

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA  
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**Nusratillo Telmonovich Toshpo‘latov**

**ELEKTROTEXNIK MATERIALLAR  
fanidan  
DARSLIK**

**Darslik 60710600 - Energetika muhandisligi (Elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash) va 60711000- Energetika muhandisligi (Muqobil energiya manbalari) ta’lim yo‘nalishlari talabalari uchun yozilgan va O‘zbekiston Respublikasi Oliy o‘quv yurtlari ilmiy – uslubiy birlashmasi faoliyatini Muvofiqlashtiruvchi kengash tomonidan nashrga tavsiya etilgan**



**Toshkent 2025 y.**

Ushbu darslik, institut ilmiy-uslubiy kengashining 24 dekabr 2024 yilda bo‘lib o‘tgan 5 - sonli majlisida ko‘rib chiqildi va chop etishga tavsiya etildi.

Darslik «Elektrotexnik materiallar» fanining na‘munaviy dasturi asosida: 60710600 - Energetika muhandisligi (Elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash) va 60711000- Energetika muhandisligi (Muqobil energiya manbalari) va boshqa bakalavr ta‘lim yo‘nalishlarida tahsil olayotgan talabalar uchun yozilgan. Undan, 5A310201 – «Elektr ta‘minoti» (suv xo‘jaligida), 5A430201 – «Agrosanoat majmui elektrotexnik uskunalari va elektr ta‘minoti» magistrleri va boshqa turdosh ta‘lim yo‘nalishlaridagi bakalavrlar va magistrant mutaxassislar ham foydalanishlari mumkin.

U «Fizika», «Kimyo», «Elektrotexnikaning nazariy asoslari», «Elektr uskunalari montaji va sozlash» fanlari bilan uzviy bog‘liq bo‘lib, unda elektro texnika sanoatida, elektr ta‘minot tizimlarida, elektr qurilmalar va elektr asboblarda ishlatiladigan o‘tkazgich, yarim o‘tkazgich va dielektrik materiallarning bog‘lanish turlari, tuzulishi, tashqi muhit ta‘sirida elektr o‘tkazuvchanlikning o‘zgarish, dielektrik materiallardagi qutblanish jarayonlari, dielektrik sarflar, yarim o‘tkazgich materiallardagi elektr o‘tkazuvchanlik jarayonlari, magnit materiallarning xususiyatlari bayon etilgan.

**Muallif:** **N.T. Toshpo‘latov, t.f.n., dotsent.**

**Taqrizchilar:** **O. Z. Toirov, t.f.d. professor, TDTU**  
«Elektr mashinalar» kafedrasini mudiri

**R. T. Gaziyeva, t.f.n. professor TIQXMMI MTU «TJChA**  
kafedrasini mudiri

© Toshkent irrigatsiya va  
qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash  
muhandisleri instituti-MTU,  
202\_\_yil.

## **Annotatsiya**

Darslikda sanoat, qishloq, suv xo‘jaligi va xalq xo‘jaligi tarmoqlarida elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlashning zamonaviy tizimlari va elektr ta‘minotida qo‘llaniladigan elektrotexnik materiallari haqida asosiy ma‘lumotlar berilgan.

Elektr materiallardan: o‘tkazgichlar, dielektriklar, yarim o‘tkazgichlar, magnit materiallar, elektr o‘tkazuvchanlik xususiyatlariga ega bo‘lgan metall va nometall materiallar, izolyatsiya, magnit materiallarning asosiy xususiyatlari bayon etilgan. Dielektrik materiallarning qutblanishi, dielektrikda elektr o‘tkazuvchanlik, teshilish va energiya isrofi kabi jarayonlar o‘rganilgan.

Har bir materiallar guruhi uchun materialning elektromagnit maydon bilan o‘zaro ta‘sirida sodir bo‘ladigan hodisalarning fizik mohiyati ko‘rib chiqilgan. Materiallarning asosiy elektrofizik xususiyatlari berilgan va ularga turli omillarni ta‘sirida materiallar xossalari o‘zgarishini e‘tiborga olib, ishlab chiqarish, olish va foydalanish texnologiyalari haqida ma‘lumotlar keltirilgan. Elektrotexnik materiallardan elektrotexnika sanoatida, elektroenergetik majmualar, elektroenergetik tizimlarda foydalanishda elektr maydon kuchlanganligi, kuchlanish, harorat, namlik, bosim va boshqa ta‘sirlarni material xususitiga ta‘sirlari haqida ma‘lumotlar berilgan.

Ushbu darslikdan oliy ta‘lim muassasalarining «Elektr energetika (Elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash)» va «Qayta tiklanuvchi energiya manbalari», «Energiya injinerligi» va «Elektr injinerligi» bakalavriat ta‘lim yo‘nalishlari bo‘yicha tahsil olayotgan talabalar uchun tayyorlagan bo‘lib, undan va «Elektr ta‘minoti», «Qayta tiklanadigan energiya manbalari», «Energo audit» mutaxassisliklaridan tahsil olayotgan magistrantlar ham foydalanishlari mumkin.

## **Аннотация**

В учебнике представлены основные сведения о современных системах производства, передачи и распределения электроэнергии в промышленности, сельском, водном и народном хозяйстве, а также других отраслях производства об электротехнических материалах, используемых в электроснабжении.

Приведены основные характеристики электротехнических материалов: проводников, диэлектриков, полупроводников, магнитных материалов, материалов с свойствами электропроводимости, изоляции, магнитных характеристик.

Рассмотрены процессы поляризации, диэлектрическая проницаемость и потери энергии диэлектрических материалах. По каждой группе материалов рассмотрена физическая сущность явлений, происходящих в материалах при их взаимодействии с электромагнитным полем, даны основные электрофизические характеристики материалов и определено влияние на них различных факторов, технологии получения материалов и их применение в электротехнических и электроэнергетических устройствах, элементах автоматического управления и систем релейной защиты и автоматики.

Настоящее учебник предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров по направлению обучения «Электроэнергетика (производство, передача и распределение электрической энергии)» и «Возобновляемые источники энергии», «Энергоинжиниринг» и «Электроинжиниринг» и магистров по специальности «Электроснабжение», «Возобновляемые источники энергии».

### **The summary**

The textbook provides basic information about modern systems for the production, transmission and distribution of electricity in industry, agriculture, water and national economy, as well as other branches of production and electrical materials used in power supply.

The main characteristics of electrical materials are given: conductors, dielectrics, semiconductors, magnetic materials, materials with electrical conductivity properties, insulation, magnetic characteristics.

The processes of polarization, dielectric constant and energy loss of dielectric materials are considered. For each group of materials, the physical essence of the

phenomena occurring in materials during their interaction with an electromagnetic field is considered, the main electrophysical characteristics of materials are given and the influence of various factors on them is determined, technologies for obtaining materials and their use in electrical and electrical power devices, automatic control elements and relay systems protection and automation.

This textbook is intended for students of higher educational institutions studying for bachelors in the field of study “Electric power (production, transmission and distribution of electrical energy)” and “Renewable energy sources”, “Energy engineering” and “Electrical engineering” and masters in the specialty “Electrical supply” , "Renewable Energy Sources".

## KIRISH

Elektromagnit maydoni materiyaning turi bo‘lib, u elektr va magnit maydoni ko‘rinishida namoyon bo‘ladi.

Har qanday modda yoki jismning elektromagnit xususiyati o‘rganilganda uning elektr va magnit maydoni ta‘siriga turg‘unligi yoki moyilligi taqqoslanadi.

Elektrlik xususiyatiga ko‘ra elektrotexnika materiallarining asosiy belgilari elektr o‘tkazuvchanlik darajasi bilan belgilanadi. Elektr o‘tkazuvchanlik darajasi esa uzoq muddatli o‘zgarish kuchlanish ta‘sirida elektrotexnika materialining tarkibidan oqib o‘tuvchi tok miqdori bilan izohlanadi.

Elektr muhofazalovchi materiallar ikki turga: tabiiy va sun‘iyga bo‘linadi. Tabiiy muhofaza materiallar tabiiy holda olinib, qayta ishlash natijasida muhofazalovchi materialga aylantirilsa, sun‘iy muhofaza materiallari kimyoviy moddalar yoki aralashmalardan olinib texnik ishlov berish natijasida hosil qilinadi va ularga dielektriklar deyiladi.

**Dielektrik** material deganda, tarkibidan oqib o‘tuvchi tokka kuchli qarshilik bilan ta‘sir etuvchi material tushuniladi. Ularda kuchli elektr maydonlarning ta‘siri mavjuddir. Shunga ko‘ra dielektrik materiallar kuchli va kuchsiz elektr maydonli elektr o‘tkazgich materiallardan keskin farq qiladi.

Qo‘yilgan kuchlanish ta‘siri ostida materialning elektr tokini o‘tkazishi elektr o‘tkazuvchanlik deyiladi. Elektr tokini yaxshi o‘tkazuvchi materiallar **elektr o‘tkazgichlar** deyiladi.

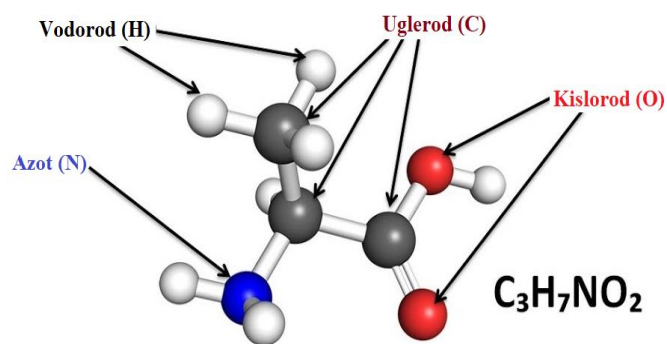
**Elektr o‘tkazgich** materiallar bilan dielektrik materiallar orasidagi o‘rinni yarim o‘tkazgich materiallar egallaydi.

**Yarim o‘tkazgich** materiallarda mavjud bo‘lgan, tashqi muhitning ta‘sirida (bosim, harorat, yoritilganlik, elektr maydonning kuchlanganligi va h.k.) elektr o‘tkazuvchanlik miqdorining o‘zgarib turishi elektrotexnika sanoatida keng miqyosda qo‘llanilishiga omil bo‘ladi.

**Magnit materiallar** deb, elektr magnit maydoni ta‘siri ostida magnit xususiyatlarini namoyon etadigan yoki magnitlanish xususiyatiga ega bo‘lgan materiallarga aytiladi.

Shu erda qisqa bayonnomalarga xotima berib, kelgusida dielektrik materiallar, yarim o'tkazgich materiallar va o'tkazgich materiallar atamasini dielektrik, yarim o'tkazgichlar va o'tkazgichlar deb yuritamiz.

# 1. JISMLARNING TUZULISHI



## 1.1. O'tkazgich, yarim o'tkazgich va izolyatsiya materiallarning xususiyati

Respublikamiz mustaqillikka erishgandan keyingi o'tgan vaqt mobaynida xorijiy texnologiyalar va texnologik liniyalar, avtomatik boshqariladigan va texnologik jarayonlarni kompyuter tizimi nazorati ostida ishlatadigan bir qator zamonaviy uskunalar bilan jihozlangan zavodlar, fabrikalar, kichik korxonalar vujudga keldi. Ushbu ishlab chiqarish korxonalarida texnologik jarayonlarning beto'xtov ishlashi, ishlab chiqariladigan mahsulotning tannarxi va sifati albatta o'z navbatida elektr energetika sohasida ham xorijiy zamonaviy texnikalar va texnik vositalarni kiritishni va ushbu uskunalar asosida energetika tarmog'ini qayta jihozlashni talab etadi.

Muammoning yana bir ko'zga ko'rinmas tomoni Shundaki, ushbu uskunalarni ish faoliyatini mukammal biladigan, vujudga keluvchi avariya va halokatli hodisalarning oldini oladigan yoki uni qisqa muddatlarda bartaraf eta oladigan malakali mutaxassislar ham bevosita bog'liqligidir.

Fan va texnikaning hozirgi kundagi jadal sur'atlardagi rivojlanishi elektr energetika sohalarida yangi zamonaviy materiallar, qurilmalar va asbob uskunalarning kirib kelishiga omil bo'ldi.

Elektrotexnika va elektr energetika sohalarida bir qancha yangi materiallar ishlatilayotgan bo'lib ularning fizik, kimyoviy, mexanik, va termik xossalari ushbu materialning elektrik ko'rsatkichlariga ijobiy yoki salbiy ta'sir ko'rsatadi. Buning boisi materialning tabiiy yoki sun'iy usulda tayyorlanganligidadir.

Agar material tarkibida elektronlar, erkin elektronlar ko'p bo'lib, proton va neytronlar soni oz bo'lsa bunday materiallar yuqori o'tkazuvchanlikka moyil



hisoblanib – tabiiy o‘tkazgich materiallar deyiladi. Buning aksi bo‘lsa tabiiy muhofaza materiali deyiladi. Materiallar fizik holatga qarab gazsimon, suyuq va qattiq o‘tkazgich yoki izolyatsiyalovchi material deyiladi.

Zamonaviy ilm-fan va texnikaning ilg‘or yutuqlaridan foydalanib kimyoviy usulda tayyorlanayotgan materiallar sun‘iy o‘tkazgich, yarim o‘tkazgich yoki muhofazalovchi (dielektrik) materiallar bo‘lib, tarkibida elektronlar, erkin elektronlar, manfiy ionlar va dipol molekular aksariyatni tashkil etsa, bunday materiallar sun‘iy o‘tkazgich materiallar deyiladi. Agarda tarkibida proton, neytron va musbat ionlar soni o‘tkazgich materiallardagi elektr o‘tkazuvchan zarrachalar soniga teng bo‘lsa yarim o‘tkazgich, agarda ulardan ortiq bo‘lsa yomon o‘tkazgich yoki dielektrik materiallar deyiladi.

Elektrotexnika sohasida ishlatiladigan mavjud materiallarini asosan 4 turga bo‘lish mumkin. Bularga o‘tkazgichlar, yarim o‘tkazgichlar izolyatsiya va nihoyat magnitlanuvchi materiallar kiradi.

**O‘tkazgich materiallar** - qattiq metall yoki nometall materiallar bo‘lib, solishtirma o‘tkazuvchanligi juda yuqori va solishtirma qarshiligi juda kichkina bo‘lgan materiallardir. Bularga davriy sistemasidagi aksariyat rangli metallar: oltin, kumush, mis, alyumin va ularning aralashmalari, temir, po‘lat kabi o‘ta o‘tkazgich materiallar misol bo‘la oladi.

**Elektr izolyatsiyalovchi materiallar** ikki turga tabiiy - muhofaza va sun‘iy - dielektrik materiallarga bo‘linadi.

Tabiiy muhofaza materiallariga – yog‘och, rezina, kauchuk, qog‘oz tabiiy mum-saqichlar, paxta mato, o‘simlik moylari, havo va h.k. Shunga o‘xshash tabiiy materiallar kirsam, dielektrik materiallarga sun‘iy usulda olingan – sun‘iy rezina, kapron, polietilen, polixlorvinilid, viniplast, tekstolit, transformator moyi, sovol, sovtol va h.k. kimyoviy sintez usulida olingan materiallar kiradi.

**Yarim o‘tkazgich materiallarda** elektr o‘tkazuvchanlik jarayonida elektronlar ( $n$ ) bilan birga aksariyat teshikli va nuqsonli elektronlar ( $p$ ) hisobiga ro‘y beradi. Shu sababli elektronli  $n-p$  elektr o‘tkazuvchanlik yoki teshikli, nuqsonli yoki  $p-n$  o‘tkazuvchanlik iborasi ishlatiladi.

**Magnit materiallar** elektrotexnika uskunalarida magnit oqimini hosil qilish uchun ishlatiladi. Magnit materiallar temir va uning nikel, kobalt va Shunga o'xshash materiallar bilan birikishi natijasida vujudga kelib, qattiq yoki yumshoq magnitlar hosil qilishda ishlatiladi.

Elektrotexnik materiallar, Shu jumladan dielektriklar texnikada muhim o'rinni egallaydi. Ma'lumki har qanday oddiy yoki murakkab elektrotexnik qurilma yoki radiotexnik asbob - uskuna, uning tarkibiy qismi bo'lgan o'tkazgich, yarim o'tkazgich yoki dielektrik materialsiz to'g'ri faoliyat ko'rsata olmaydi.

Tabiiy izolyatsiya materiallaridan farqli o'laroq, dielektrik materiallar elektrotexnik materiallarning alohida turiga mansub bo'lib, elektromagnit maydoni bilan ta'sirlashganda ma'lum xususiyatlarni namoyon etadi. Bu xususiyatga ko'ra ular elektrotexnika sanoatida asosiy o'rinni egallaydi.

Odatda dielektrik materiallar elektr qurilmalarda elektr muhofazalovchi vosita sifatida ishlatilib, ularning vazifasi oqib o'tuvchi toklarni elektr sxemasida ko'rsatilgan yo'nalish bo'yicha harakatini chegaralashga qaratilgan.

Ayrim hollarda dielektriklar elektromagnit to'lqinlarini tarqatuvchi muhitni vujudga keltiruvchi vosita sifatida ishlatiladi. Har qanday holatda ham dielektriklar passiv pozitsiyani egallaydi, undan muhofazalovchi vosita sifatida foydalanilganda tashqi muhit shartlari, elektromagnit tebranish to'lqinlari ta'sirida dielektrik materiallarda vujudga keluvchi o'zgarishlar va hodisalar inobatga olinmaydi.

Elektr kondensatorlarda dielektriklar ayni olingan aniq holatda talab etilgan sig'imni hosil qiladi. Ammo, oddiy (chiziqli) kondensatorlarda dielektrikka passiv muhofaza qiluvchi sifatida qaraladi.

So'nggi paytlarda elektrotexnika va radiotexnikada aktiv boshqariladigan dielektriklar atamasi bilan dielektrik materiallarga keng o'rin berilgan. Ulardan faqat passiv elektr muhofazalovchi material sifatida emas, balki har xil texnik qurilmalarda sun'iy boshqariladigan va xususiyatini tashqi muhit ta'sirida o'zgartiradigan material sifatida ishlatiladi.

Aktiv dielektriklarga segnetoelektriklar, piezoelektriklar, elektretlar va suyuq kristallar mansubdir.

**Segnetoelektrik**<sup>1</sup>larning dielektrik singdiruvchanligi elektr maydonning kuchlanganligiga va haroratga bog‘liq bo‘lsa, **pezoelektrik**<sup>2</sup>larda mexanik kuchlanish ta‘sirida elektr zaryadini qabul qilish hodisasi ro‘y beradi, tashqi elektr maydon ta‘sir etganda esa deformatsiyalanadi (buziladi, sinadi). **Elektrik** materiallarda o‘rab turgan tashqi maydon ta‘sirida kuchli elektro-statik maydonning vujudga kelishi natijasida elektr zaryadini uzoq muddatgacha saqlash qobiliyatini e‘tiborga olgan holda doimiy magnitlarning ayniyligi sifatida qarash mumkin. Shu sababli “Dielektrik materiallar” tushunchasi “Elektr muhofazalovchi” tushunchasidan birmuncha kengroq ma‘noga ega.

Yaqin o‘tmish zamonlarda elektr muhofazalovchi materiallarni tanlash tushunchasi juda oddiy bo‘lib, aktiv dielektriklardan foydalanish tushunchasi mavjud emas edi. Odatda elektr muhofazalovchi materiallar sifatida elektrotexnika sanoatiga dahldor bo‘lmagan tabiiy materiallar - yog‘och, paxta tolasi, ipak, o‘simlik yog‘i, tabiiy kauchuk, hamda saqichlar, tog‘ jismlari ishlatilar edi. Keyingi paytlarda dielektrik materiallar ishlatiladigan elektr uskunalar, asboblari va elektr uzatish kabel liniyalarida kuchlanish, tok va quvvat bir necha barobarga ortdi. Bu holat esa o‘z navbatida ishchi mashina o‘lchamlarining ortishiga olib keldi. Mashina va uskunalardagi solishtirma quvvatning ortishi esa ishchi mashinalardagi dielektrik materiallarda mexanik yuklama va haroratning ortishiga sabab bo‘ladi. Bir qator hollarda esa yuqori ishchi harorat uskunaning ish faoliyatiga ham bog‘liq bo‘ladi (elektr isitgichlar, katta quvvatli elektrovakuum qurilmalari). Boshqa hollarda esa radio elektronika, aloqa va o‘lchov, nazorat qurilmalarida kichik o‘lchamli, yengil, kam joyini egallaydigan detallardan foydalanish talab etiladi. Har xil integral sxemalar, ko‘p funktsiyali yarim o‘tkazgichli plitalar Shular jumlasidandir. Bundan tashqari qayd etilgan qurilmalarda yuqori kuchlanish va Chastotaning mavjudligi tebranish konturida Chastotani bir maromda saqlab turish va qat‘iy aniqlikda sozlashni talab etadi.

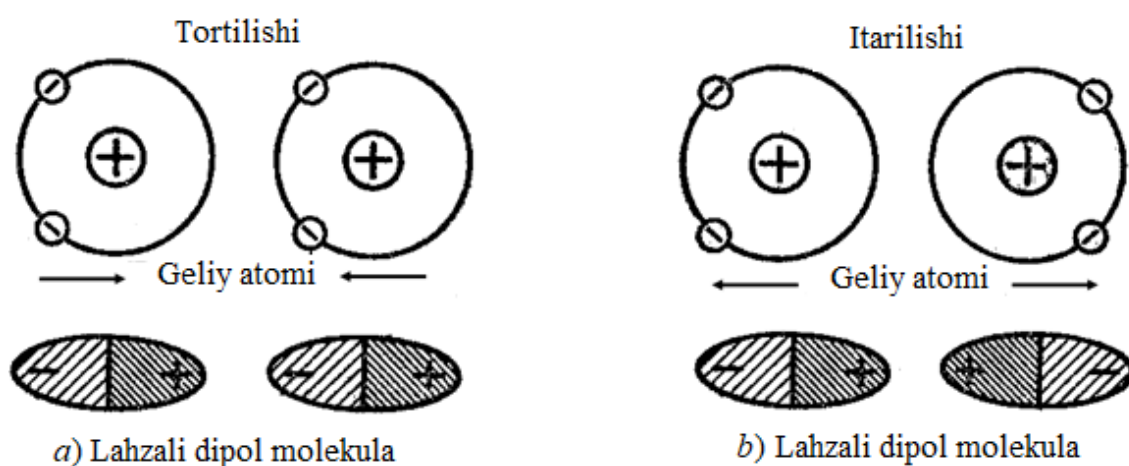
---

<sup>1</sup> **Segnetoelektrik** —magnit kuch chiziqlari yo‘nalishini tashqi maydon ta‘sirida o‘zgartiradigan Spontan (erkin) qutblanuvchi, segnet tuzidan tashkil topgan material.

<sup>2</sup> **Pezoelektriklar** - bu pezoelektrik ta‘sir kuzatiladigan diyelektriklar, ya‘ni deformatsiya ta‘sirida o‘z yuzasida elektr zaryadini keltirib chiqarishi yoki tashqi elektr maydoni ta‘sirida deformatsiyalanishi mumkin.

Yuqori ishchi haroratdan tashqari odatda o'ta past (kriogen) haroratlarda (nolga yaqin) hamda haroratning keskin almashinish (termozarb) holatlari ham uchrab turadi. Ayrim hollarda esa dielektriklar atrof - muhitning o'ta nam holatida (atmosfera-ning yog'inli sharoitida ishlovchi ochiq qurilmalar, kema uskunalari va h.k.), mexanik kuchlar, yuqori gidrostatik bosimlar, zarblar va tebranishlar sharoitida ishlatiladi. Yuqorida qayd etilgan barcha holatlar hozirgi kunda foydalaniladigan elektr materiallar xususiyatini chuqurroq o'rganishni talab etadi.

Bizga ma'lum bo'lgan barcha gazsimon, suyuq va qattiq jismlar molekulalardan, atomlardan hamda atomning yadrosida joylashgan proton, neytron va elektronlardan tashkil topgan. Atomning yadrosi neytronlardan va musbat zaryadlangan protonlardan tashkil topgan bo'lib, yadroning atrofida esa manfiy zaryadlangan elektronlar buluti mavjuddir. Har bir elektronga yadrodagi tortish kuchi bilan birga itarilish kuchi ham ta'sir etadi. Agar o'zaro bog'liklikda bo'lgan atom orasidagi masofa o'zgarsa (uzoqlashsa) atomlar o'zaro tortilishi yoki (yaqinlashsa) bir - birini itarishi mumkin. Bunga geliy molekulasining atomlari orasidagi masofani o'zgartirib, atomlarning tortilishi yoki itarilishini kuzatish mumkin (1.1 - rasm).



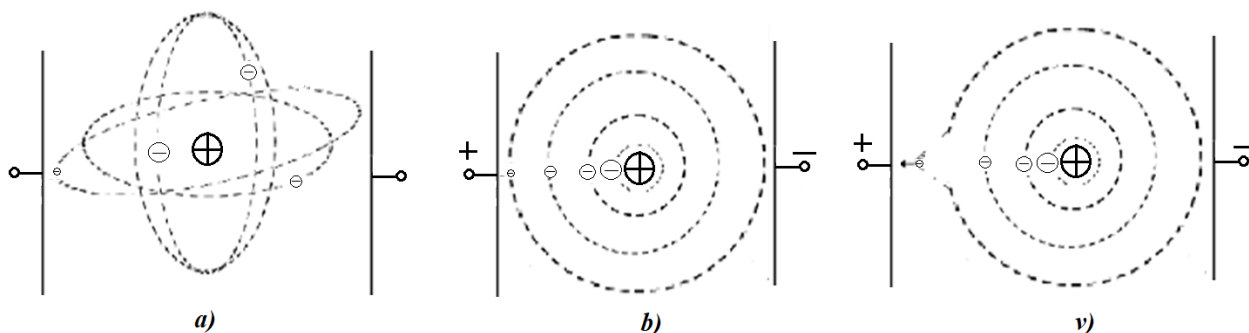
1.1 – rasm. Geliy molekulasining o'zaro ta'sirlashishi:

a - atomlarning bir – biriga tortilishi; b - atomlarning bir-birdan itarilishi.

Chunki yadroga yaqin joylashgan elektronlar yadro atrofida o'ziga xos elektron bulutini hosil qilib, tashqi elektronlarni yadroga tortilish kuchini pasaytiradi (1.2 - rasm). Binobarin, tashqi qobiqning valentli deb atalmish elektronlari yadro bilan

kuchsiz bog‘langandir. Ular bir atomdan uzilib boshqa atomga birikadi, natijada unda tashqi elektronlar qobig‘ini hosil qiladi. Bunday elektronlar *erkin* elektronlar deyiladi.

Bir yoki bir nechta elektron ajralib chiqqan atomning zaryadi musbatga aylansa, bir yoki bir nechta elektronni biriktirib olgan atom esa manfiy zaryadliga aylanadi.



1.2. - rasm. Atomdagi elektronlarning harakat trayektoriyasi:

*a* - elektr maydon ta'sir etmaganda; *b* - elektr maydon ta'sir etgandagi; *v* - elektr maydon ta'sirida tashqi elektronning erkinlashuvi.

Ularning birikishi natijasida hosil bo‘lgan zaryadli zarrachalar **ionlar** deyiladi. Agar molekulaga, elektr nuqtai nazaridan nisbat berilsa qutbli, qutbsiz molekula yoki **ion** iborasi ishlatiladi (musbat, manfiy, neytral ion).

Kimyoviy tarkibiga ko‘ra bir element atomlari tashqi valentli elektronlar hisobiga boshqa elementning atomlari bilan birikib molekulani hosil qiladi.

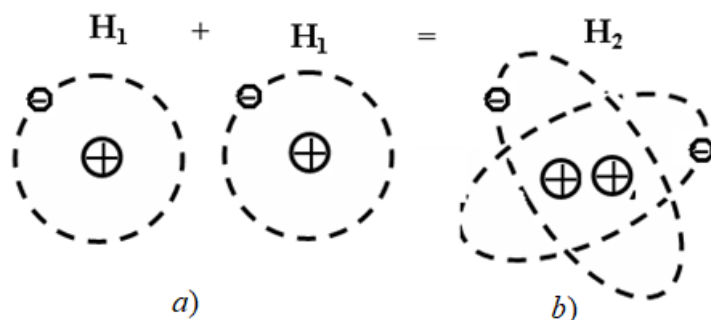
**Molekula** moddaning kimyoviy xossasini saqlab qoluvchi eng kichik zarrachadir. Atomlar va molekulalarning birikishiga sabab bo‘luvchi bog‘lanish turlarini keyingi bobimizda ko‘rib chiqamiz.

## 1.2. Bog‘lanish turlari

Atom va molekulalarning birikishiga olib keluvchi bir qancha bog‘lanish turlari mavjud bo‘lib, kovalent, donor - aktseptor, ionli, hamda metall bog‘lanish turlari Shular jumlasidandir.

**Kovalent bog‘lanish** deb muqaddam alohida atomlar tarkibiga kiruvchi ikki elektronning o‘zaro birikib elektronlar juftini hosil qilishiga aytiladi. Bunday juftlik molekula tarkibiga kiruvchi har ikkala atom uchun ham umumiydir (1.3 - rasm).

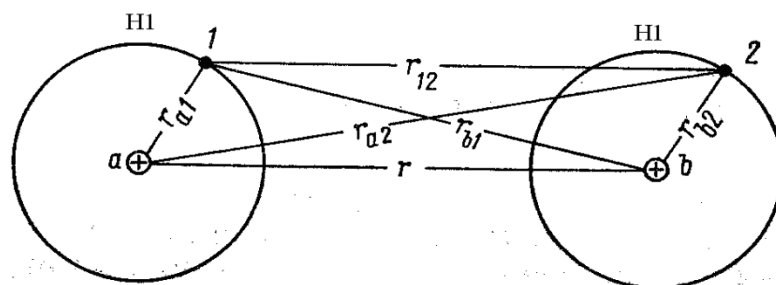
Elektronlar molekulaning orbitasi bo‘ylab harakatlenganda odatda yadrolar oralig‘iga joylashib manfiy zaryadni to‘yintiradi, natijada atomlarning yaqinlashuviga sabab bo‘ladi. Agar ikki atomli molekulaning atomlari yagona elementga mansub bo‘lsa ( $H_2$ ,  $N_2$ ,  $Cl_2$ ), u holda elektronlar jufti bir xil darajada har ikkala atomga ham taalluqlidir.



1.3 - rasm. Vodorod molekulasidagi kovalent bog‘lanishning oddiy sxemasi:

*a* - alohida atomlar; *b* - kovalent bog‘lanishdagi molekula.

Bunday holatda molekulani va mavjud kovalent bog‘lanishni qutbsiz yoki neytral deyiladi. Qutbsiz molekulalarda musbat va manfiy zaryadlarning markazlari muvofiqlashadi va bir xil masofada joylashadi (1.4 - rasm)



1.4 – rasm. Vodorod atomlari orasidagi masofa o‘lchamlari.

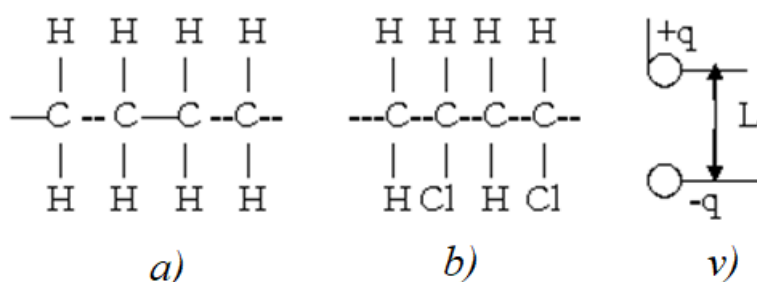
Agar ikki atomli molekula har xil element atomlaridan tashkil topsa va elektronlar jufti biror bir atom tomonga siljigan bo‘lsa, bu kovalent bog‘lanish qutbli bog‘lanish deyiladi. Qutbli bog‘lanishda bo‘lgan molekulalarning musbat va manfiy zaryadlar markazlari muvofiqlashsa, u qutbli yoki dipol deyiladi.

Dipol molekula dipol momentining elektr kattaligi bilan xarakterlanadi va quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\mu = Q \cdot L, \quad (Kl \cdot m)$$

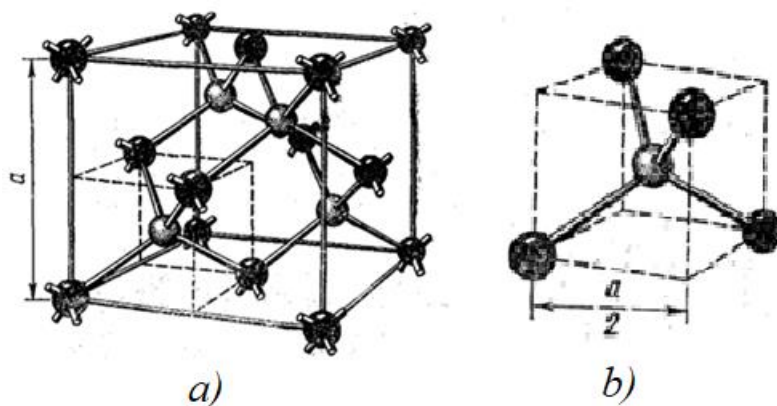
Bu yerda,  $Q$  - zaryadning absolyut qiymati ( $Kl$ );  $L$  - musbat va manfiy zaryadlar orasidagi masofa ( $m$ ).

Neytral va dipol molekularning tuzilishi 1.5 - rasmda tasvirlangan. Ko'p atomli molekulardagi zaryadlar simmetrik joylashsa qutbsiz (1.5 *a* - rasm) yoki zaryadlar asimmetrik joylashsa qutbli bo'ladi (1.5. *b* - rasm). Molekulari kovalent bog'lanishda bo'lgan moddalar yuqori mustahkamlikka ega bo'ladi. Ularning qiyin erishi, mo'rtligi va mustahkamligi kovalent bog'lanishdan dalolat beradi. Kovalent bog'lanish olmos, kremniy va bir qancha anorganik birikmalarda mavjud (1.6 -rasm).

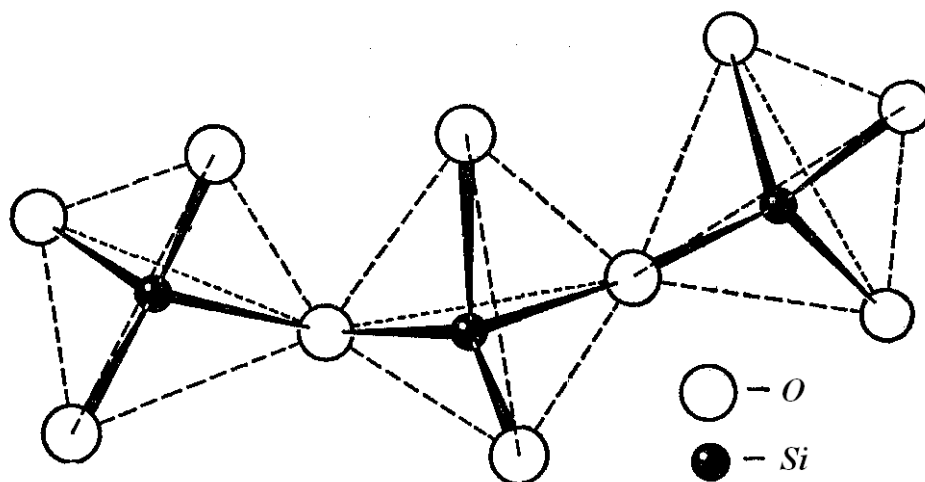


1.5 - rasm. Qutbsiz (simmetrik) va qutbli (asimetrik) molekularning tuzilish sxemasi: *a* - polietilennning qutbsiz molekulasi ( $m = 0$ ); *b* - polixlor-vinilidning qutbli melekulasi ( $m > 0$ ); *v* - dipol molekulaning momenti. ( $L$  – molekular-aro masofa,  $+q$ ,  $-q$  - musbat va manfiy zaryadlar).

Bunday birikmalar amorf jismlarga nisbatan mexanik jihatdan bir qancha ustundir. Xar bir atom va molekulaning kamida 4 yoki beshta atom va molekula bilan bog'liqligi bunday birikmalarning yukori mustaxkamligini ta'minlaydi. Rasmdagi uzoq chiziqlar bilan olmosdagi bitta yacheykaning chegerasi ko'rsatilgan.



1.6 - rasm. Olmos kristallini uch o'lchamli panjara tuzilishi. *a* – olmosning panjarasi; *b* – olmos yacheykasining bir bo'lagi.



1.7 – rasm. Kvarts ( $\text{SiO}_2$  - kremniy oksidi) ning kovalent bog'lanishi.

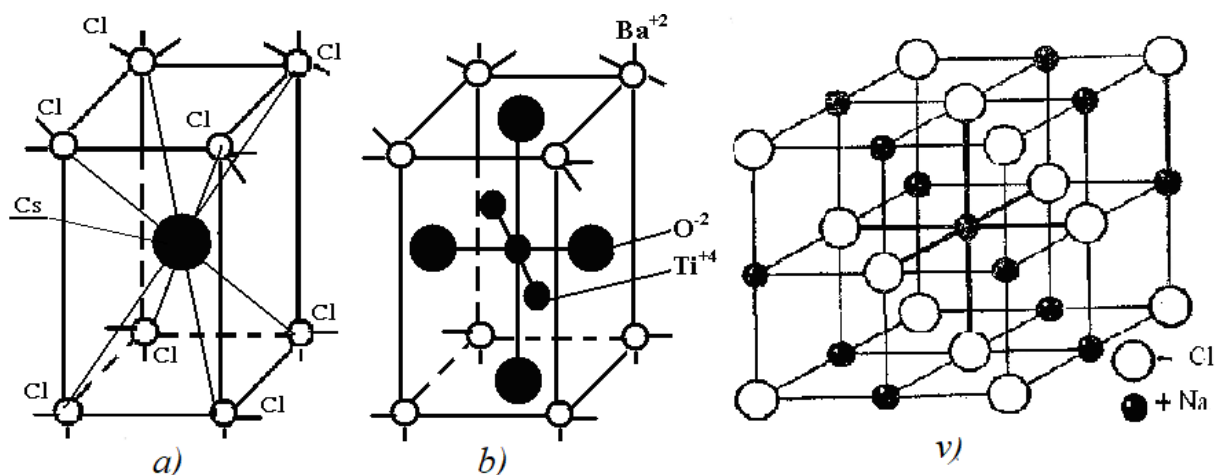
**Donor - aktseptor bog'lanish** - element atomlari orasida vujudga keladi. Atomlardan biri elektronlarni beruvchi (donor) va boshqasi esa bu elektronlarni qabul qiluvchi (aktseptor) bo'ladi. Bunga misol qilib D. I. Mendeleev davriy sistemasidan joy olgan Galiy (Ga) bilan beshinchi guruhdagi Arseniy (As - margumush) ning birikib GaAs (arsenid galiyni) hosil qilishini keltirishimiz mumkin.

Donor aktseptor bog'lanishda atomlar va uning orbitasida joylashga elektronlar o'zaro ta'sirlashib turadi. Agar o'zaro bog'liklikda bo'lgan atom orasidagi masofa o'zgarsa (uzoqlashsa) atomlar tortilishi yoki (yaqinlashsa) itarilishi mumkin. Bunga geliy molekulasi orasidagi masofani o'zgartirib, atomlarning tortilishi yoki itarilishini kuzatish mumkin.

**Ion bog'lanish** musbat va manfiy ionlar orasidagi elektrostatik tortilish kuchi hisobiga ro'y beradi. Misol tariqasida 1.8 - rasmda TSeziy xlorid ( $\text{CsCl}$ ) yoki Variy titanati ( $\text{BaTiO}_3$ )ning ion kristallaridan tashkil topgan ion bog'lanish keltirilgan.

Ion bog'lanishli moddalarning molekulari qutbli bo'lib ularga ko'pgina tuzlar, ayrim oksidlar ( $\text{Si}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$  va h.k.) kiradi. Ion bog'lanishli jismlar mexanik mustahkamlik va kimyoviy turg'unlik bo'yicha kovalent bog'lanishda bo'lgan jismlarga nisbatan bir muncha sust bo'ladi, Chunki ion bog'lanish kovalent bog'lanishga qaraganda kuchsizdir.



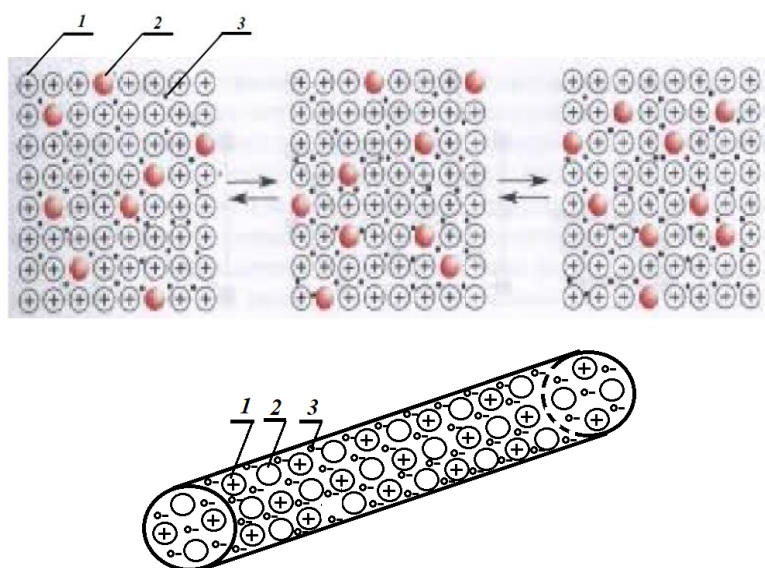


1.8 - rasm. Ion bog‘lanishli kristallar: *a* – seziiy xlorid ( $CsCl$ ); *b* – bariy titanat ( $BaTiO_3$ ); *v* – natriy xlorid ( $NaCl$ )/

**Metall bog‘lanish** metall atomlari orasida kuzatiladi (1.9 - rasm).

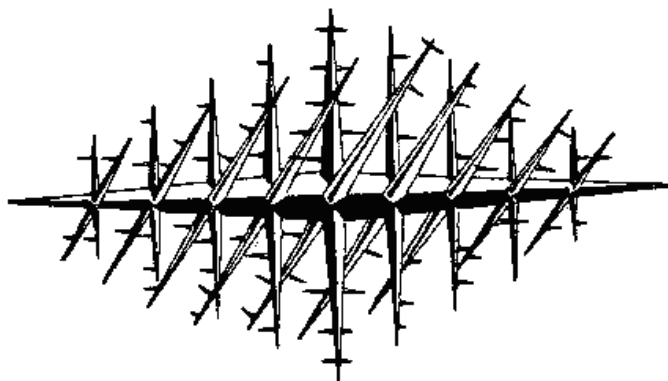
Metallarning atomlari tashqi elektronlarni biriktirib musbat ionlarga aylanishi yoki qayta qabul qilib olib neytral atomlarga aylanish xususiyatiga ega.

