалар әзірлейді, қалыңдығы  $5 \dots 200$  мкм. Дайындау әдісіне байланысты, бағдарлы және бағдарлы емес таспалар шығарылады.

Радиотехникада фторопластан, өткір орталарда технологиялық операциялар орындау үшін химиялық ыдыстар әзірлейді; температуралық сынау үшін жабдықтар дайындайды; себебі олар кең ауқымда шұғыл температураны көтереді; вакуумды шұралар әзірлейді.

*Фторопласт-3 (политрифторхлорэтилен)* — трихлорэтилен полимери. Бір атомды фторды хлор атомына ауыстыру нәтижесінде

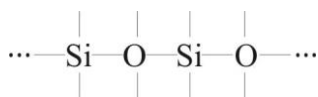
полярды диэлектрикке айналады:



Фторопласт-3 келесі қасиеттерге ие: төменгі меншікті температураға ие 195 °С; анағұрлым жоғары механикалық қасиет, фторопласта-4 қарағанда, ылғалға төзімділігі жоғары, фторопласта-4 қарағанда; қызыдыруға тұрақтылығы, фторопласта-4 қарағанда төмен (125 °С құрайды); диэлектрлі өткізгіштігі жиілікте, 50 Гц  $\epsilon = 3,0$ , жиілікте  $10^3$  Гц — 2,8, жиілікте  $10^6$  Гц — 2,7...2,5; жиілікте диэлектрлі жоғалу бұрышының тангенсі 50 Гц  $\text{tg}\delta = 0,015$ , жиілікте  $10^3$  Гц — 0,024, жиілікте  $10^6$  Гц — 0,010. Ол жоғары химиялық тұрақтылыққа ие; бірақ фторопласта-4 қарағанда жақсы ылғалға төзімділігі фторопласта-4 қарағанда төмен; жоғары доғал тұрақтылығы фторопластан-4 электрлі қасиеттері бойынша артта қалады; фторопласта-4 арзан; фторопласта-3 алу технологиясы қарапайым, фторопласта-4 қарағанда. Фторопласт-3 ақ түсті ұнтақ түрінде немесе ашық түсті мүйіз тәрізді қодан жасалған материалдан шығарылады

Ол тозуға қарсы беттерді суспенциялау түрінде қолданылады. Фторопласта-3 спиртті суспензиялары, металлдарды төсеу үшін, соның ішінде мыста, керамикада қолданады. Бұл төсемдер өз қасиетін 100 °С-тан жоғары температурада сақтайды. Фторопласта-3 сымдар мен кабельдерді оқшаулау, ылғалды және өткір ортада 150 °температурада пайдалануға мүмкіндік береді.

Кремнийорганикалық полимерлер (полисилоксандар). Олар, органикалық және органикалық емес заттар арасындағы аралық бөлік болып саналады. Оның құрамына, органикалық көміртегі полимерлерінен басқа, (С) кремний (Si) кіреді. Олардың молекуласының құрылымы кремний атомы мен оттегі кезектестіре отырып, силиконды тізбек түзеді:



Крем атомы оттегімен байланысты және одан әрі тотығуға бейім.

Кремний органикалық материалдардағы көміртегі атомы тек молекуланың бүйір тізбектерінде болады, сондықтан да көміртегі тотыққан кезде молекуланың негізгі тізбегі тұзылады.

Кремний полимерінің қатысуымен оның қасиеттеріне қарай органикалық емес материалдарға жуықтайды, ал көміртегі

болғанда-органикалық болады.

Кремний органикалық полимерлерітермопластикалық сызықтық құрылымда сонымен бірге, термореактивті кеңістіктік құрылымдар түзеді. Силиконды байланыс энергиясы Si—O, көміртегі атомдары арасындағы энергиядан көп C—C, бұл кремний органикалық полимерлерінің, қарастырылғандарға қарағанда, анағұрлым жоғары қыздыруға тұрақтылығын көрсетеді. Бұдан басқа, оттегімен байланысқан кремний атомы одан әрі тотықпайды, сол кебепті полимерді түзетін молекулалар қыздарған кезде ыдырайды және зат шамадан тыс қыздыруға тұрақтылыққа ие болады.

Кремнийорганикалық полимері келесі сипаттамаларға ие: жоғары оқшаулау қасиетіне (диэлектрлі өткізгіш жиілікте  $50 \text{ Гц } \epsilon = 3,5$ ; жиілік аралығындағы диэлектрлі жрғалы бұрыштарының тангенсі  $50 \dots 10^4 \text{ Гц } \text{tg} \delta = 100 \dots 300$ ); жоғары доғалдық; жоғары жылу тұрақтылық ( $200 \text{ }^\circ\text{C}$  дейінгі температураны ұзақ уақыт ұстап тұрады және қысқа мерзімде —  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  температураға дейін); суға тұрақтылық гидрофобты), сумен мүлде жібімейді, өйткені жұқа тасрпа бетінде сіңбейді және суды өткізбейді; өнезді бұзылуға тұрақты; аязға төзімді; нашардгезия<sup>1</sup> кбасқа материалдар сияқты; төмен тұрақтылық; жоғары баға.

Бастапқы затқа байланысты және дайындау технологиясына байланысты кремнийорганикалық пластмассалар, желімдер, компаунтар алынады.

### 5.2.2. Поликонденсациялық синтетикалық полимерлер

Поликонденсациялық реакцияда екі химиялық элементтен кем емес элемент қатысады. Нәтижесінде кеңістікті құрылымды полимерлер түзеді, олардан берік әрі жылуға төзімді материалдар алынады. Поликонденсациялау өнімдері фенолформальдегидті, полиэфирлі, кремнийорганикалық, эпоксидті шайыр, полиамидтер және полиуретандар боылып саналады.

**Фенолформальдегидті шайырлар.** Фенолформальдегидті шайырларды формальдегид су ерітіндісінде фенолды поликонденсациялау арқылы  $70 \dots 90 \text{ }^\circ\text{C}$  температурады катализаторды қатыстыру арқылы (қышқыл мен сілті) алады. Олар термореактивті, сондай-ақ термоиәлімді болып келеді.

Фенолформальдегидті шайырлардың маңызды ерекшелігі, олардың әртүрлі толықтырғыштармен фенорпластарды түзуге қабілеті болып табылады, жоғары беріктілікке ие.

---

<sup>1</sup> Адгезия (*лат.* adhaesio — жабысу — екі әр текті қатты немесе сұйық заттар бетінің жабысуы).

Жақсы электр оқшаулау қасиеттеріне (меншікті электр кедергісі  $\rho = 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ; диэлектрлі өткізгіштікке жиілікте  $50 \text{ Гц } \epsilon = 5,5$ ; жиілікті ауқымда диэлектрлі жоғалу бұрышы тангенсіне  $50 \dots 10^4 \text{ tg} \delta = 60 \dots 100$ ); ұзақ уақыт бойы жоғары температурады жұмыс істеу қабілетінге; кез келген климат жағдайында жұмыс істеуге төзімді.

Фенолформальдегидті шайырлар көптеген полимерлермен біріге алады және сополимерлер түзеді және фенопласт және басқа да олармен біріккен жағымды қасиеттерге ие.

Бұл шайырлар резолді және тиейтін болып бөлінеді.

Резольді шайырлар — термореактивті материалдар, полярлі диэлектриктер.

Егер полиурконденсациялау үдерісі сілтінің қатысуымен, формальдегидтердің артылуына әкелетін болса, онда шайырды алады, ол *бокелитті* деп аталады. Ол үш күйде болады: резол (қатты және сұйық күйде, органикалық еріткіштерде еруі мүмкін және балқиды); резитол (қатты шайыр, органикалық еріткіштерде ерімейді, бірақ онда ісінеді; балқымайды, бірақ жоғары температурады жұмсарады); иісі шығады (қатты шайыр ерітіндіде ісінбейді, балқымайды, мезханикалық түрде берік, жақсы оқшаулану қасиетіне ие, суда және әлсіз ортада, бензин мен майға төзімді).

Резольді шайырларды қабатты пластиктер, текстолит, гетинакс секілді әзірлеу үшін; құрастырымды нығыздалған материалдарда (фенопластов); түтіктер, желімдер және басқа да материалдар әзірлеу үшін қолданады.

Егер қышқыл катализатор қатысуымен фенол артылған жағдайда (тұз және сілті қышқылы) онда қатты, сынғыш, ашық термопластик шайырлар алады тиелетін (тиеу) деп аталады.

Тиеулер термотұрақты;  $100 \dots 120 \text{ }^\circ\text{C}$  дейінгі температурада балқиды; спиртте, ацетонда және басқа да органикалық еріткіштерде ериді. Олар жоғары емес электр оқшалау қасиеттеріне ие, әсіресе ылғалды ауада; ұшқын разрядтарына тұрақтылығы төмен.

Тиелетін шайырлар бір-бірінен құрамындағы фенолдармен (2 - ден 9 % дейін) ерекшеленеді.  $10 \dots 15 \text{ \%}$ -го уротропинді қосқанда, олар термоактивті резитке ауысады.

Тиелетін шайырларды құрылғылардың, тұрқын, тақталар, жалғағыштар, әртүрлі батырмалар мен радиоаппараттардың саптары мен басқару батырмаларын әзірлеу үшін<sup>1</sup> ретінде қолданады.

---

<sup>1</sup> Шеллак (*гол. scheilak*) — кейбір тропикалық өсімдіктердің балауса бұтақтарында мекендейтін жәндіктерден бөлінетін шайыр; лактар мен политулар дайындау үшін қолданылады.



Полиэфирлі шайырлар. Полиэфирлі шайырларды түрлі көпәтомдық спирттердің (гликоль, глицерин және т.б.) және көпнегізді органикалық қышқылдардың (фталъ, малеин және т.б.) немесе олардың ангедридтерінің поликонденсация реакциясы нәтижесінде алады. Физикалық қасиеттері бойынша олар табиғи шайырларға жақын (канифоль<sup>1</sup>, шеллак). Полиэфирлі шайырлардың үлестік электрлік кедергісі  $\rho = 10^{13}$  Ом·см; 50 Гц жиіліктегі диэлектрлік өткізгіштігі  $\epsilon = 4$ ; 50...10<sup>4</sup> жиілік аралығындағы диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі  $\text{tg}\delta = 20...200$ .

Полиэфирлі шайырлардың ішінде лавсан шайыры (полиэтилентетрафталат, лавсан), глифталъ шайыры, поликарбонаттар кеңінен таралған.

Лавсан шайырын (полиэтилентетрафталат, лавсан) терефталъ қышқылы мен этиленгликольдің поликонденсациясы арқылы алады. Лавсан кристаллды не аморфты құрылымдағы термопластикалық диэлектрик болып табылады.

Терефталъ қышқылы мен этиленгликольдің поликонденсация реакциясы нәтижесінде баяу салқындатқан кезде мөлдір емес кристалл лавсан пайда болады (кристалл фазасы 75%-ға дейін).

Кристалл лавсанның балку температурасы жоғары — 265 °С; ауқымды температуралар диапазонында механикалық беріктігі жоғары; электроқшаулағыш қасиеттері жақсы; әлсіз сілтілердің, тұз қышқылының, эфирлердің, майлардың, фенолдың, хлордың әрекетіне төзімді; үлбірінің жарық өткізгіштігі әйнектікіндей. Кристалл лавсан күн сәулесінің әсерінен ескіреді, ылғал тартқыштығы мен газ өткізгіштігі төмен.

Кристалл құрылымды лавсанды талшықтарды, иірімжіптерді, маталарды, жұқа электроқшаулағыш үлбірлерді дайындау үшін қолданады. Талшықтар мен үлбірлерді сымдар мен шоғырсымдарды оқшаулау үшін пайдаланады. Лавсанды конденсаторлық үлбірдің электрлік беріктігі мен қызуға төзімділігі жоғары.

Терефталъ қышқылының, этиленгликольдің, глицерин мен қатайтқыштың (бутилтитанат) поликонденсация реакциясы нәтижесінде жылдам суытқан кезде мөлдір аморфтық лавсанды алады.

Аморфтық лавсанды эмальдандырылған сымдарды дайындағанда, электроқшаулағыш лактарды өндіргенде пайдаланады. Лавсан лактарының үлбірлері термореактивті, яғни қызған кезде жұмсармайды.

---

<sup>1</sup> Канифоль (Kolophonіа *gr.* сөзі — Колофон шайыры (Шағын Азиядағы Колофон атты ертедегі грек қаласының атауы бойынша Колофон атты ежелгі грек қаласының атауы бойынша) — морт сынғыш сары-қызыл не қара-қызыл түсті әйнек тәрізді зат, қылқан ағаш шайырының құрамбөлігі.

Глифталъ шайырын қарапайым ұшатомдық глицерин спиртінен және фталъ ангидридiнiң артық мөлшерiнен алюминий қазандарда 150...200 °С температурада алады. Бұл дипольді-релаксациялық шығыны анық байқалған термореактивті шайырлар.

Глифталъ шайырларының қызуға төзімділігі жоғары (130 °С температураға дейін); иілгіштігі жоғары; қаттылығы жетерліктей жоғары; жабыстырғыш қасиеті жоғары; толық емес полимерлендіру кезінде ылғал тартқыштығы жоғары; беттік разрядтарға төзімді; органикалық еріткіштерде ерігіш; қыздырғанда жұмсарады.

Глифталъ шайырын үлбірлері қыздырылған минералдық майға төзімді жабыстырғыш, сіндіргіш және жабындық лактарға негіз ретінде; лактарды, пластмассаларды, желімдерді дайындау үшін қолданады.

Поликарбонаттар – бұл көмір қышқылының полиэфирлері. Поликарбонаттар жақсы электрлік және механикалық қасиеттерге ие; жұмсару температурасы салыстырмалы түрде жоғары (кристалл поликарбонат 140 °С температурада жұмсарады); химиялық төзімділігі жақсы; ылғал тартқыштығы жоғары емес.

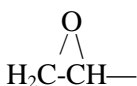
Поликарбонаттарды электрлік машиналарды оқшаулауға арналған қабатты пластиктерді, компаундтарды, үлбірлерді дайындау үшін қолданады.

**Кремнийорганикалық шайырлар.** Кеңістікті құрылымы бар кремнийорганикалық полимерлер (шайырлар) термореактивті болып табылады (5.2.1-бөлімшені қар.).

Кремнийорганикалық шайырлардың қызуға төзімділігі жоғары (250 °С температураға дейін); суыққа төзімділігі жоғары (-60 °С температураға дейін); диэлектрлік қасиеттері жақсы, олардың температураға тәуелділігі төмен; ылғал тартқыштығы төмен; химиялық инертті.

Өнеркәсіпте кремнийорганикалық шайырларды әйнектестолиттер, слюдян оқшауламасы, компаундтар, кремнийорганикалық лак, жабынды эмальдар, резеңкеәйнекматалар және т.б. сынды электроқшаулағыш материалдарды әзірлеу үшін қолданады.

**Эпоксидті шайырлар.** Эпоксидті шайырларды сілтілік ортада глицериндерді екіатомдық немесе көпатомдық фенолдармен хлорлау нәтижесінде алады. Эпоксидті шайырлар құрылымында эпоксидті топтар кемінде екеу болады, олардың байланысуының нәтижесінде олар қатайды:



Таза күйінде эпоксидті шайырлар көптеген органикалық

еріткіштерде (ацетонда, толуолда, хлорланған көмірсутектерде және т.б.) еритін; суда ерімейтін; спиртте аз еритін; қасиеттерін өзгертпей ұзақ сақталатын термопластикалық аз балқитын сұйық материалдарды білдіреді.

Қатайтқыштарды қосқан соң шайырлар кеңістікті құрылымға өзгеріп, тез қатайды. Қатаю жанама өнімдерді (суды және басқа төменмолекулалық заттарды) бөлусіз полимерлендіру реакциясының нәтижесінде болады. Қатайған эпоксидті шайырлар терморреактивті болып табылады да монолиттік, су өткізбейтін оқшаулау қабатын құруы мүмкін. Қатайтқыш түріне байланысты эпоксидті шайырлар бөлме температурасында қатай алады («салқын қатаю») немесе 80-нен 150 °С-ға дейін қыздырған кезде, сондай-ақ атмосфералық не жоғары қысым әсерінен қатайды. Салқын қатаю үшін құрамында азоты бар заттарды, ал қыздырып қатайту үшін – органикалық қышқылдардың ангидридтерін пайдаланады. Қатайтқышты таңдау қатайған эпоксидті шайыр қасиетіне әсер етеді.

Қатайған эпоксидті шайырлар салыстырмалы түрде азғантай тұну қасиетіне ие (шамамен 0,5...2%); пластмассаларға, әйнектерге, фарморға, металлдарға адгезиясы жоғары; қызуға төзімділігі кремнийорганикалық шайырларға қарағанда, жоғары; механикалық қасиеттері кремнийорганикалық шайырларға қарағанда жоғары; құны кремнийорганикалық шайырларға қарағанда төмен.

Көптеген эпоксидті шайырлар уытты әрі тері ауруларын туғызуы мүмкін. Олармен жұмыс жасағанда қауіпсіздік техникасы ережелерін сақтаған жөн. Қатайған эпоксидті шайырлар адам организміне зиянды әсер тигізбей қалады.

Эпоксидті шайырларды лактарды, желімдерді, құйылма компаундтарды әзірлеу үшін қолданады.

**Полиамидтер.** Полиамидтер — құрылымы сызықтық термосозылымдық полярлық диэлектриктер. Олардың механикалық беріктігі жоғары (үйкеліс коэффициенті төмен, абразивтік төзімділік); жабысқақтығы жоғары; жоғары температура мен ылғалдылық әсерінен қатты өзгертін жоғары емес электрлік параметрлерге ие (үлестік электрлік кедергісі  $\rho = 10^{13}$  Ом·см; 50 Гц жиіліктегі диэлектрлік өткізгіштігі  $\epsilon = 3,5; 50 \cdot 10^4$  Гц жиілік аралығындағы диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі  $\text{tg}\delta = 150 \dots 350$ ); ылғал тартқыштығы жоғары; радиациялық төзімділігі төмен; жарыққа төзімділігі төмен.

Олар жоғары химиялық беріктік қасиетіне ие (сілтілердің, майлардың және көмірсутектердің әсеріне төзімді); еріткіштердің (крезолдың, балқытылған фенолдың) шектеулі мөлшерінде ғана ериді.

Полиамидтердің ішінде капрон мен найлон кеңірек таралған.

Капрон 215...220 °C температурада жұмсарады әрі сүртілуге беріктігі, төзімділігі және ылғал тартқыштығы бойынша кездеме талшықтан айтарлықтай басым синтетикалық талшықты алу үшін қолданылады.

Найлон капронға қарағанда біршама жоғары температурада жұмсарады.

Полиамидтерден тоттануға төзімді оқшаулауыш бекіткіш бұрандамаларды, сомындарды, шайбаларды, ажыратқыш бөлшектерін де дайындайды.

Полиамидтерді ұнтақ, ақтан ақ-сары және ақ-сұр түске дейін мүйіз тәрізді түйіршіктер түрінде шығарады. Оларды бұйымға қысыммен құю арқылы өндейді. Полиамидтер тар температура диапазонында қатаятындықтан, құятын қалыпты материал суып қалмас үшін өте тез толтыру қажет.

**Полиимидтер.** *Полиимидтер* — қызуға төзімділігі жоғары (300 °C дейінгі температураны ұзақ ұстап тұрады, ал қысқа уақыт - 500 °C дейін); суыққа төзімділігі өте жоғары (-269 °C температураға дейін жұмысқа қабілеттілігін сақтайды); диэлектрлік қасиеттері жақсы (үлестік электрлік кедергісі  $\rho = 10^{18}$  Ом·см) органикалық полимерлер.

Полиимидті үлбірлерді конденсаторларда, қызуға төзімді шоғырсымдарда, микросұлбаларды төсеме ретінде қолданады; полиимидті лактарды сымдарды эмальдау және шарғыны сіңіріп алу үшін, сондай-ақ көпкристаллды үлкен интегралды сұлбаларда қабатаралық оқшаулама ретінде пайдаланады.

**Полиуретандар.** *Полиуретаны* қатайған соң термореактивті полимерлерге айналатын сызықтық термосозылымдық материалдарды білдіреді.

Полиуретандардың балку температурасы полиамидтерге қарағанда төмен; полиамидтерге қарағанда, қышқылдануға, қышқылдардың, ылғалдың және аяздың әсеріне төзімдірек; полиамидтерге қарағанда, электроқшаулағыш қасиеттері жақсы (үлестік электрлік кедергісі  $\rho = 2 \cdot 10^{14}$  Ом·см; диэлектрлік өткізгіштігі  $\epsilon = 4,5$ ; диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі  $\text{tg}\delta = 0,014 \dots 0,02$ ); жоғары ылғалдылық жағдайларында және қайнаған судың ұзақ әсерінен кейін жоғары электроқшаулағыш қасиеттерін сақтай алады; көптеген органикалық еріткіштердің (бензиннің, бензолдың, майдың, спирттердің) әсеріне төзімді.

Полиуретандарды табиғи жібектен жасалған жіптерге қарағанда, созылған кезде беріктігі екі есе жоғары маталарды, иірімжіптерді, жіптерді дайындау үшін; сымдарды эмальдау үшін; жабындық лактарды, құйма компаундтарды өндірген кезде; пенопластарды, каучуктерді, желімдерді, үлбірлерді, тоттануға қарсы жабындарды алу үшін қолданады. Механикалық беріктігі

жеткілікті, электрлік қасиеттері жақсы, жылу және дыбыс оқшаулауы жоғары пенополиуретандар кеңінен қолданылуда. Оларды радиоблоктар мен шағын габариттік құрылғыларды бітеу, сондай-ақ және оларды дірілден, жылудан және механикалық жүктемелерден қорғау үшін пайдаланады.

### 5.2.3. Электрқшаулағыш пластмассалар

Пластикалық массалар (пластмассалар) толығымен немесе жартылай полимерлік қоспалардан тұратын қатты немесе серпімді материалдардың тобын біріктіреді және бұйымдарға олардың пластикалық деформациясын пайдалануға негізделген әдістермен қалыптандырылады.

Пластмассаларды түрлі табиғи және қолдан жасалған шайырлардың негізінде алады. Олар металлдарды, каучукті, әйнекті, жібекті, теріні және басқа материалдарды сәтті алмастырады. Пластмассалар айтарлықтай динамикалық жүктемелерге тартылмайтын бұйымдарды дайындау үшін жеткілікті жоғары механикалық қасиеттерге; жақсы электрқшаулауыш қасиеттерге ие, бұл болса оларды диэлектриктер ретінде пайдалануға мүмкіндік береді; тоттануға төзімділігі жоғары; химиялық төзімділігі жоғары; ылғал тартқыштығы төмен; жеңіл (пластмассалардың тығыздығы әдетте 900...1800 кг/м<sup>3</sup> құрайды). Пластмассалардың үйкеліс коэффициенттерінің диапазоны кең және қажалуға қарсылығы жоғары; оптикалық қасиеттері жақсы және мөлдірлік қасиеті бар.

Пластмассаларды өндіруге арналған негізгі бастапқы шикізат қымбат емес әрі қолжетімді (мұнайдың, табиғи газдың өңделген, қайнатылған тұз өнімдері; талшықтас; құм және т.б.). Пластмассаларды бұйымдарға өңдеу – салыстырмалы түрде қиын емес әрі арзан процесс.

Пластмассалардың негізгі кемшіліктеріне жылжығыштық жатады – материалдың суықта тұрақты механикалық жүктемелер әсерінен баяу қалпын өзгертуі; салыстырмалы жоғары емес жылуға төзімділігі; алмаспа жүктеме кезінде төмендетілген беріктік; басқа материалдармен салыстырғанда жылдам ескіру.

Көп жағдайда пластмассалар қосқыш заттан және толтырғыштан тұрады. Олардың құрамына пластификаторларды, тұрақтандырғыштарды және бояғыштарды енгізеді.

Қосқыш заттар көбінесе пластмассадан жасалған бөлшектердің қасиеттерін айқындайды да өнеркәсіпте «шайырлар» деген жалпы атауға ие болған шығу тегі органикалық және бейорганикалық күрделі химиялық қоспаларды білдіреді. Таза күйінде олар пайдаланылмайды, өйткені қоспаларды қосу пластмассаны біршама арзандатады да пластмассалардан жасалған бөлшектердің физикалық-механикалық қасиеттеріне айтарлықтай

әсер етеді. Органикалық қосқыш ретінде табиғи және синтетикалық

Термопластикалық және термоактивті шайырларды (полимерлерді), кремнийорганикалық және фторорганикалық полимерлер мен қыздырған және қысым түсірген кезде қалпын өзгерту қабілетіне ие басқа да материалдар пайдаланылады. Жекелеген жағдайларда бейорганикалық заттарды да қолданады (цемент, әйнек және т.б.). Пластмассалардағы қосқыш материалдың мөлшері 30...60 % аралығында өзгеріп тұрады.

Қосқыш затпен берік ілінісу қабілетіне ие бола отырып, толтырғыштар пластмассаларға талап етілетін қасиет береді: механикалық беріктік (ағаш ұны, талшықтас), жылу өткізгіштік (ұнтақталған мрамор, кварц), диэлектрлік қасиет (ұнтақталған шақпақ тас немесе кварц), қызуға төзімділік (талшықтас, әйнекталшық).

Толтырғыштарды енгізу пластмассалардың көлемдік шөгуін төмендетеді, алайда ылғал тартқыштығын арттырады да олардың электроқшаулағыш қасиеттерін нашарлатады, сондықтан диэлектрлік сипаттамалары жоғары пластмассаларда толтырғыш көбінесе болмайды. Әдетте пластмассаларда 40...70 % толтырғыш болады.

Пластификаторларды пластмассаларға пластиктілікті және суыққа төзімділікті арттыру үшін енгізеді, сондай-ақ бұйымның сыққан кезде пресс-қалыптың қабырғасына жабысуының алдын алу үшін енгізеді. Алайда, пластификатордың үлкен мөлшері пластмассалардың жылуға төзімділігінің және механикалық төзімділігінің төмендеуіне алып барады.

Пластификаторлар ретінде қайнау температурасы жоғары май тәріздес синтетикалық сұйықтықтарды (стеарин, олеин қышқылы, сульфит целлюлозасы) қолданады.

Тұрақтандырғыштар пластмассалардың өзінің негізгі қасиеттерін ұзақ сақтауына септігін тигізеді.

Бояғыштар пластмассаларға белгілі бір түс береді. Қарасарыдан қоңырға дейінгі түстерді охра мен кропты енгізу жолымен алады. Додалинді енгізгенде пластмассалар қызыл түске, нигрозинді енгізгенде қара түске, ал жасыл бриллиантты енгізгенде – жасыл түске өзгереді. Пластмассаларды түрлі қасиеттері бойынша сыныптайды: қолданылуы, қызуға төзімділігі, химиялық қасиеттері, өңдеу тәсілі, пайдаланылатын қосқыш шайырлар бойынша.

*Қолданылуы бойынша* пластмассаларды құрастырмалық (құрылғы корпустарын, басқару тұтқаларын және басқа бөлшектерді әзірлеу үшін), электроқшаулағыш (шарғы қаңқасы, панельдер, тақталар және т.б. үшін) және арнайы (магнитдиэлектриктер, электрлік-сымды және т.б.).

*Қызуға төзімділігі бойынша* пластмассаларды бірнеше сыныпқа бөледі:

*E* — қызуға төзімділігі 120 °С дейінгі; оған органикалық

толтырғыштары бар фенол- және меламиноформальдегидті шайырлар негізінде жасалған пластмассалар, текстолит, гетинакс;

*B* — қызуға төзімділігі 130 °С дейінгі; оған Е сыныбындағы пластмассалар жатады, бірақ толтырғыштары бейорганикалық;

*F* — қызуға төзімділігі 155 °С дейінгі; оған әйнек немесе талшықтас негізінде жасалған күрделі пластиктер жатады;

*C* — қызуға төзімділігі 180 °С дейінгі; оған кремнийорганикалық байламы бар талшықтас және әйнек негізінде жасалған сығымдалған және қабат пластмассалар жатады.

*Химиялық қасиеттері бойынша* пластмассаларды термопластикті және терморективті деп бөледі.

Термопластикті пластмассалар (термопластылар) температура мен қысым әсерінен балқуға және салқындатқан кезде қажет пішінге өзгеріп, қатаюға қабілетті. Термопластылардан жасалған бұйымдар көп мәрте өңделе алады.

Терморективті пластмассалар температура мен қысым әсерінен жұмсарады, одан әрі қыздырғанда олар алынған пішінін сақтай отырып, балқымайтын және ерімейтін күйге өтеді. Терморективті пластмассалар қайтадан өңдеуге жатпайды.

*Өңдеу тәсілі бойынша* пластмассаларды сығымдалған ұнтақтар және сығымдалған материалдар, парақ және фасонды қат-қабат материалдар және үлбір материалдар деп бөледі.

Терморективті пластмассалардан көптеген бұйымдарды жасау үшін бастапқы материал ретінде ұсақталған, кептірілген, белгілі бір қатынастарда мұқият араластырылған құрамбөлік қоспаларын білдіретін сығымдалған ұнтақтарды алады. Ұнтақты құрғақ, лакты және су-эмульсия тәсілдерімен алады. Құрғақ тәсілде толтырғышты шарлы диірмендерде шайырмен араластырады. Лакты тәсілде шайырды алдымен лакапен араластырады, кейін массаны еріткішті алып тастау үшін кептіреді де ұсақтайды. Су-эмульсия тәсілінде шайырды су эмульсиясына айналдырады, оған толтырғышты қосады, алынған массаны кептіріп, ұсақтайды.

Сығымдалған ұнтақтарды химиялық зауыттарда әзірлейді де тұтынушы зауытына қоршаған ортадан шаң-тозаң, металл қоспалардың және ылғалдың түсуінен қорғау үшін бітеу ыдыста дайын күйінде жеткізеді. Терморективті пластмассаларды 0 °С-ға жақын температурада сақтаған жөн, бұл шайырдың баяу полимерленуіне және аққыштығын жоғалтуына жол бермеу үшін.

Терморективті пластмассалардың шөгуге 0,5...1,0% құрайды, бұны сығымдалған қалыптарды әзірлеген кезде ескеру қажет.

*Пайдаланылатын қосқыш шайырларға* байланысты пластмассаларды кремнийорганикалық, эпоксидті, фенолформальдегидті, эфирлі шайырлар негізінде өндіреді.

Кремнийорганикалық шайырлар негізінде пластмассаларды ыстықтай сығымдау әдісімен дайындайды. Толтырғыш ретінде талшықтасты, әйнекталшықты, ұсақталған кварцты, әйнекұнды және басқа минералдық заттарды пайдаланады.

Кремнийорганикалық пластмассалардың электроөшаулағыш қасиеттері жоғары және тұрақты, қызуға төзімділігі жоғары 300 °С-ға дейін, механикалық қасиеттері жақсы, соққыға беріктігі жоғары, доғаға төзімділігі жоғары. Оларды доғалық және ұшқынды электрлік разрядтар жағдайында жұмыс істейтін радиотехникалық мақсаттағы бөлшектерді (оқшаулау шайбалары, контакторларға арналған доғаны сөндіргіш камералар) әзірлеу үшін қолданады.

Эпоксидті шайырлар негізінде пластмассаларды эпоксидті шайырдан, толтырғыштан, қатайтқыштан және сұйылтқыштан тұратын сығымдау материалын ыстықтай не суықтай сығымдап, кейіннен термиялық өңдеуден өткізу әдістерімен алады. Толтырғыш ретінде фарфор ұнын пайдаланады.

Эпоксидті шайырлар негізінде жасалған пластмассалар жақсы электроқшаулағыш қасиеттерге, жоғары механикалық беріктікке (механикалық қасиеттерін 120...140 °С дейінгі температурада сақтайды), жоғары ылғалға төзімділік, тозуға төзімділік және химиялық төзімділік қасиеттерге ие. Оларды тропикалық ылғалдылықта және жоғары температураларда жұмыс істейтін радиотехникалық мақсаттағы бөлшектерді дайындау үшін (доғаға төзімді бөлшектерді әзірлеу үшін, слюдян және керамикалық конденсаторларды сығымдаған кезде) қолданады.

Фенолформальдегидті шайырлар негізінде пластмассаларды ыстықтай сығымдау әдісімен алады. Олар қанағаттанарлық электрлік параметрлерге ие, қасиеттерінің төзімділігі жоғары; қышқылдардың, минералдық майлардың, органикалық еріткіштердің әсеріне төзімді; электрлік разрядтарға төзімділігі төмен.

Фенолформальдегидті шайырлар негізіндегі пластмассалардан әзірленген бұйымдар *фенопластар* деп аталады. Толтырғыштары органикалық фенопластарды көбінесе басқару тұтқаларын, батырмаларды, құрылғы корпустарын және т.б. әзірлеу үшін құрастырма материал ретінде қолданады.

Толтырғыштары бейорганикалық фенопластарды механикалық беріктігі жоғары электроқшаулағыш бөлшектерді әзірлеу үшін пайдаланады (каркастарды, шарғыларды, втулкаларды және т.б.).

Полиэфирлер негізіндегі пластмассаларды ыстықтай сығымдау арқылы алады.

Сығымдау материалдарын әзірлеу үшін аллил эфирлерінің (аллимерлердің), қанықпаған полиэфир шайырларының, полиэфироакриллаттардың негізіндегі қосқыш заттарды қолданады. Толтырғыш ретінде әйнекталшықты, талшықтасты немесе синтетикалық талшықтарды қосады.

Полиэфирлер негізіндегі пластмассалар қанағаттанарлық электроқшаулағыш қасиеттерге ие, жылуға және ылғалға төзімділігі жоғары, механикалық қасиеттері мен бұйым өлшемдері тұрақты, «жорғалама» разрядтарға төзімді, доғаға төзімділігі жоғары.



Пластмассаларды бұйымдарға өңдеудің негізгі тәсілдері қысыммен құю, тура және құйма сығымдау болып табылады. Қысыммен құюға арналған термопластар түйіршіктелген ұнтақтар түрінде шығарылады. Радиоэлектроникада бөлшектер полиэтиленнен, полистиролдан, капроннан, полиамидтерден және басқа материалдардан құйып алынады.

Тура және құйма сығымдауды жоғары температурада термореактивті материалдардан жасалған бұйымдарды пішіндеу үшін қолданады.

#### **5.2.4. Қабат пластиктер және фольгаланған материалдар**

Қабат пластиктер алдын ала синтетикалық шайырларға шылқытылып алынған парактық талшықты материалдарды ыстықтай сығымдау жолымен алынатын алуан түрлі пластмассалардың бірі болып табылады. Қосқыш заттар синтетикалық фенолформальдегидті, кремнийорганикалық және эпоксидті шайырлар, ал толтырғыштар – матаның, қағаздың немесе ағаш сүрегінің кенебі болып табылады. Қабат пластиктерден ең көп таралғаны гетинакс, текстолит, әйнектекстолит, талшықтас текстолиті, сондай-ақ фольгаланған қабат материалдар.

Гетинакс — термореактивті шайыр сіңірілген екі не одан көп қағаз қабатын ыстықтай сығымдау әдісімен дайындалған қабатты жалпақ металл. Гетинакс маркасына байланысты қосқыш зат ретінде фенолформальдегидті не эпоксидті шайырды қолданады.

Гетинакс -60-тан +105 °С-ға дейінгі температуралар аралығында негізгі параметрлерді сақтайды; анизотроптық қасиеті бар (қабаттардың бойыме гетинакстың электрлік беріктігі төтесіне қарағанда, 5-8 есе төмен, ал үлестік электрлік кедергісі 50—100 есе төмен). Гетинакстың доғаға төзімділігі төмен. Ұшқынды разрядтан кейін гетинакс бетінде өткізгіштігі жоғары көмір тәріздес қабат қалады.

Гетинакстың қабаттар бойымен ылғалға төзімділігі төтесіне қарағанда айтарлықтай төмен. Гетинакс қышқылдар мен сілтілерде ериді, минералды майлардың әсеріне төзімді.

Гетинакс жалпақ және тақта түрінде 0,4...20 мм қалыңдықта, құбыр мен цилиндрлер түрінде шығарылады, олардан шарғы қаңқаларын және диаметрі 10...80 мм, қабырғасының қалыңдығы 1,5...5 мм болатын оқшаулау түтіктерін әзірлейді.

Гетинакстан бұйымдарды механикалық өңдеу, қалыптау және созу арқылы әзірлейді. Қалыңдығы 1,5 мм артық жалпақ металлдан жасалған бөлшектерді 150...180 °С дейінгі температурада қыздырумен таңбалайды. Ылғалға төзімділігін арттыру үшін гетинакстан жасалған бұйымдарды спирт араластырылған - құйылған шайыр багінде сіңіреді, кейін кептіреді, яғни

бакелизациялайды. Гетинаксты радиоэлектрондық аппаратураның баспа такталарына негіз ретінде де пайдаланады.

Текстолит — фенолформальдегид шайырына шылқытылған мақта матаны ыстықтай сығымдау әдісімен дайындалған қабат материал. Текстолит гетинаксқа қарағанда, біршама қымбат, өйткені матаның құны қағазға қарағанда, айтарлықтай жоғары.

Электротехникалық текстолитті жоғары электроқшаулағыш қасиеттері қажет етілмейтін, бірақ үлкен механикалық беріктік талап етілетін жерде қолданады.

Өнеркәсіп бөз, миткаль, шифон (жоғары жиілікті жұмыс істейтін бұйымдар үшін) сынды маталардың негізінде құрастырма және электротехникалық текстолит шығарады.

*Құрастырма* текстолитті қалыңдығы 0,5...8 мм жалпақ түрінде және қалыңдығы 8...70 мм тақта түрінде шығарады. Құрастырма текстолитті -60-тан +150 °С-ға дейінгі температуралар аралығында пайдаланады.

*Электротехникалық* текстолитті қалыңдығы 0,5.8 мм парақ және қалыңдығы 0,5...50 мм тақта түрінде шығарады. Электротехникалық текстолиттіде -60-тан +150 °С-ға дейінгі температуралар аралығында пайдаланады.

Жалпақ текстолитті соғылу, қажалу сынды жүктемелер түсетін (ауыстырып қосқыш бөлшектері), жоғары электроқшаулағыш қасиеттерді қажет етпейтін бұйымдарды (панельдер, қаңқалар, қалқандар, бекіткіш такталар) әзірлеу үшін, сондай-ақ радиоэлектрондық аппаратураның баспа такталарына негіз ретінде қолданады.

Текстолиттен бөлшектерді гетинакстікіндей технология бойынша бакелизациялай отырып, дайындайды.

Әйнектекстолит — бұл терморреактивті шайырға шылқытылған әйнекматаны ыстықтай сығымдау жолымен алынған қабат материал. Оның ылғалға төзімділігі жоғары және гетинакс пен текстолитке қарағанда, электрлік және механикалық параметрлері жақсы, бірақ механикалық әдіспен нашар өңделеді.

Әйнектекстолит қалыңдығы 0,5...8 мм жалпақ және қалыңдығы 9...35 мм тақта түрінде шығарылады. Әйнектекстолитті 200 °С-ға дейінгі температурада пайдаланады.

**Талшықтас текстолиті** — бұл резольді фенолформальдегидті шайырға шылқытылған талшықтас кенебін ыстықтай сығымдау жолымен алынған қабат пластик.

Талшықтас текстолиті қалыңдығы 6.30 мм тақта түрінде шығарылады.

Талшықтас текстолиті жылуға төзімділігі жоғары бөлшектерді әзірлеу үшін қолданылады.

Кейбір қабат пластиктердің негізгі қасиеттері 5.4-кестеде келтірілген.

5.4-кесте. Қабат пластиктердің негізгі қасиеттері

Параметрі	Гетинакс	Текстолит	Әйнектекстолит	Талшықтас тек-столиті
Тығыздығы $D$ , кг/м <sup>3</sup>	1350... 1400	1300... 1400	1600... 1900	1550... 1650
Үлестік электрлік кедергісі $\rho$ , Ом·м	$10^{10} \dots 10^{11}$	$10^8 \dots 10^{10}$	$10^8 \dots 10^{12}$	$10^6 \dots 10^8$
50 Гц жиіліктегі диэлектрлік өткізгіштігі $\epsilon$	5...6	6...7	5...7	7...8
50 Гц жиіліктегі диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі $\operatorname{tg}\delta$	$(1,5 \dots 40) \cdot 10^{-2}$	$(5 \dots 12) \cdot 10^{-2}$	$(0,1 \dots 5) \cdot 10^{-2}$	$(20 \dots 50) \cdot 10^{-2}$
Жалпак қалыңдығы 2...3мм болғандағы электрлік беріктігі $E_{ар}$ , МВ/м	25...35	4,5...8,0	17...25	1,5... 2,0
Мартенс бойынша жылуға төзімділігі, °С	185...193	150... 160	207...283	155
Суыққа төзімділігі, °С	60	60	60	—

Фольгаланған қабат материалдар бір не екі жағынан металл фольгамен қапталған қабат пластиктер немесе синтетикалық үлбірлер дегенді білдіреді.

Фольгаланған қабат диэлектриктер келесі талаптарға жауап беруі тиіс:

- жоғары электрлік беріктік және үлестік электрлік кедергі;
- жұмыс температураларының үлкен диапазоны;
- $\epsilon$  диэлектрлік өткізгіштіктің және ТКІ сызықтық кеңею коэффициентінің шағын мәндері;
- жеткілікті механикалық беріктік;
- тоқөткізгіш жабынмен жақсы ілінушілік;
- жоғары ылғалға төзімділік;
- өндіру және пайдалану барысында минималды ауытқу;
- жақсы өңделушілік.

Фольгаланған материалдардыбаспа такталар үшін негіздеме ретінде пайдаланады.

Қабат пластиктер ретінде фольгаланған диэлектриктерді дайындау үшін көбінесе гетинаксты, әйнектестолитті, арматураланған фторопластті пайдаланады.

*Фольгаланған гетинакс* (ГФ) бір не екі жағынан мыс фольгамен қапталған гетинакті білдіреді. Фольгаланған гетинакс таңбаланады, механикалық тұрғыдан жақсы өңделеді.

Ол ГФ-1-35, ГФ-2-50 және т.б. маркалы жалпақ түрінде шығарылады. Бірінші саны жалпақтың миллиметрмен қалыңдығын; екінші саны фольганың микронмен қалыңдығын білдіреді.

ГФ-ны  $10^6$  Гц жиілік диапазонында кеңінен қолданылатын радиоэлектрондық аппаратураның баспа такталарын дайындау үшін қолданады.

*Фольгаланған әйнектестолит* (СФ) бір не екі жағынан фольгамен қапталған әйнектестолитті білдіреді. Өнеркәсіп СФ-1-35 немесе СФ-1-Н-50 үлгісіндегі фольгаланған әйнектестолит белгісінің көптегенін шығарады. Бірінші саны жалпақтың миллиметрмен қалыңдығын, Н әрпі – материалдың қызуға төзімділігі, ал екінші саны фольганың микронмен қалыңдығын білдіреді.

Фольгаланған әйнектестолиттерді  $200$  °С-ға дейінгі температурада пайдалануға болады.

Фольгаланған әйнектестолитті  $10^{10}$  Гц дейінгі жиілікте жұмыс істейтін радиоэлектрондық аппаратураның баспа такталарын дайындау үшін қолданады.

*Фольгаланған арматураландырылған фторопласт-4* (ФАФ-4) фторопласт-4Д суспензиясына сіңірілген және екі жағынан қалыңдығы  $50$  мкм мыс фольгамен қапталған әйнекклакматаны ыстықтай сығымдау жолымен алынған қабат пластикті білдіреді.

Ол қалыңдығы  $1,0...3,0$  мм жалпақ түрінде шығарылады. ФАФ-4-ті  $10^{10}$  Гц дейінгі жиілікте жұмыс істейтін радиоэлектрондық

аппаратураның баспа тақталарын дайындау үшін қолданады.

### 5.2.5. Үлбірлі электроқшаулағыш материалдар

*Үлбірлі* деп қалыңдығы ұзындығына қарағанда, біршама аз материалдарды айтады.

Үлбірлер жоғары диэлектрлік беріктігінің, жеткілікті механикалық беріктігінің және аз қалыңдығының арқасында бағалы диэлектрлік материалды білдіреді. Көптеген жағдайда жоғары ылғалға төзімділік айтарлықтай мәнге ие.

Үлбірлердің механикалық беріктігін арттыру үшін полимер молекулаларын бағдарлап, нәтижесінде олар белгілі бір бағытқа тартылып, сол күйінде бекітіледі. Бағдарланбаған үлбірлер изотроптық құрылымға ие, ал бағдарланғандары – анизотроптық.

Анизотроптық үлбірдің бойымен механикалық беріктік одан төтеге қарағанда аз. Мұндай үлбірлердің қыздырған кезде шөгуге айтарлықтай және өздігінен құрылымын изотроптыға өзгерте алады.

Изотроптық үлбірлердің механикалық беріктігі анизотропты үлбірлерге қарағанда, төмен, бірақ олардың құрылымы төзімдірек.

Полиэтилен үлбірлерін бірнеше тәсілмен алады.

Токарь станогінде полимерлі дайындамадан үздіксіз қалың материал қабатын кесіп алады, кейін оны ыстық білікшелер арасынан өткізеді. Нәтижесінде белгілі қалыңдықтағы изотропты үлбірді алады.

Полимер ертіндісін немесе балқымасын тегіс суық металл бетіне құяды. Балқыманың сууы немесе ертіндінің булануы нәтижесінде масса қатаяды, пайда болған үлбірді барабанға орайды.

Осындай әдіспен алынған изотроптық үлбірді созу немесе илемдеу арқылы бағдарлайды.

Полимерден жасалған қалың қабырға түтіктерін сығымдап, қысылған ауа көмегімен үрлейді де кеседі. Осылайша бағдарланып қойылған (анизотроптық) үлбірді алады.

Үлбір қасиеттері бастапқы полимер қасиеттерімен шартталған, сондықтан оларды бейполярылық және полярлық деп бөлуге болады.

**Бейполярылық үлбірлер.** Негізгі бейполярылық үлбірлерге полистирол, полиэтилен, полипропилен және политетрафторэтилен үлбірлер жатады.

Қаптамалық полистирол үлбірі (ПС) 0,

03 мм қалыңдықта және ені 20...100 мм болып шығарылады. Радиобөлшектерге арналған бағдарланған үлбірді 140...160 °C температурада жұмсартылған блок полистиролын басу жолымен бойлық және төте бағыттарда біржола соза отырып, алады. ПС қалыңдығы 0,02...0,1 мм және ені 20...1000 мм болып шығарылады.

Бағдарланған полистирол үлбірінің артықшылықтарына жоғары ылғалға төзімділік және диэлектрлік шығынының аздығы жатады, кемшіліктеріне — салыстырмалы жоғары емес жұмсару температурасы және қыздырған кезде механикалық беріктігінің төмендігі жатады.

ПС-ны жоғары жиілікті конденсаторлар мен шоғырсымдарды әзірлеу үшін қолданады.

Қалыңдығы 0,03...0,2 мм шегінде бағдарланған полиэтилен үлбірін (ПЭ) қысылған ауамен біржола соза отырып, жаншып алады.

Полиэтилен үлбірлерінің аязға төзімділігі жоғары (-60 °C температураға дейінгі негізгі қасиеттерін сақтайды); ылғал өткізгіштігі төмен, бұл оны бұйымды тропикалық ылғалдылық әсерінен қорғау үшін қолдануға мүмкіндік береді; 110 °C жоғары температураға дейін қыздырғанда ол шөгеді, бұл орам оқшауламасының қосымша нығаюын қамтамасыз етеді; құны төмен; мұнай майының әсеріне бейім және жетерліктей жоғары температурада онда ериді, бұл олардың конденсаторларда, шоғырсымдарда және монтаждау сымдарында қолданылуын шектейді.

Жұмсару температурасын арттыру және үзілуге беріктігін жоғарылату үшін полиэтилен үлбірлерін электрондармен немесе у-сәулелермен сәулелейді, бұл электрлік қасиеттерін, химиялық төзімділігі мен ылғалға төзімділігін өзгеріске ұшыратпайды. Сәулеленген (ирратенді) үлбірлер 250 °C температураға дейін қызуды қысқа уақыт ұстап тұра алады.

*Екі бағытта бағдарланған полипропилен үлбірін (ПП) 5 мкм дейінгі қалыңдықта шығарады. Қасиеттері бойынша оның полиэтиленмен көп жері ұқсас, бұл болса бастапқы полимерлерінің ұқсастығымен түсіндіріледі; полиэтилен үлбіріне қарағанда, жұмыс температурасының жоғарылығымен (110...130 °C дейін), бу-газ өткізгіштігінің төмендігімен ерекшеленеді.*

ПП-ны біріктірілген қағаз-үлбір оқшауламасы ретінде жоғары вольтты конденсаторларды дайындау үшін қолданады.

Қалыңдығы 0,005.0,2 мм болатын политетрафторэтилен үлбірін (ПТФЭ), немесе фторопластан-4 жасалған үлбірді токарь станогінде жоңқа-таспа дайындамасынан шешумен алады. Алынған бағдарланбаған үлбір физикалық-механикалық қасиеттері бойынша фторопласт-4-тен ерекшеленеді. Кейін илемдеу барысында үлбір бағдарланады. Бұл ретте бағдарлау дәрежесі үлбір қалыңдығына байланысты.

Бағдарланған үлбірдің механикалық және электрлік беріктігі фторопласт-4 қарағанда жоғары; жоғары жиіліктерде аязға және қызуға төзімділігі жоғары; құны жоғары; қыздырған кезде шөгеді.

Фторопластик үлбірлерін бірнеше түрде шығарады.

*Электроқшаулағыш* үлбірді -60-тан +250 °С-ға дейінгі температураларда жұмыс істейтін сымдарды оқшаулау үшін қолданады. *Оқшаулағыш* үлбір -60-тан +250 °С дейінгі температурада жұмыс істейтін құрылғыларда қабат арасын оқшаулау үшін қолданылады. *Конденсаторлық* бағдарланған үлбір -60-тан + 200 °С дейінгі температурада жұмыс істейтін конденсаторларды дайындау үшін қолданылады.

**Полярлық үлбірлер.** Полярлық синтетикалық электроқшаулағыш үлбірлерден көбінесе полиэтилентерефталъ (лавсан), поливинилхлорид (ПВХ), винипласт, полиамидті, поликарбонатты үлбірлерді, сондай-ақ целлюлоза эфирлерінен алынған үлбірлерді қолданады.

Полиэтилентерефталъ (лавсан) үлбірі үзілуге және жыртылуға жоғары беріктігінің; жақсы электрлік қасиеттерінің; химиялық төзімділігінің; органикалық еріткіштердің әсеріне төзімділігінің; жоғары қызуға төзімділігінің; жақсы ылғалға төзімділігінің арқасында электротехника мен радиациялық өнеркәсіпте кең қолданысқа ие болды.

Лавсан үлбірінің кемшіліктеріне артық қаттылық пен серпінділік жатады.

Оны конденсаторлар мен шоғырсымдарды дайындау үшін, сондай-ақ төмен вольтты электр құрылғыларының орамын оқшаулау үшін қолданады.

Поливинилхлорид үлбірін (ПВХ) әдетте хлорланған поливинилхлоридтен алады. Оның электрлік қасиеттері жоғары емес және қызуға төзімділігі төмен, бұл оның қолданылуын шектейді.

Винипласт бағдарланбаған және бағдарланған үлбірлер 0,02...0,7 мм қалыңдықта шығарылады; каландирлендірілгені<sup>1</sup> — 0,3...1,0 мм қалыңдықта.

Оны суға батырылған электр қозғалтқыштарын оқшаулау үшін ылғалға төзімді және химиялық төзімді материал ретінде қолданады.

Полиамид үлбірі (ПАМ) қалыңдығы 0,05...0,12 мм және ені 1200...1300 мм болып шығарылады. Оның механикалық беріктігі жоғары; электрлік параметрлері жоғары емес, олар қыздырған және ылғал тиген кезде айтарлықтай нашарлайды; газ өткізгіштігі төмен; құны жоғары.

---

<sup>1</sup> Каландр үлбірі — тегістеу және жылтырату үшін арасынан материалды (мата, қағаз, картон, сондай-ақ пластмасса) өткізетін біліктер жүйесінен тұратын каландр (*фр.* сөзі *calandre* — илемдеу, жылтырату) машинасында өңделген үлбір.

ПАМ-ды көбінесе шоғырсым техникасында сыртын поливинилхлоридпен немесе полиэтиленмен жауы, сымдарды оқшаулауға арналған бензинге және майға төзімді бітеуіш материал ретінде қолданады.

Поликарбонат үлбірі (ПК) төмен кернеулі конденсаторларды дайындаған кезде басым түрде, сондай-ақ жоғары вольтты оқшаулау үшін қолданады.

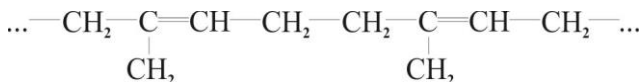
Целлюлоза эфирлерінен жасалған үлбір полимерлік оқшаулау үлбірлерінің ертерек шығарылған түрі болып табылады. Оны төмен кернеулі шағын габаритті орау конденсаторларын дайындау үшін қолданады.

### 5.2.6. Каучуктер негізінде жасалатын электроқшаулағыш материалдар

Қалыпты температурада созылып (бірнеше жүз пайызға дейін) үлкен пішін өзгерісіне ұшырайтын полимерлер *эластомерлер* деп аталады. Эластомерлер барлық каучуктер мен резеңкелер болып табылады. Каучук негізінде үзілуге салыстырмалы созылуы небәрі бірнеше пайызды (2...6%) құрайтын қатты резеңкелер де алады. Бұндайлар каучук негізінде жасалған пластмассалар болып табылады.

Каучуктер табиғи және қолдан жасалған (синтетикалық) болып бөлінеді.

*Табиғи каучукті* (ТК) тропикалық өсімдіктердің (гевея, каучукті бұталар және т.б.) сүттіген шырынынан алады. Химиялық құрамы бойынша ол қосарласқан байланыстың болуымен сипатталатын



құрылымға ие полимерлі көміртекті білдіреді:

Каучуктің жоғары созылғыштығы оның молекулаларының тізбектерінің зигзаг тәріздес пішінде болуымен байланысты. Каучукке созғыш күш түскен кезде тізбек пішіні тікбұрыштыға жақындайды. Табиғи күйінде каучук – аморфтық зат, ал созылған күйінде оның кристалл денелерге тән молекулаларының ретімен орналасады. Созғыш күшті алған соң ол қайтадан аморфтық күйге енеді. Табиғи каучук бейполярылық. Ол эфирде, бензинде, керосинде, толуолда, ацетонда, скипидарда, минералдық майларда оңай ериді; суда ерімейді; 90 °С-ға дейін қыздырғанда жұмсарады, 0 °С-дан төмен температурада қатты әрі серпімді болып қалады. Шикі табиғи каучук суықта қатты әрі серпімді, жылытқан кезде жұмсақ әрі жабысқақ бола бастайды. Каучуктің балғын беттері жоғары жабысқақтыққа ие. Каучуктің иісі жоқ, алу тәсіліне қарай иістенеді.