Shunday qilib metallarga erkin birikkan elektronlar muhitidan joy olgan musbat ionlarning sistemasi sifatida qarash mumkin. Metallar tarkibida erkin elektronlarning va ionlarning mavjudligi ularda yuqori haroratga chidamlilik, egiluvchanlik, mexanik mustahkamlik, yuqori elektr o‘tkazuvchanlik, issiqlik ta’sirida mustahkam birikish kabi bir qancha qo‘shimcha faktorlarning vujudga kelishiga imkoniyat yaratadi.



1.9 - rasm. Metall o‘tkazgichning soddalashtirilgan sxemasi: *1* - protonlar; *2* – neytronlar; *3* - elektronlar.

O'z navbatida metall bog'lanish, neytral molekular orasidagi kovalent bog'lanishdan hamda ionlar va erkin elektronlar orasidagi elektrostatik tortilish esa, ion bog'lanish mavjudligidan dalolat berib, metallarning mustahkamligi va yaxlitligini ta'minlaydi. Amaliy tajribalarga suyanib baho berilganda tarkibida erkin elektronlarning mavjudligi sababli metallar boshqa kattiq materiallarga nisbatan yuqori elektr va issiqlik o'tkazish xususiyatiga egadir. Cho'yanning tuzulishini misol keltirish mumkin (1.10 – rasm).



1.10 – rasm. Cho'y kristallarining tuzulishi

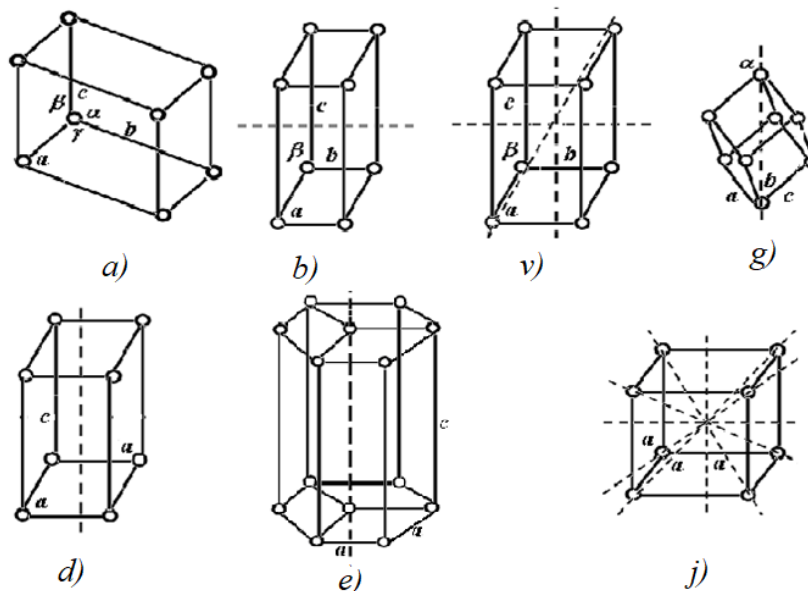
### 1.3. Kristall panjaralar

Qattiq jismlarda atom va molekular geometrik tartib bilan yoki tartibsiz joylashgan. Shu sababli jismlar tarkibidagi molekula va atomlar geometrik tartib bilan joylashsa **kristall** yoki molekula va atomlar (xaotik) tartibsiz joylashsa **amorf** jismlar deyiladi.

**Kristall jismlar** mexanik jihatdan mustahkam bo'lib tarkibidagi atom va molekular kovalent va ion bog'langandir.

**Amorf jismlar** tarkibida joylashgan molekula va atomlar tartibsiz joylashgan bo'lib, ularning mexanik va issiqlik mustahkamligi yuqori emas. Bularga parafin va Shunga o'xshash materiallarni misol qilish mumkin. Jismning molekulyar tuzulishi kristall panjaralarning joylashuviga bog'liq. Agar kristall panjara tugunlaridagi elementlar o'zaro teng massa, hajm va oraliq masofada bo'lsa bunday jism mexanik mustahkam, tashqi ta'sirlarga chidamli sanaladi. Ko'pchilik bir valentli metallar

geksogonal yoki kub shaklidagi kristallik panjarasiga ega. Umuman olganda kristall panjaralarni quyidagi turlarga bo‘lish mumkin: a - triklidli; b – monoklidli; v – romb shakllik; g – romb edrik; d – tetragonalli; e – geksogonalli; j – kub shakllik (1.7. – rasm).

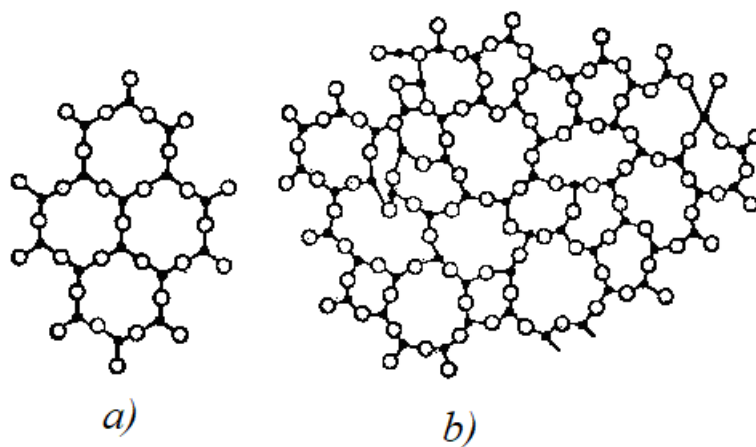


1.7. - rasm. Etti xil kristall panjara tugunlarida elektronlarning joylashish taribi: a - triklidli; b – monoklidli; v – romb shakllik; g – rombedrik; d – tetragonalli; e – geksogonalli; j – kub shakllik.  $a, b, c$  – qirralarning uzunligi;  $\alpha, \beta, \gamma$  -  $90^\circ$  burchak ostida kub yoqlarining joylashuvi.

#### 1.4. Qattiq jismlarning zonalar nazariyasi

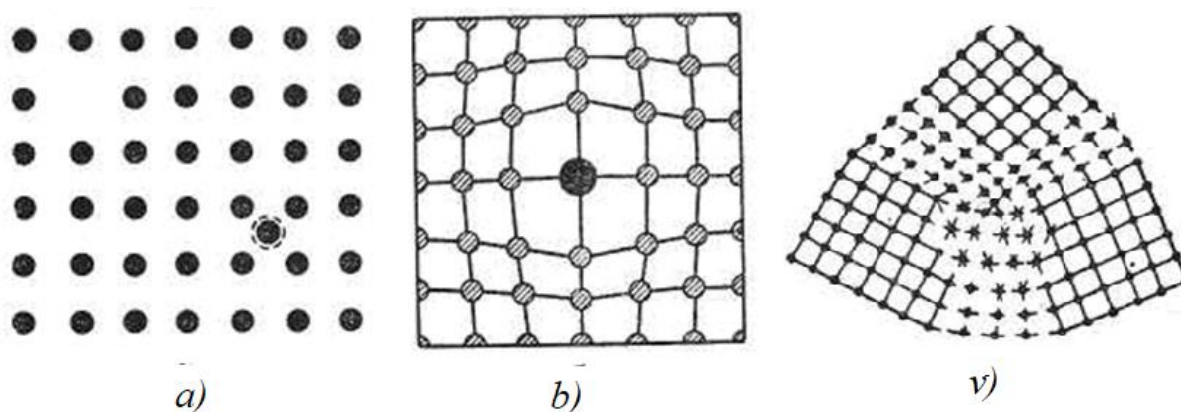
Qattiq jismlarning zonalar nazariyasi 1, 2 va 3 - adabiyotlarda atroflicha yoritilgan bo‘lib jismlarining kristall panjara tugunlari shakliga bog‘liq holda ularning mustahkam yoki zaiflik chegaralariga baho beriladi. Agar kristall panjara tugunlarida joylashgan elementlar bir xil shakl va massaga, aniq o‘lchamga ega bo‘lib, o‘zaro yaqin masofada joylashgan bo‘lsa (olmos) bunday materiallar mustahkam, qattiq materiallar deyiladi va ulardagi buzilish chegarasi kristall panjaralar tugunlaridagi biror-bir elementlarning yetishmaydigan joyidan o‘tadi. Agar kristallik panjara tugunlarida joylashgan elementlar orasidagi masofa har xil bo‘lib elementlarning massasi va o‘lchamlari ham turlicha bo‘lsa buzilish chegarasi, bog‘lanishi zaif bo‘lgan, massasi

xilma-xil elementlardan tashkil topgan bo‘limlarda o‘tishi mumkin. Yuqorida qayd etilgan ko‘rsatgichlar materillarning buzilish zonalari haqida to‘g‘ri va aniq xulosa chiqarish imkonini beradi.



1.8 - rasm. Materiallarning ikki o‘lchamli sxemasi:

*a* – kristallning, *b* – shishaning ikki o‘lchamli sxematik tuzulishi.



1.9 – rasm. Kristallik panjaralaridagi nuqsonlar:

*a* – kristall panjarada tugunidagi bo‘shliq va tugunlar orasida shaxsiy ionning joylashuvi; *b* – panjara tugunidagi begona atomning joylashuvi; *v* – kristallning bloklar ko‘rinishida joylashuvi (dislokatsiya)

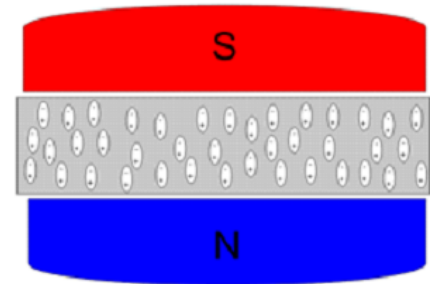
### Tekshirish uchun nazorat savollari

1. Elektrotexnik materiallar xususiyati bo‘yicha qanday turlarga bo‘linadi?
2. Jismlarning tuzilishi haqida ma’lumot bering.
3. Erkin elektronning paydo bo‘lish jarayoning bayon eting.

4. Ion nima va u qanday paydo bo'ladi?
5. Qutbli va qutbsiz molekulalarning tuzilishi, farqi va elektrotexnika sanoatidagi ishlatilish o'rnini bayon eting.
6. O'tkazgich materiallarga qanday materiallar kiritiladi?
7. Yarim o'tkazgich materiallarga qanday materiallar kiritiladi?
8. Izolyatsiya materiallarga qanday materiallar kiritiladi?
9. Sun'iy izolyatsiya materiallari tabiiy izolyatsiya materiallaridan nimasi bilan farq qiladi?
10. Sun'iy izolyatsiya materiallarining xususiyatlari va ishlatilish sohasini bayon eting.
11. Segnetoelektrikl va pezoelektriklarning farqi nimalardan iborat?
12. Yarim o'tkazgich materiallarga qanday materiallar kiritiladi?
13. Yarim o'tkazgich materiallardagi elektronli o'tkazuvchanlikni mazmun-mohiyatini bayon eting.
14. Kovakli o'tkazuvchanlik qanday sodir etiladi va uning kechish jarayonini bayon eting.
15. Magnit materiallarning xususiyatlarini bayon eting.
16. Magnit yumshoq va magnit kattiq materiallar qanday tuzilishga ega?
17. Jismlarning bog'lanish turlari haqida ma'lumot bering.
18. Kovlent bog'lanishni misollar bilan bayon eting.
19. Ion bog'lanishni misollar bilan bayon eting.
20. Metall bog'lanishni misollar bilan bayon eting.
21. Donor -akseptor bog'lanishi misollar bilan bayon eting.
22. Kristall panjaralar haqida ma'lumot bering.

## 2. MATERIALLARNING ELEKTROFIZIK XUSUSIYATLARI VA ELEKTR O‘TKAZUVCHANLIGI

Dielektrikka elektr yoki magnit maydon ta'sir etgan paytdagi dipollarning holati



Barcha materiallarda elektr o‘tkazuvchanlik xususiyati mavjud. Buning sababini, juda toza elektr izoyatsiyalovchi yoki dielektrik materiallar tarkibida juda oz miqdorda bo‘lsada zaryadlar ishtirok etishi bilan izohlash mumkin. Metallar va yarim o‘tkazgich materiallar esa zaryadlanuvchi zarrachalarning ko‘pligi, ularning bundan ham yuqoriroq o‘tkazuvchanlikka egaligidan dalolat beradi.

### 2.1. Elektr o‘tkazuvchanlikning asosiy tenglamasi

Har qanday materialning tarkibidagi erkin zaryadlanuvchi zarrachalarning mavjudligi va material tarkibida harakatlana olishi elektr tokining o‘tishiga zamin yaratadi. Har qanday muhit uchun tokning zichligi ( $j$ ) ni quyidagi formula yordamida ifoda etish mumkin:

$$j = \sum n_i \cdot q_i \cdot v_i , \quad (2.1)$$

Bu yerda:  $i$  - zaryad tashuvchi zarrachaning turi (elektron, har xil molekullarning ionlari, molionlar, zaryadlangan zarrachala va h.k.);  $n_i$  – zaryadli zarrachalarning soni yoki miqdori;  $q_i$  – zaryadning kattaligi yoki qiymati;  $v_i$  – zaryad tashuvchi zarrachalarning tezligi.

Turlicha tarkibdagi materillardagi elektr o‘tkazuvchanlik jarayonlarini tahlil etish uchun: zaryad tashuvchi zarrachalarning miqdori va zichligini, qanday paydo bo‘lishi va nimalarga bog‘liqligi, qanday kattalikdagi zaryadni qay tezlikda tashiy

olishi mumkinligi haqida ma'lumotlarga ega bo'lish talab etiladi. Ushbu masalalar, elekt o'tkazuvchanlik jaryonining asosiy mohiyatini anglashga imkon beradi.

Muhitlar orasida (faqat vakuumdan tashqari) zaryad tashuvchi zarrachalarning teziligi maydon kuchlanganligiga to'g'ri proporsionaldir:

$$v_i = b_i \cdot E, \quad (2.2),$$

Bu yerda:  $b_i$  – zaryad tashuvchi zarrachalarning harakatchanligi.

Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi deb, elektr maydon kuchlanganligi ( $E$ ) va zaryad tashuvchi zarrachalarning tezigi ( $v_i$ ) ga proporsional bo'lgan koeffitsientga aytiladi. Harakat  $m^2/V \cdot \text{sek}$  birligida o'lchanadi. Haqiqiy harakatchanlik  $1 \text{ V/m}$  maydon kuchlanganligi ta'sirida zaryad tashuvchi zarrachalarning tezligiga teng deb qabul qilingan.

Muhitga bog'liq holda zaryad tashuvchilarning turi va harakatchanligi turlicha bo'lishi mumkin va u muhitga bevosita bog'liq. Yuqoridagi ifodalarni, elektr zanjirining muayyan kattalikdagi differentsial shakli uchun yozilgan Om qonunining turlicha ko'rinishi ekanligiga ishonch hosil qilish qiyin emas.

Ayonki zanjirning bir qismi uchun Om qonuni:  $I = U/R$  ko'rinishida yoziladi. Zanjirning bir qismi uchun kesim yuzasi –  $S$ , uzunligi –  $l$  ni bilgan holda Om qonuning dastlabki ko'rinishiga ega bo'lish mumkin.

## **2.2. O'tkazgichlar, yarim o'tkazgichlar va dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi**

Elektromagnit maydon kuchlanganligi ta'siri ostida materiallarda kechuvchi elektr jarayonlarni tahlil etish uchun turlicha muhitdagi zaryad tashuvchanlik hodisasini tahlil etamiz. Birinchi navbatda zaryadning paydo bo'lishi va yo'qolishi bilan tanishish joiz.

Buning uchun turlicha muhit (material)dagi elektronlarning tuzulishni o'rganish maqsadga muvofiq.

Gazlarda elektronlar har bir atom yoki molekulaning orbitasida joylashgan. Atomning kvant modeliga binoan, elektron kvant energiya darajasiga ko'ra qaysidir biror-bir orbitada joylashishi mumkin. Har bir darajada faqat bitta elektron joylashadi. Orbitaning eng chekka darjasida joylashgan elektron eng kichik zaryad va massaga ega bo'ladi. Shu sababli u tezda ionlashadi va yadro orbitasidan uzulib ketish ehtimoliga ega.

Atomdan elektronni uzilib ketishiga sarf bo'ladigan energiya ionlanish energiyasi ( $W$ ) deyiladi.

Orbitadagi ikkinchi elektronni ajratib olishi uchun unga chekkadagi elektronga nisbatan kattaroq miqdordagi energiyani sarflash talab etiladi. Bu ikkinchi darajadagi ionlanishdir.

Atomning yadrosidan elektronlarni uzib olish yoki qo'zg'atishni bir qancha usullari mavjud. Orbitadagi elektronlarni qo'zg'atish uchun unga, atomning yadro tortish kuchi energiyasidan pastroq energiya bilan ta'sir etish natijasida yuzaga keladi. Atom yadrosiga torilgan elektronlarga qo'zg'atish energiyasi turlicha ta'sir etganligi bois qo'zg'alish ham turlicha bo'ladi.

Bir xil energetik darajaga ega bo'lgan ikki atom o'zaro yaqinlashganda, atomlarning birikishi hosil bo'ladi, ammo maydon yo'nalishi ikkita o'zaro juda oz miqdorda farq qiluvchi darajaga ajralgan bo'ladi. Buning sababi shundaki kvant fizikasi qonunlariga ko'ra ikkita bir xil darajadagi maydon mavjud emas. Bu holat **Pauli** qonuni deyiladi. Uchta atom biriksa – uchga taqsimlagan daraja yuzaga keladi.

Kristall hosil bo'lsa – har bir darajadan qandaydir holatdagi ruxsat etilgan energiya miqdoridagi maydon paydo bo'ladi va u zona deyiladi. Ushbu zana xududidagi zarrachalarga maydon energiyasi oz yoki ko'p miqdorda ta'sir etishi mumkin. Energiya manbaiga yaqin zarrachaga kuchliroq, uzog'iga esa zaifroq.

Har qanday materialni elektrotexnik xususiyatini baholashda solishtirma elektr o'tkazuvchanlik yoki unga teskari qiymatdagi solishtirma o'tkazuvchanlik ko'rsatkichi asqotadi.

**Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik** -  $\gamma$ , Simens/m, Om qonuniga asosan: tokning proporsionallik koeffitsientiga  $j$ , ( $A/m^2$ ) yoki elektr maydon kuchlanganligi



$E$ , ( $V/m^2$ ) o'xshab topiladi. Bu holat uchun quyidagi tenglama vositasida ifodalanadi:

$$j = \gamma \cdot E \quad (2.3)$$

Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik faqat materialning xususiyatigagina bog'liq va uni odatda nazariy jihatdan bayon etish qulay. Amaliy jihatdan esa, materialning elektr o'tkazuvchanligiga teskari qiymatda bo'lgan - solishtirma elektr qarshilik ( $\rho$ ,  $Om \cdot m$ ) kattaligiga kengroq e'tibor beriladi. Solishtirma elektr qarshilik quyidagicha formula yordamida ifodalanadi:

$$\rho = \frac{1}{\gamma}, \quad (2.4.)$$

Asosiy guruhini tashkil etuvchidagi elektrotexnik materiallarning solishtirma qarshiligi quyidagicha qiymatga ega:

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| - o'tkazgichlar         | - $\rho < 10^{-5} Om \cdot m$ ;                   |
| - dielektriklar         | - $\rho > 10^8$ dan $10^{16} Om \cdot m$ . gacha; |
| - yarim o'tkazgichlarda | - $\rho = 10^{-5} \dots 10^8 Om \cdot m$          |

Magnit materallarga esa solishtirma o'tkazuvchanlik (solishtirma qarshilik) bo'yicha: o'tkazgich, yarim o'tkazgich yoki dielektrik bo'linadi.

Elektrotexnik qurilmalar va asboblarda qo'llaniladigan materiallar orasida asosiy o'rinni yuqori egiluvchanlik, issiqlikdan kengayish xususiyatiga ega bo'lgan qotishmalar egallaydi. Yuqori egiluvchan, bukiluvchan va elastik elementlarda (tok o'tkazuvchi prujinalar, osilish, tiralish, tortqilash, membrana va h.k) ishlatilsa, temir+nikel (invar) qotishmali metallar esa turlicha harorat kengayishini nazorat qilish elementlarida asqotadi. Bunday qotishmalardan yasalgan turlicha haroratiy kengayish xususiyatiga ega bo'lgan elementlar yuqori vakuum holatida chinni, shisha va sopol bilan biriktiriladi va yuklama toklari ostida qizish yoki sovish holatidagi kengayish yoki torayishni nazorat qilishda ishlatiladi.

### 2.3. Suyuqlik va elektrolitlarning elektr o'tkazuvchanligi

Suyuqliklarda elektr o'tkazuvchanlik jarayolari ionlar vositasida amalga oshiriladi. Chunki elektronlar, suyuqlik tarkibidagi neytral molekulalar bilan oson birikishi bois, erkin harakatlana olmaydi. Bundan tashqari suyuqliklarda zaryadlar molionlar, zarrachalar va hatto pufakchalar vositasida tashilishi mumkin.

Ionlanish energiyasi  $e$  martaga kichik bo'lsada, suyuqliklarning solishtirma dielektrik singdiruvchanligi yuqoriligi sababli gazlardagiga nisbatan yengilroq o'tadi.

Buni kulon energiyasi ( $W$ ) ko'rinishidagi o'zaro  $r$  masofada joylashgan ikkita zaryad ( $+e$  va  $-e$ ) ning o'zaro ta'sirlashishi ko'rinishida formula vositasida tahlil etish mumkin:

$$W = e \cdot 2 / (4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r)$$

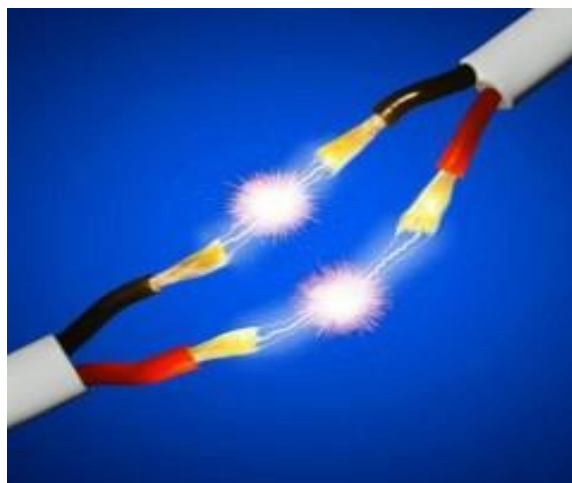
Suyuqliklarda zaryad tashuvchilarning o'rin almashinishi suyuqlik bilan o'zaro ta'sirlashishi va qisqa muddat ichida tezda atrofdagi molekulalar bilan o'rab olinishi oqibatida murakkablashgan holda kechadi.

Suyuqlikning muhit bilan o'zaro ta'sirlashishi *solvatatsiya* deyiladi.

#### Tekshirish uchun nazorat savollari

1. Materiallarning elektrofizik xususiyatlari elektr o'tkazuvchanligiga qanday ta'sir etadi?
2. Materialdan oqib o'tuvchi tokning zichligi qanday faktorlarga bog'liq?
3. O'tkazgichlar, yarim o'tkazgichlar va dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi materialning agregat holati bog'liqligini bayon eting.
4. Materiallarning solishtirma o'tkazuvchanligini bayon eting.
5. Materialning solishtirma qarshiligi nimaga bog'liq bayon eting.
6. Suyuq dielektrik materiallardagi elektr o'tkazuvchanlik jarayonlarini bayon eting.

## 3. O'TKAZGICH MATERIALLAR



### 3.1. O'tkazgich materiallarning xususiyatlari

Elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlari metallar, metall qotishmalari, grafit (uglerodning shakli) va elektrolitlarga xosdir. Metall o'tkazgichlar elektron o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega.

Elektrolitlarda (kislotali eritmalar, tuzlar va kislotalar) zaryad tashuvchanlik ionlar vositasida amalga oshiriladi.

Metallar kristal tuzulishiga ega. Kristal panjaraning tugunlarida musbat zaryadli ionlar joylashgan bo'lib, har bir ion atrofi birlashgan (kolektivlashgan) elektronlar yoki boshqacha aytganda elektronlar buluti bilan qurshalgan. Metallardagi elektronlar bulutining holati, joylashuvi, iondan qanday masofada va qay ko'rinishda turganligi haqidagi ma'lumotlar rus olimi Ya. I. Frenkel va nemis fizigi A. Zommerfeldlar tomonidan kvant fizikasida atroflicha bayon etilgan.

Unga ko'ra, erkin elektronlar kristall panjara bo'ylab betartib (xaotik) harakatda o'rtacha  $v = 10^5$  m/sek issiqlik tezligida harakatlanadi. Elektr maydon ( $E$ ) ta'sir ostida elektron to'g'ri harakatdagi  $v$  qo'shimcha tezlikni oladi va zaryad tashuvchanlik jarayonida ishtirok etadi va natijada elektr toki paydo bo'ladi. Tokning zichligi elektronning harakatlanish tezligi ( $v$ ) va elektronlar soniga ( $n$ ) ga bog'liq bo'ladi. Uni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$j = e \cdot n \cdot v, \quad (3.1.)$$

Elektr maydoni ta'siridagi elektronning erkin holda harakatlanishi amaliyotda issiqlik harakatiga qaraganda ancha sekin ( $v \ll u$ ) kechadi. Shu sababli mis o'tkazgichda

tokning zichligi  $1 \text{ A/mm}^2$  bo'lsa elektron erkin holdagi harakati  $v = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/sek.}$  ga teng bo'ladi. Elektronning  $\tau$  vaqt oralig'ida,  $a = \frac{e \cdot E}{m_e}$  tezlanish bilan,  $l$  masofadan

harakatlanib, kelib kristall panjara tuguni bilan to'qnashadi va natijada quyidagi formulada ifodalangan erkin holdagi harakat tezligini oladi:

$$v = a \cdot \tau = \frac{e \cdot E}{m_e} \cdot \frac{l}{u}, \quad (3.2.)$$

Om qonunining nazariy tenglamasi ( $j = \gamma \cdot E$ ) ni 5.2 formulaga qo'yib quyidagi ko'rinishdagi solishtirma o'tkazuvchanlik formulasini hosil qilish mumkin:

$$\gamma = \frac{e^2 \cdot n \cdot l}{m_e \cdot u}, \quad (3.3.)$$

Formuladagi elektronlar konsentratsiyasi ( $m_e \cdot u$ ) ni Pauli qonuniga asosan kvant statistikasi asosida: har bir energetik sathda bitta va har bir energetik darajada ikkitagacha elektron joylashgan deb tasavvur etiladi.

Elektr tarmoqlarida tokni o'tkazuvchi sifatida qattiq jismlar, suyuqliklar va maxsus holatlarda gazlar vosita vazifasini o'taydi. Elektrotexnika sanoatida qattiq elektr o'tkazgichlar ko'rinishida aksariyat hollarda metallar va ularning qotishmalari ishlatiladi. O'tkazuvchanlik borasida gap ketganda normal muhitdagi ( $+20 \text{ }^\circ\text{S}$ ) yuqori elektr o'tkazuvchanlik ko'zda tutiladi va u,  $\rho \leq 0,05 \text{ mOm} \cdot \text{m.}$  gacha solishtirma qarshiligi bo'lgan materallarga xosdir. Bunday sharoitda solishtirma qarshiligi  $0,3 \text{ mOm} \cdot \text{m.}$  dan yuqori bo'lgan materiallar qarshiligi katta bo'lgan materiallar qatoriga kiritiladi.

O'tkazuvchanlik darajasining yuqori yoki pastligi, materialning elektrotexnika sohasining qaysi jabhasida ishlatishini belgilaydi. Qarshiligi yuqori bo'lgan materiallar tok o'tish paytida qiziydi va qandaydir miqdordagi energiyaning sarf bo'lishga olib keladi. Shu sababli yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan materiallar: tok o'tkazuvchi kabellar, shina o'tkazgichlar va simlar, reaktor, transformator va elektrodvigatellarning cho'lg'amlari, shitlar va boshqaruv asboblarning tok o'tkazuvchi qismlaridagi elementlarda ishlatiladi.

Qarshiligi katta materiallardan esa: rezistorlar va qarshilik elementlari, ochiq va yopiq shakldagi elektr isitgich asboblarning qizuvchi elementlari, cho'g'lanma va yuqori bosimli lampalarning cho'lg'am elementlarini yasaladi.

O'tkazgich materallar orasida haroratga bog'liq holda qarshiligi o'zgaradigan materiallar alohida ahamiyatga ega. Bularga kriogen va o'ta past haroratda o'tkazuvchanligi ortib boradigan materiallarni misol keltirish mumkin.

Harorat ortishi bilan suyuq holga kelsada o'tkazuvchanligi o'zgarmaydigan materiallar muhim ahamiyatga ega. Bunday o'tkazgichlar elektr datchiklarning ishchi mexanizmi sifatida ishlatilib, elektr toki o'tishi natijasida elektr tok ko'rinishidagi signallarni uzatish imkoniyatini yaratadi. Suyuqlanish harorati  $39^{\circ}\text{S}$  bo'lgan **simob** metali bunga yaqqol misol bo'la oladi.

Metallarning har qanday (qattiq, suyuq va gazsimon) holatdagi elektr o'tkazuvchanligi material tarkibida katta miqdorda uchraydigan elektronlar va ayniqsa erkin elektronlar zimmasiga to'g'ri keladi.

Elektronlar va erkin elektronlarning tartibli harakati elektr maydon kuchlanganligining miqdori va yo'nalishiga bog'lik bo'lishi jarayonida yuqori o'tkazuvchanlikni ta'minlaydi.

O'tkazuvchanlikning pastroq darajasi: kimyoviy reaksiyalar natijasida vujudga keluvchi metall eritmalar yoki elektrolitlarda, kislotada va ishqorlarda namoyon bo'ladi. Bunday eritmalar ion tarkibli bo'lganligi bois, Faradey talqiniga ko'ra, ionlar vositasida zaryad tashuvchanlik qonuniyati asosida izohlanadi.

Elektroliz hodisasini, ushbu qonuniyatning yaqqol dalili sifatida keltirish mumkin.

Ma'lum vaqt davomida ion tarkibli moddalar orqali musbat elektrodan manfiyga tomon tok o'tkazilsa, harakatdagi ionlar vositasida manfiy elektrod vazifasini o'tavchi material yuzasida, musbat elektrodan ko'chgan ion zarrachlardan iborat bo'lgan maxsus qoplama hosil bo'ladi va uni elektroliz mahsuli deyish mumkin.

Suyuq va gaz holatdagi metallarda o'tkazuvchanlik elektr maydonning miqdoriga uzviy bog'liq. Chunki maydon kuchsiz bo'lgan holatda elektr o'tkazuvchanlik yuzaga kelmaydi yoki o'ta zaif maydon ushbu jarayonni yuzaga keltira olmaydi.

Qattiq o'tkazgich ion panjarali kristall sistema ko'rinishida bo'lib, ichki qismida erkin elektronlar joylashgan deb faraz qilinadi. Issiqlik ta'sirida elektronlar tartibsiz harakatlansada, elektr maydon ta'siri yuzaga kelgan aniq yo'nishda tartibli harakatni boshaydi. Elektronlarning harakat davomida kristall panjaraga to'qnashib ketishi natijasida ma'lum miqdordagi energiya yo'qotiladi. Energiyaning panjaraga sarf bo'lishi materialda issiqlik ajralib chiqishiga olib keladi va issiqlik energiyasi metall asosga uzatiladi. Natijada metallning qizishi kuzatiladi.

Ammo zaryad tashuvchanlik jarayoni, elektr maydon kuchlari ostida harakatlanib zaryad tashiyotgan elektronning, harakatni nihoyasiga yetkazish asnosida kristall panjara tugunlarida joylashgan neytron va protonni siljitish uchun qo'shimcha ish bajarishi va bunga ma'lum miqdordagi energiyani sarflashi natijasida qizishi mumkinligini ham nazardan chetda qoldirib bo'lmaydi.

Metallarning elektrofizik xossalari haqidagi ma'lumotlar **3.1 - jadvalda** keltirilgan.

Materiallarning elektrofizik xususiyatlarini baholaydigan kattaliklarga quyidagilarni kiritish mumkin:

1. Materialning solishtirma qarshiligi -  $\rho$  yoki solishtirma o'tkazuvchanligi -  $\gamma$  bilan belgilanib,  $\rho = 1/\gamma$  ga teng.
2. Solishtirma qarshilikning chiziqli harorat kengayish koeffitsiyenti,  $TK\rho$  yoki  $\alpha\rho$ .
3. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti,  $\gamma_t$ .
4. Kontakt potentsiallar farqi va termoelektr yurituvchi kuch (TEYuK).
5. Elektronlarning materialdan ajralib chiqish paytidagi bajargan ishi.
6. Cho'zilish mustahkamligi,  $\sigma_r$  va uzilishdan oldingi maksimal nisbiy cho'zilish  $\Delta l/l$ .

O'tkazgichdan o'tuvchi tokning zichligi va elektr maydon kuchlanganligini quyidagi formula vositasida bayon etish mumkin:

$$j = \gamma \cdot E$$

Bu yerda:  $j$  – tokning zichligi, A/mm<sup>2</sup>;  $\gamma$  – o‘tkazgichning solishtirma o‘tkazuvchanligi, Sm.m;  $E$  – elektr maydon kuchlanganligi, V/m.

### 3.1–jadval.

#### Metallarning elektrofizik xossalari

T.R.	Metallaning nomi	Zichligi, $\times 10^3$ kg.m <sup>3</sup>	Erih harorati, °S	Solishtirma issiqlik sig‘imi, J/kg.K	Chiziqlik kenga-yishi TK,1, $\times 10^6$ K <sup>-1</sup>	Solishtirma qarshilik, mikOm.m	Elektronlarning chiqish ishi, eV	Qayishqoqlik moduli, GPa
1.	Simob	13,6	- 38,9	138	61,0	0,958	4,5	-
2	Seziy	1,87	26,5	234	95,5	0,210	1,9	1,8
3	Galliy	5,91	29,7	381	18,0	0,560	-	-
4	Kalsiy	0,87	63,7	753	80,0	0,009	2,2	-
5	Natriy	0,97	97,8	1260	70,0	0,046	2,3	10
6	Indiy	7,28	156,0	243	25,0	0,090	-	10,5
7	Litiy	0,53	186,0	3620	-	-	-	4,9
8	Qalay	7,31	232,0	226	23,0	0,120	4,4	54,0
9	Kadmiy	8,65	321,0	230	30,0	0,076	4,0	62,3
10	Qo‘rg‘oshin	11,4	320,0	130	29,0	0,21	-	15,7
11	Rux	7,14	420,0	90	31,0	0,059	-	92,2
12	Magniy	1,74	651,0	1040	26,0	0,048	3,6	44,3
13	Alyuminiy	2,7	657,0	922	24,0	0,08	4,3	70,8
14	Bariy	3,5	710,0	268	17,0	0,50	-	12,6
15	Kumush	10,5	981,0	234	19,0	0,016	4,4	80
16	Oltin	19,3	1063,0	126	14,0	0,024	4,8	77,5
17	Mis	8,94	183,0	385	16,0	0,017	4,3	129
18	Berelliy	1,85	1284,0	200	13,0	0,04	3,9	287
19	Nikel	8,9	1455,0	444	13,0	0,073	5,0	196

20	Kobalt	8,71	492,0	435	12,0	0,062	-	200
21	Temir	7,87	1535,0	452	11,0	0,098	4,5	211
22	Palladiy	12,1	1554,0	243	12,0	0,11	-	121
23	Titan	4,5	1724,0	877	8,1	9,48	-	104
24	Xrom	7,1	1850,0	-	6,5	0,21	-	245
25	Platina	21,4	1770,0	134	9,0	0,105	-	170
26	Toriy	11,5	1850,0	113	11,2	0,186	3,3	79,2
27	Sirkoniy	5,5	1860,0	276	5,1	0,41	3,7	68,4
28	Irridiy	22,5	2350,0	-	7,2	-	-	528
29	Niobiy	8,57	2410,0	272	5,1	0,140	4,1	100
30	Molibden	10,2	2620,0	264	6,5	0,057	4,2	294
31	Tantal	16,7	2850,0	142	4,7	0,35	4,1	177
32	Reniy	20,5	3180,0	138	4,4	0,21	4,8	405
33	Volfram	19,3	3380,0	218		0,055	4,5	407

Elektr maydon kuchlanganligining miqdoriy o'zgarishi metallardagi solishtirma o'tkazuvchanlikni o'zgartira olmaydi. Solishtirma o'tkazuvchanlikka teskari proporsional bo'lgan solishtirma qarshilikni quyidagi formula yordamida hisoblash mumkin. Solishtirma qarshilikni hisoblashda o'tkazgichning ko'ndalang kesimi  $S$ , uzunligi  $l$  va qarshiligi  $R$ , haqida ma'lumotga ega bo'lish talab etiladi.

Solishtirma qarshilik quyidagi formuladan topiladi:

$$\rho = R \frac{S}{l}, \quad \text{Om.m.}$$

Turli xildagi metallarda elektronlarning issiqlik ta'siridagi tartibsiz harakat tezligi bir xil bo'ladi. Shu sababli solishtirma o'tkazuvchanlik qiymati elektronlar erkin bosib o'tgan yo'lining o'rtacha tezligi va o'tkazgich materialining tuzilishiga bog'liqdir. To'g'ri shakldagi kristall panjaraga ega bo'lgan metallarda solishtirma qarshilik juda kichik qiymatga ega bo'lishi mumkin. Agar toza metall tarkibiga boshqa metal aralashtirilsa, kristall panjaraning shakli o'zgarishi mumkin va natijada solishtirma qarshilik miqdori ham o'zgaradi.



Haroratning o'zgarishi metall tarkibidagi zaryad tashuvchi erkin elektronlar sonini o'zgartirmaydi. Ammo kristall panjara tugunlaridagi tebranish to'lqinlarining kuchayishi elektronlarning tobora ko'proq to'siqlarga duch kelib, elektronlarning bosib o'tadigan o'rtacha yo'l uzunligini qisqartiradi.

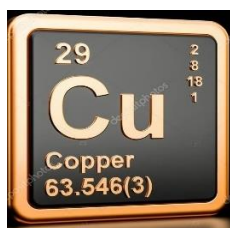
### 3.2. Solishtirma qarshiligi zaif o'tkazgich materiallar

Tarkibida yot aralashmasi bo'lmagan metallar toza metallar deyiladi va solishtirma qarshiligi juda kichik qiymatga ega bo'ladi. Bunday materiallardan tok o'tganda metallning xususiyatiga bog'iq holda energiya sarfi ham kamayadi. Yuqori o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan o'tkazgichlarga solishtirma qarshiligi  $\rho < 0,1 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$  gacha bo'lgan materiallar mansub. Ulardan turlicha maqsadlarda ishlatiladigan elektr o'tkazgich simlar, asbob-uskunalarning tok o'tkazuvchi qismlari, elektr kontaktlar va tok o'tkazgichlar yasaladi.

Ushbu materiallarga quyidagi talablar quyiladi:

- kichik solishtirma qarshilik;
- yetarlicha mustahkamlik va egiluvchanlik;
- yemirilish (karroziya) ga va atmosfera ta'sirlariga chidamlilik;
- payvandlash va kavsharlashga moyillik.

Ushbu talablarni mis va uning qotishmalari, alyuminiy, qimmatbaho metallar va qiyin eruvchan metallar qanoatlantiradi. Shu sababli mazkur metallardan keng foydalaniladi.



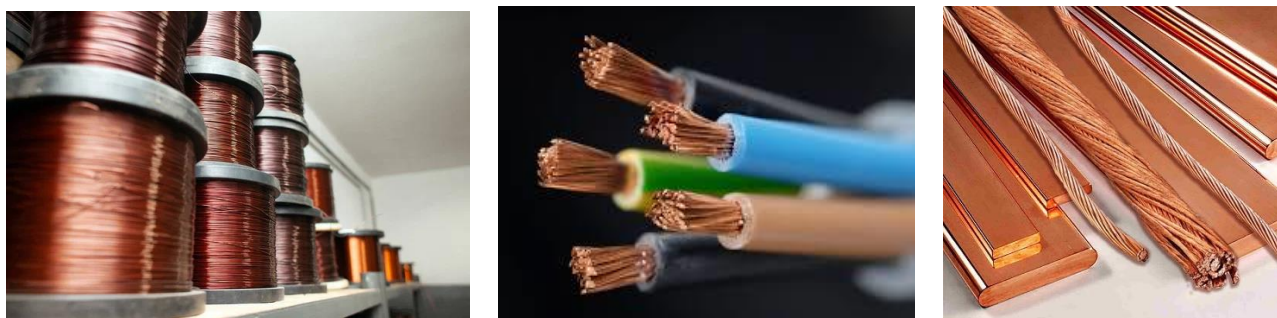
**Mis, (Cu)**

#### 3.2.1. Mis o'tkazgichlar va uning qotishmalari

**Mis (Cu - lat. cuprum)** - yuqori o'tkazuvchan materiallar orasida asosiy o'rinni egallaydi. Mis, o'tkazuvchanlikning yuqorida sanab o'tilgan barcha talablarni qanoatlantiradi va u, solishtirma qarshilik bo'yicha faqatgina **kumushdan** keyingi o'rinda turadi (sof misning  $\rho = 0,017 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ . ga teng) (3.1-rasm).

Elektrotexnik mis, sulfid rudani qayta ishlash va elektrolitik tozalash usuli orqali olinadi.

Olingan katod plastinalar kerakli o'lchamdagi: shinalar, tasmalar, o'zaklar shakliga keltiriladi. Sovuq holda cho'zib ishlov berish usulida qattiq mis (MT – med tverdaya), toblashdan so'ng yumshoq mis (MM - med myagkaya) olinadi (3.2-jadval).