1930 жылы Кеңес Одағында алғаш рет әлемде өнеркәсіптік масштабта *синтетикалық каучук* өндірісі жолға қойылған болатын.

Синтетикалық каучуктер (СК) үшін шикізат спирт, мұнай кәсіпшілігінің, табиғи газдың және мұнай өңдеудің ілеспе өнімдері болып табылады. Табиғи каучукке қасиеттері бойынша ең жақындауы көмірсутек құрамды синтетикалық каучуктер болып табылады: бутadiен, бутadiенстирол, бутилкаучук. Өнеркәсіпте изопрен, полихлоропрен және полисилоксан каучуктер деп синтездейді.

Синтетикалық каучуктер жалпы мақсаттағы каучуктер (әмбебап) және арнайы мақсаттағы каучуктер (жылуға төзімді, аязға төзімді, майға төзімді, қышқылға төзімді және т.б.) болып бөлінеді.

Бутadiен каучугін (СКБ) қатализатордың қатысымен бутadiенді полимерлеу арқылы алады<sup>1</sup> (металл натрий). Ол жалпы мақсаттағы каучук болып табылады.

Кемшілігі аз жабысқақтық болып табылады, бұл одан электроқшаулағыш резеңке жасауға кедергі келтіреді.

Оны эбонит бұйымдарды және шоғырсым қаптарын дайындау үшін қолданады.

Бутadiенстирол каучугін (СКС) 50 °С температурада стирол мен бутadiенді эмульсиялық полимерлеу жолымен алады. Бұл каучук жақсы диэлектрлік қасиеттерге ие, жылулық ескіруге және көптеген пішін өзгерістерінің әсеріне жақсы төтеп береді.

Бутилкаучукті изобутилен мен изопренді бірге полимерлеу жолымен алады. Ол жоғары механикалық беріктікке, жақсы химиялық төзімділікке, газ өткізбеушілікке, жылулық ескіруге төзімділікке, озонға төзімділікке ие.

Бутилкаучукті электроқшаулағыш резеңкелерді дайындау үшін қолданады.

Изопрен каучугін (СКИ) катализаторды (құйманы немесе оның қоспаларын) қатыстырумен изопренді полимерлеу жолымен алады. Ол табиғи каучуктің алмастырушысы болып табылады және жалпы мақсаттағы каучуктер тобына жатады. Оның механикалық беріктігі мен жабысқақтығы қалған синтетикалық каучуктерге қарағанда жоғарылау, бірақ жабысқақтығы табиғиға қарағанда төмендеу.

Полихлоропрен каучугі табиғи каучукке жақын жоғары механикалық беріктікке ие; мұнай майлары мен техникалық еріткіштер әсеріне төзімділігі жоғары; жарық әсеріне төзімділігі және озонға төзімділігі жоғары; электрлік қасиеттері бойынша басқа синтетикалық каучуктерге жол береді.

---

<sup>1</sup> Катализ (*гр.* сөзі catalysis — бұзылу) — химиялық реакцияны қоздыру не оның жылдамдығын аздаған заттарды (катализаторларды) қосумен өзгерту.

Оны ылғалға төзімділігі бойынша қорғасындықтардан кем түспейтін шоғырсымдардың қорғаныс қаптары үшін қолданады.

Полисилоксан каучугін кремнийорганикалық қоспалар негізінде алады. Ол жақсы диэлектрлік қасиеттерге ие, жылуға және аязға төзімділігі жоғары; жарыққа және озонға төзімді; көміртекерде, концентрацияланған қышқылдар мен сілтілерде ериді.

Оны төсемелер мен оқшауламалар әзірлеу үшін қолданады.

Табиғи және синтетикалық каучуктер таза күйінде пайдаланылмайды, өйткені бірқатар кемшіліктері бар. Оларға жоғары және төмен температуралар мен еріткіштер әсеріне аз төзімділік, созылған кезде беріктігінің аздығы, суды көптеу жұтуы жатады.

Бұл кемшіліктерді жою үшін каучукті *вулканизациялайды*. Ол алдын ала вулкандану заттары (күкірт, металл натрий, бензол асқын тотығы және т.б.) енгізілген каучукті қыздыру болып табылады. Жоғары температураның әсерінен каучукте тізбекті молекулалардың қос байланыстары ішінара үзіліп, олар күкірт атомдары арқылы «тігіледі».

Енгізілген күкірт мөлшеріне байланысты түрлі өнімдерді алады. Күкірт мөлшері 1...3 % болғанда жұмсақ жабысқақ резеңке алады, ал 30...35 % болғанда — каучук негізіндегі пластмассаларды (қатты резеңкені) алады.

Каучук пен вулканизаторлардан басқа резеңкелерді өндіру үшін полимерлеуді жылдамдатқыштарды (дифенил, мырыш оксиді және т.б.), толтырғыштарды (күйе, көмірқышқыл марганеці, бор және т.б.), пластификаторларды (стеарин және олеин қышқылдары, парафин және т.б.), бояғыштарды (жоса, ультрамарин және т.б.) пайдаланады.

**Резеңке.** Резеңке бұйымдарын алудың технологиялық процессі шикі резеңкені даярлаудан, жартылай фабрикаттарды немесе шикі резеңкеден жасалған бұйымдарды дайындаудан, бұйымдарды вулканизациялаудан тұрады.

Шикі резеңкені дайындау үшін каучукті кесек етіп кеседі де созылымдық беру үшін вальцтан<sup>1</sup> өткізеді. Алынған массаны қалған құрамбөліктермен тиісті пропорцияда арнайы сұйылтқыштарда араластырады да біртекті пластикті және азсерпімді масса түрінде шикі резеңке алады. Шикі резеңке қысыммен оңай өңделеді, органикалық еріткіштерде ериді, қыздырған кезде жабысқақ болып қалады.

---

<sup>1</sup> Вальц (*нем.* сөзі *walze* — білік, цилиндр, каток) — материалды оны айналып тұрған біліктер арасынан өткізу жолымен өңдейтін жұмыс машинасы.

Жартылай фабрикаттарды және бұйымдарды дайындау үшін каландрлеуді, үздіксіз қысып шығаруды, сығымдауды және қысыммен құюды пайдаланады.

*Каландрлеу* — шикі резеңкені біліктер (каландрлер) арқылы өткізу жолымен тегіс немесе мәнерлі жалпақ резеңкені алу процесі.

*Үздіксіз қысып шығаруды* бейінді бұйымдарды алу үшін мундштукты сығымдауыштарда жүргізеді.

*Сығымдауды* гидравликалық сыққыштарға орнатылатын сығымдау қалыптарында жүргізеді.

*Қысыммен құюды* суықтай сығатын құю машиналарында жүзеге асырады, оларға резеңкелі қоспаны қалыпқа піспекпен қысып тығады. Алынған дайындамалардың дірілге төзімділігі жоғары әрі ауыспа таңбалы жүктемелерді жақсы қабылдайды.

Дайындамаларды вулкандауды қыздырусыз немесе 120...150 °C температураға дейін қыздырумен жүзеге асырады. Әдетте, вулкандауды арнайы қазандарда жоғары қысым кезінде қыздырылған бу атмосферасында жүргізеді.

Резеңкенің дірілге төзімділігі жақсы; жабысқақтығы жоғары; химиялық төзімділігі арттырылған; механикалық беріктігі жеткілікті; электроқшаулағыш қасиеттері жақсы; тозуға төзімді. Пайдаланыста ол мата, талшықтас сынды материалдармен жақсы ұйқасады.

Резеңкенің кемшіліктеріне қызуға төзімділігінің төмендігі (температура мен ылғалдылық жоғарылағанда резеңкенің диэлектрлік және механикалық қасиеттері нашарлайды, ол кеуіп, шытынайды); мұнай майларының және басқа бейполярлық сұйықтықтардың (бензин, бензол және т.б.) әсеріне төзімділігінің нашарлығы; жарық әсеріне тұрақсыздығы, әсіресе ультракүлгіннің; озон болғанда тез ескіріп, шытынайтыны жатады.

Резеңкені сымдар мен шоғырсымдарды оқшаулау, қоршауларды, шайбаларды, оқшаулау түтіктерін, диэлектрлік қолғаптарды, электроқшаулағыш кілемшелерді дайындау үшін қолданады.

**Каучук негізінде жасалған пластмассалар.** Каучук негізінде жасалған негізгі пластмассаларға эбонит, эскапон, асбодин, хлоркаучук және изомерленген каучук жатады.

Эбонит — 25...30 % күкіртті және толтырғыштарды (эбонит шаңын, талькті және т.б.) қосып, табиғи каучукті, синтетикалық бутадиең каучугін немесе синтетикалық бутадиеңстирол каучугін вулкандау кезінде алынатын қатты резеңке. Эбониттің электроқшаулағыш қасиеттері салыстырмалы түрде жоғары; доғаға төзімділігі және соққы жүктемелеріне төзімділігі жоғары; үзілген

---

<sup>1</sup> Мундштук (нем. сөзі Mundsffick) — түрлі аппараттың немесе машинаның басқа бөлігі киілетін аппараттың не машинаның түтік не ұштық түріндегі бөлігі (әдетте жұмыс органы).

кезде азгантай созылады (небәрі 2...6 %); ол қышқылдар мен сілтілердің әсеріне төзімді; органикалық еріткіштерде ерімейді. Эбонит жақсы кесіп өңделеді және жылтыратылады.

Эбонит кемшіліктеріне төмен жылуға төзімділік (өз қасиеттерін 50...80 °С температуралар аралығында сақтайды); суық күйінде ағуға бейімділік; жылу мен жарық әсерінен ескіретіні жатады.

Эбонит қалыңдығы 0,5 . 32 мм пластина, диаметрі 5 . 75 мм білік және ішкі диаметрі 3 . 50 мм түтік түрінде шығарылады.

Эскапонды сыққыш қалыптарда жоғары қысымда және 250...270 °С температурада синтетикалық бутадиен каучугін полимерлеу жолымен алады. Оның құрамында күкірт болмайды. Механикалық және химиялық қасиеттері бойынша эбонитке жақын, алайда эбонитпен салыстырғанда диэлектрлік шығыны аз, қызуға төзімділігі жоғары; ескіруге бейім емес.

Эскапон қалыңдығы 20 мм дейін тақта, білік, түтік түрінде шығарылады.

Ол жоғары жиілікте жұмыс істейтін бұйымдарды және эскапонды лакматаларды дайындау үшін қолданылады.

Асбодин вулкандау қоспалары бар каучук, талшықтас кенебі және темір жосасы негізіндегі композицияны білдіреді. Оның қызуға және доғаға төзімділігі жоғары; аққыштығы төмен және сыққыш қалыптарда ұзақ термиялық өңделеді (шамамен 16 сағат); зен саңырауқұлақтарының әсеріне төзімді; тропикалық жағдайларда сенімді жұмыс істейді.

Асбодинді төмен вольтты оқшаулау материалы ретінде қолданады.

Хлоркаучукті каучукті хлорлағанда алады. Оның электроқшаулағыш қасиеттері жақсы; қышқылдардың, сілтілердің, хлордың әсеріне төзімді, бірақ хош иісті көмірсутектерде ериді; жанғыш емес және қызуға төзімділігі жоғары.

Изомерленген каучукті катализатор қышқылдарының – күкірт қышқылының қатысуымен каучукті өндегенде алады. Изомерленген каучуктің электроқшаулағыш қасиеттері және суға төзімділігі хлоркаучуктікіне қарағанда, жақсы. Ол қышқылдардың, сілтілердің және еріткіштердің әсеріне төзімді.

### 5.2.7. Лактар мен эмальдар

Олардан жасалған материалдар мен бұйымдарды қорғау үшін, сондай-ақ оларға декоративті түр беру үшін радиоэлектроникада лактар мен эмальдарды қолданады.

**Лактар.** Лактар — бұл тиісті ұшқын еріткіштердегі үлбір қалыптастыратын коллоидті ертінділер.

Лактың негізгі құрамбөліктері мыналар болып табылады:

- үлбір бере алатын үлбір қалыптастырғыш заттар (кебетін өсімдік майлары, шайырлар, битумдар, целлюлоза эфирлері, полиэфирлі және кремнийорганикалық қоспалар);
- еріткіштер (бензол, толуол, спирт, күкіртті көміртек, ацетон және т.б.);
- пластификаторлар — үлбірге созылымдық беретін заттар (кастор майы);
- сиккативтер<sup>1</sup> — кебуді жылдамдату үшін кейбір лактарға қосылатын қатты немесе сұйық заттар;
- бояғыштар;
- лакқа техникалық шарт талаптарына сәйкес консистенция алу үшін қосылатын сұйылтқыштар (лак керосині, бензин, скипидар).

Лакты кептірген кезде еріткіш буға айналады, ал үлбір қалыптастырғыш химиялық реакция нәтижесінде лак үлбірін жасай отырып, қатты күйге көшеді. Кептіру режиміне қарай электроқшаулағыш лактар суықта және ыстықта кебетін лактар болып бөлінеді.

Суықта кебетін лактар бөлме температурасында жақсы кебеді (20...25 °С).

Ыстықта кебетін лактар кептіру температурасы 70 °С-дан жоғары болғанда қасиеттері онтайлана түседі. Олардың, әдетте, электрлік және механикалық қасиеттері біршама жоғарылау.

Негізін терморективті шайырлар құрайтын лактарды кептіру үшін қыздыру қажет етіледі. Негізі термопластик болып табылатын лактар жоғары температурада кептіруді қажет етпейді. Егер лак құрамына жоғары температуралық еріткіш кіретін болса (керосин), онда лак негізінің түріне қарамастан, жоғары температурада кептіру талап етіледі. Оңай буланатын еріткіштері бар лактар үшін кептіру тәсілін таңдау үлбір қалыптастырғыш негізбен айқындалады.

Тағайындалуы бойынша электроқшаулағыш лактар сіндіргіш, жабындық және жабыстырғыш болып бөлінеді. Сол бір лак сіндіргіш, жабындық және жабыстырғыш ретінде пайдаланыла алады.

Сіндіргіш лактар кеуекті және талшықты оқшауламаны сіңіру үшін қызмет етеді. Сіндіргіш лактарды суықтай және ыстықтай қататын етіп дайындайды.

Сіндіргіш лактар келесі талаптарға сәйкес келуі тиіс:

---

<sup>1</sup> Сиккатив (*лат.* сөзі *siccativus* — кебетін) — лакбояу материалдарының кебуін жылдамдататын зат.

- қажетті оқшаулауыш қасиеттері;
- жақсы сіндіргіш және цементтегіш қабілет;
- тез қатаю және жұмыс температуралары диапазонында қалыпты қызмет ету.

Сіңіру процессінде ауа қуыстардан итеріліп шығып, ол лакпен толтырылады, кейін кепкен соң ауаныкіне қарағанда, электрлік беріктігі мен жылу өткізгіштігі жоғарылайды. Сіңірген соң оқшауламада тесу кернеуі артады; жылу өткізгіштігі жоғарылайды, бұл жылу шығынын бөлу үшін маңызды; ылғал тартқыштық төмендейді; механикалық қасиеттері жақсарайды.

Органикалық оқшаулама ауаның қышқылдауыш әсеріне аз ұшырайды, бұл оның қызуға төзімділігін арттырады.

Сіндіргіш лактарға кремнийорганикалық, битумды-майлы, майлы-алкидті және басқа лактар жатады.

*Кремнийорганикалық лактар* шоғырсым сымдарының әйнек орамын сіңіру және әйнектекстолитті әзірлеу үшін қолданылады.

*Битумды-майлы лактар* қара және майлы лактардың қоспасынан тұрады.

Қара лактардың құрамына сұйық лактың және лак үлбірінің қара түсін беретін битумдар кіреді. Битумдар асфальт деп аталатын табиғи (қазба) және мұнай айдаудан шыққан ауыр өнімдер болып табылатын қолдан жасалған (мұнайлық) болып бөлінеді. Қара лактар майлыларға қарағанда арзандау, ылғал тартқыштығы төмендеу үлбірлерді қалыптастырады, бірақ олардың жабысқақтығы төмендеу және еріткіштердің әсеріне бейімділігі жоғарылау, ал қыздырған кезде жұмсаруға бейім. Сондықтан электроқшаулағыш лактар ретінде битумды-майлы лактарды пайдаланады.

Битумды-майлы лактар үшін еріткіштер ретінде хош иісті көмірсутектерді (бензол, толуол және т.б.), сондай-ақ скипидарды пайдаланады. Хош иісті көмірсутектер адам организміне зиян, әсіресе бензол, сондықтан оларды көбінесе бензинмен араластырып пайдаланады.

Битумды-майлы лакты лакматаларды әзірлеу үшін қолданады.

*Майлы-алкидті лактарды* көпнегізді карбон қышқылдарын көпатомды спирттермен араластырып алады.

Кейбір сіндіргіш лактардың негізгі қасиеттері 5.5-кестеде келтірілген.

Жабындық лактар бұйымдарды атмосфера ылғалынан және агрессивті заттардың буынан қорғауға арналған. Жабындық лактарға келесі талаптар қойылады:

- жоғары электроқшаулағыш қасиеттер (электрлік беріктік электрлік ақау кезінде пайда болатын өріс кернеулігінен жоғары болуы тиіс; температураның жұмыс диапазонындағы үлестік көлемдік және беттік электрлік кедергі  $10^{11}$  Ом·см кем болмауы тиіс);

**5.5-кесте. Кейбір сіндіргіш лактардың негізгі қасиеттері**

Негізі бойынша сыныпталуы	105 °С температур а кезіндегі Термоэластиктігі	20 °С температурадағы электрлік сипаттамалары		Келтіру режімдері		Сипаттамасы және қолданылу аясы
		$\rho$ , Ом·м	$E_{пр}$ , МВ/м	Келтіру температу ра-сы, °С	Келтіру уақыты	
Майлы-битумды	5...12	$10^{12}$	55...62	105	2...10 с	Сіндіргіш қабілеті жоғары, үлбірлерінің созылымдығы, ылғалға төзімділігі арттырылған лактар. Қызуға төзімділігі—105 °С
Майлы-глифталды	48	$10^{12}$	60...72	105	35 мин... 2 с	Майда жұмыс істейтін орамдарды сіндіруге арналған сіндіргіш және жабындық лак. Қызуға төзімділігі—130 °С
Кремний-органикалық	60...250 (180 °С-да)	$10^{12} \dots 10^1$ 3	60...80	200	12 мин...1 с	Сіндіргіш лактар. Үлбірлердің ылғалға төзімділігі жоғарылатылған.
Алкидті-резольды	30...60	$10^{12}$	75	120	2 с	Майда жұмыс істейтін орамдарды сіндіруге арналған сіндіргіш және жабындық лак. Үлбірлердің цементтеуші қабілеті жоғарылатылған. Қызуға төзімділігі—130 °С

5.5-кестенің аяғы

Негізі бойынша сыныпталуы	105 °C температура кезіндегі Термоэластиктігі	20 °C температурадағы электрлік сипаттамалары		Келтіру режімдері		Сипаттамасы және қолданылу аясы
		$\rho$ , Ом·м	$E_{np}$ , МВ/м	Келтіру температурасы, °C	Келтіру уақыты	
Полиэфирлі	48...50 (180 °C-да)	$10^{12}$	80...90	130... 150	30 мин... 2с	Үлбірлерінің қаттылығы және суға төзімділігі арттырылған сіндіргіш лактар. Қызуға төзімділігі— 155 °C
Олигоэфирлі	—	$10^{11}$ ... $10^{12}$	30...37	125	25 мин (қалың кабатта)	Орамдарды сіңіру үшін еріткіштерсіз лак. Қызуға төзімділігі— 155 °C
Эпоксидті шайыры бар	—	$10^{11}$ ... $10^{12}$	33...85	125	6 мин (қалың кабатта)	Орамдарды сіңіру үшін еріткіштерсіз лак. Үлбірлері арттырылған ылғалға төзімділікке ие. Термотөзімділігі— 155 °C
Дифенилоксидті	50	$10^{13}$	90	200	30 мин	Майға төзімділігі мен цементтеуші қабілеті арттырылған сіндіргіш лак. Қызуға төзімділігі — 180 °C



- жоғары жылуға төзімділік;
- жоғары радиациялық төзімділік;
- кептірген және полимерлеген кезде сызықтық кеңею және шөгу коэффициенттерінің түрлілігі салдарынан қосымша механикалық кернеу туғызбауы тиіс;
- бетті су мен басқа заттардың енуінен қорғайтын жоғары гидрофобтық және тығыздық;
- жабылатын беттерге жақсы адгезия;
- оптикалық электрондық құрылғылар үшін түрлі климаттық факторлардың әсерінен нашарламауы тиіс спектрдің жұмыс аймағындағы айқындылық және жоғары сыну көрсеткіші сынды оптикалық қасиеттерге ие болуы тиіс;
- қорғаныс жабынын жағу процесі құрылғының электрлік сипаттамаларына әсер етпеуі және оның сенімділігін нашарлатпауы тиіс;
- сыртқы түрін жақсартып, беттің ластануына жол бермеуі тиіс.

Жабындық лактарға кремнийорганикалық лактар, поливинилацетат негізіндегі лактар, полиуретан негізіндегі лактар, майлы лактар, полиамидті және полиимидті лактар, целлюлоза лактары жатады.

*Кремнийорганикалық лактар* әйнекталшықты оқшауламасы бар қызуға төзімді орам сымдарын дайындау үшін; р-п-өткелдерді, баспа тақталарын, гетинакстан жасалған оқшаулау бөлшектерін, әйнектестолитті қорғау үшін; жылуға төзімді мөлдір жартылайөткізгіш техникасы жабындары үшін пайдаланылады.

*Поливинилацетат негізіндегі лактар* эмальдандырылған мыс сымдарды әзірлеу үшін пайдаланылады.

*Полиуретан негізіндегі лактар* да эмальдандырылған мыс сымдарды әзірлеу үшін пайдаланылады.

*Майлы лактарды* майдың атмосфералық ауаның кейбір мөлшерін жұтуымен байланысты күрделі химиялық процесстің нәтижесінде кебетін майлар негізінде әзірлейді, сондай-ақ жарықтандыру және қыздыру әсерінен қатты, жарқылдайтын, төсеменен бек ілінісетін үлбірді қалыптастырады. Кебу процесін жылдамдату үшін лакқа сиккативтер (кальций, кобальт және т.б. қоспалары) қосады. Кең таралған кебетін майлар зығыр мен тунга майлары болып табылады. Майлы лактар орам сымдарын дайындау үшін пайдаланылады.

*Полиамидті лак* 200...220 °С температурада жұмыс істейтін орам сымдары оқшауламасының қызуға төзімділігін арттыру үшін пайдаланылады.

*Полиимидті лак* гибриді-үлбірлі интегралдық сұлбаларда жұқа үлбірлерді қабатаралық оқшаулау және фольгаланған диэлектриктерді дайындау үшін пайдаланылады.

*Целлюлоза лактары* көп жағдайда бөлме температурасында кебетін целлюлозаның термопластикті эфирлерінің ертінділерін білдіреді. Механикалық беріктігі жоғары; ауаның, ылғалдың, майлардың әсеріне төзімділігі жақсы; жақсы жарқырайтын нитроцеллюлоза лактары (нитролактар) кең таралған.

Алайда нитролактардың металлдарға адгезиясы нашар, сондықтан оларды металл беттеріне жаққанда металлмен жақсы ілінісетін, бірақ ауаның, жарықтың және ылғалдың әсеріне төзімділігі төменірек «грунттық» лактан жасалған қабатастыны пайдаланады.

Нитролақты сымдардың мақта орамдарын сіңіру үшін де пайдаланады.

Кейбір жабындық лактардың және эмальдардың негізгі қасиеттері 5.6-кестеде келтірілген.

Желімдеуші лактарды қатты материалдарды (фольгаланған диэлектриктерді, трансформаторлар пакеттерінің жалпақтарын, бөлшектенген слюда тақташаларын және т.б.) өзара жабыстыру үшін қолданады.

Желімдеуші лактарға қойылатын жалпы талаптар:

- жоғары желімдеу қабілеті;
- жақсы электрлік және механикалық қасиеттер;
- желімделетін материалдарға жоғары адгезия және технологиялық.

Желімдеуші лактарға полиуретанды және эпоксидті желімдер, фенолформальдегид шайырының негізіндегі желімдер, карбонил желімі, глифталг лагі.

*Полиуретанды желімдер* жоғары ылғалға төзімділігімен ерекшеленеді және пластмассаларды, әйнектерді, керамиканы, маталарды, резеңкелерді, металлдарды желімдеу үшін пайдаланылады. Полиуретан желімдерін 150 °С температураға дейін қолданады.

Суықта және ыстықта (200С температурада) қатаятын *эпоксидті желімдер* желімнің және тиісті материалдың сызықтық кеңею коэффициенттерін теңестіру үшін пайдаланылады. Бұл үшін эпоксид шайырына толтырғыштар қосады (фарфор ұнын, ұсақталған кварцты, цементті, алюминий оксидін және т.б.).

Олар жоғары адгезияға ие, берік тігіс береді және пластмассаларды, әйнектерді, керамиканы және т.б. желімдеу үшін қолданылады.

*БФ белгісіндегі поливинилбутиралды фенолформальдегид шайыры негізінде жасалған желімдер* жартылай өткізгіштік құймаларды, пластиналарды және кристаллдарды желімдеу үшін пайдаланылады.

### 5.6-кесте. Кейбір электроқшаулағыш жабындық лактардың негізгі қасиеттері

Негізі бойынша сыныпталуы	105 °C температура кезіндегі термоэластиктігі	20 °C температурадағы электрлік сипаттамалары		Келтіру режімдері		Сипаттамасы және қолданылу аясы
		$\rho$ , Ом·м	$E_{пр}$ , МВ/м	Келтіру температурасы, °C	Келтіру уақыты	
Майлы	5...8	$10^{10}$ ... $10^{12}$	55...72	210	10...12 мин	Майлы негіздігі лактар. Электротехникалық болат және басқа метал бөлшектердің жалпақтарын окшаулау үшін. Қызуға төзімділігі — 105 °C
Майлы-битумды	1...2	$10^{10}$ ... $10^{12}$	40...52	20	2,5...12с	Ауада кебетін жабындық лактар. Электрлік машиналар мен аппараттардың сіндірілген орамдарын жабу үшін. Қызуға төзімділігі — 105 °C
Кремний-органикалық	50...100 (200 °C-да)	$10^{12}$ ... $10^{13}$	60...75	200	15мин... 1,5с	Электротехникалық болат және басқа метал бөлшектері жалпақтарының электроқшаулағыш жабындары. Қызуға төзімділігі — 180 °C
Эпоксидті модификацияланған	100	$10^{11}$ ... $10^{12}$	50...60	180	1,5...2с	Орамдардың және пластмасса бөлшектерінің қаттылығы арттырылған ылғалға төзімді электроқшаулағыш лактары. Қызуға төзімділігі — 130 °C
Полиэфирлі	40...50 (180°C-да)	$10^{12}$	70...75	80...90	4...5с	Метал, пластмасса және басқа бөлшектердегі ылғалға және майға төзімді электроқшаулағыш лактары. Қызуға төзімділігі — 120 °C

*Карбонил желімі* сарғыш түсті тұтқыр сұйықтық, оған пайдаланар алдын катализатор енгізеді (бензол асқын тотығын), кейін ол 4...6 с сақталуы мүмкін.

Карбонил желімінің механикалық беріктігі салыстырмалы түрде жоғары; май, керосин, бензин әсеріне төзімді; суға төзімділігі жеткіліксіз. Оны керамикалық материалдарды желімдеу үшін қолданады.

*Глифталъ лагі* желімдеу қабілеті жоғары және тігісінің беріктігі жоғары канифоль және өсімдік майымен модификацияланған синтетикалық алкидті шайыр. Ол жартылай өткізгіштік материалдардың пластиналары мен кристаллдарын төсемелерге желімдеу үшін қолданылады.

**Эмальдар.** Эмальдар ол құрамына бейорганикалық толтырғыш – пигмент қосылатын жабындық лактардың алуан түрлілігі.

Пигменттер жабындардың қаттылығын, жылу өткізгіштігін, ылғалға төзімділігін арттырады және оларға тиісті түс береді. Толтырғыш ретінде темір жосасын, мырыш, титан оксидін және т.б. пайдаланады.

Эпоксидті лактардың негізінде жасалған эмальдар жақсы адгезияға және 150 °С температураға дейін қызуға төзімділікке ие.

Кремнийорганикалық лак негізінде жасалған эмальдар 180...200 °С температураға дейін жоғары қызуға төзімділікке ие.

Эмальдарды көбінесе түрлі беттік бөлшектердің және радиотехника элементтерінің қорғаныс жабыны ретінде, сондай-ақ электрорадиотехникалық құрылғылардың корпустарын декоративтік әрлеу үшін пайдаланады.

Нитроэмальдарды лак колоксині мен шайырлар ертіндісінен ұшқын органикалық еріткіштермен араластырып, пигменттер мен пластификаторды қоса отырып алады. Нитроэмальдарды тоттануға қарсы жабын ретінде қолданады.

Лактар мен эмальдарды әріптік-сандық белгілермен белгілейді. Әріп лактың негізгі құрамбөлігінің химиялық негізін білдіреді; бірінші саны лактың арналуын көрсетеді, ал кейінгілері – оның тиісті топтағы реттік нөмірін білдіреді. Мәселен, ПЭ-993 лагі келесіні білдіреді: ПЭ – полиэфир, 9 – электроқшаулағыш, 93 – полиэфир лактары тобындағы реттік нөмірі.

**Лакбояу жабындары.** Сұйық лактарды, компаундтарды және эмальдарды оларды кейіннен қатайта отырып, жағу материалдардың бетін қорғау әдістерінің алғашқысы болып табылады және электрондық техника бұйымдарын жинаған кезде материал бетін қорғаудың ең қарапайым әрі кең таралған тәсілі болып табылады.

Қорғаныстық лакбояу жабындарына келесі талаптар қойылады:

- үлкен үлестік электрлік кедергі р;
- аз химиялық белсенділік;
- қорғалатын бұйым беттерімен жақсы ілінісу;

- жоғары механикалық беріктік;
- -60-тан +150 °С дейінгі температураларда өз қасиеттерін сақтай алу;
- белсенді құрамбөліктері болмауы тиіс;
- кебу және полимерлену уақыты өте үлкен болмауы тиіс;
- өмір уақыты мен сақтау уақыты өндіріс үшін қолайлы болуы тиіс.

Әр жабынның артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Қорғаныс жабындарына қойылатын талаптардың бәріне жауап беретін материал жоқ. Сондықтан жабынды таңдау нақты құрылғы деректерімен және оны пайдалану шарттарымен айқындалады.

Лакбояу жабындары жабын материалы, жабын бетінің сыртқы түрі (жабын сыныбы) және пайдалану шарттары (жабын тобы) бойынша сыныпталады.

Бояу үшін тегіс беттерді қалыптастыратын декоративтік-жабындық және өрнекті-декоративтік лактарды пайдаланады.

Декоративтік-жабындықтарға перхлорвинил, глифталь, нитроцеллюлоза және басқа лактаржатады.

«Аяз» кристалл лагін, муар-лакті және беріктігі айтарлықтай және түрі әдемі (балғамен ұрғыланған іздерді еске түсіреді) балға эмалін өрнекті-декоративті ретінде пайдаланады.

Сыртқы келбеті бойынша жабындарды жылтыр, жартылай жылтыр және бұлыңғыр деп бөледі.

Жабын тобы пайдалану шарттары бойынша таңдалады: атмосфераға төзімді, химиялық төзімді және майға төзімді.

Лакбояу жабындарын алудың технологиялық процесі бетті жабын, грунттау, тегістегіш үшін дайындаудан, лакбояу жабынының негізгі қабатын жағудан және кептіруден тұрады.

*Бетті жабын үшін дайындау* дегеніміз оны тоттану өнімдерінен және ластықтардан (химиялық немесе механикалық әдіспен) тазарту және мұқият майсыздандыру.

*Грунттау* дегеніміз металл мен кейінгі лакбояу жабынының қабаттары арасындағы адгезияға септігін тигізетін шамамен 20 мкм қалыңдықпен грунт қабатын жағу. Грунт ретінде лакты және майлы жабындарды (әліпмайдағы қорғасын және темір жосасы) пайдаланады.

Грунтты тозаңдатып, үлгіні грунтқа батыру немесе қылсап көмегімен жағады.

*Тегістегіш* грунтталған бетті тегістеу үшін істеледі. Тегістегішті<sup>1</sup> бетке шпатель<sup>2</sup> немесе бояутозаңдатқыш көмегімен жағады.

<sup>1</sup> Тегістегіш — пластификаторларды қосумен және қосусыз пигменттерден, толтырғыштардан және лактардан тұратын паста тәрізді зат.

<sup>2</sup> Шпатель — бояуды араластыруға және жағуға, тесіктерді, ойықтарды және т.б. қамыртәрізді затпен бітеуге арналған қалақша тәрізді зат.

Баяутозандатқышты пайдаланған кезде тегістегішті еріткішпен араластырады. Тегістегішті жаққан соң бетті кептіріп, ұсақ абразивті сыдырғымен жылтыратады.

*Лакбояу жабындарының негізгі қабатын жағуды* қылсап көмегімен, бөлшектерді малу, ыдырату немесе шприц көмегімен жүргізеді (р-п-өткелді жартылай өткізгіш кристаллдарды қорғайды).

Қылсаппен бояу өндірімділігі аз процесс болып табылады әрі бая кебетін лактар үшін қолданылады.

Жабындарды малу арқылы жағу баяудың ағуына қолайлы пішіндегі бөлшектер үшін қолданылады. Бұл тәсілде материалды көп ысыраптай отырып қалыңдығы бойынша әркелкі үлбір алады.

Жабынды тозандату жолымен жаққан кезде процесстің өндірімділігі 7-12 есе артады әрі бет сапасы да жақсарады, алайда процеске материал көп шығындалады және арнайы жабдықты қажет етеді.

*Кентіру* қорытынды саты болып табылады әрі бөлме температурасында немесе кептіру шкафтарында жүргізілуі мүмкін.

Лакбояу жабындарының келесі кемшіліктері бар: қатаю циклының үлкен ұзақтығы; лак партиясына байланысты нәтижелердің жаңартылмауы; температураның циклдық өзгерісі кезінде кейбір материалдардың беріктігінің төмендігі; ылғалға төзімділігінің төмендігі; төмен температураларда шытынап, қабыршақтануы; бет жанындағы қабатта дайын құрылғылардың электрлік параметрлерінің тұрақтылығына қатты әсер ететін айтарлықтай механикалық кернеудің жартылай өткізгіш кристаллының пайда болуы.

Әдетте лакбояу жабындарымен металл бұйымдарды жабады: құрылғылар мен құралдардың қаңқаларын, қаптарды, рамаларды, пластиналарды, бекіткіш бөлшектерді, сондай-ақ р-п-өткелді жартылай өткізгіш кристалл беттерін.

**Қосалқы материалдар.** Лакбояу өндірісінде еріткіштерді, сұйылтқыштарды және шайымдарды қолданады.

Еріткіштер майларды, балауызды, шайырларды, битумды және басқа өнімдерді ерітуге қабілетті ұшпа органикалық сұйықтықтар.

Еріткіштердің негізгі сипаттамалары белсенділік, булану жылдамдығы және қайнау температурасы болып табылады. Еріткіштің белсенділігі еріткіш бірлігінде еритін заттың максималды мөлшерімен айқындалады. Еріткіште еріген заттың концентрациясы неғұрлым көп болса, оның белсенділігі соғұрлым жоғары болады.

---

<sup>1</sup> Ұсақ абразивтілер (*лат.* сөзі *abrasio* — қырнау, қажау) — металлдарды, керамикалық материалдарды, тау жыныстарын және т.б. механикалық өңдеу (қырнау, жылтырату) үшін қолданылатын қаттылығы жоғары ұсақтүйіршікті заттар (алмаз, корунд).

Лактарды дайындау үшін жылдам булану кезінде үлбірлерде сызаттардың пайда болу ықтималдығын жою үшін буланушылығы жоғары емес еріткіштерді таңдайды.

Еріткіштер ретінде ағаш және таскөмір шайырларын, мұнай көмірсутегілерін, синтетикалық органикалық қоспаларды (спирттерді, скипидарды, эфирлерді және т.б.) пайдаланады.

Сұйылтқыштар дайын ертінділерді еріте және сұйылта алатын органикалық заттар. Олардың буланғыштығы еріткіштерге қарағанда айтарлықтай жоғары болуы тиіс.

Шайымдар ескі лакбояу жабындарын алу үшін қолданылатын белсенді еріткіштерден және кейбір қоспалардан тұратын құрамдар.

Еріткіштерден, сұйылтқыштардан және шайымдардан көбірек пайдаланылатыны бензин, ацетон, этил спирті, скипидар, СД шайымы болып табылады.

*Бензин* ауыр не уайт-спирит, мұнайды айдау арқылы алады. Оны белсенді еріткіш және микросұлбалардың үлкен шығынға бітеулігін бақылау үшін жұмыс сұйықтығы ретінде қолданады. «Галощ» бензинін парафин мұнайды айдағанда алады. Оны көбінесе каучук пен резеңкені еріткіш ретінде қолданады.

*Ацетон* ( $C_3H_6O$ ) —  $56,5\text{ }^\circ\text{C}$  температурада қайнайтын түссіз, жанғыш және ұшпа сұйықтық. Оны ағашты құрғақтай айдау жолымен немесе озопропил спиртінен синтетикалық жолмен, біржола фенолды өндіре отырып, сурке су қышқылын қалпына келтіру жолымен алады. Ацетон сумен, спиртпен, эфирмен, бензинмен және басқа органикалық еріткіштермен жақсы араласады. Ол майлар мен шайырларды жақсы ерітеді. Ацетонды жарылғыш, бояғыш заттарды, табиғи каучукті өндіргенде және майларды экстракциялау<sup>1</sup> үшін қолданады.

*Этил спирті* ( $C_2H_5OH$ ), немесе шарап спирті, — өзіне тән иісі мен дәмі бар мөлдір немесе түссіз сұйықтық. Этил спирті барлық қатынастарда сумен, этил эфирімен және басқа органикалық сұйықтықтармен араласады, органикалық қоспалардың көптегенін ерітеді.

Этил спиртін — шикі (күштілігі кемінде **88** %), ректификатталған (күштілігі кемінде 95,5...96,2 %) және ішетін (күштілігі 95 %) етіп өндіреді. Шикі спиртті құрамында көмірсулары бар заттарды спирттік ашыту нәтижесінде немесе синтетикалық жолмен (этиленді гидратациялау) алады. Ректификатталған спиртті шикі спиртті ректификациялау жолымен алады, ал ішетінді — ректификатталған спиртті жұмсартылған сумен араластырып, кейін сүзгілеу жолымен алады.

---

<sup>1</sup> Экстракция (*лат.* сөзі *extrahere* — ажыратып алу) — еріткіштердің (су, спирт, алунзин және т.б.) көмегімен затты қоспадан ажыратып алу.

Этил спиртін синтетикалық каучукті, еріткіштерді, нитроцеллюлоза лактарын өндіру, зертхана талдаулары үшін қолданады.

*Скипидар* өзіне тән иісі бар түссіз неме боялған сұйықтық. Ол көмірсутектер қоспасынан тұрады және шыршаның алуан түрлерінің шайырын айдаған кезде алынады. Скипидарды майлар мен шайырлардың еріткіші ретінде, парфюмерияда, медицинада қолданады.

*СД шайымы* парафин мен нафталин қосылған органикалық еріткіштердің қоспасынан тұрады. Оны металл бөлшектерден ескі май және эмаль жабындарын кетіру үшін қолданады.

## 5.2.8. Компаундтар

Компаундтар<sup>1</sup> құрамында еріткіштері жоқ электроқшаулағыш материалдардан алынған механикалық қоспалар.

Лактармен салыстырғанда компаундтар жақсы ылғалға төзімділікті және оқшауламаның ылғал өткізбеушілігін қамтамасыз етеді, өйткені суытқан кезде сіңіргеннен кейін буланатын еріткіштің іздерісіз толық қатаяды; жылуды бөлудің жақсы жағдайлары есебінен аппарат қуатын арттырады.

Бастапқы күйінде компаундтар сұйық не қатты болуы мүмкін.

Сұйық компаундтарға тұтынар алдын қатайтқыш енгізеді, нәтижесінде олар ақырындап қатая бастайды да монолиттік қатты диэлектрикке айналады. Компаунд қасиеттері бастапқы шайырға ғана емес, қатайтқыш түріне де байланысты. Шайыр мен қатайтқыштан ғана тұратын компаундтар әдетте термиялық кеңеюдің жоғарғы коэффициентіне ие. Металл бөлшектерді осындай компаундтармен оқшаулаған кезде оқшауламаның шытынауына әкеп соқтыратын үлкен ішкі кернеулер пайда болады.

Ішкі кернеулерді жою үшін компаундтарға шөгуді азайтып, компаундтың жылу өткізгіштігін жақсартатын толтырғышты енгізеді.

Қатты компаундты белгілі бір тұтқырлықтағы затты алу үшін алдын ала тиісті температурада қыздырады.

Қолданылатын шайырларға байланысты компаундтар термопластикті не терморективті болуы мүмкін.

Термопластикті компаундтар қыздырғанда жұмсарады да суытқанда қатаяды. Бұл ретте сіңіру температурасы бұйымның термиялық бұлінуіне және жұмыс кезінде компаундтың ағуына жол бермеуі тиіс.

---

<sup>1</sup> Компаунд (от *англ.compaund* — құрайтын, араластырылған) — асфальт және парафин заттар мен майлардан жасалған оқшаулағыш материал.



Терморреактивті компаундтар бастапқы күйінде сұйықтық болып табылады. Қызуға төзімділігін, механикалық беріктігін арттыру және шытынауға бейімділігін төмендету үшін терморреактивті компаундтарға толтырғыштар енгізеді (кварц, фарфор ұны). Олар, әдетте, термопластиктілерге қарағанда, жоғары қызуға төзімділікке ие, өйткені қыздырған кезде қайтпастай қатайды, содан соң жұмсармайды. Алайда терморреактивті компаунд құйылған бұйымдар көп жағдайда жөндеуге келмейді және құйылған бұйым зақымданғанда оны алмастыру қажет.

Тағайындалуы бойынша компаундтарды сіндіргіш және құятын деп бөледі.

Сіндіргіш компаундтар лактар сияқты ұсақ тесікті және талшықты материалдарды сіндіру үшін қызмет етеді. Сіндіру атмосфера қысымында (еркін сіндіру), қысыммен немесе вакуумда жүргізілуі мүмкін.

*Атмосфера қысымында сіндіруді* сіндіргіш құрамның тұтқырлығы азғантай болған жағдайда пайдаланады.

*Қысыммен сіндіруді* толтырғыш енгізілген тұтқыр сіндіргіш компаундтарды пайдаланған кезде қолданады. Бұл орайда бұйымда ауаны және су буларын кетіру үшін вакуумдық тәсілмен кептіреді, ал кейін сол резервуарда (вакуумдалған бұйымның ұсақ тесіктеріне ауаның кіруіне жол бермеу үшін) қысым астында компаундпен сіндіреді. Артық қысым жасау үшін нейтраль газын (азот, аргон және т.б.) пайдаланады, өйткені атмосфера ауасы сіндіргіш компаундтардың қышқылдығын арттырып жіберуі мүмкін.

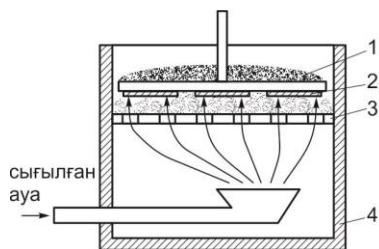
Бұл тәсіл сіндіргіш құрамның терең және тар тесіктерге кіруін қамтамасыз етеді.

*Вакуумда сіндіру* қондырғыларда кептірумен біржола жүзеге асырылады.

Құятын компаундтар түрлі бөлшектердегі салыстырмалы түрде үлкен қуыстар мен аралықтарды толтыру үшін, сондай-ақ бөлшектерге, тораптарға және блоктарға салыстырмалы қалың жабындар жағу үшін қызмет етеді. Құю үшін бұйымды тиісті қалыпқа салады да оған компаундты бұйымды толық қоршайтындай етіп құяды. Құю материалының қатаю процесі аяқталған соң қалып алынып тасталады. Бұл ретте қалып бетін қайталайтын тегіс біртекті бет пайда болады.

Компаунд қабатын алу үшін бұйым бетінде дірілқұйындық тәсілін қолданады (5.4-сурет). Арнайы жүктеу камерасындағы ұсақ тесікті далдаға жұқа ұнтақ етіліп ұсақталған компаунд қабатын қояды. Қысылған ауа мен діріл көмегімен камерада сырттай қайнап жатқан сұйықтықты еске түсіретін ауадағы ұнтақ суспензиясы пайда болады (псевдосұйылтылған қабат).

Ұнтақ камераға қысқа уақытқа салынған қыздырылған бұйымдардың бетіне шөгеді де балқып, оған жабысады. Бұйымды жағылған ұнтақ қабатымен белгілі бір температурада бірнеше сағат



5.4-сур. Псевдосұйылтылған қабатта қорғаныс жабынын жағу сұлбасы (дірілқұйындык тәсіл):

- 1 — псевдосұйылтылған ұнтақ тәрізді компанд;
- 2 — қыздырылған бұйым;
- 3 — ұсақ тесікті далда;
- 4 — камера

бойы компанд балқуы және полимерленуі үшін ұстап тұрады.

Синтетикалық компандтар (эпоксидтік, кремнийорганикалық, полиэфирлік) көп таралған.

Эпоксидтік компандтар эпоксидті шайырлардың қатайтқыштармен, пластификаторлармен және толтырғыштармен модификациясы.

Эпоксидтік компандтардың мателдарға, керамикаға, пластмассаларға және талшықты окшауламаға адгезиясы жоғары; механикалық беріктігі жоғарылатылған; көлемдік шөгуді шағын (0,5...2,5%); жоғары температураларда сұйықтан қатты күйге ауыса алады (шамамен 120...140 °С, қатайтқышқа байланысты). «Өмір мерзімі», яғни дайындалған сұйық зат аққыштығын сақтайтын уақыт кейбір компандтарда 4 сағатқа жетеді.

Эпоксидтік компандтарды ауыр жағдайларда жұмыс істейтін трансформаторларды; арбиған фарфорлы және металл бөлшектердің орнына кедергі блоктарын дайындау үшін; жартылай өткізгіш құрылғылар мен кристаллдарды бітеуге арналған интегралды сұлбаларды өндірген кезде құятын құрамдар ретінде қолданады.

Кремнийорганикалық компандтар полимерлеуден кейін серпімді қатты заттарға айналатын тұтқыр сұйықтықтар. Кремнийорганикалық компандтардың диэлектрлік және механикалық қасиеттері жоғары, тұтқырлығы аз, сіндіргіш қабілеті жоғары, 350 °С температураға дейін қызуға төзімді, -60 °С-ға дейін суыққа төзімді.

Кремнийорганикалық компандтарды жартылай өткізгіш құрылғыларды және интегралдық сұлбаларды трансферлік сығу және қалыпқа құю әдісімен бітеу үшін қолданады.

Полиэфирлік компандтарды стиролмен, мегилметакрилатпен және басқа мономерлермен байланыста қанықпаған полиэфирлер негізінде дайындайды. Қатау катализаторлары ретінде органикалық асқын тотықтарды пайдаланады.

Полиэфирлік компандтар айтарлықтай шөгуге бейім (6 %-ға дейін).

Полиэфирлік компандтарды оптикалық-электрондық құрылғыларды және интегралдық сұлбаларды бітеу үшін қолданады.

## 5.2.9. Флюстер

Флюстер сапалы және сенімді дәнекерлеме алу үшін қосалқы материалдар болып табылады. Олар:

- металл бетін жақсы шылқытып, дәнекердің жайылғыштығын жақсартуы;
- жалғанатын бөлшектердің бетінен оксидтер мен ластықтарды ерітіп, кетіруі;
- дәнекерлеу барысында металл бетін және балқыған дәнекерді қышқылданудан сұйық және газтәріздес аймақ құра отырып, қорғауы;
- дәнекермен негізгі металлдың шылқуын жақсарту үшін балқыған дәнекердің бетте созылуын төмендетуі;
- жұмыс температурасы дәнекердің балқу температурасынан 50...100 °С төмен болуы;
- тоттануды туғызбауы;
- дәнекерлеу температурасы кезінде өз құрамын өзгертпеуі;
- дәнекерленген соң беттен оңай кетірілуі тиіс.

Жалғанатын беттерде әсері бойынша флюстерді белсенді (қышқылды), қышқылсыз, белсендендірілген және тоттануға қарсы деп бөледі.

Белсенді (қышқылды) флюстер дәнекерлеменің жақсы адгезиясын және механикалық беріктігін қамтамасыз ете отырып, жалғанатын бөлшектердің бетінде оксид үлбірлерін қарқынмен ерітеді. Осы флюстердің негізін белсенді заттар құрағандықтан (тұ қышқылы, хлорлы және фторлы металл қоспалары), дәнекерлеуден кейінгі флюс қалдықтары дәнекерлеменің және негізгі металлдың қарқынды тоттануын туғызады. Сондықтан белсенді флюстерді флюс қалдықтарын мұқият шайып кетіру мүмкін болғанда ғана қолданады. Радиоэлектрондық аппаратураны монтаждық дәнекерлеу кезінде белсенді флюстер қолданылмайтын болған.

Қышқылсыз флюстер — бұл канифоль мен соның негізінде белсенді емес құрамбөліктерді (спирт, глицерин) қосумен дайындалған флюстер. Қышқылсыз флюстер қалдығы дәнекерленген орында тот туғызбайды және оқшауламаның электрлік кедергісін өзгертпейді (мәселен, КС, ФПП флюстері).

Белсендендірілген флюстерді белсендендіргіштерді (салицил қышқылының, тұзқышқыл және фосфорқышқыл анилиннің және т.б. аздаған мөлшерін) қосумен канифоль негізінде әзірлейді. Кейбір белсендендірілген флюстердің жоғары белсенділігі дәнекерлеуді майланғаннан кейін оксидтерді алдын ала кетірусіз жүргізуге мүмкіндік береді.

Алайда осы тектес флюстердің көмегімен дәнекерлегенде дәнекерлеу орындарын еріткіштермен шаю қажет етіледі.

Тоттануға қарсы флюстерді органикалық қышқылдардың,

фосфор қышқылының негізінде түрлі органикалық қоспалар мен еріткіштерді қосумен әзірлейді. Бұл флюстердің қалдығы тот тудырмайды (мәселен, ВТС флюсі).

### 5.3. Қатты бейорганикалық диэлектриктер

Қатты бейорганикалық диэлектриктерге әйнектер; әйнекті арнайы термиялық өңдеу арқылы алатын әйнеккристалл материалдар; оксидті электроқшаулағыш үлбірлер; керамика; слюда және соның негізінде жасалған материалдар.

#### 5.3.1. Әйнек

Әйнек — атомдары бір-біріне қатысты еркін орын ауыстыра алмайтын түрлі оксидтердің күрделі жүйесін беретін қатты бейорганикалық аморфты заттар. Кейде заттың осындай күйін әйнек тәрізді деп атайды.

Әйнек құрылымындағы орны бойынша және әйнек қалыптастыру процессіндегі рөлі бойынша оксидтер әйнекқалыптастырғыш оксидтер, модификатор оксидтер, аралық оксидтер болып бөлінеді.

Әйнекқалыптастырғыш оксидтер әйнекті таза түрінде қалыптастыра алады. Мұндай оксидтерге  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{GeO}_2$ , сондай-ақ кейбір күшән, селен, теллурдың оттегісіз қоспалары жатады. Әйнекқалыптастырғыш атауы бойынша оксидтерді кейде әйнектің өзі деп те атайды. Мәселен,  $\text{SiO}_2$  оксиді негізіндегі әйнекті силикатты деп атайды.

Әйнекті қайнатқанда әйнекқалыптастырғыш оксидтер конденсация процессінің дамуына септігін тигізеді, ал қалған оксидтер молекулалық тізбектерге қосылады да бұйымға белгілі бір физикалық-механикалық қасиет бере отырып, қарапайым ұяшықтар жинағын құрады. Мәселен, құрамы бойынша қарапайымдау кварц әйнегінде қарапайым ұяшықтар өздерінің көшкіндарымен жалғанатын  $\text{SiO}_4$  тетраэдалары болып табылады.

Өнеркәсіптік әйнектердің негізгі көпшілігін басқа оксидтің қоспалары бар силикат әйнектер құрайды, олар кварц әйнегімен салыстырғанда біршама төмен температураларда жұмсарады да бұйымдарға оңай өңделеді. Мәселен, микросұлба корпустарының шығынқы жерлерін оқшаулау үшін боросиликат әйнектерді пайдаланады.

Модификатор оксидтерді технологиялық себептері бойынша әйнектер құрамына енгізеді, мәселен, тұтқырлығын арттыру, өңделгіштігін жақсарту, дәнекерлеу температурасын төмендету және т.б. үшін.

Оларға  $\text{NaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  сілті оксидтері,  $\text{CaO}$ ,  $\text{BaO}$  сілтіжер оксидтері жатады.

Аралық оксидтер әйнек қалыптастырмайды, бірақ оларға түрлі қасиет беруі мүмкін. Мәселен, кейбір қоспалар әйнектерге белгілі бір түс береді:  $\text{CoO}$  — көк,  $\text{UO}_2$  — сары,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — жасыл, бұл түсті әйнектер мен глазурьлерді алу кезінде пайдаланылады. Құрамында темір оксиді қоспаларының болуының арқасында техникалық әйнектердің көбі ультракүлгін сәулелерін қатты жұтады.

Басқа аморфтық материалдар сияқты әйнектерде күрт байқалған балку температурасы болмайды. Қыздырған кезде әйнек тұтқырлығы төмендеп, ол жаймен сұйық күйге көшеді. Бұл көшу біршама уақыт аралығында орын алады  $t_1 \dots t_2$ :  $t_1$  — әйнек морттық қасиетін жоғалтатын (жұмсарғанда) немесе ол қасиетке ие болатын (суығанда) температура;  $t_2$  — жіптерді тартып шығаруға болатын температура.  $t_1 \dots t_2$  температура аралығы неғұрлым үлкен болса, әйнектің диэлектрлік қасиеттері соғұрлым төмен болады.

Әйнек балқытылған оксид қоспаларын (әйнек массасын) тез суытқанда алынады. Бұл жағдайда молекулалар кристалл торын қалыптастырып үлгермейді де тұтқырлық артқан сәтте кездейсоқ күйде бекітіліп қалады.

Қыздыру процессінде жұмсарған әйнек үрлеу, созу, сығу, құю арқылы өңделеді. Жетерліктей жоғары температураға дейін қыздырылған әйнек бөлшектері бір-біріне дәнекерлене алады, сондай-ақ басқа материалдардан жасалған бөлшектерге де (металл, керамика және т.б.).

Әйнектен жасалған бұйымдар әйнекте ол тез және әркелкі суыған кезде пайда болатын механикалық кернеулерді жою үшін өртеледі. Өртеу барысында бұйымды белгілі бір температураға дейін қыздырады, ал кейін ақырындап салқындатады. Әйнектердің қасиеті олардың құрамы мен жылумен өңдеу режіміне байланысты ауқымды шектерде өзгереді.

Әйнекті сипаттайтын негізгі параметрлер тығыздық, механикалық беріктік, қаттылық, электрлік және жылулық қасиеттері, химиялық төзімділігі болып табылады.

Әйнектердің тығыздығы 2-ден  $8 \text{ г/см}^3$  дейін ауытқып тұрады. Кәдімгі силикат әйнектердің тығыздығы  $2,5 \text{ г/см}^3$  жақын. Құрамында  $\text{PbO}$  қорғасын оксиді 80%-ға дейін болатын ауырлау қорғасын әйнектердің тығыздығы темір тығыздығымен шамалас ( $8 \text{ г/см}^3$ ).  $\text{SiO}_2$  кремний оксидінен ғана тұратын кварц әйнегінің тығыздығы ең аз ( $2,3 \text{ г/см}^3$ ).

Әйнектердің механикалық қасиеттері созу және қысу кезінде беріктік шегімен айқындалады. Созған кездегі әйнектің беріктік шегі  $83 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  аспайды және ондағы  $\text{SiO}_2$  кремнеземі мен  $\text{CaO}$  кальций оксиді жоғарылағанда ұлғады.

Сілті оксидтері әйнек беріктігін төмендетеді. Әйнек қысуға жақсырақ төтеп береді. Кәдімгі әйнектің беріктік шегі қысқан кезде  $90 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$  тең, яғни созған кездегі беріктік шегінен 10 есе көп.

Дұрыс өртеу әйнектің созуға және қысуға беріктігін арттырады. Әйнектің созған және қысқан кездегі беріктік ерекшеліктері металләйнек дәнекерлерді құрастырғанда ескеріледі.

Әйнектің қаттылығы — бұл оның тырналануға қарсыласу қабілеті. Әйнектің қаттылығы айтарлықтай, бірақ соққы жүктемелеріне нашар төтеп береді. Боросиликат әйнектердің қаттылығы біршама көп, олардың құрамында шамамен 15 % бор ангидридi ( $B_2O_3$ ) болады, ал ең жұмсақ әйнектер — қорғасын әйнектер болып табылады. Әйнектің қаттылығы оны кескен, тегістеген, бұрғылаған және басқа механикалық өңдеу түрлері кезінде үлкен маңызға ие.

Әйнек өте морт материалдарға жатады. Ең аз морттық боросиликат әйнектерде болады.

Әйнектердің электрлік қасиеттері олардың химиялық құрамы мен термиялық өңдеуіне байланысты. Қалыпты температурада әйнектердің үлестік электрлік кедергісі  $\rho$   $10^6$ -дан  $10^{15}$  Ом·м-ға дейінгі аралықта өзгереді, бірақ кейбір әйнектерде  $\rho 10^3$  Ом·м құрауы мүмкін. Әйнек массасы құрамында сілті металлдары оксидтерінің көп мөлшерде болуы әйнек бөлшектерінің көлемдік кедергісін айтарлықтай төмендетеді. 200 °C температурада ол қалыпты температура кезіндегі үлестік электрлік кедергімен салыстырғанда  $10^4$  есе азаяды. Эквивалентті металл оксидтерін енгізу әйнектің электр өткізгіштігін бірнеше есе төмендетеді ді оның температура әсерінен өзгеру қарқыны азаяды.

Әйнектердің диэлектрлік өткізгіштігі  $\epsilon$  олардың құрамы мен температурасына байланысты. 20...60 °C температуралар асында оның өзгеруі азғантай, ал 110 °C температурадан бастап сілті әйнектерде өткізгіштік күрт артады. Ең аз диэлектрлік өткізгіштік е таза кварц әйнекте болады ( $\epsilon = 3,7$ ). Ең жоғары шығын сілті әйнектерде байқалады. Сілті оксидтерінің болуы ( $Na_2O$   $K_2O$ -ға қарағанда көптеу болуы) силикат әйнектердің диэлектрлік өткізгіштігін арттырады.

Әйнектердің жылулық қасиеттерінен  $T_{жұм}$  жұмсару температурасы, ТК/ сызықтық кеңеюдің температуралық коэффициенті, ТКК термиялық кеңею коэффициенті.

Әйнектің жұмсару температурасы деп оның тұтқырлығы  $10^7...10^8$  Па·с құрайтын температураны есепейді. Көптеген әйнектердің жұмсару температурасы — 350-ден 1700 °C-ға дейін (1700 °C шамасындағы температурада құрамындағы  $SiO_2$  100% құрайтын кварц әйнегі жұмсарады).

Әйнек жылулы нашар өткізеді. Оның жылу өткізгіштігі температура өзгергенде өзгереді. Температура жоғарылағанда әйнектің жылу өткізгіштігі артады және жұмсару температурасында бөлме температурасындағы әйнекке тән жылу өткізгіштікпен салыстырғанда шамамен екі есе артады.

Әйнектердің сызықтық кеңеюінің температуралық

коэффициенті  $TKI$   $5,5 \cdot 10^{-7}$  шамадан  $150 \cdot 10^{-7} K^{-1}$  дейін өзгереді. Әйнектің бұл коэффициенті әйнектердің термосокқыларға төзімділігін бағалай үшін маңызды:  $TKI$  неғұрлым аз болса, әйнектің термосокқыларға төзімділігі соғұрлым жоғары болады. Әйнектердің  $TKI$  мәнін оларды басқа материалдармен қосқан кезде немесе түрлі беттерге әйнек эмалін жаққан кезде ескеріледі. Әйнектің және онымен байланысатын материалдардың  $TKI$  шамамен бірдей болуы тиіс.

Әйнектердің молибден не вольфрам тобына тиістілігі осы әйнектердің  $TKI$  электровакуумдық құрылғыларда кен қолданылатын молибден немесе вольфрамның  $TKI$  мәніне жақындығымен түсіндіріледі.

Термиялық кеңею коэффициенті  $TCK$   $5 \cdot 10^{-8}$  -ден  $8 \cdot 10^{-7} 1/^\circ C$  дейінгі аралықта құбылып тұрады.  $TCK$  кварц әйнегінде ең аз болады.  $TCK$  азғантай әйнектер температураның күрт құбылуына төтеп береді. Әйнекке сілтілік оксидтерді енгізген кезде оның  $TCK$  анағұрлым артады.  $SiO_2$  мен  $B_2O_3$  мөлшерін 15 %-ға дейін арттыру әйнектің  $TCK$  төмендетеді. Электровакуумдық және жартылай өткізгіш өндірісінде әйнектерді  $TCK$  бойынша сыныптайды.

*Қатты* немесе *баяубалқитындарға*  $TCK$ -сі  $55 \cdot 10^{-7} 1/^\circ C$ -дан аспайтын әйнектер жатады. Баяу балқитын әйнектерде борсиликаты немесе алюминийсиликаты болады, диэлектрлік қиеттері жоғары, термиялық төзімді және жұмсару температурасы, сондай-ақ механикалық беріктігі жоғары болады.

Жұмсақ немесе жеңіл балқитындарға  $TCK$ -сі  $60 \cdot 10^{-7} 1/^\circ C$ -дан асатын әйнектер жатады. Жеңіл балқитын әйнектерде қорғасын, барит немесе магnezиялық құрам болады және колб, аяқша, штангель және т.б. дайындау үшін пайдаланылады.

Әйнек белгілерінде (мәселен, C52-1) C әрпі әйнекті, екімәнді сан – оның  $TCK$ -сін, ал соңғы сан – әйнектің осы белгісін әзірлеудің реттік нөмірін білдіреді.

Әйнектің термиялық кеңею коэффициентін  $TCK$  әдетте қосарлы тізбек әдісімен айқындайды. Газ жанарғысы отында екі әйнектің дәнекерін дайындайды – эталондық пен сыналатынның, ал кейін дәнекерден тізбекті тартады. Эталон мен үлгі  $TCK$ -сі бірдей болғанда тізбек суыған соң тіктеледі, ал түрлі температураларда - майысады.

Әйнектің химиялық төзімділігі де оның құрамына байланысты. Әйнектің химиялық төзімділігі салыстырмалы түрде жоғары, бірақ су, сілтілер және қышқылдар оның бетін жайлап бүлдіреді. Су, сілті және қышқыл температурасы артқан сайын әйнектің бүліну процесі де күшейе түседі. Органикалық еріткіштердің әсеріне әйнек төзімді.

Еріткіш қышқылда жақсы ериді, сондықтан жартылай өткізгіш материалдарды өндеген кезде еріткіш және азот қышқылдарының қоспасында әйнек ыдысты пайдалануға болмайды. Әйнектің

химиялық төзімділігі бойынша оны бес гидролиздік сыныпқа бөледі.

Химиялық құрамы бойынша силикат әйнектерді үш топқа бөледі:

- ауыр оксидтерсіз немесе олардың мөлшері азғантай сілті әйнектері (оларға тұрмыста кеңірек таралған терезе және бөтелке әйнектері жатады);

- электроқшаулағыштар ретінде қолданылатын ауыр оксидтердің мөлшері көп сілті әйнектері (BaO, PbO);

- сілтісіз әйнектер (кварц әйнегі), сондай-ақ сілті оксидтерінің мөлшері өте аз әйнектер.

Радиоэлектроникада қолданылуы бойынша электровакуумдық әйнектер, оқшаулау әйнектері, әйнекэмальдар, әйнекталшық және жарық өткізгіштер деп бөледі.

Электровакуумдық әйнектерді газ қуатсыздану және электрондық шамдардың баллондарын, рентген шамдарының қаптарын, кинескоптарды және т.б. дайындайды.

Оқшаулау әйнектерін конденсаторлардың, терморезисторлардың кейбір түрлерінің шығарылмаларын бітеу үшін, микросұлба корпустарының металләйнек дәнекерін алу үшін пайдаланады. Боросиликат және алюминийсиликат әйнегін оқшаулау төсемелерін дайындау үшін қолданады, оларға микросұлбалардың активті және пассивті элементтерін орнатады.

Әйнекэмальдар – бұл бұйымдардың бетіне оны тоттанудан қорғау, электрден оқшаулау, сондай-ақ эстетикалық сыртқы келбет беру үшін жағылатын жеңіл балкитын әйнектер. Әйнектің ұсақталған ұнтағын бұйым бетіне жағып, күйдіреді. Балку нәтижесінде эмаль бұйым бетіне жайылады да суыған соң онда жұқа (0,1...1,0 мм) жалпақ әйнек тәрізді жабын болып қалады.

Электроқшаулағыш материал ретінде әйнекэмальдарды түтік тәрізді резисторлар үшін қолданады. Керамикалық түтіктің сыртқы бетіне эмаль қабатымен жабылатын сым орамы жағылады. Эмаль бөлек орамдар, қабық пен қоршаған орта арасында оқшаулама қалыптастырады, сондай-ақ оны қышқылданудан, ылғалдан және т.б. қорғайды.

Әйнекталшықты әйнек балқымасынан алады, көбінесе сілтісіз алюминийборосиликат әйнектен. Балкытылған әйнек массасы диаметрі Расплавленная стекломасса про мм фильерлерден өтеді. Фильерлерден шығатын жіп үлкен жылдамдықпен барабанға оралады (шамамен 30 м/с) және ыстықтай қалыңдығы бірнеше микрометр жұқа талшыққа созылады.

жоғары қызуға төзімділігімен, арттырылған механикалық беріктігімен, салыстырмалы түрде аз ылғал тартқыштығымен, жақсы электроқшаулағыш қасиеттерімен ерекшеленеді (электрлік беріктігі  $E_{бер} = 150$  кВ/см).



Әйнекталшықтан жасалған оқшауламаның кемшіліктері салыстырмалы жоғары морттық, қажалуға және майысуға төмен төзімділік және үзілген кезде салыстырмалы созылуының аз мәні (2...3%) болып табылады.

Әйнек жіптерінен жарық өткізгіштер, монтаждық, орамалық және микросымдарды, әйнек маталардың оқшауламасын, қызуға төзімді әйнеклакматаларды және әйнектекстолиттерді өндірген кезде пайдаланатын әйнек маталар әзірлейді. Қысқы әйнекталшықтардан жасалған сыққыш ұнтақты пластмассалар үшін толтырғыш ретінде қолданады.

Жарық өткізгіштер жарық сынғыштық көрсеткіші жоғары жарық өткізгіш желіден және жарық сынғыштық көрсеткіші төмен оқшаулау қабығынан тұратын жарық өткізгіш талшық. Спектрдің көрінетін және жақын инфрақызыл саласында оптикалық әйнектен жасалған жарық өткізгіш талшықтар кең таралған. Жарық өткізгіштерді есептеуіш техникада, теледидарда, фототелеграфияда және т.б. түрлі ақпараттарды беру үшін қолданады. Жауапкершілігі аздау жағдайларда, мәселен, жарықтандыру үшін әйнекті жарық өткізгіш талшықтардың орнына полиметилметакрилаттан, полистиролдан және басқа пластмассалардан жасалған арзандау пластмассалық талшықтарды қолданады.

### 5.3.2. Ситаллдар

Ситаллдар<sup>1</sup> — кәдімгі оксидтерден бөлек кристаллдау орталықтарын қалыптастыру үшін қызмет ететін жұқадисперстік қоспаларды енгізетін әйнекмассаны ішінара кристаллдаудан алынған өнімдер.

Ситаллдардың құрылымы өте ұсақ (өлшемі 0,01...1,0 мкм), тәртіпсіз бағдарланған кристаллдардың (60...90%) және қалдық әйнектің қоспасынан тұрады (40.5%). Ол қосарлы өртеуден кейін қалыптасады. Бірінші өртеу процессінде кристаллдау орталықтары қалыптасады, екінші өртеу процессінде дайын орталықтарда кристаллдар өседі.

Ситаллдардың түрлі белгілеріне кремнийдің —30-дан 90 %-ға дейін, титанның —10-нан 20%-ға дейін, бордың —15-тен 30 %-ға дейін, алюминийдің — 12-ден 28%-ға дейін, магнийдің – 5-тен 20%-ға дейін, калийдің – 2-ден 4%-ға дейін, литийдің оксидтері кіреді – 5-тен 10%-ға дейін.

<sup>1</sup> Ситалл — «силикат» пен «кристалл» сөздерінің қысқармасы. Силикаттар (*лат. сөзі* silex— шақпақтас) — кең таралған минералдар (қатты жер қыртысы массасының 85%-ын құрайды); құрамы және кристаллохимиялық құрылымы бойынша күрделі және алуан түрлі метакремний және ортокремний қышқылдарының тұздары, оларда кейде кремний алюминиймен, бормен, титанменжәнекейбір басқа элементтермен алмастырылады.

Кристаллдау стимуляторлары ретінде титан оксидін  $TiO_2$ , темір күкіртін  $FeS$ , кейбір металлдардың фторидтері мен фосфаттарын және басқа заттарды қолданады. Ситаллдар әйнектерден айырмашылығы химиялық құрамының және құрылымының өзгешелігінде және кәдімгі әйнектер мен керамика ішінде аралық орын алатынында. Олар бүкіл көлемі бойынша теңдей бөлістірілген бір-бірімен қосыла өскен немесе қалдық әйнектің жұқа қабатшаларымен біріктірілген ұсақ кристалликтерден тұрады. Кристалл фазасының ситаллдардағы мөлшері 95% жетеді, ал оңтайлы жетілген кристалликтердің өлшемі 0,01...2 мкм құрайды. Әйнектерге қарағанда, ситаллдар мөлдір емес, бірақ олардың кейбірі ішінара жарық өткізеді.

Ситаллдарды дайындау технологиясы бұйымды арнайы таңдалған құрамдағы әйнекмассадан дәстүрлі тәсілдермен алудан және оларды кейіннен екіжақты термиялық өңдеуден тұрады. 500...700 °C температурада кристаллдау орталықтары қалыптасады, ал 900...1100 °C температурада — кристалл фазасы дамиды.

Термиялық өңдеу процессінде материал 2%-ға дейін шөгеді. Осындай әдіспен алынған ситаллдар *термоситаллдар* деп аталады.

Ситаллдарда кристалл құрылымның қалыптасуы фотохимиялық тәсілмен жүргізілуі мүмкін. Сәулеленудің әсерінен және кейіннен төмен температурада өндеген соң (көрсету процессі) әйнек құрамына кіретін оксидтерден кристаллдаудың стимулаторлары болып табылатын ұсақ (коллоидті) металл бөлшектері (мыс, алтын, күміс, алюминий және т.б.) бөлініп шығады. Көрсету процессі кезінде бұрын түссіз болған материал белгілі бір түске енеді (ақтан қоңырға дейін). Осындай ситаллдар *фотоситаллдар* деген атқа ие болды.

*Сегнеттік-* және *пьезоситаллдар* әзірленді. Олар белсенді диэлектриктер ретінде пайдаланылады.

Бастапқы әйнектің химиялық құрамына және термиялық өңдеу режиміне байланысты келесі қасиеттерге ие ситаллдарды алады: жоғары механикалық беріктік, қаттылық, термиялық және химиялық төзімділік; жұмыс температураларының интервалы — -50-ден +700 °C-ға дейін; химиялық құрамы сондай әйнектермен салыстырғандағы жоғарылау электроқшаулағыш қасиеттер; шикізаттың қолжетімдігінің және дайындау технологиясының қарапайымдылығының арқасында бұйымдардың жоғары емес бағасы; аз диэлектрлік шығындар.

Ситаллдардың бұл қасиеттері оларды жиіліктің және температураның ауқымды диапазонында жұмыс істейтін түрлі электрондық техника құрылғылары үшін қолданылады.

### Ситаллдардың негізгі сипаттамалары

Тығыздығы $D$ , кг/м <sup>3</sup> .....	2300...3000
Жұмсару температурасы $T$ , °С.....	900.1300*
Беріктік шегі, МПа:	
майыстырғанда $\sigma_{\text{майыс}}$ .....	120.200
қысқанда $\sigma_{\text{қыс}}$ .....	500. 1200
Сызықтық кеңеюінің температуралық коэффициенті ТКІ, К <sup>-1</sup> .....	(0,1... 12)·10 <sup>-6</sup>
Үлестік электрлік кедергісі $\rho$ , Ом·м .....	10 <sup>10</sup> ...10 <sup>12</sup>
Диэлектрлік өткізгіштігі $\epsilon$ .....	5...7
1 МГц жиіліктегі диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі $\text{tg}\delta$ .....	(10...800)·10 <sup>-4</sup> **
Электрлік беріктігі $E_{\text{бер}}$ , МВ/м.....	20.80

\* Әйнекте жұмсару температураларының аралығы кең.

\*\* Әйнекте бұның құрамы сондай.

### 5.3.3. Керамика

Керамика<sup>1</sup> бейорганикалық тұздарды минералдармен және металл оксидтерімен жоғары температурада біріктіру кезінде алатын қатты тығыз материал. Қыздырғанда бастапқы материалдар кристалл және аморфтық фазаны қалыптастыра отырып, өзара әрекеттеседі.

Бастапқы материалдар ретінде пластикалық емес кристалл қалыптастыратын және пластикалық құрамбөліктерді пайдаланады.

*Кристаллқалыптастыратын* құрамбөліктерге бейорганикалық тұздар (хлорлы алюминий, хлорлы темір, хлорлы магний және т.б.), минералдар (кварц, глинозем және тальк), сондай-ақ карбонаттар жатады.

*Пластикті* құрамбөліктерге түрлі балшықты материалдар жатады.

Керамикадан көптеген бұйымдарды әзірлеу кезінде қажетті құрамбөлік саз болып табылады.

Керамикалық материалдар кристаллдық, аморфтық немесе әйнек тәрізді және газды фазалардан тұратын көпфазалы жүйені білдіреді.

Кристалл фаза негізгі болып табылады. Кристаллдар күрделі оксидтер, карбонидтер немесе солардың негізіндегі қатты ертінділер. Керамиканың құрамында бір не бірнеше кристалл фазалар болады, керамиканың жекелеген түрлерінің өз құрылымында әйнек мүлде болмайды.

<sup>1</sup> Керамика (гр. сөзінен *keramos* — саз-балшық, *keramike techne* — құмыра жасау өнері) — күйдірілген балшықтан (майолика, терракота, фаянс, фарфор және т.б.) жасалған бұйымдардың барлық түрінің жалпы атауы.

Аморфты фаза өзінің химиялық құрамы бойынша кристаллдардан ерекшеленетін әйнек болып табылады. Әйнек қабатшасы кристалл фазаны байланыстырады.

Газды фаза керамикада материалдың механикалық және электрлік қасиеттерінің төмендеуіне әкеп соқтыратын қуыс, ұсақ сызат түрінде болады.

Жоғары оқшаулау қасиеттерін қамтамасыз ету үшін тек кристалл фаза болғаны абзал. Бірақ аморфты құрамбөлік керамикалық бұйымдарды дайындаудың технологиялық процессінде ерекше маңызды рөл ойнайды. Күрделі реакциялар салдарынан ол бастапқы ұнтақтың жекелеген дәнектерін цементтейді және материалға қажетті механикалық беріктік қамтамасыз етеді.

Керамикалық материалдардың электрлік қасиеттері әлсіз байланысқан иондардың санына және байланысу дәрежесіне байланысты, мәселен, сыртқы факторлардың әсерінен (температура, электр өрісі) байланысу орындарын тастап, орын ауыстыруы мүмкін калий мен натрий. Бұның нәтижесінде керамиканың электрөткізгіштігі артады.

Керамикалық материалдардың жоғары қызуға төзімділік, ылғалға төзімділік, механикалық беріктік қасиеттері, жоғары диэлектрлік қасиеттері бар, пайдалану кезінде параметрлері тұрақты әрі сенімді, материалдың алдын ала берілген электрофизикалық параметрлерін алу мүмкіндігіне ие.

Керамикалық бұйымдарды өндіру процессі келесі негізгі сатылардан тұрады: керамикалық массаны әзірлеу, бөлшектердің қалыптау, күйдіру.

Керамикалық массаны әзірлеу бастапқы материалдарды ірі бөтен қоспалардан сұрыптап, тазартудан, тартудан және оларды берілген рецептура бойынша араластырудан тұрады. Тарту су қоса отырып, шарлы тартқыштарда жүзеге асырылады. Басында пластикті емес құрамбөліктерін тартады, ал кейін пластикті материалдарды салады. Шарлы тартқыштарда алынған материалдар қоспасы *шликер*<sup>1</sup> деп аталады.

Бөлшектерді қалыптауды сығымдау, таңбалау, ыстықтай құю және кесіп өңдеу жолымен жүргізеді.

Дайындамаларды бөлме температурасында ауада, сондай-ақ 60...70 °С температурада кептіргіш шкафтарда кептіреді. Күйдіретін алдын дайындамаларды 70...80 °С температураға дейін қыздырады да 1,6 сағатқа парафинді ваннаға батырып қояды. Ванна температурасы 80.100 °С құрайды. Сіндірген соң дайындамаларды парафин қалдықтары ағып түсуі үшін көлбеу қаңылтыр табаға орналастырады.

Күйдіруді екі сатыда үздіксіз не дүркін-дүркін әрекеттегі пеште жүргізеді. Бірінші сатыда 800...1000 °С температурада керамикалық массадағы органикалық заттар жанады.

<sup>1</sup> Шликер (*нем. schlicrer*) — минералды ұнтақтардың суы бар қоспасы.

Екінші сатыны керамикалық массаны пісіріп, бөлшектің түпкілікті өлшемін және қажетті механикалық берктікті алу үшін 1000...1700 °С температурада жүргізеді. Керамикалық бұйымдардың қасиеттері күйдіру режиміне және қоспалардың мөлшеріне көп байланысты. Керамиканың тұрақты қасиеттерін алу үшін күйдіру режимдері тұрақсыз қоспалар пайда болмайтындай және қатты ертінділер ыдырамайтындай етіліп, тандалады. Қоспа бөтен металлдардың оксиді және ылғал болуы мүмкін. Ылғал керамиканың электрлік параметрлерін нашарлатады.

Кейбір жағдайларда күйдірілген бұйымдар қосымша механикалық өңдеуден өткізілуі және металлдануы мүмкін.

Керамикалық материалдар қасиеттері және қолданылу аясы бойынша әркелкі. Тағайындалуына байланысты келесі түрдегі радиотехникалық керамикалық материалдарды әзірлейді: конденсаторлық керамика (жоғарыжиілікті және төменжиілікті), орнату керамикасы (жоғарыжиілікті және төменжиілікті).

Керамиканың әр түрін 10 сыныпқа бөледі.

Конденсаторлық керамиканың диэлектрлік өткізгіштігі жоғары, диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі аз, электрлік және механикалық беріктігі жоғары, термиялық төзімділігі жоғары және диэлектрлік өткізгіштің температуралық коэффициенті төмен (контурлық тұрақты конденсаторлар), диэлектрлік өткізгіштіктің температуралық коэффициентінің мәні теріс (термокомпенсациялайтын конденсаторлар) болуы тиіс.

Керамикалық бұйымдардың (конденсаторлардың) қасиеттерін бастапқы шикізат құрамын, технологиялық дайындау режимдерін өзгерте және түрлі қоспалар қоса отырып, өзгертуге болады.

Конденсаторлық керамиканы әзірлеу үшін бастапқы шикізаттың негізгі құрамбөліктері титанның, қалайының, цирконийдің, стронцийдің, кальцийдің, магнийдің, алюминийдің және т.б. кристаллқалыптастырғыш оксидтері болып табылады. Конденсаторлық керамиканың бастапқы шикізаты төмен пластикті, өйткені онда саз болмайды немесе аз мөлшерде болады. Сондықтан одан бұйым әзірлеген кезде қажетті созылымдықты қамтамасыз ету үшін көбінесе күйдірген кезде жанып кететін органикалық байлам қосады.

*Жоғарыжиілікті конденсаторлық керамика кристаллды фаза мөлшерінің көптігімен және сілтісіз аморфты фаза мөлшерінің аздығымен ерекшеленеді.*

Жоғарыжиілікті керамика I, II, III сыныптарға бөлінеді.

I сыныбындағы керамика стронций титанатының ( $\text{SrTiO}_3$ ) немесе кальций титанатының ( $\text{CaTiO}_3$ ) негізінде алынады. I-сыныбының керамикасын ыдыс тұрақтылығының талаптары қойылмайтын жоғары жиілікті конденсаторларды әзірлеу үшін қолданады.

II сыныбындағы керамика кальций цирконатының ( $\text{CaZrO}_3$ )

және кальций титанатының ( $\text{CaTiO}_3$ ) қатты ертінділерінің немесе алюминий мен кальция нитраттарының негізінде алынады. Бұл керамика төмен және жоғары кернеулі термокомпенсациялайтын және бөлетін конденсаторларды әзірлеу үшін қолданылады.

III сыныбындағы керамика кальций станатының ( $\text{CaSnO}_3$ ), кальция титанатының ( $\text{CaTiO}$ ), кальций цирконатының ( $\text{CaCrO}_3$ ), сондай-ақ алюминий мен кальций нитраттарының кристаллқалыптастырғыш қатты ертінділерінің негізінде алынады.

Керамика жоғары термиялық төзімділігімен ерекшеленеді және жоғары тұрақтылықтағы контурлық конденсаторлар үшін қолданылады.

*Төменжиілікті конденсаторлық* керамика диэлектрлік өткізгіштік мәнінің жоғарылығымен және диэлектрлік шығын бұрышы тангенсінің салыстырмалы жоғары мәнімен сипатталады. Төменжиілікті керамиканың диэлектрлік өткізгіштігі температураға және электр өрісінің кернеулігіне байланысты. Бұл тәуелділік сызықтық заңға бағынбайды, сондықтан керамиканы сызықтық емес деп атайды. Төменжиілікті конденсаторлық керамика IV, V сыныптарға бөледі.

IV сыныбындағы керамика кристаллқалыптастырғыш қатты стронция титанаттарының ( $\text{SrTiO}_3$ ) және висмуттың ( $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ) негізінде алынады. Бұл керамика төменжиілікті конденсаторларды ( $f < 10$  кГц) және бірполярлы бейнеимпульстық конденсаторларды әзірлеу үшін пайдаланады.

V сыныбындағы керамика барий титанаты мен цирконатының, висмут титанатының, қорғасын, стронций және кальций ниобиттерінің қатты ертінділерінің негізінде алынады. Кейбір жағдайларда жоғары температуралық сегнетоэлектрикті – қорғасын метаниобатын ( $\text{PbNb}_2\text{O}_6$ ) пайдаланады. Осы сыныптағы керамиканы бөлетін және бөгейтін конденсаторларды дайындау үшін қолданады.

Орнату керамикасы механикалық жүктеме түсетін бұйымдарды (тіреуіш және аспа окшаулауыштар) немесе композициялық құрастырма бөлшектерін әзірлеу үшін қолданады.

*Жоғарыжиілікті орнату* керамикасы жоғары жиілік өрісінде жұмыс істей отырып, механикалық жүктеме түсетін радиоэлектрондық аппаратураның түрлі орнату бөлшектерін әзірлеу үшін пайдаланылады. Бұл керамика температура мен жиіліктен диэлектрлік шығын бұрышы тангенсінің tgS төмендігіне тәуелділігінің аздығымен, механикалық беріктігінің жоғарылығымен ерекшеленеді.

Жоғарыжиілікті орнату керамикасын VI, VII, VIII сыныптарға бөледі.

VI сыныбындағы керамика жоғары қызуға төзімділігімен ерекшеленеді және үш топтан тұрады.

Форстерит керамикасының кристалл қалыптастырғыш фазасының негізі талькті күйдірген соң алатын форстерит ( $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ ) және магний оксиді болып табылады. Күйдіру температурасын төмендету

материалға белгілі бір қасиет беру үшін керамикалық массаға түрлі қоспалар енгізеді: бораттар, көмірқышқыл барийі және т.б.

Радийшамдарда ол келісілген металлкерамикалық дәнекерлеу үшін қолданылады, сондай-ақ жоғары сызықтық кеңею коэффициентіне ТКІ ие металлдарды керамикамен дәнекерлеу негізінде жартылай өткізгіш құрылғылардың корпус оқшауламаларын дайындау үшін қолданылады.

Кристалл фаза ретіндегі шпинель-форстерит керамикасының құрамында форстерит пен шпинель кристаллдары бар ( $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Цельзиан керамикасы атауын  $\text{BaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$  цельзианынан алды. Шикізаттың бастапқы құрамына цельзианнан басқа глинезем, аморфты кварц, көмірқышқыл барийі, коалин, балшық жатады.

Виллемит керамикасы виллемит негізінде өндіріледі ( $2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2$ ).

Цельзиан мен виллемит керамикасынан индуктивтілігі тұрақты шарғы қаңқасын және қуаты аз конденсаторлар әзірлейді.

VII сыныбының керамикасы табиғи магнезиялық (силикаттық) шикізаттың, әсіресе тальктің ( $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) негізінде дайындалады. Бұл сыныптың алуан түрлілігі стеатин керамикасы болып табылады. Стеативтердің аморфты фазасын сілтісіз барий әйнегі құрайды. Тальктан бөлек бастапқы шикізатқа сазды құрамбөліктерді, энстатитті, серпентинді, сондай-ақ табиғи синтезделген метасиликатты магнийді қосады. Кептіргенде және күйдіргенде керамикалық массаның шөгугін төмендету үшін оның құрамына кіретін талькті алдын ала күйдіріп, ұсақтайды. Бастапқы шикізатқа күйдірілген талькті қосу дайын өнімдердің пластиктігін төмендетеді, сондықтан стеатит керамикасына қажетті созылымдық беру үшін бастапқы шикізатқа саз құрамбөліктерінің көп мөлшерін қосады. Қажет етілетін қасиеттерге және бұйымды қалыптастыру әдістеріне байланысты стеатиттегі саз құрамбөліктерінің мөлшері 5-тен 15 %-ға дейінгі аралықта құбылып тұрады.

Бастапқы құрамбөліктер құрамына және дайындау технологиясына байланысты бейпластикті және пластикті стеатит керамикасын алады.

Стеатит керамикасын оқшаулауыш сақиналарды, өтпелі оқшаулауыштарды, тіреуіш плиталарды және төсемелерді, жартылай өткізгіш құрылғы корпустарының элементтері мен интегралдық сұлбаларды дайындау үшін пайдаланады.

VIII сыныбының керамикасы — кристаллқалыптастыратын негізін корунд ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) құрайтын глинозем керамикасы. Глинозем

керамикасының механикалық беріктігі жоғарылау, қаттылығы, химиялық төзімділігі жоғары, жылу өткізгіштік мәні арттырылған және электроқшаулауы жоғары.

Осы сыныптағы керамиканы алюминия оксидінің мөлшеріне қарай атайды.

Ультрафарфор — бұл корунд мөлшері көп жетілдірілген радиофарфор болып табылатын жоғары сапалы керамикалық материал. Оның бастапқы шикізаты глиноземнен, laidан, барий мен стронцийдің көмірқышқыл тұздарынан тұрады. Бастапқы шикізатта глинозем неғұрлым көп болса, қалыптық массасы соғұрлым пластикті болады, бұл болса азғантай өлшемдегі бұйымдарды ғана әзірлеуге мүмкіндік береді.

Ультрафарфордың қарапайым фарформен салыстырғанда механикалық беріктігі және жылу өткізгіштігі жоғары, диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі  $\text{tg}\delta$   $10^{10}$  Гц жиілікке дейін төмен. Ол күрделі конфигурациядағы жауапты орнату бөлшектерін, жоғары вольтты конденсаторларды, металлдармен вакуумдық-тығыз дәнекерлерді, такталар мен радиотехникалық төсемелерді дайындау үшін қолданылады.

Алюмооксид (жоғарыглиноземді керамика) — созылымды емес, өте қатты, жоғары қызуға төзімділікке ие (жұмыс температурасы —  $1600$  °С-ға дейін) материал. Алюминоксидтің бастапқы шикізатында глинозем мөлшері  $95\ldots 98$  % және минерализатор мөлшері  $5\ldots 2$  % болады (мрамор, балшық).

Алюмооксид керамикасын алдын ала күйдірілген ұсақталған техникалық глиноземнен немесе электрлік балқытылған корундтан алады. Әйнек тәрізді фазаның жалпы мөлшері —  $8$ -ден  $14$  % -ға дейін.

Алюминоксид керамикасының диэлектрлік қасиеттері ондағы қоспалар мен қосындылардың мөлшеріне, сондай-ақ құрылымына және фазалық мөлшеріне байланысты айқындалады. Керамиканың температураны жоғарылатқандағы үлестік кедергісі төмендейді.

Алюминоксидтен жасалған бұйымдардың бағасының жоғарылығы мен дайындау технологиясының күрделілігі себепті кеңінен қолданылмауда. Ол электронды шамдар үшін оқшаулау ретінде, үлкен механикалық жүктеме түсетін жартылай өткізгіш құрылғылар мен радиотехникалық антенналық оқшаулауыштардың корпустарының вакуумдық-тығыз өтпелі оқшаулауыштарын дайындау үшін пайдаланылады.

Поликор жоғарыглиноземді керамикаға жатады, оның тығыздығы корундтың ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) теориялық тығыздығына жақын. Кәдімгі (мөлдір емес) корундтық керамикаға қарағанда поликор мөлдір.

Поликорды гибридік-үлбірлі интегралдық микросұлбалар үшін төсе ме ретінде пайдаланады.

*Төмен жиілікті орнату керамикасы жоғары жиіліктімен*



салыстырғанда электрлік сипаттамалары нашар және, әдетте, механикалық беріктігі төмендеу, бірақ бастапқы шикізаттың жоғары созылымдылығымен және бұйымды дайындаудың қарапайымдау технологиясымен ерекшеленеді.

Төменжілікті орнату керамикасы өз ішіне IX және X сыныптарды алады.

IX сыныбындағы керамика — бұл балшықты материалдар мен барий оксидінің (BaO) мөлшері айтарлықтай жоғары стеатиттер.

X сыныбындағы керамика балшық пен минералдардың арнайы сұрыптарын пайдалану барысында алынады: кварц пен дала шпаты.

Электротехниканың дамыған сәтінен осы уақытқа дейін фарфор жауапкершілігі аз орнату бөлшектерін (розетка, электр шамдарының патроны және т.б.) өндіру үшін негізгі материалдардың бірі болып табылады.

Электротехникалық фарфордағы  $\text{SiO}_2$  мөлшері 70%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  25 %;  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  5 % және т.б.

Күйдірген кезде шығын салдарынан су фарфорының құрамбөліктерінің және құрылым тығыздамасының шөккені байқалады – бұйым өлшемдері анағұрлым кішірейеді (20 %-ға дейін). Шөгү өлшемдері бойынша рұқсатты кемшіліктері аз фарфордан күйдірілген бұйымдарды алуды қиындатады. Күйдіру операциясын көбінесе глазурылеумен, яғни бұйым бетін бұйымға механикалық беріктік пен ылғалға төзімділікті, сондай-ақ әдемі сырт келбет және қажетті түс беретін эйнек тәрізді массамен жабумен біріктіреді.

Радиофарфор эйнек тәрізді фазасына ауыр барий оксидін енгізетін фарфорды білдіреді.

Радиофарфорды индуктивтілік шарғыларының қаңқаларын, шам панельдерін дайындау, ауа конденсаторларының статорлық пластиналарын, антеналық оқшаулауыштарды оқшаулау үшін қолданады.

Оксидтерді немесе бірнеше оксидтер жүйесін білдіретін керамикалық материалдардан бөлек, оксидсіз керамикалық материалдар бар – нитридтер, карбидтер, силицидтер, боридтер және олардың композициялары.

Микроэлектроникада бор нитридін кеңінен қолданады (BN) — қызуға төзімділігі жоғары материалды электрлік оқшаулағыш болып табылатын боразон. Ол өте жоғары температураларда, бірақ нейтраль немесе қалпына келтіру атмосферасында қызмет ете алады. Қайнап жатқан су және әлсіз қышқылдар оны бұзады.

### **5.3.4. Бейорганикалық электроқшаулағыш үлбірлер**

Бейорганикалық электроқшаулағыш үлбірлер бөлшектердің бетінде арнайы ертінділер көмегімен жұқа оксид үлбірлерін немесе

қиын еритін тұз үлбірлерін қалыптастыру процессінде алатын химиялық жабындар.

Химиялық жабындарды тоттанудан қорғау, тозуға төзімділікті арттыру және түрлі бұйымдарды өрнектеп әрлеу үшін қолданады.

Алюминий сымдар мен таспаларды, үлбірлі электролиттік конденсаторларды, интегралдық сұлба элементтерін оқшаулау үшін алюминий ( $Al_2O_3$ ), тантал ( $Ta_2O_5$ ), титан ( $TiO_2$ ), ниобий ( $Nb_2O_5$ ), кремний ( $SiO_2$ ), германий ( $GeO$ ) және т.б. оксидтердің үлбірін пайдаланады. Мұндай үлбірлерді металлдарға, жартылай өткізгіштерге немесе басқа материалдарға жағады.

Металлдың жалпақ оксид қабатының түзілуіне қабілетін бағалау үшін алынған оксид көлемінің оксидке айналған металлдың көлеміне қатынасы ретінде анықталатын көлемдік оксидтену коэффициентін  $K$  пайдаланады:

$$K = \frac{MD_M}{nAD_O}$$

мұндағы  $M$  — оксидтің молекулалық массасы;  $D_M$  — металл тығыздығы;  $n$  — оксид молекуласына кіретін металл атомдарының саны;  $D_O$  — оксид тығыздығы.

Егер  $K > 1$ , онда металл бетінде жалпақ оксид қабаты түзіледі. Егер  $K < 1$ , онда мұндай металлдың бетінде жалпақ жабын түзілмейді. Мәселен, темір үшін  $K < 1$ , сәйкесінше, темірде жалпақ оксид қабаты түзілмейді, ал алюминий үшін  $K > 1$ , сондықтан тіпті ауаның өзінде оксид үлбірімен қапталған ( $Al_2O_3$ ).

Радиоэлектроникада ең көп таралған процесстер оксидтеу, фосфаттау және азоттау.

Оксидтеу — бұл бөлшек бетінде оксид үлбірлерін алу процессі, оксидтеуге шойыннан, болаттан, түсті металлдардан және балқымалардан жасалған бөлшектер қолданылады.

Оксид жабындарын химиялық және электрохимиялық тәсілмен алады.

Химиялық оксидтеуді бөлшектерді күйдіргіш калий (KOH) ертіндісінде дайындап алған соң жүргізеді, онда бет седепті-бұлыңғыр түске енеді, немесе  $Na_2CO_3 + Na_2CrO_4 + NaOH$  ертіндісінде жүргізеді, онда бет алтыннан қара-қоңыр түске дейін өзгереді.

Электрохимиялық оксидтеуді (анодтауды) күкірт қышқылының ертіндісінде электролит ванналарда жүргізеді. Бұл ретте бөлшек анод болып табылады, ал катод ретінде қорғасын пластиналарын қолданады.

Оксид үлбірін алюминий сымдары мен таспаларының бетінде анодтау арқылы алады. Хромқышқыл ертінділерді анодтау процессінде пайдаланғанда ашық-сұр түсті оксид үлбірлері, ал күкіртқышқылдарды анодтағанда — түссіз үлбір алынады.

Алцынған үлбірдің тесіктілігін азайту үшін анодталған бөлшектерді ыстық сумен, су буымен қосымша өндеуден өткізеді, ланолин, парафин, лактарға шылқытады және т.б.

Оқшаулау процесі қарапайым әрі арзан және қалыңдығы азғантай (3-тен 12 мкм-ға дейін), қызуға төзімділігі жоғары (жұмыс температурасы 600С жетеді), жылу өткізгіштігі жоғары, химиялық төзімділігі жоғары оксидті оқшаулама алуға мүмкіндік береді.

Осындай оксидті оқшаулама кемшіліктеріне нашар иілгіштік және байқалатын ылғал тартқыштық жатады.

Анодтаумен алынған оксид оқшауламасын оксидті электролитикалық, оксидті-жартылай өткізгіш және металлдық-оксидті конденсаторларда да қолданады. Диэлектрик қалыңдығының аздығы (1 мкм-ға дейін), шағын өлшемдері және массасы себепті оксид конденсаторлары жоғары сыйымдылыққа және анағұрлым (шамамен 10...40) диэлектрлік өткізгіштікке  $\epsilon$  ие.

Қара металлдардағы оксид үлбірлерін химиялық және электрохимиялық тәсілдермен алады. Химиялық тәсілде бөлшекті су буы атмосферасында немесе балқытылған селитра атмосферасында қыздырады. Осылайша трансформаторлық пластиналардағы оқшаулағыш үлбірлерді алады.

Химиялық және электрохимиялық оксидтеу кезіндегі үлбірлердің сапасы бірдей болады. Оксидтеу кезінде болат бөлшектердің өлшемі мүлдем өзгермейді деуге болады. Шағынкөміртекті болаттарындағы оксид үлбірінің түсі қара, жоғарыкөміртектілерде – сұр бедерлі қара. Үлбір қалыңдығы 0,6...0,8 мкм, бірақ 1,5...3 мкм-ға дейін жетуі мүмкін.

Болат беттеріндегі оксид үлбірлері созылғыш; беріктігі төмен, сондықтан үйкеліс жағдайларында жұмыс істейтін бөлшектерге пайдаланылмайды; шұрық-тесікті болады.

Болат бұйымдардағы тесікті оксид үлбірлерінің қорғаныс қасиеттерін жағатын майлармен өндеу немесе лакпен жабу арқылы арттырады.

Мыстан жасалған бөлшектерді және оның балқымаларын оксидтегенде ылғалдан қорғау үшін электрохимиялық оксидтеумен алынған оксид үлбірлері сапалырақ шығады. Үлбір қалыңдығы 3. 12 мкм құрайды. Оның қаттылығы негізгі металлдікіне қарағанда, жоғары, тозуға және ылғалға төзімділігі жоғары болады.

Оксидті оқшауламаны оксидті электролитикалық, оксидті-жартылай өткізгіш және металлдық-оксидті конденсаторларда да қолданады. Диэлектрик ретінде бұл конденсаторларда алюминий, титан, ниобий оксидтерін пайдаланады.

Диэлектрик қалыңдығының аздығының (1 мкм дейін), шағын өлшемі мен массасының арқасында оксид конденсаторлары үлкен сыйымдылыққа және айтарлықтай (шамамен 10...40) диэлектрлік өткізгіштікке ( $\epsilon$ ) ие.

Жұқа үлбірлі конденсатор қарапайым жағдайда диэлектрик

қабатымен бөлінген металл төсемеден тұратын көпқабатты құрылымды білдіреді.

Үлбірлі конденсаторлардың параметрлері көбінесе диэлектрик қабатының негізгі қасиеттерімен айқындалады. Ол қабат анодты-қышқылды үлбірлер түрінде болады немесе вакуумдық технология әдісімен төсемеге жағылуы мүмкін.

Титан оксидінің үлбірлерін анодтық қышқылдаумен алады. Олар диэлектрлік өткізгіштікке ие  $\epsilon = 16 \dots 25$ , аз ақаулыққа ие, алу барысында үлбір қалыңдығын қатаң бақылау мүмкіндігіне және жақсы ылғалға төзімділікке ие.

Кремний монооксидін әдетте термилық булау арқылы алады және үлбірлі конденсаторлар мен резисторларды жасау кезінде қорғаныс қабаттары ретінде пайдаланады. Үлбірлер диэлектрлік өткізгіштікке ие  $\epsilon = 3,5 \dots 6,8$ , үлестік сыйымдылыққа  $C_0 = 104$  пФ/см<sup>2</sup>, аз ақаулыққа және жақсы ылғалға төзімділікке ие.

Германий монооксиді кремний монооксиді сияқты термиялық булаумен алады, бірақ өте төмен температураларда. Германий монооксидінің басымдығы өңдеуіштер мөлшерінің көптігінде, бұл германий монооксидін басқа бұрынырақ дайындалған микросұлбаның үлбірлі элементтеріне әсер етпестен селективті түрде шешуге мүмкіндік береді. Үлбірлер диэлектрлік өткізгіштікке ие  $\epsilon = 10$ , үлестік сыйымдылыққа  $C_0 = 150 \dots 200$  пФ/см<sup>2</sup> және кремний монооксидінікіне қарағанда, ылғалға төзімділігі нашар (қосымша қорғаныс шараларын қажет етеді).

Жартылай өткізгіш технологиясында кристаллдарды қорғау үшін  $p-n$ -өткелдермен қоршаған орта әсерінен қорғау үшін бәрінен бұрын ылғал мен оттегіден, кварц құбырында тұндыру арқылы алған алюминий, титан, цирконий, бериллий оксидтері негізіндегі үлбірлерді пайдаланады. Бастапқы материалды ұнтақ түрінде алады, ал көтергіш агент ретінде галоген немесе сутегінің галоидті қоспасын пайдаланады. Бұл үлбірлерді вакуумдық катодты тозаңдатумен алуға болады.

$p-n$ -өткелді жартылай өткізгіш кристаллдарды қорғауға арналған үлбірлердің химиялық белсенділігі аз, электроқшаулағыш қасиеттері жоғары, адгезисы жақсы, температура күрт өгергенде механикалық кернеуі төмен,  $-60$ -тан  $+400$  °С-ға дейінгі температура диапазонында қорғаныс қасиеттері тұрақты болуы тиіс.

Фосфаттау — бұл бөлшектердің бетіне қиын еритін тұз түріндегі жабындарды жағу процесі.

Аоынған үлбірлер тоттанудан қорғаныс қабаты, электроқшаулағыш қабат және кезекті лакбояу жабыны үшін қабатасты болады.

Фосфаттауды қара металлдарды, магнийді, мырышты (трансформаторлық, роторлық және мәрелік пластиналар) тоттанудан қорғау үшін; бұйымдарды созып алған кезде үйкелісті

азайту үшін (үлбір түзілуі қылауларды кескеннен, алып тастағаннан және пластиналарды өртегеннен кейін жүргізіледі), сондай-ақ бетті қалайылау, мырыштау кезінде окшаулау үшін қолданылады. Химиялық фосфаттау темір мен марганецтің фосфорлы-қышқылды тұздары бар ваннаға бөлшектерді малу арқылы жүргізіледі.

Фосфаттау бөлшек өлшемдерін өзгертпейді, өйткені оксид үлбірінің қалыңдығын арттыру процессінде еруі себепті металл қалыңдығы төмендейді. Жабын түсі ақ не қара-сұр. Фосфат жабынының тоттануға төзімділігін арттыру үшін майлы үлбірлермен, лактармен және бояулармен қосымша өңдейді. Үлбірдің ұсақ-кристалл құрылым кезіндегі қалыңдығы 2...4 мкм, ал ірікристалл құрылымда — 10...15 мкм құрайды.

Фосфат үлбірлері жақсы адгезиялық қасиеттерге, ыстыққа төзімділікке (шамамен 500 °С) ие, электрлік кедергісі жоғары (1200 В дейінгі кернеуге төтеп береді); майлар, лактар мен бояуларды жақсы ұстап тұрады.

Азоттау — бұл болат бұйымдардың беттік қабатын азотпен 500...600 °С температурада қанықтыру процесі.

Азоттауды бұйымдарға көбірек қаттылық, тозуға төзімділік беру, шаршағыштық және тоттануға төімділігін арттыру үшін қолданады.

### 5.3.5. Слюда және оның негізіндегі материалдар

Минералды (табиғи) да, синтетикалық та түрлері болады.

**Минералды (табиғи) слюда.** Минералды слюда *бірігу жазықтықтары* деп аталатын параллель жазықтықтар бойынша жұқа пластинкаларға оңай жарықшақтанатын табиғи кристаллды электроқшаулағыш материал.

Слюда жоғары электроқшаулағыш қасиеттерге, қызуға төзімділікке, механикалық беріктікке, майысқақтыққа, мөлдірлікке ие (слюданың көптеген түрлерінің жұқа қабаттарында), күрт байқалған анизотропияға (слюданың қасиеттері бірігу жазықтығының төтесімен және бойымен айтарлықтай ерекшеленеді).

Слюда табиғатта тау жыныстарына қосылған кристаллдар түрінде кездеседі, және жер қыртысы массасының 3,8% -ын құрайды. Алайда ірі кристалл түрінде жоғары жиіліктегі слюданы алатын бай өнеркәсіп кен орындары көп емес. Слюданы бастапқы өңдеу оны бөтен қоспалардан тазартуда.

Тазартылған слюданы алдымен қалыңдығы тазартылған мм пластинаға салады, ақау учаскелерін кесіп тастайды, қалыңдығыалдымен қалыңдығы 0,1 ... 0,6 мм болатын табақтарға бөлінеді, кесіледі 1...5 мкм пластинкаларға жарықшақтап, өлшемдерге, топтарға және сұрыптарға бөледі. Өлшемі слюдян

пластинкасына жазып қоюға болатын тікбұрыш шамасымен айқындалады.

Өлшемі слюдян пластинкасына жазып қоюға болатын тікбұрыш шамасымен айқындалады.

Өнеркәсіп тікбұрыш алаңы 0,5-тен 50 см<sup>2</sup> дейін болатын слюда пластинкаларын шығарады. Слюда тобы пластинка қалыңдығына байланысты анықталады, ал сұрыбы пластинка бетінің және түрлі қосындылардың күйіне байланысты. Мәселен, бірінші сұрыптың слюдасы беті тегіс және қосындылары 10 %-дан аспайтын, ал үшінші сұрыптың слюдасы — беті сәл толқынды және қосындылары 50 %-ға дейін болады. Мұндай слюда *жұлынған* деп аталады.

Химиялық құрамы бойынша слюда сілтілі-жер металлдарының су алюмосиликаты болып табылады. Минералдағы су кристалл тор құрамына кіретін кристаллизациялық су болып табылады. Қыздырған кезде бөліне отырып, кристаллизациялық су слюданы кептіреді де бірігу жазықтықтары бойынша қатпарлануы себепті оның қалыңдығын арттырады. Бұл ретте слюда өзінің мөлдірлігінен айырылады, электрлік және механикалық қасиеттері күрт төмендейді.

30-дан астам слюда түрлері белгілі, алайда диэлектрлік оқшаулау үшін мусковит пен флогопитті пайдаланады.

Мусковит — бұл шамамен  $K_2O_5 \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$  формуласымен шығаруға болатын калий алюмосиликаты. Ол мөлдір, қоспалар оны ашық реңге бояйды (жасыл, күлгін).

Мусковиттің электроқшаулағыш қасиеттері жақсы (флогопитке қарағанда жақсы), механикалық беріктігі жоғары (флогопитке қарағанда жоғары), қаттылығы, икемділігі, морттығы, уақыттағы қасиеттерінің тұрақтылығы, кебуінің басталу және қасиеттерінің күрт нашарлау температурасы 500...600 °С.

Мусковиттің үздік сұрыптарынан конденсаторлық слюданы және телевизиялық слюданы өндіреді.

Ұзындығы 7...60 мм, ені 4...50 мм және қалыңдығы 20...55 мкм болатын тікбұрышты пішіндегі *конденсаторлық* слюданы тұрақты сыйымдылықтағы слюдян конденсаторларын әзірлеу үшін қолданады.

*Телевизиялық* слюданы жеткізетін телевизиялық түтіктерде фотокатодтар мен нысаналар үшін диэлектрлік негіз түрінде қолданады.

Флогопит — бұл калийдің магнезиялық силикаты, оны шамамен  $K_2O \cdot 6MgO \cdot 6SiO_2 \cdot 2HO$  формуласымен шығаруға болады. Оның түсі қара және қызуға төзімділігі жоғары (жұмыс температурасы — 1000 °С-ға дейін), бірақ оқшаулау қасиеттері бойынша мусковитке жол береді.

Слюданы электронды шамдарды ішкі арматураны бекіту және электрлік оқшаулау үшін таңбаланған фасонды бұйымдар түрінде,

қуатты электрлік қыздыру шамдарының цоколін жылулық қорғау ретінде, қызуға төзімді органикалық пластмассаларда толтырғыш ретінде қолданады.

**Синтетикалық слюда.** Синтетикалық слюдада су атомдары фтормен алмастырылған (фторфлогопит  $\text{KMg}_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}\cdot\text{F}_2$ ). Бұл слюданы құраманды кварц құмы, алюминий мен магний оксидтері, калий мен магнийдің фторлы қоспалары бар балқытылған шихтадан кристаллдарды өсіру нәтижесінде алады. Фторфлоготиптің электрлік параметрлері табиғи слюданікіне қарағанда жоғары, қызуға төзімділігі артық, кәдімгі флоготиптен химиялық төзімдірек, қыздырғанда ісінбейді және  $-70$ -тен  $+1000$  °С дейінгі температура алмасымын көтереді.