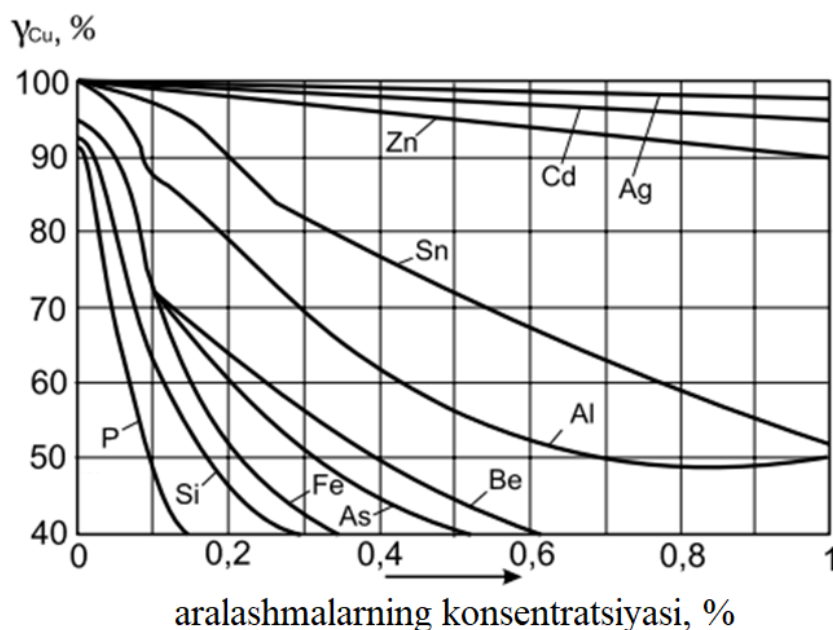
a)

b)

v)

3.1 - rasm. a - o'tkazgich sim; b – izolyatsiyalangan o'tkazgich; v - qotishmalar

Mis tarqibiga qo'shilgan har qanday aralashma uning o'tkazuvchanligini pasaytiradi (3.2 - rasm).



3.2-rasm.

Aralashmalarning misni solishtirma elektr o'tkazuvchanligiga ta'siri.

Mis tarkibida ishtirok etuvchi juda oz % dagi berelliy, margimush (mishyak), temir, kremniy va fosfor uning solishtirma o'tkazuvchanligini 50% va undan ortiqqacha pasaytiradi.

### 3.2-jadval. Misning xususiyatlari

T.R.	Misning markasi	$\sigma_v$ , MPa	$NV$	$\delta$ , %	$\rho$ , mkOm·m
1.	MM	250...280	< 35	18...35	0,01754
2.	MT	340...450	65...120	0,5...2,5	0,0182

**Vismut va qo'rg'oshinning**, mis tarkibida ulushi 1/1000% gacha bo'lsa ham issiq haroratdagi bosim ostida ishlov berilganda material tarkibidagi oson eruvchi aralashmalarning ishtiroki evaziga darz ketish va sinish jarayonlarini yuzaga keladi.

Misning tarkibidagi kislorod oksidlarni hosil qiladi. U kavsharlash, qalaylashni qiyinlashtiradi va solishtirma qarshilik ( $\rho$ ) ni oshiradi. Tarkibida vodorod aralashib qolgan misda mikroskopik yoriqlar hosil bo'ladi va natijada u mo'rtlashadi.

Elektrolitik misni vakuum holatida erish orqali kislorodsiz M00 markali (aralashmalar miqdori 0,01% li), bundan tashqari M0 markali (aralashmalar miqdori 0,05% li) va M1 (aralashmalar miqdori 0,1% li) mis olinadi va u elektrotexnik maqsadlarda ishlatiladi.

Kuydirilgan yumshoq mis, turlicha maqsadlarda foydalanilayotgan elektr o'tkazgich simlar va kabellarning tolalari, tarqatish qurilmalarining shinalari, transformatorlar va dvigatellarning chulg'amlari, asbob-uskunalarning tok o'tkazuvchi detallari va qismlari, galvanoplastikadagi anodlar sifatida ishlatiladi.

Qattiq mis - mustahkamlikni ta'minlash, yuqori qattqlik, yemirilishga chidamlilik (izolyatsilanmagan simlar, elektr dvigatellarning kollektor plastinalari va boshq.), talab etilganda ishlatiladi.

Magnetronlarning detallari, to'lqin uzatgich (volnevod) lar, rezonatorlar, o'ta yuqori chastota (O'YuCh) asboblari misning kislorodsiz elektrovakkumli sortlaridan tayyorlanadi.

Mikroelektronika qurilmalarida, mis yupqa o'tkazgich plenklar shaklida ishlatiladi.

Mis tabiatda kam uchraydigan ( $4,7 \cdot 10^{-3}$  %) kamyob material hisoblanadi. Shu sababli imkon qadar uning o'rnini boshqa metall bilan to'ldiriladi.

**Mis asosidagi qotishmalar.** Mis qotishmalari orasida eng ko‘p tarqalgan material **jez (latun)** va **bronza** bo‘lib, mexanik mustahkamlik, korroziyaga chidamlilik, yuqori elektr o‘tkazuvchanlik kabi xususiyatlar ularning ijobiy xususiyatlari hisoblanadi (3.3-jadval).

### 3.3-jadval.

#### Mis qotishmalarning xususiyatlari

TR.	Qotishmaning markasi	Kimiyoviy tarkibi	$\sigma_v$ , MPa*	$\delta, \%^*$	$\rho$ , mkOm·m
1.	L96	Cu+4%Zn	270/400	35/6	0,040
2.	L62	Cu+38%Zn	300/600	50/0,5	0,072
3.	LS59-1	Cu+40%Zn+1%Pb	350/440	25/5	0,080
4.	LMts58-2	Cu+40%Zn+2%Mn	380/600	30/3	0,108
5.	BrOF7-0,2	Cu+7%Sn+0,2%P	250/400	30/15	0,140
6.	BrKd1	Cu+1%Cd	400/700	20/2	0,020
7.	BrB2	Cu+2%Be	1350**	2**	0,065

\*suratda - toblangan holatdagi kattalikning qiymatlari, maxrajda – qattiq holatidagi cho‘zilgan qiymatlari.

\*\* Termo ishlov berishdan keyingi qiymat kattaliklari (toblash+ eskirish).

### ***Jez, (Cu+Zn)***

**Jez — (Cu+Zn - lat. Cuprum + Zincum)** – bu **mis** va **ruxning** qotishmasidir. Jezlar misga nisbattan mustahkamroq va arzonroq, atmosfera yemirishlariga (korroziya) chidamli va yuqori texnologik asboblarda ishlatishga qulay (3.3-rasm).

Jezdan bosim ostida sovuq ishlov berishdan so‘ng foydalaniladi - bu holatda u yuqori mustahkamlik va qattiqlikka ega bo‘ladi, yoki toblangan holatda – bu paytda u yuqori egiluvchan bo‘ladi. Jezlarning tarkibi va xususiyati ruxning miqdoriga bog‘liq.



3.3 – rasm. Jezning namunalari

Tarkibida ruhning miqdori 39% gacha bo‘lgan qotishmalar bir fazali tarkibga ega bo‘lib qattiq aralashmasi -  $\alpha$  – (3.4 - a, rasm) sovuq holatda, bosim ostida yaxshi ishlov beriladi. Jezlarning tarkibidagi rux aralashmasi 12% gacha bo‘lganni *tompaklar* deb ataladi, masalan L90 (10%Zn), L96 (4%Zn).



a)

b)

v)

3.4 - rasm. Misning tarkibi va qotishmalari: *a* – bir fazali jez, *b* - ikki fazali jez, *v* – bronza.

Bunday materiallar uchun yuqori elektr va issiqlik o‘tkazuvchanlik xususiyati xos bo‘lib, ulardan radiatorlarning quvurlari tayyorlanadi. Jezning  $\alpha$  – tarkibida 32-38% rux qo‘shilganda (masalan, L62 va L68 markali) uning elastiklik xususiyati ortadi. Bunday materiallardan: manometrlarning quvurlari, gilzalar, to‘lqin o‘tkazgichlar, asboblarning platalari, mahkamlash detallari, shtepsel ajratgichlarning detallari, o‘chirgichlar kabi chuqur so‘riladigan yoki shtampovkalab tayyorlanadigan mahsulotlar yasaladi.



Ruxning konsentratsiyasi 39% dan 45% gacha bo'lgan qotishmalar - ikki fazali -  $\alpha + \beta$  - jez ni tashkil etadi. Ularning tarkibi –  $\alpha$  qattiq aralashma va intermetallidnoy  $\beta$  - fazli **CuZn (3.4 - b)**, rasm) dan iborat.

Ikki fazali jezlar, bir fazalilarga nisbatan mustahkam va ishlov berish paytida oson kesiladi, issiq holatda bosim ostida yengil ishlov beriladi.

Ikki fazali jezlarga qo'shimcha ligerlovchi elementlar qo'shilgan bo'lsa *maxsus* deyiladi. Masalan, LS59-1 markali jez (avtomat jezi), ruxdan tashqari 1% qo'rg'oshin aralashmali bo'lib antifriksion xususiyatga ega, qipig'ining sinuvchanliga evaziga kesish, yuzasining yuqori sifatligi, yuqori ishlov berish xususiyati bilan ustun turadi. U, asboblarning yo'niladigan detallari: shesteryonkalar, vtulkalar, podshipniklarni yasashda ishlatiladi.

Jezga 1 – 2% li marganets aralashtirilib yoy razryadi bilan payvandlashda qotishmaning turg'unligi oshiriladi. Shu sababli LMts58-2, LJMts59-1-1 jezlari shtepsel ajratgichlar, qisqichlar, prujinali kontaktlar yasashda ishlatiladi.

## ***Bronza (Br)***

**Bronza (Br - lat. Bronze)** – jezning turlicha kimyoviy element (qalay, alyuminiy, kremniy, kadmiy, berelliy va h.k.) lar bilan qotishmasidan paydo bo'ladi.

Bronzaning asosiy xususiyatlari quyidagilardan iborat:

- yuqori quyilish xususiyati, suyuq oquvchanlik;
- yuqori qattqlik va egiluvchanlik;
- yeyilishga qarshi yuqori turg'unlik;
- antikarroziya xususiyati: atmosfera karroziyasidan himoyaning talab etilmasligi;
- ishqalanishga chidamlilik xususiyati;

Qalayli bronzalar keng tarqalgan va ayniqsa mashinasozlik sohasida keng ishlatiladi.

Elektrotexnik material sifatida undan prujinali kontaktlar, membranalarni yasashda 7 % qalay va 0,2% fosforli sovuq deformatsiyalangan BrOF7-0,2 bronza **(3.4**

$\nu$ , va 3.5 - rasm) ishlatiladi. Mazkur qotishmaning zaif tomoni past elektr o'tkazuvchanligi ( $\gamma = 10...15\%_{\gamma\text{Cu}}$ ) hisoblanadi.



3.5 - rasm. Bronzani namunalari

Bronzalar orasida yuqori elektr o'tkazuvchanlik ( $\gamma = 95\%_{\gamma\text{Cu}}$ ) kadmiyli BrKd1 markali bronzaga xos. U toblangan midan 3 marta qattiqroq. Kadmiy misning qayta kristallanish haroratini oshiradi, shu sababli qattiq cho'zilgan bronzadan yasalgan o'tkazgich simlar  $250^{\circ}\text{S}$  gacha haroratda ham mustahkamligini yo'qotmaydi.

Kadmiyli bronza tez aylanuvchi dvigetellarning kollektor plastinasi, prujinali kontaktlar, yuqori mustahkam o'tkazgichlarni yasashda qo'llaniladi.

Xromlangan bronza BrX0,5 yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ( $\gamma = 85\%_{\gamma\text{Cu}}$ ) ega. U yemirilishga chidamli materialligi sababli undan sirg'aluvchi kontaktlar yasaladi.

Berelliyligi bronza BrB2 ning – yuqori darajadagi egiluvchanlik, qattqlik, charchash va yemirilishga chidamlilik, yuqori elektr o'tkazuvchanlik ( $\gamma = 65\%_{\gamma\text{Cu}}$ ) kabi noyob xususiyatlari bor.

Uni  $770...780^{\circ}\text{S}$  haroratda termik ishlov berib chiniqtirish va  $350...370^{\circ}\text{S}$  harorat ostida toblashdan so'ng qo'llanadi. Toblash paytida qattiq aralashmaning tarkibidagi to'yingan  $\alpha$  - qattiq aralashmaning metastabillik  $\gamma'$  - fazasi – CuBe ning metallar aro parchalanishga chidamlilik va mustahkamlik darajasi  $1300...1350\text{ MPa}$  gacha ortadi. Sovuq prokatlash usulida qotishmaning mustahkamligini  $1750\text{ MPa}$  gacha oshirilishi mumkin.

Berelliqli broza yuqori aniqlikdagi asboblarning egiluvchan elementlari - tok o'tkazuvchi (prujinali kontaktlar, membranalar), yuqori bosim va haroratda, og'ir sharoitda ishlovchi detallarni yasash kabi o'ta muhim maqsadlarni amalga oshirishda ishlatiladi.



## *Alyuminiy (Al)*

### **3.2.2. Alyuminiy o'tkazgichlar va uning qotishmalari**

**Alyuminiy (Al - lat. *Aluminum*)** yuqori o'tkazuvchanlik ko'rsatkichi bo'yicha misdan keyingi - ikkinchi o'rinni egallaydi. Uning quyidagi xususiyatlari asosida elektrotexnikada keng qo'llaniladi:

- past solishtirma elektr qarshilik ( $\rho = 0,028 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ )
- xom ashyoning mo'l-ko'lligi (er qa'rida *Al* 7,5% ni tashkil etadi), narxining arzonligi (misga nisbattan taxminan 3 marta arzon);
- solishtirma og'irligining kamligi: alyuminiyning zichligi  $2,7 \text{ g/sm}^3$  va u misga nisbattan qariyb 3,5 marta past;
- suv bug'larida yuqori karoziyaga chidamlilik (chuchuk va dengiz suvida);
- yuqori elastiklik, turlicha kesimdagi egiluvchan simlarni va qalinligi 6...7 mkm gacha bo'lgan folgalarni tayyorlash imkonining mavjudligi.

Texnik maqsadlarda ishlatiladigan alyuminiy glinozemni elektrolizlash usuli bilan olinadi, yuqori tozalikdagi alyuminiyni olish uchun esa - qo'shimcha elektrolitik oqlash jarayoni olib boriladi.

Alyuminiyga *Cu*, *Ag*, *Mg*, *Mn*, *V*, *Ti* kabi elementlarni qo'shib qattiq qorishmalar hosil qilinganda, hosil bo'lga materialning (0,5 % massaga nisbattan aralashma miqdori 5-10% bo'lganda) solishtirma o'tkazuvchanligi pasayadi. Alyuminiyga *Ni*, *Si*, *Fe*, *Zn* kabi elementlar qorishma sifatida qo'shilganda elektr o'tkazuvchanlikka sezilarli ta'sir etmaydi.



Elektrotexnik maqsadlar uchun texnik tozaligi 0,5% aralashmali AYE, yuqori tozalikdagi alyuminiy 0,03% aralashmali A97, maxsus tozalangan 0,0001% li A999 markalilaridan foydalaniladi.

Alyuminiy o'tkazgichlar chulg'am simlari, montaj, o'rnatiladigan, elektr uzatish liniyalari va kabel sim tolalarida keng qo'llaniladi.

Alyuminiyning past darajadagi zichligi uning asosiy ustunligidir: bir xil qarshilikdagi ikki tolali alminiyning ko'ndalang kesim yuzasi misga nisbatan 1,6 marta yuqori bo'lishiga qaramasdan ikki marotaba yengil. Emirilishdan saqllovchi, katta miqdordagi elektr qarshilikka ega bo'lgan yuzasidagi yupqa oksidlanmaydigan qobiq bilan qoplanganligi sababli alyuminiy  $Al_2O_3$  o'tkazgichlarni izolyatsiyalamasdan ishlatish mumkin.

Alyuminiy oksidli izolyatsiya, elektrolitik kondensatorlarda va boshqa g'altaklarda chulg'amlar aro qo'shimcha izolyatsiyasiz (100...250V) keng qo'llaniladi.

Plyonka shaklidagi o'ta toza alyuminiy mikroelektronikada elementlar aro ulanishlar va kontaktlarda keng qo'llaniladi.

Alyuminiyning kontakt materiala qilib ishlatishning ustunligi shundaki, u yengil changlanadi, kremniy va plastinka shaklidagi ikki oksidli kremniy ( $SiO_2$ ) izolyatsiyaga yaxshi yopishadi.

Texnik alyuminiyning yengillik, korroziyaga chidamlilik, magnitlanmaslik kabi ijobiy xususiyatlari sababli radio asboblari va uskunalarning detallari, qobiqlari, mayoqlar (strelka) tsiferblatlarini tayyorlashda ishlatiladi.

Alyuminiyning asosiy kamchiligi - past mexanik mustahkamlik. Alyuminiy sim o'tkazgich toblangan holatda ishlatiladi va u 80...90 MPa mustahkamlikka va 25...33% nisbiy cho'zilish xususiyatiga ega.

Sezilarli darajadagi mexanik yuklama ostida ishlovchi elektrotexnik mahsulotlar va asboblarning detallarida yuqori mustahkam alyumiy qotishmalar ishlatiladi.

Masalan radio qurilmalari va keng miqyosda qo‘lalaniladigan asboblar - uskunalarni qobiqlarida **duralyuminlar** -  $Al-Cu-Mg$  ( $Al+4,3\%Cu+1,8\%Mg+1\%Mn$ ) qotishmalar ishlatiladi.

Mustahkamlikni oshiruvchi temik ishlov berish (suvda  $500^{\circ}S$  da chiniqtirish va  $175^{\circ}S$  da toblash) dan so‘ng, mexanik xususiyatlar  $\sigma_v = 480$  MPa,  $\delta = 15\%$  gacha ortadi.

Havo elektr uzatish liniyalarida alyuminiyning  $Al-Mg-Si$  ( $Al+1\%Mg+1\%Si$ ) qotishmalari ishlatiladi. Bunday materiallar yuqori egiluvchanlik, mustahkamlik (350 MPa gacha), yaxshi elektr o‘tkazuvchanlik va juda oz solishtirma qarshilikka ( $\rho = 0,032$  mkOm·m) li bo‘ladi.

Alyuminiyning zaif jihatlari qatoriga mis bilan tutashgan joylarda elektrokimyoviy korroziyaga uchrashga moillikning yuqoriligini sanab o‘tish mumkin. Alyuminiyni himoyalash uchun lak bilan qoplanadi. Oksidlanish plenkasining hosil bo‘lishi, alyuminiyni kavsharlash qiyinlashadi. Shu sababli alyuminiy simlarni o‘zaro tutashtirishda sovuq payvandlash, maxsus kavsharlar yoki ultratovushdan foydalaniladi.

### 3.2.3. Qimmatbaho metallar

Qimmatbaho metallarga kumush, oltin, platina va platinalar guruhiga kiruvchi (platinaoidlar) – palladiy, iridiy, rodiy, osmiy, ruteniylar kiradi.

Qimmatbaho metallarning asosiy xususiyati – yuqori elektrokimyoviy potensial qiymatga egaligi sababli yuqori korroziyaga chidamlilik. Ular atmosfera salbiy ta’siri ostida, xona yoki yuqori harorat ostida deyarli korroziyaga uchramaydi.

Yuqori egiluvchanlik ammo past qiymatdagi qattqlik va mustahkamligi bilan ajralib turadi (bu holat ularning sovuq plastik deformatsiyalanishini oshirishi mumkin).

Qimmatbaho metallar tabiatda turlicha rudalar tarkibida sof holatda uchraydi, ulardan qayta ishlash natijasida mingdan bir foiz yot jinsli toza metallar olinadi. Ko‘pchilik qimmatbaho metallar o‘zaro qattiq qotishmalarni hosil qiladi. Yuqori korroziyaga chidamlilik va zaif kontakt qarshiligiga ega bo‘lgan qimmatbaho

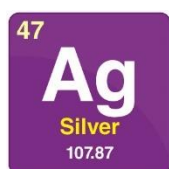
metallar elektr kontakt materiallari sifatida keng ishlatiladi. Ayrim qimmatbaho metallarning xususiyatlari haqidagi ma'lumotlar 3.4-jadvalda keltirilgan.

### 3.4 - jadval.

#### 20<sup>0</sup>S haroratda ayrim metallarning xususiyatlari haqidagi ma'lumotlar.

Metall	Kimyoviy belgilanishi	Kristall pajara tipi	Zichligi, g/sm <sup>3</sup>	Erish harorati, <sup>0</sup> S	$\rho$ , mkOm·m	$\alpha_p \cdot 10^2, K^{-1}$
Alyuminiy	Al	GSK	2,7	658	0,028	0,41
Bariy	Ba	OSK	3,75	710	0,5	0,36
Berilliy	Be	PU	1,84	1284	0,041	0,66
Vanadiy	V	SK	6,11	1900	0,241	0,36
Vismut	Bi	Romboedr.	9,8	271	1,16	0,42
Volfram	W	OSK	19,3	3380	0,055	0,5
Galliy	Ga	Romb.	5,92	30	0,560	0,39
Temir	Fe	OSK/ GSK	7,87	1539	0,098	0,62
Oltin	Au	GSK	19,3	1063	0,0225	0,4
Indiy	In	Tetragon.	7,3	156	0,090	0,47
Iridiy	Ir	GSK	22,4	2410	0,054	0,41
Kadmiy	Cd	GPU	8,65	321	0,076	0,42
Kaliy	K	OSK		64	0,069	0,58
Kobalt	Co	GPU/GSK	8,85	1500	0,064	0,6
Litiy	Li	OSK		180	0,087	0,45
Magniy	Mg	GPU	1,74	651	0,045	0,4
Marganets	Mn	Slojn. kub.	7,44	1244	1,85	0,1
Mis	Cu	GSK	8,92	1083	0,017	0,43
Molibden	Mo	OSK	10,2	2620	0,05	0,43
Natriy	Na	OSK		98	0,046	0,5
Nikel	Ni	GSK	8,96	1453	0,068	0,67
Niobiy	Nb	OSK	8,57	2500	0,15	0,4
Qalay	Sn	Sl.kub/Tetr	7,29	232	0,113	0,45
Osmiy	Os	GPU	22,5	3000	0,095	0,42
Palladiy	Pd	GSK	12,02	1550	0,108	0,36
Platina	Pt	GSK	21,45	1770	0,098	0,39

Reniy	Re	GPU	21,02	3180	0,214	0,32
Rodiy	Rh	GSK	12,48	1970	0,043	0,43
Simob	Hg	Rombich.	13,5	-39	0,958	0,1
Ruteniy	Ru	GPU	12,4	2250	0,075	0,45
Qo'rg'oshin	Pb	GSK	11,34	327	0,19	0,42
Kumush	Ag	GSK	10,49	961	0,015	0,4
Stronsiy	Sr	GSK	2,63	770	0,227	0,4
Tantal	Ta	OSK	16,6	3000	0,124	0,38
Titan	Ti	GPU/OSK	4,52	1670	0,47	0,55
Toriy	Th	GSK/OSK		1850	0,186	0,23
Xrom	Cr	OSK	7,19	1900	0,13	0,24
Rux	Zn	GPU	7,14	419	0,059	0,41
Sirkoniy	Zr	GPU/OSK	6,5	1855	0,41	0,44



## *Kumush (Ag – lat. argentum)*

**Kumush (Ag – lat. Argentum)** – barcha o‘tkazgich metallar orasida eng yuqori issiqlik va elektr o‘tkazuvchan material hisoblanadi. Kumushning solishtirma qarshiligi  $\rho=0,015 \text{ m}\Omega\cdot\text{m}$ . U qimmatbaho metallar orasida juda arzon bo‘lishi bilan birga misdan 25 marta qimmat, yer qa‘ridagi zaxiralari -  $7\cdot 10^{-6} \%$  ni tashkil etadi. Termik ishlov berilgan kumushning qattiqligi va mustahkamligi unchalik katta emas  $\sigma_v = 200 \text{ MPa}$ ,  $\delta = 50\%$ . Kimyoviy turg‘unligi boshqa qimmatbaho metallar bilan solishtirilganda past, korroziyaga chidamlilik  $200^{\circ}\text{S}$  haroratgacha saqlanib qoladi. Uning yuqori egiluvchanligi juda yupqa folgalarni va diametri 0,01 mm gacha bo‘lgan o‘tkazgich simlarni olish imkonini beradi. Yuqori elektr va issiqlik o‘tkazuvchanligi bois kumush ko‘pchilik qotishmalarning kontakt qismlari, past tok va kuchlanishli o‘ta yuklama ostida ishlovchi kontaktlar tarkibiga kiritilgan. Ammo toza kumushning yoy razryadiga chidamli zaif, kuchli yemirilish va payvandlanish xususiyatlari unga xosdir. Kushumushning zaif tomoni, nam havoda oltingugurt vodorodi bilan reaksiyaga kirishib yomon o‘tkazuvchi kumush sulfid ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) li yupqa plenkani hosil qilishi

hisoblanadi. Shu sababli kumushni oltingugurt tarkibli materiallar: rezina, ebonit, va boshqalar bilan birga, qo‘llab bo‘lmaydi.

Kumush elektrod sifatida keramik va slyudali kondensatorlarni tayyorlash hamda mis va jez mahsulotlarni oksidlanishdan saqlash va o‘tkazuvchanlikni yaxshilash uchun qoplashda ishlatidadi.



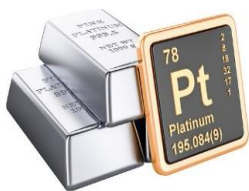
### *Oltin (Au – lat. aurum)*

**Oltin (Au – lat. Aurum)** - yuqori issiqlik va elektr o‘tkazuvchanlik, zaif solishtirma qarshilikka ( $\rho = 0,0225 \text{ mkOm} \cdot \text{m}$ ) ega. Kumushga nisbattan karroziyaga o‘ta chidamli va oltingugurtli plenklar hosil qilmaydi. Oltindagi yuqori egiluvchanlik ( $\delta \approx 40\%$ ) xusisiyati yuqori bosim ostida ko‘p marta ishlov berish imkonini beradi, ammo shunga qaramasdan uning qattqlik va mustahkamligi ( $\sigma_v \approx 150 \text{ MPa}$ ) past darajada.

Oltin yoy razryadi rejimi yuzaga kelmaydigan, past kuchlanish va zaif birikib ishonchli ulanish hosil qiluvchi kontaktlarda, o‘ta yuqori chastotali rezonatorlarda, to‘lqin uzatuvchi qurilmalarning ichki yuzalarida foydalaniladi.

Yupqa plenka shaklidagi oltin, fotorezistorlar va yarim o‘tkazgichlarning fotoelementlarida yarim shaffof elektrodleri, hamda plenkali mikro sxemalarning kontakt yuzalarini tutashtiruvchisi sifatida ishlatiladi. Metall, xrom yoki mis asosli yopishqoq yuzaga vakuum ostida changlatib purkash usuli bilan qoplanadi.

Oltinning turli metallar bilan hosil qilgan qotishmalari uning mustahkamligini oshiradi. Oltinning nikel, platina kabi metallar bilan hosil qilgan qotishmalari ko‘p ishlatiladi. Bunday qotishmalarni toblash va chiniqtirish orqali karroziyaga chidamlik oshiriladi.

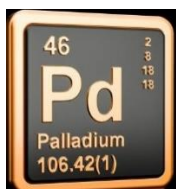


### *Platina (Pt)*

**Platina (Pt - lat. *Platinum*)** – barcha qimmatbaho metallar orasida yuqori solishtirma qarshilik ( $\rho = 0,098 \text{ m}\Omega\cdot\text{m}$ ) va past issiqlik o'tkazuvchan material hisoblanadi. Platina mexanik ishlov berishda qulayligi bois uni cho'zib ingichka simlar va lentalar yasaladi. Diametri 1 mkm gacha bo'lgan ingichka simlar, katta aniqlikda ishlovchi elektr o'lchov asboblarning tor va osma jismlarida ishlatiladi.

Platina ko'pchilik kislotalarda erimaydi va olingugurtli plenklar hosil qilmaydi. Shu sababli yuqori kimyoviy turg'unlik xususiyatiga ega va uning kontakt ulanish joylarida o'tish qarshiligi doimiy bo'ladi.

Platinada, havo harorati  $540^{\circ}\text{S}$  dan oshganda oksilanish jarayoni boshlanadi. U ko'pincha qotishmalar ko'rinishida ishlatiladi. Platinaning irridiy ( $\text{Pt}^{+3}\dots 6\%\text{Ir}$ ) va rodiy ( $\text{Pt}^{+5}\dots 12\%\text{Rh}$ ) bilan hosil qilgan qotishmalari keng tarqalgan. Bunday qotishmalar yuqori qattiqligi va harorat  $1000^{\circ}\text{S}$  gacha yetgungacha oksidlanishning turg'unligi bilan ustunlikka ega. Platinaga yuqori yoy razryadiga chidamlilik (boshqa qimmat baho metallarga nisbatan 2 marta yuqori). Elektr erroziya va payvandlanishga past moyillik xususiyatlari unga xos. Mazkur qotishmalar elektr o'lchov asboblari, radio va telemetrik qurilmalarning termoparalari hamda ishonchli ulanuvchi o'ta muhim elektr kontaktlarni yasashda qo'llaniladi.



### ***Palladiy (Pd)***

**Palladiy (Pd – lat. *Palladium*)** - platinalar guruhiga mansub metallardan orasida keng qo'llaniladi. Xususiyatlari bo'yicha platinaga o'xshab ketadigan, unga nisbatan 4-5 marta arzon va ikki marta yengil metall palladiy hisoblanadi. Palladiyning oksidlanishga turg'unligi patinaga nisbatan pastroq (harorat  $350^{\circ}\text{S}$  dan ortganda xiralashadi). Shunga qaramasdan uning mexanik xususiyatlari yuqori:  $\sigma_v=200 \text{ MPa}$ ,  $\delta = 40\%$ .

Palladiyning yana bir xususiyati uning vodorodni jadal ravida yutishidir (o'z hajmiga nisbatan 850 matra ko'proq yuta oladi). Palladiyni vakuumda qizdirilsa vodorod qayta ajralib chiqadi. Bunday xususiyatdan gazorazryad qurilmalarni vodorod bilan to'ldirishda foydalaniladi. Palladiyning kumush, oltin, irridiy, mis, nikel bilan

qotishmalaridan ishonchli ulanadigan uzilib-ajraluvchi va sirg'aluvchi kontaktlar yasaladi.

**Rodiy (Rh),  
Iridiy (Ir),  
Ruteniy (Ru),  
Osmiy (Os)**

*Rodiy (Rh – lat. Rodium), Iridiy (Ir – lat. Iridium), Ruteniy (Ru - lat. Ruthenium) va Osmiy (Os - lat. Osmium)* kabi platinalar guruhiga mansub metallar qotishmalari kontaktlarning mustahkmligini oshirish va ligerlash uchun qo'llaniladi. Platina guruhiga mansub metallardan yasalgan kontaktlar narxining juda qimmatligi sababli, kumush asosli kontaktlarni ustini yupqa qavat bilan qoplash uchun ishlatiladi (3.6 - rasml).



3.6 - rasml. Rodiy (Rh), Iridiy (Ir), Ruteniy (Ru) va Osmiy (Os) ning Mendeleyev davriy jadvalida belgilanisi

### 3.2.4. Qiyin eriydigan metallar

Qiyin eriydigan metallarga, erish harorati 1700<sup>0</sup>S dan yuqori bo'lgan: volfram, molibden, tantal, niobiy, xrom, sirkoniy, reniy kabi metallar mansub. Ko'pincha bunday metallar kukunli metallurgiya usulida elektrovakuimli eritish texnologiyasi yordamida olinadi.

Qiyin eriydigan metallardan:

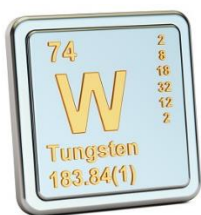
- elektrovakuum texnikasi mahsulotlari;
- elektr qizdirish elementlari;

- yuqori o'tkazuvchan, yupqa rezistiv plenkalar olinadigan termik qoplash qurilmalarining bug'latgichlari;
- yupqa plenkali rezistorlar;
- yuqori haroratni o'ldiradigan termoparalar olinadi.

Barcha qiyin eruvchi metallar havoda  $600^{\circ}\text{S}$  dan yuqori haroratda qizdirilganda jadal oksidlanib, changlanuvchan oksidlar hosil qiladi. Shu sababli qizdiruvchi elementlar sifatida foydalanilganda, ular vakuumda yoki inert gaz (masalan argon) bilan to'ldirilgan muhitda ishlatiladi.

Qiyin eruvchi metallar o'ta past to'yingan bug'lar bosimiga ega – muhim sifati, bug'latuvchi material uchun yupqa plenkarni olishdagi qulaylikdir.

Yupqa plenkarni olishda, bug'latuvchi materialda o'ta past bosimli to'yingan bug'larning hosil bo'lishi, qiyin eruvchi metallarning muhim jihati hisoblanadi.



## *Volfram (W)*

**Volfram (W – lat. Wolframium)** - barcha metallardan qiyin eriydigan ( $T_{\text{erish}} = 3400^{\circ}\text{S}$ ), material bo'lib, yuqori qattqlik, zaif qarshilik ( $\rho = 0,055 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ ) va yaxshi o'tkazuvchanlikka ega.

Volfram – elektrovakuum texnikasining muhim materiallaridan biri hisoblanadi. Ishlov berish paytidagi bolg'alash, cho'zish jarayonida hosil bo'ladigan metallardagi tolali tarkib evaziga diametri 0,01 mm. gacha bo'lgan volfram sim, yuqori egiluvchanlik xususiyatga ega bo'ladi.

Volfram – cho'g'lanma lampalaridagi tok o'tkazuvchi spiral simining asosiy materialidir. Ammo toza volframdan tayyorlangan sim va spiral yuqori harorat ostidagi, qayta kristallanish jarayonida simning ko'ndalang kesimga teng o'lchamdagi donachalarning hosil bo'lish jarayonining jadallashishi evaziga mo'rtlashib qoladi.

Toza volframning tarkibini yaxshilash uchun unga turli xildagi qo'shimchalar qo'shiladi. Toriy oksidi  $\text{Th}_2\text{O}_3$  qayta kristallanish jarayonini sekinlashtiradi va



donachalar hosil bo'lishiga to'sqinlik qiladi, kremniy  $SiO_2$  va alyuminiy  $Al_2O_3$  oksidi qo'shilganda volfram simning shakl turg'unligi yaxshilanadi.

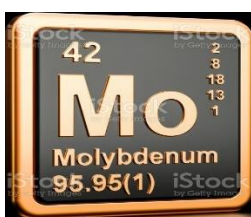
Elektrovakuum sanoatida VA (volfram–alyuminiy) va VT (volfram toriy oksidi qo'shimchali) markalari ishlatiladi.

Volframdan yuqori kuchlanishli, katta quvvatga ega bo'lgan generator lampalari hamda ishchi harorati 2200...2800 K li rentgent trubkalarining katodlari tayyorlanadi. Volfram katodlar o'zgarimas elektronlar emissiyasiga va yuqori vakuumda ishlash xususiyatiga ega. Toriyashtirilgan volfram (VT) katodlarda emissiya xususiyatiga juda yuqori.

Volfram barcha toza metallar ichida harorat ta'sirida chiziqli kengayish koeffitsiyenti ( $\alpha = 4,4 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ) juda past xossaga ega bo'lgan material qatorida turadi. Ushbu xususiyat volfram bilan qiyin eruvchi shishalardan termik turg'un bo'g'inli birikmalarni hosil qilishda foydalaniladi.

Volfram va uning qotishmalarining molibden, irridiy, reniy bilan birikmasi 1200 °S dan yuqori harooratda ishlovchi isitish elementlari va yuqori haroratga chidamli termoparalarni ishlab chiqariladi.

Uning yuqori qattiqligi, yoy razryadi va, elektr erroziyaga chidamdliligi hamda zaif kavsharlanish xususiyati kabi jihatlari, o'ta yuklangan qo'shib-ajratish kontaktlarda ishlatishda qo'l keladi.



## *Molibden (Mo)*

**Molibden (*Mo* – lat. *Molybdaenum*)** – volframga o'xshab ketsada, bir oz pastroq haroratda eriydi ( $T_{erish}=2620^{\circ}S$ ) va yumshoqroq matall hisoblanadi. Mayda donachali, toblangan molibden volframga nisbattan yuqori egiluvchan va undan ko'pchilik murakkab shaklli detallar yasaladi.

Qiyin eruvchi metallar orasida molibdenning solishtirma qarshiligi juda past ( $\rho=0,05 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ ). Molibden atmosfera ta'sirlaridan himoyalangan yuqori ( $1700^{\circ}S$  gacha) haroratda ishlovchi elektr pechlarning qizdirish elementida ishlatiladi.

Molibdendan kuchli issiqlik rejimida ishlovchi elektron lampalarning to'rlari va elektrodleri hamda elektrovakuum qurilmalarining boshqa yordamchi detallari (ilgakli qoziqlari - changak, simlari, osma buyumlari) tayyorlanadi.

Molibdenning volfram bilan qotishmasi aralashmaning barcha diapazonida qattiq konsentratsiyali tarkibini hosil qilaganligi sababli katta ahamiyatga ega.

Tarkibi 45%Mo iborat bo'lgan qotishma maksimal solishtirma qarshilikka, qattqlikka va yuqori erroziyaga chidamlili bo'ladi. Ulardan himoyalangan muhitda ishlaydigan yuqori yuklangan kontaktlar yasaladi.

Volfram-molibden (W-Mo) – qotishmalar cho'g'lanma elektr lampalarning chulg'amlarida va qizdirish katodlarida ishlatiladi. Chunki uning mexanik mustahkamlik xususiyati toza volframga nisbatta yuqori, ammo ishchi harorati juda past.



## *Reniy (Re).*

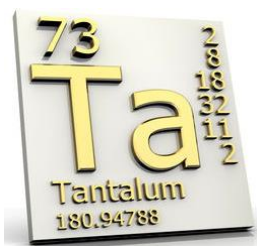
**Reniy (*Re* – lat. *Rhenium*)** – kamyob va og'ir metall bo'lib, erish harorati ( $T_{erish}=3180^{\circ}\text{S}$ ) bo'yicha volframga yaqin.

Reniy, volfram kabi qattiq, mustahkam va plastik material bo'lib, solishtirma qarshiligi yuqori ( $\rho = 0,214 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ )ni tashkil etadi, o'zgarmas tok yoy razryadiga bardoshli. Reniy o'ta yuklangan holatda ajraluvchi kontaktlarda ishlatiladi. Masalan W+15...20%Re qotishmalari yemirilishga chidamliligi bilan ajralib turadi.

Reniy va uning volfram bilan qotishmalarini elektrovakuum uskunalardagi volframni o'rniga ishlatib ishlab chiqarish mumkin. Chunki u vodorod atmosferasida oz miqdorda bug'lanadi va uzoq muddatli xizmat qiladi.

Re - va W-Re - qotishmalari harorat  $2500\dots2800^{\circ}\text{S}$  gacha bo'lgan himoyalangan muhitda joylashgan termoparalarda ishlatiladi.

Radio elektronikada reniy mis, volfram va molibdendan tayyorlangan detallarni korroziyadan himoyalash maqsadida ishlatiladi. Yupqa plenkadan iborat bo'lgan reniy yuqori aniqlikdagi rezistrlar va integral sxemalarda qo'llaniladi.

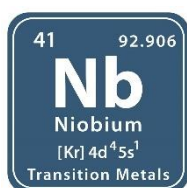


## *Tantal (Ta).*

**Tantal (Ta – lat. *Tantalum*)** – qiyin eruvchanligi bo‘yicha volframga nisbattan pastroq harortda eriydi ( $T_{erish} = 3000^{\circ}\text{S}$ ), ammo plastikligi bo‘yicha undan ancha ustun turganligi sababli quyma detallar va qalinligi 10 mkm. gacha bo‘lgan folgalarni tayyorlashda ishlatiladi. Tantalning yuzasida qalin oksidli  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  plenka hosil bo‘ladi va uning turg‘unlik harorati esa  $1500^{\circ}\text{S}$  ga teng. Bunday xususiyatdan anodli oksidlanish usuli bilan elektrolitik va katta solishtirma sig‘imli yupqa plenkali kondensatorlar ishlab chiqarishda foydalanish mumkin.

Tantal elektrovakuumli texnikalarning muhim detallari: anodlar va generator lampalarining to‘rlari, cho‘g‘lanish katodlarini ishlab chiqarishda keng miqyosda qo‘llaniladi. Harorat  $600\dots 1200^{\circ}\text{S}$  oralig‘ida o‘zgarganda tantalning gazlarni yutish xususiyatidan foydalanib vakuumli asbob-uskunalarda yuqori vakuumni (gettera - gazni yutuvchi va mahkam saqlab turuvchi) stabillashtuvchilari yasaladi. Bundan tashqari undan yupqa plenkali texnologiyalar yordamida rezistorlar ham tayyorlanadi.

Havoda yuqori barqarorlik xususiyatiga ega bo‘lgan tantal plyonkada nitridli  $\text{Ta}_2\text{N}$  qobiq hosil bo‘lishi oqibatida azotning aktiv erish jarayoni yuz beradi.

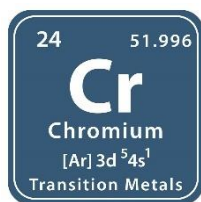


## *Niobiy (Nb).*

**Niobiy (Nb - lat. *Niobium*)** – xususiyatlari bo‘yicha tantalga yaqin metall, ammo unga nisbattan yengil eriydi ( $T_{erish}=2500^{\circ}\text{S}$ ), harorat oralig‘i  $400\dots 900^{\circ}\text{S}$  bo‘lganda gaz yutish xususiyati ortadi. Shu sababli elektrovakuum qurilmalarda neobiydan yasalgan detallar bir vaqtning o‘zida gettera (gazni yutuvchi va mahkam saqlab turuvchi) vazifasini bajaradi.

Qiyin eruvchi metallar orasida neobiydan, ish paytida eng oz elektron ajralib chiqadi, shu sababli katta quvvatli generatorlarning lampalaridagi katodi sifatida ishlatiladi. Barcha kimyoviy elementlar orasida neobiy kritik haroratda o‘ta

o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega ( $T_{o'ta\ o'tk.}=9,2\text{ K}$ ). Shu sababli tantal ( $T_{o'ta\ o'tk.}=4,5\text{ K}$ ) kabi neobiy kriogen texniklarda qo'llaniladi.



## *Xrom (Cr).*

**Xrom (Cr - lat. Chromium)** boshqa qiyin eruvchi metallarga nisbatan past haroratda ( $T_{er.}=1900^{\circ}\text{C}$ ), ammo boshqa metallarga nisbatan yer qobig'ida keng tarqalgan.

Uning ajralib turuvchi xususiyati: oksidlanishga yuqori chidamlilik bo'lib, yuqori harorat va oksidlanish sharoitida ishlatiladigan boshqa metallarning yuzasini xrom bilan qoplashda qulayligi hisoblanadi.

Xromning shisha, keramik, sitallar va boshqa o'tkazgich materiallarga yopishish xususiyati yuqori. Shu sababli boshqa materialdan tayyorlangan asosga xromdan tayyorlangan yupqa plenkani qoplash texnologiyasi yordamida rezistorlarni tayyorlash, kontaktlarning yuzasida tok o'tkazuvchi xromli ulanuchan qoplama hosil qilishda keng qo'llaniladi.

### **3.2.5. O'ta o'tkazuvchan metallar va qotishmalar.**

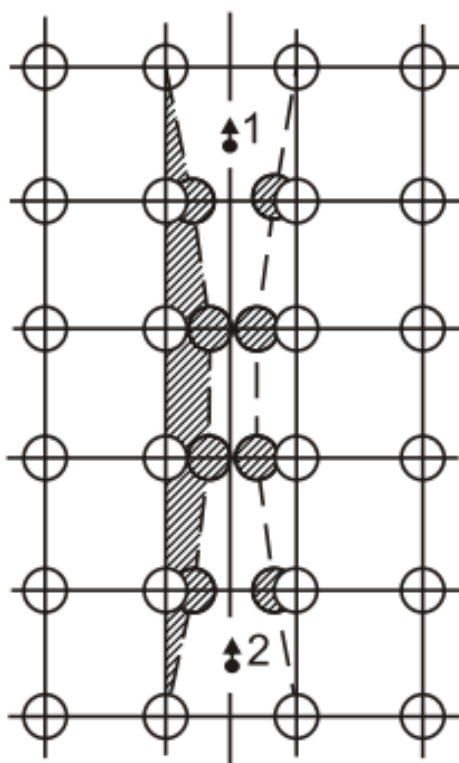
***O'ta o'tkazuvchanlik*** – bu moddaning elektr qarshiligiga ega bo'lmagan holatini tafsillovchi xususiyatdir. O'ta o'tkazuvchanlik, harorat absolyut nolga yaqin bo'lganda bir qator metallar va qotishmalarda kuzatiladi. O'tish haroratining, o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tishi o'ta o'tkazuvchanlik harorati ( $T_{o'ta\ o'tk.}$ ) kritik harorat deyiladi.  $T_{o'ta\ o'tk.}$  dan past darajadagi haroratda o'ta o'tkazuvchan konturda yo'naltirilgan elektr toki, harorat past darajada saqlab turilganda, o'zgarishsiz cheksiz uzoq muddatli holatga aylanadi.

Metallarning solishtirma qarshiligi o'ta o'tkazuvchan holatda  $10^{-25}\text{ Om}\cdot\text{m}$  ni tashkil etadi. Bu esa misga nisbatan  $10^{17}$  marta kam.

### ***O'ta o'tkazuvchanlikning fizik mohiyati.***

O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi 1911 yilda birinchi marta Gollandiyalik fizik Kamerlink-Oness tomonidan simobda ( $T_{o'ta.o'tk.}=4,2K$ ) aniqlangan. O'ta o'tkazuvchanlikning kvant hodisalar asosidagi zamonaviy nazariyasi 1957 yilda amerikalik olimlar Bardin, Kuper va Shrifferlar tomonidan taklif etilgan. Keyinchalik o'ta o'tkazuvchanlik nazariyasining rivojiga rus olimi N. N. Bogolyubov tomonidan salmoqli hissa qo'shilgan.

Metallarda musbat zaryadli ionlar orasida harakatlanuvchi erkin elektronlar, panjaraning issiqlik tebranishlari bilan kvant issiqlik energiyasi - fononlarni almashib ta'sirlashadi. Bunday paytda elektronlar energiyani yutadi yoki chiqaradi, ya'niy o'zining impulsini o'zgartiradi. Panjaraning ishtirokida elektronlar o'rtasida fononlarni almashish to'xtovsiz davom etadi. Almashish jarayonida fenon ta'sirlashishda bo'lgan qarama qarshi impulsli va antiparelel spinli elektronlar o'zaro tortishib Kuper juftligini hosil qiladi. Ushbu jarayonni **3.7 - rasmda** keltirilgan sodda sxema yordamida ko'rib chiqamiz.



**3.7 - rasm.** O'ta o'tkazgichda elektron juftlarining hosil bo'lishi

Ionlar orasida haraktlanuvchi elektron 1, haraktlanish trayektoriyasi bo'yicha musbat zaryadli qalin qatlamli lokal zonani hosil qiladi va yaqin masofada joylashgan ionlarni tortadi. Birinchi elektronning izidan harakatlanayotgan 2 - elektron mazkur zona tomonidan tortiladi. Natijada panjara vositasida elektronlar o'rtasida bilvosita tortilish kuchi yuzaga keladi. Tortilish kuchi katta emasligi sababli, juftlashgan tuzilmalar fazoda zaif bog'lanishlar hosil qiladi. Shuning uchun ular doimo birikib va parchalanib elektron kondensatni hosil qiladi.

Past haroratlarda ( $< T_{o'ta o'tk.}$ ) panjaradagi issiqlik tebranishlarini energiyasi juda oz va juftlashgan elektronlar defektli tarkibga aylanib tarqalib ketmaydi.

Kuper juftlikni impulsi tartib bilan qurilganligi ularning o'ziga xos xususiyatidir. Juftlarning harakatini izohlovchi elektron to'lqinlar bir xil uzunlik va fazaga ega. Barcha elektron juftlar harakatini, panjara tomonidan tarqalamaydigan, ammo tarkibning defekti oqali oqib o'tadigan yagona elektron to'lqinining tarqalishi kabi tasavvur etish mumkin.

Absolyut nol haroratda, barcha elektronlar juft-juft bo'lib bog'langan va Fermi sathi yaqinida joylashgan. Harorat ortgan paytda bir qism bog'angan elektronlar tarqalib ketadi. Juft holatda birlashmagan elektronlar asosiy sathdan qo'zg'atilgan sathga o'tadi va ularning harakati defektli tarqibga o'tish natijasida qiyinlashadi.

Harorat  $T_{o'ta o'tk.}$  ga teng bo'lganda barcha Kuper juft aloqalarining uzilishi yuzaga keladi va o'ta o'tkazuvchanlik xususiyati yo'qoladi. O'ta o'tkazgichlarda o'ziga xos magnit xususiyati mavjud. Teskari yo'nalishdagi spinga ega bo'lgan elektronlar juftni tashkil etganligi sababli, juftning natijaviy momenti nolga teng bo'ladi va o'ta o'tkazgich material ideal diamagnetika aylanadi. Har qanday diamagnetik kabi o'ta o'tkazgichlar magnit maydonidan surib chiqariladi. Tashqi magnit maydon yupqa yuza qavatga ( $10^{-7} \dots 10^{-8}$  m) singib ketadi va namunaning qalinligini kesib o'ta olmaydi. Chunki ta'sir etuvchi itarish effekti shunchalik katta kuchga egaki, o'ta o'tkazgich materialdan yasalgan halqa ustida doimiy magnitni tutib turish kerak bo'ladi. Agar magnit maydonining kuchlanganligi kritik ko'rsatkichlaridan  $N_{o'ta.o'tk.}$  ning bir oz yuqori bo'lsa, o'ta o'tkazuvchanlik holati buzilishi mumkin.

Hozirgi vaqtda kriogen haroratlarda o'ta o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan 30 dan ortiq metallar, 1000 dan ortiq o'ta o'tkazgich qotishmalar va turli elementlarning kimyoviy birikmalari mavjud. Ayrim o'ta o'tkazgich materiallarning parametrlari 3.5 - jadvalda keltirilgan.

### 3.5 - javdal.

#### O'ta o'tkazuvchan materiallarning xususiyatlari

O'ta o'tkazgichlar	Kritik harorat $T_{o'ta o'tk.}$ K	O'ta o'tkazgichlar	Kritik harorat $T_{o'ta o'tk.}$ K
Elementlar		Qotishmalar	
Ir	0,14	35BT	8,7
Al	1,2	65BT	9,7
In	3,4	Kimyoviy birikish	
Sn	3,7		
Hg	4,2	V <sub>3</sub> Ga	14,8
Ta	4,5	V <sub>3</sub> Si	17
V	5,3	Nb <sub>3</sub> Sn	18,3
Pb	7,2	Nb <sub>3</sub> Ga	20,3
Nb	9,4	Nb <sub>3</sub> Ge	24,3

Materialning magnit maydon ta'siri ostida, o'ta o'tkazuvchanlik holatidan oddiy elektr o'tkazgich material holatiga o'tishga qarab I va II tur o'ta o'tkazgichlarga ajratiladi. I – tur o'ta o'tkazgichlarda maydonning kuchlanganligi kritik qiymatga erishganda, o'tish sakrashlar shaklida kechadi.

II tur o'ta o'tkazgichlarda bir holatdan ikkinchisiga o'tish asta-sekin kechadi.

Ko'pchilik toza metallar I – tur o'ta o'tkazgichlarga mansub. Ularning kritik o'tish harorati 4,2 K gacha.

II – tur o'ta o'tkazgichlarga toza metallardan **niobiy** va **vanadiyni** kiritish mumkin.

Barcha elementlar orasida o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'ta oladigan va eng yuqori kritik harorat 9,4 K niobiya xos.

II – tur o'ta o'tkazgichlarga barcha intermetalidli birikmalar va qotishmalar mansub. O'ta yuqori kritik parametrlar (o'tish harorati qiymatlari, magnit maydon kuchlanganligi va ruxsat etilgan tokning kritik qiymati) niobiyning qotishmalari va birikmalari ega.

Masalan, **stanid niobiy** Nb<sub>3</sub>S o'tkazgich simidan maydon induktivligi 10 Tl bo'lganda, zichligi 10<sup>9</sup> A/m<sup>2</sup> (10<sup>3</sup> A/mm<sup>2</sup>) tokni o'tkazish mumkin. Amaliyotda tarkibi niobiy bilan boyitilgan qotishmalar: 65BT(63...68%Nb + 22...26%Ti + 428,5...11,5%Zr) va 35BT(60...64%Ti + 33,5...36,5%Nb + 1,7...4,3%Zr) keng ishlatiladi.

Masalan, 65BT qotishmasida tokning kritik zichligi 2,8•10<sup>6</sup> A/m<sup>2</sup> ni tashkil etadi.

1986 yilda atomlari o'zgacha tartibda joylashgan, yer qobig'ida kam uchraydigan metallar asosida tayyorlangan keramikaning ayrim turlarida, yuqori haroratdagi o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi aniqlangan. Masalan, **lantanning** qotishmalari La<sub>2-x</sub>M<sub>x</sub>SuO<sub>4</sub> (bu yerda M = Va, Sr) harorat, suyuq azotning haroratiga tenglashganda - o'ta o'tkazuvchan holatga o'tadi. **Ittriyning** YVa<sub>2</sub>Su<sub>3</sub>O<sub>7</sub> qotishmalari 173<sup>0</sup>S va undan yuqori bo'lganda o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tadi.

Hozirda katta tok zichligi va o'ta yuqori o'tish harorati holatida o'ta o'tkazuvchan xususiyatga ega bo'lgan materiallarni ishlab chiqish ustida tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada o'tish harorati -158<sup>0</sup>S gacha bo'lgan, kimyoviy formulasi Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Sa<sub>2</sub>Su<sub>2</sub>O<sub>x</sub> vismutli tizimlar istiqbolli hisoblanadi.

O'ta o'tkazgich elementlar va qurilmalar borgan sari fan va texnikaning turli sohalaridan keng o'rin egallamoqda.

O'ta o'tkazuvchan holatga erishish uchun mazkur qurilmalarda suyuq geliy muhiti va juda arzon sovutish agenti - suyuq vodoroddan foydalanilmoqda. O'ta o'tkazgich materilalardan foydalanishning bosh maqsadi kuchlanganligi 10<sup>7</sup> A/m dan katta bo'lgan magnit maydonni olishdan iborat. Bu kichik o'lchamdagi, massadagi va yuqori FIK dagi kuchli gereratorlar, elektr mashinalar va transformatorlarning

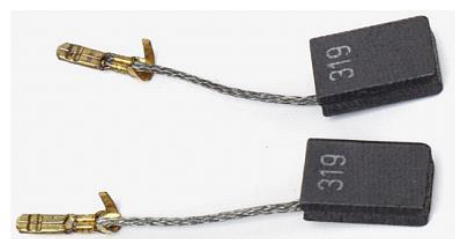


chulgʻamini yasash imkonini beradi. Oʻta oʻtkazuvchan tizimlarda tashqi taʼminot manbai kerak boʻlmaydi. Ular shu bilan birga katta quvvatli elektr uzatish liniyalarining kabellari, past soʻnish qobiliyatiga ega boʻlgan toʻlqin uzatgichlar, xotira va boshqaruv qurilmalarida qoʻllaniladi.

Oʻta oʻtkazgichlar, kuchli magnitlarni tayyorlash uchun (masalan, magnit yostiqlik poyezdlar), yakori magnit maydonida suzib yuruvchi (ishqalanmaydigan tayanchlar) kriogen giroskoplarni yasashda ishlatiladi.

### 3.3. Nometall oʻtkazgichlar

#### 3.3.1. Grafitli materiallar



**Grafit choʻtkalar**

Nometall materiallarning aksariyat qismi grafit tarkibli materiallardan tashkil topgan. Grafit, kristallik panjarasidagi geksagonal qatlamli uglerodning polimorf modifikatsiyasidan biri boʻlib, fizik-mexanik xususiyatdagi kuchli anizotropiyasini va past darajadagi mustahkamligini ifodalaydi.

*Grafitdan elektrotexnik material* sifatida foydalanishda quyidagi asosiy xususiyatlar eʼtiborga olinadi:

- past solishtirma qarshilik ( $\rho = 0,05 \dots 1,2 \text{ mkOm} \cdot \text{m}$ );
- yuqori issiqlik oʻtkazuvchanlik;
- aksariyat kimyoviy zararli muhitlarga chidamlilik;
- yuqori haroratli parchalanish jarayonlarida qattiq qizishga ( $T_{erish} = 3900^\circ\text{S}$ ) turgʻunlik;
- mexanik ishlov berishning yengilligi.

Elektrotexnikada tabiiy grafit bilan bir qatorda sintezlangan ko‘mir grafit materiallar ham keng qo‘llaniladi.

**Pirolitik grafit**, vakuumda yoki harorati  $900^{\circ}\text{S}$  li inert gaz muhitida uglerodlarning bug‘ini (masalan, metanni) termik parchalash yo‘li bilan olinadi. Pirolitik uglerod plenkasidan, chiziqli yuza tipli qarshilik (rezistor) lar olinadi.

**Elektrotexnik ko‘mir** – uglerod tarkibli mahsulotlar, antratsit yoki qurum – mayda parchalarga ajratilgan, to‘liq yondirilmagan yoki termik parchalangan uglerodning turlari, grafit ishlab chiqarishda asosiy xom-ashyo hisoblanadi.

Yaxlit holdagi mahsulotni olishda, uglerodli materiallar kukun holida maydalanadi va bog‘lovchi modda (toshko‘mirli yelim yoki suyuq shisha) bilan aralastiriladi, so‘ngra  $900\dots 2500^{\circ}\text{S}$  haroratda toblanadi va shakl beriladi. Polikristallik grafitni, yuqori haroratli ( $2000^{\circ}\text{S}$  dan yuqori) toblashda grafitlanish hodisasi sodir etiladi. Elektrotexnik ko‘mirdan tayyorlangan mahsulot talab darajasidagi mustahkamlik, qattqlik va mexanik ishlov berish xususiyatiga ega. Ulardan vakuumda yoki harorati  $2500^{\circ}\text{S}$  gacha bo‘lgan himoya vositalarida foydalanilishi mumkin. Tarkibi va materialni tayyorlash texnologiyasiga bog‘liq holda ularning solishtirma qarshiligi  $\rho = 0,05$  dan  $\rho = 60 \text{ m}\Omega\cdot\text{m}$  gacha o‘zgarishi mumkin. Pirolitik grafit va elektrotexnik ko‘mir yoy razryadli elektr pechkalar va elektrolitik vannalarning elektrodlarida, galvanik elementlarning anodlarida, qizdirgichlar, ekranlar, qayiqcha shaklidagi idishchalar, asoslar, yarim o‘tkazgichli texnologiyalarning kasetalarida, elektr mashinalarning cho‘tkalarida va boshqa haroratbardosh asoboblarda keng qo‘llaniladi **3.8 - rasm**.



**Elektrotexnik ko‘mir**



**Ko‘mir elektrodlar**

### 3.3.2. Kontaktollar



**Kontaktollar** – kam qovushqoq yoki pasta shaklidagi polimer kompozitsiyali moddalar bo‘lib, tok o‘tkazuvchi yelimlar, bo‘yoqlar, qoplamalar va emallardan iborat bo‘ladi. Tok o‘tkazuvchi aralashmalarni: kumush, nikel, palladiy, mis kabi mayda zarrali metall kukunlari tashkil etadi.

Qovushtiruvchi moddalar sifatida sintetik (epoksid, fenolformaldegid, kremniy organik) yelimlar ishlatiladi. Kontaktollarni qovushqoqligini oshirish uchun qoplangan yuzga dastlab atseton va spirt eritmalari bilan tozalanadi.

Kontaktollar, elektrotexnika va elektronikada metallar va metall va yarim o‘tkazgichlar, metallar va dielektriklar o‘rtasida ishonchli kontakt ulanishni ta’minlashning quyida keltiriladigan holatlarida ishlatiladi:

- keramik kondensatorlarda elektrodni plastinka qoplamasini yasashda;
- plastmassalar yuzasini ekranlashtiruvchi qoplamalar bilan qoplashda;
- elektr mashinalarning cho‘tkalariga simlarni yelimlashda;
- dielektrik yuzasiga tok o‘tkazuvchi qatlamni hosil qilish va shunga o‘xshash jarayonlarda.

Mustahkam qovushqoq kontaktollar yelimlanadigan yuzaga surtilgandan so‘ng, tarkibidagi erituvchi moddalar bug‘lanib ketadi va polimerlanish jarayoni natijasida mustahkam birikma hosil bo‘ladi. Kontaktolning turiga qarab qotish harorati 20°S dan 200°S gacha bo‘lishi mumkin. Buning natijasida detaell bilan tutashgan yuzasida yupqa va mustahkam tok o‘tkazuvchi plenka hosil bo‘ladi.

**Kumush tarkibli kontaktollar** K-8, K-12, K-13, K-17, K-20, K-21, K-22) juda yuqori elektr o‘tkazuvchanlikka ega (minimal qiymatdagi  $\rho = 0,05 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ ),

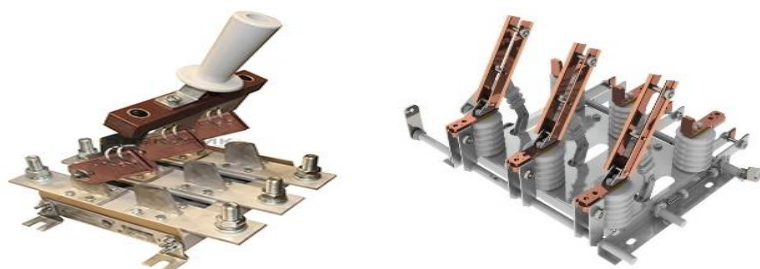
tarkibining barqarorligi, yuqori haroratga chidamlilik ( $250^{\circ}\text{S}$  gacha), uzilishga (adeginoz) chidamlilik bo'yicha  $\sigma_{uzilish} = 18...25$  MPa ni tashkil etadi. Ular, mikroelektronikada mis va kumush yuzalarni shishaga va keramikaga yelimlash, kommutatsion qavatlar hosil qilish va gibrid sxemalarni montaj qilishda ishlatiladi.

**Palladiyli kontaktollar** (KP-1, KP-2) solishtirma o'tkazuvchanligi bo'yicha kumush tarkibilarga nisbatan zaif ( $\rho = 10$  dan  $100$  mkOm·m. gacha) bo'lsada, materiallar – metallar (Ag, Au, Pt, Pd, Cu, Ni, Al) spektri bo'yicha ko'pchilik dielektriklar va ayrim yarim o'tkazgichlarni yelimlashda asosiy vosita hisoblanadi.

**Nikelli kontaktollar** (KN-1, KN-6) uzilishga chidamlili ( $\sigma_{uzilish} = 50$  MPa gacha) bo'lishi va uzoq muddat xizmat qilishi kabi ustunliklarga ega. Ular mikrosxemalarni montaj qilish, pezdatchiklarga kvars elementlarni mahkamlash, penoplpllarda ekranlashtiruvchi qoplamaning hosil qilish kabi ishlarda qo'llaniladi.

**Misli kontaktollar** (KM-1, KM-2) qimmatbaho kumush kontaktollarni o'rnida ishlatiladi.

### 3.4. Elektr kontakt materiallari



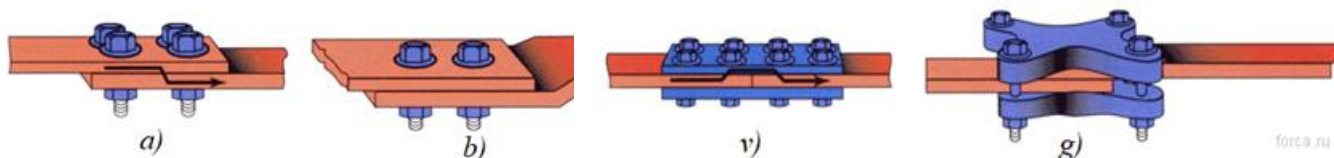
Elektr kontaktlar ish sharoitiga ko'ra uch tipga bo'linadi: qo'zg'almas, uzuvchi va sirpanuvchi.

#### 3.4.1. Qo'zg'almas kontaktlar

Qo'zg'almas kontaktlar qisqichli va yaxlit metalli bo'lishi mumkin.

Qisqichli kontaktlar turlicha bo'lib, qisqichli, boltli va vintli ulanuvchan o'tkazgichlar, hamda shtepsel ajratgichli (vilka va rozetka) bo'lishi mumkin.

Kontaktlarning bir biriga tegish joyida kontakt ulanish yuzasiga, kontakt bosimiga va materialning qattiqligiga bog'liq holda o'tish qarshiligi yuzaga keladi.



3.8 - rasm. Qo`zg`almas kontaktlar: *a* – to‘rt boltli oplama kontakt, *b* - ikki boltli qoplama kontakt, *v* - sakkiz boltli qoplama kontakt *g* - to‘rt boltli qoplama kontakt

***Qisqichli kontaktlarga quyiladigan talablar:***



- zaif va o‘zgarmas yuza qarshilik bo‘lib u, materialning past solishtirma qarshiligi va yumshoqligi bilan ta’minlanadi.
- materialning korroziyaga chidamlilik, kontakt yuzasida oksidlanuvchi plenkani hosil qilmasligi;

Qisqichli kontaktlarni tayyorlashdagi asosiy material sifatida mis, jez (latun), rux va po‘lat ishlatiladi. Kontakt yuzasi sayqallanadi va korroziya (emirilish) ga chidamli qalay, rux, kadmiy va kumush materiallari bilan qoplanadi.

***Yaxlit metall kontaktlar*** – o‘tkazgichlar kavsharlash yoki payvadlash usuli bilan ulanadi. Kavshar - kavsharlashda ishlatiladigan maxsus material yoki maxsus qotishma, ishonchli va germetik mustahkam darzni va zaif elektr qarshilikka ega bo‘lgan kontaktni hosil qilishda ishlatiladi. Kavsharlar yumshoq va qattiqdarga ajratiladi. Yumshoq kavsharlar sifatida erish harorati 300°S dan past bo‘lgan, yengil eruvchan metallar – qalay, qo‘rg‘oshin, rux kabilar ishlatiladi. Bunday metallarning qotishmalari elektr qarshiligi toza metallarning solishtirma qarshiligiga teng bo‘lgan birikmalarni hosil qiladi.

Qalayli-qurg‘oshinli kavsharlar 183...250°S oraliqdagi erish haroratiga,  $\rho = 0,14...0,21 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$  solishtirma qarshilikka ega bo‘lib, mis va mis qotishmalaridan tayyorlangan ingichka simlarni kavsharlashda ishlatiladi.

***Evtetik qotishmalar***



**Evtektik** qotishmaning tarkibi 39%Pb +61%Sn (POS-61) eng past erish haroratiga (183°S) va yuqori oquvchanlik xususiyatiga ega bo‘lib yuqori mustahkamlik va tutashish sifatini ta’minlaydi. Qalay-rux kavsharlar orasida eng yaxshi evtektiv qotishmani 90%Sn + 10%Zn (POS-90) tashkil etadi. Uning erish harorati 199°S ga teng va alyuminiyni kavsharlashda ishlatiladi.

*(Evtektiv qotishma - kristallanish nuqtasida eng yaxshi kontakt tutashish va elektr o‘tkazuvchan material).*

Juda past haroratda <100°S gacha kavsharlashda erish harorati 68 °S bo‘lgan 50%Bi + 25%Pb + 12,5%Sn + 12,5%Cd vismutli kavsharlar ishlatiladi. Bunday past haroratdagi erish, uchinchi darajali yengil eruvchan evtektiv qotishmani hosil bo‘ladi.

Qattiq va qiyin eruvchi kavsharlar yuqori haroratli kavsharlashga mo‘ljallangan. Ular asosiy material elementari va kavsharning o‘zaro diffuziyasi evaziga yuqori mustahkamlikda ulanishni ta’minlaydi. Bunday kavsharlarning solishtirma qarshiligi yumshoq kavsharlarga qaraganda pastroq bo‘ladi. Qattiq kavsharlar mis, po‘lat, jez (latun) va bronza kabi materiallarni kavsharlashda ishlatiladi. Qattiq kavsharlar sifatida toza mis, mis-rux va kumushli mis - fosforli qotishmalar ishlatiladi. Mis-rux (Cu-Zn) – kavsharlar past solishtirma qarshilikka ( $\rho = 0,03...0,04 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ ) va misning miqdoriga bog‘liq holda 825°S dan 880°S gacha erish harorati ega.

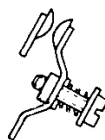
Kavsharlash paytida standart kavsharlar o‘rniga jez (latun) li L62 yoki L68 ni ishlatish mumkin. Tarkibi 7...10% P (pripoy) mis-fosforli kavsharlar, kavsharlashni flyussiz (kavsharga erituvchi material qo‘shmasdan) bajarish imkonini beradi.

Kumush kavsharlar yuqori mexanik, texnologik va korroziyaga chidamlilik va past o‘tish qarshilik kabi xususiyatlarga ega. Kumushdan tashqari ular mis yoki mis-rux masalan PSr72 (72% li kumush kavshar) 72%Ag + 28%Cu mavjud.

Kumush miqdorining ortishi bilan kavsharlarda solishtirma qarshilik 0,065 mkOm·m. dan 0,022 mkOm·m. gacha pasayadi, erish harorati esa 779 °S dan 920 °S gacha ortadi. Kumush kavsharlar bilan, turlicha tarkibli rangli va qora metallar hamda qotishmalar kavsharlanadi.



### 3.4.2. Uzuvchi kontaktlar



Uzuvchi kontaktlar elektr zanjiridagi eng ko'p yuklagan elementlardan hisoblanadi. Ular turli ko'rinishdagi: elektr, kimyoviy va mexanik yemirilishlarga sinaladi. Elektr yemirilish elektr yoy razryadi, chaqnash, erish, uchqunlanish, bug'lanish, metallning bir kontaktdan boshqasiga ko'chib o'tishi kabi holatlarga bog'liq holda kechadi. Bunday holatlarni umumlashtirib korroziya (emirilish) deyiladi. Elektroerrozion yemirilish kontaktlarning shaklini o'zgartirish, bir kontaktning yuzasida yemirilish o'rni (chuqurcha) va ikkinchi kontaktning yuzasida o'tkir uchli do'nglikning paydo bo'lishi bilan kechadi va kontaktlarning o'zaro payvandlanishi, yopishishi yoki *mustahkam birikishiga* olib keladi.

**Mustahkam birikish** - kontaktlarning erigan yoki sayqallangan yuzadani yupqa plenkaning issiqlikdan yemirilish natijasida metall ko'prikcha hosil bo'lib birib (yopishib) qolishidir.

**Kimyoviy yemirilish** – bu korroziyaviy yemirilish bo'lib, u atrof muhitning salbiy ta'sir natijasida yuzaga keladi. Korroziya - kontakt yuzasida tok o'tkazmaydigan plenka hosil bo'lishi bilan kechadi va kontaktlardagi o'tkazuvchanlik jarayoni qisman yoki to'la izdan chiqaradi.

**Mexanik yemirilish** – mexanik ta'sirlar, yedirilishlar, draz ketish, yorilish, deformatsiyalanish kabi salbiy ta'sirlar natijasida paydo bo'ladi.

#### ***Uzuvchi kontaktlarga qo'yiladigan talablar:***

- korroziyaga qarshi turg'unlik, buning uchun yuqori elektrod potensial, muhitning tarkibidagi komponentlarga nisbattan zaif kimyoviy o'xshashlik, oksid plenkalarning past darajadagi mustahkamligi;
- yoy razryadiga qarshi yuqori turg'unlik, elektr erroziya natijasida yopishib qolishga qarshi chidamlilik bo'lib, u yuqori erish harrorati, yuqori mustahkamlik va yemirilishga chidamlilikka ega bo'lishi kerak;
- yuqori elektr va issiqlik o'tkazuvchanlik.

Elektr quvvat va yuklamaga bog'liq holda kontaktlar zaif-tokli (oz yuklangan) o'rta - va yuqori yuklanganlarga ajratiladi.

**Zaif tokli uzuvchi kontaktlar** yuqori aniqlikda ishlovchi avtomatik boshqaruv tizimlarining relelarida, boshqaruv, aloqa signalizatsiya, radioelektron asboblari, nazorat-o'lchov uskunalari kabi qurilmalarda ishlatiladi. Bunday kontaktlar, zaif tokli (1 A gacha) va past bosimli kontakt tutashuvlarda ishlatishda qulay.

Ularga ko'yidagi asosiy talablar quyiladi: korroziyaga o'ta chidamlilik (kontaktning ishchi yuzasida oksidli plenkani hosil bo'lmasligi) va zaif o'tish qarshiligi.

Qo'llaniladigan materiallar: oltin, kumush, platina, palladiy va ularning qotishmalari (Ag-Au, Au-Pt, Ag-Pd, Pt-Ir, Pt-Ph, Pd-Ir, Au-Ni, Au-Ag-Ni, Au-Pd-Ni).

Qimmatbaho metallar (Ag - oltindan tashqari), odatda mis, jez (latun), xrom va boshqa metallar yuzasiga yuqqa galvanik qoplama qilib suritish uchun ishlatiladi.

Metall kontaktlar yuzalariga qo'ndirilgan qatlamlar elektr erroziyaga chidamliroq va metal asosga nisbatan mustahkamroq bo'ladi.

Ag-Au, Ag-Pd qotishmalarning 50% li nisbatida mustahkamlik maksimal, erroziya esa minimal qiymatni tashkil etadi.

**O'rtacha yuklangan kontaktlar** – turli maqsadlarga mo'ljallangan relelarda, magnit yurgizgichlarda, straterlarda, o'rtacha yuklangan kontaktorlarda, tok o'zgartirgichlarda, temir yo'l transportini signal uskunalarida va maishiy asboblarda ishlatiladi.

Kontaktlarda: mis va uning qotishmalari, volfram, Ag-Ni, Ag-Cd, Ag-Cu, Ag-Pd, Pd-Cu, Ag-Pd-Ni, Cu-Cd kabi materillar ishlatiladi. Ag-Cd, Cu-Cd qotishmalari yuqori elektr o'tkazuvchanlik, mustahkamlik, yoy razryadiga chidamlilik, elektroerrozion turg'unlik, payvandlanishga qarshilik va bir maromda yemirilish kabi xususiyatlar bilan ajralib turadi. Payvandlanishga va elektroerroziviyali yemirilishga yuqori darajadagi chidamlilik, oltin-mis (Ag-Cu) qotishmalar uchun xos xususiyatdir.

Volframli kontaktlar, yuqori darajadagi yoy razryadiga chidamli bo'lishi bilan birga, elektr erroziyaga, payvandlanishga va yemirilishga oz miqdorda moyil bo'ladi.



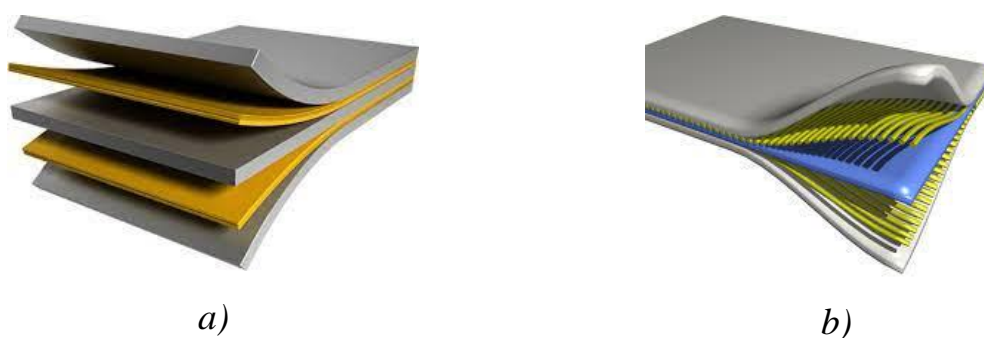
**Katta yuklangan kontaktlar:** katta tok, kuchlanish va kontaktlarga qo'yiladigan yuklamalar ta'siri kabi og'ir va o'ta og'ir muhitda ishlatiladi.

Ularga jadal yemirilish, erish va payvandlanish kabi xususiyatlar xos. Odatda, volfram (W) va molibden (Mo) kabi qiyin eruvchi metallar va ularning qotishmalari yoki metallokeramik kompozitsiya (qo'shmali material) lar ishlatiladi.

Metallokeramik kompozitsiyali kontaktlar, metall kukunlarni presslash (qattiq siqish) va keyinchalik yelimlash yoki presslangan qiyin eruvchi jismga yengil eruvchi aralashmalarni shimdirib tayyorlanadi. Volfram va molibdendan tayyorlangan asoslarga suyuq kumush yoki mis shimdirilgan **kompozitsiyalar** ishlatilishi bularga misol buladi. Kumush va mis yuqori elektr va issiqlik o'tkazuvchanlikni, oksidlanishga chidamlilikni ta'minlaydi, qiyin eruvchanlik yemirilishga - elektr erroziyani va payvandlanishga qarshi turug'unlikni oshiradi (3.9 – rasm).

*Kompozitsiyali yoki kompozit deb, tarkibi ikki va undan ortiq metall yoki materialdan tashkil topgan jismga aytiladi.*

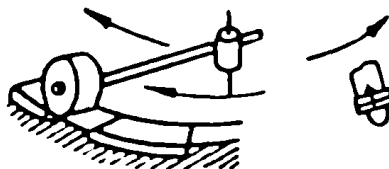
Ikki metalli kompozitsiyalardan tashqari uch metalli Ag-W-Ni, Cu-W-Ni, kompozitsiyalar, hamda oksid, karbid yoki grafit: Ag-CdO, Ag-CuO, Ag-WC, Cu-C, Cu-W, Ag-C, Ag-Ni-C tarkibili metallokeramik materiallar ishlatiladi.



3.9 - rasm. Kompozitsiyali materiallarning tuzilishi; *a* – ikki, *b* - uch kompozitsiyali.

Metallokeramik kontaktlar, yemirilishga va payvandlanishga chidamliligi sababli qayta ulagichlar, yurgizgichlar, relelar, kuchlanishni boshqarish, katta quvvatli moy, elegaz, quruq va boshqa turdagi o'chirgichlardagi og'ir va qiyin ish sharoitlarda ishlatiladi.

### 3.4.3. Sirpanuvchi kontaktlar



Sirpanuvchi kontaktlar, harakatlanuvchi kontaktlarga mansub bo‘lib, kontakt tutashuvchi elementlari bir-biridan uzilmagan holda sirpanadi: bunday kontaktlarga elektr mashinalarning halqalar aro, kollektor plastinalari va cho‘tkalari, elektr qarshilik elementlaridagi potensimetrik chulg‘amlar va reoyurgich (reoxord) lar, elastik tok uzatish kontaktlari kiradi.

*Reoxord (Voltagometr) — galvanik elementlardagi elektr yurituvchi kuchni kompesatsion usulda aniqlash va elektr qarshilikni Uinstonning ko‘prik usulida o‘lchash imkoniga ega bo‘lgan reostat.*

Ularga quyiladigan asosiy talabalar – quruq ishqalanish paytida yedirilish kuchlariga chidamlilik. Xususiyatiga bog‘liq holda juft kontaktlar orasida yemirishga chidamlilik quyidagilarga bog‘liq: yemirilishni oldini olish uchun bir kontakt boshqasiga nisbattan mustahkamroq bo‘lishi va ikkinchi kontakt yumshoq va kerakli darajada egiluvchan bo‘lib yopishqoqlikka moyil bo‘lmasligi kerak. Bunday talabni ko‘pincha metall-grafit kontaktlar qanoatlantiradi.

Kontaktlarning harakatlanuvchi qismi – kollektor plastinalari, halqalar qattiq mislardan, jezlar (latun) dan (LS59-1, LMts58-2) yoki bronza (qalay-rux, qalay fosforitli, berelliyl BrB2, kadmiyli BrKd1, xromli BrX0,5) bo‘lishi kerak.

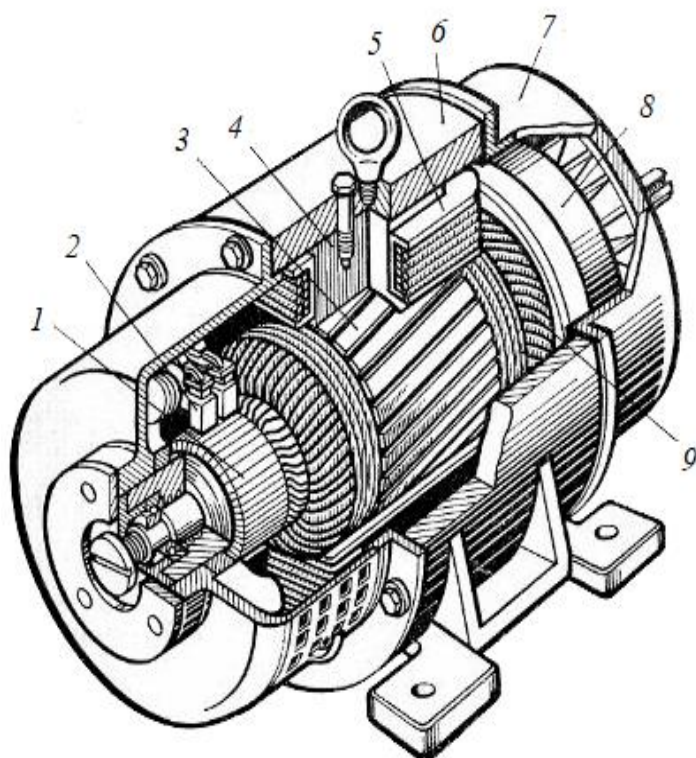
Ular yuqori mustahkamlik, yemirilishga chidamlilik, egiluvchanlik, antifriksion xususiyat va atmosfera korroziyalariga chidamliligi bilan ajralib turadi.

**Elektr mashinalarning cho‘tkalari** – sirpanuvchi kontaktlarning qo‘zg‘almas qismlari bo‘lib ularga quyidagi talabalar quyiladi (3.10 – rasm):

- cho‘tka – kollektor, cho‘tka-kontakt halqasi kontaktlar juftligi orasidagi minimal solishtirma qarshilik va o‘tuvchi tushuvchi kuchlanish ( $U_{o'tish}$ );
- katta miqdordagi ruxsat etilgan tok zichligi –  $j$ ;
- cho‘tka va kollektorning oz miqdorda yemirishi;

- zaif yemiilish koeffitsiyenti va cho'tkaga birikishdagi past solishtirima bosim.
- yuqori aylanma tezlik ( $\omega = n \pi / 30$ ,  $n$  – rotorning aylanish tezligi);
- minimal chaqnash.

Bunday talablarni tarkibiga katta miqdorda grafit bo'lgan materiallar qanoatlantiradi.



- 1 - kollektor,
- 2 - cho'tka,
- 3 - yakor o'zagi,
- 4 - asosiy qutb,
- 5 - qo'zg'tish tizimi g'altagi,
- 6 - qoboq,
- 7 - podshibnik shiti,
- 8 - ventilyator,
- 9 - yakor chulg'avb

3.10 – rasm. Elektr mashinaning asosiy qismlari

Tarkibi, tuzilishi va olish texnologiyasi bo'yicha cho'tkalar 4 - turga bo'linadi. Ularning asosiy xususiyatlari **3.6 - jarvalda** keltirilgan.



### 3.11 - rasm Elektr mashinaning cho'tka namunalari

**Ko'mir grafitli cho'tkalar** antratsidning presslangan aralashmalari, neftlangan grafitli koks va biriktiruvchilarni 1350...1480 °S da toblash orqali tayyorlanadi. Yuqori mustahkamlik, katta solishtirma qarshilik xususiyati bilan ajralib turuvchi cho'tkalar, kichik quvvatli generatorlar va yengil **kommutatsiya** sharoitiga moslashtirilgan elektr dvigatellarda ishlatiladi (3.11 – rasm).

*Kommutatsiya — elektr dvigatellar va generatorlarda, elektr toki yo'nalishini kollektor-cho'tka elementlari yordamida qayta ulab o'zgartirish.*

### 3.6 - jadval.

#### Elektr mashinalarning cho'tkalari

№	Cho'tkaning tipi	Markasi	$\rho$ , mkOm·m	$U_{o'tish}$ , V
1.	Ko'mir grafitli	G20, G21, G22	35-400	2-5
2.	Grafitli	611M, G1, G3	6-75	1-28
3.	Elektr grafitli	EG-2a, EG4, EG61	1-7	1-2
4.	Metall grafitli	M-1, M-3, MG, MGS5	0,04-0,25	0,3-1,6

**Grafitli cho'tkalar** – kukun holida presslangan bog'lovchisiz (yumshoq navli) va bog'lovchisi bilan (qattiq navli) tabiiy grafitni toblash yo'li bilan olinadi. Ular yumshoqligi bilan ajralib turadi va kam shovqin chiqaradi. Bunday cho'tkalar sinxron generatorlar, faza rotorli assixron motorlar, bir fazali elektr dvigatellar, payvandlash generatorlari va o'rtacha quvvatdagi o'zgarmas tok dvigatellarida ishlatiladi.