Құны жоғары болғандықтан синтетикалық слюда қолданыста шектелген. Оны толқын өткізгіш терезелерді, жоғары энергия бөлшектерін есептегіштерді, жұмыс температурасы жоғары конденсаторларды әзірлеу үшін қолданады.

Слюдян электроқшаулағыш материалдарды жұлынған табиғи немесе синтетикалық слюда негізінде дайындайды. Оларға миканиттер, слюдиниттер, слюдокерамика, прес-смика, микалекс жатады.

Миканиттер — бұл слюданың бөлек пластинкаларын өзара лакпен немесе органикалық қосқыш атпен желімдейтін қабатты материалдар. Кейде оларды сығымдайды.

*Коллекторлық* миканит — бұл қосқыш зат көбірек қосылған сығымдалған слюда флогопит, сол ретінде синтетикалық шайыр негізіндегі лакты пайдаланады. Ол коллекторлық пластиналарды оқшаулау үшін электрлік машиналарда қолданылады.

*Төсеме* миканит құрамында коллекторлыққа қарағанда қосқыш материал мөлшері көптеу болады (15...25%), тығыздығы төмендеу және қалыңдығы бойынша рұқсаты ауқымдырақ. Ол электрлік машиналарда төсеме ретінде қолданылады.

*Қалыптық* миканит қалыңдығы 0,1...0,5мм жалпақ түрінде дайындалады. Ол дайындау барысында температуралық және механикалық жүктемелерде жақсы қалыпталуы және тиісті термоөңдеуден кейін қолайлы пішінін сақтауы тиіс. Ол түрлі фланецтерді, шарғы қаңқаларын, оқшаулауыш коллекторлық пластиналарды дайындау үшін қолданылады.

*Икемді* миканит қалыптық миканитке қарағанда қалыпты температурада қалыпталып, майысуы тиіс. Ол рулондармен және қалыңдығы 0,15...0,60 мм жалпақтармен шығарылады. Икемді миканит электрлік машиналарды орам арасын және паздық оқшаулау үшін қолданылады.

*Ыстыққа төзімді* миканитті флогопит слюдасы және қызуға төзімді қосқыш зат (сұйық әйнек, фосфорқышқылды аммоний) негізінде алады. Ол жылыту құрылғыларын оқшаулау үшін қолданылады.

*Микафолит* икемді микониттен қызған күйінде ғана икемді болатынымен ерекшеленеді. Оны бір не бірнеше слюда қабаттарын қағазға не әйнекматаға жапсырумен алады. Микафолитті түрлі оқшаулағыш шпилькалар мен біліктерді дайындау үшін қолданады.

Слюдиниттер монокристаллға әрі қалыңдығы бойынша миканиттермен салыстырғанда біртектілеу, жұмыс температурасы мен электрлік беріктігі жоғарылау. Слюдиниттерді дайындау үшін слюдинит қағазын пайдаланады. Оны 800 °С температураға дейін қыздырып, содамен, күкірт және тұз қышқылдарымен өңделген мусковит слюдасы қалдықтарынан алады. Нәтижесінде пластинкалар жұқалау болып түсіп, қойыртпақ пайда болады, ол сүзгіленіп, арнайы қағаз жасайтын машиналарда слюдинит қағазына айналады.

Қолданылу аясы миканиттердікіндей.

Слюдокерамика сығымдалған ұсақкристалл слюданы (мусковит пен фторфлогопитті) қосқыш құрамбөліктермен күйдіру процессінде алынады. Синтетикалық слюданы өлшемі 0,15 мм дәнекер алғанға дейін ұсақтайды, қосқыш құрамбөлікпен жақсылап араластырып, болат қалыптарда сығады. Қосқыш компонент ретінде массаның 5-тен 15%-на дейінгі мөлшерде 85%-дық ортофосфор қышқылының ертіндісін пайдаланады. Дайын бұйымдарды кептіріп, күйдіреді. Слюдокермиканы орнату және вакуумтығыз бөлшектерді, жартылай өткізгіш құрылғы мен интегралдық сұлба корпустарының элементтерін, радиошам оқшаулауыштарын термотөзімді оқшаулау ретінде қолданады.

Прессмика — қосқыш құрамбөліксіз ұсақталған синтетикалық шайырды ыстықтай сығумен алатын тығыз материал. Пресскерамика өтпелі және антеналы оқшаулауыштарды, 400 °С температурада жұмыс істейтін конденсаторларды дайындау үшін қолданады.

Микалекс — жоғары сапалы оқшаулау материалы, ылғал тартқыш емес, өртке төзімді, металл біліктерді күрделі технологиялық өңдеуге және сығымдауға қолданылуы мүмкін. Оны ұнтақ тәрізді слюданың қорғасын боратымен немесе оңай балкитын борбарий әйнегімен қоспасын термиялық өңдеп, кейін күйдіру нәтижесінде алады. Микалексті ауыстырып қосқыш тақталарын, шағын габаритті ауа конденсаторларын, индуктивтілік шарғыларының тарақтарын дайындау үшін қолданады.

## 5.4. Сұйық диэлектриктер

Сұйық диэлектриктер полрлық және бейполярылық болып табылатын органикалық тектес төменмолекулалық заттар. Олардың электрофизикалық қасиеттері көбінесе молекулалардың құрылысына қоспалардың болуына байланысты. Қоспалар



көмірсутек фракциялары қ ышқылданғанда және жайылғанда, су жұтқанда және талшықты материалдар бөлшектері түскенде түзіледі.

Сұйық диэлектриктер диэлектрлік өткізгіштігімен  $\epsilon$ , электр өткізгіштігімен  $\gamma$ , диэлектрлік шығындарымен (диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі  $\text{tg}\delta$ ), электрлік беріктікпен  $E_{\text{бер}}$  сипатталады

**Диэлектрлік өткізгіштік.** Полрлық сұйықтықтардың диэлектрлік өткізгіштігі е біржола электрондық және дипольдық полярлану арқылы анықталады. Мәселен, гексолда  $\epsilon = 3$ , этиленгликольде  $\epsilon = 40$ . Бейполярлық сұйықтықтарда диэлектрлік өткізгіштік электрондық полярланумен ғана анықталады әрі көбінесе жиілікке байланысты емес және температура өскен сайын бірлікке жақындай түсе азаяды. Бұл құбылыс көлем бірлігіндегі молекула санының азаюымен түсіндіріледі. Мәселен, төртхлор көміртегіде  $\epsilon = 2,163$ , толуолда  $\epsilon = 2,294$ .

**Электр өткізгіштік.** Сұйық диэлектриктердің электрөткізгіштігі сұйықтық пен қоспаның өзінің диссоциациясы нәтижесінде пайда болатын иондардың жылжуымен, сондай-ақ қоспаның зарарланған бөлшектерінің – *молиондардың* жылжуымен шартталған. Температура жоғарылаған сайын иондардың жылжығыштығы артып, жылулық диссоциация дәрежесі жоғарылайды. Бұл екі фактор электр өткізгіштікті арттырады.

Азғантай кернеуліктерді Ом заңы күшіне енеді, яғни сұйықтыққа өтетін  $I$  электр тоғы өріс кернеулігіне пропорционалды түрде өзгереді. Кернеулігі үлкен электр өрістерінде  $E$  (шамамен 10...100 МВ/м) электр тоғы өріс әсерінен иондар санының көбеюі себепі Ом заңына бағынбайды.

Иондық электр өткізгіштіктен басқа сұйық диэлектриктерде молиондық электр өткізгіштік байқалады, бұл заряд тасығыштар ұсақ қоспалар болып табылғанда болады. Мұндай қоспалар су, өлшенген күйіндегі түрлі қатты жоғарыдисперсиялы бірліктер болуы мүмкін (талшық, шаң және т.б.). Бұл бөлшектер өз бетімен иондарды адсорбциялайды және электр өрісінің әсерінен тиісті электродтарға орын ауыстырады. Құрамында қоспалардың белгілі бір мөлшері бар техникалық сұйық диэлектриктерде бөлме температурасында миллиондық өткізгіштік басымдыққа ие болады. Миллиондық өткізгіштік, мәселен, құрамында лайдың ұсақ бөлшектері және эмульгацияланған суы бар трансформаторлық майда байқалады.

Сұйық диэлектриктерді қоспалардан тазарту олардың кедергісін анағұрлым арттырады, бірақ қоспаларды толығымен кетіру мүмкін емес. Өткізгіштің сол не басқа түрінің басым түсуі диссоциация энергиясына байланысты, яғни молекулаларды жойып, иондарды түзуге қажетті энергияға. Диссоциация энергиясы неғұрлым жоғары болса, иондық өткізгіштік соғұрлым төмен болады.

**Диэлектрлік шығын** (диэлектрлік шығын бұрышының

тангенсі). Полярлық сұйықтықтарда диэлектрлік шығын электр өткізгіштік шығыны мен дипольдық-релаксациялық полярланумен байланысты шығын жатады. Олар температураға, диілікке және сұйықтық тұтқырлығына байланысты, өйткені тұтқыр ортада дипольдерді бұру молекулалар үйкелісіне энергия шығындайды. Жоғары жиіліктерде сұйық диэлектриктер жоғары диэлектрлік шығынға ие. Мәселен, совол 90 °С температурада және 50 Гц жиілікте  $\text{tg}\delta = 0,015$  болады. Сондықтан сұйық полрлық диэлектриктерді жоғары жиіліктерде қолдануға кеңес бермейді. Полрлық емес сұйықтықтардың диэлектрлік шығыны – бұл электр өткізгіштікке шығыны. Олар жиілікке тәуелді емес және температура артқан сайын өседі, бұл өтпе тоқтың артуымен түсіндіріледі. Бұл сұйықтықтардың диэлектрлік шығыны аз, өйткені олардың электр өткізгіштігі аз. Мәселен, Таза трансформаторлық май 90 °С температурада және 50 Гц жиілікте  $\text{tg}\delta = 0,003$ .

**Электрлік беріктік.** Сұйық диэлектриктердің электрлік беріктігі көбінесе бөтен қоспалардың болуымен, сұйықтықтың полрлығымен, температурамен және басқа факторлармен анықталады. Сұйықтықтағы газ түйіршіктері энергия бөле отырып, иондалады, бұл сұйықтықтың жергілікті қызуына әкеп соқтырады. Бұл электродтар арасында газ арнасының пайда болуына және соңында – сұйықтықтың бүлінуіне әкеп соқтырады. Газды қоспалардан бөлек сұйық диэлектриктердің электрлік беріктігін төмендететін факторлардың елеулісі су болып табылады. Су тамшылары электр өрісінің қысымымен иондалады да электродтар арасында өткізгіштігі жоғары тізбектер түзеді, солар бойынша электрлік беріктік төмендейді. Құрамында қоспасы бар сұйықтықтардың электрлік беріктігі тазатылғандарға қарағанда, төмен.

Сұйық электроқшаулағыш материалдар ретінде электротехникалық құрылғыларда мұнай (минералды) майларын (трансформаторлық, шоғырсымдық, конденсаторлық), синтетикалық сұйық диэлектриктерді (хлорланған көмірсутектер, кремний және фторорганикалық сұйықтықтар, күрделі түрлі эфирлер) және өсімдік майларын пайдаланады.

Сұйық диэлектриктерге мұнайлық электроқшаулағыш майлар (трансформаторлық, шоғырсымдық, конденсаторлық), синтетикалық сұйық диэлектриктер (хлорланған көмірсутектер, кремнийорганикалық сұйықтықтар, фторорганикалық сұйықтықтар) жатады.

**Мұнайлық электроқшаулағыш майлар.** Мұнайлық электроқшаулағыш майларды мұнайды сатылап айдау және мұнай

дистиллятынан<sup>1</sup> тұрақсыз қоспаларды (нафтен қышқылдарын, күкіртті, шайырды, оттегіні, азотты және т.б.) айыру арқылы алады.

Мұнай дистиллятын бөгде қоспалардан тазартудың технологилық операцисы *рафинирлеу* деп аталады. Оны өткізудің сапасына қарай белгілі бір дәрежеде майдың пайдалану қасиеттерін анықтайды.

Бұл майлар олардың кең қолданысқа енуіне септігін тигізген қасиеттердің бірқатарына ие. Олар салыстырмалы түрде арзан әрі көп мөлшерде өндіріле алады; жақсылап тазартқанда диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі  $\text{tg}\delta$  төмен; жеткілікті жоғары электрлік беріктікке ие.

Мұнай майларының кемшіліктеріне жұмыс температураларының шектеулі интервалы, өртқауіптілік, жарылысқауіптілік, ескіруге бейімділік жатады.

Аз толтырылған электр аппаратында жұмыс істегенде көмірсутектердің тиісті фракцияларының қышқылдануы салдарынан май ақырындап ескіреді де қараяды. Онда ішінара еритін және ерімейтін ластаушы өнімдер пайда болады. Ерімейтін ауыр қоспалар майға батырылған бөлшектерге тұнады, майдың тұтқырлығы артады да қыздырғыш бөлшектегі жылу бөлінісін нашарлатады. Ескіру процессі ауамен байланысқа түскенде жылдамдайды, әсіресе егер ауада озон болса; жарық әсері; электрлік өріс әсері; кейбір металлдармен жанасу (мыс, темір, қорғасын және т.б.) және басқа заттармен жанасқанда; температура жоғарылағанда; резенкелермен жанасқанда.

Ескірген кезде электрлік өрісте майдың кейбір сұрыптары газ бөледі, бұнысы қауіпті, өйткені газ түйіршіктері жиі разряд ошақтарына айналуы мүмкін. Егер бұл ретте газ тәрізді өнімдердің температурасы (май мен ауа буларының қоспалары) олардың ұшқын температурасынан асатын болса, жарылыс болуы мүмкін.

Майлардың ескірген кезде электр өрісінде газ бөлмеу қабілеті (немесе бұрын бөлінген газдарды жұтуы) майлардың газға төзімділігі деп аталады.

Майдың ескіруіне жол бермеу үшін:

- қышқылдануға қарсы қосындылар қосады (ингибиторлар<sup>2</sup>), олар көмірсутек фракцияларын қышқылданудан қорғай отырып, оттегімен оңай байланысады, майлардың ескіруін баяулатады да

<sup>1</sup>Дистиллят (*ағылш.* сөзі *comprand* — құрайтын, араластырылған) — асфальт және парафин заттар мен майлардан жасалатын окшаулағыш материал.

<sup>2</sup>Ингибитор (*лат.* сөзі *inhibere* — ұстап тұру, тоқтату) — химиялық реакцияларды баялататын не оларды тоқтататын зат; кейбір процесстерді баяулату не жою үшін қолданылады, мәселен металлдардың тоттануын, отынның қышқылдануын.

- қызмет мерзімін арттырады; ингибиторлар ионол, пирамидон және т.б. болып табылады;
- жұмыс температурасын шектейді (95 °С — ауамен салқындатылатын трансформаторлар үшін; 85 °С — сумен);
- адсорбенттер<sup>1</sup> арқылы майларды үздіксіз сүзгіден өткізеді;
- ескірген майларды регенерациялайды<sup>2</sup>, яғни тазарту және кептіру жолымен оның қасиеттерін қалпына келтіреді.

Трансформаторлық май — түссізден кара-сары түске дейінгі сұйықтық. Химиялық құрамы бойынша ол нафтен және парафен көмірсутектерінің қоспасын білдіреді және сол себепті диэлектрлік өткізгіштігі төмен бейполярылық диэлектрик болып табылады ( $\epsilon = 2,2...2,3$ ). Рафинаттаған соң майды қосымша тазартады. Бұл үшін оны сілтімен өңдеп, жауып-шайып, кептіреді. Түпкілікті тазартуды адсорбенттер көмегімен және сүзгі-сыққыштармен жүргізеді (силикагель, инфузорлық жер).

Трансформаторлық майдың тұтқырлығы аз, бұл болса өте маңызды, өйткені өте төмен май трансформатор орамынан және білігінен жылу шығынын нашар бөледі және тесікті оқшауламаны нашар сіңіреді; суу температурасы -70 °С, бұл қоршаған орта температурасы төмен кезде жұмыс істейтін аппаратура үшін өте маңызды; электрлік беріктігі  $E_{бер} = 10...25$  МВ/м, бұл ылғалдануға өте сезімтал, бірақ кептіргенде қалпына келеді. Майдың жылу сыйымдылығы және жылу өткізгіштігі температура көтерілген сайын артады (еркін конвекция<sup>3</sup> кезінде май оған батырылған трансформатор орамы мен білігінен жылуды ауаға қарағанда 25-30 есе жылдам бөледі).

Трансформаторлық майдың негізгі кемшіліктері ескіру; тұтанушылық және жанғыштық; ылғал тартқыштық (оны ашық ыдыста сақтауға мүлдем болмайды). Трансформаторлық майларды күштік және импульстық трансформаторларда, жоғары вольтты ажыратқыштарда оқшаулауыш және салқындатқыш орта ретінде қолданады.

---

<sup>1</sup> Адсорбенттер — бетінде ертінді не газдан болған жұту процесі жүретін денелер.

<sup>2</sup> Регенерация (*лат.* сөзі *regeneratio* — қалпына келу, қайта туылу, жаңару) — өңделген өнімдерді оларды қайта пайдалану үшін бастапқы күйіне кері айналдыру.

<sup>3</sup> Конвекция (*лат.* сөзі *convectio* — әкелім, ауыстыру) — біртекті емес ортада табиғи жолмен пайда болатын (табиғи конвекция) немесе қолдан жасалатын (мәжбүрлі конвекция) жылуды, массаны, зарядтарды қозғалма ортамен ауыстыру (мәселен, ауа ағындарымен).

Шоғырсымдық май трансформаторлықтан жоғары тұтқырлығымен, ал конденсаторлықтан – төмендетілген электрлік қасиеттерімен ерекшеленеді. Ол күштік шоғырсымдардың оқшауламасын сіңіру үшін майлы-канифольды компаундтарда құрайтын бөлшек ретінде пайдаланылады.

Конденсаторлық май трансформаторлықтан оны одан еріген ауаны алып тастау үшін вакуумда қосымша өңдеу жолымен алынады, бұл диэлектрлік шығындарды азайтады. Оны ұқағаз және үлбірлі конденсаторларда оқшауламаны сіңіру үшін пайдаланады, бұл конденсаторлардың габарит өлшемдерін, массасын және құнын төмендетуге септігін тигізеді.

**Синтетикалық сұйық диэлектриктер.** Синтетикалық сұйық диэлектриктерді қолдану олар сол не басқа қасиеттерімен электроқшаулағыш майлардан басым түскенде ғана жөн саналады.

Хлорланған көмірсутектерді сутектердің кейбір және тіпті барлық атомдарын түрі көмірсутектердегі хлор атомдарымен алмастыру жолымен алады. Дифенилді хлорлаудан алынған полярлық өнімдерді жиі қолданады. Хлорланған дифенилдер, сондай-ақ осы сұйықтықтарға электр доғасы әсер еткенде пайда болатын газдар уытты. Сондықтан бірқатар елдерде конденсаторларға сіңдіру үшін хлорланған дифенилдерді қолдануға заңмен тыйым салынған. Бұл топтың әйгілі өкілдері совол мен севтол-10 болып табылады. Бұл материалдардың молекулаларындағы атомдар симметриялы емес орналасқан, сондықтан совол мен севтол-10 полярлық болып табылады.

Совол және севтол-10 ескіруге бейім, ауамен жарылғыш қоспалар түзбейді, ылғал тартқыштығы жоқ дерлік, уытты, қымбат.

**Совол** (пентахлордифенил) дифенилді хлорлау нәтижесінде алынған түссіз тұтқыр сұйықтық ( $C_{12}H_{10}$ ), нтижесінде соңғысының сутектің бес атомы хлормен ауыстырылады. Совол жанбайтын зат, қышқылданбайды деуге де болады, бұл оның мұнай майлары алдындағы басты басымдығы. Алайда, оны қолдану келесі кемшіліктері себепті шектеледі: тығыздығы  $D = 1500...1560$  г/см<sup>3</sup>; тұтану температурасы  $T_{тұт} = 205...230$  °С; суу температурасы жоғары  $T_c = +5$  °С; электрлік беріктігі  $E_{\sigma ep} = 14...18$  МВ/м 20 °С температурада; жұмыс температурасы төңірегінде анағұрлым тұтқыр, бұл оны таза күйінде пайдалануға мүмкіндік бермейді; ол трансформаторлық майдан шамамен 10 есе қымбат. Совол сыйымдылығы жоғары төменвольтты қағаз конденсаторларды сіңіру үшін конденсаторлық майдың орнына қолданылады.

5.7 -кесте. Кейбір электроқшаулағыш сұйықтықтардың негізгі қасиеттері

Параметрі	Совол	Октол	Минералды май	
			Трансформаторлық	Конденсаторлық
Тығыздығы $D$ , г/см <sup>3</sup>	1,50...1,56 $10^{14}$ ... $10^{15}$	0,85 $10^{15}$ ... $10^{14}$	0,84...0,89 $10^{14}$ ... $10^{15}$	0,85...0,92 $10^{14}$ ... $10^{16}$
Үлестік электрлік кедергісі $\rho$ , Ом м	5,0...5,2	2,2...2,4	2,1...2,4	2,1...2,3
20 °С темпеарурадағы диэлектрлік өткізгіштігі $\epsilon$	0,002...0,0004	0,005	0,0006...0,001	0,0003...0,0006
20 °С температурадағы және 50 Гц жиіліктегі диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі $\text{tg}\delta$	14...18	12...15	15...20	20...25
20 °С температурадағы және 50Гц жиіліктегі электрлік беріктік $E_{\text{бер}}$ , кВ/мм	-8 200...230 0,01...0,02	-15 165 0,03	-45 135 0,03...0,05	-45 135 0,015...1,020
Температура, °С: суу, көп емес тұтануы, аз емес Қышқыл саны, мг КОН/г май				

*Севтол-10* — соволды үшхлорбензолмен араластырып барып алатын жанбайтын суу температурасы жоғары сұйықтық.

*Севтол-10* жарылысқауіпті трансформаторлар үшін трансформаторлық майдың орнына қолданылады.

Кремнийорганикалық сұйықтықтар — бұл қасиеттері органикалық радикалдардың түрімен анықталатын кремний және көміртек қоспалары синтезінің өнімі. Осыған байланысты полидиметилсилоксан, полидиэтилсилоксан және полиметилфенилсилоксан сұйықтықтары деп бөледі.

Бұл сұйықтықтар жоғары қызуға төзімділігімен; суу температурасының төмендігімен  $T_c$ ; тұтқырлық коэффициенті температурасының аздығымен; химияық инерттілігімен; шағын диэлектрлік шығындарымен (диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі  $tg\delta$ ); төмен ылғал тартқыштығымен сипатталады.

*Полидиметилсилоксан* сұйықтығын диметилхлорсиланды триметилхлорсиланмен гидролиздеу арқылы алады. Ол спиртте және ацетонда ерімейді, жоғары инертті және металл мен резеңкелердің қасиетіне олармен жанасқанда әсер етпейді. Олар қағаз конденсаторларды сіңіру және окшаулау таспаларын гидрофобизациялау үшін қолданылады.

*Полидиэтилсилоксан* сұйықтығы түссіз полиэтилсилаксан қоспалары. Олар-60 -тан +100 °С дейінгі температураларда жұмыс істейтін конденсаторларды сіңіру және құю үшін пайдаланылады.

*Полиметилфенилсилоксан* сұйықтығы қызуға төзімділігінің және радиациялық сәулеленуге төзімділігінің жоғарылығымен ерекшеленеді.

Кейбір электроқшаулағыш сұйықтықтардың негізгі қасиеттері 5.7-кестеде келтірілген.

Фторорганикалық сұйықтықтар сутегі атомдары фтормен алмастырылған туынды көмірсутектер. Олардың диэлектрлік шығыны аз (диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі  $tg\delta$ ); ылғал тартқыштығы өте аз; қызуға төзімділігі жоғары (кейбір сұйықтықтар 200 °С және одан жоғары температурада жұмыс істей алады); жылу өткізгіштігі жоғары; толығымен жанбайды; доғаға төзімділігі жоғары; олардың буы ауамен қосылып жарылысқауіпті қоспа түзеді.

Фторорганикалық сұйықтықтарды конденсаторлар мен трансформаторларды сіңіру, төмен және жоғары температураларда радиоэлектроника элементтерін сынау үшін қолданады.

Көрсетілген сұйық диэлектриктерден басқа радиоэлектроникада қатты полярлық синтетикалық электроқшаулағыш сұйықтықтарды, мәселен этиленгликольді ( $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ ) пайдаланады,оны микросұлбалардың бітеулігін бақылау кезінде бақылау сұйықтығы ретінде пайдаланады.

## 5.5. Газ тәрізді диэлектриктер

Газ тәрізді диэлектриктер химиялық инертті; иондағанда қатты материалдарды бүлдіруге немесе металлдарды тоттандыруға қабілетті аса белсенді заттарды түзбеуі тиіс.

Газ тәрізді диэлектриктердің негізгі сипаттамалары электр өткізгіштік; біртекті электр өрісіндегі ақаулар; біртекті емес электр өрісіндегі ақаулар.

**Газдардың электр өткізгіштігі.** Газдардың электр өткізгіштігі оларда сыртқы факторлардың әсерінен немесе зарарланған бөлшектердің газ молекулаларымен соқтығысуы салдарынан пайда болатын иондар мен электрондардың кейбір мөлшерінің болуымен байланысты. Осыған байланысты газдарда өзіндік емес және өзіндік өткізгіштік пайда болады. Қалыпты жағдайларда зарарланған бөлшек саны (өлшенген күйде бөлетін газ иондарының немесе қатты және сұйық қоспа саны) атмосфера ауасының  $1 \text{ м}^3$  бірнеше он миллионнан аспайды.

Заряд тасығыштардың түзілуі түрлі факторлармен байланысты. Табиғи факторларға Жердің радиобелсенді сәулеленуі; Күн сәулеленуі; космос кеңістігінен кіретін радиация; жылу әсері; рентген сәулелері мен гамма сәулелер; нейтрондар ағыны және т.б. жатады.

Газ өткізгіштігі оны қоршап тұрған электродтарға арттырғыш кернеу түсіргенде артады.

Энергияны жұтқан кезде газ молекуласы электронын жоғалтады да оң ионға айналады. Бұл орайда босатылатын электрон нейтраль молекулаға «жабысады» да теріс ион қалыптастырады. Электрлік заряды жоқ газ молекулалары және зарядталған иондар тәртіпсіз жылу қозғалыстарын жасайды. Оң және теріс иондар кезіккенде олардың рекомбинациясы жүреді. Иондар саны уақыт ағынымен өзгермегенде генерация мен рекомбинация процесстері арасында динамикалық тепе-теңдік орнатылады.

Электродтар арасындағы газдағы электр тоғының өзгеруі 5.5-суретте берілген вольтамперлік сипаттамамен көрсетіледі.

Әлсіз электр өрісіне сәкес келетін  $I$  учаскесінде заряд тасығыштар электродтарға салынған кернеу әсерінен туындайды (өзіндік емес өткізгіштік). Бұл ретте өтетін электр тоғы  $I$  салынған кернеуге пропорционалды  $U$ , яғни Ом заңы орындалады:

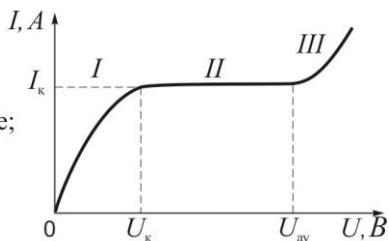
$$I = U/R,$$

мұндағы  $R$  — электродтар арасындағы аралықтағы газдың электрлік кедергісі.



5.5-сур. Газ тәрізді диэлектриктің  
вольт-амперлік сипаттамасы:

- I* — өткізгіштігі өзіндік емес учаске;
- II* — соққылы иондау жасалатын учаске;
- III* — өткізгіштігі өзіндік учаске;
- $I_k$  — қанығу тоғы;
- $U$  — қанығу кернеуі;
- $U_{ay}$  — өте ауыр кернеу



Бұл учаскеде зарарланған бөлшектердің генерациясымен қатар олардың рекомбинациясы жүреді.

*II* учаскесінде кернеуді одан әрі арттырғанда зарарланған бөлшектердің қозғалу жылдамдығы артып, олардың көбі рекомбинацияланып үлгермей, электродқа жетеді. Ауыр кернеуде  $U_{ay}$  зарарланған бөлшектер соққылы иондау жасау үшін жеткілікті. Бұл ретте ток пен кернеу арасындағы пропорционалдық бұзылады, өйткені барлық иондар мен электрондар газ аралғында электродтарда зарядынан айырылады, сондықтан ток тұрақты болып қалады. Салынған кернеуге тәуелді емес максималды ток *қанығу тоғы* деп аталады.  $I_k$ . Соққылы иондау пайда болғанда электрондар мен иондар саны күрт өсіп, өзіндік өткізгіштік пайда болады да ток *III* учаскеде кернеудің өсуімен қайта ұлғая бастайды.

Соққылы иондау процессінің дамуы нәтижесінде электрондық көшкін пайда болады, ол оң электродқа қарай қозғала отырып, теріс электродқа қарай бағыт алған оң иондардың көшкінін кездестіреді. Газ кеңістігінде пайда болған өткізгіш газразрядтық плазманың нәтижесінде газ ысырабы пайда болады.

**Біртекгі электр өрісіндегі газдардың тесігі.** Біртекті өріс бет алаңы үлкен бірдей геометриялық пішіндегі электродтар арасында олардың диаметрі  $D$  арасындағы арақашықтықтан  $h$  он есе көп болғанда қалыптасады.

Газдардың электрлік беріктігі қатты және сұйық диэлектриктермен салыстырғанда үлкен емес. Олардың оқшаулау қасиеттерінің бұзылуы соққылы иондау құбылысымен байланысты.

Ауаның Жердің радиобелсенділігі немесе космостық сәулелердің әсерінен  $1\text{см}^2$ -да 1 с ішінде пайда болатын электрондар саны 10-нан 20-ға дейін құрайды. Бұл электрондар жеткілікті күшті электр өрісінде газ тесіктеріне әкеп соқтыруы мүмкін бастапқы зарядтар болып табылады.

Электр өрісінің кернеулігі артқанда электрондар өзара соқтығысып, газ молекулаларын иондау үшін жеткілікті энергияға ие болады:

$$W = gU = gvE,$$

мұндағы  $g$  — бөлшек заряды;  $v$  — электронның не ионның бос

жүрісінің орташа ұзындығы;  $E$  — электр өрісінің кернеулігі.

Соққылы иондау пайда болуы үшін қозғалып тұрған зарядтардың энергиясы иондау энергиясынан жоғары болуы қажет  $W_{и}$ :

$$gvE > W_{и}.$$

Түрлі газдарға арналған иондау энергиясы ( $W_H$ ) 4...25 эВ диапазонда болады.

Иондау үшін қажетті электр өрісінің ауыр кернеулігі төмендегідей анықталады:

$$E_{кр} = \frac{W_{и}}{gv}$$

Бастапқы зарядтар атомдармен және молекулалармен соқтығысады да жаң электрондарды тудырады. Бұл ретте өріс әсерінен ұрылған «салдарлы» электрондар өз кезегінде газ молекулаларының иондауын туғызады. Бұның нәтижесінде газ кеңістігіндегі электрондар саны көшкін тәрізді өсе келе өте тез ұлғаяды.

Электрондармен соққылы иондау газ тесігінің негізін құрайды. Алайда электрондық көшкін тесік қалыптасуы үшін әлі жеткіліксіз, өйткені электродтар арасында өткізгіш жол жасамайды.

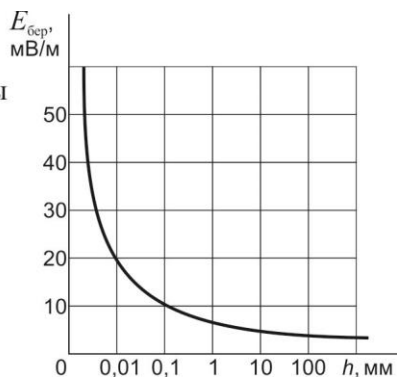
Зарарланған бөлшектердің бірінші көшкінін тудыратын соққылы иондау құбылыстарынан бөлек, газ тесігі кезінде үлкен рөлді фотондар ойнайды. Соққылы иондау құбылысымен қатар электрондардың жоғарылау энергетикалық деңгейлерге көшуі орын алады. Бұл электрондар ядромен байланысын жоғалтпайды, әрі қозған деңгейлерде бөгелмей, фотонның жарық бөлшектері түрінде энергия сәулелей отырып, қалыпты деңгейлерге оралады. Мұндай молекулалар иондалғандарға қарағанда, анағұрлым көп. Олар жана иондау ошақтарын тудырады да фотоэлектрондық көшкіндер жасайды, бұл газдың тесілу процессін айтарлықтай жылдамдатады.

Газ тесілуі лезде болады (электрондар арасындағы қашықтық  $h=1$  см болғанда тесілу уақыты шамамен  $10^{-8}$  с).

Газдардың электрлік беріктігі  $E_{бер}$  электр өрісінің, газ қысымының  $P$ , электродтар арасындағы қашықтықтың  $h$ , жиіліктің  $f$  біртектілігімен байланысты.

Газ қысы жоғары болғанда  $P$  (5.6-сурет) электрлік беріктіктің жоғарылауы  $E_{бер}$  электрондардың бос жүрісінің ұзындығының қысқаруымен, ал аз қысымда — электрондардың газ молекулаларымен соқтығысу ықтималдығының төмендеуімен байланысты. Жоғары вакуум кезіндегі тесілуді электрод бетінде электрондардың жарылу құбылысымен түсіндіруге болады.

5.6-сур. Электродтар арасындағы қашықтықтан біртекті электр өрісіндегі қалыпты қысым кезіндегі ауаның электрлік беріктігінің тәуелділігі



Газ қысымынан электрлік беріктік тәуелділігіне  $P$  газдарды қысыммен газға толтырылған вакуумдық конденсаторлар мен шоғырсымдарда электрлік окшаулағыш ретінде қолдануға негізделген. Вакуумның жоғары электрлік беріктігін техникада пайдаланады, мәселен, электрлік-вакуумдық құрылғыларды құрастырған кезде.

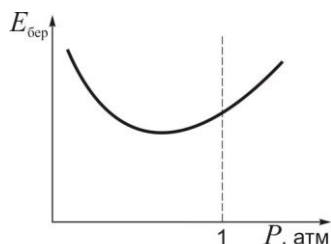
Электрлік беріктік электродтар арасындағы қашықтық азайған сайын артады ( $h = 0,1$  мм және одан аз) (5.7-сурет), бұл электрод арасындағы кеңістікте электрондардың газ молекулаларымен соқтығысу ықтималдығымен және разряд қалыптастырудың қиындығымен байланысты, өйткені бос электрондар мен иондар бұндай аз қашықтықтарда соққылы иондауға қажетті энергияны бойына жинап үлгермейді.

Біртекті электр өрісіндегі газдардың теспе кернеуі  $U_{тес}$  электродтар арасында туындайтын қашықтыққа  $h$  және газ қысымына  $P$  байланысты. Бұл тәуелділікті неміс ғалымы Ф. Пашен анықтаған және Пашен заңы деген атқа ие.

Жоғары жиіліктердегі газ тесігі ( $f > 10^4$  Гц) көлемдік зарядтардың пайда болуымен және амплитуда кернеуінің стастикалық кешігуімен байланысты.

Егер газ тесілетін тоқ жиілігі  $10^4$  Гц аз болса, онда оның электрлік беріктігі тұрақтыда қалай болса, алмаспада да солай бірдей болады. Тоқ жиілігі артқанда газ кеңістігінің тесу кермеуі төмендейді. Бұл азқозғалысты иондар тоқ бағыты өзгергенде сорылып үлгермей, тесіктің дамуына себептесетінімен түсіндіріледі.

Егер тоқ жиілігі  $10^7$  Гц жоғары болса, кернеудің әсер етуінің жартылай кезеңі тесік дамуы үшін қажетті уақыттан аз болады.



5.7-сур. Газдардың электрлік беріктігінің қысымға тәуелділігі (үзік сызықпен қалыпты қысым белгіленген)

Сондықтан газдың электрлік беріктігі артады. Бұл құбылыс кернеудің статикалық кешігуі деп аталады.

**Біртекті емес электр өрісіндегі газ тесігі.** Біртекті емес өріс электродтар арасында пайда болады, олардың жоқ дегенде біреуінің алаңы кіші болады. Іс жүзінде көбінесе біртекті емес электр өрістерімен кездесуге тура келеді. Мұндай өрістер газразрядтық құрылғыларда, реле контактілері арасында, электрберілісі желісінің сымдары арасында болады.

Біртекті емес электр өрісіндегі газ тесігі біртекті электр өрісіндегі тесіктен тесу кернеуінің мәні бойынша да, тесу процессінің даму сипаты бойынша да ерекшеленеді. Біртекті емес өрістегі газ тесігі әдетте, біртекті электр өрісіндегі сондай газдың тесігімен салыстырғанда аз тесу кернеуі кезінде орын алады.

Біртекті емес өрістегі газ тесігінің ерекшелігі молекулалардың жарқырап, бүлінуіне тәж түріндегі ішінара разрядтың пайда болуы болып табылады. Кернеуді одан әрі арттырғанда тәж қылсапты разрядқа қайта өсіп, кейін ұшқындыға қайта өседі. Разряд қуаты жоғары болғанда доғалық разряд пайда болады, ол озон<sup>1</sup> мен азот оксидтерінің туындауымен және өзіне тән шыжылдауымен, сілкілдеуімен және жарқылдауымен көрініс табады.

Тесік көбінесе газды қатты электриктен бөлетін жерде пайда болады. Бұндай тесікті техникада *беттік* деп атайды. Төмен жиілік төңірегіндегі беттік тесу кернеуіне ауаның ылғалдылығы, оқшаулауыштың тозаңдану дәрежесі және тозаңның химиялық құрамы әсер етеді.

Бетті тесу кернеуін беттік разряд жолын арттыра отырып, жоғарылатуға болады. Бұл мақсатта оқшаулауыш бетін жиі қабырғалы етеді.

Газ тесігінің ерекшелігі электродтарға салынған кернеу алынған соң ұшқын кеңістігінің электрлік беріктігінің дереу қалпына келуі болып табылады.

Газ тәрізді диэлектриктер электроқшаулағыш материалдар ретінде пайдаланылғанда жоғары үлестік электрлік кедергіге  $\rho$ ; аз диэлектрлік өткізгіштікке  $\epsilon$ ; аз диэлектрлік шығын бұрышының тангенсіне  $\text{tg}\delta$  ие.

Газ тәрізді электрлік оқшауламаның кемшілігі оның төмен электрлік беріктігі болып табылады, алайда бірқатар жағдайда бұл кемшілік аса маңызды емес.

---

<sup>1</sup> Озон (*гр.* сөзі *ozon* — аңқитын) — электр энергиясын, газды разрядтағанда пайда болатын өзіне тән иісі бар оттегінің үш атомының коспасы.

Газ тәрізді диэлектриктер ретінде ауаны, инертті және электрлік теріс газдарды қолданады.

Ауа азоттан  $N_2$  (78,03 %), оттегіден  $O_2$  (20,93 %), көмірқышқыл газынан  $CO_2$  (0,03 %), инертті газдардан (He, Xe, Ar, Ne, Kr) (0,1%) тұратын нәрсе. Ауаның салыстырмалы тығыздығы 1.

Бірқатар жағдайларда ауа негізгі оқшаулауыш материал болып табылады. Мәселен, ауа конденсаторларында, электрберілісінің ауа желісі учаскелерінде ауа жалаңаш сымдар арасында жалғыз оқшауламаны қалыптастырады. Алайда бәрінен бұрын ол бөлшектер мен тораптарды қоршайтын көмекші диэлектрик болып табылады. Өзінің таралғандығының арқасында ол көптеген құралдардың құрамына кіреді.

Азот ( $N_2$ ) — иіссіз, түссіз газ. Ол сұйық және қатты күйінде де түссіз. Азоттың электрлік өткізгіштігі ауамен бірдей, бірақ құрамында оттегісі бар ауаға қарағанда, белсенділігі төмен.

Азот келесі қасиеттерге ие:

Салыстырмалы молекулалық массасы .....	28,016
Сұйық азот тығыздығы, г/см <sup>3</sup> , келесі температурада:	
184 °С .....	0,75
0 °С .....	1,2
Температурасы, °С:	
балқу .....	210
қайнау .....	196

Газ тәрізді азот молекуласы екіатомдық және бөлек атомдарға бөлінбейді тіпті жоғары температураларда да. Азот химиялық инертті, бөлме температурасында металлдармен реакцияға түспейді, бірақ литийден басқа. Қыздырғанда кейбір металлдармен байланысқа түседі (магний, кальций), ал өте жоғары температураларда тікелей оттегімен және сутегімен байланысады.

Азотты кейіннен ректификациялай отырып, атмосфера ауасынан сұйылтып алады. Таза азоттың газ тәрізді өнімдегі мөлшері 99-дан 99,9%-ға дейін құбылып тұрады, ал сұйық өнімде 96 %-ды құрайды. Оттегінің газ тәрізді азоттағы мөлшері составляет 1 % аспайды, ал сұйықта — 4 %.

Таза күйінде азот сирек қолданылады (тұрақты сыйымдылықтағы жоғарывольтты конденсаторлар үшін, жарықтандыру шамдарының баллондарын толтыру үшін). Микроэлектроникада газ тәрізді азот қорғаныс ортасы ретінде, ал сұйығы – вакуумдық жүйелердегі қақпандарды толтыру үшін қолданылады.

Газ тәрізді оттегі ( $O_2$ ) — түссіз, иіссіз және дәмсіз газ. Келесі қасиеттерге ие:

Салыстырмалы молекулалық массасы .....	32
Тығыздығы, г/см <sup>3</sup> .....	1,42
Температурасы, °С:	
қайнау .....	182,9
қалыпты қысымдағы оттегінің қанығуы .....	63
Таза оттегінің өнімдегі мөлшері, көл. % <sup>3</sup> .....	99,5...99,7
Қалыпты жағдайдағы су буларының мөлшері, г/м <sup>3</sup> .....	0,005

<sup>1</sup>Көлемдікпайызы.

Оттегіні атмосфера ауасынан терең салқындату әдісімен немесе су электролизімен алады.

Сутегі (H<sub>2</sub>) — түссіз, иіссіз жанғыш газ; ең жеңіл газ (1л сутегінің қалыпты жағдайлардағы салмағы 0,09 г). Сутегінің электрлік беріктігі  $E_{бер}$  шамамен оттегіден 40 % төмен. Сутегінің келесі қасиеттері бар:

Салыстырмалы молекулалық массасы .....	2,016
Тығыздығы, г/см <sup>3</sup> .....	0,018
Қайнау температурасы, °С .....	253

Егер сутегі ағысына жағылған сіріңкені әкелсе, онда сутегі тұтаны, түссіз от болып жанады. Сутегінің екі көлемінен және оттегінің бір көлемінен тұратын қоспаны жаққанда газдар лезде қосылып, жарылады. Мұндай қоспа *шатырлақ газ* деп аталады. Сутегі жалынының температурасы – шамамен 1000 °С, ал оған артық оттегіні енгізгенде — 2500...3000 °С.

Сутегі ауаның орнына салқындатқыш орта ретінде пайдалану үшін өте қолайлы қасиетке ие, өйткені үлестік жылу өткізгіштігі мен жылу сыйымдылығы жоғары. Ірі электр машиналары да газдағы ротордың үйкеліске қуатының жоғалуын төмендету үшін және оқшауламаның органикалық құрамбөліктерінің ескіруін баялату үшін сутегімен толтырылады. Бұдан басқа, сутегіні дәнекерлегенде және термиялық өндегенде қалпына келтіру ортасы ретінде пайдаланады.

Техникалық сутегіні белгісіне қарай су мен хлор тұздарының электролизімен немесе көмірсутек газдарының бу конверсиясымен алады. Оттегі түріндегі қоспалардың жалпы мөлшері O<sub>2</sub>, азоттікі N<sub>2</sub>, көміртек оксидінікі CO, көміртек диоксидінікі CO<sub>2</sub>, метандікі 0,2...5% құрайды.

Техникалық сутегінің хлормен, оттегімен және ауамен қоспалары жарылысқауіпті. Сутегінің ауамен қоспасының жарылғыштығының төменгі шегі 4 об. %, ал үстіңгісі — 75 об. %. Сутегінің оттегімен қоспасының жарылғыштығының төменгі шегі де 4 об. %, ал үстіңгісі — 94 об. %. Сутегінің хлормен 1:1 қатынастағы қоспасы жарықта жарылады. Сутегімен жұмыс

істегенде сақтық жасаған жөн.

Көмірқышқыл газы ( $\text{CO}_2$ ) — иіссіз және дәмсіз сұйықтық. Келесі қасиеттерге ие:

Айналу температурасы, °C .....	78,5
Жұмыс өніміндегі көміртек диоксидінің үлесі, кем емес .....	98
Ылғал үлесі .....	0,1

Гелий (He) — инертті<sup>1</sup> газ, инертті газдардың ішіндегі ең жеңілі. Гелий келесі қасиеттерге ие:

Салыстырмалы атомдық массасы .....	4,0026
Тығыздығы, г/см <sup>3</sup> .....	1,138
Температурасы, °C:	
қайнау .....	269
балқу .....	272

Гелий жанбайды. Бөлме температурасында қарапайым әйнек, темір, палладий және платинадан гелий өте алмайды, алайда ол кварц әйнегінен өтіп кетеді, ал жоғары температураларда – фосфордан. Оның қасиеттері біреге: ең төмен электрлік беріктік  $E_{\text{бер}}$  (ауаға қарағанда, шамамен 17 есе төмен); барлық газдармен салыстырғанда ең төмен сұйылу температурасы; сұйық гелийдің диэлектрлік өткізгіштігі газдардың диэлектрлік өткізгіштігінен ерекшеленбейді; газ тәрізді және сұйық гелийдің термиялық кеңею коэффициенті бірдей.

Өте төмен булану температурасының арқасында сұйылтылған глийді төмен температуралы суық агент ретінде қолданады. Сұйық гелийді булағанда ең төмен температура алынды, ол абсолюттік нөлден бірнеше он градусқа жоғары болды. Сонымен қатар, микроэлектроникада гелийді микросұлба бітеулігін бақылауда индикаторлық газ ретінде қолданады.

Аргон ( $\text{Ar}$ ) — түссіз инертті газ, ауадан шамамен екі есе ауырырақ (1л аргон салмағы қалыпты жағдайларда 1,781 г құрайды). Аргон келесі қасиеттерге ие:

Салыстырмалы атомдық массасы .....	39,94
Тығыздығы, г/см <sup>3</sup> .....	1,78
Температурасы, °C:	
қайнау .....	122
балқу .....	189

Аргонның иондану әлеуеті салыстырмалы түрде төмен; химиялық инерттілігі; жыл өткізгіштігі де төмен; алу және тазарту технологиясы басқа инертті газдармен салыстырғанда қарапайымдау.

<sup>1</sup> Инертті газ — инерция қасиеті бар газ; инертті газдар — химиялық белсенділігі төмен асыл газдар (гелий, неон, аргон, радон, ксенон, криптон).

Аргон газоразрядтық құрылғыларда және жарықтандыру шамдарында; микроэлектроникада микродәнекерлеу кезінде қорғаныс газы ретінде; құрылғыларды инертті ортада жинағанда және операцияаралық сақтағанда; жартылай өткізгіш материалдарды өндірген кезде тасығыш газ ретінде қолданылады.

Кейбір молекулалық массасы мен тығыздығы жоғары газдар электрлік теріс. Бұл құрамында галогені (фтор, хлор және т.б.) бар газдар ауамен салыстырғанда жоғары электрлік беріктікке ие. Оларға элегаз, перфторландырылған көмірсутектер, яғни молекулаларындағы сутегі атомдарының барлығы фтор атомдарымен алмастырылған көмірсутектер жатады.

Алтыфтор күкірті (күкірт гексафториді  $SF_6$ ) ауаға қарағанда электрлік беріктігі 25 есе жоғары. Бұл газ тәрізді диэлектрикті алғаш зерттеген ғалым Б.М. Гохберг оны *элегаз* деп атады («электрлік» және «газ» сөздерінің қысқармасы).

Элегаз уытты емес; химиялық төзімді; қыздырғанда ыдырамайды (800 °С температураға дейін); 2МПа қысымға дейін сұйылтусыз қысылуы мүмкін (қалыпты температурада).

Элегаздың кемшіліктерінің біріне оның салыстырмалы жоғары құны жатады. Элегазды қолданумен жасалатын бұйымдарды немесе технологиялық операцияларды арзандату үшін оны арзандау азотпен қосып пайдаланады.

Элегаз газбен толтырылған жоғары вольтты конденсаторларда қолданылады, сондай-ақ микросұлбалардың және жартылай өткізгіш құрылғылардың бітеулігін бақылауда электрлік теріс газ ретінде пайдаланылады.

Микроэлектроникада тазалығына жоғары талап қойылатын түрлі газдар мен қоспалар қолданылады, өйткені бөтен газ түріндегі қоспалардың және өлшенген бөлшектердің болуы дайын құрылғылардың электрлік параметрлерінің төмендеуіне әкеп соқтыруы мүмкін.

Бастапқы газдардағы қоспалардың жалпы мөлшері 0,5...1,0 % тең. Аппаратура қабырғаларының газбөлуі есебінен газға түсетін қоспалардың негізгі массасын су булары құрайды. Сонымен қатар газдарда сутегі тотығы, күкіртті газ, хлор, фтор болуы мүмкін. Газдардың ластану деңгейін төмендету үшін құбырларды, шұраларды және қондырғы бөлшектерін газбөлу деңгейі төмен тазалығы жоғары вакуумдық материалдардан (шірімейтін болат, мыс, алюминий, айнек, фторопласт және т.б.) дайындайды. Газдарды газдың белгілі бір түріне сәйкес келетін түс бедерлемесі бар металл баллондарда тасымалдайды.

Газдарды кептіруді жоғары сорғыш қабілетке ие адсорбенттер (силикагель, алюмогель немесе цеолит) көмегімен жүргізеді.



## 5.6. Белсенді диэлектриктер

Қарапайым (пассивті) диэлектриктердің негізгі пайдаланылатын құбылысы сыртқы электр өрісімен индуцирленетін поляризация болып табылады.

Белсенді диэлектриктер қарапайым диэлектриктерден электрлік қасиеттерін оларға электрлік өріспен қалай болса, магниттік өріспен де солай әсер ете отырып, ауқымды диапазонда басқаруға болатынымен ерекшеленеді. Сонымен, полярлану электрлік өріспен ғана емес, қалып өзгерген кезде (пьезоэлектрлік әсер), магниттелумен (сегнетомагниттік әсер), температураның өзгеруімен (пирозлектрлік әсер) жасалуы мүмкін. Кері құбылыстар да болуы мүмкін.

Белсенді диэлектриктерді электрлік дабылдарды генерациялау, күшейту, модуляциялау және түрлендіру үшін пайдаланады.

Белсенді диэлектриктерге сегнетэлектриктерді, пьезоэлектриктерді, электреттерді, оптикалық генерацияға арналған диэлектриктерді, электрооптикалық материалдарды жатқызады.

### 5.6.1. Сегнетоэлектриктер

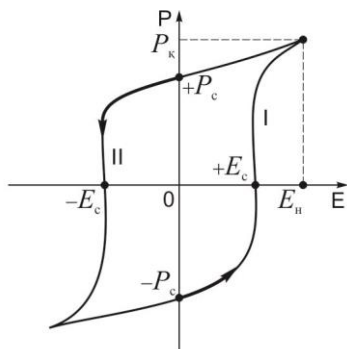
Сегнетоэлектриктер деп белгілі бір температуралар интервалындағы кенет (өздігінен туындаған) полярлануға ие материалдарды айтады.

*Кенет полярлану* — бұл диэлектрикте сыртқы әсерлердің қатысынсыз ішкі процесстердің әсерінен туындайтын полярлану. Бұл құбылыс сегнетодиэлектриктердің ерекшеліктерімен байланысты.

Сегнетодиэлектрик көлемі кенет полярланғандық  $P_k$  векторларының бағыттары түрлі макроскопиялық аймақтарды білдіретін домендерге бөлінген. Сыртқы электр өрісі болмағанда үлгінің қосынды полярланғандығы нөлге тең. Сыртқы электр өрісі әсер еткенде дипольдардың кенет полярлануының векторлары көбінесе өріс бағытына бағдарланады, бұл өте күшті полярлану әсерін туғызады, мұның салдары диэлектрлік өткізгіштіктің шамадан тыс жоғары мәні болып табылады.

Полярланғандықтың сыртқы электр өрісінің кернеулігіне тәуелділігі сегнетоэлектриктерде сызықтық емес және кернеулік циклдап өзгергенде өрістер тұйық қисық түрге енеді, ол гистерезис ілгегі деп аталады (5.8-сурет).

Өріс кернеулігі  $E = 0$  болғанда бір доменнен тұратын үлгінің полярланғандығы  $+ P_k$  немесе  $- P_k$  тең болады.  $P_k$  бағыты бойынша салынған өріс кернеулігі артумен полярланғандық  $P$  қарапайым полярлану тетіктері (электрондық, иондық, дипольдық)



5.8-сур. Кіршіксіз сегнетодиэлектриктің диэлектрлік гистерезис ілгегі;  
 $P_c$  — сегнетодиэлектриктің полярланғандығы;  
 $E_c$  — сегнетодиэлектриктің полярланғандық бағытына салынған сыртқы электрлік өрістің кернеулігі;  
 $P_k$  — қанығу учаскесінің басының полярланғандығы;  
 $E_n$  — қанығу учаскесі басының кернеулігі

температура.

Кюри нүктесі  $T_k$  температурасы кезіндегі заттың диэлектрлік өткізгіштігімаксималды. Кюри нүктесіне жеткен соң сегнетоэлектрлік күйден параэлектрлікке фазалық өту жүзеге асады,  $P_c = 0$  болғанда.

Диэлектрлік өткізгіштік пен диэлектрлік шығын бұрышының тангенсі жиілікке өте тәуелді, әсіресе жоғары жиілік аймағында.

Қаралған полярлану ерекшеліктері сегнет тұзының кристаллында алғаш ашылған, ал мұндай қасиеттерге ие диэлектриктер *сегнетодиоэлектриктер* деген атқа ие болды.

Химиялық байланыс сипаты және полярлану түрі бойынша сегнетодиэлектриктер иондық және дипольдық болып бөлінеді.

Иондық сегнетодиэлектриктерде кенет полярлану иондардың тепе-теңдік күйінен тәртіп бойынша жылжуының салдары болып табылады. Ионды сегнетоэлектриктерге перовскит түріндегі ( $\text{CaTiO}_3$  минералы), барий титанаты ( $\text{BaTiO}_3$ ) ( $T_k = 120^\circ\text{C}$ ), қорғасын титанаты ( $\text{PbTiO}_3$ ) ( $T_k = 490^\circ\text{C}$ ), калий ниобаты ( $\text{KNbO}_3$ ) ( $T_k = 435^\circ\text{C}$  және т.б.) құрылымындағы көптеген қоспалар жатады.