**Elektrografit cho'tkalar** – antratsid, qurum yoki neftli koksni 2000...2500 °S li yuqori harorat ostida toblash natijasida yot jinslar va grafitlanish jarayoniga barham berish orqali tayyorlanadi.

Cho'tkalar, yuqori mexanik mustahkamlik minimal darajadagi yemirilish, tez aylanuvchi rotorli mashinalarda ishonchli kommutatsiyani ta'minlashi bilan ajralib turadi. Ular o'rtacha va yuqori yuklama ostida ishlatiladigan elektr dvigatellar va generatorlarda qo'llaniladi.

**Metall grafitli cho‘tkalar** – metall (mis, bronza) aralashmali grafitdan tayyorlanadi. Bunday cho‘tkalar past solishtirma qarshilik, oz miqdordagi o‘tuvchi kuchlanishning tushishida va katta zichlikdagi tok ostida ishlatiladi.

Ular past kuchlanishli, katta tokli aviatsiya generatorlari va elektr dvigatellarda ishlatiladi.

### 3.5. Solishtirma qarshiligi yuqori materiallar



Qarshiligi katta bo‘lgan materiallarga solishtirma qarshiligi -  $\rho > 0,3 \text{ m}\Omega\cdot\text{m}$  dan yuqori bo‘lgan materiallar kiradi. Ularni elektr o‘lchash asboblari, yuqori aniqlikda ishlovchi rezistorlar, potensiomotrlar, reostatlar va elektr isitish qurilmalarida ishlatiladi.

Yuqori qarshilika ega bo‘lgan materiallarga quyidagi talablar qo‘yiladi:

- yuqori solishtirma qarshilik  $\rho$  va solishtirma qarshilikning kichik harorat koeffitsiyenti  $\alpha_\rho$  (nolga yaqin);
- mis bilan tutashgandagi zaif termo-elektr yurituvchi kuch (EYuK), elektr o‘lchov asboblari uchun o‘ta muhim;
- yuqori issiqlikka chidamlilik, ayniqsa elektr isitish qurilmalari uchun;
- talab etilgan mustahkamlik va yuqori qayishqoqlik, ingichka simlar va plyonkalarni yasashdagi qulayligi;
- yuqori harorat ostida uzoq muddatli ishlashi, elektr xususiyatlarini saqlab qolishi.

#### 3.5.1. Yuqori aniqlikdagi rezistorlar va texnik qarshiliklar uchun qotishmalari

Bunday materiallarda mis va qattiq tarkibli aralashmalar asosidagi qotishmalar keng o‘rin olgan (3.7-jadval).



**Manganin MNMts3-12** – mis, nikel va manganetsning mustahkam qotishmasi, bo‘lib yuqori aniqlikdagi rezistorlar va aniqlik sinfi yuqori bo‘lgan elektr o‘lchov asboblari uchun ishlatiladi. Erish harorati  $T_{er} = 960^{\circ}\text{S}$ . Tarkibida manganetsning ishtiroki evaziga manganinning mis bilan qotishmasida issiqlik - EYuK  $1,0 \text{ mkV}/^{\circ}\text{S}$  gachani tashkil etadi. Qotishmalar diametri  $0,02 \dots 1,0 \text{ mm}$  sim va qalinligi  $0,01 \dots 1,0 \text{ mm}$ , kengiligi  $10 \dots 300 \text{ mm}$  li lenta shaklida ishlab chiqariladi (3.12 – rasm).

Manganinni yumshatib, qayta kristallab, barqaror  $\rho$  va  $\alpha_{\rho}$  erishish uchun, vakuum holatida  $400 \dots 500^{\circ}\text{S}$  qizdirib, xona haroratida uzoq muddat davomida asta-sekinlik bilan sovutiladi.



3.12 – rasm. Manganinni namunalari

### 3.7 - jadval.

#### Yuqori solishtirma qarshilikka ega bo‘lgan qotishmalar va ularning xususiyatlari

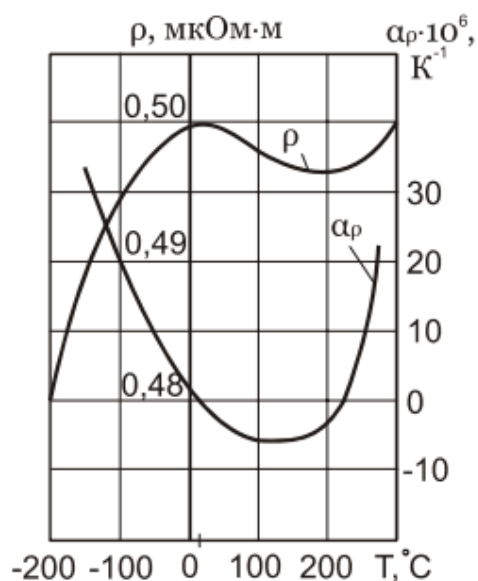
Qotishmalar	Kimyoviy tarkibi	$\rho$ , mkOm·m	$\alpha_{\rho} \cdot 10^6$ , 1/K	$\sigma_v$ , MPa	$\delta$ , %	$T_{ish.max.}$ , $^{\circ}\text{S}$
Manganin MNMts3-12	Cu+%Ni +12%Mn	0,5	0	450...500	15...20	200
Radiomanganin MMts33-67	33%Cu+ 67%Mn	1,8	0	-	-	200
Konstantan MNMts40-1,5	Cu+40%Ni +1,5%Mn	0,52	2	500...600	40...50	500
Nixrom	20%Cr+	1,1	90	670	45	1100

X20N80	80%Ni					
Nixrom	Fe+27%Cr	2,1	36	680	16	1400
X27Yu5	+5%Al					

Izoh:  $\rho$  va  $\alpha_\rho$  qiymatlari 20°S uchun berilgan.

Yuqori aniqlikdagi rezistorlarni tayyorlashda, ichki kuchlanishlarni soʻndirish uchun u, yana qaytadan 250°S gacha qizdiriladi.

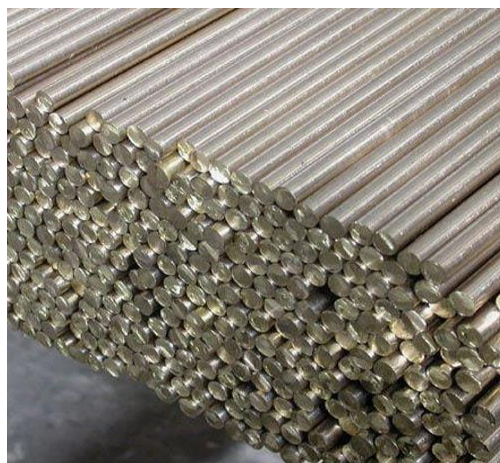
Manganinning solishtirma qarshiligini ( $\rho$ ), haroratga bogʻliqlik koeffitsiyenti ( $\alpha_\rho$ ) orasidagi bogʻliqlik grafigi keltirilgan (3.13 - rasm).



3.13 - rasm. Manganining  $\rho$  va  $\alpha_\rho$  ga bogʻliqlik grafigi

**Radiomanganin** MMts33-67- tarkibida katta miqdordagi marganets ishtirok etganligi sababli solishtirma qarshiligi  $\rho$  juda yuqori va haroratga bogʻliqlik koeffitsiyenti ( $\alpha_\rho$ ) juda past (nolga teng). Radiomanganin termokopensatsiyalovchi va stabillashtiruvchi elementlarni tayyorlashda ishlatiladi.

**Konstantan MNMts40-1,5** – mis va nikelning qotishmasi. Yuqori mustahkamlikka ega va  $T_{er}=1270^{\circ}\text{S}$  gacha qizdirib ishlov berilganda qayishqoqligi ortadi. Undan  $\alpha_\rho$  nolga yaqin boʻlgan, diametri 0,004 mm. gacha simlarni yasash mumkin **3.14 – rasm**.



3.14 - rasm. Konstantanning namunalari

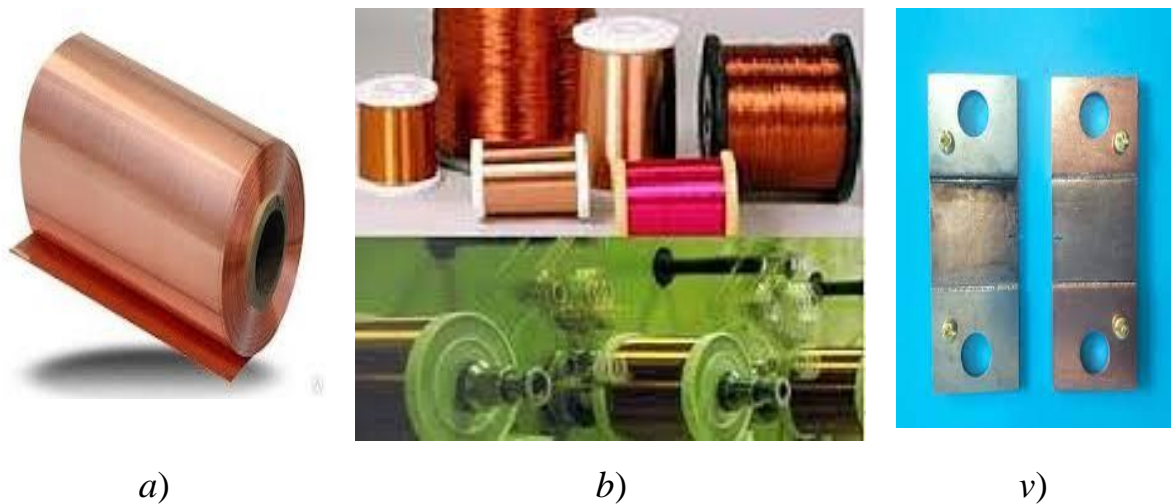
Mis bilan juftlikda ( $40 \text{ mkV}/^\circ\text{S}$ ), yuqori termo EYuK ga ega. Shu sababli u asosan texnik qashiliklar, reostatlar, potensiometrlar, termoparalar va  $500^\circ\text{S}$  gacha bo'lgan maishiy va laboratoriya uskunalarining isitish elementlarini yasashda ishlatiladi.

Mis asosidagi qotishmalarning asosiy zaif tomoni – vaqt o'tishi bilan oksidlanishidir. Shu sababli aniq hisoblash mashinalari va raqamli texnikalarning potsometrlari, avtopilotlar va shunga o'xshash qurilmalarda ishlatish uchun ruxsat etilmaydi.

Oksidlanmaydigan aniq o'lchash elementlari uchun kumush kabi qimmatbaho metallar asosida tayyorlangan qotishmalar tavsiya etiladi.

***Kumush manganin*** ( $\text{Ag}+10\%\text{Mn}+8\text{...}10\%\text{Sn}$ ) - tuzilishi bo'yicha qattiq marganets aralashmasi va tarkibida qalay bo'lgan kumushdan iborat.  $175^\circ\text{S}$  haroratda 10 soatalik toblashdan so'ng uning solishtirma qarshiligi  $\rho=0,5 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$ , mis bilan juftlikdagi termo-EYuK  $0,5 \text{ mkV}/^\circ\text{S}$ ,  $\alpha_\rho = 0$  tenglashadi (3.15 - rasm).





3.15 – rasm. Kumush manganini namunalari: *a* - yupqa varoq, *b* - simlar, va *v* – kontakt ulgichlar shalida.

**Palladiyning iridiy bilan qotishmasi** PdI18 (Pd+18%Ir)  $\rho=0,4\text{mkOm}\cdot\text{m}$ ,  $\alpha_p=3\cdot 10^{-6} 1/\text{K}$  ga ega. Mazkur qotishmali materialning diametri 3...20 mkm li mikro simlaridan yuqori aniqlikdagi mikrominyaturali rezistorlar tayyorlanadi (3.16 - rasm).



3.16 - rasm. Palladiyning boshqa metallar bilan qotishmalari

### 3.5.2. Qizdirish elementlarining materiallari

Ishchi harorati 1200 °S dan oshmaydigan qizdirish elementlari va texnik qarshiliklarda (katta yuklangan reostatlarda), nikel-xromli (ni-xrom) va alyuminiy (Al) aralashmali temir-xrom (Fe-Cr) qotishmalar ishlatiladi (3.7 - jadval).

Nixromlar (X20N80, X15N60) qattiq aralashmalar nikel *austenit* tarkibdan tashkil topib yuqori darajada qayishqoq va mustahkam material hisoblanadi. Ulardan diametri 0,01 mm li o'tkazgich simlar va lentalar tayyorlanadi. Nixrom katta issiqlik

va mustahkamlik xususiyatiga ega va uning yuzasida katta zichlikka, mustahkamlikka ega bo'lgan oksidli plenka hosib bo'ladi. Plenkaning qarshilik koeffitsiyenti  $\alpha_p$  qotishmaning  $\alpha_p$  yaqin bo'ladi.

*Austenit - bu yuqori harorat va mustahkamlikka ega bo'lgan aralashmali material. Odatda toza temirni austenit tarkibi harorat bo'yicha 911°S dan 1392°S gachani tashkil etadi.*

Ammo haroratning keskin o'garishi oqibatida plenkaning yuzasida yoriqlar hosil bo'ladi, natijada u darz ketadi. Shu sababli qizdirish elementini to'xtovsiz ish rejimida ishlatib, qayta takrorlanuvchi rejimga qaraganda uzoqroq xizmat qilishiga erishish mumkin. Qizdirish elementini yuzini qattiq inert vosita olovbardosh tuproq (glin-shamota) bilan qoplab ham undan uzoq muddatli foydalanish mumkin. Nixromlardan o'rtacha yuklangan asboblarda, maishiy, uy-ro'zg'or buyumlari, laboratoriya jihozlari, kavsharlagichlar, texnik qarshiliklar yasaladi.

Fe-Cr-Al aralashmali qotishmalar – tarkibida xromning qattiq aralashmalari, alyuminiy va  $\alpha$  – temir mavjud. Tarkibida nikel bo'lmaganligi sababli ular, nixrom bilan solishtirilganda ancha arzon, qattiq, mo'rt (uvalanuvchi) va texnologik ishlov berishda noqulay. Alyuminiy bilan qo'shimcha ishlov berib issiqlikka chidamliligi oshirilsa, egiluvchanligi yomonlashadi. Ular katta yuklangan reostatlarda, sanoat korxonalarining katta quvvatli elektr isitish pechlarining qizdirish elementlarida qo'llaniladi.

Vakuimli va argon bilan to'ldirilgan muhitda ishlovchi harorat 1200°S dan yuqori bo'lgan elektr pechkalarning isitish elementlarida volfram, molibden va tantal (W, Mo, Ta) kabi qiyin eruvchi metallarning qotishmalari ishlatiladi.

Ishchi harorati  $T_{ishchi} > 1500^{\circ}S$  quvur shaklidagi isitgichlarda karbid va silitsid asosli qiyin eruvchi keramik va metallokeramik materiallar ishlatiladi. Bunday materiallar kislota va ishqorlarga befarq bo'lishi bilan birga yuqori haroratda eriydi (3.8-jadval).

**3.8-jadval.**

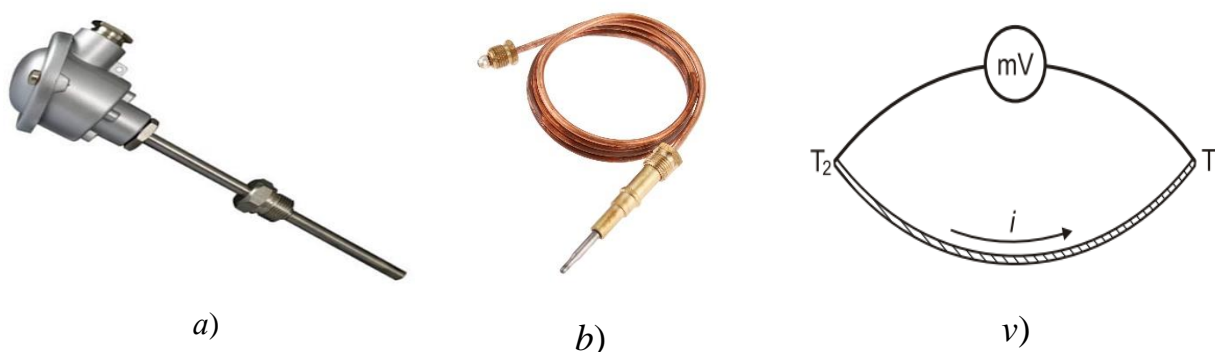
### **Qiyin eruvchi karbidlarning erish harorati**

Karbid	HfC	TaC	NbC	ZrC	SiC
$T_{erish}, ^\circ\text{S}$	3890	3880	3760	3530	2600

Bunday materiallarining ishchi harorati  $3000^\circ\text{S}$  gacha yetishi mumkin. Masalan, niobiy va karbiddan (NbC) yasalgan isitgichlardagi sterjenni uzunligi  $l = 600$  mm, diametri  $d = 13\dots 18$  mm, va qalinligi  $h = 2\dots 3$  mm bo'lsa vakuumda  $2500^\circ\text{S}$  da, argonda  $3000^\circ\text{S}$  gacha haroratda ishlatish mumkin. Molibden va silitsid ( $\text{MoSi}_2$ )ning qotishmali materialdan yasalgan isitgichlar oksidlanuvchi muhitda  $1700^\circ\text{S}$  ( $\rho < 1000$  mOm·m.) gacha bo'lgan haroratda ishlaydi. Elektr isitgichlardagi silit (SiC) sterjenlar  $1800^\circ\text{S}$  gacha haroratda ishlaydi.

### 3.5.3. Termoparalar uchun qotishmalar

Termopara – haroratni o'lchashda ishlatiladi, ikki xil metallardan tashkil topdi va yopiq zanjirdan iborat bo'ladi (3.17 - rasm). Turlicha Fermi energiyasi ta'sirida ikki xil metallning kontaktida (juda kichik voltdan bir necha voltgacha) potentsiallar kontakt farqi yuzaga keladi. Bu kashfiyotni 1797 yilda italiyalik fizik olim A. Volt ochgan. Ochiq zanjirning uchlarida kontaktlarda turlicha harorat ta'sirida potentsiallar farqi- termoelektr yurituvchi kuch (termo-EYuK) paydo bo'ladi.



3.17 - rasm. Termopara: *a* va *b* - issiqlik datchigi, *v* - termoparaning sxemasi

Termo-EYuKning kattaligi issiq va sovuq birikish nuqtasidagi harorat farqiga proporsional bo'ladi.

$$U \approx \alpha_T (T_2 - T_1),$$

bu yerda  $\alpha_T$  – termoparaning solishtirma termo-EYuK, mkV/K, bo‘lib termoparadagi o‘tkazgichlarning xususiyati va o‘lchanadigan harorat oralig‘iga bog‘liq bo‘ladi.

Ko‘pchilik termoparalar metall komponentlardan tayyorlanadi. Aksariyat hollarda quyidagi qotishmalar ishlatiladi: kopel (56%Cu+44%Ni), alyumel (95%Ni+Al+Si+Mn), xromel (90%Ni+10%Cr), platinorodiy (90%Pt+10%Ph) (3.9 - jadval).

### 3.9 - jadval.

#### Termoparalarning qotishmalari

T.R.	O‘lchash harorati, $T_{max} \text{ } ^\circ\text{S}$	Termopara	O‘lchash harorati, $T_{max} \text{ } ^\circ\text{S}$	Termopara
1.	350	Mis-kopel	1000	Xromel -alyumel
		Mis-konstantin	1600	Platinorodiy-Pt
2.	600	Fe-konstantan	2000*	W-Mo
		Fe-kopel	2100*	W-Ir
		xromel-kopel	2800*	W-Re

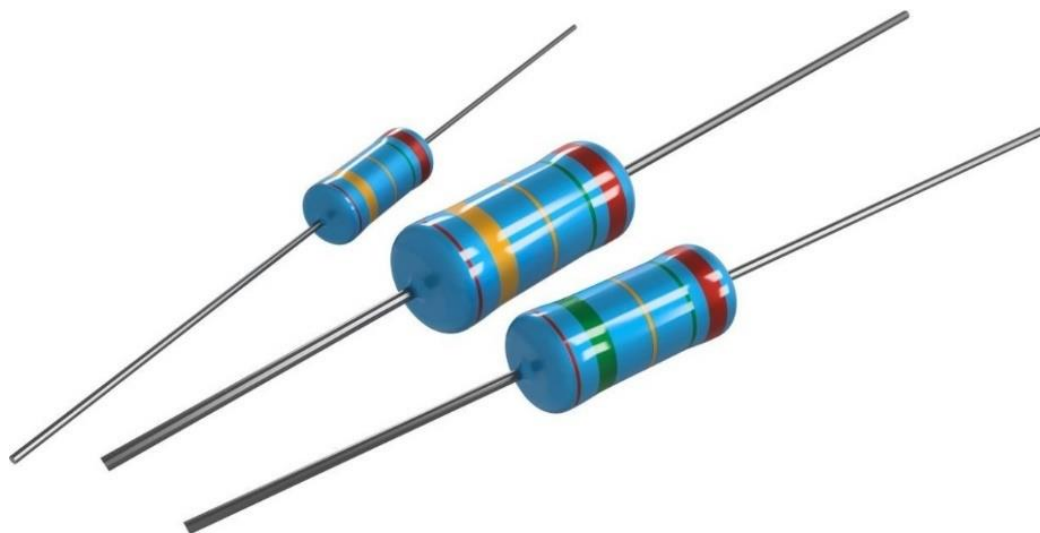
\*vakuumda yoki inert gaz muhitda ishlaydi.

Ko‘pchilik termoparalar faqatgina oksidlanuvchi muhitda yaxshi ishlaydi. Uzoq muddatli ekspluatatsiya jarayonida termoparaning solishtirma termo-EYuK atrof muhitning yot jinslar bilan ifloslanishi, komponentlarning bug‘lanib ketishi, o‘tkazgich simlarning oksidlanishi va deformatsiyalanishi natijasida asta-sekinlik bilan pasayib boradi. Platinali termoparalar yuqori aniqlik, turg‘un ish rejimi va ma’lumotlarni aniq qabul qilish xususiyati bilan ajralib turadi. Bunday sifatlar materialning inertligi va yuqori darajadagi tozalikda olinganligini anglatadi.

#### 3.5.4. Yupqa plenkali rezistorlarning materiallari

Asos yuzasiga qoplanadigan yupqa plenkali materiallar mikroelektronikada qo‘llaniladi. Plenkalarining qalinligi 0,01 mkm dan  $1 \cdot 10^2$  nm gachani tashkil etadi.

Rezistorni plenkalari odatda, vakuum sharoitida termik bug‘latish va dielektrik yoki yarim o‘tkazgich yuzasiga kondensatsiyalab qo‘ndirish usuli bilan olinadi. Yupqa plenkalari qarshilikning kvadrati  $R_{\square}$  bilan baholandi, plenka qancha yupqa bo‘lsa qarshilik  $R_{\square}$  shuncha katta bo‘ladi **3.18 - rasm..**



**3.18 - rasm.** Metall plenkali rezistorlar

Yupqa plenkali rezistorlarda qo‘llaniladigan asosiy materiallar:

- toza metallar (Cr, W, Ta, Re):  $R_{\square} = 500 \dots 1000 \text{ Om}$ .
- nixrom X20N80:  $R_{\square} = 50 \dots 300 \text{ Om}$ .
- tantal nitridi  $Ta_2N$ :  $R_{\square} = 200 \dots 10^4 \text{ Om}$ ,  $\alpha_{\rho} = 0$ , plenka yuqori harorat-vaqt doimiyligi bilan ajralib turadi, u argon muhitida ion-plazmali qo‘ndirish usuli bilan olinadi.
- metallosilitsidli qotishmalar PC guruhidagi **(3.10-jadval)** – qotishmalar tizimi Si-Cr-Fe ga mansub, erish harorati  $T_{erish} = 1250 \dots 1550^{\circ}S$ ,  $R_{\square} = 200 \dots 600 \text{ Om}$  ni tashkil etadi.
- qotishmalar guruhidagi MLT - 32 qotishmasi, tartib raqami bilan markalanadi. Qotishmalarning asosiy tarkibidagi materiallarni Si, Fe, Cr, Ni, Al, W va  $SiO_2$ ,  $V_2O_5$ ,  $Ge_2O_5$ ,  $Dy_2O_3$ , oksidlari tashkil **etadi (3.11-jadval)**. Bunday qotishmalar uchun qarshilikning qiymatlari  $R_{\square} < 35 \text{ kOm}$  ga teng.

**3.10 - jadval.**

**Yupqa plenkali metallosilitsidli (MLT) rezistorlarni xususiyatlari**

№	Markasi	Kimiyoviy tarkibi	$\rho$ , mkOm·m	$T_{ish.max.}$ , °C
1.	PC4800	Si+48%Cr	30,0	1550
2.	PC 3710	Si+37%Cr+10%Fe	6,0	1250
3.	PC 3001	Si+30%Cr+1%Fe	30,0	1350
4.	PC 1714	Si+17%Cr+14%Fe	4,0	1570
5.	PC 1004	Si+10%Cr+4%Fe	50,0	1380

### 3.11-jadval.

#### Yupqa plekali rezistorlar uchun metallosilitsidli (MLT) qotishmalarning namunalari

№	Qotishmaning markasi	Kimiyoviy tarkibi
1.	MLT1	30% Si+28% Fe+6% Cr+12% Ni+23% W+1% SiO <sub>2</sub>
2.	MLT28	28% Si+8% Cr+46% Ni+23% W+10% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
3.	MLT31	28% Si+7% Cr+7% Al+8% W+3% SiO <sub>2</sub> +47% Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

#### Tekshirish uchun nazorat savollari

1. Ideal va real materiallarning elektr o'tkazuvchanligi nimaga bog'liq?
2. Metallning turli haroratdagi solishtirma qarshiligi qanday aniqlanadi?
3. Cu-Au i Cu-Ni qotishmalari tarkibidagi  $\rho$  i  $\alpha_\rho$  nimasi bilan tubdan farq qiladi?
4. Metall plenkani qalinligi  $\rho$  i  $\alpha_\rho$  ga qanday ta'sir ko'rsatadi, kvadratning qarshiligi -  $R_\square$  nima?
5. Yuqori o'tkazuvchan materiallar nimadan yasaladi va qayerda ishlatiladi?
6. Yot jinslar alyuminiy va misni xususiyatiga qanday ta'sir ko'rsatadi?
7. Qimmatbaho metallarning turlari, xususiyati va ishlatilish sohasini ayting.
8. Qiyin eruvchi metallarning turlari, xususiyati va ishlatilish sohasini ayting.
9. Qo'zg'almas kontaktlarda qanday materiallar ishlatiladi?

10. Kichik tokli va uzuvchi kontaktlarda qanday materiallar qo'llaniladi?
11. Katta yuklangan ajratuvchi kontaktlarda qanday materiallar ishlatiladi?
12. Elektr mashinalarning kollektor plastinkasi qaysi materialdan yasaladi?
13. Past kuchlanishli katta va kichik quvvatli, katta aylanish tezligiga ega bo'lgan elektr dvigatellarga qanday cho'tkani tanlash kerak?
14. MNMts3-12 i MNMts40-1,5, nimani anglatadi, xususiyati va qo'llanishish sohasini bayon eting.
15. Elektr qizdirish elementlari uchun qanday materiallar ishlatiladi?
16. Yupqa rezistr plenkalarini olish usullarini bayon eting. Bug'latgich uchun qanday materiallar ishlatiladi va nima uchun?
17. Yupqa plenkali rezistorlar uchun qanday asosiy materiallar ishlatiladi va ularni qarshiligi qanday aniqlanadi?
18. Kontaktol nima va ular nima maqsadda ishlatiladi?

## 4. DIELEKTRIK MATERIALLAR



Polimer izolyatorlar

### 4.1. Dielektrik materiallarning xususiyatlari



Elektrotexnika sanoatida ishlatiladigan elektr izolyatsiyalovchi materiallar ishlab chiqarish usuli va xususiyati bo'yicha **tabiiy** va **sun'iy** izolyatsiyalovchi materiallarga bo'linadi.

**Tabiiy** izolyatsiyalovchi materiallarga: tabiatda mavjud bo'lgan yog'och, jun, paxta va shunga o'xshash materiallarning tolalari, tosh, rezina, charm, qog'oz va h.k. lar kiradi (4.1- rasm).



a)



b)



v)



g)



d)



e)

4.1- rasm. Tabiiy izolyatsiyalovchi materiallar: *a* - yog'och, *b* - qog'oz, *v* - rezina, *g* - dukakli ekinlardan, *d* - pista va paxtadan va *e* - har xil o'simliklardan olingan moylar.

**Suniy** izolyatsiyalovchi materiallarga: kimyoviy usul bilan olingan barcha materiallar kiradi. Sun'iy izolyatsiya materiallar **elektrlanish** (elektr statik zaryadini to'plash) xususiyati bilan, tabiiy izolyatsiya materiallardan farq qiladi. Sun'iy izolyatsiyalovchi materiallarning elektrlanishga moyilligi sababli, ushbu materiallar **diyelektriklar** nomini olgan (4.2- rasm).

Dielektriklar – moddalar va materiallar qutblanish va elektr maydonini saqlab qolish xususiyatiga ega. Bunday materiallar tabiiy izolyatsiyalovchi materiallardan elektr maydon energiyasini saqlab qolish va elektr maydon ta'sirida xususiyatlarini o'zgartirishi bilan farq qiladi. Dielektriklarga keng miqyosdagi: gazsimon, suyuq va qattiq, tabiiy, suniy, sintetik, organik, anorganik va elementorganik materiallar mansubdir.





a)



b)



v)

4.2- rasm. Sun'iy izolyatsiya materiallari: *a* – lakmato, *b* – slyuda, *v*- tekstolit

Barcha materiallarda elektr o'tkazuvchanlik xususiyati mavjud. Buning sababini, juda toza elektr izolyatsiyalovchi yoki diyelektrik materiallar tarkibida juda oz miqdorda bo'lsada zaryadlar ishtirok etishi bilan izohlash mumkin. Metallar va yarim o'tkazgich materiallarda esa zaryadlanuvchi zarrachalarning ko'pligi, ularning bundan ham yuqoriroq o'tkazuvchanlikka egaligidan dalolat beradi.

Elektr maydoni kuchlanganligining ta'siri natijasida dielektrik tarkibidagi bog'langan zaryadlarning yoki dipol molekularning ma'lum miqdordagi qo'zg'alishi qutblanish hodisasi deyiladi. Dielektrikdagi qutblanish jarayonining kattaligi dielektrik singdiruvchanlikning miqdori bilan, hamda agar dielektrikning qutblanish energiyaning sarfi bilan bog'liq bo'lib dielektrikning qizishiga sabab bo'lsa, dielektrik sarflar burchak miqdori ( $tg\delta$ ) bilan baholanadi.

Texnik dielektriklar tarkibidagi erkin zaryadlarning mavjudligi natijasida elektr kuchlanishining ta'siri ostida dielektrikning hajmi va yuzasi orqali oz miqdorda hajmiy va yuza toklarning o'tishi yuz beradi. Shu sababli dielektrik materialning mustahkamligi solishtirma hajm va solishtirma yuza o'tkazuvchanlik miqdori bilan baholanadi.

Istalgan dielektrik materialdan ma'lum shart - sharoitlarda kuchlanishning belgilangan miqdoridan oshmaydigan ko'rsatgichlarda foydalanish mumkin. Kuchlanishning belgilangan miqdoridan ortib ketishi dielektrikning teshilishiga sabab bo'lib, uni muhofaza qilish xususiyatini batamom yo'qolishiga olib keladi.

Materialning elektr mustahkamligi, ya'ni qo'yilgan kuchlanishga chidamliligi elektr maydon teshish kuchlanganligining miqdori bilan baholanadi.

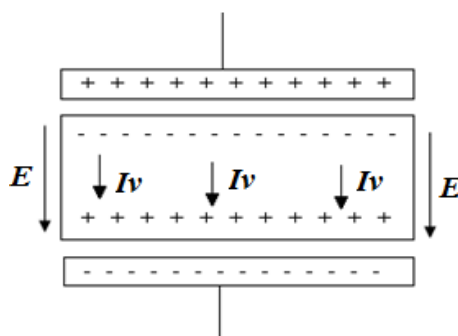
## 4.2. Dielektriklarning qutblanishi va singdiruvchanligi

Elektr maydoni ta'sirida bo'lgan dielektrikning bog'langan elektr zaryadlari, ta'sir etuvchi kuch yo'nalishida maydon kuchlanganligiga bog'liq holda siljiydi. Ya'ni maydonning kuchlanganlik miqdori qancha yuqori bo'lsa zaryadlarning siljishi ham shuncha ko'p bo'ladi.

Musbat zaryadlar maydon yo'nalishi bo'yicha, manfiylari esa teskari yo'nalishda siljiydi. Elektr maydoni yo'qolgandan so'ng zaryadlar yana o'z holiga qaytadi.

Dipol tarkibli dielektriklarda elektr maydonining ta'siri dipol molekullarning maydon yo'nalishi bo'yicha joylashishga undaydi. Maydon yo'qolgandan keyin esa issiqlik harakati ta'sirida dipollar tartibsiz joylashadi. Qutblanish natijasida dielektrik material yuzasida har xil ishorali zaryadlar paydo bo'ladi. Musbat elektrodga qaratilgan tomonda manfiy va manfiy elektrodga qaratilgan tomonda esa musbat zaryadlar yig'iladi (4.3 - rasm).

Ko'pgina dielektrik materiallar, ularga ta'sir etuvchi elektr maydoni kuchlanganligi ( $E$ ) miqdorining elektr qo'zg'alish darajasi bilan chiziqli bog'lanishda bo'ladi. Asosiy guruhni **segnetoelektrik** materiallar tashkil etib, maydon kuchlanganligi o'zgarishi bilan siljish miqdori egri chiziqli o'zgaradi.



4.3 - rasm. Qutblangan dielektriklarda zaryadlarning yo'nalishi:  $I_v$  - hajm toki;  $E$  - elektr maydonining kuchlanganligi.

**Segnetoelektrik** deb atalishining sababi qutblanishning egri chiziqliligi birinchi marotaba **segnet tuzida** kashf etilgan (vino kislotasining natriy, kaliy tuzi). Har

qanday dielektrik elektr zanjiriga elektrodlar yordamida ulanganda unga ma'lum sig'imga ega bo'lgan kondensator sifatida qarash mumkin. Kondensatorning zaryadi quyidagicha topiladi:

$$Q = C \cdot U \quad (4.1)$$

Bu yerda:  $S$  - kondensatorni sig'imi, F;  $U$  - kuchlanish miqdori (V).

Qo'yilgan kuchlanishning ma'lum miqdordagi elektr qiymati  $Q$  ikkita yig'indi  $Q_o$  va  $Q_v$  bilan hisoblanadi.

Bu yerda:  $Q_o$  - vakuumda joylashgan elektrodning elektr zaryadi;

$Q_v$  - dielektrik material bilan muhofazalangan kondensatordagi elektrodlar orasidagi elektr zaryadi.

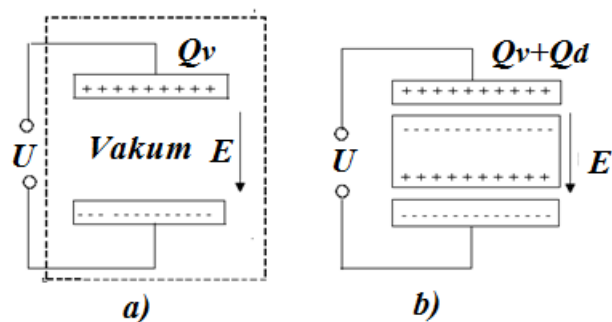
$$Q = Q_o + Q_v \quad (4.2)$$

Dielektrik materialning xususiyatlarini baholovchi kattalik sifatida nisbiy dielektrik singdiruvchanlik " $\varepsilon$ " tushuniladi. Bu kattalik dielektrik materialdan yasalgan kondensatordagi kuchlanishning biror - bir qiymatida olingan  $Q$  zaryad aynan shu o'lchamlarda va kuchlanish darajasida vakuumli kondensatordan olingan  $Q_o$  ga nisbatan topiladi (4.4 - rasm).

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_o} = \frac{Q_o + Q_d}{Q_o} = 1 + \frac{Q_d}{Q_o} \quad (4.3)$$

Yuqoridagi 3 - formuladan ko'rinib turibdiki har qanday moddaning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi «  $\varepsilon$  » faqat vakuum holatida "**birga**" teng ( $\varepsilon=1$ ) yoki "**birdan**" yuqori ( $\varepsilon>1$ ) bo'ladi.

Ta'kidlash joizki vakuumdagi dielektrik singdiruvchanlikni qiymati birliklar sistemasiga bog'liq.



4.4 - rasm. Kondensatorning ulanish sxemasi: *a* – vakuumli kondensator; *b* - quruq dielektrikli kondensator;  $Q_v$  – vakuumdagi zaryad,  $Q_d$  – dielektrik materialdagi zaryad.

SGES sistemasida u “birga” teng ( $\varepsilon = 1$ )

$$\varepsilon = \frac{1}{36 \cdot \pi \cdot 10^9}, \quad F / m, \quad (4.4)$$

Har qanday moddaning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi «  $\varepsilon$  » birliklar sistemasini tanlashni talab etmaydi. Shu sababli kelgusida nisbiy dielektrik singdiruvchanlikni dielektrik singdiruvchanlik deb yuritamiz. 3.1 - formulani quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$Q = Q_0 \cdot E = C \cdot U = C_0 \cdot U \cdot E \quad (4.5)$$

Bu yerda  $S_0$  - elektrodlar oralig‘i vakuumdan iborat bo‘lgan kondensatorning sig‘imi.

#### 4.2.1. Dielektrlarning qutblanish turlari

Dielektrikning tarkibi va agregat holatiga bog‘liq holda qutblanish hodisasi **ikki** ta turga bo‘linadi.

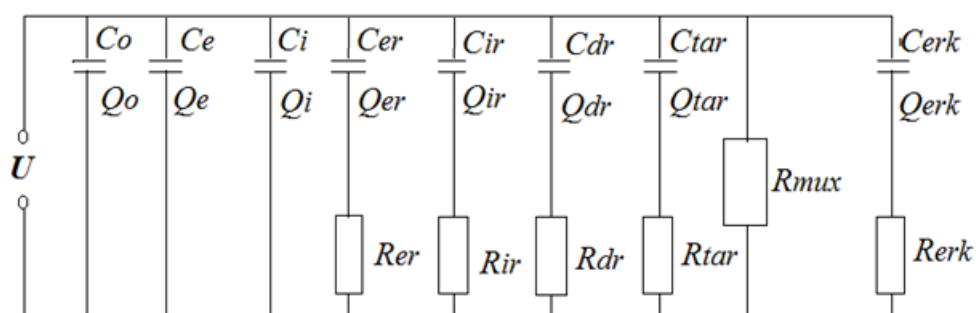
**Birinchi** turdagi qutblanish hodisasi dielektrikda elektr maydoni ta’sirida juda tez, bir lahzada ro‘y berib, energiya sarfini talab etmaydi va issiqlik ajralib chiqmaydi.

**Ikkinchi** turdagi qutblanish hodisasi dielektrikda energiya sarfining ortishi va kamayishi hamda issiqlik ajralishi bilan bog‘liq bo‘lib, u asta-sekinlik bilan ro‘y beradi.

Qutblanishning bunday turi **relaksatsion** qutblanish deyilib, u lotin tilida **zaiflashmoq** ma'nosini bildiradi.

**Elektron** va **ion** qutblanish birinchi turga mansubdir, qolgan turlar esa relaksatsion qutblanishga kiradi. Qutblanishning asosiy mexanizmi rezonans hodisasiga asoslangan bo'lib, dielektrikda yorug'lik chastotasiga teng muddatda sodir bo'ladi. Shu sababli elektrotexnika sohasining amaliy jarayonlarida bu hodisa uncha katta ahamiyatga ega emas.

Dielektrikli kondensatorning sig'imi va unda yig'iladigan zaryad miqdori dielektrik materialida kechuvchi bir qancha qutblanish turlariga bog'liq. Qutblanish hodisasining mexanizmlarini har xil dielektrlarda yoki ayni olingan biror-bir murakkab tarkibli dielektrik materialda bir vaqtda yoppasiga kuzatish mumkin. Bu jarayonni o'rganish uchun dielektrikning ekvivalent sxemasini chizamiz (4.5-rasm).



4.5 - rasm. Murakkab tarkibdagi har xil qutblanish hodisasini sodir etuvchi dielektrikning ekvivalent sxemasi.

Ushbu sxema kuchlanish manbai « $U$ » ga bir nechta parallel ulangan « $C$ » sig'implardan, qutblanish jarayoniga mos keluvchi zaryad miqdori « $Q$ » lardan tashkil topgan ( $C$  va  $Q$  ga qo'yilgan indekslar esa qutblanish turini bildiradi).

Masalan,  $C_o$  va  $Q_o$  vakuumda joylashgan elektrodning sig'imi va zaryadini anglatadi.  $C_o$  va  $Q_o$  ga vakuumda joylashgan elektrod orasida ro'y beruvchi elektronlarning qutblanish jarayoni sifatida qarashimiz mumkin.

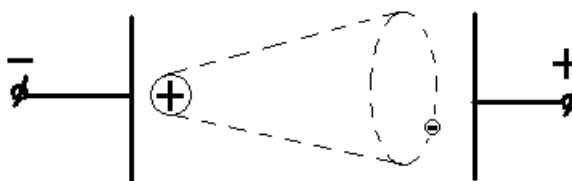
Bu yerda  $U$  - kuchlanish manbai;  $C_o$  va  $Q_o$  - vakuumdagi sig'im va zaryad;  $C$  va  $Q$  - indekslar bilan; elektron, ion, dipol relaksatsion, ion relaksatsion, elektron

relaksatsion, tarkibi, erkin qutblanishning sig‘im va zaryad miqdori;  $R$  - qarshilik indeksleri bilan, qutblanish mexanizmlaridagi energiya isrofiga teng keluvchi ekvivalentli qiymat;  $R_{mux}$  - dielektrik orqali o‘tuvchi yelvizak tokka qarshi muhofazaning qarshiligi.

### Elektron qutblanish

Elektronning qutblanishi deganda elektr maydoni ta‘sirida dielektrikning atom va ionlaridagi **elektronlar qobig‘ining elastik siljishi va shaklini o‘zgarishi** (deformatsiya) tushuniladi. (3.3-rasm.  $Q_e$ ). Elektronning qutblanishi juda oz fursatda -  $10^{-15}$  sekunda kechadi. Shu sababli uni **lahzali** qutblanish deyiladi. Qutblanishning bu turi molekula tuzilishidan qat‘iy nazar barcha dielektrikda sodir bo‘ladi.