Дипольдық сегнетодиэлектриктердің қарапайым ұяшығында екі тепе-теңдік күйі бар атомдар не атомдар тобы болады. Ұяшық электрлік сәтке ие  $m$ . Ретсіз жылу қозғалысы нәтижесінде атомдар бір күйден екіншіге құрылымдық бірліктің электрлік сәтінің қайта

есебінен сызық бойымен өседі.

Егер қарама-қарсы белгідегі электр өрісін қолданатын болса, онда өріс кернеулігінің кейбір мәнінде

*қайтаполярлану* болады—  $P_c$  векторы бағытының қарама-қарсы бағытқа өзгеруі. Кенет полярланғандық бағыты өзгертетін өріс кернеулігі *коэрцетивті күш*  $H_k$  деп аталады. *Кюри сегнетоэлектрлік нүктесі* — кенет полярлану пайда болатын (суытқанда) немесе жойылып кететін (қыздырғанда)

бағдарлануын шақыра отырып, ауысады. Дипольдық сегнетоэлектриктерге сегнет тұзы ( $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) ( $T_k = 24^\circ\text{C}$ ), натрий нитрид ( $\text{NaNO}_2$ ) ( $T_k = 160^\circ\text{C}$ ) жатады.

Сегнетоэлектриктерден радиоэлектрониканың түрлі салаларында сегнет тұзы мен сегнетокерамикалық материалдарды қолданады.

**Сегнет тұзы.** Оның қызуға төзімділігі төмен (жоғары температурада сегнет тұзы натрий тартратына, калий тартратына және олардың қаныққан ертінділеріне су бөле отырып, ыдырайды); анизотропиясы төмен, бұл үлгілерді белгілі бір жалпақтықта ғана кесіп алуға мүмкіндік береді. Сегнет тұзының қасиеттері қоршаған ортаның ылғалдылығына байланысты (ауаның қалыпты температурасы мен ылғалдылығы 85%-дан асқанда сегнет тұзы су буларын жұта басдайды да баяу ыдырайды; ылғалдылық 35%-дан төмен болғанда процесс кері жүреді – *дегидратация* (кебу), яғни кристалл су бөледі).

Бұл кемшіліктері сегнет тұзын техникада қолдануға шектеу қояды.

**Сегнетокерамикалық материалдар.** Сегнетокерамикалық диэлектриктер қоспалардың химиялық құрамы мен концентрациясы әсер ететін түрлі қасиеттерге ие.

Сегнетокерамикалық материалдардан конденсаторлық сегнетокерамиканы, сызықтық емес сегнетокерамиканы, терморезистивті сегнетокерамиканы және тікбұрышты гистерезис ілгекті сегнетокерамиканы қолданады.

Конденсаторлық сегнетокерамикаға барий титанатының негізіндегі материалдар жатады ( $\text{BaTiO}_3$ ).

Барий титанатының диэлектрлік өткізгіштік мәндері жоғары және температураға тәуелділігі және электрлік өріс кернеулігі күрт байқалады; диэлектрлік өткізгіштіктің электр өрісінің кернеулігіне сызықтық емес тәуелділігі байқалады; диэлектрлік өткізгіштік мәндері өте жоғары және сонымен қатар температураға және электрлік өріс кернеулігіне тәуелділігі әртүрлі құрамдарды таңдау мүмкіндігіне ие.

Барий титанаты негізіндегі құрамдарға басқа қоспалардағы барий титанатының, мәселен стронций титанатының ( $\text{SrTiO}_3$ ), кальций титанатының ( $\text{CaTiO}_3$ ), барий станнатының ( $\text{BaSnO}_3$ ) және т.б. қатты ертінділері жатады.

Конденсаторлық сегнетокерамиканы диэлектрлік жиілік көбейткіштері үшін пайдаланылатын сызықтық емес конденсаторларды дайындау үшін, кернеу мен қуат күшейткіштерінде, тұрақтандырғыштарда қолданады.

Сызықтық емес сегнетокерамика барий титанатына қарағанда, диэлектрлік өткізгіштігінің электр өрісінің кернеулігіне күрт байқалған сызықтық емес тәуелділігіне ие.

Сыйымдылығы салынған кернеуге байланысты болатын сызықтық емес диэлектрлік конденсаторлар *варикондар* деп аталады («вариконд» сөзі «вариация» және «конденсатор» сөздерінен құралған).

Варикондарды тегерішті немесе үлбірлі жалпақ керамикалық конденсаторлар түрінде орындайды.

Қолданылу аясына қарай варикондарда диэлектрлік сызықсыздықтың екі түрі пайдаланылады: тиімді және реверсивті.

*Тиімді сызықсыздық* — бұл ыдыстың салынған кернеу амплитудасынан өзгеруі (синустық, импульстық немесе кез-келген басқа пішінге). Ол тек төменгі жиіліктерде ғана болады. Жоғары жиіліктерде вариконд ыдысы электрлік өріс кернеулігіне тәуелді болмайды деуге де болады.

Тиімді сызықсыздықты алмаспа кернеу тұрақтандырғыштарында, ұшқын сөндіру құралдарында, электрлік сурет құралдарының, индикаторлардың, теледидар экрандарының контрастылығын арттыру үшін қолданады.

*Реверсивті сызықсыздық* — бұл ыдыстың алмаспа өрісте басқа басқарушы электрлік өріспен ауыстырылуы. Басқару кернеуі варикондыға алмаспамен біржола салынады. Басқарушы өріс тұрақты не баяу өзгеруші болуы мүмкін. Басқарушы өрістің кернеуінің жиілігі алмаспа өріс кернеуінің жиілігінен төмен, ал басқарушы кернеу амплитудасы алмаспа кернеу амплитудасынан жоғары.

Реверсивті сызықсыздық төмен жиілікте жұмыс істейтін және үлкен шығындар, диэлектрлік өткізгіштіктің электрлік өріс кернеулігіне және температуралық пен уақытша тұрақсыздыққа гистерезистік тәуелділік сипаты сынды кемшіліктерге өте бейім емес диэлектрлік күшейткіштерде, кернеу тұрақтандырғыштарында, автомобиль құрылғыларында пайдаланылады.

Керамика қабаты қалыңдығының бірнеше ондаған микронға жұқаруы төмен жиіліктерде жұмыс істейтін үлбірлі варикондарды алуға мүмкіндік береді.

Терморезистивті сегнетокерамиканы электрөткізгіштік сипаты бойынша (үлестік электрлік кедергі  $\rho < 10^9$  Ом·м) жартылай өткізгіштерге жатқызуға болады, алайда кенет полярлану мен Кюри нүктесінде фазалық өтуі арқасында терморезистивті сегнетокерамика жартылай өткізгіштерге тән емес қасиеттердің бірқатарына ие. Мәселен, Кюри нүктесіне жақын жерде температура артқан кезде үлестік электрлік кедергінің күрт артуында болып табылады позисторлық әсер. Ол барий-стронций титанатының, барий титанстаннатының және т.б. қатты ертінділеріне тән. Қатты ертінділерден  $\text{BaTiO}_3$ — $\text{SrTiO}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$ — $\text{PbTiO}_3$ ,  $\text{SrTiO}_3$ — $\text{PbTiO}_3$  кедергісі секірме тәрізді терморезистор-

позистор кедергілерін, ал үлестік электрлік кедергіні жаймен арттыру үшін қатты ертінділерді пайдаланады  $\text{BaTiO}_3$ — $\text{BaSnO}_3$ ,  $\text{BaTiO}_3$ — $\text{Ba}_2\text{Zr}_3$  және т.б.

Позисторлар 10 Ом-дан 10кОм-ға дейін номиналдық кедергіге ие; электрлік кедергісінің температуралық коэффициенті жоғарылау ( $\text{TK}_p = (0,1...0,2) \text{ K}^{-1}$ ); электрлік кедергісінің температуралық коэффициенті жоғары температуралық интервалға ие ( $\text{TK}_p$  шамамен  $30^\circ\text{C}$  құрайды).

Позисторларды температураны өзгерту және реттеу, радиосұлбаларды термокомпенсациялау үшін, шағын габаритті термостаттарда, ток тұрақтандырғыштарында және т.б.

*Гистерезис ілгегі тікбұрышты сегнетоэлектриктерді* электрондық-есептеуіш машиналардың (ЭЕМ) есте сақтаушы құрылғыларында (ЕСК) қолданады. Сыртқы электрлік болмағанда полярланған сегнетоэлектриктің екі полярланғандығы  $+P_c$  және  $-P_c$  екі тұрақты күйі болады (5.8-суретті қар.). ЭЕМ есте сақтаушы құрылғысындағы бұл күйлердің бірі бірлік сақтауына, ал екіншісі – нөлге сәйкес келеді. Жазба кернеуін өзгерте отырып, сегнетоэлектрикті бір күйден екінші күйге ауыстыруға болады. ЕСК материалдарына қойылатын негізгі талап төмендегі формула бойынша анықтайтын гистерезис ілгегінің түкбұрыштығы

$$K_{\text{пр}} = P_c / P_n$$

мұндағы  $P_n$  — гистерезис ілгегінің қанығу учаскесінің басындағы полярланғандық мәні.

Тікбұрыштық коэффициенті  $K_{\text{пр}}$  әрдайым бірліктен төмен. Есте сақтау құрылғыларын жасайтын материалдар үшін  $X_{\text{пр}} = 0,85...0,95$ . Сонымен қатар, ЕСК арналған материалдардың коэрцитивті күші аз болуы тиіс  $P_c$ , яғни кенет полярланғандық бағытын өзгерту үшін қажет электрлік өріс кернеулігінің  $E$  шамасы төмен болуы тиіс; қалдық полярланғандығы үлкен; сегнетодиэлектриктің бір күйден екінші күйге ауысу (қайта полярлану) уақытымен айқындалатын жоғары жылдам әрекетке ие болуы тиіс, мәселен  $+P_c$ -дан  $-P_c$ -ға. Үздік сегнетокерамикалық материалдар үшін жылдам әрекет ондаған наносекундты құрайды.

ЕСК дайындау үшін қорғасын цирконаты-титанатының қатты ертінділері негізінде алынған керамика жақсырақ игерілген.

### 5.6.2. Пьезоэлектриктер

Пьезоэлектрик деп пьезоэсерге ие қатты анизотропты кристалл заттар аталады. Пьезоэсерді 1880 жылы Кюри ағайындылары ашқан.

Диэлектриктің (полярланудың) механикалық кернеулер әсерінен пішіні өзгерге кезде тиісті шектерінің бетіндегі электрлік зарядтың пайда болу құбылысы *тікелей пьезоэлектрлік әсер* деп

аталады.

Бұл орайда туындайтын полярланғандық  $P$  салынған механикалық кернеуге  $\sigma$  тура пропорционалды:

$$P = d\sigma,$$

мұндағы  $d$  — пьезоэлектрлік модуль не пьезомодуль деп аталатын пропорционалдық коэффициенті.

Пьезомодуль берілген салынған механикалық кернеу кезінде оның төсемдеріндегі кристаллдың полярлануын немесе зарядтың тығыздығын анықтайды.

$\sigma$  белгісінің өзгеруі, яғни созуды қысумен алмастыру полярлану  $P$  белгісінің өзгеруіне апаратын, яғни оның қайтаполярлануына.

Тікелей пьезоэлектрлік әсерлі материалдарды механикалық кернеулерді түрлендіру және электрлік дабылдардың орнын ауыстыру үшін пайдаланады (дыбыс алғыштар, ультрадыбыс қабылдағыштары, пішін өзгерісінің датчиктері).

Электрлік өрістің кернеулік шамасы өзгергендегі диэлектрик пішінінің өзгеруі *кері пьезоэлектрлік әсер* деп аталады. Бұл ретте диэлектрик өлшемдері сызық заңы бойынша өзгереді. Егер мұндай пьезоэлектрикті электр өрісіне қояр болса, онда механикалық ауытқу амплитудасы алмаспа өріс жиілігімен ауысатын болады. Электрлік өріс жиілігі мен пьезоэлектриктің өз жиілігі тарыған кезде амплитуда максималды мәнге ие болады.

Кері пьезоәсерді электрлік дабылдарды механикалыққа түрлендіру (акустикалық сәулеленуіштерге, ультрадыбыс генераторларына) үшін пайдаланады.

**Пьезокерамика.** Сегнетокерамика изотроптық материал болып табылады және пьезоәсерге ие емес. Сегнетоэлектриктердегі пьезоэлектрлік әсер оны күшті тұрақты электр өрісінде 100...150 °C температурада ұзақ уақыт бойы (1 сағатқа жуық) ұстау процессінде пайда болады. Бұл үшін сегнетокерамика бетіне күміс электродтар салады, оларға үлгі қалыңдығының әр сантиметріне бірнеше киловольт есебінен кернеу береді. Осы өрістің әсерінен домендер үлгіде салынған өріс бағытына бағдарланады да осы бағытта қарама-қарсы белгілердің еркін зарядтары болып бекітіледі. Өрісті шешім алған және салқындатқан соң үлгіде тұрақты қалдық полярлану қалады. Бұл ретте үлгі анизотроптық текстураланған<sup>1</sup> құрылымға ие болады. Бұл пьезоәсерді пайда болуына әкеп тірейді.

<sup>1</sup> Текстура (*лат.* сөзі *textura*) — қатты заттың оның құрамбөліктерінің (кристалл, түйір және т.б.) орналасу сипатымен шартталған түзілу ерекшеліктері.

Оның пьезоэсерін пайдалануға арналған полярланған сегнетокерамика *пьезокерамика* деп аталады. Пьезокерамика поликристалл затты білдіреді, сондықтан нәтиже беретін пьезоэсер онда монокристаллға қарағанда әлсіздеу байқалған. Алайда пьезокерамиканы пайдалану кез-келген пішіндегі және өлшемдегі бұйымдарды әзірлеу мүмкіндігімен, монокристаллдармен салыстырғанда құнының төмендігімен шартталған.

Тағайындалуына байланысты пьезокерамикалық материалдарды төрт сыныпқа бөледі.

I сыныбының материалдарын әлсіз механикалық ауытқуларды қабылдау не сәулелеу режімінде жұмыс істейтін жоғарысезімтал пьезоэлементтерді дайындау үшін қолданады. Бұл ретте механикалық және электрлік кернеу үлкен болмағандықтан, бұл бұйымдарда сегнеттік жұмсақ материалдар пайдаланылады.

II сыныбының материалдары күшті электрлік және механикалық кернеу жағдайларында жұмыс істейтін пьезоэлементтерге арналған. Бұл жағдайда пьезоэлементтің сыртқы электр өрісімен полярсыздануын болдырмау үшін сегнеттік қатты материалдарды пайдаланады. Олардан қуатты ультрадыбыс көздерін, оталдыру жүйелерін жасайды.

III сыныбының материалдарын уақытта және температура өзгерісінде жиілікті сипаттамалары жоғары тұрақтылыққа ие пьезоэлементтерде қолданады.

IV сыныбының материалдарын айрықша жағдайларда пайдаланады, мәселен, пьезоэлементтерді арттырылған температура әсері жағдайларында пайдалану талап етілген жағдайда. Бұл жағдайда Кюри нүктесі жоғары (300 °C жоғары) сегнетоэлектриктерді пайдаланады, өйткені Кюри нүктесінен жоғары пьезоэлементтің кездейсоқ қызып кетуі оның пьезоэлектрлік қасиеттерінің жоғалуына әкеп соқтырады.

Пьезокерамикалық материалдар ретінде барий титанаты мен оның туындыларын, барий-қорғасын, қорғасын цирконаты-титанаты және оның туындыларын пайдаланады.

**Пьезоэлектрлік монокристаллдар.** Айтылып өткендей, пьезокерамика поликристалл құрылымға ие, бұл оны 10 МГц-дан жоғары жиіліктерде қолдануды мүмкін емес қылады.

Жоғары жиіліктерде (ЖЖ) және өте жоғары жиіліктерде (ӨЖЖ) монокристаллдық табиғи немесе синтетикалық пьезоэлектриктерді қолданады. Оларға кварц, литий ниобиті ( $\text{LiNbO}_3$ ), литий танталаты ( $\text{LiTaO}_3$ ), сфалерит ( $\text{ZnS}$ ), кадмий сульфиді ( $\text{CdS}$ ), мырыш оксиді ( $\text{ZnO}$ ) және т.б. жатады.

Кварц (тау хрусталі) – кремний диоксиді ( $\text{SiO}_2$ ), жоғары электрлік қасиеттерге (дизлектрлік шығын бұрышының

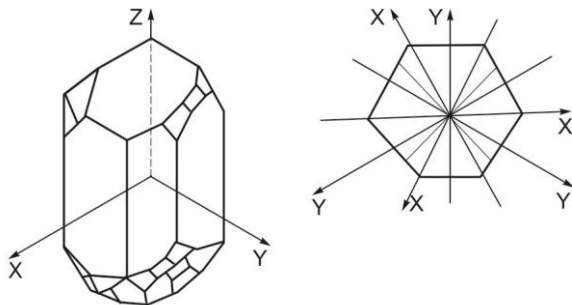
тангенсі  $\text{tg}\delta < 0,0001$ ), пьезомодуль мәні салыстырмалы түрде үлкен емес, қоршаған орта температурасы мен ылғалдылығына тәуелділігі аз; қаттылығы мен механикалық беріктігі жоғары, бұл берілген пішіндегі және өлшемдегі пластиналарды дайындауды қиындатады (оларды алмаз ара көмегімен кеседі де арнайы тегістегіш білдектерде өндейді); анизотропиясы күшті; құны жоғары табиғатта кең таралған минерал.

Табиғилармен қатар бірқатар басымдықтарға ие синтетикалық кристаллдарды көбірек пайдаланады. Табиғи кварцтан алынған пьезоэлементтердің беріктігі  $250\text{ }^\circ\text{C}$  температураға дейін қыздырғанда құлайды, ал синтетикалық кварцтан жасалған пьезоэлементтер  $500\text{ }^\circ\text{C}$  температураға дейін қыздырғанда жоғары механикалық беріктігін сақтайды.

Кремний диоксиді алты қырлы қиық призмалар түріндегі түссіз мөлдір кристаллдар (5.9-сурет). Кварцтың үші ось түрі болады: басты оптикалық Z, үш электрлік Y және үш механикалық X. Z осі кристалл бойымен пирамида шыңдары арқылы өтеді. Үш X осі алтыбұрыш шыңы арқылы жалпақтай Z осіне перпендикулярлы өтеді. Үш Y осі сол алтыбұрыштың жақтарына перпендикулярлы өтеді. Құралдарды дайындау үшін қолданылатын пластиналар X, Y, Z осьтеріне қатысты бағдарланған кристаллдан кесілген кесіктер. Z осіне перпендикулярлы кварц кесіктері пьезоәсерге ие емес. Y осінің бойымен полярлануды механикалық кернеулерді жылжыту есебінен ғана алуға болады. Бойлық пьезоэффект X осінің бойында ғана болады. Алайда шектері оның осьтеріне қарағанда еңкейтілген кристаллдың қисық кесіктерінің пластиналары кең қолданыста.

Кварцты электрлік ауытқу генераторларының жиіліктерін тұрақтандыру үшін қолданады.

Литий ниобиті ( $\text{LiNbO}_3$ ) (Кюри нүктесі  $T_k = 1200\text{ }^\circ\text{C}$ ) литий



5.9-сур. Кварц кристаллындағы кристаллографиялық осьтердің бағдары



танталлаты ( $\text{LiTaO}_3$ ) ( $T_k = 610 \text{ }^\circ\text{C}$ ) — кварцтың орнына жиі пайдаланылатын синтетикалық кристаллдар. Олар кварцқа қарағанда, жоғары пьезоэлектрлік сипатқа ие, және оларды жоғары және өте жоғары жиіліктер диапазонында қолдану тиімдірек.

Бұл материалдарды негізінде бөгеу желілерінде және сүзгілерінде көлемдік және беттік толқындар ретінде қолданады. Бұл кристаллдарды кварцтың орнына пайдалану паразиттік ауытқулардың әсерін төмендетуге; шағын габариттік өлшемдерде өткізу жолағын кеңейтуге; мөлдірлік жолағындағы кедергіні төмендетуге мүмкіндік береді.

Мырыш сфалериті ( $\text{ZnS}$ ), кадмий сульфиді ( $\text{CdS}$ ), мырыш оксиді ( $\text{ZnO}$ ) электромагниттік ауытқуларды акустикалыққа жоғары және өте жоғары жиіліктерде (40 ГГц дейін) үлбірлік түрлендіргіштер үшін пайдаланатын пьезожартылай өткізгіш болып табылады. Бұндай қоспалардың үлбірлері вакуумда акустикалық толқындарды қоздыру қажет болатын бұйымдардың тікелей бетіне тозандатылады.

### 5.6.3. Электреттер

*Электреттер* деп қоршаған ортада ұзақ уақыт бойы алдын ала электрлендіру немесе полярландыру есебінен электрлік өріс туғызатын диэлектриктер.

Алғашқы электреттер 1920 жылдары алынды. Олар балқымасын тұрақты электрлік өрісте салқындататын киіз бен шайыр қоспалары. Суыған кезде анодқа айналған электрет беті теріс зарядты сақтайды, ал қарама-қарсы беті оң зарядты сақтайды. Осылайша, байланысқан беттік электрлік зарядтар пайда болады. Бұл зарядтардың тығыздығы уақыт өткен сайын төмендейді, бірақ кейін қарама-қарсы белгідегі салдарлы зарядтар пайда болады. Зарядтардың жоғарылау тығыздығын алу үшін (шамамен  $0,3 \text{ к/м}^2$ ) электр өрісінің кернеулігін жасау қажет, шамамен  $(10...12) \cdot 10^5 \text{ В/м}$ . Электр өрісінің жоғарылау кернеулігі кезінде ауаның иондануы болады, бұл беттік жабылуға әкеп соғады.

Электреттер балқытқанда немесе күшті алмаспа электрлік өрістің, ультрадыбыстың және жоғары жиіліктегі өрістің әсерінен бұзылады.

Органикалық электреттерді қысқартылған күйде сақтайды, мәселен фольгаға қапталған күйде. Дұрыс сақтамағанда немесе электрет салыстырмалы ылғалдылығы 80% астам ортада болғанда заряд тығыздығы тез кішірейеді.

Зарядты қалыптастыру тәсіліне байланысты электроэлектреттер, термоэлектреттер, фотоэлектреттер,

радиоэлектреттер және трибоэлектреттер деп бөледі.

Электроэлектреттерді диэлектрикке бөлме температурасында тек электрлік өріспен әсер ете отырып алады. Электрлік әдіспен жылдамдатылған еркін заряд тасығыштарды (иондар мен электрондар) диэлектрик пен электрод арасында диэлектрик бетін бомбалайды (5.10-сурет, а) даярдалған беттік қабатты алады.

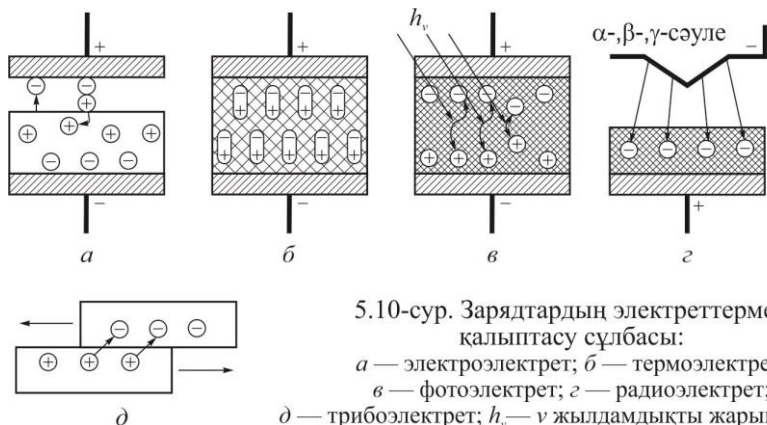
Термоэлектреттерді қыздырылған не балқытылған диэлектрикті күшті электр өрісінде салқындаған кезде алады. Салқындатқан соң полярлық молекулалардың немесе бос зарядтардың жылжығышытығы күрт төмендейді және диэлектрик қалдық полярлануды ұзақ уақыт сақтай алады (5.10-сурет, б).

Фотоэлектреттерді фотоөткізгіштігі бар материалдарға электр өрісі мен жарық энергиясының бірге әсер етуі кезінде алады. Жарық энергиясының әсері тоқтаған соң атаулары әртүрлі зарядтарды тасығыштар электретке айналатын диэлектриктің қарама-қарсы жақтарында «қатырылған» болып қалады (5.10-сурет, в).

Қараңғыда сақтаған жағдайда фотоэлектриктер зарядты бірнеше тәуліктен бірнеше айға дейін ұстап тұра алады.

Радиоэлектреттерді диэлектрикке радиобелсенді сәулемен (жылдамдатылған зарядталған бөлшектермен) әсер ету арқылы алады. Беттік қабатты соққылы иондау немесе диэлектриктің беттік қабатына жылдамдатылған зарядталған бөлшектерді енгізу нәтижесінде диэлектрик бетінде зарядталған қабат пайда болады (5.10-сурет, г).

Трибоэлектреттерді екі диэлектрикті үйкеу арқылы алады. Екі диэлектрик тығыз байланысқанда шығу жұмысы аздау диэлектрик электрондары шығу жұмысы көптеу диэлектрикке



5.10-сур. Зарядтардың электреттермен қалыптасу сұлбасы:

а — электроэлектрет; б — термоэлектрет;

в — фотоэлектрет; г — радиоэлектрет;

д — трибоэлектрет;  $h_\nu$  —  $\nu$  жылдамдықты жарық бөлшегі

ауысады (5.10-сурет, д).

Уақыт өтісімен электрет зарядының шамасы өзгереді, бұл қалдық полярланудың бүлінуімен байланысты. Тұрақтандырылған заряд мәні 2,72 есе кішірейетін уақыт.

Электреттер ретінде органикалық та, бейорганикалық материалдар да пайдаланылуы мүмкін.

Органикалық материалдардан алынатын электреттерді табиғи материалдардан алынған электреттер және синтетикалық материалдардан алынған электреттер деп бөледі.

Электреттерді дайындау үшін *табиғи материалдар* ретінде шайырлар (канифоль, шеллак, мүсәтір) мен олардың қоспаларын, сондай-ақ қантты, асфальтты, эбонитті, слюданы және т.б. пайдаланады. Бұл электреттердің заряд мәнінің тұрақтылығы төмен; сақтау шарттарына сезімталдығы өте жоғары; өмір уақыты біржылдан көп емес. Табиғи электреттер радиоэлектроника бұйымдарын әзірлеу үшін қолданылмайды деуге де болады.

Электреттерді дайындау үшін *синтетикалық материалдар* ретінде диэлектрлік қасиеттері жоғары жұқа органикалық әлсіз полярлық және нейтральдық полимерлік үлбірлерді (полиэтилентерафталат, поликарбонаттар, полипропилен және т.б.) пайдаланады. Синтетикалық (үлбірлі) электреттерді микрофондарда мембрана ретінде, діріл түрлендіргіштерде қолданады.

Бейорганикалық материалдардан алынған электреттер құрамында титаны бар керамикадан, ситалдардан, түрлі әйнектерден (азсілтілі борсиликатты, кварцтық және т.б.) құралған электреттер тобы.

Электреттерді электростатикалық вольтмерлерді, электрлік жад элементтерін, өтпелі радиация дозиметрлерін дайындаған кезде, диэлектрлік үлбірге ақпаратты жарықтық жазу үшін (магниттік таспаға жазуға үқсас) қолданады.

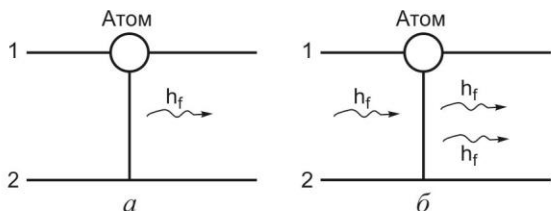
## 5.6.4. Оптикалық генерацияға арналған диэлектриктер

Молекулалардағы атомдары түрлі энергетикалық деңгейлерде орналасады. Егер қоздырылған атом өздігінен жоғарылау энергетикалық деңгейден 2 төмендеу энергетикалық деңгейге өтетін болса, онда ол фотонды сәулелейді, яғни жарық бөлшегін (**5.11-сурет, а**). Мұндай сәулелену *кенет (өздігінен туындаған)* деп аталады.

Бұл ретте атом энергиясы төмендегі формула бойынша анықталатын шамаға азаяды

$$W = W_2 - W_1,$$

мұндағы  $W$ — төмендеу энергетикалық деңгейге өткен электрон энергиясына азайған энергия;  $W_2$ — жоғарылау энергетикалық деңгей энергиясы;  $W_1$ — төмендеу энергетикалық деңгей энергиясы.



5.11-сур. Екіденгейлі жүйедегі кванттық өтпелер сұлбасы:  
*a* — кенетсәулелену; *б* — ынталандырылғансәулелену;  
 1 — төменгі негізгі деңгей; 2 — жоғарылау энергетикалық деңгей;  
 $h_f$  — жарық бөлшегі

$W$  энергиясындағы айырмашылық төмендегі қатынастан анықталатын жиіліктегі кван түрінде сәулеленеді

$$f = W/h,$$

мұндағы  $h$  — тұрақты Планка.

Түрлі атомдардың кенет сәулеленулері бір-бірімен байланысты емес, сондықтан кенет сәулелену когерентті емес<sup>1</sup>.

Егер атомға фотонмен сырттан әсер етсе, мәселен, көрші атомның кенет сәулеленген фотонымен, онда қоздырылған атомның сәулеленуі *индуцирленген*, немесе *ынталандырылған* болады (5.11-сурет, *б*). Бұл ретте бірдей жиіліктегі екі фотон біржола жіберіледі. Егер денде қозған атом саны көп болса, онда бұл екі фотон басқа атомдарды да сәулеленуге мәжбүрлейді. Бұл жағдайда дененің қосындылық сәулеленуі когерентті болады, яғни түрлі атомдардың сәулеленуі бір бірімен байланысты.

Кенет сәулеленумен қатар ынталандырылған сәулелену мүмкіндігіне А. Эйнштейн нұсқаған, ал ынталандырылған сәулелену негізіндегі алғашқы құрылғыларды ХХ ғасырдың ортасында, бұрынғы КСРО-да Н.Г.Басов пен А.М.Прохоров, АҚШ-та — Ч.Таунс жасаған.

Қалыпты жағдайларда, яғни жылулық тепе-теңдік жағдайларында бөлшектердің көбі төменгі энергетикалық деңгейде болады. Кенет қоздырылатын атомдар кенет сәулеленумен артық энергиядан босатылады және төменгі энергетикалық деңгейге өтеді.

Когеренттік, яғни уақытта келісілген түрде ағатын жарық ағынын алу үшін үстіңгі энергетикалық деңгейді бөлшектердің артық мөлшерімен толтыру қажет. Бұл процесс кері қондыру не инверсия<sup>2</sup> теп аталады.

<sup>1</sup> Когеренттік (*лат.* сөзі *cohaerentia* — ілінісу, байланыс) — фазаларының әртүрлілігі тұрақты бірнеше ауытқыма немесе толқынды процесстердің уақытпен келісті түрде ағуы; когерентті толқындар қосқан кезде бір-бірін не күшейтеді, не әлсіретеді (толқындардың интерференциясы байқалады).

<sup>2</sup> Инверсия (*лат.* сөзі *inversio* — аудару, қайта орналастыру) — қалыпты тәртіпті бұзу.

$f$  жиілікті электромагниттік толқын деңгейлердің кері толуымен ортадан өте отырып, осы деңгейлерден бөлшектердің төменгі негізгі деңгейлерге өтуін ынталандырады. Бұл орайда бөлінетін ынталандырылған сәулелену энергиясының кванттары сыртқы электромагниттік толқын энергиясын арттырады.

Бұл құбылысқа кванттық генераторлар мен күшейткіштердің жұмысы негізделген.

Екідеңгейлі жүйеде кері толымдық жасау үшін оған резонанстық жиілігі  $f = W/h$  сыртқы көзден электромагниттік өріс береді. Бастапқы күйінде бөлшектерді көбі төменгі негізгі деңгейде  $1$  болғандықтан, электромагниттік өріс әсерінен олар үстіңгі деңгейге ішінара көшеді де  $1$  мен  $2$  деңгейлердегі бөлшектер саны теңеседі. Бөлшектерді оларды жоғарылау энергетикалық деңгейлерге сыртқы өріс көмегімен көшіру процесі толтыру, ал сыртқы өріс – толтыру өрісі деп аталады.

Сыртқы толтыру өрісін өшіргеннен кейін үстіңгі деңгейде тепе-теңмен салыстырғанда бөлшектердің артық саны қалыптасады да жүйе ынталандырылған сәулеленуге дайындалған болып қалады.

Жүйе қайтадан тепе-теңдік күйге қайтатын уақыт *релаксация уақыты* деп аталады.

Екідеңгейлі жүйенің кемшілігі қоздырылған күйдің тұрақсыздығы болып табылады, өйткені релаксация кезінде жүйе кенет негізгі күйге өтеді. Сондықтан электромагниттік толқындарды – мазерлер (ӨЖЖ диапазон) мен лазерлерді (оптикалық диапазон) генерациялау және күшейту үшін квант құрылғыларының жұмысы үшін төртдеңгейлі жүйелерді қолданады.

Квант құрылғыларына арналған белсенді диэлектриктерге келесі талаптар қойылады:

- диэлектрик ішіндегі сәулелену шығындарын азайту үшін оптикалық біртектілік;
- жұмыс элементінің қызып кетуін болдырмайтын жоғары жылу өткізгіштік;
- үлкендеу квант шығуы — жұмыс жиілігіндегі кванттардың сәулеленген энергиясының толтыру көзінен жұтылғанға қатынасы;
- технологиялылық, яғни диэлектриктің талап етілетін пішінді иелену қабілеті.

Оптикалық генерация үшін белсенді диэлектриктер ретінде белсендіргіш қоспалары бар қатты, сұйық және газтәріздес материалдардың көп мөлшерін қолданады ( $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{3+}$ ,  $\text{U}^{3+}$  иондары).

**Қатты денелі лазерлерге арналған материалдар.** Қатты денелі лазерлердің белсенді элементі ретінде жоғары

температуралық кристалл диэлектриктерді пайдаланады. Оларға оксид микрокристаллдары ( $ZnO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ), фольфраматтар, молибдаттар, ниобаттар және басқа оттегі қоспалары; фторид монокристаллдары ( $CaF_2$ ,  $BaF_2$ ,  $LaF_3$ ,  $MnF_2$ ), сондай-ақ оттегі қоспалары мен фторидтері негізінде жасалған әйнектер жатады. Понокристаллдардың ішінде рубин, иүшалюминий гранаты және кальция флюориті кеңірек қолданылады.

Рубин алюминий  $Al^{3+}$  иондарының бір бөлігі хлор  $Cr^{3+}$  иондарымен алмастырылған сұр-күлгін түсті кристалл  $Al_2O_3$ .

Рубинді белсенді ету үшін балқымаға монокристаллды созғанда шамамен 0,05 % хром оксиді қосылады. Хром иондары алюминий иондарының бір бөлігін алмастырады да кристаллда тиісті энергетикалық деңгейлерді жасайды. Үстіңгі деңгейлер жұту жолақтарын қалыптастырады, оған толырған кезде хром иондары тасталады. Бұл деңгейлерде олар шамамен 500 мкс қозған күйде болады, ал кейін олардың көп бөлігі метатұрақты<sup>1</sup> деңгейге көшеді. Бұл көшу сәулеленумен шығарып салынбайды, өйткені бөлінетін энергия жылу түрінде материал көлеміне таралады. Бұл бөлшектердің өмір уақыты метатұрақты деңгейде салыстырмалы түрде жоғары әрі шамамен 3000 мкс құрайды. Метатұрақты деңгейден негізгіге көшу фтондардың жітібағытталған жұқа сәулесі түрінде энергия бөле отырып, генерация режимінде орын алады.

Белсендендірілген рубин жоғары кванттық шығуға ие (70%); жоғары механикалық беріктікке; жоғары жылу өткізгіштікке; қуатты сәулелену әсеріне тұрақты; химиялық төзімді; салыстырмалы түрде үлкен оптикалық біртекті монокристаллдар алу мүмкіндігіне ие.

Неодиммен  $Nd^{3+}$  қосылған иүшалюминий гранаты ( $Y_3Al_5O_{12}$ ) келесі қасиеттерге ие: сәулелену толқынының ұзындығы — 1,06 мкм; жоғары механикалық беріктік; жоғары жылу өткізгіштік; төмен шекті қозу энергиясы.

Осы қасиеттерінің арқасында гранат шығатын қуаты бірнеше жүз ватт болатын үздіксіз генерация режимінде, сондай-ақ импульстарының қайталау жиілігі 5 кГц-дан бір гигагерцке дейінгі жиілікті режимді және импульстық қуаты ондаған мегаватт болатын жалғыздық импульстары режимінде жұмыс істейтін лазерлерде пайдаланады.

---

<sup>1</sup> Метатұрақты (*гр.* сөзі *meta* — кейін... + тұрақты) — дене не жүйе сыртқы факторлардың әсерінен не өздігінен тұрақтылау күйге өтіп кетуі мүмкін салыстырмалы тұрақты күй.

Кальций флюоритін ( $\text{CaF}_2$ ) әдетте уранмен белсендендіреді.  $\text{U}^{3+}$  шамамен 0,05 % концентрациясы кезінде сәулелену толқының ұзындығы 2,5 мкм.

Арнайы әйнектерді сирекжерлік металлдардың иондарымен белсендендіреді. Белсендендірілген әйнектерді силикаттық, фосфаттық, бораттық, фторлық, теллурлық, германийлік және басқа әйнектерден жасайды. Белсендендіргіш ретінде әйнекмассаға көбінесе 3,5 % неодим оксидін  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  енгізеді. Оның мұндай мөлшері фотондардың жоғары сәулелену қарқындылығын және салыстырмалы түрде метатұрақты күйдің ұзақтау өмір уақытын қамтамасыз етеді. Толтыру көзінің ультракүлгін сәулеленуі саласында әйнектің фотохимиялық төзімділігін қамтамасыз ету үшін оның құрамына торий оксидін енгізеді (пайызының оныншы үлесін).

Белсенді элементтердің басымдықтары белсенді материалдың оптикалық біртектілігінің жоғарылығы; шығынының аздығы; үлкен өлшемдегі үлгілерді дайындауға мүмкіндік беретін технологиялық; берілген қасиеттерімен бұйымдарды жаппай өндіру мүмкіндігі; құнының төмендігі.

Кристалл заттармен салыстырғанда әйнектер келесі кемшіліктерге ие: төмен жылу өткізгіштік; сызықтық кеңеюінің жоғары температуралық коэффициенті, бұл квант құрылғысының қуатының жоғарғы шегін шектейді; салыстырмалы түрде әлсіз фотохимиялық төзімділік; мөлдірліктің шектеулі аймағы (0,33...4,5 мкм); сәулелену спектрінің үлкен ені. Неодим әйнектерінен белсенді элементтерді диаметрі 7 мм дейін және ұзындығы 90 мм дейінгі білік немесе талшық түйінінен жасалған желі түрінде дайындайды.

Лазерлердің белсенді элементі ретінде монокристаллдар мен әйнектер арасында аралық орынға ие ситаллдарды да қолданады.

**Сұйық лазерлерге арналған материалдар.** Олар лазерлік кристаллдармен және әйнектермен салыстырғанда келесі басымдықтарға ие:

- лазерлік кристаллдар мен әйнектерді жоғары температурада дайындайды, сондықтан оларда олардың оптикалық кемелдігі дәрежесін төмендететін құрылымының «қатырылған» ақаулары бар. Сұйықтықтарда мұндай кемшіліктер жоқ;

- лазерлердің шекті қуаты олардың өлшеміне байланысты, алайда монокристаллдардың максималды өлшемдері шектелген, ал сұйықтықтар белсенді ортаның кез-келген көлемін жасауға мүмкіндік береді;

- үлкен қуатты қатты денелі лазерлердігі ұшқын кезінде жұмыс денесі сынуға тырысады, сұйықтықтарда бұлай болмайды;

- сұйық құрылымдарда белсенді заттың құрылымының біртексіздігі және ақаулығымен байланысты шығындар болмайды. Сұйық белсенді орталар тұрақты оптикалық сипаттамаларға ие;

- сұйық оптикалық кванттық генераторлардың материалдары қатты денелілерден арзан әрі оңай дайындалады.

Белсенді орта ретінде сұйық лазерлерде сирекжер элементтерінің бейорганикалық сирекжер қоспаларының ертінділерін, органикалық еріткіштердегі сирекжер элементтерінің диэктонат ертінділерін (европия, тербия) пайдаланады.

Лазерлерде зерттеу мақсатында жинағы толқын ұзындығы 0,35...1,1 мкм сәулеленуді алуға мүмкіндік беретін кейбір органикалық бояғыштардың (родамин, кумарин және т.б.) ертінділерін қолданады. Бояғыштардағы лазерлерді аударылатын сәулелену жиілігімен өндіреді, бұл болса оларды спектроскопияда пайдалануға жол ашады.

**Газды лазерлерге арналған материалдар.** Бұл материалдар азғантай оптикалық кемелдікке ие, өйткені газ молекулалары бір-бірімен сұйықтықтар немесе қатты денелерге қарағанда, әлсіз әрекеттеседі.

Газды лазерлер сұйық лазерлермен салыстырғанда келесі басымдықтарға ие:

- газды белсендендіру үшін электрлік толтыруды пайдаланады. Газ арқылы ол тесілген кезде өтетін тоқ молекулаларды қозған күйге ауыстырады, ал кейін олар сәулеленумен негізгі күйге өтеді;

- газ ортасының аз тығыздығы, соның салдарынан газ спектріндегі энергетикалық деңгейлер өте тар;

- газ ортасының аз тығыздығы жоғары оптикалық біртектілікті қамтамасыз етеді, газдағы жарық шоғы ыдырамайды, сондықтан газды лазерлердің сәулеленуі жоғары монохромдықпен және бағытталғандықпен сипатталады.

Газды лазерлердің кемшілігіне газды белсенді ортаның аз тығыздығы себепті сәулеленудің үлкен қуатын алудың мүмкін еместігі жатады.

Қуаты аз монохроматикалық сәулеленуі жоғары лазерлерде электрлік беріктігі төмен газдарды пайдаланады. Энергетикалық деңгейлердің қажетті жүйемі әдетте газдар қоспасында қол жеткізіледі. Сонымен, электр разрядымен қозатын гелий-неон қоспасы толқын ұзындығы 0,63 мкм болатын қызыл сәуле немесе толқын ұзындығы 1,153 мкм болатын инфрақызыл сәуле сәулелейді.

Инфрақызыл диапазонындағы қуатты лазерлер жұмысы кезінде молекулалық газдардың ауытқыма және айналма өткелдерін пайдаланады.

Металлдарды кесу, дәнекерлеу, лазерлік беріктеу үшін үздіксіз сәулелену қуаты толқын ұзындығы 10,6 мкм болғанда 1000 Вт-ға және пайдалы әрекет коэффициенті 10...30% болғанда одан жоғарыға жететін көмірқышқыл газындағы CO<sub>2</sub> лазерлерді өндіреді.

Газды лазерлер мен мезерлерді дәл қлшеулер үшін, мәселен ұзындық пен уақыт эталондарында пайдаланады.



## 5.6.5. Электрооптикалық материалдар

Лазерлердің және басқа жарық генераторларының оптикалық сәулеленуін тиімді пайдалану үшін бұл сәулеленуді басқару қажет. Негізгі сәулелену параметрлерін өзгерту (амплитуданы, жиілікті, фазаны, полярлану векторын және жарық сәулесін басқаруды) үшін арнайы құрылғыларды – лазерлік сәулелеу модуляторларын<sup>1</sup> пайдаланады.

Модуляторларды электрооптикалық әсерге ие материалдардан әзірлейді.

*Электрооптикалық әсер* электрлік өріс әсерімен диэлектриктің сыну көрсеткіштерін өзгертуде.

Сыну көрсеткіштерінің электрлік өріс кернеуіне тәуелділігі сызықтық және квадраттық болуы мүмкін. Сәйкесінше, электрооптикалық материалдар сызықтық электрооптикалық әсерлі материалдарға және квадраттық электрооптикалық әсерлі материалдарға бөлінеді.

Электрооптикалық әсер сипаттамасы үшін арнайы параметрді – кристаллдан шығатын жарық фазасы  $180^\circ$  өзгертін салынатын кернеу шамасын білдіретін жартытолқынды кернеуді  $U_{\lambda/2}$  пайдаланады. Түрлі диэлектриктер үшін  $U_{\lambda/2}$  мәні бірліктен ондаған киловаттқа дейін құрауы мүмкін және жарық толқынының ұзындығына байланысты.  $U_{\lambda/2}$  мәні неғұрлым төмен болса, осы диэлектриктің көмегімен жарықтық сәулелену параметрлерін басқару соғұрлым оңай болады.

**Сызықтық электрооптикалық әсері бар материалдар.** Сызықтық электрооптикалық әсерге симметрия орталығы жоқ кристаллдар ие.

Лазерлік сәулелену модуляторлары ретінде пайдаланылатын кристаллдар келесі талаптарға жауап береді:

- оптикалық біртектілік, әсіресе температуралардың жұмыс диапазонында;
- аз жартытолқынды кернеу  $U_{\lambda/2}$ ;
- лазерлік сәулелену мен қоршаған орта факторларының әсеріне төзімділік;
- технологиялық.

Дигидрофосфат ( $\text{KNPO}_4$ ), дидейтерофосфат ( $\text{KD}_2\text{PO}_4$ ), литий ниобаты ( $\text{LiNbO}_3$ ), литий титанаты ( $\text{LiTaO}_3$ ) өнеркәсіпте қолданылып жүр.

---

<sup>1</sup> Модуляция (*лат. sөзіmodulatio*— өлшемділік) — жоғары жиіліктегі (механикалық, электрлік және т.б.) дүркін-дүркін ауытқу параметрлерінің біршама төмендеу (модуляциялаушы) жиіліктегі басқа ауытқулардың әсерінен өзгеруі; модуляция түрі бойынша амплитудалық, жиіліктік, фазалық, импульстық, ендік және т.б. болып бөлінеді.

Дигидрофосфат ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) пен дидейтерофосфатты ( $\text{KD}_2\text{PO}_4$ ) ертінділерден өсіреді және үлкен өлшемдегі және жоғары оптикалық сападағы жұмсақ суда еритін кристаллдар алады. Олар лазерлік сәулеленуге төзімді және тығыздығы  $3 \cdot 10^{12}$  Вт/м<sup>2</sup> астам жарық ағындарын зақымданусыз өткізіп, модуляциялайды. Алайда бұл кристаллдың элементтері пайдалану кезінде арнайы қорғаныс шараларын талап етеді.  $\text{KD}_2\text{PO}_4$  модуляторларының жұмыс кернеуі  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  модуляторыныкіне қарағанда төмен, бірақ  $\text{KD}_2\text{PO}_4$  қымбаттау.

Балқымалардан өсірілетін литий ниобатынан ( $\text{LiNbO}_3$ ) және литий танталатынан ( $\text{LiTaO}_3$ ) алынатын ертінділер  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  және  $\text{KD}_2\text{PO}_4$  салыстырғанда пайдаланған кезде қоршаған орта әсеріне төзімді, аз басқару кернеуін талап етеді. Алайда алынатын кристалл өлшемдері аз және олар оптикалық тұрғыдан біртектілігі аздау, бұл құрылғылардың жұмыс апертураларын<sup>1</sup> шектейді. Литий ниобаты мен танталаты ультракүлгін аймағы үшін мөлдір емес және лазерлік сәулеленуге төзімсіз.

### **Квадраттық электрооптикалық әсері бар материалдар.**

Квадраттық электрооптикалық әсерге симметрия ортасы мен изотропты ортасы (мәселен, сұйықтықтар) бар кристаллдар ие. Бұндай кристалл материалдарға перовскит кристаллдары жатады. Перовскит тобындағы кристаллдардың жартытолқындық кернеуі сызықтық электрооптикалық әсерлі кристаллдарға қарағанда төмен. Алайда модуляция және сәулеленуді басқару жүйелерінде бұл кристаллдарды қолдануға оптикалық біртекті кристаллдарды өсірудегі технологиялық қиындықтар кедергі келтіреді. Квадраттық электрооптикалық әсерлі сұйықтықтарға — нитробензол, күкірткөміртегі және т.б. жатады.

Электрооптикалық материал ретінде оптикалық мөлдір сегнетокерамиканы пайдаланады. Қарапайым керамика мөлдір емес. Егер керамиканы алу үшін ыстықтай сығуды пайдаланатын болса, онда нығыз, тесіксіз және мөлдір, әйнек сияқты, электрооптикалық қасиеттерге ие сегнетокерамиканы алуға болады. Осындай әдіспен ЦТСЛ Pb ( $\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x}$ )  $\text{O}_3$  +  $y\text{La}_2\text{O}_3$  жүйесінің оптикалық мөлдір сегнетокерамикасын әзірлейді, ондағы  $x$  атомдардың салыстырмалы атомдарын көрсетеді Zr,  $y$  — лантан оксиді молекулаларының салыстырмалы мөлшерін. ЦТСЛ жүйесіндегі құрамбөліктердің мөлшеріне байланысты сызықтық қалай болса, анық байқалған квадраттық әсерде солай байқалуы мүмкін. ЦТСЛ сегнетооптикалық материалдары төмен коэрцитивті күшке және тікбұрышты гистерезис ілгегіне ие және сол себепті электрооптикалық есте сақтау құрылғыларында қолдануға келеді. Егер үлгіге электрлік өрісті қосатын болса, сыну көрсеткіші өзгереді, ол үлгіде қалдық полярланудың сақталуының арқасында өрісті алғаннан кейін сақтала алады.

<sup>1</sup> Апертура (*лат.* сөзі *apertus* — ашық) — линза өлшемдерімен немесе диафрагмамен анықталатын оптикалық құрылғының әрекеттегі тесігі.

**Динамикалық электрооптикалық жарықты ыдырату әсері бар материалдар.** Динамикалық жарықты ыдырату әсеріне сыртқы электрлік өріс әсерінен диэлектриктің сыну көрсеткіші үздіксіз ретсіз өзгертін материалдар ие. Бұл материалдар сұйықкристалл күйі 1888 жылы ашылған электрооптикалық материалдардың айрықша сыныбын құрайды.

*Сұйықкристалл күйі* — бұл термодинамикалық тұрақты агрегаттық күй, ол кезде зат қатты кристалл мен сұйықтық арасында аралық күйде болады және қатты кристаллдардың физикалық қасиеттерінің анизотропиясын және сұйықтықтардың аққыштығын сақтайды. Сұйықкристалл күйі кристаллдандыру нүктесі мен затты изотроптық сұйықтыққа айналдыру нүктесі арасында белгілі бір температуралар интервалында ғана болады. Температура төмендегенде сұйық кристалл қатты күйге өтеді, ал жоғарылағанда – изотроптық сұйықтыққа айналады.

Сұйық кристаллдардың қасиеттері сегнетоэлектриктердің қасиеттерімен бірдей. Сегнетоэлектриктер сияқты олар да молекула осьтері бірдей бағыттағы аймақтарға бөлінген, ол аймақтар домендер деп аталады. Олардың көбі үшін алмаспа өрісте қанығуы анық байқалған гистерезис ілгектері тән. Фазалық өту нүктесінде диэлектрлік өткізгіштік е жиіліктің артуымен жоғалатын максимумға ие. Бұл дипольді сегнетоэлектриктердегідей. Сұйық кристаллдардың айрықша қабілеттері сегнетоэлектриктермен салыстырғанда дипольдерінің қайта бағдарлану уақытының үлкендігі, сондай-ақ гистерезис ілгегінің және тек азғантай жиіліктерде диэлектрлік өткізгіштік максимумының болуы болып табылады.

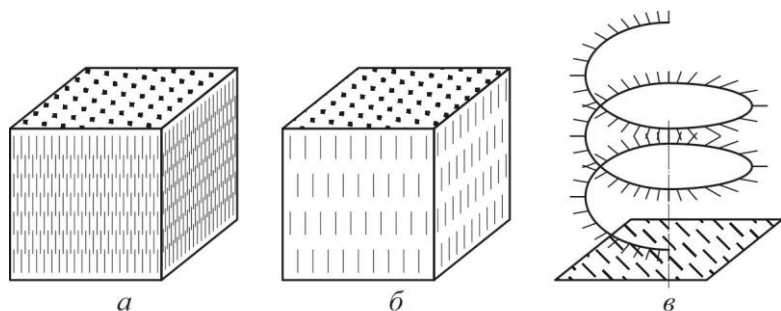
Сұйық кристаллдар органикалық қоспалармен қалыптасады. Олардың молекулаларының пішіні әдетте ұзартылған таяқша тәрізді. Құрылымы бойынша сұйық кристаллдар нематикалық, смектикалық және холестерикалық болып бөлінеді.

Нематикалық сұйық кристаллдар «немос» сөзінен атау алған, ол грек сөзі аударылғанда жіп дегенді білдіреді (5.12-сурет, а). Олар келесі қасиеттерге ие:

- ұзартылған молекулалардың конфигурациясы қатты созылған жіп тәрізді;

- тепе-теңдік күйінде молекулалар кристаллдың оптикалық осінің бойымен орналасады;

- молекулааралық күштер өте әлсіз әрекеттеседі, бұл молекулаларды сыртқы әсерлердің әсеріне бағыттап отырып, сұйық кристалл құрылымын өзгертуге мүмкіндік береді; оптикалық және электрлік анизотропия, яғни сыну көрсеткішінің, диэлектрлік және магниттік өткізгіштігінің, үлестік кедергісінің, тұтқырлығының мәні мен молекуланың үлкен осьтерінің бойымен және оған перпендикулярлы бағыттағы параметрлері әртүрлі.



5.12-сур. Сұйық кристаллдардың құрылымы:

*a* — нематикалық; *b* — смектикалық; *v* — холестерикалық

Әлсіз электр өрісінің әсерінен диэлектрлік өткізгіштігі жоғары молекула осьтері өріске параллель бағдарланады. Электрлік өріс кернеуі кейбір шекті шамаға жеткенде тұрақты домендік құрылым қирап, ұяшықты пайда болады. Гидродинамикалық ағым пайда болады. Кернеуді одан әрі арттырғанда сұйықтық турбулентті<sup>1</sup> болып қалады, ал зат – оптикалық біртектілігін жоғалтады.