Misol tariqasida **4.6 - rasmda** vodorod atomida sodir bo‘luvchi elektron qutblanish jarayonining sxemasi berilgan.



4.6 - rasm. Vodorod atomida sodir bo‘luvchi elektronning qutblanish sxemasi.

Elektron qutblanish elektr energiya sarfini talab etmaydi, ammo harorat ortishi bilan elektronlarning oraliq masofasi ortadi va hajm birligiga teng keluvchi elektronlar sonining kamayishi evaziga dielektrikning elektron qutblanish darajasi pasayadi.

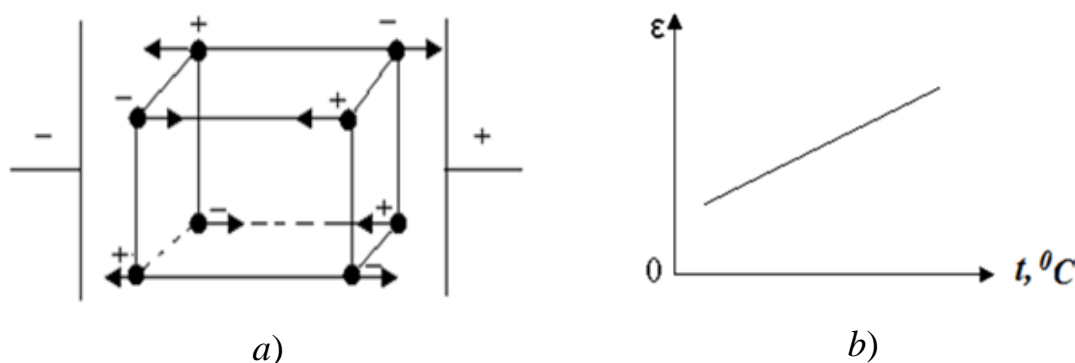
Maydon energiyasi sarfini talab etmaydigan dielektrik **qutbsiz** dielektrik deyiladi.

Suyuq va qattiq holatdagi dielektriklarning dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon \approx 1,8 \div 2,5$  oralig‘ida bo‘ladi. Gazlarda esa u normal sharoitda  $\epsilon \approx 1$  ga yaqin bo‘lib, bosimga bog‘liq holda kechadi.

### Ion qutblanish

Ionning qutblanishi elektr maydonining ta'siri ostida, dielektriklarning tarkibidagi **kristall panjara tugunlarida** tarang bog'liqlikda bo'lgan **ionlarning elastik siljishi** bilan izohlanadi. Ionning qutblanishi **4.7-rasmdagi** sig'im  $S_i$  va zaryad miqdori  $Q_i$  indeksleri bilan belgilangan.

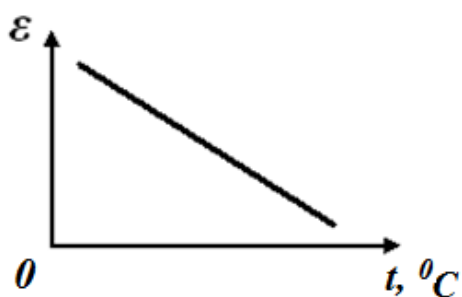
Ionning qutblanish vaqti -  $10^{-13}$  **sekund**. Buning sababi ionning massasi va energiyasi elektronning massasi va energiyasidan birmuncha kattaligidadir. Ionning qutblanishi ham elektronning qutblanishi kabi elektr maydoni energiyasi sarfini talab etmaydi. Qutblanish jarayoni sxema tarzida **4.7 - rasmda** tasvirlangan.



4.7 - rasm. Ionning qutblanish sxemasi: *a* - tashqi elektr maydoni ta'sirida, dielektrikning kristall panjarasi tugunlarida tarang bog'lanishda bo'lgan ionlarning siljish sxemasi; *b* - shisha va chinni ionlarining qutblanishi davrida  $\epsilon$  ning  $t, ^\circ S$  bilan bog'lanish sxemasi.

Harorat ortishi bilan kristall panjara tugunlaridagi ionlar orasidagi masofa ortadi. Natijada ionlarni bog'lab turuvchi kuchlar kamayadi. Bu holat o'z navbatida dielektrikning qutblanuvchanligini ortishiga olib keladi.

Demak **4.8 - rasmda** tasvirlanganidek haroratgtgsh ( $t$ ) ortishi dielektrikning singdiruvchanlik miqdorini ham ortishiga olib keladi.



4.8 - rasm. Titan ikki oksidli  $\text{TiO}_2$  (tikondlar) da ion qutblanishining  $\epsilon$  va  $t$  orasidagi bog‘liqligi.

Shisha, sopol va chinni kabi materiallar bunday dielektriklar qatoriga kirib, haroratning ortishi « $\epsilon$ » kattaligini **3** dan **10** gacha o‘zgartiradi.

Buning sababi tikondlarda dielektrik singdiruvchanlik  $\epsilon$  miqdorining ion hamda elektron qutblanish hodisasiga bog‘liqligidir. Tikondlarda elektron qutblanishining hissi ionning qutblanishiga nisbatan bir necha barobar ustundir. Shu sababli avval ta’kidlaganimizdek elektron qutblanishi paytida dielektrikning issiqlik harorati ta’sirida kengayishi tufayli hajm birligiga teng keluvchi elektronlar zichligi pasayadi va natijada dielektrikning singdiruvchanlik « $\epsilon$ » qiymati kamayadi.

Shunday ekan, demak tikondlarda ham harorat ortishi bilan « $\epsilon$ »lar yig‘indisi kamayadi. Tikondlarning bunday xossasidan haroratga bog‘liq bo‘lmagan singdiruvchanlik « $\epsilon$ » dielektriklar ishlab chiqarishda foydalansa bo‘ladi. Buning uchun hosil qilinayotgan dielektrik materiallarga  $\epsilon$  haroratga bog‘liq o‘zgarib turadigan moddalardan kerakli miqdorda aralashtirish talab etiladi. Tikondlarning dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon = 12 \div 150$  gacha qiymatga ega.

### **Dipol relaksatsion qutblanish**

Dipol relaksatsion qutblanish asosan gazsimon va qattiq dielektrlarda kuzatiladi. Bu qutblanishning elektron va iondan farqi, issiqlik harakatida bo‘lgan **dipol molekularning**, zarra chalari tashqi elektr maydoni ta’siri ostida qisman o‘z yo‘nalashini o‘zgartirib, qutblanish jarayonini yuzaga keltirishidir. Agar molekular-aro kuchlar dipollarga maydon yo‘nalishi bo‘yicha burilishga xalaqit bermasa dipol relaksatsion qutblanish jarayoni yengil kechadi. Elektr maydoni ta’sirida dielektriklar tarkibidagi dipol molekular shunday burilish hosil qiladiki, bunda

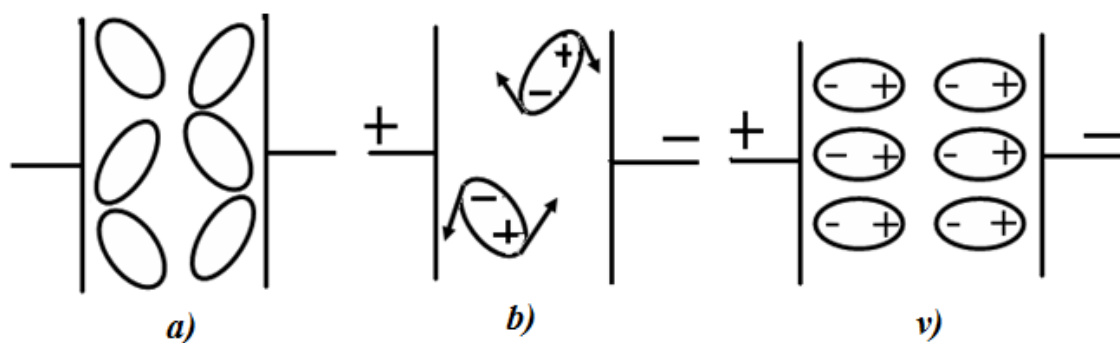


molekulalarning manfiy zaryadlangan tomonlari musbat elektrodlar tomon, musbatlari esa manfiy elektrodlar tomon buriladi. Buni 3.7 - rasmda kuzatish mumkin.

Bu hodisaning mohiyati shundan iboratki, dastlab tashqi elektr maydoni kuchlanganligi  $E=0$  bo'lganda (4.9 - a rasm) dipol molekular tartibsiz joylashgan bo'lib, tashqi elektr maydon kuchlanganligi ortib borgan sari  $E \neq 0$  dipol molekular maydon yo'nalishi bo'yicha saflana (guruhlana) boshlaydi (4.9 - b rasm). Bu turdagi qutblanishni organik tarkibli qutbli qattiq dielektrlarda kuzatish mumkin bo'lib, qutblanish jarayoni jism tarkibidagi molekular burilishi hisobiga emas, balki qutbli radikallarning molekulaga nisbatan burilishi hisobiga ro'y beradi. Yoki boshqacha qilib aytganda tarkibida  $NN_3$  va  $ON$  qutb radikallari bo'lganligi uchun dipol radikal qutblanish ham deyiladi.

Bunga tarkibida  $ON$  gidroksil bo'lgan **sellyulozani** misol qilib keltirish mumkin.

Qutbli dielektrlarda dipol molekular tartibsiz joylashganligi tufayli, ularning qutblanish jarayoni elektr maydoni kuchlanganligi bilan to'g'ri chiziqli bo'lmagan bog'lanishda bo'ladi deb tasavvur qilish mumkin.



4.9 - rasm. Dipol relaksatsion qutblanishning sxemasi:

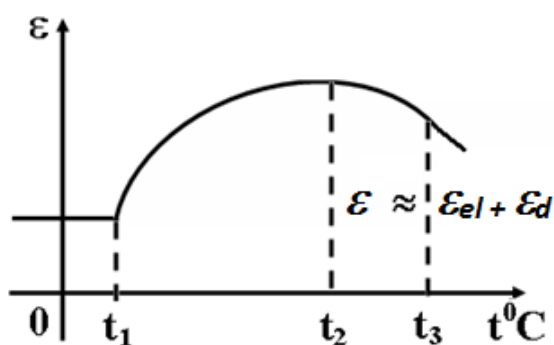
*a* - elektr maydoni kuchlanganligi  $E = 0$  bo'lganda; *b* - elektr maydoni kuchlanganligi  $E \neq 0$  bo'lganda; *v* - dipol molekularning maydon yo'nalishi bo'yicha to'liq oriyentatsiyalanishi (burilishi).

Ammo qutblanishning chiziqli bo'lmagan bog'liqligi amaliyotda kuzatilmaydi, chunki (4.9 - v rasm) dipol molekularning barcha zaryadlarini maydon yo'nalishi

bo'yicha to'liq saflanishi (guruhlanishi)ga qadar dielektrikda elektr teshilishi sodir bo'ladi.

Dipol qutblanish sekin o'tadi (qutblanish vaqti  $10^{-6} \div 10^{-8}$  sek.). Elektr maydoni ta'siri ostida saflanadigan dipol molekulalar hamda ionlar maydon ta'siri yo'qolgach, issiqlik harakati ta'siriga tushib qoladi va relaksatsiya vaqti boshlang'ich vaqtiga nisbatan **2,7** martaga qisqaradi. Ushbu jarayonning kechish vaqti **zaiflashish** (relaksatsiya) muddati deyiladi.

Qattiq dielektrlarda dipol relaksatsiya miqdori ( $\epsilon$ ) ning haroratga bog'liqligini quyidagicha tasavvur etish mumkin (4.10 - rasm).



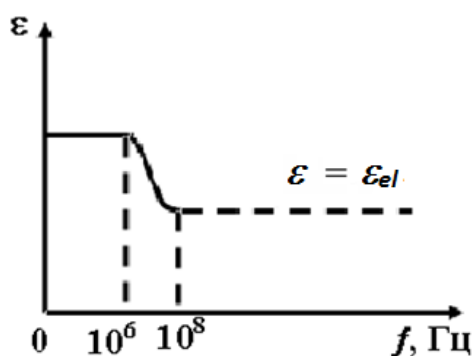
4.10 - rasm. Dipol relaksatsion qutblanish qiymatining haroratga bog'liqligi.

Yukoridagi rasmdan ko'rinib turibdiki, dielektrik singdiruvchanlik « $\epsilon$ » ning haroratga bog'liqligi murakkab xarakterga ega. Dastlab past haroratda ( $0$  dan  $t_1$  gacha) dielektrikning qovushoqligi juda yuqori (molekulalar jipslashgan) bo'ladi. Demak, elektr maydonida dipol larning burilishi chegaralangandir. Dielektrik singdiruvchanlik  $\epsilon$  esa asosan elektronni qutblanish miqdoriga teng ( $\epsilon = \epsilon_{el}$ ).  $t_1$  dan yuqori haroratda esa  $\epsilon$  ning miqdori ortib boradi. Chunki  $t_1$  dan yuqori haroratda dielektrikning qovushoqligi pasayib, dipol molekulalarning harakatlanishi ortadi. Natijada elektr maydoni ta'siri ostida dipol molekulalarning saflanishi uchun imkon tug'iladi. So'ngra  $t_2$  dan yuqori haroratda, ya'ni  $t_3$  gacha esa zarrachalarning tartibsiz harakat jadalligi ortib, qutblanish jarayoni murakkablashadi va o'z navbatida dielektrik singdiruvchanlik miqdorining kamayishiga olib keladi, ya'ni

$$\epsilon = \epsilon_{el} + \epsilon_d \quad \text{bo'ladi.}$$

Qutbli dielektrlarning dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon = 3 \div 10$  gacha oraliqda bo‘ladi. Bunga dipollarning maydon yo‘nalishi bo‘yicha burilishini, ma’lum miqdordagi qarshilikni yengishini sabab qilib keltirish mumkin.

Shuning uchun dipol relaksatsion qutblanish energiya sarfini talab etadi. Bu bog‘liqlik 4.3 - rasmdagi  $R_{dr}$  belgisi bilan aktiv qarshilikni,  $C_{dr}$  esa aktiv sig‘im elementiga ketma - ket ulab tasvirlangan. Quyuq yopishqoq suyuqliklarda qarshilikning miqdori chastota  $f$  (Gts) ortishi bilan ko‘payib boradi va dipol relaksatsion qutblanishning qiymati, ya’ni dielektrikning singdiruvchanlik ko‘rsatkichi kamayadi (4.11 - rasm).

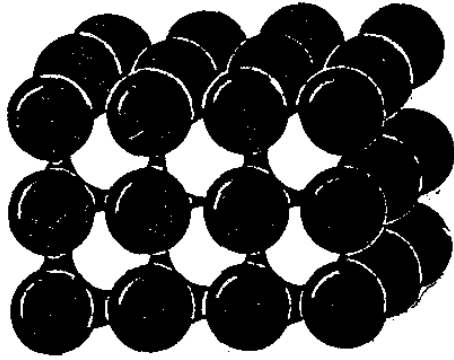


4.11 - rasm. Quyuq yopishqoq suyuqliklardagi dielektrik singdiruvchanlik ( $\epsilon$ ) bilan chastota ( $f$ ) orasidagi bog‘liqlik sxemasi.

Yuqoridagi rasmdan ko‘rinib turibdiki qutbli dielektrlarning dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon$  elektr maydoni chastotasi  $10^6$  Gts gacha miqdorga ega bo‘lganda eng yuqori qiymatga erishadi, chastota  $10^8$  Gts gacha ortganda esa dielektrik singdiruvchanligining ko‘rsatkichi keskin pasayadi. Bu hodisani tashqi elektr maydoni yo‘nalishining tez-tez o‘zgarib turishi natijasida dipol molekulalarning chastotaga bog‘liq holda maydon yo‘nalishi tezligida burilaolmasligi bilan izohlash mumkin. Shuning uchun dielektrik singdiruvchanlik  $\epsilon$  ning kattaligi faqat elektron qutblanish sharti bilan baholanadi ( $\epsilon = \epsilon_{el}$ ).

### Ion relaksatsion qutblanish.

Ushbu qutblanish (3.3 - rasm) anorganik shisha va bir qator ionlari tig‘iz joylashgan anorganik jismlarning ion kristallarida kuzatiladi. Bunday jismlarning ionlar to‘plami bo‘sh joylashgan bo‘lib, tuzilishi 3.12 - rasmda tasvirlangan.



4.12 - rasm. Seziy xlorid (SsCl) ionlarining bo'sh joylashisha.

Ushbu qutblanish hodisasi quyidagicha kechadi: moddadagi kuchsiz bog'langan ionlarning tashqi elektr maydoni ta'sirida, issiqlik to'lqinlarining tartibsiz tarqalish vaqti oralig'ida maydon yo'nalishi bo'yicha zarrachalarni biriktirib olib, to'yinishiga asosan yuz beradi. Elektr maydoni ta'siri yo'qolgach, asta - sekinlik bilan ionlarning burilishi to'xtaydi.

Relaksatsiya (zaiflashish) vaqti, aktivlashish energiyasi va relaksatsiyalanuvchi zarrachaning tebranish chastotasi quyidagicha bog'liqlikda bo'ladi:

$$\tau = \frac{1}{2 \cdot f} \cdot e^{(w/kt)}, \text{ sek} \quad (4.6)$$

Bu yerda  $f$  - tebranish chastotasi,  $\text{sek}^{-1}$ .

$w$  - aktivlashish energiyasi, eV.

$k$  - Bolsman doimiysi ( $8,63 \cdot 10^{-5}$ , eV/grad.);

$T$  - absolyut harorat,  $^{\circ}\text{K}$

Ion relaksatsion qutblanish miqdori harorat ko'tarilishi bilan ortadi.

### **Elektron relaksatsion qutblanish.**

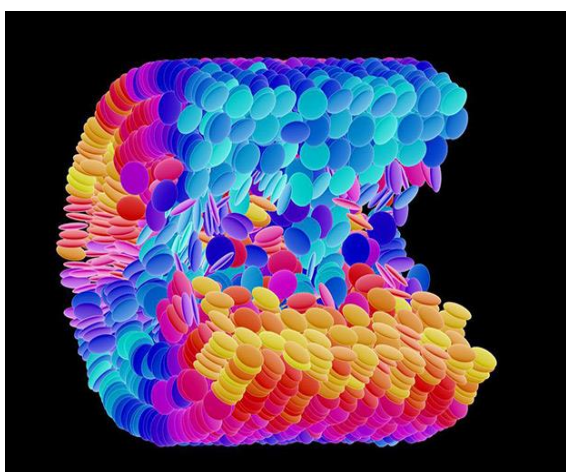
4.3 - rasmda  $C_{er}$ ,  $Q_{er}$  va  $R_{er}$  bilan belgilangan bo'lib, u elektron va ionlarning qutblanishi hamda issiqlik energiyasi ta'sirida qo'zg'algan ortiqcha nuqsonli elektronlar yoki kovaklar hisobiga ro'y berishi bilan farq qiladi. Elektron relaksatsion qutblanish asosan dielektriklarning yuqori sinish qobiliyatiga hamda, ichki maydonli va elektr energiya o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan xillariga oid bo'lib, ularni

**titan** ikki oksidining  $Nb^{5+}$ ,  $Sa^{2+}$ ,  $Va^{2+}$  zarrachalari bilan ifloslangan aralashmalarida, shuningdek titan, niobiy, **surma** oksidi zarrachalari qotishmalarida kuzatish mumkin.

Elektron relaksatsion qutblanish jarayonidagi dielektrik singdiruvchanlikning katta qiymatga ega ekanligiga hamda, uning hatto bevosita manfiy haroratga ham bog'liqligiga e'tiborni qaratish lozim. Elektron relaksatsion qutblanishli **titan** aralashmasi bo'lgan **keramika** muhofaza materiallarda dielektrik singdiruvchanlik chastota ortishi bilan pasayadi degan nazariya ham mavjud.

### **Tarkibiy qutblanish.**

Tarkibiy qutblanishga, qutblanish jarayonining qo'shimcha turi sifatida qaraladi. U qattiq jismlarning har xil mikroskopik zarrachalardan tashkil topgan materiallarda kuzatiladi (3.3 - rasm). Bu qutblanish past chastotalarda ro'y berib, u katta miqdordagi elektr energiya sarfi bilan bog'liqdir. Bunga sababini o'tkazgich va yarim o'tkazgich aralashma moddalarning dielektrik material qatlamlarida turlicha o'tkazuvchanlik darajasi bilan ishtirok etishi bilan izohlash **mumkin (4.13 - rasm)**. Tarkibi har xil moddalardan tashkil topgan materiallar elektr maydoniga kiritilganda o'tkazuvchan va yarim o'tkazuvchan erkin elektronlar hamda ionlar o'z harakat doirasida burilib katta qutblangan hududlarni hosil qiladi.



**4.13 - rasm.** Turlicha tarkibdan iborat bo'lgan materialning namunasi

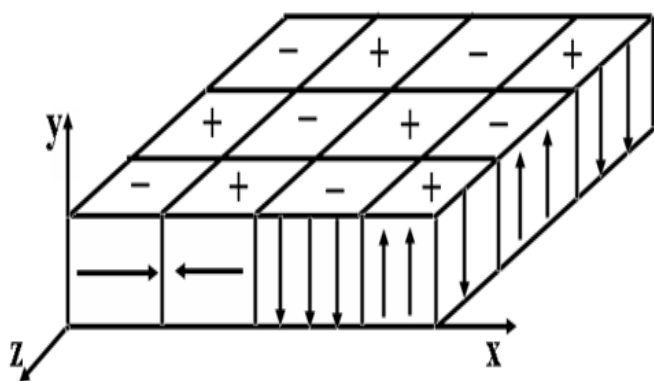
### Spontan yoki erkin qutblanish.

Qutblanishning bu turi **segnetoelektrik materiallarda**<sup>3</sup> kuzatiladi (3.3 - rasm). Birinchi bor **segnet tuzi** ( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) kristallarida qutblanish jarayonining ro'y berishi kashf etilganligi uchun shunday xossalarga ega bo'lgan materiallar guruhi **segnetoelektrik** materiallar deb nomlangan.

Segnetoelektrik materiallarda elektr maydoni ta'sir etgunga qadar **domenlar** deb nomlanuvchi elektr momentiga ega bo'lgan mikroskopik erkin qutblangan hududlar mavjud bo'ladi. Ammo domenlardagi elektr momentlarning yo'nalishi har bir domenda turli xil yo'nalishda bo'ladi.

Barcha turdagi domenlardagi elektrik momentning vektor yo'nalishi turlicha bo'lishiga qaramasdan ular doimo o'zaro kompensatsiyalangan bo'ladi. Domenlar joylashuvining oddiy modeli 4.14 - rasmda tasvirlangan. Tashqi elektr maydoni ta'sir etganda domenlarning elektr momentlari maydon oqimi bo'yicha yo'nalgan bo'ladi (oriyentatsiya).

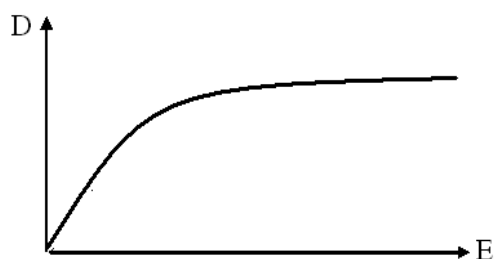
Shu sababli segnetoelektriklar eng kuchsiz elektr maydoni ta'sir etganda ham kuchli qutblanish xususiyatlariga ega bo'ladi. Boshqa tur qutblanishdan farqli o'laroq segnetoelektrik materiallarda elektr maydoni kuchlanganligini oshira borib, to'yinishni ortishiga erishish mumkin. Bu shunday holatki, maydon kuchlanganligi har qancha oshirilsa ham qutblanish jarayoni o'zgarmaydi.



4.14 - rasm. Segnetoelektrik materiallarda domen hududlarning joylashisha.

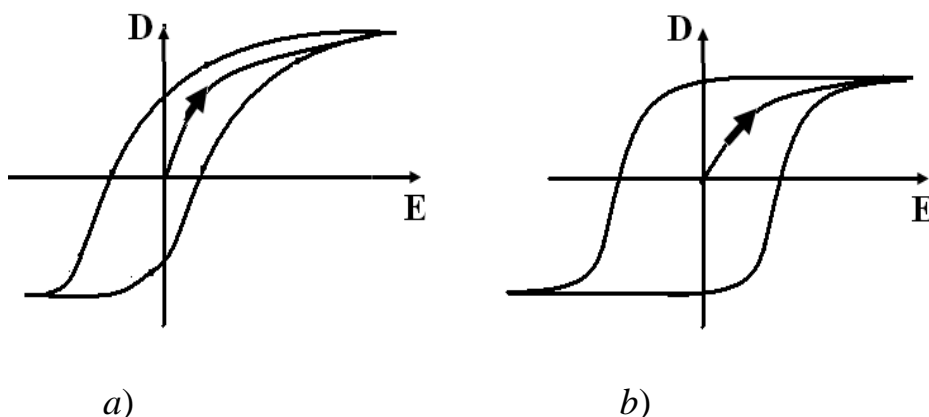
<sup>3</sup> **segnetoelektrik materiallarda** - segnet tuzi ( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) kristallarida qutblanish jarayonining ro'y berishi kashf etilgan

Yuqorida qayd etilgan holatni 3.15 - rasmdagi  $D = f(E)$  bog‘liqlikdan kuzatish mumkin.



4.15 - rasm. Segnetoelektrlardagi to‘yinish ( $D$ ) bilan elektr maydon kuchlanganlik ( $E$ ) orasidagi bog‘liqlik.

Segnetoelektrik namunasiga qo‘yilgan kuchlanish miqdorini o‘zgartirib, gisterezis tugunini hosil qilish mumkin. Gisterezis tugunining shakli qiyshiq burchak yoki to‘g‘ri to‘rtburchak bo‘lishi mumkin (4.16 – a va b rasm), bu holat material tarkibining har xilligidan dalolat beradi.



4.16 - rasm. Har xil tarkibli segnetoelektrik materiallardagi gisterezis tugunini hosil bo‘lishi: a - qiyshiq burchak; b - to‘g‘ri to‘rtburchak.

#### 4.2.2. Dielektrlarni qutblanish turlari bo‘yicha tasniflanishi

Qutblanish xususiyatlari mavjud dielektrlarni bir qancha guruhlariga ajratishga imkon beradi.

faqat elektron qutblanish xususiyatiga ega bo‘lgan dielektrlarni

**Birinchi** kiritish mumkin.

**Guruh:** *Masalan, neytral va kuchsiz qutblangan qattiq jismlarning kristall va amorf holatda (parafin, oltingugurt va polistirol) hamda neytral va*

*kuchsiz qutblangan suyuqliklar va gazlar (benzol, vodorod) shular jumlasidandir.*

ham elektron, ham dipol relaksatsion qutblanishli dielektrlarni kiritish mumkin.

**Ikkinchi  
guruh:**

*Bu guruhga dipol (qutbli) organik suyuqliklar, yarim suyuqliklar va qattiq jismlar (moyli, kanifolli kompa undlar, epoksid yelimlar, sellyuloza, bir qator xlorli uglevodlar kiradi.*

**Uchinchi  
guruh:**

qattiq anorganik dielektrlarning elektronli, ionli va ion, hamda elektron relaksatsion qutblangan dielektrlar kiradi.

**To'rtinchi  
guruhga**

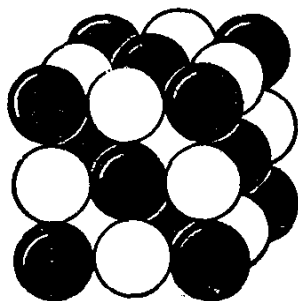
spontan elektron, ion va elektron relaksatsion qutblanishli segnetoelektrlar kiradi.

*Masalan, segnet tuzi, bariy titanati kabi birikmalar shular jumlasidandir.*

3 - guruhni elektron xususiyatlarini inobatga olgan holda ikkita bo'limga ajratish mumkin:

**Birinchi bo'limga:** Ionlar tig'iz joylashgan kristall jismlar (kvars, slyuda, tosh tuzi, korund, rutil) kiradi (3.15 - rasm).

**Ikkinchi bo'limga:** Anorganik shisha, shishasimon materiallar (chinni, mikalaks), kristall panjaralarida zarrachalari bo'sh joylashgan dielektrlar kiradi.

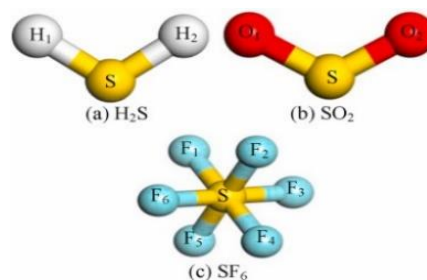


4.17 - rasm. Tosh tuzi ionlarining joylashuvi

Yuqorida keltirilgan dielektrlarning klassifikatsiyasi, ma'lum darajada elektr muhofazalovchi materiallarning asosiy elektrik xususiyatlarini to'g'ri baholash uchun imkon beradi.



### 4.3. Gazsimon dielektriklar



Gazsimon dielektriklarga havo, kislorod, vodorod geliy, etilen va elegaz ( $\text{SF}_6$ ) kabi gazlar kiradi.. Gazsimon moddalar molekulararo masofaning kattaligi sababli past zichlikka ega. Shu sababli gazlarning qutblanishi past darajada bo‘lib, barcha gazlarning dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon \approx 1$  ga yaqin.

Gazning qutblanishi faqat elektron yoki dipol bo‘lib, uning molekulari qutbli bo‘lsa, shu qutbli gazlardagi elektronning qutblanishi asosiy o‘rinni egallaydi. **4.1. - jadvalda** bir qancha gazlarning molekula radiuslari va yorug‘lik singdiruvchanlik koeffitsiyenti  $n$  ni e‘tiborga olgan holda dielektrik uchun singdiruvchanlik qiymatlari berilgan.

#### 4.1 - jadval.

#### Gazlarning dielektrik singdiruvchanligi

Gazning nomi	Molekula radiusi, $A^0$	Singdiruvchanlik koeffitsiyenti, $n$	$n^2$	$\epsilon$ ( $t = 20^0\text{S}$ , $r=760$ mm simob. ustga teng)
Geliy	1,12	1,00035	1,00007	1,000072
Vodorod	1,35	1,00014	1,00028	1,00027
Kislorod	1,82	1,00027	1,00054	1,00055
Etilen	2,78	1,00065	1,0013	1,00138

**4.1 - jadvaldan** ko‘rinib turibdiki, molekula radiusi qancha katta bo‘lsa, gazning dielektrik singdiruvchanligi shuncha yuqori bo‘ladi. Bu esa singdiruvchanlik koeffitsiyentiga ham bevosita bog‘liqdir.

Gazning dielektrik singdiruvchanligi haroratga va bosimga bog‘liq holda  $n$  hajm birligiga teng keluvchi molekular soni bilan aniqlanadi. Bu son bosimga to‘g‘ri proporsional va absolyut haroratga teskari proporsional bo‘ladi.

4.2 - jadvalda havo, karbonat angidrid va azotning normal haroratdagi bosimga bog‘liq holdagi dielektrikni singdiruvchanligi berilgan.

4.2 - jadval.

**Bir qancha gazlardagi  $\varepsilon$  ning bosimga bog‘liqligi**

Havo		Karbonat angidrid		Azot	
bosim, atm	$\varepsilon$	bosim, atm	$\varepsilon$	bosim, atm	$\varepsilon$
1	1,00058	1	1,00098	1	1,0006
20	1,0108	20	1,020	20	1,0109
40	1,0218	40	1,050	40	1,055

Bosimning ortib borishi dielektrik singdiruvchanlik ko‘rsatgichining ortishiga orlib keladi. Yaniy bosim ortishi bilan molekullarning zichligi ortadi va elektr o‘tkazuvchanlik jarayonida ishtirok etishi mumkin bo‘lgan molekullarning soni ortadi.

4.3 jadvalda 1 atmosfera bosimda doimiy turgan havo dielektrik singdiruvchanligining haroratga bog‘liqligi berilgan.

4.3 - jadval.

**Havo  $\varepsilon$  ning harorat (  $T$  ) ga bog‘liqligi**

Harorat ( $T$ )		$\varepsilon$
$^{\circ}S$	$^{\circ}K$	
+ 60	333	1,00052
+ 20	293	1,00058
- 60	213	1,00081

4.3 - jadvalning taxlili shuni ko‘rsatadiki harorat ortishi bilan singdiruvchanlik ham pasayib boradi va u – 60  $^{\circ}S$  ga yetganda  $\varepsilon$  keskin ortadi.

**Havo  $\varepsilon$  ning nisbiy namlikka bog‘liqligi**

Havoning namligi %	$\varepsilon$
0	1,00058
50	1,00060
100	1,00064

4.2 va 4.3 - jadvalda quruq gazlarga oid ma’lumotlar keltirilgan.

Havo namligining dielektrik singdiruvchanlikka ta’siri (bosim va harorat o‘zgarishligi) 3.4 - jadvalda berilgan.

Bu ta’sir normal haroratda sezilarsiz bo‘ladi. Harorat ko‘tarilishi bilan u keskin ortadi. Dielektrik singdiruvchanlikka haroratning ta’siri odatda quyidagicha ifodalanadi.

$$TK\varepsilon = -\alpha \cdot \varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad \text{grad}^{-1}. \quad (4.1)$$

Bu formula dielektrik singdiruvchanlikning nisbiy o‘zgarishini ifodalaydi, haroratning bir darajaga ko‘tarilishi “**dielektrik singdiruvchanlikning haroratga bog‘liqlik koeffitsiyenti**” nomini olgan.

Qutbsiz gazlardagi  $TK\varepsilon$  ni quyidagi ifodadan topish mumkin:

$$TK\varepsilon = \frac{\varepsilon - 1}{T}$$

$T$  - absolyut harorat,  $T = 293 \text{ }^{\circ}\text{K}$

Havo uchun  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$TK\varepsilon = -\frac{1,00058 - 1}{293} = -2 \cdot 10^{-6} \quad \text{grad}^{-1} \quad (4.2)$$

Dielektrik singdiruvchanlikning bosimga bog‘liqligi quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi:

$$\frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dp} = \frac{\varepsilon - 1}{p} \quad (4.3)$$

Bu yerda hajm birligidagi molekularlar soni gazlarning asosiy qonuni bilan aniqlanadi.

$$n_0 = \frac{P}{kT} \quad (4.4)$$

Havo uchun:

$$\frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dp} = \frac{1,00058 - 1}{1} = 0,00058 \cdot \text{atm}^{-1} \text{ ga teng.}$$

### 4.3.1. Gazsimon dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi



Elektromagnit maydon kuchlanganligi ta'siri ostida materiallarda kechuvchi elektr jarayonlarni o'rganish uchun turlicha muhitdagi zaryad tashuvchanlik hodisasini tahlil etamiz. Dastlab zaryadning paydo bo'lishi va yo'qolishi bilan tanishamiz. Buning uchun turlicha muhit (material) dagi elektronlarning tuzilishni o'rganish maqsadga muvofiq.

Gazlarda elektronlar har bir atom yoki molekulaning orbitasida joylashgan. Atomning kvant modeliga binoan, elektron kvant energiya darajasiga ko'ra qaysidir biror-bir orbitada joylashisha mumkin. Har bir darajada faqat bitta elektron joylashadi. Orbitaning eng chekka darjasida joylashgan elektron eng kichik zaryad va massaga ega bo'ladi. Shu sababli u tezda ionlashadi va yadro orbitasidan uzulib ketish ehtimoliga ega.

Atomdan elektronni uzilib ketishiga sarf bo'ladigan energiya ionlanish energiyasi ( $W$ ) deyiladi. Orbitadagi ikkinchi elektronni ajratib olishi uchun unga chekkadagi elektronga nisbatan kattaroq miqdordagi energiyani sarflash talab etiladi. Bu ikkinchi darajadagi ionlanishdir. Atomning yadrosidan elektronlarni uzib olish

yoki qo'zg'atishni bir qancha usullari mavjud. Orbitadagi elektronlarni qo'zg'atish uchun unga, atomning yadro tortish kuchi energiyasidan pastroq energiya bilan ta'sir etish natijasida yuzaga keladi. Atom yadrosiga torilgan elektronlarga qo'zg'atish energiyasi turlicha ta'sir etganligi bois qo'zg'alish ham turicha bo'ladi. Bir xil energetik darajaga ega bo'lgan ikki atom o'zaro yaqinlashganda, atomlarning birikishi hosil bo'ladi, ammo maydon yo'nalishi ikkita o'zaro juda oz miqdorda farq qiluvchi darajaga ajralgan bo'ladi. Buning sababi shundagi kvant fizikasi qonunlariga ko'ra ikkita bir xil darajadagi maydon mavjud emas. Bu holat Pauli qonuni deyiladi. Uchta atom biriksa – uchga taqsimlagan daraja yuzaga keladi.

#### **4.3.2. Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi**



Gazlar elektr maydoni kuchlanganligining past qiymatlarida juda oz o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega.

Tok gazlarda faqat ionlar yoki erkin elektronlar mavjud bo'lgandagina vujudga kelishi mumkin.

Neytral molekulalarning gazlardagi ionlashuvi tashqi ta'sirlar natijasida yoki zaryadlangan zarrachalarning molekulalar bilan to'qnashuvi natijasida paydo bo'ladi. Gazlarning rentgen nurlar, ultra binafsha nurlar, kosmik nurlar, radioaktiv nurlanishlar hamda termik ta'sirlar kabi omillarning ionlanish jarayonini vujudga keltirishini bunga misol qilib keltirish mumkin.

Agar gazlardagi ionlanish jarayoni tashqi ta'sirlar natijasida yuz bersa, bunday ionlanish mustaqil bo'lmagan ionlanish deyiladi.

Past bosimda, haroratda va kuchlanishda ionlanish jarayoni juda sekin o'tadi yoki aksariyat hollarda vujudga kelmaydi. Chunki gazlardagi zarbli ionlanish tashqi elektr maydon ta'sirida kinetik energiyaning keskin ortib ketishi natijasida sodir bo'ladi.

Zarbli ionlanish jarayoni mustaqil (erkin) ionlanish deyiladi. Odatda tashqi ta'sirlar ostida  $1 \text{ sm}^3$  gazda 1 sekund ichida 3 - 5 juft zaryad hosil bo'ladi. Zaryadlar to'plana borishi bilan ularning to'qnashish jarayoni ro'y berishigi imkon yaratiladi. Natijada musbat va manfiy zaryadlar neytral molekulalarga birlashadi. Bunday jarayon **rekombinatsiya** deyiladi.

Ionlanish kuchlanishdan yuqori bo'lgan kuchlanishlarda esa elektr maydoni ta'sirida neytral molekulalar tarqalib, gaz elektr o'tkazuvchi bo'lib qoladi.

Kuchlanish miqdorini yanada oshirsak, zarbli ionlanish jarayoni kuchayadi va gazda teshilish yuz beradi. Normal sharoitda gazlarning solishtirma hajm qarshiligi  $10^{18} \text{ Om}\cdot\text{sm}$  ga teng.

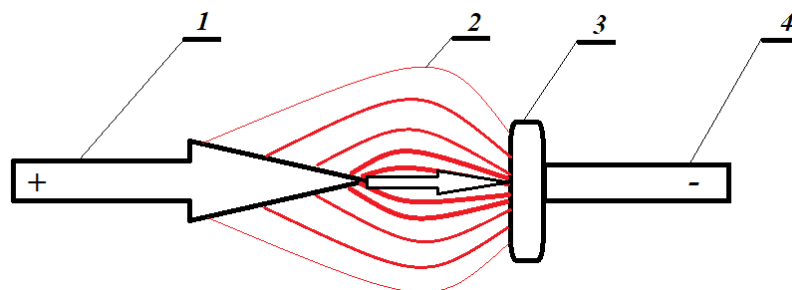
### 4.3.3. Gazsimon dielektrlarning teshilishi



Elektr maydonida elektrodlar oralig'ida bo'lgan gaz zarrachalari shu maydonga nisbatan neytral bo'ladi. Yuqorida aytib o'tganimizdek, tashqi ionizatorlar ta'sirida  $1 \text{ sm}^3$  hajmdagi gazda doimo bir qancha miqdorda erkin zaryadlar (elektronlar va ionlar) bo'ladi. Bu zaryadlar elektr maydoni ta'sirida musbat elektronlar katodga tomon, manfiylari esa anodga tomon harakatlanadi (4.18 - rasm). Misol tariqasida elektr maydoniga kiritilgan elektronning harakatini ko'rib chiqamiz. Elektr maydoni ta'sirida elektron anodga tomon harakatlanib, neytral molekulalar bilan to'qnashadi. Shuning uchun uning harakat yo'li to'g'ri chiziqli bo'lmaydi. To'qnashishlar orasidagi masofa zaryadli harakatlanish uzunligi ( $\lambda$ ) deb ataladi. O'rtacha erkin harakatlanish uzunligi o'zgarmas hajmdagi ( $\lambda = \text{const}$ ) bosim o'zgarishiga bog'liqdir. Erkin harakatlanish uzunligida elektronning kinetik energiyasi  $mv^2/2$  ga teng bo'ladi.

Agarda zaryadning kinetik energiyasi yetarli miqdorda bo'lsa, u holda neytral molekula bilan to'qnashish natijasida molekulada ionlanish jarayoni sodir bo'ladi. Bu

vaziyatda yana ikkita zaryad ion va elektron hosil bo‘ladi. Qo‘yilgan kuchlanish yetarli kattalikda bo‘lsa, ionlanish jarayoni juda tez rivojlanadi.



**4.18 - rasm. Konussimon nina** va sharsimon yassi elektrodlar orasida elektr kuch chiziqlarining tarqalishi: 1 – konussimon musbat elektrod; 2 - elektr yoy razryadi kuch chiziqlari; 3 - sharsimon yassi manfiy elektrod; 4 - manfiy qutb.

Bu jarayon zarbiy deb ataladi. Agarda ionlantirish uchun zaryadning kinetik energiyasi yetarli bo‘lmasa, to‘qnashish natijasida zaryad neytral molekulani qo‘zg‘atib, elektroni kamroq energiya sathiga ega bo‘lgan orbitaga o‘tkazadi. Bu elektron  $10^{-8}$  sekund vaqtda yangi orbitadan yana o‘z orbitasiga o‘tishi natijasida nurlanish sodir bo‘lib, **foton energiyasi** ajralib chiqadi va u boshqa molekulaga singib uni ionlantirishi mumkin. Xuddi shunday hodisa ionlarda ham sodir bo‘ladi.