Бастапқы күйінде мөлдір сұйық кристалл сондай тәртіпсіз күйде бұлыңғыр әйнек сияқты бұлыңғыр бола қалады да жарықты барлық бағытта ыдыратады. Электр өрісін шешкен соң динамикалық ыдырау әсері жоғалады. Өріс тұрақты да, жиілігі төмен алмаспа да бола алады. Динамикалық ыдырау күйі анықталатын уақыт 1-ден 10 мс құрайды, ал электрлік өрісті алғаннан кейін ол жоғалатын уақыт 20...200 мс құрайды.

Динамикалық ыдырау күйінің орнығу және жойылу уақыты сұйықкристалл материалдардың тез әрекетіне нұсқайды. Жекелеген сұйықкристалл қоспаларда жылдам әрекет жоғары, қоспалардікіне қарағанда. Ол электрлік өріс кернеуі артқан сайын жоғарылайды.

Сұйық кристаллдардың одан электр өрісінің әсерімен өтетін жарықтың қарқындылығын өзгерту қабілетін орындайды - ақпаратты оптикалық өңдеу құрылғыларында, ақпаратты көрсету құрылғыларында (мәселен, батареядан қуат алатын шағын габариттік құрылғыларда: қол сағаттарында, микрокалькуляторларда және т.б.).

Динамикалық ыдырау әсерін пайдаланатын әріптік-сандық индикаторды құруға арналған сұйықкристалл ұяшығы екі әйнек пластинкадан тұрады. Бір пластинканың ішкі бетіне электродтың жұқа мөлдір қабатын жағады, ал басқа пластинаның ішкі бетіне – айна электродының жұқа қабатын жағады. Әйнектер арасындағы 5...50 мкм құрайтын аралықты сұйық кристаллмен толтырады, ал периметрі бойынша бітейді. Шекті кернеу берген кезде (әдетте 8.50 В) сұйықтық молекулалары электродтар арасындағы кеңістікте

айнала және құлайтын жарықты ыдырата бастайды. Мөлдір электрод арқылы әріп, сан немесе басқа белгі түрінде салынған сурет көрініп тұрады.

Сұйық кристаллдардың үлестік кедергісі айтарлықтай жоғары, сондықтан ұяшыққа тұтынылатын қуат  $1 \text{ Вт/м}^2$  аспайды, газоразряддық және люминофорлық индикаторлар  $10^3$  \*  $\text{Вт/м}^2$  тұтынады, жарық диодтары —  $10^5 \text{ Вт/м}^2$ .

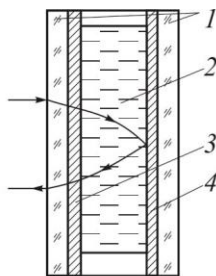
Сұйықкристалл индиаторлары ең қарапайым әрі арзан болғанымен қоса ең үнемді. Нематикалық сұйық кристаллдар ретінде азометиннің, хош иісті эфирлердің, сондай-ақ олардың эвтектикалық<sup>2</sup> қоспаларын пайдаланады.

Смектикалық сұйық кристаллдар өз атауын «смектос» сөзінен алған, ол грек сөзі аударылғанда сабын дегенді білдіреді.

Смектикалық сұйық кристаллдарда параллель бағдарланған молекулалар қабат етіліп қапталған (5.12-сурет, б) және сол себепті тәртіптілік деңгейі жоғары. Молекулалардың қабатты қаптамасы оптикалық қана емес, механикалық қасиеттердің де анизотропиясын жасайды, өйткені қабаттар бір-біріне қарағанда оңай ауысады. Кейбір сұйық кристаллдар нематикалық фазада да, смектикалықта да бола алады.

Бұл ретте смектикалық фаза температурасы бойынша қатты фазаға жақын орналасқан, нематикалыққа қарағанда. Мәселен, п-гептилоксибензой қышқылы  $92^\circ\text{C}$  температураға дейін қатты кристалл,  $92\dots98^\circ\text{C}$  температуралар аралығында ол смектикалық сұйық кристалл,  $98\dots146^\circ\text{C}$  температуралар аралығында ол анематикалық сұйық кристалл,  $146^\circ\text{C}$  жоғары температурада изотроптық сұйықтыққа өтеді.

Смектикалық сұйықкристалл материалдарға сабын ертінділері жатады.



5.13-сур. Сұйық кристаллдардағы индикатор:  
1 — айнек пластиналар;  
2 — сұйық кристалл;  
3 — мөлдір электрод;  
4 — айна электроды

<sup>1</sup> Индикатор (*лат.* сөзі *indikator* — көрсеткіш) — процесс барысын немесе қадағалау объектісінің күйін, оны сапалық не сандық сипаттамаларын көрсететін (мәселен, уақыт, отын шығыны, қашықтық және т.б.) құрылғы, құрал, лемент.

<sup>2</sup> Эвтектика (*гр.* сөзі *eutektos* — жеңіл балқитын) жеке құрамбөліктердің балқу температурасына қарағанда, төмендеу температурада алынған балқымадан біржола кристаллданатын қатты заттардың жұқа қоспасы.

Холестерикалық сұйық кристаллдар өз атауын «өт» сөзінен алады, бұл грек сөзі аударылғанда холестерин дегенді білдіреді.

Холестерикалық сұйық кристаллдарда пластиналы молекулалар да қабат етеліп жіктеледі, брақ олар кеңістікті спираль бойынша сапка тұрғызылады, сондықтан олардың бағдарлануы жаймен қабаттан қабатқа ауысады (5.12-сурет, в).

Қолданыста жылу әсері кезінде холестерикалық сұйық кристаллдардың оптикалық қасиеттерінің өзгеруін пайдаланады. Оларға негізінде холестерин қоспалары жатады, яғни стериндер<sup>1</sup> тобынан өсімдік және жануар тектес полициклдық спирт.

Сұйық кристаллдардың негізінде медициналық термометрлерді; бөлшектер мен түйіндердің қызып кетуін бақылау үшін температура датчиктерін; ақпаратты калькуляторларда, сағаттарда, автомобильдің өлшеу құралдарында көрсететін жүйелерді; көрінбейтін инфрақызыл сәулесін көрінетін жарыққа түрлендіргіштерді әзірлейді.

### Бақылау сұрақтары

1. Диэлектриктердің негізгі электрлік қасиеттері қандай?
2. Қандай диэлектриктер органикалыққа жатады?
3. Термопластикті және терморезистивті диэлектриктер қандай қасиеттерге ие?
4. Пластмассалар неден тұрады?
5. Қандай диэлектрлік материалдар үлбірлік деп аталады?
6. Синтетикалық каучуктер үшін не шикізат болып табылады?
7. Резеңкенің қандай қасиеттері бар?
8. Лактар, эмальдар және компаундтар бір-бірінен немен ерекшеленеді?
9. Флюстерді жалғанатын беттерге әрекеті бойынша қалай бөледі?
10. Әйнектерді, ситаллдарды және керамиканы қайда пайдаланады?
11. Минералдық электроқшаулағыш майлардың артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
12. Белсенді диэлектриктер кәдімгі диэлектриктердеп немен ерекшеленеді?

---

<sup>1</sup> Стериндер (гр. *szistereos*— қатты) — көптеген өсімдіктер мен жануарларда еркін (эргостерин, холестерин) немесе майлы қышқылдары бар күрделі эфирлер түрінде болатын органикалық заттар.

## МАГНИТТІК МАТЕРИАЛДАР

Магнит өрісіне орналастырылған барлық заттар магниттеледі, ал олардың кейбіреулері магнит өрісінің әсері аяқталғаннан кейін де өзінің магниттелгендігін сақтайды.

Магниттеу зат бөлшектерінде (атомдарында) магнит сәттерінің болуымен байланысты. Атомдардың материалдың бірлік көлеміндегі қосынды магнит сәті магниттелгендік деп аталады. Магнит жазығымен әрекеттесуге байланысты барлық заттар әлсізмагнитті және күштімагнитті болып бөлінеді. Материалдың магниттелгендігі мен магнит өрісі арасындағы байланыс магниттік қабылдағыштықпен бағаланады.

Әлсізмагнитті материалдар сыртқы өрістің әсерімен азғантай магниттеледі. Оларға диамагнетиктер мен парамагнетиктер жатады.

*Диамагнетиктер* өз ішінде сырттан әсер ететін магнит өрісін әлсіретеді, өйткені олардың магниттелгендігі сыртқы өріске қарсы бағытталған. Диамагнетиктер көптеген органикалық қоспалар, сондай-ақ бірқатар металл (мыс, күміс, алтын, қорғасын және т.б.) болып табылады.

*Парамагнетиктер* магнит өрісіне түскенде оны өз ішінде күшейтеді, өйткені олардың магниттелгендік бағыты сыртқы өріс бағытымен сәйкес келеді. Парамагнетиктерге алюминий, платина, титан және т.б. жатады.

Өзінің магнит қасиеттерінің арқасында диамагнетиктер мен парамагнетиктер техникада кеңінен қолданысқа енген жоқ.

Техникада іс жүзінде сыртқы магнит өрісінің әсерінен магниттелетін, яғни магнитке айналатын күштімагнитті материалдар қолданылуда. Оларға ферромагнетиктер мен ферримагнетиктер жатады.

*Ферромагнетиктер* тіпті әлсіз магнит өрістерінде де қатты магниттелетінімен ғана емес, белгілі бір температурада (Кюри температурасында) парамагниттік күйге өтетінімен сипатталады, бұл кезде олардың магниттік қабылдағыштығы үш-төрт есе төмендейді. Ферромагнетиктерге темір, никель, кобальт және олардың балқымалары, сондай-ақ хром мен марганец балқымалары және т.б. жатады.

*Ферримагнетиктер* ферромагнетиктерге ұқсас қасиеттерге ие, бірақ шекті магниттелгендік шамасы бойынша оларға айтарлықтай жол береді. Олар күрделі оксид материалдарынан өз атауын алды - ферриттер. Феррит дегенде темір оксидінің ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )  $\text{MeO}$  түріндегі металл оксидімен ( $\text{MeO}$ ) қоспасы түсініледі  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{MeO}$ . Ферримагнетиктердің магниттік қасиеттері кристалл торда темір

мен металл иондарының өзара орналасуына байланысты.

## 6.1. Магниттік материалдардың негізгі сипаттамалары

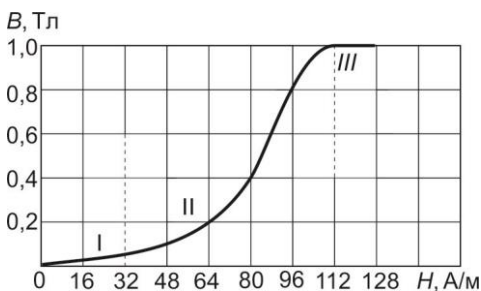
Материалдардың магниттік қасиеттері магниттеу қисығы, гистерезис ілгегі, магниттік өткізгіштік, қайта магниттегендегі энергия шығындары ретінде сипатталады.

**Магниттеу қисығы.** Бұл магниттік материалдардың материалдың магниттелгендігінің немесе магниттік индукциясының сыртқы өріс кернеуіне  $H$  тәуелділігін көрсететін сипаттамасы. Материалдың магниттік индукциясы  $B$ , Тл, мына формуламен анықталады:

$$B = \mu_0 M,$$

мұндағы  $\mu_0$  — магниттік тұрақты шама ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м);  $M$  — магниттелгендік,  $A \cdot m^{-1}$ .

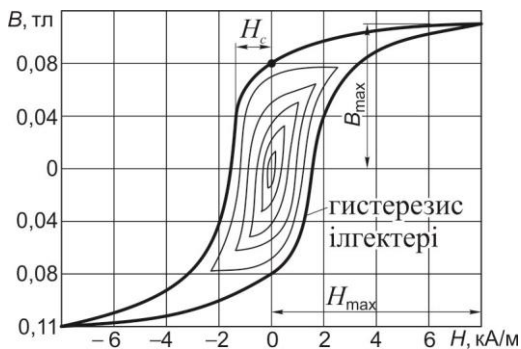
Негізгі магниттеу қисығы (6.1-сурет) өзіне тән сипаттардың бірқатарына ие, оларды ферромагнетик микрочастицалық магниттеу кезінде шартпен бөліп көрсетуге болады. *I* магниттеу қисығының учаскесі аз қолайлылықта бағдарланған домендердің орнын ауыстыру процессіне сәйкес келеді. *II* учаскесінде домендердің магниттелгендік векторларының сыртқы магнит өрісі бағытында бұрылуы көрсетілген.



6.1-сур. Техникалық таза темірдің магниттік өріс кернеулігіне  $H$  (негізгі магниттеу қисығы) магниттік индукцияның  $B$  тәуелділігі (99,92 % Fe):

*I* — аз қолайлылықта бағдарланған домендердің шекарасының ауысу учаскесі; *II* — сыртқы магнит өрісі бағытында домендердің магниттелгендік векторларының бұрылу учаскесі; *III* — парапроцесс учаскесі





6.2-сур. Сыртқы магнит өрісінің түрлі мәндеріндегі гистерезис ілгектері:

$H_c$  — коэрцитивтікүш

III учаскесі парапроцесске сәйкес келеді, яғни магниттеу процессінің аяқтаушы сатысына. Ол кезде күшті магнит өрісі өз әрекетінің бағытында ферромагнетик домендерінің бағдарланған магнит сәттерін бұрады.

Негізгі (коммутациялық) магниттеу қисығы циклдық қайта магниттеу барысында алынған гистерезис ілгектері шыңының геометриялық орнын білдіреді (6.2-сурет) және магниттеген кезде материалда пайда болатын магниттік өріс кернеулігіне  $H$  магниттік индукцияның  $B$  тәуелділігінің өзгеруін көрсетеді. Үлгідегі тороид түріндегі магнит өрісінің кернеулігі магнит тізбегі тұйықталған күйде болғанда сыртқы өріс кернеулігіне тең. Тұйықтауы ашылған магнит тізбегінде үлгі ұштарында магнитсіздеу өрісін  $H$  туғызатын магнит полюстері пайда болады. Сыртқы өрістің магниттік кернеулігі мен магнитсіздеу өрісінің айырмашылығы материалдың ішкі магниттік кернеулігін  $H$  анықтайды.

**Гистерезис ілгегі.** Тұрақты магнит кернеулігі өрісі 0-ден  $+H$ ,  $+H$ -дан  $-H$ -ға және тағы  $-H$ -дан  $+H$ -ға дейін өзгергенде индукция өзгерісінің қисығы (қайта магниттеу қисығы) тұйық қисық пішіне – гистерезис ілгегіне ие болады. Әлсіз өрістер үшін гистерезис ілгегі эллипс түрінде болады (6.2-суретті қар.) Магнит өрісі кернеулігінің  $H$  мәнін арттырғанда бір-біріне байланысты аралық гистерезис ілгектерінің сериясын алады. Домендердің магниттелгендігінің барлық векторлары өріс бағыты бойымен бірге бағытталғанда магниттеу процесі материалдың магниттелгендігінің ехникалық қанығу күйімен ақталады. Магниттеу қаныққан жағдайда алынған гистерезис ілгегі гистерезистің шекті ілгегі деп аталады. Ол максималды қол жеткізілген индукция мәнімен  $B_s$  сипатталады.

Оны қанығу индукциясы деп атайды. Магниттік өріс кернеулігін  $+H$ -дан 0-ге азайтқанда магниттік индукция қалдық индукцияны  $B_s$  сақтайды. Нөлге тең қалдық магниттік индукция алу үшін белгілі бір кернеуліктегі бағытталған магнитсіздеу өрісін қарама-қарсы қою қажет. Магнит өрісінің теріс кернеулігі материалдың коэрцитивті күші деп аталады. Магниттік өріс кернеулігі  $-H$ , кейін 0-ге жеткенде қайтадан қалдық индукция пайда болады. Егер магниттік өріс кернеулігін  $+H_c$  дейін арттырса, онда қалдық магниттік индукция  $B_c$  нөлге тең болады.

Аралық және шекті күйлердегі гистерезистік ілгектердің алаңы материалды қайта магниттеу процесінде электр энергиясының ыдырауын сипаттайды, яғни гистерезиске шығынын. Гистерезистік ілгек алаңы материалдың қасиеттеріне, оның геометриялық өлшемдері мен қайта магниттеу жиілігіне байланысты.

Гистерезистің шекті ілгегі бойынша магниттік материалдың қанығу индукциясы, қалдық индукциясы, коэрцитивті күші сынды сипаттамаларын анықтайды.

**Магниттік өткізгіштік.** Магниттік материалдардың кернеулігі бар өрісте өзін ұстауын сипаттау үшін абсолюттік магниттік өткізгіштік  $\mu_a$ , Гн/м, және салыстырмалы магниттік өткізгіштік ( $1,257 \text{ мкГн/м}$  тең магниттік тұрақты)  $\mu_o$  ұғымдары пайдаланылады:

$$\mu_a = B/H;$$

$$\mu = B (\mu_o H) = \mu_a / \mu_o.$$

Қалыпты бастапқы  $\mu$ , максималды  $\mu_{\max}$ , дифференциалды  $\mu_{\text{диф}}$  және импульстық  $\mu_{\text{и}}$  магниттік өткізгіштік ұғымдарын жиі пайдаланады.

Салыстырмалы магниттік өткізгіштікті негізгі магниттеу қисығы бойынша алады (қарапайымдық үшін «салыстырмалы» сөзі айтылмайды).

$H = 0$  болғандағы магниттік өткізгіштікті бастапқы магниттік өткізгіштік деп атайды. Оның мәні өте әлсіз өрістерде анықталады (шамамен  $0,1 \text{ А/м}$ ).

$H$  магниттеу қисығы учаскесіне сәйкес келетін қисық өткізгіштікке максимум (6.2-сурет) максималдық магниттік өткізгіштік мәнімен сипатталады  $\mu_{\max}$ . Бастапқы және максималды магниттік өткізгіштіктер қалыпты магниттік өткізгіштіктің жеке жағдайларын береді. Олардың мәні  $B_s$ ,  $B_c$  және  $H_c$  –лармен қатар магниттік материалдың маңызды параметрлері болып табылады. Күшті өрістерде қанығу аймағында магниттік өткізгіштік бірлікке ұмтылады.

**Қайта магниттеу кезіндегі энергия шығындары.** Қайта магниттеу кезіндегі шығындар — бұл материалда жылу түрінде бөлінетін электр энергиясының қайтпас шығындары.

Магниттік материалды қайта магниттеуге кететін шығындар гистерезиске кететін шығыннан және динамикалық шығыннан құралады. Гистерезиске кететін шығындар магниттеудің бастапқы сатысында домендер қабырғасының жылжуы процессінде туындайды. Магниттік материалдың құрылымының біртексіздігі салдарынан домендер қабырғасының жылжуына магниттік энергия жұмсалады.

Гистерезиске кететін энергия шығындарын мына қатынастан анықтайды:

$$P_{\Gamma} = af,$$

мұндағы  $a$ — материал қасиеттері мен көлеміне тәуелді коэффициент;  $f$ — тоқ жиілігі, Гц.

Динамикалық шығындар  $P_{вт}$  магниттік өріс бағыты мен кернеулігі өзгергенде пайда болатын ішінара құйынды токтардан туындайды. Олар төмендегі формуладан шығатын энергияны да ыдыратады

$$P_{вт} = bf^2,$$

Мұндағы  $b$ — үлгінің үлестік электрлік кедергісіне, көлеміне және геометриялық өлшемдеріне тәуелді коэффициент.

Өріс жиілігіне квадраттық тәуелділік себепті құйынды токтарға кететін шығындар жоғары жиіліктердегі гистерезиске кететін шығындардан асып түседі.

Динамикалық шығындарға магниттік өріс кернеулігі өзгергеннен кейінгі магниттік жағдайдың қалдық өзгерісімен байланысты кейінгі әрекетке кететін шығындар  $P_{п}$  жатады. Олар магниттік материалдың құрамына және термиялық өңдеуіне байланысты және жоғары жиіліктерде байқалады. Кейінгі әрекетке (магниттік тұтқырлыққа) кететін шығындарды импульстық режімде ферромагнетиктерді пайдаланған кезде ескеру қажет.

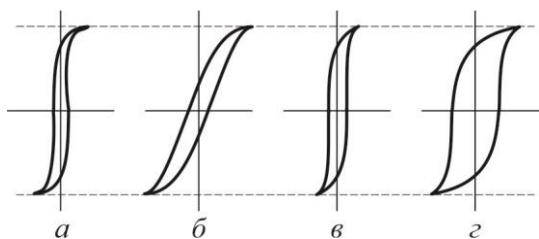
Магниттік материалдағы жалпы шығындар барлық шығындардың қосындысымен анықталады:

$$P = P_{\Gamma} + P_{вт} + P_{п}$$

## 6.2. Магниттік материалдардың сыныпталуы

Техникада магниттік қасиеттері ескеріле отырып қолданылатын электроррадиоматериалдарды магниттік жұмсақ және магниттік қатты деп бөледі.

«Магниттік жұмсақ» және «магниттік қатты» терминдері материалдың механикалық қасиеттеріне жатпайды. Кейбір механикалық қатты материалдар магниттік жұмсақ, ал механикалық жұмсақ материалдар магниттік қаттыларға жатуы мүмкін.



6.3-сур. Гистерезис ілгеңтері:

$a, б$  — магниттік жұмсақ материалдардікі (домалақтау ілгең);  $в$  — магниттік жұмсақ материалдардікі (тікбұрышты ілгең);  $г$  — магниттік қатты материалдардікі

Магниттік материалдарды бұлай бөлуге негіздеме келесі ерекшеліктері болып табылады. Қос топтың материалдарын магниттеу процессі бірдей өтеді: бірінші сатыда домендер шекарасы жылжиды, екіншіде – доменнің магнит сәттерінің магниттеу өрісінің бағытында бұрылуы, үшіншіде – парапроцесс. Магниттеу қисығына сәйкес домендердің шекарасын жылжыту магнит сәттері мен парапроцесстерді айналдыру процесстеріне қарағанда, аз энергетикалық шығынды қажет етеді. Магниттік жұмсақ материалдарда магниттеу көбінесе домендер шекарасының жылжуы есебінен жүреді. Магниттік қатты материалдар магниттеу векторларының және парапроцесстің айналуы есебінен магниттеледі.

Материалдардың қос тобының гистерезис ілгеңінің пішіні (6.3-сурет), қанығу индукциясы  $B_s$  және қалдық индукциясы  $B_c$  бірдей дерлік, алайда коэффициент күштерінің  $H_c$  айырмашылығы өте үлкен мәнге жетеді. Сонымен, магниттік қатты материалдар үшін ең үлкен коэффициентті күш  $H_c=800$  кА/м, ал магниттік жұмсақ материалдардікі ең аз  $H_c = 0,4$  А/м, яғни айырмашылығы  $2 \cdot 10^6$  есе.

Магниттік жұмсақ материалдардың коэффициентті күшінің мәні төмен, сондықтан тіпті әлсіз магнит өрістерінде де қаныққанша магниттелуге қабілетті. Олар келесі қасиеттерге ие:

- индукцияның азғантай мәндеріндегі және азғантай коэрцитивті күштегі  $H_c < 4$  кА/м алаңы үлкен емес гистерезис ілгеңі тар (6.3-сурет,  $a, б, в$ );

- құрылымының біртектілігі;
- минималды механикалық кернеу;
- қоспалар мен қосындыларды минималды мөлшері;
- азғантай кристаллографикалық анизотропия.

Гистерезис ілгеңі тікбұрышты магниттік материалдарды магниттік жад құрылғыларын дайындау үшін қолданады.

Магниттік қатты материалдардың коэффициенттік күш мәні жоғары, қиын магниттеледі, бірақ ұзақ уақыт

магниттелгендігін сақтай алады. Олардың гистерезис ілгегі кең, коэффициент күші үлкен  $H_c < 4$  кА/м (6.3-сурет, з) және магниттік заттың азғантай көлемінде пайда болатын құрылымы бірдомендік. Магниттік қатты материалдар тұрақты магниттерді дайындау үшін қолданылады.

Айрықша топты салыстырмалы түрде қолданылу аясы тар айрықша мақсаттағы материалдар құрайды.

### 6.3. Магниттік қатты материалдар

Магниттік қатты материалдарға гистерезис ілгегі кең және коэрцитивті күші үлкен магниттік материалдар жатады (6.3-сурет, з).

Магниттік қатты материалдардың негізгі сипаттамалары коэрцитивті күш, қалдық индукция, сыртқы кеңістікке берілетін максималды үлестік магниттік энергия болып табылады.

Магниттік қатты материалдардың магниттік өткізгіштігі магниттік жұмсақ материалдарға қарағанда анағұрлым төмен. Магниттік материал неғұрлым «қаттырақ», яғни оның коэрцитивті күші неғұрлым жоғары болса, оның магниттік өткізгіштігі соғұрлым төмен болады.

Температураның осы материал үшін магниттік индукцияның максималды мәніне келетін қалдық магниттік индукцияға әсері қалдық магниттік индукцияның температуралық коэффициентімен бағаланады  $\alpha_B, K^{-1}$ :

$$\alpha_B = \frac{(B_r)_2 - (B_r)_1}{(B_r)_1(T_2 - T_1)}$$

мұндағы  $(B_r)_2, (B_r)_1$  — сәйкесінше  $T_2$  және  $T_1$  температуралардағы материалдың қалдық индукциясының мәні.

Максималды үлестік магниттік энергия  $\omega_{\max}$  магниттік қатты материалдарды бағалау кезінде маңызды параметр болып табылады.

Максималды үлестік магниттік энергия  $\omega_{\max}, Дж/м^2$ , мына формула бойынша анықталады:

$$\omega_{\max} = (BH)_{\max}/2$$

Магнитөткізгіш тұйықтаулы кезде тұрақты магнит сыртқы кеңістікке энергия бермейді, өйткені барлық дерлік магниттік күштік желілер білік ішінде тұйықталады да магниттік өріс білік сыртында болмайды. Тұйықтаулы магнитөткізгіште тұрақты магниттердің магниттік энергиясын пайдалану үшін белгілі бір өлшемдегі және конфигурациядағы қуыс жасайды, ондағы магниттік өрісті техникалық мақсат үшін пайдаланады.

Тұрақты магниттің магниттік ағыны уақыт өтісімен азаяды. Бұл

құбылыс магниттің ескіруі деп аталады. Ескіру қайтар және қайтпас болуы мүмкін.

Қайтар ескіру кезінде тұрақты магнитке температураның, сыртқы тұрақты өрістердің соққылары, түрткілері, күрт ауытқулары әсер еткенде оның қалдық магниттік индукциясы  $B_r$  1...3%-ға төмендейді. Қайтадан магниттегенде мұндай магниттердің қасиеті қалпына келеді.

Егер уақыт өтісімен тұрақты магнитте құрылымдық өзгерістер орын алса, онда қайта магниттеу қайтпас ескіруді қайтармайды.

Тағайындалуы бойынша магниттік қатты материалдарды тұрақты магниттерге арналған материалдар және ақпаратты (дыбыстық, сандық, бейнеақпаратты және т.б.) жазуға және сақтауға арналған материалдар деп бөледі.

Құрамы және алу тәсілі бойынша магниттік қатты материалдарды балқытпа негізінде құйылған материалдар, ұнтақты магниттік қатты материалдар (тұрақты магниттер) және басқа магниттік қатты материалдар деп бөледі.

**Балқыма негізінде құйылған материалдар.** Бұл материалдардың негізі темір — никель—алюминий (Fe—Ni—Al) және темір — никель-кобальт (Fe—Ni—Co) балқымалары болып табылады және тұрақты магниттерді әзірлеу үшін қолданылады. Бұл балқымалар жоғары дәлдіктілерге жатады, өйткені олардың сапасы технологиялық факторлардың қатаң сақталуымен анықталады.

Магниттік қатты құйылған материалдарды балқыманы балқу температурасынан ыдыраудың басталу температурасына дейін белгілі бір жылдамдықпен салқындатқанда балқыманы дисперсиялық қатайту нәтижесінде алады. Қатаю процессінде қатты ертіндінің  $\beta$ -фазаға және  $\beta_2$ -фазаға жоғары температуралық ыдырауы жүреді. Құрамы бойынша  $\beta$ -фаза күшті байқалған магниттік қасиеттерге ие таза темірге жақын. Ол бірдомендік қалыңдықтағы пластинка түрінде бөлініп шығады.  $\beta_2$ -фаза құрамы бойынша никель — алюминийдің (Ni—Al) интерметалл қоспасына жақын, ол төмен магниттік қасиеттерге ие.

Нәтижесінде үлкен коэрцитивті күшке ие  $p$ -фазаның бірдомендік күштімагниттік қоспалары бар магниттік емес  $\beta_2$  фазасынан тұратын жүйені алады. Мұндай балқымаларды салыстырмалы түрде әлсіз магниттік қасиеттері себепті қолданбайды. Ең көп таралғандары мыспен және кобальпен қосылған темір—никель—алюминий балқымалары.

Бұл материалдардың маркасында Ю және Н әріптері болады, олар онда алюминий мен никельдің барына нұсқайды. Қоспалаушы металлдарды пайдаланғанда маркаларына сол металлдарға сәйкес келетін қосымша әріптерді жазады (мәселен, кобальт қосылған темір-никель-алюминий жүйесінің балқымасы, маркасы ЮНДК).

Кобальтсыз балқымалар салыстырмалы түрде төмен магниттік қасиеттерге ие, бірақ олар ең арзан болып табылады.

Кобальтты балқымаларды салыстырмалы түрде жоғары магниттік қасиеттерге және магниттік изотроптылыққа ие материалдарды қажет ететін бұйымдарды дайындау үшін қолданады.

Жоғарыкобальтты балқымалар құрамындағы кобаль мөлшері 15%-дан асатын магниті немесе текстуралы магниті және кристаллы бар балқымалар.

Текстурасы магнитті балқымаларды балқыманы жоғары температуралардан (1250...1300 °С) шамамен 500 °С температураға дейінгі, кернеулігі 160...280 кА/м магниттік өрісте салқындату нәтижесінде алады. Алынған балқыма өріс әрекеті бағытында ғана жетілдірілген магниттік сипаттамаларға иеленеді, ғни материал магнитоанизотроптыққа айналады.

Құрамындағы кобальт мөлшері 12 % балқымалар үшін термомагниттік өңдеу магниттік энергиясын шамамен 20%-ға арттырады, ал кобальт мөлшері 20...25 % болатын балқымалар үшін —80 %-ға және одан көп.

Термомагниттік өңдеу дисперстік ыдырау басының температурасын кобальтсыз балқымадағы 950 °С-дан кобальты 24% құрайтын балқымадағы 800 °С-қа дейін арттырады.

Нәтижесінде жоғарыкобальттық балқымаларда Кюри нүктесінің температурасы да 730-дан 850 °С-ға артады.

Кристалл текстураны балқыманы суытудың айрықша жағдайлар процессінде алады. Нәтижесінде жеңіл магниттеу бағытында бағдарланған діңгекті кристаллдар түрінде макроқұрылымы айрықша магниттерді алады. Бұл балқымалардың магниттік қасиеттерін арттырады. Магниттік энергия 60.70%-ға артады. Коэрцитивті күш  $H_c$ , қалдық магниттік индукция  $B_r$  және материалды магнитсіздеу қисығының дөңбектік коэффициенті артады:

$$\gamma = \frac{(BH)_{\max}}{B_r H_c}$$

Жоғарыкобальтты текстураланған балқымаларды күшті магниттік қасиеттерді және магниттік анизотропияны талап ететін шағын габаритті магниттік бұйымдарды дайындау үшін қолданады.

Жоғарыкобальттық материалдардың кемшілігі жоғары қаттылық пен морттық, бұл олардың механикалық өңдеуін анағұрлым қиындатады.

**Ұнтақты магниттік қатты материалдар (тұрақты магниттер).**

Ұнтақты магниттік қатты материалдарды күрделі пішіндегі

миниатюралық тұрақты магниттерді дайындау үшін пайдаланады. Оларды металлокерамикалық, оксидті және микроұнтақты деп бөледі.

Металлокерамикалық магниттер магниттік қасиеттері бойынша құйылған магниттерге сәл ғана жол береді, бірақ олардан қымбат.

Металлокерамикалық магниттерді қосқыш материалы жоқ металл ұнтақтарды сығымдау және оларды жоғары температураларда пісіру жолымен алады. Ұнтақтар үшін ЮНДК балқымаларын (кобальтпен қоспаланған Fe—Ni—Al жүйесінің балқымасы); платина негізіндегі (Pt—Co, Pt—Fe); сирекжерлік металдар негізіндегі балқымаларды.

ЮНДК балқымаларының негізінде алынған металлокерамикалық магниттер  $B_r$  және  $\omega_{\max}$  параметрлері бойынша пісірілген ұнтақты материалдың 5%-ға дейін арттырылған тесіктігінің арқасында құйылған магниттерге қарағанда 10...20 %-ға төмен магниттік қасиеттерге ие.

Платина балқымаларының негізінде алынған магниттердің коэрцитивті күш мәні жоғары, олар барий магниттеріне қарағанда, 1,5-2 есе жоғары; параметрлерінің тұрақтылығы жоғары; максималды үлестік магниттік энергиясы бойынша  $\omega_{\max}$  олар ЮНДК 24 балқымасымен теңеседі.

Сирекжерлік металл (СЖМ) және уран негізінде алынған балқымалардың құрамбөліктері белгілі бір қатынаста коэрцитивті күш мәні жоғары  $H_c$  (шекті теориялық мәні 1032 кА/м құрайды) және максималды үлестік магниттік энергиясы көрсеткіші рекордтық  $\omega_{\max}$  (шекті теориялық мәні 112 кДж/м<sup>3</sup> жетеді).

Сирекжерлік металл негізінде алынған балқымалардың ішінде  $RCO_5$  типіндегі интерметалл қоспалары үлкен мәнге ие, мұндағы R — сирекжерлік металл. Қоспа маркасында К әрпі кобальтты, С — самарийді, П — празеодимді білдіреді.

Сирекжерлік металдар негізінде балқымаларды  $RCO_5$  ұнтағын беріктіктің жоғары дәрежесіне дейін суықтай сығымдау, сұйық фазаны қатыстырып ұнтақтардан брикеттерді пісіру және кобальт мыспен және темірмен алмастырылған көпқұрамбөлікті балқымаларды құю арқылы алады.

Металлопластиктік магниттердің магниттік қасиеттері құйылған магниттерге қарағанда, төмен, алайда олардың электрлік кедергісі жоғары, тығыздығы төмен, құны да төмен.

Металлопластиктік магниттерді металлокерамикалықтарды сияқты металл ұнтақтардан алады. Оларды окшаулауыш байламамен бірге сығымдап, қосқыш зат полимерленуі үшін қажетті жоғары емес температураларға дейін қыздырады.



Оксидтік магниттер барий ( $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), кобальт ( $\text{CoO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) және темір ферриттері негізіндегі магниттер болып табылады.

*Барий магниттері* келесі қасиеттерге ие:

- қалдық магниттік индукциясы  $B_c$  құйылған магниттерге қарағанда 2 — 4 есе төмен;
- үлкен коэрцитивті күш  $H_c$ , бұл оларға сыртқы магнит өрістерінің әсері, соққылар мен түрткілер кезінде жоғары беріктік береді;
- тығыздығы  $D$  шамамен ЮНДК үлгісіндегі балқымаларға қарағанда, 1,5 есе төмен, бұл магниттік жүйелер массасын айтарлықтай төмендетеді;
- үлестік электрлік кедергісі  $\rho$  ( $10^4 \dots 10^7$  Ом·м) магниттік қатты балқымаларға қарағанда, миллион есе жоғары, сондықтан барий ферриттерін жоғары жиілікті өріс әсеріне тартылатын шынжырларда пайдаланады;
- тапшылықты және қымбат металлдары құрамында болмайды, сондықтан құны бойынша барий магниттері шамамен ЮНДК балқымасынан жасалған магниттерге қарағанда, 10 есе арзан.

*Барий магниттерінің* кемшіліктеріне мыналар жатады:

- нашар механикалық қасиеттері (морттығы мен қаттылығы жоғары);
- магниттік қасиеттерінің температураға қатты тәуелділігі;
- магнитті  $-60$  С және одан төмен температураға дейін суытқаннан кейінгі магниттік қасиеттерінің қайтпас шығын әсері.

Бастапқы шикізат бөлшектерін жақсырақ ұсақтау үшін екінші құрғақ тартудан кейін магниттік жұмсақ ферриттерді дайындау технологиясынан бөлек ылғалды тартпа өндіреді. Алынған массаны сақтайды, прес-қалыптарға құяды де қысымды жаймен арттыра және суды біржола тартып шығара отырып, магнит өрісінде сығымдайды. Сығымдаған соң бұйымды магнитсіздейді, ол үшін тоқты қосып-кшіреді.

Барий магниттерін дайындау үшін дымқылдай сығымдаудан бөлек құрғақтай сығымдауды да қолданады.

Өнеркәсіп барий изотроптық (БИ) және барий анизотроптық (БА) магниттерді шығарады.

*Кобальт магниттер* келесі қасиеттерге ие:

- барийдікіне қарағанда, параметрлерінің тұрақтылығы жоғарылау;
- температуралық гистерезис, яғни барий магниттеріндегідей емес, теріс температуралар аймағында пайда болмайтын температураға магниттік қасиеттерінің тәуелділігі;
- үлкен морттық және төмен механикалық беріктік салдарынан

оларды желім көмегімен бекітеді;

- қымбаттылық.

Кобальт магниттерін дайындау технологиясы барий ферриттерін алу технологиясынан ерекшеленеді. Онда термомагниттік өңдеу операциясы қолданылады. Оның мәні пісірілген магниттерді 300...350 °С температураға дейін 1,5 сағат бойы қыздырып, кейін 2 сағат бойы магнит өрісінде суытуда.

Микроұнтақты магниттер марганец-висмутты (Mn—Bi) арнайы дайындалған микроұнтақты сығу жолымен алады. Бұл үшін марганецвисмут балқымасын (23 % Mn, 77 % Bi) бірдомендік өлшемдегі бөлшектерді алу үшін механикалық жолмен үгітеді (5.8 мкм). Ұнтақты магниттік сепаратор арқылы өткізе отырып ферромагниттік фазаны Mn—Bi марганец пен висмуттың магниттік емес бөлшектерінен ажыратады. Магнит өрісінде шамамен 300С температурада ферромагниттік фаза микроұнтағын сығымдау нәтижесінде жеңіл магниттелу осьтерінің бағдарлануы бірдей бөлек бөлшектерден тұратын магниттер алады; магниттік қасиеттерін 20С-дан төмен болмайтын температураға дейін ғана сақтайды (температура төмендегенде қасиеттері тез нашарлап, олардың қалпына келуі үшін қайта магниттеу қажет болады), бұл олардың қолданысын айтарлықтай шектейді.

Темір мен теміркобальт микроұнтақтарынан *темір және теміркобальт магниттерін* қажетті өлшемдегі бөлшектерді алудың химиялық тәсілдерін қолданумен әзірлейді. Алынған ұнтақтан магниттерді сығымдап, шайыр ертіндісін сіңдіреді. Сіңдіру құрамында темір бар магниттердің тоттануға төзімділігін арттырады.

**Басқа магниттік қатты материалдар.** Бұл топқа арнайы тар қолданыстағы материалдар жатады: пластикалық пішін өзгерткіш балқымалар, созылғыш магниттер, магниттік ақпарат тасығыштар, сұйық магниттер.

Пластикалық пішін өзгерткіш балқымалар жақсы пластикалық қасиеттерге ие; механикалық өңдеудің барлық түріне жақсы тариды (жақсы таңбаланады, қайшымен кесіледі бүкіл металлкескіш білдектерде өңделеді); құны жоғары.

*Кунифе* — мыс—никель—темір (Cu—Ni—Fe) — анизотроптылыққа ие (илемдеу бағытында магниттеледі). Олар диаметрi шағын сымдар және таңбалауыштар ретінде қолданылады.

*Викаллой* — кобальт—ванадий (Co—V) — жоғары берік магниттік таспа және сым түрінде алады. Одан қиын конфигурациядағы өте ұсақ магниттерді жасайды.

Созылғыш магниттер магниттік қатты материалдың ұсақ

ұнтағынан алынған толтырғышы бар негізі резеңке магниттер. Магниттік қатты материал ретінде көбінесе барий ферритін пайдаланады. Олар резеңкеден бөлшектер дайындау технологиясы рұқсат беретін кез-келген пішіннен бұйым алуға мүмкіндік береді; жоғары технологиялыққа ие және бағасы қымбат емес.

«Магнит резеңкени» ЭЕМ үшін магниттік жад жалпақтары ретінде қолданады.

Магниттік ақпарат тасығыштар жылжығанда ақпаратты оқу құрылғысында уақытта жазылатын дабыл сияқты өзгеретін алмаспа магниттік өріс туғызады

Ақпарат тасығыштарына арналған магниттік материалдар келесі талаптарға жауап беруі тиіс:

- оқылатын дабыл деңгейін арттыру үшін жоғары қалдық магниттік индукци;
- жазылған ақпараттың жоғалуына әкеп соқтыратын өздігінен магнитсіздену әсерін төмендету үшін коэрцитивтік күш мәні жоғарылау болмауы тиіс;
- жазбаны өшіру процессін жеңілдету үшін коэрцитивтік күш мәні төмен болғаны абзал, бұл алдыңғы талапқа қарама-қайшы;
- дөңбектік коэффициенті мәнінің жоғарылығы  $K_{\text{дөң}} = (BH)_{\text{max}} / B_r H_c$ , бұл жоғары қалдық магниттік индукция мен өздігінен магнитсізденуге минималды сезімталдық талаптарының бірігуін қанағаттандырады;
- магниттік қасиеттердің жоғары температуралық және уақыттық тұрақтылығы.

Магниттік тасығыштарға арналған материалдар металл таспалар мен магниттік қатты материалдардан жасалған сым, жалпақ металл, биметалл немесе пластмассалық таспалар және таспаларға жағылатын магниттік ұнтақтар, металл тегеріштер мен барабандар, магниттік резеңке және т.б.

Жалпақ металл таспалар мен сымды негізінде арнайы мақсаттар үшін және температуралардың ауқымды диапазонында жұмыс істегенде пайдаланады. Шірімейтін болаттан жасалған қалыңдығы 0,1 мм сымның коэрцитивтік күші  $H_c = 32$  кА/м, қалдық индукциясы  $B_r = 0,7$  Т және үзілу күші 15 Н.

Материалдардың осы түрінің негізгі кемшіліктері жазбаны монтаждаудың күрделілігі, жазатын және ойнататын құрылғылардың тез тозуы және құнының жоғарылығы.

Магниттік ұнтақтармен жабылған таспа, тегеріш және барабан қасиеттері бастапқы материалдардың қасиетіне; бөлшектердің ұсақталу дәрежесіне (бөлшектердің өлшемі микрометр үлесінен бірнеше микрометрге дейін құбылып тұрады); жұмыс қабатындағы магниттік материалдың көлемдік тығыздығына; бөлшектердің

анизотроптық пішінде бағдарлануына; ұнтақтың жұмыс қабатының қалыңдығына (ол максималды жұқа болуы тиіс); металл таспа қасиеттеріне (ол таспаның магниттік материалдары мен есептеуіш құрылғылар арасында максималды магниттік контакт қамтамасыз ету үшін тегіс және икемді болуы тиіс).

Пластмасса негізіндегі таспалар металл негіздегі таспалардан аздау дабылды қамтамасыз ететініне қарамастан, олар кеңінен қолданылуда. Мұндай таспалар үшін негіз ретінде қалыңдығы 20...50 мкм ацетилцеллюлозалық немесе лавсан таспасын пайдаланады, оны тегіс әрі икемді етіп дайындайды, өйткені бұдырлық жазба және ойнату кезінде шу себебі болуы мүмкін.

Магниттік ұнтақ ретінде темір оксидтерін  $Fe_2O_3$  және  $Fe_3O_4$ , магниттік қатты ферриттерді, темірникельалюиний балқымаларын пайдаланады, олар қолжетімді әрі арзан материал.

Сұйық магниттер магниттік қатты материалдың ұсақ бөлшектерімен толтырылған сұйықтық. Кремнийорганикалық негіздегі сұйық магниттер тіпті күшті магнит өрістерінің әсерінен де қабыршақтанбайды, -70-тен + 150 °С дейінгі температуралар диапазонында жұмысқа қабілеттілігін сақтайды.

## **6.4. Магниттік жұмсақ материалдар**

Магниттік жұмсақ материалдардағы негізгі шығын түрі құйынды тоқтарға кететін шығындар, олар жалпақ үлгі үшін қайта магниттелу жиілігінің квадратына пропорционалды. Бұл құбылыс магниттік беттік әсермен байланысты, оның мәні келесіде. Магниттік жұмсақ материалда магнит өрісі жалпақтың беттік қабаттарына ығыстырылады да магниттік индукция жалпақ кескінінде орталық бөлігі беттік қабаттарға қарағанда, әлсіз магниттелетіндей етіліп бөлістіріледі. Бұл ретте магниттік индукция қайта магниттелу жиілігі жоғарылаған сайын төмендейді.

Құйынды тоқтарға кететін шығынды азайту үшін магниттік материалдың жеке жалпақтарының қалыңдығын төмендету қажет, өйткені жалпақ қалыңдығы төмендеген кезде магниттік беттік әсер әлсіздеу көрінеді; үлестік электрлік кедергісі арттырылған магниттік материалдарды пайдалану, өйткені ол жоғары болған сайын, материалды жоғарырақ жиіліктерде пайдалануға болады.

Осы ерекшеліктерді ескере отырып, магниттік жұмсақ материалдарды тұрақты және төмен жиілікті магниттік өріске арналған материалдар және жоғары жиілікті магниттік өрістерге арналған материалдар деп бөледі.

### 6.4.1. Тұрақты және төмен жиілікті магниттік өрістерге арналған магниттік жұмсақ материалдар

Тұрақты және төмен жиілікті магниттік өрістерде (бір килогерцке дейінгі жиіліктерде) металл магниттік жұмсақ материалдарды пайдаланады: техникалық таа, электролитикалық, карбонильді темір; төмен көміртекті электротехникалық болат; кремнийлі электротехникалық болат; пермаллойдар (темірникель балкымалары).

Магниттік жұмсақ материалдар келесі қасиеттерге ие болуы тиіс:

- аз коэрцитивті күш  $H_c$ ;
- жоғары магниттік өткізгіштік  $\mu$ ;
- материалдың магниттік индукциясының максималды мәндерін алу үшін қайта магниттелуге аз шығын;
- магнитөткізгіштер үшін пластиналардың сапалы кесілуін қамтамасыз ететін жоғары пластиктік;
- материал қалыңдығының аз құбылуы;
- қақ, дөнес, дақтардың болмауы, бұл толушылық коэффициентін арттыруға және сәйкесінше бұйым өлшемдерін кішірейтуге мүмкіндік береді;
- магнитөткізгішке салынған магниттік қасиеттерінің механикалық кернеу шамасынан тәуелсіздігі, бұл параметрлерін нашарлатпастан қысуға, сығуға үлкен күш салуға мүмкіндік береді.

Техникалық таза темір басқа қоспалардың мөлшері қалыпты болғанда құрамындағы қоспа кемінде 0,05 % құрайды. Оның қанығу индукциясының мәні барлық ферромагниттік материалдардан жоғары, үлестік электрлік кедергісі төмен, сондықтан оны тұрақты магнит өрістерінде жұмыс істейтін бұйымдарды әзірлеу үшін қолданады.

Коэрцитивті күш және магниттік өткізгіштік ауқымды шектерде өзгереді. Бұл темір технологиялы, жақсы таңбаланады және барлық металл кескіш білдектерде өңделеді, құны да төмен.

Зертханалық жағдайларда алынған темір қасиеттері техникалық таза темірдің қасиеттерінен 100-200 есе күшті, бұл қиын алынып тасталатын қоспаларының болуымен байланысты. Ең зиянды қоспаларға көміртегі, оттегі және күкірт жатады.

Темірдің химиялық құрамынан басқа, магниттік қасиеттеріне оның құрылымы, әсіресе түйір өлшемдері әсер етеді. Түйір шекараларында кристалл тор өзгеріске ұшырайды. Әсіресе құрамында көміртегісі бар фазалар оңай бөлінеді, сондықтан түйір неғұрлым ірі болса, магниттік қасиеттері соғұрлым күшті болады. Түйірлерін үлкейту үшін темірді арнайы термиялық өңдеуден өткізеді.

Техникалық таза темірді барлық дерлік ферромагниттік балқымаларды алу үшін шихталық материал ретінде қолданады.

Электролитикалық темірді  $\text{FeSO}_4$  немесе  $\text{FeCl}_2$  электролизі нәтижесінде алады. Катодқа отырғызылған темірде мұқият жуып-шаюдан және шарлы тартқыштарды ұнтақталғаннан кейін сутегі мөлшері көбейеді, сондықтан жоғары магниттік қасиеттерге ие емес. Вакуумда қайта балқытқан және көп мәрте күйдірген соң оның қасиеттері айтарлықтай жақсарады. Мұндай өңдеу нәтижесінде құрамында қоспасы аздау электролитикалық темір алады, сондықтан күштірек магниттік қасиеттерге ие (коэрцитивті күші  $H_c = 30 \text{ А/м}$ ; максималды магниттік өткізгіштігі  $\mu_{\text{max}} = 15 \text{ 000}$ ). Құны жоғары болғандықтан, электролитикалық темірді сирек қолданады.

Карбонильді темірді темір пентакарбонилін ыдырату жолымен алады ( $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ). Түрлі ыдырату жағдайларында ұнтақ тәрізді немесе кеуекті темір алады. Термиялық өңдеу нәтижесінде сутегіде темір күшті магниттік қасиетке ие болады.

Карбонильді темірді магнитодиэлектриктердің ферромагниттік фазасы ретінде қолданады.

Темір қасиеттерін қоспа қосу арқылы жақсартады, нәтижесінде түрлі болат белгілерін алады. Магниттік жұмсақ электротехникалық болаттың негізгі түрлері: төменкөміртекті болаттар және кремнийлі болаттар.

Төменкөміртекті электротехникалық болат магниттік қасиеттері әлсіз өртенбеген күйде жеткізіледі. Мұндай болатты термиялық өңдеуден өткізеді. Өңдеу барысында оны  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ -ға дейін жаймен қыздырады, 2...4 сағат бойы ұстап тұрады да  $30...40 \text{ }^\circ\text{C}$  аспайтын жылдамдықпен  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ -ға дейін жаймен суытады. Процесті металлды қышқылданудан сақтандыратын қорғаныс ортасында немесе болатты қоспалардан қосымша тазартуды қамтамасыз ететін белсенді ортада (сутекті азот қоспасы) жүргізеді. Өңдеу нәтижесінде көлем бірлігіндегі түйір саны қысқарады, бұл болаттың магниттік қасиеттерін жақсартады.

Термиялық өңделген болаттардың коэрцитивті күші  $H_c = 64.96 \text{ А/м}$ ; максималды магниттік өткізгіштігі  $\mu_{\text{max}} = 3500...4500$  және көміртек мөлшері  $0,1 \text{ } \%$ .

Кремнийлі электротехникалық болаттар темірдегі кремнийдің қатты ертіндісі. Кремниймен қоспалауды үлестік электрлік кедергіні арттыру есебінен төменкөміртекті болат жалпақтарындағы құйынды тоқтарға кететін шығынды азайту тәсілдерінің бірі ретінде пайдаланады.

Кремний мөлшеріне байланысты үлестік электрлік кедергі және кремнийлі электротехникалық болаттардың тығыздығы 6.1-кестеде келтірілген.

6.1-кесте. Кремнийлі электротехникалық болаттардың үлестік электрлік кедергісі және тығыздығы

Параметрі	Э1	Э2	Э3	Э4
Болатты кремниймен қоспалау дәрежесі	әлсіз қоспаланған	орташа қоспаланған	жоғарылау қоспаланған	жоғары қоспаланған
Кремний мөлшері, %	0,8...1,8	1,8...2,8	2,8...3,8	3,8...4,8
Үлестік электрлік кедергісі $\rho$ , мкОм·м	0,25	0,40	0,50	0,60
Тығыздығы $D$ , Мг/м <sup>3</sup>	7,80	7,75	7,76	7,55

Кремниймен қоспалау нәтижесінде төмен көміртекті болаттардың құрамы жақсарады, ол кремнийдің металлда еріген газдардың бір бөлігін және бірінші кезекте оттегіні байланыстыруының салдарынан болады; магнитострикция төмендейді, яғни магниттік қасиеттердің механикалық кернеулерге тәуелділігі; магниттік өткізгіштік артады; коэрцитивті күш пен қайта магниттелуге кететін шығындар азаяды; кремний 5%-дан көп болғанда қанығу индукциясы төмендеп, механикалық қасиеттері нашарлайды.

Кремнийлі электротехникалық болаттардың қасиеттерін жақсарту үшін оларды қовпалардан мұқият тазарту, көмірсіздендіру және ерекше термиялық өндеуден өткізу қажет. Бірақ бұл әдістерді қолдану бұл болаттардың магниттік қасиеттерін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік бермейді.

Кремнийлі электротехникалық болаттардың магниттік қасиеттерін айтарлық жақсартуға материалда магниттік текстураны жасаумен қол жеткізеді. Текстура болмағанда балқымадағы кристаллдар бейберекет орналасады, сондықтан балқыма кезкелген бағыт бойынша сатикалық тұрақты орташа магниттелгендігі бар изотроптық қасиеттерге ие болады. Магниттік текстураны жасау үшін болатты салқиндай илейді. Нәтижесінде балқыманың көптеген түйірлері жұқарту бойымен жеңіл магниттеу бағытымен бағдарланады, яғни балқыма текстураланады. Мұндай текстура жұқарту текстурасы деп аталады. Суықилемделген болат магниттіанизотроптыққа айналады. Сонымен қатар, суық күйінде пішін өзгерту үлкен ішкі зақымданулар туғызады, бұл коэрцитивті күшті өсіреді. Бұл кернеулерді өртеу арқылы алып тастайды.

Түрлі мақсаттағы трансформаторларда текстураланған болатты қолдану олардың массасы мен габариттік өлшемдерін 20...40%-ға төмендетуге мүмкіндік береді.

Ыстықтай илемделген болаттардың суықтай илемделгендерге

қарағанда, магниттік текстурасы болмайды, яғни магниттізотропты. Алайда түйірлерін азғантай ретке келтіру және сонымен байланысты қасиеттерінің анизотропиясы ыстықтай илемдеуде де байқалады.

Кремнийлі болаттардың термиялық өңдеуін төменкөміртекті болаттардікіндей жүргізеді. Алайда кремнийлі текстураланған болаттардан магнитөткізгіштер дайындаған кезде магниттік қасиеттерінің анизотропиясын ескерген жөн, өйткені жалпақ үздік магниттік қасиеттерге илем бағытында ие болады, ал нашар қасиеттерге – илем бағытына  $55^{\circ}$  бұрышта.

Болат маркасын Э әрпімен және соның ізінен кететін сандармен белгілейді. Сандар қоспалану дәрежесі мен болаттың кепілді электромагниттік қасиеттерін білдіреді.

Болат жалпақтары мен орамдары тапсырыс берушіге күйдірілген күйде жеткізіледі, алайда болаттарды беріктетілген (күйдірілмеген) күйде жеткізуге жол беріледі. Бұл жағдайда болат маркасының белгісіне Т әрпін қосады.

Пермаллойдар әдетте, молибденмен, хроммен және басқа элементтермен қоспаланған темірдің никельмен (Fe—Ni) немесе темірдің никель және кобальтпен (Fe—Ni—Co) балқымасы. Пермаллойдардың өзіне тән ерекшеліктері:

- әлсіз өрістердегі бастапқы магниттік өткізгіштігінің жоғары мәні (болатқа қарағанда 10–20 есе жоғары); қалыңдығы 0,1...0,3 мм пластинаны  $90^{\circ}$  бұрышта бұгу бастапқы магниттік өткізгіштігін екі есе төмендетеді;

- пішін өзгерісіне үлкен сезімталдық, әсіресе егер бұл ретте тойтарма пайда болса (қатты тойтарылған пластина басқа магниттік жұмсақ материалдармен салыстырғанда өзінің магниттік қасиеттерін жоғалтады);

- термиялық өңдеусіз магниттік өткізгіштік пермаллоларда таза темірге қарағанда, аз;

- алмаспа тоқ кезінде магниттік өткізгіштік электротехникалық болаттарға қарағанда, көптеу құлайды.

Барлық темірникель балқымаларын ыстықтай илемделген жалпақтар, шыбықтар және суықтай илемделген таспалар түрінде жеткізеді. Термиялық өңдеуді  $1000...1200^{\circ}\text{C}$  температураларда жүргізеді. Бұл орайда кепілдендірілген магниттік қасиеттерді өртеудің температуралық режимін қатаң бақылай отырып алады.

Өртелінген бұйымдар ашық, оксидтерден, қара дақтардан, құбылма сүтерден ада болуы тиіс. Сонымен қатар, термиялық өңдеуден өткізілген бұйымдарды соққылардан, майысулардан, түзетулерден, ораммен қатты жаншудан сақтаған жөн.

Никельдің мөлшеріне байланысты пермаллойдар төменникельді және жоғарыникельді болып бөлінеді.

*Төмен никельділерге* никель мөлшері 40...50% құрайтын



пермаллойдар жатады. Төменникельді балқымаларды магнит тізбектерінде жоғарыникельділерден гөрі жиі пайдаланады. Олардың пластиктігі төменникельді пермаллойдарға қарғанда жоғары.

Төмен никельді пермаллойдарды алмаспа магниттік өрістерде, әсіресе жоғарылатылған жиіліктерде жұмыс істейтін бұйымдарды дайындау үшін магниттік материалдар ретінде пайдаланады.

*Жоғары никельділерге* никель мөлшері 70.80% құрайтын пермаллойдар жатады.

Жоғарыникельді балқымалар аз кристаллографиялық анизотропияға; аз магнитоотрицательділікке; яғни магниттік қасиеттерінің механикалық кернеулерге тәуелділігі аз; төменникельділерге қарағанда, бірнеше есе, ал электротехникалық болаттарға қарағанда, бірнеше ондаған есе жоғары магниттік өткізгіштікке; электротехникалық болаттарға қарағанда, шамамен екі есе және төменникельділерге қарағанда 1,5 есе аз қанығу индукциясына; төменникельділерге қарағанда, шамамен екі есе төмен үлестік электрлік кедергіге ие. Жоғарыникельді балқымаларды термиялық өңдеу төменникельділерге қарағанда күрделілеу; олар құрамындағы никель мөлшері көп болғандықтан, төменникельділерден гөрі қымбат; магниттік қасиеттері механикалық кернеулерге тәуелдірек.

Жоғарыникельді пермаллойдарды қуатты күштік трансформаторларды біліктері және магниттік ағынды тудыру солар үшін маңызды болып табылатын басқа құрылғылар үшін магниттік материал ретінде қолданылады.

#### **6.4.2. Жоғары жиілікті магниттік өрістер үшін магниттік жұмсақ материалдар**

Қайта магниттелу жиілігін ондаған мегагерцке арттырғанда (жоғары жиіліктер диапазоны) магниттік жұмсақ балқымалардың құйынды тоқтарға кететін шығыны артатыны соншалық, тіпті оларды пайдалану тиімсіз болып қалады. Құйынды тоқтарға кететін шығындарды магниттік индукцияны төмендету және үлестік электрлік кедергіні арттыру арқылы төмендетеді. Магниттік индукцияның кішкентай және үлестік электрлік кедергінің жоғары мәніне бейметалл магниттік материалдар ие: магниттік жұмсақ ферриттер және магнитодиэлектриктер.

Магниттік жұмсақ ферриттер темір оксидін ( $Fe_2O_3$ ) металл оксидтерімен біріктіру дольмен алатын магниттік керамика.

Магниттік жұмсақ материалдар ретінде шпинель минералына ұқсас текше құрылымдылар кеңінен таралған  $Mg \cdot Al_2O_3$ .

Оттегі иондары мен олардың кристалл торы арасындағы аралықтарда тиісті металлдың иондары орналасады. Физикалық

табиғаты бойынша олар жартылай өткізгіштер болып табылады. Олардың үлестік электрлік кедергісі  $\rho 10^{16}$  Ом·м дейін.

Ферриттердің қанығу индукциясы төмен ( $B_S=0,2...0,5$  Т), сондықтан оларды тек әлсіз тоқ төңірегінде ғана пайдаланады.

Магниттік жұмсақ ферриттердің негізгі сипаттамалары қанығу индукциясы, магниттік өткізгіштік, магниттік шығын бұрышының тангенсі  $\text{tg}\delta$  ауыр жиілік  $f_{кр}$ , магниттік өткізгіштіктің температуралық коэффициенті  $\alpha_\mu$ , тұрақтылық коэффициенті  $K_\mu$ .

Ферриттердің қанығу индукциясы  $0,1...0,4$  Т құрайды, бұл магниттік жұмсақ металлдардікінен анағұрлым төмен. Алайда жоғарыжиілікті өрістерде ферриттердің қанығу индукциясы балқымалардан гөрі жоғары, өйткені олардың магнитсіздейтін күйінды тоқтары аз.

Магниттік жұмсақ ферриттер үшін бастапқы магниттік өткізгіштік  $\mu_n = 20...20000$  құрайды, максималды магниттік өткізгіштік  $\mu_{\text{тах}} = 45...35\ 000$ . Әлсіз өрістерде магниттік өткізгіштігі  $\mu_n = 400...20\ 000$  ферриттерді жалпақты темірникель балқымалары мен электротехникалық болат алмастырады. Төмен жиіліктегі орташа және күшті өрістерде магниттік жұмсақ ферриттерді пайдалану тиімсіз, өйткені олардың қанығу индукциясы металл магниттік материалдарға қарағанда, 2-3 есе төмен.

Қайта магниттегенде феррит біліктерінде пайда болатын магниттік шығындарды магниттік шығындар бұрышының тангенсімен есептейді, ол жалпы жағдайда гистерезиске, күйінды тоқтарға және магниттік тұтқырлыққа кететін шығындарды құрайды.

Әлсіз өрістерде гистерезиске кететін шығындар аз, күйінды тоқтардікін елемеуге де болады, өйткені жоғары үлестік электрлік кедергі салдарынан олар болмашы ғана. Сәйкесінше, жоғарыжиілікті өрістегі ферриттер үшін шығындар материалдың магниттік тұтқырлығымен байланысты.

Магниттік шығындар бұрышының тангенсі күрт өсіп,  $\text{tg}\delta_M = 0,1$  мәнге жететін кездегі жиілік ауыр жиілік  $f_{кр}$  деп аталады.

Ферриттер үшін магниттік өткізгіштіктің температураға қатты тәуелділігі тән. Бастапқы магниттік өткізгіштік температура өсісімен артады, ал Кюри температурасына жеткенде ферромагниттік қасиеттерін жоғалтуы себепті төмендейді.

Магниттік өткізгіштіктің температуралық тәуелділігі магниттік өткізгіштіктің салыстырмалы температуралық коэффициентімен бағаланады  $\alpha_\mu, K^{-1}$ :

$$\alpha_\mu = \frac{TK\mu}{\mu_{T_2}} = \frac{\mu_{T_2} - \mu_{T_1}}{\mu_{T_1}^2 (T_2 - T_1)}$$

мұндағы  $TK\mu$  — магниттік өткізгіштіктің температуралық

коэффициенті,  $K^{-1}$ ;  $T_1, T_2$  — магниттік өткізгіштікке өлшеу жүргізілген температуралар.

Ферриттердің уақыттағы магниттік өткізгіштік тұрақтылығы тұрақтылық коэффициентімен бағаланады, ол мына формуламен пайызбен анықталады:

$$K_{\mu} \approx \left( \frac{\mu_{t_2} - \mu_{t_1}}{\mu_{t_1}} \right) \frac{1}{\lg t_2 / t_1}$$

мұндағы  $K_{\mu}$  — жыл бойғы параметр өзгерісін көрсететін тұрақтылық  $\mu_{T_1}, \mu_{T_2}$  коэффициенті, %; —  $t$ , және  $t_2$  уақыт сәттеріндегі бастапқы магниттік өткізгіштік мәндері.

Ферриттерді дайындағаннан кейінгі бірінші жылда  $K_{\mu} \leq 3\%$ , одан әрі бастапқы магниттік өткізгіштіктің өзгерісі азғантай.

Құрамы бойынша ферриттер дара (моноферриттер), қос (биферриттер) және көпқұрамбөлікті (полиферриттер) болуы мүмкін. Солардың ішінде биферриттер көп таралған: марганец-никель, никель-мырыш және литий-мырыш ферриттері.

*Марганец-никель ферриттері* келесі қасиеттерге ие:

- бастапқы магниттік өткізгіштік мәндері жоғары (зертханалық үлгілер үшін 40 000 дейін), бұл мәндерді өте таза шикізатты қолданған жағдайда және ферритті вакуумда не азотта өртеген кезде алады (өнеркәсіптік үлгілер үшін  $\mu_r < 600$ );

- $10^8$  Гц жиілікке дейін қайта магниттеуге кететін шығынының аздығы;

- төмен қалдық және салыстырмалы үлкен максималды индукция;

- марганец-мырыш ферриттерімен салыстырғанда, жоғарылау индукция, айтарлықтай жоғары Кюри температурасы және төмендеу магниттік өткізгіштік коэффициенті температурасы.

Марганец-никель ферриттерін импульс алаңы тар импульстық трансформаторлардың біліктерін және алыстан байланыстыратын аппаратура біліктерін дайындау үшін қолданады.

*Никель-мырыш ферриттері* келесі қасиеттерге ие:

- шығыны аз және температуралардың ауқымды диапазонында бастапқы магниттік өткізгіштік мәндері төмен;

- бастапқы магниттік өткізгіштігінің уақытша тұрақтылығы жоғары (жылына пайызының оныншы үлесін құрайды);

- магниттік өткізгіштігі үстеме магниттегіш өрістің температурасына, жиілігіне, шамасына байланысты;

- магниттік өткізгіштігі механикалық әсерлерге тәуелді емес;

- қасиеттері құрамы мен дайындау технологиясына байланысты.

Никель-мырыш ферриттері әлсіз өрістерде 100 МГц жиіліктерде пайдалануға арналған.

Магниттік өткізгіштік шамасы бойынша никель-мырыш ферриттері төрт топқа бөлінеді.

Магниттік өткізгіштік мәні жоғары ( $\mu_{\max} > 1000$ ) бірінші топтың ферриттері магниттік өткізгіштігінің жоғары, шекаралық жиілігі төмендеу, Кюри температурасы жоғары емес, жұмыс температураларының диапазоны тар екендігімен сипатталады. Бұл топтың материалдарын бірнеше жүз килогерцке дейінгі жиіліктерде жұмыс істейтін біліктерді әзірлеу үшін қолданады.

Магниттік өткізгіштік мәні орташа ( $\mu_{\max} = 200 \dots 600$ ) екінші топтың ферриттері бірінші топтың ферриттерінен құрамымен, Кюри температурасының жоғарылау мәнімен, қайта магниттегенде шығының аздығымен, жоғарылау электрлік кедергісімен ерекшеленеді. Оларды тұрақты және алмаспа индуктивтіліктегі шарғылардың (вариометрлердің) біліктерін және магниттік антеналарды дайындау үшін пайдаланады. Бұл топтың материалдарын бірнеше мегагерцке дейінгі жиіліктерде пайдалануға болады.

Магниттік өткізгіштік мәні төмен ( $\mu_{\max} = 100 \dots 150$ ) үшінші топтың ферриттерінің Кюри нүктесінің мәні жоғары ( $T_K = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ ), жұмыс жиіліктері мен температураларының диапазоны кеңдеу. Оларды бірнеше ондаған мегагерц жиіліктерде жұмыс істейтін бұйымдарды алу үшін пайдаланады.

Магниттік өткізгіштік мәндері өте төмен ( $\mu_{\max} = 10 \dots 50$ ) төртінші топтың ферриттері 200 МГц-ға дейінгі шекаралық жиіліктерге, үлкен электрлік кедергіге, жоғары термиялық тұрақтылыққа ие, қайта магниттеуге кететін шығыны азғантай. Бұл топтың материалдарын жоғары жиілікті индуктивтілік шарғыларының біліктерін әзірлеу үшін қолданады.

**Литий-мырыш ферриттерінің** магниттік өткізгіштік коэффициенті температурасының мәні ең төмен ТКμ;  $2 \cdot 10^8$  Гц жиілікке дейінгі құйынды тоқтарға кететін шығындары аз; басқа ферриттерге қарағанда, гистерезистік шығыны көптеу.

$(1.2) \cdot 10^8$  Гц жиіліктері диапазонындағы литий-мырыш ферриттерінен жасалған контурлық шарғы біліктерінің біліктері басқа магниттік материалдардан жасалған шарғылармен салыстырғанда беріктігі әлдеқайда жоғары.

Магнитодиэлектриктер бір-бірінен диэлектрикпен оқшауланған ферромагнит бөлшектерінен тұратын сығымдалған магниттік материал. Диэлектрик жеткілікті созылымдылыққа;

жақсы цементтеу қабілетіне және ферромагнитке қарағанда химиялық инерттілікке ие болуы тиіс.

Магнитодиэлектриктердің өзіне тән ерекшелігі сыртқы өріс өзгерген кезде магниттік өткізгіштік тұрақтылығының жоғарылығы. Сыртқы магниттік өрістің кернеулігін бірнеше есе арттырғанда магнитодиэлектриктің магниттік өткізгіштігі 15...20%-

ға, ферромагнитте бұндай жағдайда ол жүз есе артады.

Магнитодиэлектриктерді дайындау технологиясы ферромагниттік ұнтақты алу, ферромагниттік ұнтақтар мен диэлектрикті араластыру, сығымдау, термиялық өңдеу операцияларынан тұрады.

Ферромагниттік ұнтақты тиісті химиялық қоспаларды механикалық ұсақтау немесе ыдырату жолымен алады. Оның талап етілетін магниттік қасиеттері; бөлшектерінің белгілі бір өлшемі мен пішіні; жеткілікті механикалық беріктігі; диэлектрикке химиялық инерттілігі болуы тиіс.

Оқшаулау материалының созылымдығы жеткілікті, ферромагнитке қарағанда, жақсы цементтеу қабілеті және ферромагнитке химиялық инерттігі болуы тиіс. Одан әрі ферромагниттік ұнтақты құрғақ (ұнтақ тәрізді) күйінде немесе ферромагнит бөлшектеріне алдын ала ерітілген диэлектрик үлбірін отырғызу жолымен диэлектрикпен араластыру жүреді.

Сығымдау кезінде сығымдау қысымы магнитодиэлектриктің түріне және құрамбөліктерінің қатынасына байланысты.

Термиялық өңдеу көмегімен магнитодиэлектриктердің параметрлерін тұрақтандырады, бұл үшін оларды жоғарылатылған температураларда белгілі бір уақыт ұстап тұрады. Нәтижесінде ферриттерден алынатын бұйымдарға қарағанда, анағұрлым жоғарылау дәлдік сыныбындағы бұйымдарды аз шығын кетіріп алады. Алайда бірқатар параметрлер бойынша магнитодиэлектриктер ферриттерге жол береді.

Альсифер, қоспаланған темірникель балқымалары (пермаллойдар) және карбониль темірі негізінде алынған магнитодиэлектриктер кең таралған.

*Альсифер* алюминий (аль-), кремний (-си-) және темір (-фер) балқымасы. Ол шындалған, серпімді, қатты; құрамы оңтайлы болғанда (9,5 % Si; 5,5 % Al; 85 % Fe) құрамы оңтайлыдан сәл ауытқығанда күрт төмендейтін бастапқы магниттік өткізгіштік мәні жоғарылау болады; құрамында тапшылықты металлдар болмайды; құны төмен. Бұйымдарды фасонды құйма әдісімен ғана алады, өйткені механикалық әдіспен өңделмейді. Құрамындағы кремний мен алюминий мөлшерінің өзгеруімен магниттік өткізгіштік коэффициентінің температурасының шамасын реттеп, оның нөл дерлік мәніне қол жеткізуге болады.

Альсиферді тұрақты магнит өрістерінде жұмыс істейтін бөлшектерді (экрандар, магнитооткізгіш бөлшектері) дайындау үшін қолданады.

Магнитодиэлектриктер үшін құрамындағы кремнийдің мөлшері 9...11 % және алюминийдікі 7,4 % болатын альсифер балқымаларын қолданады. Олардың бастапқы магниттік өткізгіштігі  $\mu_n = 30\ 000...35\ 000$ ; максималды магниттік өткізгіштігі

$\mu_{\max} \approx 120\,000$ ; үлестік электрлік кедергісі  $\rho \approx 0,8$  мкОм·м болғанда коэрцитив күші  $H_c \approx 1,8$  А/м. Балқыма құрамын ұстап тұру дәлдігіне қойылатын талаптар жоғары емес, өйткені магнитодиэлектрик қасиеттері көбінесе альсифер бөлшектерінің өлшемдерімен, пішінімен және өзара орналасуымен анықталады және оның бастапқы қасиеттеріне тәуелді емес.

Қоспаланған темірникель балқымалары (пермаллойлар) негізінде алынған магнитодиэлектриктердің альсифер негізінде алынған магнитодиэлектриктермен салыстырғандағы магниттік өткізгіштік мәндері жоғарылау  $\mu_n = 200...250$ ; магниттік өткізгіштік коэффициенті температурасының мәндері төмендетілген ТК $\mu_n$ .

Темірникель балқымалары негізінде алынған магнитодиэлектриктерді өндіру үшін көбінесе молибден пермаллойынан алынған ұнтақтарды пайдаланады.

Созылымдығы жоғары болғандықтан, кәдімгі құрамдағы пермаллойларды пайдалану мүмкін емес. Сондықтан бұл балқымаларға морттық беру үшін оларды қоспалайды, бұл ретте балқыма процессінде күкірттің аздаған мөлшерін қосады. Қоспаланған балқыма бөлшектерінің саны шамамен ондаған микрометрді құрайтын ұсақдисперстік ұнтаққа оңай ұсақталады.

*Карбониль темірі* негізінде алынған магнитоникельді балқымаларды сүзгілердің, контурлардың индуктивтілік шарғыларының біліктерін дайындау үшін қолданады.

Карбониль темірі негізінде алынған магнитоникельді балқымадан жасалған біліктердің жиіліктерінің жұмыс диапазоны кең; магниттік шығын шамасы минималды; уақыттық тұрақтылығы жоғары; ылғал сіңіргіштігі жоғары, сондықтан карбониль темірі негізінде алынған магнитоникельді балқымалардан жасалған біліктер бітелуі тиіс.

Карбониль темірін алу үшін бастапқы шикізат темір пентакарбонилі болып табылады ( $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ). Оны аммиак ортасында ыдыратады. Нәтижесінде қанығуының магниттік өткізгіштігі 3000 дейінгі бөлшектерінің өлшемі 1,5 мкм-ға дейінгі ұнтақтарды алады.

Өнеркәсіп екі сыныптың карбониль ұнтақтарын шығарады: Р — радиоаппаратураға арналған; П — сымды байланысқа арналған. Оларды сүзгілердің, контурлардың индуктивтілік шарғыларының біліктерін дайындау үшін қолданады.

## 6.5. Арнайы мақсаттағы магниттік материалдар

Арнайы мақсаттағы материалдарға, әдетте, мәндері максималды бір не екі параметрін пайдалану қажет етілетін кезде құрылғыларда жеке қолдану үшін әзірленетін магниттік жұмсақ материалдар

жатады. Бұл материалдардың тобын гистерезис ілгегі тікбұрышты (ГТ) материалдар, ӨЖЖ-ферриттер, термомагниттік және магнитострикциялық материалдар құрайды.

**Гистерезис ілгегі тікбұрышты материалдар.** Гистерезис ілгегінің тікбұрыштылық дәрежесі тікбұрыштылық коэффициентімен бағаланады

$$a = B_c / B_{\max}$$

мұндағы  $B_c$  — магниттік индукцияның максималды мәніне  $B_{\max}$  сәйкес келетін қалдықты (кенет) магниттік индукция.

Тікбұрыштылығы кіршіксіз гистерезис ілгегі үшін  $a = 1,0$ ; іс жүзінде қолданылатын материалдар үшін  $a = 0,85...0,98$ .

Гистерезис ілгегі кіршіксіз магниттік біліктің қалдықды магниттік индукцияның оң ( $+B_c$ ) және теріс ( $-B_c$ ) мәндеріне сәйкес келетін екі тұрақты магниттік күйі болады (6.3-суретті қар.) және қосарлы ақпаратты сақтау және қайта өңдеу үшін магниттік элемент болып табылады. Материалдың магниттелгендік  $+B_c$  күйін шартты түрде 1 деп қабылдайды, ал  $-B_c$  күйін 0 деп.

ГТ материалдардың маңызды сипаттамасы олардың қасиетінің температураға тәуелділігі болып табылады. Температура жоғарылағанда гистерезис ілгегінің алаңы және оның тікбұрыштылығы мұндай материалдарда кішірейеді, яғни коэффициентті күш, қалдық индукция мен тікбұрыштылық коэффициенті кішірейеді. Салқындатқанда кері процесс жүреді. Бұл параметрлердің кішірею дәрежесі қалдық индукцияның  $TKB_c$  және коэрцитивті күштің  $TKH_c$  температуралық коэффициентімен бағаланады.

Материалды қайта магниттеу жылдамдығын сипаттау үшін ауыстырып қосу коэффициентін пайдаланады  $K_g$ . Ол білікті толық ауыстырып қосу үшін қажетті магниттік өрістің минималды импульсын сипаттайды, яғни оның қалдық индукция күйінен қарама-қарсы максималды индукция күйіне қайта магниттелуін сипаттайды.

Ферриттерді жоғары дәлдікті технология бойынша оксидтер әдісімен немесе гидрооксидтерді бірге отырғызу әдісімен өндіреді. Технологиялық процесстің ерекшелігі түпкілікті өртеудің жоғары температурасы (шамамен 1400 °C) және ауада күрт салқындатудан тұратын «ауада шындау» болып табылады. Мұндай шындау максималды температурада алынған ферриттің талап етілетін фазалық құрамын бекітеді.

ГТ ферриттерді гистерезис ілгегі кенет және индуцирленген (бағытталған) ферриттерге бөледі.

Гистерезис ілгегі кенет ГТ ферриттерді белгілі бір өртеу режимдерінде белгілі бір құрамдағы материалдардан алады. Онда

гистерезис ілгегінің кенет тікбұрыштылығының пайда болуы домендік қабырғалардың қайтпас жылжуы процессінің басым болуымен шартталған.

Гистерезис ілгегі индуцирленген ГТ ферриттерді оларды термиялық-магниттік өндеуден өткізген соң алады.

*ГТ литий* ферриттері феррит құрамына натрий, магний, марганец және т.б. енгізгенде қажетті қасиетке ие болады. Олар ауыстырып қосу коэффициентінің мәні аз болғанда  $K_g = 48...52$  А·мкс/с тікбұрыштылық коэффициентіне  $a_{пр} = 0,9$ ; арттырылған коэрцитивті күшке ие  $H_c = 140...1200$  А/м; электромагниттік параметрлерінің термотұрақтылығы жақсы.

ГТ литий ферриттерін алу процесі біріктірген кезде оттегі құрамын және белгілі бір концентрациясын қатаң сақтағанда жүріп өтеді.

*ГТ марганец-магний* ферриттері қасиеттерінің алуан түрлі болуының арқасында кеңінен қолданылуда. Мырыш және калий оксидтерінің қоспасы бар ферриттер жоғары индукцияға және төмен коэрцитивті күшке ие; термотұрақтылығы бойынша олар литий ферриттеріне жол береді; дайындау процесі қарапайым.

*ГТ магниттік жұмсақ балқымалар* молибденмен, мыспен не басқа металлдармен қоспаланған темірникель және темір-никель-кобальт балқымаларынан тұрады. Оларды қалыңдығы 20...500 мкм прокат таспасы, қалыңдығы 3 мкм микрондық прокат таспасы, қайта магниттелу жиілігі шамамен ондаған килогерцті құрайтын біліктер және ауыстырып қосу коэффициенті минималды микрондық прокат біліктері түрінде шығарады.

**ӨЖЖ-ферриттер (өте жоғары жиіліктерге арналған ферриттер).** Өте жоғары жиіліктер диапазоны жүзден ондаған мың мегагерц жиілікке сәйкес келеді, яғни бір метрден бірнеше миллиметр толқын ұзындығына.

ӨЖЖ диапазонында қолданылатын ферриттер электромагниттік толқындар үшін мөлдір ортані білдіреді. Олардың диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсі мәні төмен; температуралардың жұмыс интервалындағы температуралық тұрақтығы жоғары; үлестік электрлік кедергісі жоғары  $\rho$  (шамамен  $10^5...10^9$  Ом·м); көпкристаллдық материалды қолданудың арқасында ӨЖЖ-ферриттер құрылымының тығыздығы жоғары және біртекті; феррит элементінің шекті жұмыс температурасы Кюри температурасына тәуелді; ферромагниттік резонансының жиілігі ӨЖЖ-ферриттерінің қасиеттеріне тәуелді; ферриттік ӨЖЖ-элементтердің көлемін кішірейтуге мүмкіндік беретін қанығудың магниттелгендігінің мәні жоғары (кенет магниттелгендік кезінде). Электромагниттік толқынның феррит электрондарының магнит сәттерімен өзара әрекеттестігінен туындаған әсерлерді электромагниттік энергия ағынын басқару үшін пайдаланады.



Барлық ӨЖЖ-ферриттер магниттік жұмсақ материалдарға жатады ( $H_c = 80...700$  А/м).

*Никель* ӨЖЖ-ферриттертолқын ұзындығының миллиметрлік диапазонында және сантиметрлік диапазонның қысқатолқынды бөлігінде жұмыс істейтін бұйымдарды әзірлеуге арналған. Олар келесі қасиеттерге ие: қанығудың магниттелгендік мәні жоғары, резонанстық қисық енінің мәні салыстырмалы түрде шамалы; термотұрақтылығы шамалы.

*Магний* ӨЖЖ-ферриттерді сантиметрлік диапазонның ортаңғы бөлігінде жұмыс істейтін бұйымдарды әзірлеу үшін қолданады. Олар келесі қасиеттерге ие: қанығудың магниттелгендік мәні никель ӨЖЖ-ферриттерден гөрі аз; Кюри температурасы да никель ӨЖЖ-ферриттерге қарағанда, төмен.

*Магний ферроалюминаттарын, магний және никель феррохромиттерін* ӨЖЖ-диапазонының ұзынтолқындық бөлігінде жұмыс істейтін ферромагниттік бұйымдарды әзірлеу үшін қолданады. Олар келесі қасиеттерге ие: қанығудың магниттелгендік мәні төмен; магниттік шығыны аз, бұл оларды шағын үстеме магниттеу өрістерінде жұмыс істейтін ферриттік құрылғыларда қолдануға мүмкіндік береді; Кюри температурасының мәні төмен, бұл олардың қолданылу аясын шектейді.

*Итүш феррит-гранаттарын* ӨЖЖ-диапазонының төменжілікті бөлігінде жұмыс істейтін түрлі ӨЖЖ-құрылғыларды дайындау үшін қолданады. Олар келесі қасиеттерге ие: резонанстық қисық ені ең кіші; магниттік шығын мәні төмен; салыстырмалы жоғары магниттелгендік; жоғары термотұрақтылық.

ӨЖЖ-ферриттерді дайындау үшін оксидтер әдісін қолданады. Оның көмегімен пластиналар, біліктер, тегеріштер алады. Процесс бастапқы шикізат параметрлері мен технологиялық операцияларды мұқият бақылаумен жүзеге асады.

**Термомагниттік материалдар.** Олар магниттелгендігінің материалдың қанығу өрісіне жақын өрістердегі температураға қатты тәуелділігімен сипатталады. Термомагниттік материалдар әдетте  $-60$ -тан  $+60$  °С-ға дейінгі жұмыс температуралары интервалында қанығу режімінде жұмыс істейді.

Термомагниттік материалдарға келесі талаптар қойылады:

- температуралардың жұмыс интервалына жақын Кюри температурасы мәнінің төмен болуы, өйткені магниттік индукцияның температурағы көбірек тәуелдігі Кюри нүктесіне жақын аймақта байқалады;
- қанығу индукциясы коэффициенті температурасы және магниттік өткізгіштік мәндерінің жоғары болуы;
- термомагниттік сипаттаманың белгілі бір мәні (магниттік өрістің тұрақты кернеулік мәні  $H$  кезіндегі магниттік индукцияның

температураға тәуелділігінің қисығы): термомагниттік сипаттама жүрісі тік болған сайын, яғни температура өзгерісіне термомагниттік материал неғұрлым сезімтал болса, магниттік ағын шығыны соғұрлым аз болады;

- -60-дан +80... 100 °С температуралар интервалындағы тұрақты жұмыс;

- қанығу үшін қажетті шағын өрістер;
- сипаттамалардың жоғары жаңғыртылуы.

Термомагниттік балқымалар мен көпқабатты магниттік материалдар, сондай-ақ кейбір Кюри температурасы төмен магниттік жұмсақ материалдар бұл қасиеттерге ие.

Термомагниттік балқымаларға компенсаторлар (темір-никель-хром жүйесінің термомагниттік балқымалары), кальмаллойдар (никель-мыс жүйелерінің балқымалары), термаллойдар (никель-темір жүйелерінің балқымалары).

Температуралардың кең диапазонында магниттік қасиеттердің толық қайтымдылығына; қанығу магниттелгендігі мәні жоғары; қанығудың магниттелгендік және қанығу индукциясы коэффициенті температураларының мәні жоғары; магниттік сипаттамаларының сызықтылығы жоғары; параметрлерінің жаңғыртылуы жоғары; механикалық өңделгіштігі жақсы *компенсаторларды* кеңінен қолданады.

*Кальмаллойдар* салыстырмалы аз магнит индукциясына ие, сондықтан бұл материалдардан жасалған магниттік біліктердің үлкен кесіктері бар.

*Термаллойдар* теріс температура әсерінен қасиеттерінің қайтпас өзгерісіне ие; Кюри нүктесі құрамға қатты тәуелді (никель мқлшерін 0,25 %-ға өзгерту Кюри нүктесін -10 К-ге жылжытады); сипаттамалары нашар жаңғыртылады.

Көпқабатты термомагниттік материалдарды қасиеттері әртүрлі термомагниттік балқымалардан жасалған жалпақтарды немесе жолақтарды бірге илемдеу жолымен алады. Көпқабатты материалдардың талап етілетін сипаттамаларын қажетті қасиеттері бар және қалыңдықтағы бастапқы жолақты таңдау есебінен алады. Олардың қасиеттері: қанығудың магниттелгендік көрсеткішінің магниттік өріс кернеулігіне тәуелділігі төмен; қанығу өрісі параметрлері кішігірім; материалдардың қажет етілетін қасиеттерін алдын ала есептеу мүмкіндігі; алынатын сипаттамаларының алуан түрлілігі; дайындау технологиясының біртептілігі.

Кюри температурасы төмен магниттік жұмсақ материалдарды оң аймағы кеңейтілген температуралар диапазонында жұмыс істейтін құрылғыларда қолданады.

Термомагниттік материалдарды температуралық қателіктің орнын толтыру немесе берілген заң бойынша ауа қуысындағы

магниттік индукция өзгерісін қамтамасыз ету үшін магниттік шунттар мен қоспа кедергілер ретінде; берілген температураны ұстап тұру үшін индукциялық пештерде немесе іске қосыл сәті температураға байланысты релелерде пайдаланылады.

**Магниттік стрикциялық материалдар.** Бұл материалдар қалдық индукциямен  $B_c$ , коэрцитивті күшпен  $H_c$ , қанығудың магнитострикциялық пішін өзгерісімен  $\lambda_s$  (қанығу магнитострикциясы коэффициентімен) сипатталады:

$$\lambda_s = \Delta l / l,$$

мұндағы  $\Delta l$  — өріс әсерінен пластина ұзындығының өзгеруі;  $l$  — өріс әсеріне дейінгі пластина ұзындығы.

Магнитострикциялық материалдар ретінде никельді, пермендюрлерді (кобальт-темір жүйесінің балқымалары), альферлерді (темір-алюминий жүйесінің балқымалары), никель-кобальт ферриттерді қолданады.

*Никельді* қалыңдығы 0,1 мм өртелмеген таспадан кесіп алынған және 800 °С температураға дейін 15...25 минут бойы ауадақыздырғанда оксидтелген пластиналарды қолданады. Пластиналардан атмосферада да, теңіз суында да тоттануға төзімді пакеттер жинайды.

Никель жоғары тоттануға қарсы қасиеттерге ие; морттық модулінің температуралық коэффициенті кіші; қанығудың магнитострикция коэффициентінің абсолюттік мәні үлкен  $\lambda_s = -35 \cdot 10^{-6}$  («минус» белгісі ұзындығының қысқаруын білдіреді).

*Пермендюрлер* қанығу индукциясы жоғары балқымаларға жатады. Қанығу индукциясы өте жоғары темір ( $B_s = 2,1$  Т), алайда бұйым массасын азайту үшін темірдің кобальтпен және ванадиймен балқымаларын пайдаланады.

Пермендюрлерден ванадиймен қоспаланған темірникель балқымасы әйгілірек, оны енгізу балқыманың суық күйде өңделгіштігін жақсартады.

Ол келесі қасиеттерге ие: шығарылатын материалдардың барлығынан қанығу индукциясы мәнінің ең жоғары болуы ( $B_s = 2,4$  Т), бұл темірмен салыстырғанда, 15...20%-ға массадан және көлемнен үнемдеуге мүмкіндік береді; температуралардың кең диапазонында ( $\lambda_s = (60...70) \cdot 10^{-6}$ ) магнитострикциялық сипаттамалары жоғары; магниттік өткізгіштік мәні үлкен ( $M = 500$ ).

Пермендюрлердің кемшілігі үлестік электрлік кедергісінің аздығы; құнының жоғарылығы; кобальт пен ванадийдің тапшылығы; тоттануға төзімсіздік; нашар механикалық өңделгіштік.

Пермендюрлерді телефон мембраналарын және тұрақты өрістің үстеме магниттеуі күшті тұрақты немесе әлсіз алмаспа магниттік

өрістерде жұмыс істейтін бұйымдарды дайындау үшін қолданады.

*Никель-кобальт ферриттері* басқа магнитострикциялық материалдармен салыстырғанда үздік жоғары жиілікті қасиеттерге, құрылымдық-технологиялық басымдықтарға ие, беріктігі төмен, жылу өткізгіштігі төмен.

Беріктігінің және жылу өткізгіштігінің төмендігін ескере отырып, магнитострикциялық ферриттерді электромеханикалық және магнитострикциялық сүзгілердің дәлме-дәл түрлендіргіштерінде, акустикалық қабылдағыштарда және қуаты аз және орташа сәулелеуіштерде қолданады.

### **Бақылау сұрақтары**

1. Магниттік жұмсақ және магниттік қатты магниттік материалдар қандай қасиеттерге ие?
2. Магниттік ақпарат тасығыштарға арналған материалдар қандай?
3. Магнитодиэлектриктерді қалай алады?
4. Темірдің магниттік қасиеттері қандай?
5. Магниттік қатты материалдар ретінде қандай болаттарды қолданады?
6. Пермаллойлардың ерекшелігі неде?
7. Магнитодиэлектриктерді алу технологиясы қандай?

## ЭЛЕКТРОНДЫҚ ТЕХНИКА БҰЙЫМДАРЫНА АРНАЛҒАН МАТЕРИАЛДАР

Электрондық техника бұйымдары габариттік өлшемдерінің үлкен еместігімен ғана емес, оларда өтетін физикалық-химиялық процесстердің күрделілігімен сипатталады. Оларды дайындау үшін эпитаксия, диффузия, фотолитография, термовакуумдық шандату және т.б. процесстерді пайдаланады. Бұл процесстерді арнайы өндірістік жайларда – бітеу аймақтарда жүргізеді. Олар тазалық дәрежесі жоғары алуан түрлі материалдарды (өткізгіштерді, жартылай өткізгіштерді, диэлектриктерді) қолдануды қажет етеді, өйткені олардың элементтерінің өлшемі қосылатын қоспалармен өлшемдес. Нәтижесінде жартылай өткізгіш интегралдық сұлбаларды, гибридітік-үлбірлі және көпкристаллды үлкен интегралдық сұлбаларды, баспа монтажды құралдарды алады. Сонымен қатар, көмекші материалдар ретінде (газдар-тасығыштар, газдар-жұмыс орталары, фоторезистер, айқындағыштар, жуғыш ертінділер және т.б.) таза немесе өте таза материалдарды пайдаланады. Кейбір материалдарды (мәселен, фоторезистерді) шетелден, кейбіреулерін – тікелей жұмыс орындарында қосымша тазалайды.

### 7.1. Жартылай өткізгіш интегралдық сұлбаларға арналған материалдар

Құрылымдық-технологиялық орындалуы бойынша интегралдық сұлбаларды (ИС) жартылай өткізгіш, гибридітік-үлбірлік және т.б. деп бөледі.

*Жартылай өткізгіш* деп барлық элементтері және элементарлық қоспалары жартылай өткізгіш материал көлемінде және (немесе) бетінде орындалған интегралдық сұлбаларды атайды.

**Көпкристаллдык кесектерді алу және тазалау.** Жартылай өткізгіш құрылғылардың көбісін жартылай өткізгіш пластиналардан немесе кристаллдардан әзірлейді. Оларды көпкристаллдык кесектерден алады. Монокристаллдык кесектерді алу үшін тигельсіз аймақтық балқыту, балқымадан және гарниссаж балқымасынан суырып алу (Чохральский әдісі) әдістерін қолданады.

Кесектерден пластиналарды алу кезінде шығынды азайту мақсатында интегралдық микросұлба өндірісінде кремнийдің,

сапфирдің, корундтың және т.б. монокристаллдық түптөсеміне салатын микрокристаллдық эпитаксиалдық жұқа үлбірлер түріндегі жартылай өткізгіш материалдарды қолданады.

Микрокристаллдарды және эпитаксиалдық қабаттарды алу әдістері. 4.2.2-бөлімде келтірілген.

**Жартылай өткізгіш пластиналарды алу.** Жартылай өткізгіш материалдар жоғары қаттылығымен және морт сынғыштығымен ерекшеленеді, сондықтан оларды өңдеу үшін арнайы әдістерді қолданады. Кесектерді пластиналарға кесуді болат төсемдермен, абразивтер қолдана отырып, сыммен, құрамында алмазы бар ішкі кескіш жиекті тегеріштермен жүзеге асырады.

Кесер алдын кесек арнайы мастикалармен жақтауға бекітіледі. Кесу өнімдерін алып тастау және жылуды кесу аймағына жіберу үшін салқындатқыш сұйықтық беріледі (әдетте кальцийлендірілген соданың 5%-дық ертіндісі).

Кескен соң пластиналарды тегістейді және жылтыратады.

Жартылай өткізгіш пластинаны тегістеуді талап етілетін қалыңдық пен жалпақтық параллельдігін алу үшін пайдаланады. Бұл ретте пластинадан кесекті кескенде бүлінген беттің қабаты алынып тасталады.

Пластинаны жақтауларға арнайы құрамдармен бекітеді де алдымен бір жағынан, кейін оны жақтауға тегістелген жағымен қайтадан жабыстырып, басқа жағын тегістейді. Тегістеу процессінде тегістегіш суспензияны үздіксіз беріп отырады.

Тегістеу үшін түрлі ұнтақтар мен пасталарды пайдаланады.

Тегістеуге арналған абразивті ұнтақтар басқа материалдармен және минералдармен салыстырғанда қаттылығының жоғарылығымен ерекшеленеді. Абразивтік кезкелген табиғи немесе қолдан жасалған материал бола алады. Оның түйірлері қатты, абразивтік қабілетке ие, механикалық және химиялық төзімді, яғни басқа материалдарды кесуге және тегістеуге қабілетті болуы тиіс.

Өзара абразивті материалдар түйірлерінің өлшемдерімен (ірілігімен) ерекшеленеді. Түйір өлшемі кескен, тегістеген және жылтыратқан кезде жартылай өткізгіш материалдардың бетіндегі механикалық бүлінген қабатты жату тереңдігіне айтарлықтай әсер етеді.

*Электрокорунд* алюминий оксиді ( $Al_2O_3$ ). Оны химиялық таза оалюминий оксидін балқыту нәтижесінде алады. Балқытылған күйден қатты күйге өткенде алюминий оксиді а-корундқа кристаллданады. Өз кезегінде ол қаттылығы бойынша алмаз бен кремний карбидіне ғана жол беретін ақ түсті өте қатты зат (микрoқаттылығы  $(1,8...2,4) \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup> шектерінде); Моос шкаласы бойынша қаттылығы 9. Электрокорундтың тығыздығы  $D = 4$  г/см<sup>3</sup>, жұмсару температурасы  $T_p = 1750$  °С, балку температурасы  $T_{бал} =$

2050 °C; морттық модулі  $\omega = 7,6 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>.

Мөлшеріне байланысты  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ажыратады:

- таза глиноземді балқыту арқылы алатын ақ электрокорунд (98,5-тен 99,5 % дейін  $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
- бокситті көмірмен балқыту арқылы алатын қалыпты электрокорунд (91,0-ден 96,0 % дейін  $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
- көмір қоспай, темір бокситін балқыту арқылы алатын қара электрокорунд (65,0-ден 75,0 % дейін  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Корундты қуаты 10 кВт-ға дейінгі ашық доғалы электрлік пештерде балқытады. Бастапқы шикізат кальций, кремний, магний, күкірт және т.б. оксидтері қосылмаған боксит.

*Кремний карбиді* (SiC) кремнийдің көміртеппен морт сынғыш химиялық қоспасы. Оның микроқаттылығы  $3,4 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>; Моос шкаласы бойынша қаттылығы 9,2; тығыздығы  $D = 3,16 \dots 3,39$  г/см<sup>3</sup>; қысқан кездегі беріктік шегі  $\sigma_c = 2,5 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>.

Химиялық таза кремний карбиді түссіз, ал техникалығы қоспаларға байланысты ашық-жасылдан қараға дейін өзгереді.

Кремний карбиді жарылу бағытының жазықтығы бойынша бір-бірімен әлсіз байланысқан өлшемі 2-ден 15 мм дейінгі жұқа алтыбұрышты пластинка түрінде кристаллданады.

Кремний карбиді – электрокорундтың абразивтік қабілетінен шамамен екі есе артық жоғары кескіш қасиеті бар жақсы абразивті материал.

Кремний карбидін 2000 °C-дан жоғары температурада электрлік пештерде кремнийдің көміртеппен қоспасын қыздырғанда алады. Шихтаны ерітіп қорытады, суыған соң гидромониторлармен бұзады да сұрыптайды.

Кремний карбидін екі түрмен шығарады:

- жасыл, оны өндіргенде шихтаға 6 %-ға дейін (массасы бойынша) қайнатылған тұз (NaCl) және құрамында 85%-ға дейін SiC бар аморфтық кремний карбидін қосады;
- қара, жасылдан SiC пайыздық мөлшерімен, морт сынғыштығының жоғарылығымен және қаттылығының төмендігімен ерекшеленеді.

*Бор карбиді* (BC) бордың көміртеппен баяу балқытын қоспасы. Ол қаттылығы бойынша барлық абразивті материалдарды басып озады, алмазға ғана жол береді. Оның тығыздығы  $D = 2,5$  г/см<sup>3</sup>; термотөзімділігі 500...600 °C; ыдырау температурасы  $T_{\text{ыд}} = 2350$  °C; қысқан кездегі беріктік шегі  $\sigma_c = 1,9 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>; басқа абразивтерден гөрі жоғары морт сынғыш. Ауада жоғарылау температурада ұзақ уақыт болғанда бор карбиді қышқылданып, көміртексізденеді, сондықтан

<sup>1</sup> Гидромонитор (*гр.* сөзі hydor су, ылғал + монитор) — тығыз, үлкен жылдамдықпен ұшатын су ағысын жасауға және оны басқаруға арналған құрылғы; гидромеханизацияның негізгі құралдарының бірі.

оны тегістеу үшін үлкен жылу түзусіз режимде ұнтақ түрінде қолданады.

Бор карбидін өндіру үшін бастапқы шикізат бор қышқылы мен мұнай коксы болып табылады. Шихтаны балқытады, балқытқаннан кейін алынған өнімді ұсақтайды, сұрыптап, түйірлік топтары бойынша сыныптайды.

Алмаздық тегістеу ұнтақтары алмаздық түйір қоспалары. Олардың кристаллдық пішіні дұрыс болады. Түйір өлшеміне микроскоптың зат үстелінде түйір проекциясының ұзындығы мен енінің қосындысының жартысын алады. Алмаз ұнтағының негізгі фракциясы ретінде осы ұнтақта саны бойынша басым түсетін белгілі бір өлшемдегі түйірлердің жиынтығын айтады.

Түйір өлшемі, алу және бақылау әдісі бойынша алмаз ұнтақтарды тегістеуұнтақтар және микроұнтақтар деп ажыратады.

Алмаз ұнтақтардың сапасы түйірлік мөлшерімен, беріктігімен, абразивтік қабілетімен және өңделген беттің бұдырлығымен сипатталады. Микроұнтақтардың абразивті қабілеті тегістелген корунд массасының жұмсалған алмаз микроұнтағына қатынасымен анықталады.

Жартылай өткізгіш материалдарды механикалық өңдеу үшін синтетикалық алмаздан алынған алмаздық тегістеу ұнтақтарын; табиғи алмаздардан алынған тегістеу ұнтақтарын, олардың қысуға беріктігі түйірлігіне байланысты және алмаз түйірлері артқан сайын артады; алмаздық тегістеу ұнтақтарына қарағанда, түйір өлшемдері кішкентай болатын алмаздық микроұнтақтарды пайдаланады.

Тегістеу пасталары түрлі түйірліктегі алмаз микроұнтақтарынан және жоғарымолекулалық-беттік белсенді заттардан тұрады.

Алмаздық микроұнтақтың пайыздық мөлшеріне байланысты жоғары концентрациядағы (В), орташа концентрациядағы (С), төмен концентрациядағы (Н) және төмендетілген концентрациядағы (П) алмаз пасталары шығарылады.

Түйірлігіне қарай пасталарды консистенциясы бойынша қатты (Т), қою (Г), жақпамай тәрізді (М) және сұйық (Ж) деп бөледі.

Тегістеген соң пластина бетінде бүлінген беттік қабат қалады, оны жылтырату әдісімен кетіреді.

---

<sup>1</sup> Сыныпталу (*лат.* сөзі *classis* — разряд + *facere* — істеу) — пайдалы қазбаны бөлінегін бірліктерді ажыратуды пайдалана отырып, ұсақ материалдарды бөлек ірілік сыныптарына бөлу арқылы байыту; арнайы аппараттарда — сыныптауыштарда жүзеге асырылады.



Жылтыратуды екі сатыда жүргізеді:

- түйірлерінің өлшемі 3 мкм аспайтын алмаз ұнтағы негізінде жасалған суспензияны пайдалана отырып мата материалдарда алдын ала жылтырату (кетірілетін қабат қалыңдығы 2,5 мкм кұрайды);

- замш немесе теріде түйірлерінің өлшемі 1 мкм алмаз микроұнтақтарын пайдалана отырып, түпкілікті жылтырату.

Жартылай өткізгіш материалдарды механикалық өңдегенде түрлі жылтыратқыш пасталары мен жылтыратқыш құрамдарын қолданады.

Жылтыратқыш пастасы органикалық негіздің тамшылау температурасы 44 °С және 0,5 мкм аспайтын микротегісестіктің терендігі максималды жасыл түсті зат.

Пастаның құрамына 62...65 % хром оксиді; А және В белгісіндегі 10...12 % мұнай парафині; 35...38 % олеин, стеарин, күкірт қышқылдары, натрий және калий хромпикасы кіреді.

Жылтыратқыш пастасын мақта, жұқа киіз және тері шеңберлерінде – жылтыратқыштарда бұйымдарды жылтырату үшін қолданады.

*Хром оксиді* ( $Cr_2O_3$ ) құрамындағы таза өнімі  $Cr_2O_3$  есептегенде кемінде 98.99 % және ылғалы көбінде 0,15 % жасыл түсті ұнтақ.

Хром оксидін екіхромқышқыл аммонийді күкіртпен қалпына келтіру арқылы алады. Алынған балқыманы  $SO_4$  иондарынан және басқа суда еритін тұздардан сумен шаяды да жуылған хром оксидінен түйіршіктері тиісті өлшемдегі фракцияны алады. Хром оксидін германий, кремний, галлий арсениді және кремний карбониді пластиналарын жылтырату үшін кең пайдаланады.

*Екіхромқышқыл аммоний* сарғылт-қызыл түсті кристалл зат. Ол суда ериді және жұқа хром оксидінің ұнтағын дайындау үшін қолданылады.

*Полирит* түрлі реңкегі қоңыр түсті ұнтақ. Сирекжерлік металлдардың 97 % құрайды, соның ішінде церий оксидінің 45 %-ына дейін. Полирит әйнекті және жартылай өткізгіш материалдарды жылтырату үшін қолданады.

Жылтыратқыш құрамы аэросил, глицерин, диэтилдиамин, этиленгликоль және ионсыздандырылған су.

Жартылай өткізгіш материалдарды жылтырату үшін көбенесе үш құрамды қолданады:

- 1) 1000 мл ионсыздандырылған су; 120 мл аэросил-380; 50...70 мл глицерин; 100...200 мл этилендиаминнің су ертіндіс;

- 2) 1000 мл ионсыздандырылған су; 100...150 мл аэросил-300; 50...70 мл этиленгликоль; 50.150 мл диэтламин;

- 3) 1000 мл ионсыздандырылған су; 40...80 мл аэросил-380; 20...40 мл аэросил-300; 50...70 мл глицерин; 100...200 мл эти-

лендиамин; 50...150 мл 30%-дықсугегі асқын тотығы.

*Аэросил* таза кремний диоксидінің борпылдақ көкшіл-ақ ұнтағы. Оның молекулалық массасы  $m = 60,08$ ; өрт-жарылысқауіпсіз; уытты, тозаңын жұту өкпе ауруына шалдықтырады (аэросил тозаңының өндірістік жайлардың ауасындағы шекті рұқсатты концентрациясы —  $1 \text{ мг/м}^3$ ).

Аэросилдегі қоспалардың мөлшері 0,003 % темір оксидінен; 0,05 % алюминий оксидінен; 0,02 % титан диоксидінен; 0,025 % тұз қышқылынан; 2,3 . 4,0 % ылғалдан аспауы тиіс.

«Элплаз» жылтыратқыш ұнтағы әлсіз жасыл реңді ақ түсті қоспа. Бөлшектерінің өлшемі — көбі 0,5 мкм. Оны жартылай өткізгіш пластиналарды эпитаксиалды өсіру алдын ақырғы жылтырату үшін қолданады. Мұндай ұнтақты үш маркада шығарады: А, Б және В. Тегістеуді және жылтыратуды тегістегіштер мен жылтыратқыштар көмегімен жүргізеді. Ол үшін түрлі материалдарды пайдаланады.

**Тегістегіштерді және жылтыратқыштарды дайындауға арналған материалдар.** Тегістегіштер ретінде шойынна, болаттан, мыс балқымасынан, әйнектен, ағаштан, текстолиттен, текстовиниттен жасалған беті жалпақ тегеріштерді пайдаланады. Жұмыс тегеріші деп аталатын тегеріштің жалпақ бетіне жартылай өткізгіш пластиналарды немесе кристаллдарды бекітеді де оларға абразивті суспензия құяды.

Жылтыратқыштар үшін түрлі маталармен немесе синтетикалық үлбірлермен тартып оралатын тегістегіш тегеріштерді пайдаланады. Материалды таңдау мата мен үлбірдің абразивті суспензиямен үйлесімділігіне, қызмет мерзіміне және талап етілетін бетті өңдеу жиілігіне байланысты. Жылтыратқыштарды дайындау үшін көбінесе жұқа киізді, толтырғышы пластикті жұқа киізді, велюрді, түкті былғарыны, күдеріні, кигізді, фланельді және т.б. пайдаланады.

*Шойын* қара металлдар тобына жатады және темірдің көміртегімен балқымасы болып табылады.

Домна пештерінде балкитын шойын тағайындалуы бойынша құйылатын және шекті болып бөлінеді.

Көміртегі мөлшері және графитті қоспалардың пішіні бойынша шойынды ақ, сұр, қақталатын және жоғарыберік деп бөледі.

*Болат* бұл да темірдің көміртегімен балқымасы, бірақ оның шойыннан айырмашылығы көміртегі мөлшерінің адығында. Көміртекті болаттар жақсы механикалық қасиеттерге ие; беріктігі жеткілікті; механикалық жүктемелерге төзімді; ылғалды жұмыс жағдайларында тоттануға төзімділігі қанағаттанарлық.

Тегістегіштерді дайындау үшін *жездер* (мыстың мырышпен балқымасы) мен *қолаларды* (мыстың мырыштан басқа кез-келген

металлмен балқымасы пайдаланады (3-тарауды қар.).

*Әйнектің* түрлі маркаларын қалыптарға ыстықтай құю және алынған жартылай фабрикатты тиісті механикалық өңдеуден өткізу әдісімен тегістегіштерді дайындау үшін пайдаланады.

*Сығымдалған сүрек* алдын ала буланған немесе қыздырылған табиғи сүректі нығыздап, кейін кептіріп, жылулық өңдеуден өткізу жолымен алады. Нығыздау түріне байланысты сүректің екі түрі болады:

- ДПО және ДПО-В белгісіндегі бірсыткі көлденеңінен нығыздалған білеу (ылғалға төзімді) түріндегі сүрек, оны дайындау үшін қайыңды, бүкті және көктеректі пайдаланады;

- ДПД белгісіндегі жарылу және жару көрсеткіштері арттырылған екісыткі көлденеңінен нығыздалған сүрек, оны дайындау үшін қайың, бүк, көктерек, қызылқаың және қандыағаш пайдаланылады.