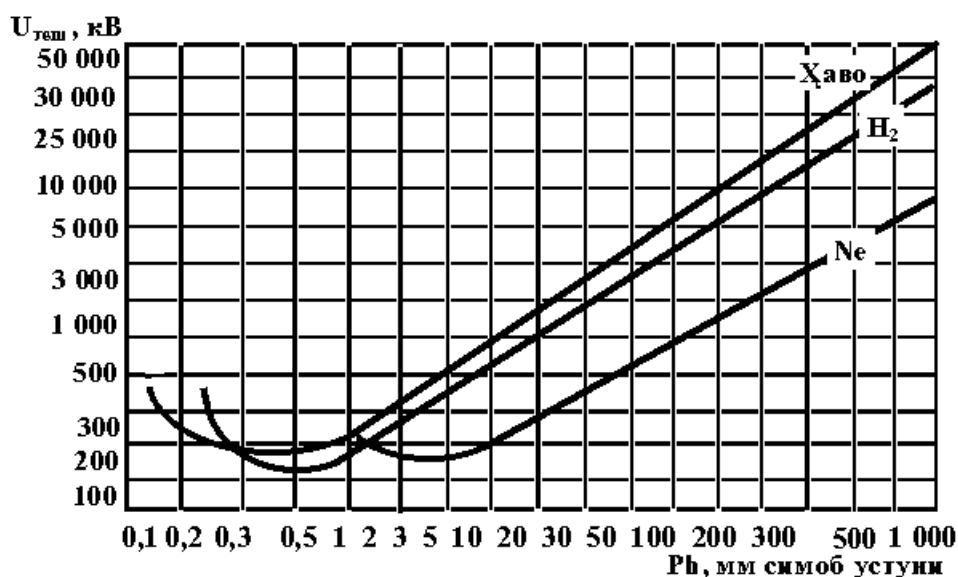
**Zarbiy ionlanish.** Bu jarayonning rivojlanishi natijasida elektronlar oqimi anodga tomon, musbat zaryadlangan ionlar oqimi esa katodga tomon harakatlanadi. Shunday yo‘sinda elektr maydoni ta’siri ostida elektrodlar orasida elektr o‘tkazuvchi kanal hosil bo‘ladi. Gazlarda, zarbiy ionlanish  $10^{-8}$  sek. muddatda **30 kV/sm** kuchlanishda rivojlanadi. Gazlarning elektr mustahkamligi va teshilishining boshqa omillarga bog‘liqligi ham katta ahamiyatga egadir. Chunki barcha elektrotexnik qurilmalar gazli muhitda ishlaydi. Ko‘pincha izolyatsiyalovchi muhit sifatida gaz ishlatiladi.

Gazlarning elektr mustahkamligining bosim o‘zgarishiga bog‘liqligini **4.19 - rasmda** ko‘rsatilganidek izohlash mumkin.

Chizmadan ko‘rinib turibdiki, atmosfera bosimidan past bo‘lgan kattalikdagi bosimlarda energiya minimumga ega. Bosim nolga teng bo‘lganda (to‘la vakkum), teshilish kuchlanishining miqdori cheksizlikka teng bo‘lishi kerak, ammo amaliyotda

bunday bo‘lmaydi. Zaryadlarni katoddan uzib olish hisobiga  $R = 0$  bo‘lganda teshilish sodir bo‘ladi. Teshilish kuchlanishi ( $U_{tesh}$ ) vakuumning chuqurligiga bog‘liq bo‘lgan holda 50 - 100 kV/mm atrofida bo‘ladi.

Vakuimli izolyatsiyalovchi materiallar (gazlar) elektron lampalarda, qisqa to‘lqinli radio uskunalarda ishlatiladigan maxsus kondensatorlarda va shunga o‘xshash qurilmalarda ishlatiladi. Bosim 0,6 - 0,7 atmosferagacha oshirilsa  $U_{tesh}$  ning qiymati 340 - 370 V/mm gacha pasayadi. Bunday bosim sharoitida izolyatsiyalovchi materiallar asboblarda, aloqa va avtomatlashtirish moslamalarida, gaz razryad uskunalarida qo‘llaniladi.



4.19-rasm. Gazlardagi elektr mustahkamlikning bosimga bog‘liqligi.

Bosimning yanada oshirilishi teshilish kuchlanishi  $U_{tesh}$  ning ortishiga olib keladi. Bu vaziyatda hajm birligidagi molekular soni ortishi hisobiga zaryadning erkin harakat qilish masofasi qisqaradi. Havoli muhofaza (izolyatsiya) sigaga ega bo‘lgan yuqori kuchlanishli kondensatorlar ishlab chiqarishda gazning bosimi 5 - 20 atmosferaga yetkaziladi. Bosimi atmosferanikidan yuqori bo‘lgan gaz to‘ldirilgan qobiqli kabellar ishlab chiqariladi. Bu maqsadda tarkibida kislorod bo‘lmagan maxsus gazlardan foydalaniladi.

O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida gaz molekulasida galoidlarning bo‘lishi teshilish kuchlanishini ortishiga olib kelishi mumkin. Buning boisi shundaki, galoidlar kuchli aktiv moddalar bo‘lib, ular erkin zaryadlarni biriktirib olish

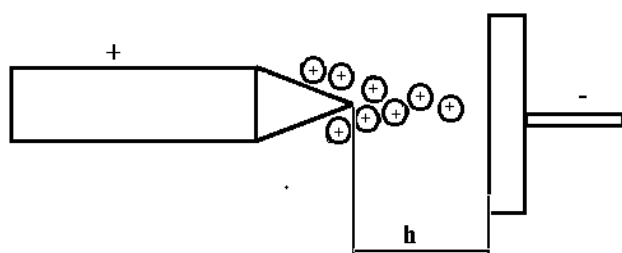


qobiliyatiga ega. Buning natijasida elektron qobiqlar qayta tuzilib, manfiy zaryadlangan ion energiyasi molekula energiyasidan kam bo‘ladi. Bu esa o‘z navbatida zarbiy ionlanish jarayonining rivojlanishini sustlashtiradi.

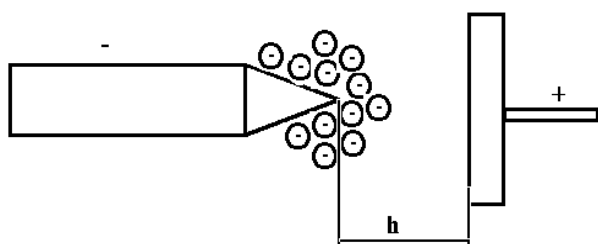
Havoning elektr mustahkamligidan  $2,5 \div 3$  marotaba ko‘p elektr mustahkamlikka ega bo‘lgan maxsus gazlarga freon ( $CF_2CL_2$ ) va elegaz ( $SF_6$ ) lar kiradi.

Gazlarning teshilishi elektrodlarning tuzilishiga ta’sir etuvchi maydonning shakliga bog‘liq (4.20 - rasm). Buning uchun shakli turlicha bo‘lgan ikki xil elektrodni ko‘rib chiqamiz. Elektrodlar yaxshi elektr o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan metaldan (bronza) yasalgan. Elektrodlardan birining shakli konussimon shaklga ega bo‘lib uni ninasimon, ikkinchisi esa yassi yuzali konus bulib uni sharsimon elektrod deb ataymiz. Ma’lumki tekis bo‘lmagan shakldagi maydon ta’sir etganda ayrim maydon kuchlanganligi katta bo‘lgan joylarda qisman razryadlanish sodir bo‘ladi. Ushbu razryadlanish elektrodning shakliga bog‘liq holda o‘zgacha ro‘y berishi mumkin. Masalan ninasimon elektrodda zaryadlar konussimon nina shaklida teng joylashib, maydon kuchlanganligi yoki kuchlanishnig yanada ortishi natijasida keyinchalik u nina uchidagi uchqunli razryadlanishga o‘tadi.

Simmetriklikka ega bo‘lmagan shakldagi elektrodlar orasidagi o‘zgarmas tokda sodir bo‘luvchi gazlarning teshilishi elektrodlarning qutblanishiga bog‘liq bo‘ladi (3.20 va 3.21-rasm).



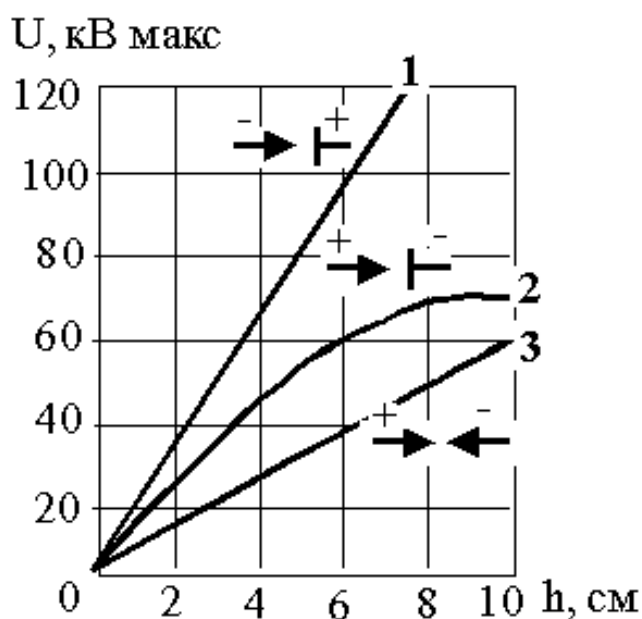
4.20 - rasm. Konussimon elektrod musbat va sharsimon elektrod manfiy qutbli bo‘lganda havodagi hajmiy zaryadning shakllanishi.



4.21 - rasm. Konussimon elektrod manfiy va sharsimon elektrod manfiy qutbli bo‘lganda havodagi hajmiy zaryadning shakllanishi.

Agarda nina (konussimon nina) uchida (+), tekislik (konussimon shar) yuzasida esa (-) bo'lsa,  $U_{tesh}$  ning miqdori unga teskari qutblanish bo'lgandagiga qaraganda kichik bo'ladi. Bunday qonuniyatning boisi zarbiy ionlanish jarayonining rivojlanishiga imkoniyat yaratib beradigan, nina uchidagi hajmiy musbat zaryadlarning yig'ilishidadir.

Qattiq dielektrik sirtida aytarli kam kuchlanishda gazlarning teshilishi sodir bo'ladi. Bu holda elektr maydoni dielektrik ta'sirida qisqaradi. Chunki gazning va qattiq dielektrikning dielektrik o'tkazuvchanligi har xildir (4.22-rasm).



4.22 – rasm. Havoning teshilish kuchlanishi ( $U_{tesh}$ , kV), oraliq masofa ( $h$ , mm), elektrodlar shakli va qutbiga bog'liqligi: 1 - manfiy qutbli nina – musbat qutbli shar; 2 - musbat qutbli nina – manfiy qutbli shar; 3 - musbat va manfiy qutbli ninasimon elektrodlar.

#### 4.4. Suyuq dielektriklar



Kimyoviy tarkib bo'yicha suyuq dielektriklar neft mahsulotlari va sintetik suyuqliklarga bo'linadi.

#### 4.4.1. Neft moylari

*Neft moylari* uglevodorod aralashmali tarkibdan tashkil topgan bo'lib, neft suyuqligi tomchilarini haydash usuli bilan olinadi.

Foydalanilishi bo'yicha, tozalanish darajasiga qarab transformator, kondensator va kabel moylariga ajratiladi.

*Transformator moyi* kuch transformatorlaridagi sintetik mato materiallarni tolalardagi bo'shliqlarini to'ldirib elektr izolyatsiya mustahkamligini oshirish, chulgan simlarini sovutishga xizmat qilsa moy o'chirigilarida esa yoy so'ndirish kamerasida yoyni razryadini o'chiradi.

*Kondensator moylari* kondensator batareyalaridagi qog'oz izolyatsiyaning elektr qarshiligini va mustahkamligini oshirish, solishtirma sig'imini ko'paytirish va hajmiy o'lchovlarini kamaytirish maqsadida shimdiriladi. Kondensator moyi transformator moyini qo'shimcha tozalash yo'li bilan olinadi.

*Kabel moylari* yuqori va past kuchlanishli kabellarning qog'oz izolyatsiyasiga shimdirish uchun ishlatiladi.

*Neft moylari* – elektron qutblanuvchi va ion o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qutbsiz dielektriklar toifasiga kiradi. Qutbsiz suyuqliklarda molekulalarning tarkibiy taqsimlanishi (dissotsiatsiyasi) juda oz miqdorda, zaryad tashuvchilar soni unchalik katta emas va o'tkazuvchanlik juda oz. Ionlarning manbai turlicha aralashmalar va namlikka ega bo'lishi mumkin. Neft moylaridagi dielektrik isroflar juda oz. Chunki ular yelvizak o'tuvchan tok miqdoriga bog'liq. Dielektrik suyuqliklar, qo'shimcha qaynash -  $T_{qayn}$  va sovish -  $T_s$  harorati bilan ham tavsiflanadi.

Transformator moyining elektrofizik tavsiflanishi:

- $\varepsilon = 2,1 \dots 2,5$ ;
- $\rho = 10^{11} \dots 10^{13} \text{ Om} \cdot \text{m}$ ;
- $\text{tg}\delta = 20 \cdot 10^{-4}$  ;
- $E_{\text{must}} = 20 \dots 25 \text{ MV/m}$ ;
- $T_{\text{qayn}} = 135 \text{ }^\circ\text{S}$ ;
- $T_s = - 45 \text{ }^\circ\text{S}$ .

Kondensator va kabel moylari bir oz pastroq dielektrik isroflar  $tg\delta = (3...5) \cdot 10^{-4}$  ga va bir oz yuqoriroq elektr mustahkamlikka  $E_{must} = 25...30$  MV/m ega.

Moylarning xususiyati harorat o'zgarishi bilan o'zgarib turadi. Harorat ortishi bilan moylarning zichligi va qovushqoqligi pasayadi, molekulalarning dissotsiatsiyasi va ion o'tkazuvchanlik ionlarning harakatchanligi evaziga ortadi. Natijada dielektrik isrof  $tg\delta$  ortadi,  $\epsilon$ ,  $\rho$  va  $E_{o'tk}$  - pasayadi.

Neft moylarning ijobiy xususiyatlari sifatida yuqori elektr izolyatsiyalash, oson topilishi va narx-navosining arzonligi kabi xususiyatlarini kiritish mumkin.

Neft moylarining kamchiliklari:

- engil olovlanishi, yoki yonib ketishi;
- qovushqoqlikning haroratga uzviy bog'liqligi: haroratning  $100^{\circ}\text{S}$  dan  $35^{\circ}\text{S}$  o'zgarishida qovushqoqlik 1800 matragacha o'zgaradi,
- elektr mustahkamlikning moy tarkibida bo'lgan aralashmalar va namlikka kuchli bog'liqligi,
- eskirishga moyilligi.

Moylarning eskirishi uglevodorodlarning parchalanishi va oksidlanish oqibatida yuzaga keladi. Shu bilan birga qutbli mahsulotlar hosil bo'ladi va natijada izolyatsiyaning yemirilishi, qovushqoqlikning ortishi, dielektrik xususiyatlarning yomonlashuvi, olovlanish haroratining pasayishiga sabab bo'ladi.

Eskirish havo tarkibidagi kislorod, yorug'lik, issiqlik, elektr maydoni ta'sirida jadallashadi. Moyning turg'unligini oshirish, eskirishini sekinlashtirish maqsadida uning tarkibiga maxsus ingibitorlar (antioksidantlar) qo'shiladi. Elektr qurilmalarni germetik mustahkamlash orqali ham moylarning eskirishni sekinlashtirish mumkin.

#### 4.4.2. Sintetik suyuq dielektriklar

Sintetik suyuq dielektriklarga xlorlangan xo'shbo'y uglevodorodlar (**sovol**, **sovtol**), kremniyorganik va fluororganik suyuqliklar kiradi.

Ushbu dielektriklarning neft moylariga nisbatan yuqori issiqlik yuklamalari ostida, elektr maydon kuchlanganligi, yong'in va portlash muhitlarda ishlash kabi bir qancha ustun jihatlari mavjud.

**Xlorlangan uglevodorodlar - definil** ( $C_{12}H_{10}$ ) ni xlorlash orqali olinadigan mahsulot hisoblanadi. Elektrotexnika sohasida polixlordifenil  $C_{12}H_5Cl_5$  – **sovtol**, hamda **sovolning** trixlorobenzoldagi aralashmasi – **sovtol** ishlatiladi.

Xlorlangan uglevodorodlar qutbli dielektriklarga mansub bo‘lib, alaralashma molekulari bilan bir qatorda shaxsiy molekulari ham dissotsiatsiyalanishi mumkin va u katta miqdordagi elektr o‘tkazuvchanlikka ( $\rho = 10^9 \dots 10^{11} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ) olib keladi.

Dipol molekulariga ega bo‘lgan suyuqliklarning qutblanishi bir vaqtning o‘zida elektronli va dipol-relaksatsion tarkibli bo‘lishi mumkin. Shu sababli ular uchun dielektrik siyendiruvchanlik neft moylariga nisbatan katta qiymatga ( $\epsilon \approx 5,0$ ) ega bo‘lishi mumkin. Dipol-relaksatsion qutblanish umumiy dielektrik isroflar miqdoriga sezilarli ta‘sir etishi mumkin. Normal sharoitda dielektrik isrof miqdori  $\text{tg}\delta = 10^{-2} \dots 10^{-3}$  ga teng. Harorat va maydonning chastotasi ortishi bilan dielektrik isroflar katta miqdorda ortadi, shu sababli mazkur suyuq dielektriklarning chastota diapazoni past chastota bilan chegaralanadi. Ko‘pchilik xlorlangan uglevodorodlarli suyuqliklarning elektr qarshiligi  $E_{\text{must.}} = 18\text{-}20 \text{ MV/m}$  gachani tashkil etadi.

Kondensator qog‘oziga sovolni shimdirib uning sig‘imini 50% ga oshiriladi. Bunday kondensatorlarning ustun tomonlariga kuchli elektr maydonlar ta‘sir etgandagi yuqori stabil (turg‘un) ish jarayoni, eskirishga chidamlilik, yong‘inga chidamlilik, yong‘in xavfsizligining yuqoriligi kabilar kiradi.

Sovolning kamchiligi yuqori haroratda qotish ( $T_{\text{qotish}} = - 8 \text{ }^{\circ}\text{S}$ ) xususiyati bo‘lganligi sababli undan foydalanish imkoniyati past. Sovtol qovushqoqlik bo‘yicha sovolga nisbatan kamroq ko‘rsatkichga ( $T_{\text{qotish}} = - 35 \text{ }^{\circ}\text{S}$ ) ega. Shu sababli u, transformator moyining o‘rnini bosuvchi vosita sifatida ishlatiladi.

Xlorlangan uglevodorodlarning – zaharliligi asosiy kamchiligi hisoblanadi.

**Kremniy organik suyuqliklar** – bu polimerlar bo‘lib, chiziqli molekulari tarkibida siloksan -Si-O-Si- guruhini tashkil etadi. Bunda kremniyning atomlari organik radikallar: - $\text{SN}_3$  (metil), -  $\text{S}_2\text{N}_5$  (etil) va boshqalar bilan bog‘langan. O‘zining dielektrik xususiyatlari bo‘ycha polisiloksan suyuqliklar qutbsiz dielektriklarga yaqin. Polisiloksan suyuqliklarni xususiyatlari quyidagilardan iborat:

- $\epsilon = 2,4 \dots 2,5$ ;

- $\operatorname{tg}\delta \approx 3 \cdot 10^{-4}$ ;
- $\rho = 10^{11} \dots 10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ;
- $E_{\text{must}} = 18 \dots 20 \text{ MV/m}$ .

Ular yuqori qizishga chidamlilik ( $T_{\text{qayn.}} > 300^{\circ}\text{S}$ ), **past qotish harorati** ( $T_{\text{qotish}} = -60^{\circ}\text{S}$ ), past namlanish, zaharsizlik, harorat o'zgarishlarida tarkibining stabililigi bilan ajralib turadi. Bunday suyuqliklar impulsli transformatorlarda, maxsus kondensatorlarda, radioelektron uskunalarda ishlatiladi.

**Ftororganik suyuqliklar** ftor va uglerod molekularining (masalan,  $S_8F_{16}$ ) molekulyar birikishi natijasida yuzaga keladi. Ushbu qutbsiz dielektrlarning xususiyatlari quyidagilardan iborat:

- $\varepsilon = 1,9 \dots 2,0$ ;
- $\operatorname{tg}\delta = (1 \dots 2) \cdot 10^{-4}$ ;
- $\rho = 10^{12} \dots 10^{14} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ;
- $E_{\text{must}} = 14 \dots 18 \text{ MV/m}$ .

Ftororganik suyuqliklarning asosiy xususiyatlariga yong'inga chidamlilik, yuqori harorat bardoshliligi ( $500^{\circ}\text{S}$  gacha), oz miqdordagi namlanuvchanlik, past darajadagi dielektrik isroflar, tarkibini barqarorligi va yuqori haroratlargacha qovushqoqligi o'zgarmasligi kabi xususiyatlarni kiritish mumkin.

Ftororganik suyuqliklar yuqori harorat ostida ishlovchi elektr asbob-uskunalar va qurilmalarni to'ldirish uchun ishlatiladi. Yuqori issiqlik o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lish bilan birga ularda kuch transformatorlarini tezda sovutish xususiyati yuqori. Ba'zi ftororganik suyuqliklar yuqori toksik xususiyatga egaligi uchun elektr qurilmalardagi rezina va misga ta'sir ko'rsatadi.

#### **4.4.3. Suyuq dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi va teshilishi**

Suyuq dielektrik materiallarning elektr o'tkazuvchanlik darajasiga suyuqlik molekularining tarkibi, tashqi muhitning harorati, suyuqlik tarkibidagi boshqa aralashma moddalarning miqdori va tarkibi kabi omillar ta'sir etishi mumkin.

Molekulalar tarkibiga ko'ra suyuqliklarni qutblanuvchi va qutblanmaydiganlarga ajratish mumkin.

Qutblanmaydigan suyuqliklar  $10^{17} - 10^{18} \text{ Om}\cdot\text{sm}$  kattalikdagi qarshilik bilan xarakterlanadi. Ularning elektr o'tkazuvchanligi ishqor, kislota va boshqa aralashma molekulalarining suyuqlik tarkibidagi ishtirokiga bog'liq. Chunki ular suyuqlikda erib tarqaladi va musbat hamda manfiy zaryadlangan ionlarni hosil qiladi. Qutblanuvchi suyuqliklarning elektr o'tkazuvchanligi o'sha suyuqlikning va uning tarkibidagi aralashma molekulalarining dissotsiatsiyasi hisobiga ro'y beradi. Bunday suyuqliklarning solishtirma hajm qarshiligi  $\rho_n = 10^{15} \text{ Om}\cdot\text{sm}$  ga tengdir.

Kuchli qutblangan suyuqliklarda (suv, spirt) elektr o'tkazuvchanlik suyuqlik molekulalarining o'z-o'zini dissotsiatsiyalash evaziga kechadi. Shuning bilan bir qatorda, kuchli qutblanuvchi suyuqliklar ulardagi aralashma molekulalarining ionlarga ajralib ketishiga imkon yaratadi.

Bunday suyuqliklarning solishtirma qarshiligi  $10^5 \div 10^8 \text{ Om}\cdot\text{sm}$  gacha bo'ladi.

Kuchli qutblanuvchi suyuqliklarning elektr o'tkazuvchanligi shunchalik kattaki, ulardan amaliyotda dielektrikdan muhofazalovchi material sifatida foydalanish mumkin emas.

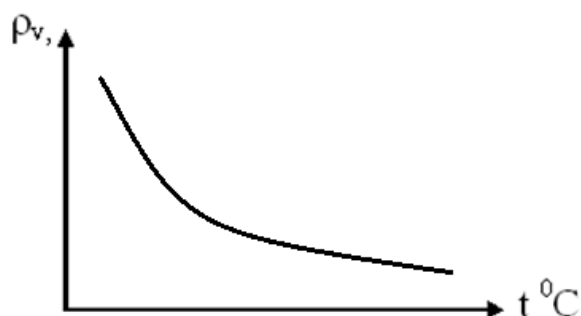
Muhofazalovchi suyuqliklarning solishtirma elektrik qarshiligini oshirish mumkin. Agarda suyuq dielektrik uzoq muddatda o'zgarmas elektr maydoni ta'sirida ushlab turilsa, suyuqlikka botirilgan elektrodlarda aralashma tarkibidagi ionlar rekombinatsiyalanadi va yig'iladi.

Hajmiy qarshilik  $\rho_x$  ning bunday usul bilan oshirilishi suyuq dielektrik materiallarni tozalash usuli deyiladi. Suyuq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi tashqi muhitning haroratiga ham bog'lik. Chunki harorat ko'tarilishi bilan suyuqlikning qovushoqligi pasayib, suyuqlik tarkibidagi ionlarning harakati tezlashishga imkon beradi. Bu holat o'z navbatida molekulalarning issiqlik dissotsiatsiyasini yuzaga keltirib, tokning ko'tarilishiga imkoniyat yaratadi.

Bu jarayon 4.23 - rasmda grafik asosida tasvirlangan.

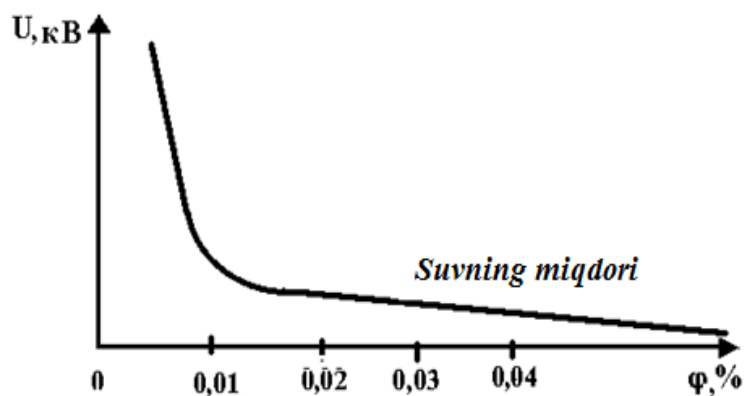
Suyuq dielektriklarning teshilish jarayoni juda ko'p sabablarga bog'liq bo'lib, ulardan biri suyuq dielektriklar tarkibiga kiruvchi aralashmalardir. Toza

suyuqliklarning teshilish kuchlanishi maksimal qiymatga ega bo‘lib, u  $50 \div 70 \text{ kV/mm}$  gacha yetadi. Bunday suyuqliklardagi teshilishni yuqori bosim ostida gazlarda sodir bo‘ladigan qo‘porilish jarayoni bilan taqqoslash mumkin.



4.23 - rasm. Solishtirma hajm qarshilik ( $\rho_v$ ) ning harorat ( $t$ ) ga bog‘liqligi.

Agar suyuqlikda aralashmalar sifatida gaz pufakchalari bo‘lsa, teshilish avval ana shu gaz pufakchalarida sodir bo‘ladi, so‘ngra suyuqlikka o‘tadi. Suyuq dielektrikda namlikning paydo bo‘lishi yoki boshqa aralashmalarning erishi teshilishning kuchlanish miqdorini keskin pasaytiradi (4.24 - rasm).



4.24 - rasm. Teshilish kuchlanishi ( $U_{tesh}$ ) ni namlik miqdori ( $\varphi$ ) ga bog‘liqlik grafigi.

Bunday vaziyatning namoyon bo‘lishi, suyuq dielektriklardagi aralashmalarga bog‘liqdir. Bu aralashmalar elektr maydoni ta‘sirida maydonning kuch chiziqlari bo‘ylab joylashib tok o‘tkazuvchi yo‘llarni paydo qiladi va qo‘porilish jarayonining rivojlanishiga sabab bo‘ladi.

### Tekshirish uchun nazorat savollari

1. Dielektrlarni qutblanish hodisasini mohiyatini tushuntiring.
2. Dielektrik singdiruvchanlikning mohiyatini tushuntiring.
3. Dielektrlarning qutblanish turlarini bayon eting.



4. Dielektrlardagi lahzali qutblanishga qanday qutblanish turlari kiradi, bayon eting.
5. Dielektrlardagi relaksatsion qutblanish turlari va mohiyatini bayon eting.
6. Segnetoelektrik materiallar qanday tuzilishga ega va qutblanish jarayoni qanday kechadi?
7. Qutblanish jarayonlariga harorat va elektr maydon kuchlanganligi qanday ta'sir etadi, bayon eting.
8. Turlicha tarkibli segnetoelektrik materiallardagi gisterezis tugunini hosil bo'lishi jarayonini bayon eting.
9. Gazsimon dielektrlarga qanday gazlar kiradi va ulardagi dielektrik singdiruvchanlik qaysi faktorlarga bog'liq?
10. Gazsimon dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi qaysi faktorlarga bog'liq?
11. Gazsimon dielektrlarning teshilishi jarayonini bayon eting.
12. Neft mahsulotlaridan olinadigan suyuq dielektrlar haqida ma'lumot bering.
13. Suyuq dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi va teshilishini bayon eting.

## 5. YUQORI POLIMERLI QATTIQ MATERIALLAR



### 5.1. Qattiq polimerizatsion dielektriklar

Ko‘pchilik noorganik qattiq dielektriklar ion - kristall tuzilishga ega shu bois yuqori issiqlikka chidamlilik va elektr mustahkamlikka ega.

#### *Slyuda*



Slyuda – ion - kristall tuzilishli molekula, plastinalarga parchalanish xususiyatiga ega bo‘lgan mineral hisoblanadi. Kimiyoviy tarkibga ko‘ra suvli alyumosilikatlarni ifodalaydi. Slyudaning asosiy dielektrik xususiyatlari quyidagilarda aks etadi:

- $\varepsilon = 5 \dots 7$ ;
- $tg\delta = (5 \dots 50) \cdot 10^{-4}$  ;
- $\rho = 10^{13} \text{ Om} \cdot \text{m}$ ;
- $E_{must} = 12 \text{ MV/m}$ .

Slyuda yuqori haroratga bardoshli bo‘lgan elektr izolyatsiyalovchi material hisoblanadi. Haroratning ortishidagi xususiyatning boshlang‘ich o‘zgarishi 700...900 °S. Slyuda kondensatorlarning plastinkalari, elektr va yoritish lampalari, elektr dvigatellarning kollektor plastinalarini izolyatsiyalashda ishlatiladi.

#### *Shisha (oyna) lar.*

Shisha – amorf tuzilishli material bo‘lib, turlicha elementlarning oksididan tashkil topgan. Shishani hosil qiluvchi elementlar sifatida  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  lar

ishlatiladi. Kremniy ikki oksidi asosida tayyorlangan silikat shishalar  $\text{SiO}_2$  kimyoviy turg'un bog'lanishga egaligi, arzonligi va eng oddiy xomashyodan tayyorlaganligi sababli juda ko'p tarqalgan.

Shishaning tayyor eritmasini sovutish uchun ikkita kritik nuqta mavjud: oqish harorati –  $T_o$ , undan yuqorida shishada oquvchanlik xassasi paydo bo'ladi, va shisha hosil bo'lish -  $T_{sh.h.b}$ , undan past haroratda shishada mo'rtlashadi.

Aksariyat silikat shishalarda  $T_o = 900...700$  °S,  $T_{sh.h.b} = 600...400$  °S.

$T_o$  va  $T_{sh.h.b}$  oralig'idagi harorat yumshash oralig'i deyiladi va bunda shisha yumshaydi va plastik xususiyatini namoyon etadi. Yumshash oralig'ining qanchalik kengligi shishaning shunchalik ko'p texnologik ishlov berilganligidan dalolat beradi.

Mahsulotga shakl berish uni puflash (havo yuborish), markazdan qochma quyish, so'rish, presslash, prokatlash, quyish va shunga o'xshagan usullar orqali bajariladi. Mahsulotning ichki mustahkaligini oshirish uchun toblash amaliyoti ham bajariladi. Toblashda mahsulot  $300...400$  °S gacha qizdiriladi va asta sekinlik bilan sovutiladi.

#### ***Silikat shishalar guruhi:***

- ***ishqorli shishalar*** – bunga ko'pchilik oddiy shishalar kiradi va ularda shishaning yumshash oralig'ini pasaytiruvchi shisha hosil qiluvchi oksidlardan tashqari, ishqoriy metallar ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) ham ishtirok etadi. Ular past elektrik, issiqlikka chidamlilik xususiyatlari bilan birga yengil ishlov berish xassalariga ega bo'ladi;

- ***Ishqorsiz shishalar*** – metall oksidlarining ishqorlariga ega emas. Mazkur guruhga mansub bo'lgan shishalar juda katta issiqlikka chidamlilik va elektr mustahkamlikka ega;

- og'ir metalarning ishqorlariga ( $\text{PbO}$ ,  $\text{BaO}$  va boshq.) ega bo'lgan shishalar, maxsus ishlov berishni talab etadi, elekt xususiyatlari bo'yicha ishqorsiz shishalarga o'xshash bo'ladi.

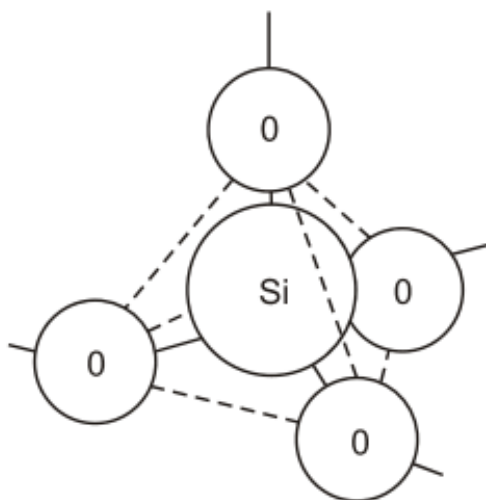
***Shishalar*** – ion tipli qutblangan noorganik dielektrik shishalar. Mexanik xususiyati bo'yicha ular siqilish yoki qisilish (kuch ostida bosilish) bo'yicha katta

mexanik mustahkamlikka ega, ammo cho‘zilish (tortqilash kuchi bo‘yicha) past qiymatga ega, qattqlik bo‘yicha mo‘rtlik ko‘rsatkichlariga mos bo‘ladi.

Optik xususiyat bo‘yicha shishalar shaffoflik, yorug‘likni sindiruvchanlik ko‘rsatkichlariga asosan tasniflanadi. Ularning elektrik kattaliklari quyidagi ko‘rsatkichlar bilan baholandi:

- $\epsilon = 3,8 \dots 16$ ;
- $\text{tg}\delta = (1 \dots 100) \cdot 10^{-4}$ ;
- $\rho = 10^6 \dots 10^{16} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ;
- $E_{\text{must}} = 30 \dots 150 \text{ MV/m}$ .

**Kvars shishalari** - eng yaxshi xususiyatlarga ega. Mazkur shishalar toza kremniy ikki oksidi  $\text{SiO}_2$  asosida tayyorlanadi. U  $1700^\circ\text{S}$  harorat ostida tayyorlanadi. Shisha massasi juda oz yumshash intervaliga ega, hatto  $1700^\circ\text{S}$  dan ortiq haroratda ham yuqori qovushqoqlikka ega bo‘ladi. Kvars shishasi asosiy mikro tarkibini kremniy kislorod tetraerlari  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  tashkil etadi **5.1 – rasm**.



5.1 - rasm. Kremniy kislorodli tetraedrlardan  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  tashkil topgan kvars shishasining mikrotarkibi.

Kremniy kislorodli tetraedrlar o‘zaro kislorod ionlari orqali bog‘lanib, yaxlit uch o‘lchamli to‘rni hosil qiladi. Umuman olganda kvars shishasini noorganik bo‘shliqli polimer sifatida tasavur qilish mumkin.

Kvars shishasining xususiyatlari:

- Yuqori mexanik xususiyatlari ( $\sigma_{siq} = 2500$  MPa,  $\sigma_{cho'z} = 60$  MPa, boshqa shishalardanga nisbatan 4-5 marta yuqori),
- yuqori haroratga chidamlilik (1000°S gacha);
- past haroratdagi chiziqli kengayish koeffitsiyenti ( $\alpha_l = 0,01 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ),
- yuqori kimyoviy inertlik (harakatsizlik);
- ultrafiolet, ko'rish va infraqizil sprekr hududida  $\lambda = 4$  mkm yuqori shaffoflik, radioshaqqoflik;

Kvars shishasi texnikaning ko'pchilik sohalarida o'z o'rnini topgan: undan laboratoriya idishlari (reaktorlar, olovda ishlatiladigan idishlar, ampulalar va h.k lar), optik linzalar, prizmalar, ultrafiolet nurlatuvchi lampalarning kolbalari, chastotani stabillovchi qurilmalar va h.k. lar yasaladi.

### ***Shishalarning foydalanilishi:***

Elektrovakuumli shisha – elektrovakuum asboblarning shisha kobalari, balonlari va boshqa detallarni tayyorlashda ishlatiladi. Kimyoviy tarkibga ko'ra elektrovakuumli shishalar borosilikatli ( $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ ) yoki alyumosilikatli ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ ) lilarga mansub bo'lib ishqorli aralashmalar bilan boyitilgan bo'ladi. Ular uchun harortning chiziqli kengayish koeffitsiyenti katta ahamiyatga ega. Ushbu koeffitsiyent metallga mos holda  $\alpha_l$  ga yaqin bo'lishi kerak. Elektrovakuumli shishalar quyidagilarga bo'linadi:

- platinali -  $\alpha_l = (8,5 \dots 9,2) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ;
- molibdenli -  $\alpha_l = (4,6 \dots 5,2) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ;
- volframli -  $\alpha_l = (3,5 \dots 4,2) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

***Izolyator shishalar*** - turli asbob-uskunalar (kondensatorlar, diodlar, tranzistorlar va boshqalar) ning qobig'dagi kirish va chiqish qismlarini izolyatsiyalash uchun xizmat qiladi. Bunday asboblarning o'tuvchi izolyatorlari uchun ishqorli silikatli shisha ishlatiladi.

***Rangli shishalar*** – odatda tarkibiga ayrim aralashmalar qo'shilgan silikatli shishalar bo'lib unga maxsus rang berish uchun CaO - ko'k,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – yashil,  $\text{MnO}_2$  -

binafsha va jigarrang,  $UO_3$  - sariq rangni olib yorug'lik filtrlari va sirlangan yuzalarni hosil qilinadi.

*Lazer shishalari* qattiq lazerlarning ishchi yuzasi sifatida foydalaniladi. Nurlanish markazi bo'lib shaffof dielektrik yuzada teng taqsimlangan aktiv ionlardan foydalaniladi.

Ko'pchilik holatlarda barit kroni (sariq mineral bo'yoq) ( $BaO-K_2O-SiO_2$ ) bilan birga neodimning aktiv ionlari  $Nd^{3+}$  ishlatiladi.

Lazer shishalarning monokristall shishalarga nisbatan ustunligi – optik bir xilliligi, xususiyatining izotropiligi, ishlov berishda yuqori natijaga ega bo'lish xususiyatining mavjudligi, past issiqlik o'tkazuvchanligi yuqori quvvat impulslarini hosil qilish imkonini beradi.

Shisha tolasini, shishaning eritilgan massasidan mayda ( $d = 4...7$  mkm) kovaklardan iborat bo'lgan filtr orqali so'rib olib, tezda uni barabanga o'rash usuli orqali olinadi. Shisha tolasidan tekstil texnologiyasi asosida maxsus lentalar va matolar va shlangalar to'qiladi. Shisha tolali izolyatsiyaning issiqlika chidamliligi, mutahkam va pishiqligi, oz miqdordagi namlanuvchanligi va juda yaxshi izolyatsiyalash qobiliyati uning ustun jihatlari hisoblandi.

Svetodiodlar optoelektronikada inchiikka tolalar orqali manbadan iste'molchiga tomon turli xildagi signallarni uzatish uchun ishlatiladi.

Yorug'lik kabeli (jgut) dagi yorug'likdan izolyatsiyalangan maxsus qoplamaga ega bo'lgan har bir tola o'zaro alohida ulanadi. Tolalardagi yorug'lik bir biriga o'tmasligi uchun kabelning markazidan chekkasiga tomon yorug'lik sindiruvchanligi kamroq bo'lgan izolyatsiyalovchi maxsus shisha qobiq bilan qoplanadi. Bunda, optik zichroq (markaziy) bo'lgan yorug'lik nuri, muhitning bo'lish qismidagi qobiqqa ruxsat etilgan burchak ostida tushganda ko'p martali to'la ichki akslanadi va kabelning butun uzunligi bo'yicha to'liq holda isroflarsiz uzatiladi.

Maxsus texnologiyalar (plenkani suniy yuzaga qo'ndirish, ionli ligirlash, ion almashinish) yassi svetodiod qurilmalarni yasash imkonini beradi va ular optik integral sxemalarning asosini tashkil etadi.

**Sitallar** – shisha kristall materiallar bo‘lib, shishani kristallashtirishni jadallashtirish yo‘li bilan olinadi. Kristallashtirishni katalizlash maqsadida shisha massasiga organik eruvchan aralashmalar yoki yengil kristallanuvchi materiallar kiritiladi. Bularga  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeS}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ , fluoridlar va ishqorlarning fosfatlari va ishqoriy yer metallari kiradi.

Sitallarni olish texnologiyasi quyidagilardan tashkil topadi:

1. Mahsulotni shisha massasida oddiy shishani olish kabi usuldan foydalanish.
2. Kristallanish fazasidagi mahsulotni olish uchun shisha massasini  $500\text{...}700^\circ\text{S}$  da toblash.
3. Kristallanish fazasini o‘stirish uchun  $900\text{...}1000^\circ\text{S}$  da shisha massasini toblash.

Kristallanish markazlarini shakllantirish **termositallar** va **fotositallar** usuliga bo‘linadi.

Termositallarda kristallanish fazasi ikki karra toblash jarayonida yuzaga keladi. Fotositallarda kristallanish markazlarini hosil qilishda shisha massasiga Au, Ag, Pt yoki Cu elementlari qo‘shiladi. Kristallanish jarayoni ultrabinafsha nurlatish ostida olib boriladi.

Sitallarning tarkibi 0,1...1 mkm o‘lchamli mayda aralashmalar va tartibsiz yo‘naltirilgan (60...95% kristallik fazasidagi) kristallar, o‘lchamlari 5...40% amorf fazasidagi qoldiq shisha aralashmalaridan tashkil topadi. Tuzilishi bo‘yicha sitallar shisha va keramika orasidagi o‘rinni egallaydi. Sitallar shishadan kristallik tuzilishi bilan farq qiladi keramikadan esa kichik o‘lchamdagi kristallardan tashkil topganligi bilan farq qiladi.

Tashqi ko‘rinish bo‘yicha sitallar oq rangdan, och jigarrang (sarg‘ish) va jigarranggacha bo‘ladi. Ular haroat  $700\text{...}900^\circ\text{S}$  yetganda ham yuqori mexanik mustahkamlikka egaligi bilan ajralib turadi. Sitallarning dielektrik isroflari ko‘pchilik hollarda qolliq faza xususiyati bilan belgilanadi.