*Текстолитті* түрлі маталарды ыстық шайырға сіндіріп, кейін сығымдау жолымен алады (5-тарауды қар.). Текстолиттен қалыңдығы мен диаметрі әртүрлі тегістегіш тегерішін дайындайды.

*Әйнекпластик* негізі әйнекмата, ал сіндіргіш құрамы – эпоксид шайыры болып табылатын материал. Стеклопластиктің тығыздығы  $D = 1,85 \text{ г/см}^3$ ; су жұту қабілеті төмен; қызуға төзімділігі жоғары; механикалық беріктігі жоғары.

Стеклопластикті тегістегіш тегеріштерді дайындау үшін пайдаланады.

*Текстовинит* поливинилхлоридті тесікті және тесіксіз жабыны бар мақта мата. Оның созылымдық қасиеті бар; су, бензин, керосин және түрлі майлардың әсеріне төзімді; сүртілгіштігі мен термотөзімділігі төмен  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Тексовит тегістегіш шеңберді тартып байланығанда жылтыратқыш материал ретінде пайдаланылады.

*Пластері* былғары хром талшығын каучук желімімен жабыстыру арқылы дайындалған өлшемі  $600 \times 600 \times 5 \text{ мм}$  пластина. Оның беріктік шегі  $\sigma = 10^7 \text{ Н/м}^2$ ; үзілген кездегі салыстырмалы ұзаруы 40 %; бензинде шылқығыштығы 30 %. Оны тегістеген және жылтыратқан кезде түптөсем ретінде пайдаланады.

*Винилистері*  $T$  виниполимерлік шайырмен және табиғи талшықтан жасалған кигізбен жағылған желімдеуші затпен жабылған материалды білдіреді. Кигіздің үйкеу арқылы ылғал өңдегенде түсінің беріктігі — кемінде 4 ұпай.

*Керзі* созылуға беріктік шегі  $\sigma_p = 2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  каучук ертіндісіне сіндірілген мақта мата; 10 000 айналымнан кейін сүртілуге төзімділігі  $0,35 \text{ Н/м}^2$ . Керзіні бұйымдарды тегістегенде түптөсем ретінде пайдаланады.

*Ворсит* түкті жағына каучук қоспасының бірнеше қабатын

кезекті түрде жағылатын вельветон. Оның үзілген кездегі созылуы 20 %; сүртiлуге төзімділігі  $5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2$ , 1 000 айналымда. Ворситті бұйымдарды тегістегенде түптөсем ретінде қолданады.

*Күдері* бұғы, бұлан, қошқар терісінен илеп алынған төмен және қалың түкті тері.

*Кигіз* қалыңдығы 2,5-тен 20 мм дейін жалпақ түрінде дайындалған жұқажүнді материал. Жыртылған кездегі созылуы 135% аспайды; қалыңдығы 2 мм  $\sigma_p = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  жыртылуға беріктік шегі; қалыңдығы 5 мм  $\sigma_p = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  жыртылуға беріктік шегі. Жалпақ кигізден жылтыратқыштар үшін тегеріш жасайды.

Жартылай өткізгіш материалдарды механикалық өңдеу процессінде пластиналарға кеске кезде кесектерді бекітеді, тегістегенде пластиналарды бекітеді, жылтыратқанда және кристаллдарға бөлгенде. Кесектерді бекіту үшін эпоксид шайырларын, БФ желімін, полистирол пайдаланады. Пластиналар мен кристаллдарды балауыз, парафин, шеллак, пицеин, глифталъ лагі көмегімен бекітеді.

**Кесектерді, пластиналар мен кристаллдарды желімдеуге арналған материалдар.** Мұндай материалдарға эпоксид шайырлары, желімдер, полистирол, балауыз, парафин, канифоль және т.б. жатады.

*ЭД-5 және ЭД-6 эпоксид шайырлары* ашық-сарыдан ашық-қоңыр түске дейінгі мқлдір тұтқыр сұйықтықтар. Желімдегіш құрамды эзірлеу үшін эпоксид шайырларына қатайтқыштар, пластификаторлар, толтырғыштар және сұйылтқыштар қосады.

БФ желімі (БФ2, БФ4, БФ6) сарыдан қызыл-құба түске дейінгі мқлдір не бұлыңғыр сұйықтық. Оны фенолформальдегидті және поливинилбутираль шайырларын араластыру арқылы алады. Ол басқа түрлі материалдарға қарағанда, жоғары желімдегіш қасиетке ие; түрлі материалдар үшін желімдік байланыс беріктігі  $2 \cdot 10^6$  -дан  $3,5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$  дейін құбылып тұрады; қызуға төзімділігі — 180 °С. Жартылай өткізгіш кесектерді бекіту үшін желімнің абразивті микроұнтақпен қоспасын пайдаланады.

*Полистирол* біртекті тұтқыр сұйықтық туғыза отырып, толуолда еритін ақ түсті ұнтақ. Жұмсару температурасы  $T_{жұм} = 80...85 \text{ °С}$ , балқу температурасы  $T_{бал} = 140...160 \text{ °С}$ .

Кесектер мен түптөсемдерді бекіту үшін полистиролды эмульсия түрінде пайдаланады. Оны желімделетін бетке жағып, 850 °С температурада бірнеше сағат бойы кептіреді немесе қалыңдығы 0,2...0,3 мм үлбір түрінде пайдаланады.

Ол кезде онымен кесектерді орап, 85 °С температурада 5 сағат бойы қыздырады.

*Балауыз* сары түсті жануар және өсімдік тұқымдас термопластиктік материал. Ол суда ерімейді және көптеген

заттарға төзімді; бензинде ериді; жұмсару температурасы  $T_{жұм} = 60...70$  °С; 70 °С жоғары температурада түптөсем бетімен ағады, ал салқындатқанда қатып, қатты үлбір қалыптастырады. Балауызды тегістегіш және жылтыратқыш планшайбамен жартылай өткізгіш пластиналарды желімдегенде пайдаланады.

*Парафин* ақ түсті термопластикті материал. Оның құрылымы ірікристаллды борпылдақ келеді. Бұл оның суыған кезде үлкен тұнба туғызатынын шарттайды (10...12 %); балку температурасы  $T_{бал} = 50...55$  °С.

Парафинді парафин мұнайын айдағанда бөлінетін дистилляторлардан алады. Суытқанда парафин кристаллсызданады. Тез суытқанда парафинде көптеген ауа көпіршіктері пайда болады. Алынған өнімді күкірт қышқылымен тазартып, балшықпен ағартады.

Жартылай өткізгіш пластиналарды бекіту үшін тегістегіш және жылтыратқыш планшайбаларды 60...70 °С-ға дейін қыздырады, парафинмен жауып, оларға пластиналарды қояды, соның үстіне арнайы жүк қояды. Планшайбалар суыған соң парафин планшайбаның пластмассамен бек байланысын қалыптастыра отырып, қатады.

*Канифоль* морт сынғыш, мөлдір, әйнек тәрізді сары түсті масса. Оны төрт маркада шығарады: А, Б, В және Г. Оның барлық маркаларында жұмсару температурасы бар:  $T_{жұм1} = 68$  °С,  $T_{жұм2} = 66$  °С,  $T_{жұм3} = 54$  °С,  $T_{жұм4} = 73$  °С; күлділігі 0,07 % аспайды; механикалық қоспалары 0,03-тен 0,1 % дейін; мұнай және өсімдік майларында, сұйық көмірсутектерде, спиртте, скипидарда және т.б. ериді. Канифольды қылқан жапырақты ағаш шайырынан сұйық құрамбөліктерін айдау арқылы алады.

*Пицеин* канифольдің 25 бөлігі мен ара балауызының 75 бөлігін араластыру арқылы алынған термопластикті зат. Қоспаны балқытады, ірнеше сағат бойы қайнатады, сүзіп, қалыпқа құяды. Қайнату уақыты пицеин қасиеттеріне әсер етеді де епті жолмен таңдалады. Пицеин көмегімен жартылай өткізгіш пластиналар мен кристаллдарды планшайбаларға бекітеді.

*Шеллак* рендері әртүрлі сары-қоңыр түсті қабыршақты құрылымдағы органикалық қабатты зат. Оның жұмсару температурасы  $T_{жұм} = 80...90$  °С; балку температурасы  $T_{бал} = 110...120$  °С; тығыздығы  $D = 1,04$  г/см<sup>3</sup>; шөгу коэффициенті 3,6 %; су өткізбейтіндігі 5% аспайды; механикалық беріктігі жоғары; спирт пен сілтілерде ериді. Шеллакты таза күйінде және шеллакты-бакелитті мастика түрінде де пайдаланады. Мастиканы ашық оттан алыстау жерде сақтайды.

*Церезин* сарғыштау түсті термопластикті кристалл зат. Оны мұнайдың кейбір сұрыптарынан, сондай-ақ тау балауызынан

алады. Оның ұсақ кристалл құрылымы бар; балқу температурасы парафиндікіне қарағанда, жоғары ( $T_{\text{бал}} = 60...80 \text{ }^\circ\text{C}$ ); суыған кезде тұнуы 7...8%.

*Глифталъ лагі* мөлдір сұйықтықты білдіреді. Құрамы бойынша – канифольмен және өсімдік майымен ынталандырылған синтетикалық алкидті шайыр. Оның қайнау қабілеті жоғары; жұмсару температурасы  $T_{\text{жұм}} = 100...110 \text{ }^\circ\text{C}$ ; үлбірлері мен қабаттарының беріктігі жоғары. Глифталъ лагін жартылай өткізгіш пластиналарды түптөсемге жабыстыру үшін қолданады.

**Пластиналарды тазарту.** Пластиналар мен кристаллдарды механикалық өңдеу кезінде алынған ластықтарды алып тастау (кетіру) үшін сұйық не құрғақ тазалауды пайдаланады. Жартылай өткізгіш пластиналар мен кристаллдарды шаюды қышқылдар, еріткіштер, дистилденген және ионсыздандырылған су көмегімен жүзеге асырады.

Органикалық еріткіштерге авиациялық бензинді, толуолды ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ), ректификатталған этил спиртін ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), метил спиртін ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), техникалық ацетонды, этиленгликольді ( $\text{CH}_2\text{OH}—\text{CH}_2\text{OH}$ ) жатқызады.

**Фотолитография.** Фотолитография кез-келген күрделі пішіндегі микросуреттерді алуға мүмкіндік беретін өте маңызды технологиялық процесс болып табылады. Фотолитография үшін фотографиялық (жартылай өткізгіш пластина бетінде жарыққа сезімтал қабаттарды алуға арналған фотоэмульсиялар), химиялық (еріткіштер, айқындағыштар, бекіткіштер) және оэлектрокшаулағыш (оптикалық әйнек, бояулар, эмальдар, лактар) материалдар пайдаланылады.

**Диффузия.** Өткізгіштігі белгілі бір типтегі жартылай өткізгіш материал алу, онда белгілі бір белгідегі заряд тасығыштарының талап етілетін концентрациясы бар аймақтарды құру, монокристаллда  $p$  — $n$ -өткелдерді және ом контактілерінің аймақтарын құру үшін қоспалар диффузиясын пайдаланады.

Диффузиялық процесстердегі қоспалар ретінде германий мен кремнийге Д.И. Менделеевтің Мерзімдік элементтер жүйесіндегі III-топтың (бор, алюминий, галлий, индий); V-топтың (фосфор, мышьяк, сүрме); I-топтың (күміс, алтын); II-топтың (кадмий, мырыш); VI-топтың (оттегі, селен, теллур) элементтерін пайдаланады.

Диффузонттарды қарапайы қоспаларда қалай болса, оксидтер мен балқыма қоспаларының түрлерінде де солай қолданады. Диффузия процесстерін өткізу үшін түрлі тиглдерді, кассеталарды, қайықшаларды, пайдаланады. Оларды графиттен немесе кварцтан жасайды.

**Пластиналарды кристаллдарға бөлу.** Бұл процесстіекі сатыда

жүзеге асырады. Пластинадағы әр сұлбаны бөлер алдын жұмыс істейтіндігін тексереді де жарамсыздарын арнайы бояумен таңбалайды. Пластиналарды бөлген соң бракталған кристаллдарды бракка шығарып тастайды.

Бірінші сатыда жартылай өткізгіш құрылымдары қалыптасып үлгерген пластинада алмаз кескішпен кристаллдардың бөліну сызығы бойынша терең емес ойық салып, скрайбирлейді. Контактсыз скрайбирлеуді лазермен жүргізеді.

Екінші сатыда пластинаны салынған ойықтар бойымен кристаллдарға бөледі. Пластинаны роликпен сындырғанда оны жұмсақ икемді тірекке қояды да болат, резеңке немесе фторопласт роликпен екі өзара перпендикулярлық бағытта илемдейді.

Икемді таспа көмегімен сындырғанда пластинаның кері жағына тез кебетін эмульсия жағады, ол кепкен соң кристаллдарды сынғаннан ұстап тұратын үлбір түзеті. Пластинаны серіппелі болаттан жасалған икемді тіректегі резеңке таспаға тіліктерін үстіге қаратып орналастырады.

Сфералы тіректі пайдаланғанда пластинканы жұқа үлбірлі пакетке салады. Пакетті сфералық тірекке салады да диафрагмамен қысады. Пластина сфералық тіректегі серпімді резеңке диафрагмамен қысылады да дереу екі бағытта бөлек кристаллдарға сынады.

Егер пластиналардың қалыңдығы скрайбирлеуді қолдануға мүмкіндік ермесе, онда оларды кристаллдарға алмазды тегерішпен бөледі.

**Кристаллдарды корпусқа монтаждау.** Бөлген және химиялық өндеген соң кристаллдарды корпус негізіне желімдер көмегімен, дәнекерлеп немесе эвтетикке отырғызу арқылы монтайждайды.

Желімнің:

- Желімделетін материалдардың кеңеюінің термиялық коэффициентіне жақын термиялық кеңею коэффициенті;

- байланысу беріктігі жақсы және құрылғының жұмыс температуралары диапазонында өз физикалық-химиялық қасиеттерін сақтауы;

- жоғары химиялық төзімділігі

- жоғары электроқшаулағыш және оптикалық қасиеттері;

- процесстің технологиялылығын қамтамасыз ететін тұтқырлығы мен өмір мерзімі болуы тиіс.

Полярлық материалдарды полярлық желімдермен желімдейді, ал бейполярлықтарды – бейполярлықтармен (5-тарауды қар.). Корпус негіздерін металдар мен олардың балқымаларынан, диэлектриктерден жасайды. Кристаллдарды корпус негіздеріне желімдеу үшін ВК-9, К-400 желімдерін пайдаланады.

Кристаллдарды жұмсақ дәнекерлермен дәнекерлеу үшін

кристаллдың кері жағынан алдын ала бор диффузиясымен немесе силицидті қалыптастырумен ом контактісін алады. Кристаллды төсем арқылы тез балқитын дәнекерлермен дәнекерлейді. Кристаллды төсемі арқылы корпус негізіне қарай қысады да сутегі атмосферасында балқығанша қыздырады.

Үлкен өлшемді кристаллдарды дәнекерлеу үшін 25 % күмстен; 25 % германийден, 50 % қорғасыннан тұратын балқымадан қалыңдығы 100...200 мкм төсемдер қолданады.

Кристаллды корпус негізіне бекіткен кезде алтын жалатылған коварынан кристаллдың кері жағына қалыңдығы 1,0 мкм қалайы үлбірін шашыратады. 240...260 °С температура кезінде дәнекерлеген кезде эвтетика қалыптасады. Ол 20 % алтыннан; 80 % қалайыдан тұрады.

Жұмыс температурасы жоғары емес құрылғылар үшін кристалл монтажын индий негізінде төментемпературалық дәнекерлеумен жүзеге асырады.

Кристаллдарды корпус негізіне бекіту үшін галлий немесе индий пасталарын да пайдаланады. Галлий пасталары тез қышқылдануына байланысты бейтехнологиялы және қауіпсіздік техникасы талаптарының қатаң сақталуын талап етеді. Индий негізінде келесі құрамдағы пастаны дозалап енгізуді пайдаланады: 36,4 % индий; 33,6 % қалайы; 30 % мыс.

Кристаллды корпус негізіне бекіту үшін эвтетика көмегімен отырғызу алаңшасына корпус негізінде не корпусстың бүкіл негізіне алтын жабын жағады. Кристалл өлшемдері үлкен болғанда ЗлСу-01 балқымасынан алтын төсеме пайдаланады, бұл кремнийдің *p*-типi үшін (электрондық), *n*-типіндегі кремний үшін (тесікті) ЗлГл-01 балқымасынан.

Эвтетика кристалл материалы мен алтын арасында олардың өзара еру процессінде дәнекерлегенде пайда болады. Оны шамамен 430 °С температурада орындайды.

Эвтетика құрамына 94 % алтын және 6 % кремний (салмақтық) немесе 70 % алтын және 30 % кремний (атомдық) кіреді. Кристаллдарды корпусстың ішкі шықпаларына дәнекерлеу немесе микродәнекерлеу арқылы қосады.

Жатылай өткізгіш интегралдық микросұлбаларды миниатюралық корпусстарда немесе корпуссық орындамада әзірлейді. Корпуссыз жартылай өткізгіш микросұлбаларды гибридік-үлбірлі интегралдық сұлбаларда, көпкристаллды үлкен интегралдық сұлбаларда және микрожинамаларда қолданады.

Корпуссыз белсенді элементтерді жартылай өткізгіш пластинада дискреттік шықпасыз кристаллдар түрінде жіткізеді.

Жұмсақ сым өткізгіштер үшін алтынды, алюминийді, никельді қолданады. Қатты шықпаларды діңгекшелер, шариктер және



арқалықтар немесе желектер түрінде орындайды.

**Бітеу.** Корпустық бітеуге шықпалары жұмсақ сымды және желекті кристаллдар жатады. Монтаждау үшін түптөсемге кристаллдардың барлық түрін пайдаланады.

Корпустар микросұлбаларды климаттық және механикалық әсерлерден қорғайды. Корпус шықпалары бар негізден (іргетастан) және қақпақтан тұрады.

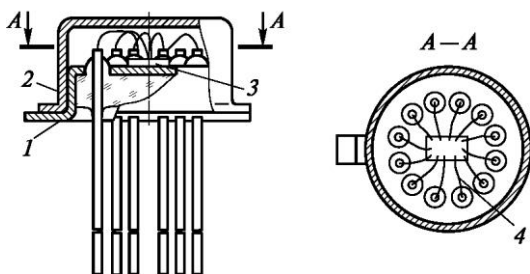
Шықпаларының орналасуы бойынша корпустар шықпалары үшкі және жалпақ деп бөлінеді. Қолданылатын материалдары бойынша корпустар металлэйнекті (7.1-сурет), металлокерамикалық (7.2-сурет) және металлопластмассалық (7.3-сурет) болып бөлінеді.

Металлэйнекті корпустар қадауышты металл шықпалары әйнекпен оқшауланатын металл негізден және металл қақпақтан тұрады. Шықпалары жалпақ корпустар қаңқа түріндегі корпустен және екі қақпақпен жабдықталады. Астыңғы қақпаққа төсемді орнатады, ал үстіңгі қақпақпен корпусты бітейді. Мұндай корпустарды әзірлеу үшін никель және темірникель балқымаларын пайдаланады.

*Никель* металл жарқылдағы күшті көрінетін күміс-сұр түсті металл. Табиғатта ол мыстан гөрі көбірек таралған және күкірт, силикат және күкірткүшәла кен орындарында кездеседі.

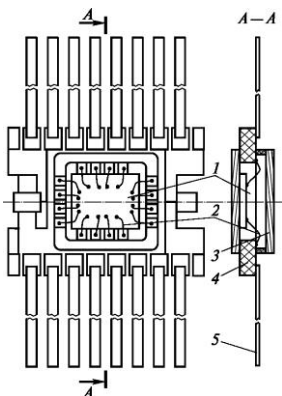
Бөлме температурасында никель химиялық азбелсенді, ал температура 400 °С жоғары болғанда оттегімен бірге қышқылданады.

Никель оңай созылады және механикалық өңделеді. Сутегі атмосферасында ол қатты және жұмсақ дәнекерлермен дәнекерленеді, контактілі дәнекерлеу әдістерімен жақсы дәнекерленеді.

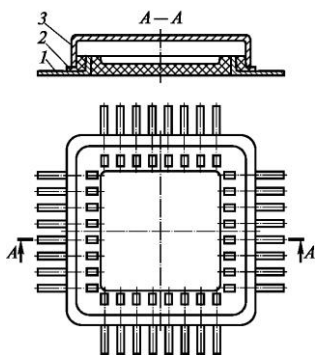


7.1-сур. Металлэйнек корпусындағы микросұлба:

1 — корпус негізі; 2 — корпус қақпағы; 3 — микросұлба кристаллы; 4 — контакт шықпасы



7.2-сур. Металлокерамикалық корпустағы микросұлба:  
1 — микросұлба кристаллы; 2 — контакт шықпасы; 3 — корпус қақпағы; 4 — корпус негізі; 5 — жалпақ шықпа



7.3-сур. Интегралдық сұлбалар үшін жалпақ металлпластмассалық корпус:  
1 — корпусың жалпақ шықпасы; 2 — корпус қақпағы; 3 — корпус негізі

Сутегі температураның жоғарылауына қарай никельде жақсы ериді, жоғары жылдамдықпен диффундирленеді және одан вакуумда қыздырғанда оңай шығады.

Корпус бөлшектерін әзірлеу үшін НП2 маркасының никелін қалыңдығы 0,1-ден 2 мм дейін, ені 300 мм дейін суықтай илемделген таспа, сондай-ақ сым түрінде пайдаланады.

Никель сымы корпус шықпаларын дайындау үшін пайдаланылады. Ол диаметрі 0,03-тен 12 мм дейін, салыстырмалы ұзаруы 25% өртелінген және өртелінбеген күйде шығарылады. Сымның беті тегіс, дақ, кемік, сызат, көпіршіктер, ойықтар болмайды, бұл вакуум-тығыз металлэйнек дәнекерлемелер алуға мүмкіндік береді.

Ковар 28,7...29,2% никельден, 17,3...17,8% кобальт пен темірден (қалғаны) тұрады. Бұл балқыманың жылу өткізгіштігі аз, сондықтан сызықтық кеңеюдің термиялық коэффициенті бойынша кремниймен және әйнекпен жақсы үйлеседі; тоттануға төзімділігі қанағаттанарлық; технологиялылығы жоғары; үлестік электрлік кедергісі жоғары, бұл ковардан, никельден және болаттан жасалған бөлшектерді қосу үшін электрлік дәнекерлеуді қолдануға мүмкіндік береді.

Ковар түрлі материалдармен гальваникалық және химиялық тәсілдермен жақсы жабылады (никель, алтын). Тігісті контактілі роликтік дәнекерлеме процессінде вакуумдық-тығыз (герметикалық) дәнекерлік тігістер түзеті.

Металлэйнек корпустарының шықпаларын оқшаулау үшін баяу балқитын боросиликат әйнегін (мәселен, С52-1 маркасындағы) пайдаланады.

Металлокерамикалық корпустар металл шықпалары мен металл қақпағы бар керамикалық негізден тұрады.

Металлокерамикалық корпустардың шықпалары керамикамен оқшауланады, ол бейорганикалық тұздарды минералдармен және металл оксидтерімен біріктіру жолымен алынатын қатты тығыз материал. Бастапқы материалдарды пластикті және пластикті емес деп бөледі. Пластикті еместерге бейорганикалық тұздар, минералдар, металл оксидтері және карбонаттар жатады. Пластикті болып дайындамалар мен бөлшектерді безендіруді жеңілдететін балшықты материалдар болып табылады.

Керамикалық материалдар кристалл, әйнек тәрізді және газды фазалардан тұрады.

Керамикалық бөлшектерді дәнекерлеуге мүмкіндік беретін керамиканың металлдандыру үшін баяу балқитын металлдардың таза ұнтақтарын қолданады.

Металлдандыру үшін қолданылатын материалдарға байланысты молибдендік, молибдендік-марганецтік және карбидтік технологияларды ажыратады.

Молибден технологиясында темірді аздап қосумен молибден пастасын қолданады.

Молибден-марганец технологиясы кезінде 55% металл молибденнен, 17,5% марганецтен, 23% молибден оксидінен, 4,5% ұнтақ әйнегінен, 20мл қосқыш заттан және шихтаның 100 грамына 22,5 мл амиацетаттан тұратын пастаны қолданады.

Карбидті металлизация кезінде титан, вольфрам, молибден монокарбидтері, сондай-ақ баяу балқитын металл боридтері ұнтақтарын карбональ темір, никель және кобальт ұнтақтарымен қосындылаудан алынған пастаны қолданады.

Металлопластмассалық корпус металл шықпалары және металл қақпақтары бар пластмассалық негізден тұрады. Оның бітеулігі төмен, өйткені температура күрт төмендегенде пластмассаның металлмен жанасу орындарында сызаттар пайда болады.

Корпустарды пайкамен, лазерлік немесе тігісі контактілі роликті дәнекерлеумен бітейді. Микросұлбалардың аз шығынға бітеулігін бақылау үшін гелий, элегаз, үлкен шығынға – этиленгликоль, уайт-спиритті пайдаланады.

## 7.2. Гибридтік-үлбірлі және көпкристаллды үлкен интегралдық сұлбаларға арналған материалдар

Гибридтік-үлбірлі интегралдық сұлбалар (ГҮС) пассивті элементтері жұқа не қалың үлбір түрінде, ал активтілері – аспа дискретті элементтер түрінде орындалатын микросұлбалар. Олар жұқа не қалыңүлбірлі технология әдістерімен өткізгіштер мен контактілі алаңшалар жағылатын түптөсемдерден тұрады. Түптөсемдерді корпус негіздеріне жапсырып орнатады. Түптөсемдерге корпуссыз аспа элементтер (микроконденсаторлар, резисторлар және жартылай өткізгіш кристалл: диодтар, транзисторлар, интегралды микросұлбалар) жапсырылып немесе дәнекерленіп орнатылады. Интегралдық сұлбаларды лазерлік дәнекерлеумен, тігісті контактілі роликтік дәнекерлеумен немесе пайкалаумен бітейді.

### Жұқаүлбірлі интегралдық сұлбалар.

Жұқаүлбірлікке монтаждау сымдары мен пассивті элементтері қалыңдығы 10 мкм аспайтын жұқа үлбірлер түрінде орындалатын интегралдық сұлбалар жатады.

Жұқа үлбірлі интегралдық микросұлба төсемдері келесі қасиеттерге ие болуы тиіс:

- қолжетімді және материалы арзан;
- беттік және көлемдік электрлік кедергісі үлкен;
- диэлектрлік өткізгіштігі аз;
- жылу өткізгіштігі жоғары;
- механикалық беріктігі жоғары;
- термотөзімді;
- температуралардың ыдырау әсеріне төзімді;
- химиялық төзімді.

Бұл талаптарға белгілі материалдардың ешбірі жауап бере алмайды. Төсемдер үшін жиі пайдаланылатын материалдар әйнек, әйнек керамикалық материалдар (ситалл, поликор), керамика және синтетикалық сапфир.

Жұқа үлбірлерді (резисторлар, конденсаторлар, жалғайтын өткізгіштер, контакт алаңшалары) термиялық; катодтық, иондық-плазмалық не магнетрондық тозандау әдісімен алады.

Резистивті үлбірлер үшін металлдар мен металлокерамикалық қоспаларды пайдаланады.

Конденсаторлар үшқабатты құрылымға ие өткізгіш-диэлектрик-өткізгіш.

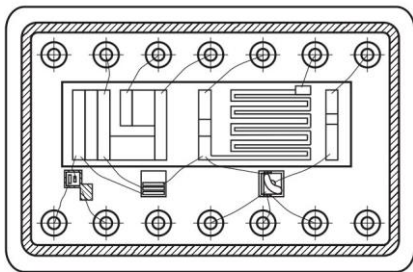
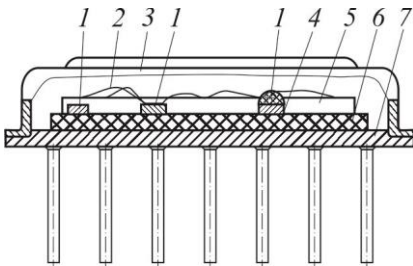
Диэлектрлік қабатсыздану үшін қолданылатын материал кремний диоксиді, германий оксиді, халькогенид әйнегі, алюминий, тантал, татан оксидтері және т.б.

Жалғайтын өткізгіштерге және қалыңдығы 0,5...5 мкм контактілі алаңшаларға арналған материалдар:

- электрлік кедергісі төмен  $\rho$ ;
- тоттануға төзімділігі жоғары;
- үлбірдің түптөсеміне және басқа материалдарына жақсы адгезия болуы тиіс.

Бұл талаптарға екіқабатты үлбірлер жатады, онда бір қабаттың төсемдерге адгезиясы жақсы, ал екіншісі дәнекерленуді қамтамасыз етеді.

Төсемдерді корпус негіздеріне желімдердің не дәнекерлеу көмегімен орнатады.



7.4-сур. Гибридтік микросұлба:  
 1 — белсенді құрамбөліктер; 2 — контактілі шықпа; 3 — корпус қақпағы; 4 — дәнекерлеме; 5 — сұлбаның пассивті бөлігі бар ситалл түптөсем; 6 — керамикалық негі; 7 — корпус негізі

Желімдердің жылу өткізгіштігін арттыру үшін оларға ұнтақ тәрізді толтырғыш қосады. Толтырғыш ретінде бор нитридін жиі пайдаланады, ол ақ не сәл сарғылттау түстегі диэлектрлік материал. Оның құрамына 43,6 % бор және 56,2 % азот кіреді; қоспалардың қосынды мөлшері (темір, кремний, мыс, кальций, магний) 0,05 %-дан аспайды. Бор нитридiнiң құрылымы монокристалл және поликристалл және тығыздығы жоғары  $D = 2,24 \text{ г/см}^3$ . Ол бөлме температурасында көптеген химиялық қоспаларға төзімді, ал  $100^\circ\text{C}$  температурада балқытылған металлдармен және газдармен әрекеттеседі.

Бор нитридiң химиялық пиролизикалық шөктіру әдісімен алады. Жылу өткізгіштігі жоғары ұнтақтардан гөрі бор нитридін

тигельді материал ретінде пайдаланады.

Желімдегіш құрамдардың көмегімен немесе төментемпературалық жұмсақ дәнекермен дәнекерлеудің арқасында тақтаға корпуссыз аспа элементтерді де бекітеді.

Аспа элементтердің шықпаларын және сыртқы шықпаларын тақтаның контактілі алаңшаларына қосуды алтыннан, никельден

жасалған икемді өткізгіштермен дәнекерлеу арқылы жүзеге асырады.

Гибридтік-үлбірлі интегралдық сұлбаларды металлэйнек не металлокерамикалық корпустарға пайкалап не дәнекерлеп бітейді (7.4-сурет).

Корпустардың өткізгіш бөлшектері үшін (негіздері, қақпақтары, шықпалары, шықпа қаңқалары) таза металлдарды немесе никель және темір негізінде алынған балқымаларды қолданады (7.1-бөлімшені қар.)

### **Қалыңүлбірлі микросұлбалар.**

Қалыңүлбірлі микросұлбаларда жалғайтын өткізгіштерді, контактілі алаңшаларды және қалыңдығы 10 мкм пассивті элементтерді өткізгіш пасталарды өртеу жолымен алады.

Түптөсем материалдары жоғары глинозем керамикасы (бәрінен бұрын 22ХС маркалы), оны қысыммен құю немесе кейіннен өртей отырып, сығымдаумен алады.

Қуатты гибридтік-үлбірлік микросұлбаларда бериллий оксидінен жасалған түптөсемдерді қолданады, оның жылу өткізгіштігі глинозем керамикасына қарағанда, тоғыз есе жоғары. Мұндай керамиканың беріктігі төмен, құны жоғары және бериллий уыттылығы жоғары, бұл оны өндеуді қиындатады.

Түптөсемдер минималды қалыңдығы 0,6 мм тікбұрышты пішінде болады. Түптөсемнің минималды алаңы 6 мм<sup>2</sup>, максималдысы — 500 мм<sup>2</sup>.

Үлкен қуатты ыдыратуды талап ететін қалың үлбірлерді алу үшін өткізгіш, резистивтік, диэлектрлік және қалайылайтын пасталарды пайдаланады. *Өткізгіш және резистивтік* пасталар 3.7.2-бөлімшеде келтірілген.

*Диэлектрлік пасталарды* оқшаулау қабаттарын және конденсаторларын жасау үшін қолданады.

Резисторлар мен конденсаторларды ылғал әсерінен қорғау үшін арнайы жабындар қолданады (глазурьлер). Глазурьлер ретінде резисторлардың электрлік кедергі шамасына әсер етпейтін жеңіл балқитын әйнектер пайдаланылады.

*Қалайылайтын пасталар* төментемпературалық дәнекерлеме мен органикалық қосқыштан тұрады. Органикалық қосқыш зат құрамына канифоль негізінде алынған флюо кіреді. Қалайылайтын пасталарды контактілі алаңшаларға траферет баспасымен жағады. Пастаның балқуы барысында қосқыштың негізгі бөлігі буланып, жанып кетеді.

Трафареттерге арнайы талаптар қойылады, бұл оларды пайдалану шарттарымен анықталады:

- қаттылық және морт сынғыштық;

- түптөсемге нығыз жату үшін бетті өңдеу жиілігінің жоғарылығы;

- химиялық төзімділік.

Торлы және фольгаланған трафареттер қолданылады.

**Торлы трафареттер** нейлоннан немесе диаметрі 0,04...0,07 мм шірімейтін сымнан жасалады.

**Фольгаланған** трафареттер (металл бетперделер) қалыңдығы паста қабатының қалыңдығына тең биметаллдардан<sup>1</sup> (қорғасын-никель) әзірлейді. Жакқан сң паста кварц муфелімен<sup>2</sup> конвеерлік пештерде жанады.

**Көпкристаллды үлкен интегралдық сұлбалар.**

Көпкристаллды үлкен интегралдық сұлбалардың (КҮИС) құрылымдық негізі көпдеңгейлі тарамды, үлбірлі пассивті элементтері және аспа активті элементтері бар коммутациялық тақта болып табылады. Белсенді элементтер ретінде корпуссыз интегралдық микросұлбаларды қолданады, олар корпустандырылған ұқсастарына қарағанда, 70 есе жеңіл және 30 есе аз алаң алады.

Өткізгіш материал ретінде, әдетте, алюминийді, ал үлбірлі өткізгіштерді тесіп өтетін орындарда қабатаралық оқшаулау үшін – полиамид лагін ПАК-1 пайдаланады.

Аспа элементтер ретінде шықпалары сымды не желекті алюминий корпуссыз интегралдық сұлбаларды пайдаланады. Кристаллдарды монтаждауды инертті ортада алдын ала толып қалған тұнба орындарына дәнекерлеумен жүргізеді.

Микросұлбалардың монтаждау операциялары, бітелуі және бітелгендігінің бақылануы ұқсас.

### 7.3. Баспа монтажды құрылғыларға арналған материалдар

Баспа тақталары электрондық құрылғылардың монтаждау элементтерінің бірі болап табылады.

Баспа тақта деп өлшемі бойынша кесілген және қажетті тесіктері бар және жоқ дегенде бір өткізгіш суреті бар негіз материалы болып табылады. Аспа элементтері бар баспа тақта 7.5-суретте келтірілген.

---

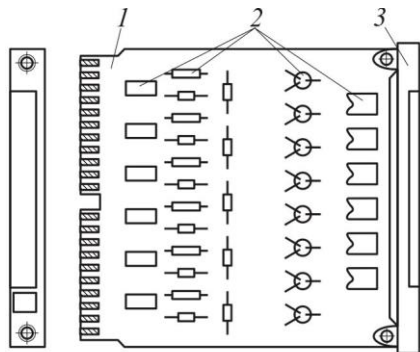
<sup>1</sup> Биметалл (*лат.* сөзі бі— екі (x)... + .металлдар) — әртекті металлдар мен балқымалардың екі қабатынан тұратын металл материал.

<sup>2</sup> Муфель (*нем.* сөзі Muffel— пеш) — ішіне өртену өнімдерінің әсерінен сақтандыру мақсатында қыздырылатын не өртелетін бұйымдар салынатын өртке төзімді немесе ыстыққа төзімді материалдан жасалған жабық камера немесе ыдыс.

Баспа тақталардың негізгі түрлері біржақты (ББТ), екіжақты (ЕБТ), көпқабатты (КБТ), икемді баспа тақталары (ИБТ) және икемді баспа шоғырсымдары (ИБШ) болып бөлінеді.

Баспа тақта негіздерін толырғыш материалының типі бойынша гетинакқа, текстолитке, әйнектекстолитке және әйнекматақа бөлінетін фольгаланбаған немесе фольгаланған қабатты пластиктерден әзірлейді (5.2.4-бөлімшені қар.).

Баспа тақталарды тікбұрышты пішінде дайындайды. Кез-келген жағының максималды өлшемі 470 мм аспауы тиіс. Тақта өлшемін үлкейткенде олардың қаттылығы мен дірілге төзімділігі төмендейді.



7.5-сур. Аспа элементтері бар баспа тақта:

1 — беткі жағы; 2 — радиоэлементтері;  
3 — беткі планкасы

Баспа тақталардың дайындамаларын тегерішті не гельотин қойшылармен тегерішті фрезасын түсіріп контуры бойынша кеседі. Кесу барысында сайманды қысылған ауамен суытады, ал шанды сорады.

Тақтаның түпкілікті контурын баспа өткізгіштерді дайындағаннан кейін кесу немесе фрезерлеу арқылы алады.

Дайындаманы бұрғылаумен немесе тесумен алатын бекіткіш тесіктер көмегімен бекітеді. Тесуді әдетте материал қалыңдығы 0,5 мм дейін болғанда қолданады. Монтаждау тесіктерін салқындат сұйықтығын қолданусыз қатты балқымадан жасалған кондуктор көмегімен бұрғылап тесу нәтижесінде алады. Бұл үшін дайындамаларды қалыңдығы 4,5 мм аспайтын пакетке жинап, басқаруы сандық білдектерде бұрғылайды.

Баспа өткізгіштер үшін өткізгіш материал ретінде басым түрде құрамындағы қоспалары 0,05% аспайтын, шекті ұзаруы 5...6% және қалыңдығы 5,105 мкм электролитикалық мысты пайдаланады.

Көпқабатты баспа тақталарды дайындаған кезде оқшаулау материалымен байланысқан болуы тиіс мыс беті мыс фольгасы мен негіз материалы арасындағы іліністі жақсарту үшін жиі оксидтеліп отырады.



Өткізгіштердің талап етілетін суретін алу үшін фоторезистпен жауып баспа өткізгіштер мен контактілі алаңшалар суретін негіз материалына салу тәсілі болып табылатын фотошаблондарды пайдаланумен фотобаспаны қолданады.

*Фоторезисттер* экспонирленгеннен кейін полимерленіп, ерімейтін күйге өту қасиетіне ие органикалық ертінділердің жұқа үлбірлері. Суреттің қалыптасу тәсіліне қарай фоторезисттерді негативтік және позитивтік деп бөледі.

Монтаждау тесіктерінің металлдануын химиялық және гальванизациялық әдіспен жүзеге асырады. Металлдану процесі келесі негізгі операциялардан тұрады:

- екіхлорлы қалайы, тұз қышқылы және металл қалайысы ертіндісінде 5,7 минут бойы жүріп, кейін дистильденген суда шайылатын процесс сенсбилизация деп аталады; нәтижесінде тесіктердің қабырғасының бетінде палладий үшін қалпына келтіруші болып табылатын екіхлор қалайысы иондарының үлбірі қалыптасады;

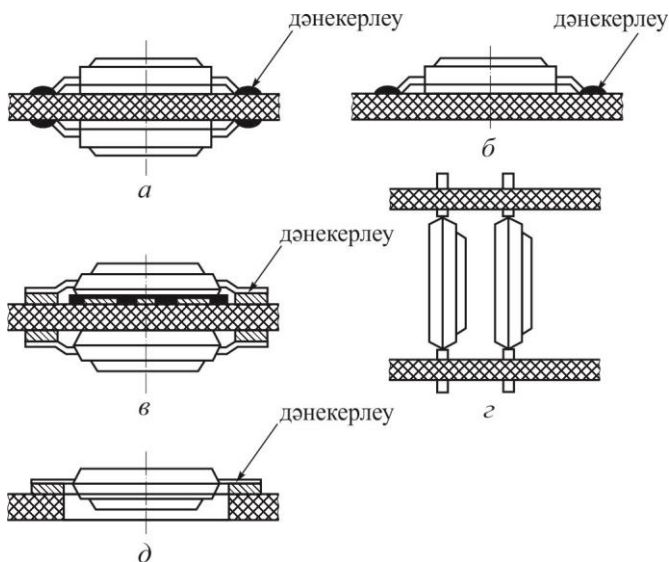
- екіхлорлы палладийдің және аммиактың су ертіндісінде 5...7 мин бойы жүретін активация; нәтижесінде металл палладий қалыптасады;

- мысты ертіндіден болған белсендендірілген беттерде қалпына келтіруде болып есептелетін химиялық мыстану; гальваникалық мыстану өткізгіш жабындардың жабық контурын талап етеді;

- өңдеген кезде өткізгіш суретті сақтандыру мақсатында қалайы-қорғасын балқымасының гальваникалық шөгугі;

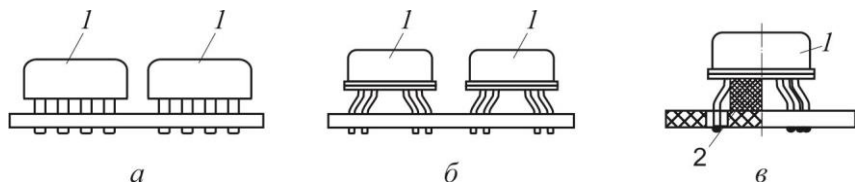
- алдын ала тазартуды, металлды жеке өңдеуді, өңдеуден кейінгі тазартуды және фоторезистті жойыды өз ішіне алатын өңдеу процесі; суретті баспа тақталарды өңдеуді қолданады, бүрку арқылы өңдеуді, сорғалатып өңдеу.

Баспа тақтаға шықпалар орнатар алдын аспа дискретті элементтерді қалайыландырады, кеседі және қалыптайды.



7.6-сур. Шықпалары жалпақ интегралдық сұлбаларды орнату тәсілдері:

*a* — тақтаның екі жағынан; *б* — тақтаның бір жағынан; *в* — түптөсемге; *г* — тақталар арасына; *д* — тақта тесіктеріне



7.7-сур. Шықпалары қадауышты интегралдық сұлбаларды баспа тақталарға орнату тәсілдері:

*a* — шықпаларды қалыпқа салмай; *б* — шықпаларды қалыпқа салып; *в* — түптөсемге; *1* — интегралдық сұлба; *2* — диэлектрлік төсем

Бөлшектерді немесе шықпалары далпақ корпустандырылған микросұлбаларды желімге бекітіп не бекітпей орнатады, бірақ кейін шықпаларын тақтаның контактілі алағшаларына дәнекерлеп бекітеді (7.6-сурет). Шықпалары қадауышты микросұлбаларды монтаждау тесіктеріне кейіннен толқынмен дәнекерлеу арқылы немесе қолмен жүзеге асырылады (7.7-сурет).

## Бақылау сұрақтары

1. Қандай материалдар абразивті деп аталады, олардың қасиеттері қандай?
2. Қандай материалдардан тегістегіштер мен жылтыратқыштарды әзірлейді?
3. Түптөсемдерден ластықтарды кетіру үшін қандай материалдарды қолданады?
4. Гибридтік-үлбірлі және көпкристаллдық интегралдық сұлба түптөсемдеріне арналған материалдарға қойылатын талаптар қандай?
5. Микросұлба корпустарын әзірлеу үшін қолданылатын материалдардың негізгі қасиеттері қандай?
6. Баспа тақталарды дайындау үшін қандай материалдарды пайдаланады?
7. Монтаждық тесіктерді қандай материалдармен металлдайды?

## ӘДЕБИЕТ ТІЗІМІ

1. *Бер А. Ю.* Жартылай өткізгіш құрылғылар мен интегралдық микросұлбалар жинағы: оқулық / А. Ю. Бер, Ф. Е. Минскер. — 2-ші бас., қайта өңделіп, толықтырылған — М. : Жоғары мектеп, 1981. — 284 б.

2. *Гимпельсон В.Д.* Құрылғы құрылысына және есептеуіш техникаға арналған жұқаульбірлі микросұлбалар / В.Д. Гимпельсон, Ю. А. Радионов. — М. : Машина құрылысы, 1976. — 328 б.

3. *Калинин Н.Н.* Электрорадиоматериалдар : оқулық / Н.Н. Калинин, Г.Л. Скибинский, П.П. Новиков ; түзеткен Н.Н. Калинина. — М. : Жоғары мектеп, 1981. — 293 б.

4. *Курносое А. И.* Жартылай өткізгіш құрылғылар мен интегралдық сұлбаларға арналған материалдар : оқу құралы / А.И. Курносое. — 2-ші бас., қайта өңделіп, толықтырылған — М. : Жоғары мектеп, 1980. — 327 б.

5. *Никулин В.Н.* Жас электриктің электрлік материалдар мен бұйымдар бойынша анықтамалығы / В. Н. Никулин. — М. : Жоғары мектеп, 1982. — 216 б.

6. *Никулин В. Н.* Электроматериалтану / В. Н. Никулин — М. : Жоғары мектеп, 1984. — 75 б.

7. *Петрое К. С.* Радиоматериалдар, радиокомпоненттер және электроника : оқу құралы / К. С. Петров. — СПб. : Питер, 2004. — 522 б.

8. *Ростоеикое В. И.* Электрорадиоматериалдар : оқу құралы / В. И. Рос-товиков, Б.Е.Черток. — Киев : Жоғары мектеп, 1975. — 283 б.

9. *Сена Л. А.* Физикалық шамалардың бірлігі және олардың өлшемділігі / Л. А. Сена. — М. : Ғылым, 1977. — 336 б.

10. *Ушакое Н. Н.* ЭЕМ өндіру технологиясы: оқулық / Н. Н. Ушаков. — 3-ші бас., қайта өңделіп, толықтырылған — М. : Жоғары мектеп, 1991. — 416 б.

11. Электрорадиоматериалдар : оқу құралы / [Б. М. Тареев, Н. В. Короткова, В. М. Петров, А. А. Преображенский] ; түзеткен Б.М. Тареева. — М. : Жоғары мектеп, 1978. — 336 б.

# МАЗМҰНЫ

Алғы сөз.....	3
<b>1-тарау. Материалдар құрылысы туралы жалпы мәліметтер .....</b>	<b>4</b>
1.1. Байланыс түрлері .....	4
1.2. Кристалл материалдар .....	8
1.3. Аморфтық және аморфтық-кристалл материалдар .....	13
1.4. Нанокристалл материалдар .....	14
1.5. Материалдардың фазалық құрамы .....	16
<b>2-тарау. Электрорадиоматериалдардың сыныпталуы .....</b>	<b>19</b>
2.1. Материалдардың электрлік қасиеттері бойынша сыныпталуы .....	20
2.2. Материалдардың магниттік қасиеттері бойынша сыныпталуы .....	23
<b>3-тарау. Өткізгіш материалдар .....</b>	<b>29</b>
3.1. Өткізгіш материалдардың сыныпталуы .....	29
3.2. Өткізгіш материалдардың негізгі қасиеттері мен сипаттамалары .....	33
3.2.1. Электрлік қасиеттері .....	33
3.2.2. Механикалық қасиеттері .....	34
3.2.3. Жылылық қасиеттері .....	40
3.2.4. Физикалық-химиялық қасиеттері .....	41
3.2.5. Технологиялық қасиеттері .....	42
3.3. Өткізгіштігі жоғары материалдар .....	43
3.3.1. Мыс және оның балқымалары .....	44
3.3.2. Алюминий және оның балқымалары .....	48
3.3.3. Теміржәне оның балқымалары .....	50
3.3.4. Натрий .....	51
3.4. Кедергісі жоғары материалдар .....	52
3.4.1. Өткізгіштік резистивтік материалдар .....	52
3.4.2. Үлбірлі резистивтік материалдар .....	55
3.4.3. Терможұптарға арналған материалдар .....	59
3.5. Түрлі қолданыстағы өткізгіштік материалдар және балқымалар .....	60
3.5.1. Берік металлдар .....	60
3.5.2. Баяу балкитын металлдар .....	62
3.5.3. Түрлі қолданыстағы металлдар .....	67
3.6. Асқын өткізгіштер және криоөткізгіштер .....	71
3.6.1. Асқын өткізгіштер .....	71
3.6.2. Криоөткізгіштер .....	74
3.7. Бейметалл өткізгіш материалдар .....	74
3.7.1. Электрбұрыштық бұйымдарға арналған материалдар .....	74
3.7.2. Өткізгіш және резистивтік композициялық материалдар .....	78
3.7.3. Контактталар .....	83
3.8. Жылжыма түйіспелерге арналған материалдар .....	85
3.8.1. Сырғыма түйіспелерге арналған материалдар .....	86
3.8.2. Ажыратылатын түйіспелерге арналған материалдар .....	87

3.9. Дәнекерлер .....	91
3.10. Металлокерамика.....	96
3.11. Металл жабындар .....	98
3.12. Өткізгіш бұйымдары.....	101
<b>4-тарау. Жартылай өткізгіш материалдар .....</b>	<b>116</b>
4.1. Жартылай өткізгіш қасиеттері .....	117
4.2. Қарапайым жартылай өткізгіштер.....	130
4.2.1. Германий.....	132
4.2.2. Кремний .....	137
4.2.3. Селен .....	145
4.2.4. Теллур .....	148
4.3. Жартылай өткізгіш қоспалар .....	149
4.3.1. $A^{IV}B^{IV}$ түрінің күрделі жартылай өткізгіштері .....	149
4.3.2. $A^{III}B^V$ түрінің күрделі жартылай өткізгіштері .....	151
4.3.3. $A^{II}B^{VI}$ түрінің күрделі жартылай өткізгіштері .....	157
4.3.4. $A^{IV}B^{VI}$ түрінің күрделі жартылай өткізгіштері (мырыш халькогенидтері) .....	160
4.3.5. $A_2^V B_1^V$ түрінің күрделі жартылай өткізгіштері .....	161
4.3.6. Оксидтік жартылай өткізгіштер.....	161
4.3.7. Әйнек тәріздіжартылай өткізгіштер .....	163
4.3.8. Органикалықжартылай өткізгіштер .....	164
<b>5-тарау. Диэлектрлік материалдар .....</b>	<b>167</b>
5.1. Диэлектриктердің қасиеттері .....	167
5.1.1. Электрлік қасиеттері.....	168
5.1.2. Механикалық қасиеттері .....	177
5.1.3. Жылылық қасиеттері .....	179
5.1.4. Ылғалдық қасиеттері .....	183
5.1.5. Физикалық-химиялық қасиеттері .....	186
5.2. Қаттыорганикалық диэлектриктер .....	188
5.2.1. Полимеризациялық синтетикалық полимерлер .....	190
5.2.2. Поликонденсациялық синтетикалық полимерлер.....	199
5.2.3. Электрқшаулағыш пластмассалар .....	205
5.2.4. Қабатты пластиктержәне фольгаланған материалдар .....	209
5.2.5. Үлбірлі электрқшаулағыш материалдар .....	213
5.2.6. Каучуктер негізіндегі электрқшаулағыш материалдар .....	216
5.2.7. Лактаржәне эмальдар.....	220
5.2.8. Компаундтар.....	232
5.2.9. Флюстер.....	235
5.3. Қатты бейорганикалық диэлектриктер .....	236
5.3.1. Әйнек .....	236
5.3.2. Ситаллдар .....	241
5.3.3. Керамика.....	243
5.3.4. Бейорганикалық электрқшаулағыш үлбірлер .....	249
5.3.5. Слюда және оның негізіндегі материалдар .....	253
5.4. Сұйық диэлектриктер .....	256
5.5. Газ тәрізді диэлектриктер.....	264
5.6. Белсенді диэлектриктер.....	273

5.6.1. Сегнетоэлектриктер .....	273
5.6.2. Пьезоэлектриктер .....	277
5.6.3. Электреттер .....	281
5.6.4. Оптикалық генерацияға арналған диэлектриктер .....	283
5.6.5. Электрооптикалық материалдар .....	289
<b>6-тарау. Магниттік материалдар .....</b>	<b>295</b>
6.1. Магниттік материалдардың негізгі сипаттамалары .....	296
6.2. Магниттік материалдардың сыныпталуы .....	299
6.3. Магниттік қатты материалдар .....	301
6.4. Магниттік жұмсақ материалдар .....	308
6.4.1. Тұрақты және төменжиілікті магнит өрістері үшін магниттік жұмсақ материалдар .....	309
6.4.2. Жоғары жиілікті магнит өрістері үшін магниттік жұмсақ материалдар .....	313
6.5. Арнайы мақсаттағы магниттік материалдар .....	319
<b>7-тарау. Электрондық техника бұйымдарына арналған материалдар .....</b>	<b>325</b>
7.1. Жартылай өткізгіш интегралдық сұлбаларға арналған материалдар .....	325
7.2. Гибридтік-үлбірлі және көпкристаллды үлкен интегралдық сұлбаларға арналған материалдар .....	340
7.3. Баспа монтажды құрылғыларға арналған материалдар .....	344
Әдебиет тізімі .....	348

*Оқу басылымы*

**Журавлева Людмила Васильевна**

**Электрлік материалтану**

**Оқулық**

10-шы басылым, стереотипті

Редактор *И.В. Мочалов, Ә. Шапауов*

Техникалық редактор

Компьютер орналасуы: *Р.Ю. Волкова*

Түзеткіштер *И.В. Могилевец, Н.К. Котелина*

Басс. № 110100493. 2014 жылғы 04 сәуірде баспаға кол қойылды. Форматы 60×90 / 16 болып табылады.

The Times гарнитура. Қағаздар. №1. Оффсетті басып шығару. UsI. принтер. л. 22.0.

Тираж 1 200 дана. Тапсырыс №

«Академия» баспа орталығы »ЖШС. [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru) 129085, Мәскеу қаласы, Мира даңғылы, 101Б, 1-б.

Тел. / Факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарлық-эпидемиологиялық есеп № РОСС RU. АЕ51. Н 16476 04.05.2013 ж.

«Тверь полиграфия орталығы» ААҚ-да басылған.

170024, Тверь, Ленин даңғылы, 5. Телефон: (4822) 44-42-15.

Интернет / Бастапқы бет - [www.tverpk.ru](http://www.tverpk.ru). Электрондық пошта (e-mail) - [sales@tverpk.ru](mailto:sales@tverpk.ru).