Sitallar quyidagi dielektrik xususiyatlarga ega:

- $\varepsilon = 5\text{...}7$ ;
- $\text{tg}\delta = (10\text{...}800) \cdot 10^{-4}$  ( $f = 10^6$  Gts da);

- $\rho = 10^8 \dots 10^{12} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ;
- $E_{must} = 25\dots 75 \text{ MV/m}$ .

Sitallarning oqish harorati  $T_{oq} = 1300 \text{ }^\circ\text{S}$  harorat ostidagi chiziqli kengayish koeffitsiyenti  $\alpha_l = (1,2\dots 12) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  ga teng.

Aksariyat sitallar (HF dan tashqari) kuchli kislotalar va ishqorlarga turg'unlik xususiyatiga ega. Mahsulotning ko'pligi va sodda texnologiya mahsulotning tannarxini aroz bo'lishini ta'minlaydi.

Sitallar, gibril integral sxemalarning asosi sifatida, yupqa plastinali rezistorlar, chuqur vakuum holatida ishlovchi elektrovakuum asboblarning detallari, o'ta yuqori chastotali qurilmalarning detallari, kondensatorlarda keng qo'llaniladi.

### ***Keramika (sopol).***

Keramika so'zi grek tilidag «keramos» dan olingan bo'lib tuvak tuprog'i ma'nosini bildiradi. Hozirgi paytda keramika nafaqat takibida tuproq bo'lgan materiallar, bundan tashqari ishlab chiqarilishi va texnologik jarayonlari unga o'xshash boshqa materiallarni ham qamrab oladi.

Keramika olishning texnologik jarayonlari quyidagilardan iborat:

1. Kerakli tashkil etuvchi materillarni maydalash va yaxshilab aralashtirish.
2. Tayyor massani loy holiga keltirish va shakl beriladigan yarim fabrikat plastifikatorga (shakl beriladigan material) aylantirish. Odatada plastifikator uchun polivinil spirti va parafindan foydalaniladi.
3. Mahsulotga shakl berish.
4. Pishirish – yuqori haroratda toblash ( $1300\dots 1400^\circ\text{S}$ ). Loyning tarkibiga qarab shaklga bog'liq holda detallning kichrayishi 2 dan 20% gachani tashkil etadi.

Tarkibi bo'yicha keramika materiali kristalllik fazalaridan iborat bo'lib, amorf shishasimon jinslar bilan mustahkamlangan bo'limlardan iborat bo'ladi. Keramikada bundan tashqari gazli tarkib mavjud bo'lib u, materialning g'ovakligiga sabab bo'ladi, natijada keramikada namlanishga moyilliy ortadi. Keramik mahsulotlarning suv shimish jarayonini oldini olish va namdan himoyalashda tashqi tomondan sayqallash amaliyoti olib boriladi. Ishlatilishiga qarab keramika o'rnatiladigan va



kondensatorlilarga, dielektrik isrof miqdori bo'yicha past chastotali va yuqori chastotalilarga bo'linadi.

O'rnatiladigan keramika tirgak, o'tkazuvchi, osiladigan izolyatorlar, integral sxemalarning tag asosi, lampalarning panellari, rezistrlarning qobiqlari, induktiv g'altaklarning karkaslari, elektr pechkalarning asosi va boshqalar qilib ishlatiladi.

**Izolyator farfori (chinisi)** - tuproq asosidagi keramik material bo'lib, kvarts qumi, dala shpati (silikatlar jinsiga mansub mineral, ohaktosh) past chastotali dielektrik hisoblanadi. Uning dielektrik xususiyatlari quyidagilardan iborat:

- $\epsilon = 8,5$ ;
- $\text{tg}\delta = 10^{-2}$ ;
- $\rho = 10^{10} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ;
- $E_{\text{must.}} = 20 \text{ MV/m}$ .

Toblashdan keyin asosiy kristallik fazasi mullit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ ) bo'lib hisoblanadi. Kristallik donachalari orasidagi bo'shliqni shisha ko'rinishidagi dala shpati to'ldiradi.

**Ultrafarfor** – yuqori chastotali o'rnatma farfor bo'lib 80%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + bariy shishasi ( $\text{SiO}_2 + \text{BaO}$ ) dan tashkil topadi. Ultrafarfor past dielektrik isroflar ( $\text{tg}\delta = 6\cdot 10^{-4}$ ) va yuqori mexanik mustahkamlik xususiyatiga ega.

Bariy shishasi elektr xususiyatni oshiradi, tayyorlanish jarayonida suyuq massani hosil qilib pishishni yaxshilaydi va katta zichlikka ega bo'lgan keramika paydo bo'ladi.

## 5.2. Qattiq plikondensasion dielektriklar, qizdirishga chidamli yuqori polimer dielektriklar



### 5.2.1. Polimerlar asosidagi organik qattiq dielektriklar

**Polimerlar** – kimyoviy bog'lanish bilan bog'langan, ko'p marta qayta takrorlanuvchi bo'g'inlardan iborat bo'lgan yuqori molekullari bog'lanishli materialdir.

Qizdirilganda yopishqoqlik xususiyatiga egaligi sababli ko'pchilik polimerlar, smolalar deb ataladi.

Polimerlar oddiy moddalardan polmerlash (past molekulali organik birikmalardan yuqori molekulali organik birikmalarning hosil qilish) yoki polikondensatsiyalash orqali olinadi. Polimerning tuzilish asosini – makromolekula tashkil etib **bosh zanjir** va **yon guruhlarga** bo'linadi.

Makromolekula  $n$  marta takrorlanuvchi bir xildagi bo'g'inlardan tashkil topadi. Bu yerda  $n$  - polimerlanish darajasini bildiradi.

Polimerlanish jarayonida polimerning **molekulyar og'irligi** ortadi va u 6000 dan  $10^7$  gacha yetishi mumkin.

### ***Polimerning tuzilishi va tarkibi.***

Kimiyoviy tarkibiga ko'ra polimerlar organik va elementoorganiklarga bo'linadi.

Organik polimerlarda **bosh zanjir** uglerod yoki uglerodning kislorod, azot, oltingugurt, fosfor kabi elementlar bilan uyg'unlashib uglerod organik birikmasini tashkil etadi.

Element organik polimerlarda **bosh zanjir** norganik biriklar va organik yon guruhlari bilan birikishni hosil qiladi.

**Polisilokosanlar** eng ko'p tarqalgan bo'lib, ularda silikosanlar  $(-\text{Si}-\text{O}-)_n$  bosh zanjirni tashkil etadi.

Barcha elementoorganik polimerlar sintetik tarkibli. Tuzilishi bo'yicha makromolekulalar chiziqli va fazoviy polimerlarga ajratiladi.

Chiziqli polimerlarda molekula uzunligi, eniga nisbati juda katta (1000 va undan yuqori). Masalan polietilen mikromolekulasining uzunligi –  $1,5 \cdot 10^{-6}$  m, ko'ndalang kesimi esa -  $1,5 \cdot 10^{-9}$ , kauchuk va tselyulozaning uzunligi  $(4 \dots 8) \cdot 10^{-7}$  m, ko'ndalang kesimi esa -  $(3 \dots 7) \cdot 10^{-10}$  m.

Mikromolekulalarning alohida bo'limlari segment deb ataladi va ular issiqlik harakatini amalga oshirishi mumkin. Segment odatda bir qancha bo'g'inlardan iborat bo'ladi. Segmentning o'lchami qanchalik kichik bo'lsa, mikromolekullar shunchalik egiluvchan va erkin harkatlanish imkoniga ega bo'ladi. Segmentli harkatlanish

polimerlardagi relaksatsiyali dielektrik isroflarga sabab bo‘ladi. Makromolekulalarning tarib bilan joylashish darajasiga qarab polimer materiallarda amorf va kristallanish holatiga baho beriladi.

**Amorf holat** - polimer makromolekulalarining tartibsiz joylashuv xususiyatini namoyon etsa, kristallak holti - makromolekulalarning tartibli joylashuvini baholaydi. Aksariyat holatlarda polimerlarda har ikki holat ham mavjud bo‘ladi: kristtallik holati amorf holtada alohida tartibga solingan mikro birikmalalar ko‘rinishida joylashisha mumkin.

**Chizziqli polimerlar** – termoplastik materillar bo‘lib, ularning tarkibi harorat o‘zgarishiga bog‘liq holda qayta tiklanadi. Xarorat o‘zgarishiga bog‘liq holda ular uch xil fizik holatda bo‘lishi mumkin:

- shisha shakl holatida, atomlar va birikmalar guruhi issiqlik ta’siri ostida cheklangan harakatni amalga oshiradi. Polimer yuklama ostida o‘zini egiluvchan jism shaklida tutadi, egiluvchanlik moduli  $E = 2 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^5$  MPa ni tashkil etadi. Qizdirish natijasida polimerdagi makromolekulalarning erkinlanish darajasi ortadi va polimer yuqori egiluvchan holatga o‘tadi, sovutilganda esa – yuqori elastiklik holatidan shishasimonga qaytadi. O‘tish harorati shishalanish harorati  $T_{sh}$  deyiladi;

- polimer asosiy va yon bo‘g‘in zanjirlari evaziga yuqori elastiklanish holatida o‘z shaklini tezda o‘zgartiradi. U ko‘p martalik qayta tiklanuvchan yuqori elektiklik xususiyatiga ega. Yuqori elastiklik holatidagi egiluvchan moluli  $E \approx 10$  MPa.

- qovushqoq oquvchanlik holatida polimer oqish hususiyatini namoyon etadi. Chiziqli modullar o‘zaro oson sirg‘aladi. Bunday holatda polimer unchalik katta bo‘lmagan yuklamalarda qayta tiklanmaydigan plastik deformatsiyalanish xususiyatiga ega bo‘lib, texnologik ishlov berish jarayonida qo‘llashda qulaylikka ega.

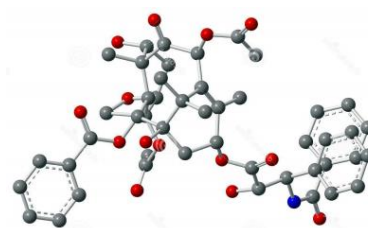
Chiziqli polimerlardagi molekulalar aro aloqaning zaifligi bois ayrim erituvchan suyuqliklar bilan qovushqoq eritmalarni hosil qiladi va ulardan har xil plenkalar va tolalar olinadi.

Fazoviy polimer molekulalar umumiy fazoviy to‘rda jaylashgan bo‘ladi va molekulalarning og‘irligi keskin ortadi. Fazoviy molekulalar yuqori mustahkamlika,

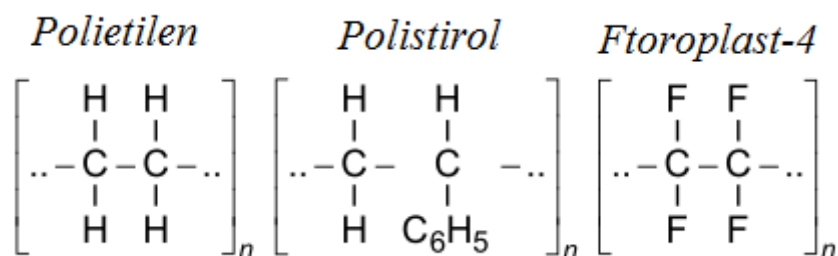
qattqlik va yuqori erish haroratiga ega. Shu sababli fazoviy polimerlar termoreaktiv materiallar hisoblanadi. Ularning xususiyati haroratga unchalik bog‘liq emas. Ammo juda yuqori haroratlarda (erish haroratigacha -  $T_e$ ) izolyatsiya xususiyatini yo‘qolishiga olib keluvchi qayta tiklanmaydigan tarkibiy o‘zgarishlar (darz ketish, yorilish, ko‘mirga aylanish va h.k) yuz beradi. Masalan, fenolformaldegid smolasi bakelit  $S$  holatida, yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo‘lishiga qaramasdan, yuza elektr razryadlari ta’siri ostida ko‘mirga aylanadi.

Termoreaktiv polimelar kompozitsion plastmassalar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi.

### 5.3. Yuqori chastotali chiziqli polimerlar



Yuqori chastotali dielektrlarga elektron qutblanishga ega bo‘lgan: polietilen, polistirol, politetraftoretillen (ftoroplast-4) kabi qutbsiz chiziqli polimerlar kiradi (5.2 - rasm).



5.2–rasm. Polietilen, polistirol, politetraftoretillen (ftoroplast-4) ning bog‘lanish sxemasi

Bunday materiallar past darajadagi dielektrik isroflarga, yuqori solishtirma qarshilikka (5.1 - jadval), harorat va tokning chastotasiga zaif bog‘liqlik xususiyatiga ega.

**Polietilen** - elitenni ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) polmerlash orqali olinadi. Oddatda past bosimli polietilendan foydalaniladi, u  $r = 0,5$  MPa bosimda va  $T = 80^\circ\text{S}$  haroratda sintezlanadi.

Olingan materialaning kristallanish darajasi 80...90%, mexanik xususiyatlari  $\sigma_v = 30$  MPa,  $\delta = 50\%$  ni tashkil etadi.

### 5.1 - jadval.

#### Qutbsiz polimerlarning asosiy xususiyatlari

T.R.	Xususiyati	Polietilen	Polistirol	Ftoroplast-4
1	$\rho, \text{Om}\cdot\text{m}$	$10^{15}$	$10^{16}$	$10^{16}$
2	$\varepsilon$	2,3...2,4	2,5...2,6	1,9...2,2
3	$\text{tg}\delta\cdot 10^4$	2...5	2...4	2...3
4	$E_{tesh}, \text{MV/m}, (*\text{plyonka uchun})$	40...150*	20...110*	40...250*
5	Issiqlikka bardoshi, $^{\circ}\text{S}$	105...130	75...80	~300

Polietilen kislotalar va ishqorlarga yuqori turg'unlik xususiyatiga egaligi sababli plyonka, quyma detallar, presslangan detallar, yuqori chastotali kabellarning izolyatsiyasi elektr va radio uskunalarning detallari shaklida qo'llaniladi.

**Polistirol** ( $-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5-$ ) – polietilenga nisbatan yuqori mustahkam ( $\sigma_v = 60$  MPa), yuzasida nozik yoriqlar hosil qilishga xususiyatiga ega. Kristalli polistirolni, maxsus ionli katalizatorlardan foydalangan holda yo'naltirilgan polimerlash orqali mexanik mustahkamligi va erish harorati  $100^{\circ}\text{S}$  dan  $250^{\circ}\text{S}$  gacha oshiriladi.

Polistirolning 95% gacha yuqori shaffoflikka va  $n = 1,6$  gacha yuqori sinuvchanlik (yorug'likni sindirish) xususiyatiga, optik oynalar sifatida ishlatish imkoniyatini beradi.

Polistirol yuqori chastotali uskunalarining detallari, plyonkalar, laklar va shunga o'xshagan materiallari tayyorlashda ishlatiladi.

**Ftoroplast F-4** ( $-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$ ) yuqori bog'lanish energiyasiga C-F (450 kDj/mol) ega. Shu sababli kimyoviy moddalar, konsentratsiyalashgan aralashmalar, barcha kislotalar va ishqorlarning salbiy ta'siriga turg'unlik xususiyatiga ega. Mazkur xususiyat bilan u, barcha plastmassalar va qimmatbaho metallardan ustun turadi.

Ftoroplast yonmaydigan material, suvda namlanmaydi. Ftoroplastdan tayyorlangan mahsulotlarning ishchi harorat oralig'i -  $270^{\circ}\text{S}$  dan  $300^{\circ}\text{S}$  gacha.

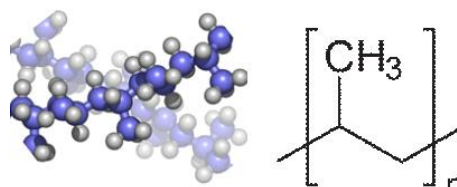
Ftoroplast chiziqlilik xususiyatiga ega va bunday materialdan tayyorlangan mahsulotlarda  $M=10^6 \dots 10^7$ , bo'lib 93...97% gacha yuqori kristallanish xususiyatini namoyon etadi.

Harorat  $327^\circ\text{S}$  ga yetganda F-4 amorf holatga o'tadi va bu uni tezda sovutish kerakligini bildiradi.

Amorf holatdagi F-4 juda egiluvchan.

Ftoroplastdan yasaladigan detallar tayyor kukun holatidagi presslangan yarim tayyor mahsulotlarni pishirish yo'li bilan tayyorlanadi. Shu bilan birga F-4 rulonli (o'rama) lentalar va plenkalar ko'rinishida ham ishlab chiqariladi. Ftoroplast tolasi – **ftorlon** kimyoviy va issiqlikka chidamli filtr matolarini ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

#### 5.4. Past chastotali chiziqli polimerlar (qutbli termoplastlar)



Polipropilen molekularining zanjiri

**Qutbli termoplastlarga:** polivinilxlorid, polietilentereftalat, polimetilmetakrilat, poliamid smolalar mansub.

Ular uchun dipolno-relaksatsion qutblanish xosdir. Shu sababli ular past elektr izolyatsiyalash xususiyatiga ega va past chatotalarda ishlatiladi.

Qutbli termoplastlarning texnik ko'rsatkichlari quyidagilardan iborat:

- $\varepsilon = 4 \dots 7$ ;
- $\rho = 10^{10} \dots 10^{13} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ;
- $\text{tg}\delta = 0,01 \dots 0,1$  ( $f = 10^6 \text{ Gts, da}$ );
- $E_{\text{must}} = 15 \dots 50 \text{ MV/m}$ .

**Polivinilxlorid (PVX)**  $(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$  - gaz shaklidagi vinilxlorid  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{Cl}$  polimerlash usulida olinadi. U suv, kislotalar, ishqorlar, benzin, kerosin, spirtida yuqori kimyoviy turg'unlikka ega, ammo dixloretan, xlorbenzol va qisman atseton, benzolda eriydi.

U, past darajadagi muzlashga  $-25^{\circ}\text{S}$  gacha va qizishga  $70^{\circ}\text{S}$  gacha chidaydi. Egilmaydigan, qattiq polixlorvinilning mustahkamligi yuqori. Undan katta bosim ostida akkumulyator baklari, izolyatsiyalovchi vtulkalar, quvurlar, va boshqa quyma detallar tayyorlanadi. Polixlorvinildan yasalgan mahsulotlardan kimyoviy aktiv yemiruvchi muhitda foydalaniladi.

Polivinilxlorid ko‘pincha turli xildagi elastik materiallar bilan birga qo‘llaniladi. Bunday holat turlicha egiluvchanlik va qayishqoqlikka ega bo‘lgan (rezinaga o‘xshagandan mustahkam va qattiq) egiluvchan, qayishqoq xlorvinilni (viniplast) olish imkonini beradi.

**Viniplast** yuqori va past kuchlanishli kabellar va elektr o‘tkazgich simlarning izolyatsiyalari, himoyalovchi shlangalar, qo‘shimcha izolyatsiya uchun quvurlar, yopishqoq izolyatsiyalovchi lentalar, yassi yuzali egiluvchan listlar va qoplamalar sifatida ishlatiladi. Egiluvchan va qayishqoq polivinilxlorid montaj qilinadigan elektr o‘tkazgich simlar va kabellarni ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi.

Xlorirlangan polixlorvinil (perxlorvinil) juda yengil eruvchanligi sababli, kimyoviy turg‘un laklar va zanglashga qarshi qoplamalarni ishlab chiqarishda foydalaniladi.

**Polietilentereftalat (lavsan)** - bu termoplastik (issiqlikka chidamli) polimer bo‘lib, etilenglikol i gliftalav kislotasti  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$  dan olinadi. U o‘ta mexanik mustahkam.

Yuqori haroratda lavsan ochiq havoda tezda oksidlanadi, shuning uchun yumshagan materialning ishlov berish jarayonini azotli muhitning tarkibida o‘tkaziladi.

Lavsan tola va plyonka ko‘rinishida ishlatiladi. Lavsandan tayyorlangan plenka, magnit lentalarining asosi sifatida ishlatiladi. Yupqa plenkalar drossellar, transformatorlar va shunga o‘xshash uskunalarning chulg‘amlari orasidagi izolyatsiya vazifasini bajaradi. Lavsan  $-60^{\circ}\text{S}$  dan  $150^{\circ}\text{S}$  gacha ishchi haroratida o‘zining xususiyatini saqlab qoladi. Plenkalar kondensatorlarda ham qo‘llaniladi.

### ***Poliamid smolalar (kapron, neylon va boshqa)***

Poliamid smolalar (kapron, neylon va boshqalar – yuqori mustahkamlik va elastikligi bilan ajralib turadi. Poliamidlar boshqa shu turdagi materiallar kabi yorug‘lik nuri, namlik va harorat ta’sirida eskiradi. Ular tolalar, plyonkalar va plastmassalarni ishlab chiqarishda bog‘lovchi vosita qilib ishlatiladi.

Kapronning yaxshi termoplastik xususiyatiga egaligi, yuqori mexanik mustahkamligi radio uskunalarda (asboblarning korpusi, dastalari, boshqarish va burash knopkalari, qobiqlari asoslari va induktivlik g‘altaklari va boshqalar) da foydalaniladi.

Poliamidlar asosida emal laklar, tayyorlanadi va ulardan metall o‘tkazgichlarning yuzasini egiluvchan, elastik va mustahkam dielektrik qoplama bilan qoplashda foydalaniladi.

***Polimetilmetakrilat*** (organik shisha) asosan elektr va radio uskunalarda dekorativ material sifatida ishlatiladi.

## **5.5. Plastmassalar**



***Plastmassalar*** – polimerlar asosidagi olinadigan kompozitsion materiallar bo‘lib, bosim ostida quyish yoki egiluvchan deformatsiya usulida varoq shaklida olinadigan buyumlar hisoblanadi.

Plastmassaning asosiy komponentlarini ***to‘ldiruvchilar*** va ***bog‘lovchilar*** tashkil tadi.

### ***To‘ldiruvchilar:***

- kukun shaklida: kaolin, slyuda, kvars qumi, asbest uni, yog‘och kukuni, talk (oq yoki ko‘kish rangli mineral) va h.k.;
- tolalilar: paxta tolasi, shisha tolasi, ugletolalar, asbotola;



- qatamlilar (qavat-qavat): qog‘oz, paxta+qog‘oz matolar, shisha tolasi, asbotolalar.

Bog‘lovchi sifatida chiziqli yoki fazoviy polimerlar – qatronlar (elim, smola) ishlatiladi. Bundan tashqari plastmassalarga qo‘shimcha moddalar qo‘shiladi: qotirgichlar, plastifikatorlar (yumshatgichlar), stabilizatorlar, rang beruvchilar va boshqalar.

Kukun bilan bo‘ldirilgan plastmassalar preskukunli deb ataladi, tola qo‘shilganlari esa qatlamli plastinkali deyiladi.

Termoplastik plastmassalar chiziqli qatronlar (poliamidli, poliuretanli, poliefirli va boshq.) asosida tayyorlanadi. Ular egiluvchan va yuqori texnologik xususiyatga ega. Buyumlar yuqori bosim ostida quyish usulida yasaladi.

Termoreaktiv plastmassalar fazoviy to‘r tarkib epoksidli, fenolfor maldegidli (bakelit C), anilinformaldegidli, kremniyorganik va boshq.) asosida ishlab chiqariladi.

Termoreaktiv plastmassalar yuqori qattqlik va mustahkamligi bilan ajralib turadi. Ko‘pchilik hollarda bosimi buyumlar 10...12 MPa bo‘lgan gidravlik presslarda issiq presslash yo‘li bilan yasaladi. Kerakli xom ashyo yaxshilab maydalanadi va aralastiriladi. Plastmassani quyishda yuqori harorat (60<sup>0</sup>S dan ortiq) talab etilishi bois mahsulotni quyishdan oldin press shakllar kerakli haroratda qizdiriladi.

Plastmassaning tarkibi bog‘lovchi va to‘ldiruvchi xom ashyoga bog‘liq. Bog‘lovchi mahsulot yaxshi *yopishtiruvchi* va *birlashtiruvchi* xususiyatga va shu bilan birga namlik, issiqlik va yuqori elektr chidamlili bo‘lishi kerak.

Issiqlik chidamlilik plastmassani quyidagi bog‘lovchilarning ruxsat etilgan haroratini belgilaydi:

- epoksid qatron – 200 °S gacha;
- fenolformaldegid qatronida – 250 °S gacha;
- kremniyorganik qatron – 370 °S gacha.

Kremniyorganik qatronlar yuqori issiqlik turunligikka ega bo‘lishiga qaramasdan, to‘ldiruvchiga nisbattan zaif yopishtiruvchi xususiyatiga ega. Shu sababli plastmassa unchalik kuchli mustahkam emas.

Kremniyorganik va fenolformaldegidli yoki epoksid qatronli aralashmalar asosidagi plastmasalar yuqori haroratga chidamli va mustahkam bo‘ladi.

Yuqori elektrik xususiyatlar, (past darajadagi burchak isrof -  $tg\delta$ , katta solishtirma qarshilik -  $\rho$  va elektr mustahkamlik -  $E_{must}$ ) plastmassalarning anilinformaldegid qatroni (aminoplastlar) xiliga xos.

Anilinformaldegid qatroni fenolformaldegiddan fenolni ( $S_6N_5ON$ ), anilinomga ( $C_6H_5NH_2$ ) almashtirish yo‘li bilan olinadi. Anilinformaldegid qatronining qutblanish xususiyatlari zaif. Chunki ( $-NH_2$ ) guruhiga ( $-OH$ ) nisbattan zaif qutblagan. Ushbu holat elektrik xususiyatlarning ortishiga va gigroskopik xususiyatlarning kamayishiga sabab bo‘ladi.

Bundan tashqari aminoplastlarni xohlagan rangga bo‘yash mumkin. U holda fenolformaldegidli plastmassalar qatronning to‘q jigarrangligi sababli faqar jigarrang yoki qora rangga bo‘yaladi.

Elektrotexnik buyumlar orasida quyidagi qavat-qavat plastinkalar keng o‘rinni egalaydi:

- **getinaks** - qatron + qog‘oz,
- **tekstolit** - qatron + paxta/qog‘oz mato,
- **shishatekstolit** - qatron + shishamato.

Qatronlardan, ko‘pincha fenolformaldegid va epoksid qatronlar ishlatiladi.

**Getinaksni** ishlab chiqarish uchun qattiq va issiqlikka chidamli qog‘oz ishlatiladi. Unga fenolformaldegid qatroning suvli suspenziyasi shimdiriladi, quritiladi, paket shaklida yig‘iladi so‘ngra  $160\text{ }^{\circ}S$  haroratda  $10\text{...}12\text{ MPa}$  bosim ostida gidravlik pressda presslanadi. Presslash paytida qatron dastavval yumshatiladi, varaqlar va tolalar orasidagi bo‘shliqlar va g‘ovaklik joylar to‘ldiriladi, so‘ngra erimaydigan (bakelit C) holatga o‘tkazilib qotiriladi. Natijada monolit holatidagi qattiq material hosil bo‘ladi.

Tekstolit va shisha tekstolit paxtamato yoki shisha mato materiallarga qatronni shimdirish orqali xuddi shunday usulda tayyorlanadi.

Tolalari bo‘ylama joylashgan qatma-qat plastiklarning elektr xususiyatlari ko‘ndalan joylashgan plastiklarnikiga nisbattan ancha past.

Getinaks, tekstolit va shisha tekstolitning o'rtacha elektrik xususiyatlari quyidagicha:

- $\varepsilon = 6...8$ ;
- $\rho = 10^8 \dots 10^{11} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ;
- $\text{tg}\delta = 0,02...0,2$ ;
- $E_{\text{must}} = 10...20 \text{ MV/m}$ .

Tekstolit va shisha tekstolit elektr texnika sohasida shitlar va panellarni tayyorlashda ishlatiladi. Getinaks i tekstolitning issiqlik bardoshlilik 105 °S, shisha tekstolitniki – 200 °S.

Folga shaklli getinaks radio uskunalarning past chastotali bosma sxemalari ishlab chiqarishda ishlatiladi. Buning uchun getinaksning yuzasiga qalinligi 0,035...0,05 mm li mis folga bilan qoplanib sayqallandi. Talab etiladigan naqsh yoki rasm tanlov asosida tanlab olinadi.

**Preskukunlar** radioelektronikada keng qo'llaniladi. Ulardan radiolar, televizorlar, o'lchov asboblari, quloqchinlar, lampalarning panellari, shtepsellar, rozetkalar, dastaklar, tutqichlar, knopkalar kabi jihozlar tayyorlanadi.

## 5.6. Elektroizolyatsiyalavchi kompaund (birikma) lar. Laklar



**Birikmalar (kompaund)** – polimerlarning aralashmasi: qatron, selluloza efiri, ayrim hollarda mustahkamlik va issiqlikka chidamlilikni oshirish maqsadida mineral to'ldiruvchilar (kvars yoki slyuda kukuni, shishatola) ni qo'shish orqali tayyorlanadi.

Birikmalar tarkibiga qatronlar va qotiruvchilardan tashqari elastiklashtiruvchilar (plastifikator), to'ldiruvchilar va boshqalar kiradi.

Mexanik mustahkamlikni oshirish, shikastlanishlardan saqlash maqsadida radioelektron asbob-uskunalarning elementlari suyuq yoki yarim suyuq holatdagi

quyma, shimdiriladigan va surtiladigan birikmalar bilan ishlov beriladi. Birikmalar uskunaning elementlarini atmosfera namligidan himoyalaydi, elektr va mexanik mustahkamligini oshirib ishonchlikni ta'minlaydi. Birikmalar termoelastik va termoreaktiv bo'lishi mumkin.

**Termoplastik (termoegiluvchan) birikmalar** – chiziqli (amorf) qarton asosidagi aralashmalar: poliamidli, poliuretanli, poliefirli va boshq. hamda bitumli (uglevodoroddan iborat smolali moddalarning, masalan, neft, gudron, asfalt va sh. k) birikmalar.

**Bitumlar** – amorf holatdagi neftli uglavodorodlarning termoegiluvchan aralashmasidir.

**Termoegiluvchan qatronlar** qizdirilganda qovushqoq oquvchi (shimlirish va quyish uchun) darajasigacha yumshaydi, sovutilganda qotadi. Ularni yuqori kuchlanishli transformatorlarning g'altaklariga quyish uchun, og'diruvchi va fokuslovchi qurilmalarda, yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlarda va boshqa radio elektron asbob-uskunalarda qo'llaniladi.

**Termoreaktiv qatronlar** - epoksid, fenolformaldegid va kremniyorganik qatronlar asosidagi materiallar hisoblanadi. Termoreaktiv qatronlar quyilgandan so'ng qayta erimaydigan holatda qotadi. Qayta qizdirilganda erimaydi va radio elektron asbob-uskunalarini ta'mirlab bo'lmaydi.

Elektron texnikalarda qo'llaniladigan materiallar orasida epoksid qatronlar eng ko'p tarqalgan. Ular past cho'kish (pasayish, o'tirish), nam va suvga, qizishga chidamlilik ( $200^{\circ}\text{S}$  gacha), yuqori mustahkamlik va elektr izolyatsiya xususiyatiga ega.

Masalan, K-168 birikmasi  $T_{qot} < 60^{\circ}\text{S}$  sovuqda qotadi, K-293 birikmasi  $T_{qot} = 80...160^{\circ}\text{S}$  issiqda qotadi.

Kremniyorganik smolalar asosida tayyorlangan birikmalar maslan, K-43 yuqori qizishga chidamliligi ( $370^{\circ}\text{S}$  gacha) bilan ajralib turadi. Ular yuqori namlik va harorat ostida ishlovchi elektr dvigatellarning harakatlanuvchi qismlariga shimdirish uchun ishlatiladi.

**Laklar** – uchuvchan erituvchilardagi polimer eritmalar (qorishmalar). Quritilgan paytda eritma bug'lanib uchib ketadi, lakli asosi esa qattiq holatga o'tib, plenkani hosil

qiladi. Laklar elektr izolyatsiyalovchi materiallarda shimdiruvchi, qoplovchi, yelimlovchi vosita sifatida ishlatiladi.

Ularning xususiyatlari quyidagilardan iborat:

- $\varepsilon = 2,5 \dots 4$ ;
- $\rho = 10^9 \dots 10^{12} \text{ Om} \cdot \text{m}$ ;
- $\text{tg}\delta = (10 \dots 100) \cdot 10^{-4}$ ;
- $E_{\text{must}} = 10 \dots 20 \text{ MV/m}$ .

Plenka hosil bo'ladigan material tarkibiga ko'ra laklar moyli qatronli, nitrotselyulozalilarga (nitrolak) ajratiladi.

Moyli laklarning tarkibida qurib ketuvchi moylar (zig'ir, tungo va boshq.) ishtirok etganligi bois erituvchi vosita sifatida skipidar va lak kerosini (uayt-spirt) ishlatiladi. Ushbu laklar bilan elektr dvigatellarning chulg'amlari, magnit o'tkazgichlarning varaq (list) lari shimdiriladi.

**Qatronli laklar** – sintetik qatron (bakelit, gliftal, perxlorvinil, polistirol, kremniyorganik va boshq.) eritmalari bo'lib, toluol, ksilol, dixlorethan erituvchilarilaridan tashkil topgan.

Gliftalli laklarning yelimlash xususiyati yuqori.

Kremniyorganik laklar qizishga va namlanishga qarshi plenka hosil qiladi. Perxlorvinilli laklar benzin, moylar va boshqa kimyoviy aktiv moddalar ta'siriga o'ta chidamli. Ular izolyatsiyani himoya qilishda qoplama sifatida keng ishlatiladi.

**Polistirolli lak** – yuqori elektrizolyatsiyalash qoplamasini hosil qilish xususiyati sababli, yuqori kuchlanishli asbob–uskunalarni izolyatsiyalashda ishlatiladi.

**Nitrosellyulozali laklarning asosini** - nitrosellyulozalar, atseton etilatsetat, butilatsetat aralashmalari tashkil etadi.

Mazkur laklar past haroratli sovutish texnologiyasi asosida sovutiladi.

Nitrolaklarning plenkalari mexanik mustahkam, nam o'tkazmaydigan bo'lishiga qaramasdan, materiallarga yomon yopishadi.

Nitrolaklar rezinani ozon, moy, benzin va shunga o'xshash yemiruvchilar ta'siridan himoyalash hamda paxtaqog'ozmatoli izolyatsiyalarga shimdirish uchun ishlatiladi.

## 5.7. Rezina



Silikonli rezina



Xom kauchuk

Rezina – bu vulkanizatsiyalangan kauchuk. Kauchuk va uning asosida ishlab chiqarilgan materiallar yuqori elastiklik va deformatsiyalanish xususiyatiga egaligi sababli elastomerlar deyiladi.

**Kauchuk** – chiziqli rolimer bo‘lib, yuqori molekulalali qoniqarsiz uglerod  $S_5N_8$  hisoblanadi. U past mustahkamlikka, ammo yuqori elastiklikka, organik suyuqliklarda erish kabi xususiyatlarga egaligiga qaramasdan konstruksion material sifatida ishlatishga yaroqsiz hisoblanadi.

Kauchukni - butadeinni va undan olinadigan: izopren, xlorpren yoki butadeinni stirol aralashmasi, izobutilen va boshqa birikmalardan polimerlash yo‘li bilan sintetik usulda olinadi.

Kauchukni vulkanizatsiyalash  $120...150^\circ S$  haroratda va 5,0 MPa bosim ostida amalga oshiriladi. Tindirish vaqti – mahsulotning o‘lchamiga qarab bir necha minutdan bir necha soatni tashkil etadi.

Vulkanizatsiyalash jarayoni kauchukning juft molekulalariga oltingugurt atomlarini biriktirib elastik va mustahkam kauchuk hosil qilinadi. Natijada chiziqli molekulalarni vulkanizatsiyalash natijasida kauchuk oltingugurtli ko‘prikchalar bog‘lanishidagi siyrak ko‘ndalang bog‘lanishli g‘ovak tarkibga ega bo‘ladi.

Tarkibiga kiritilgan oltingugurt miqdoriga qarab kauchuk quyidagilarga ajratiladi:

- yumshoq rezina - mustahkamligi zaif ( $1...3\% S$ ), elastikligi yuqori:  $\sigma_v=5...20$  MPa,  $\delta = 1000\%$  gacha,
- qattiq rezina – ebonit ( $30...35\% S$ ) ancha yuqori mustahkamlik va juda past elastiklik  $\sigma_v = 60...80$  MPa,  $\delta = 5...6\%$ . bilan.

Yaxshi mustahkamlikka, suv va gaz o‘tkazmaslik xususiyatiga ega bo‘lgan rezina kauchukning yuqori elastiklik ko‘rsatkichlarini saqlab qoladi.

Xlorprenovli, tiokolli, butadiyen-nitrilli va ftor kauchukdan tayyorlangan rezina yuqori kerosin, benzo- va moyga turg'unligi bilan ajralib turadi.

Issiqlikka chidamli rezinalar kremniyorganik, ftororganik va butil kauchuk asosida ishlab chiqariladi. Muzlashga chidamli rezinalar butadiyenstirol kremniyorganik va butil kauchuk asosida tayyorlanadi.

Rezinaga kerakli xususiyatlarni berish va tannarxini arzonlashtirish maqsadida kul, kaolin, kvarts qumi, talk, bo'r kabi materiallar va stabilizatorlar, elastiklovchi va ranglovchi qo'shimchalar solinadi.

Ko'pchilik plastmassalarda bo'lgani kabi rezinada ham eskirishga moyillik xususiyati, uning jiddiy kamchiligi hisoblanadi. Eskirish jarayonida rezina tarkibidagi makromolekulalarning parchalanishi (destruksiya) va oksidlanish jarayonlari yuz beradi. Rezinaning xususiyatida mustahkamlik, elastiklik va elektr izolyatsiya kabi xususiyatlar to'liq yo'qoladi. Eskirish jarayoni yorug'lik, issiqlik va ayniqsa ultrabinafsha nurlar ta'sirida jadallashadi. Deformatsiyalanish ham eskirishni tezlashtiradi. Rezinaning tarkibi va xususiyatlarini saqlab qolish va eskirishdan saqlash maqsadida uning tarkibiga organik suyuqliklardan iborat bo'lgan stabilizatorlar qo'shiladi. Masalan, rezina tarkibiga qo'shilgan parafin va mum uning yuzasiga tomon yengil harakatlanib kislorodning mahsulot (rezina) ichiga kirishiga to'sqinlik qiladi.

Rezinani quyosh nurlaridan himoyalash uchun uning tarkibiga alyuminiy kukunini yoki oq ranglovchi qo'shimchalarni qo'shib yaltirash xususiyati kuchaytiriladi.

Past chastotali dielektrik rezinaning xususiyatlari:

- $\varepsilon = 3 \dots 7$ ;
- $\text{tg}\delta = 0,01 \dots 0,1$ ;
- $\rho = 10^{12} \dots 10^{14} \text{ Om}\cdot\text{m}$ ;
- $E_{\text{must}} = 20 \dots 40 \text{ MV/m}$ .

Rezina mahsulotlari orasida eng yuqori xususiyatlar ebonitga xos. Yumshoq rezinalar elektr o'tkazgich simlarni izolyatsiyalash, kabellarning izolyatsiya qavati, shlangali izolyatsiya, elektr izolyatsiyalovchi rezina gilamchalar, rezina qo'lqoplar,

ebonitdan - panellar, akkumulyatorlarning baklari hamda elektr asbob-uskunalarining turli xildagi detallarini tayorlashda ishlatiladi.

### **Tekshirish uchun nazorat savollari**

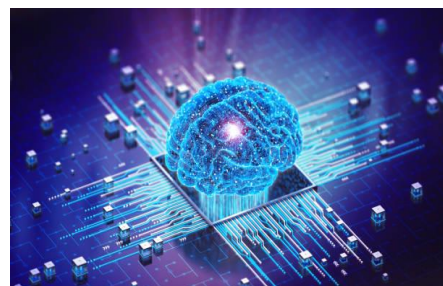
1. Dielektriklarning asosiy xususiyatlarini bayon eting. Dielektriklarning  $\epsilon$  ga harorat qanday ta'sir ko'rsatadi?
2. Chiziqli va chiziqsiz dielektriklarning  $\epsilon$  ga maydon kuchlanganligi qanday ta'sir ko'rsatadi?
3. Dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi nimaga bog'liq?
4. Dielektrik isroflarning asosiy ko'rinishlarini sanab o'ting va ular qanday dielektriklarga xos?
5. Harorat va maydonning chastotasi dielektrikdagi hajmiy o'tkazuvchanlik isroflarga qanday ta'sir etadi?
6. Harorat va maydonning chastotasi dielektrikdagi relaksatsion isroflarga qanday ta'sir ko'rsatadi?
7. Dielektrik mustahkamlik va teshilish nima? Havoning  $Y_{e_{must}}$  ga qaysi faktorlar ta'sir etadi?
8. Neft moylarining ustunligi va kamchiliklarini bayon eting.
9. Oksidli izolyatsiyaning ustun va zaif tomonlari nimada?
10. Kvars oynaning muhim xususiyatlarini va qo'llash sohasini bayon eting.
11. Sitallar, shisha (oyna) va keramikadan nimasi bilan farq qiladi?
12. Yuqori va past chastotali o'rnatma keramika qanday materiallardan yasaladi va ular qaysi elektron texnikalarda foydalaniladi?
13. Kondensator keramikasiga qanday talablar quyiladi va oddiy kondensatorlarda qanday keramika ishlatiladi?
14. Segnetokeramikaning xususiyatlarini bayon eting, va chiziqsiz kondensator (varikonda) larda qanday materiallar ishlatiladi?
15. Keramikani olishning asosiy etaplarini ayting.
16. Kriogen haroratlarda qaysi yuqori chastotali organik qattiq dielektriklar qo'llaniladi?



17. Elektrotexnikada qanday plastmassalar keng qo'llaniladi.

18. Kompaundlar qaysi maqsadlarda ishlatiladi? Ruxsat etilgan ishchi harorat nimaga bog'liq?

## 6. YARIM O'TKAZGICH MATERIALLAR



### 6.1. Yarim o'tkazgichlarni xossalari

Normal haroratdagi solishtirma qarshiligi o'tkazgichlarnikidan katta, biroq dielektriklarnikidan kichik bo'lgan materiallar yarim o'tkazgichlar deb ataladi. Bu turkumga elektron elektr o'tkazuvchanlikka ega va solishtirma qarshiligi  $10^{-6} - 10^{+8}$   $\text{Om}\cdot\text{m}$  bo'lgan materiallar kiradi.

Yarim o'tkazgichlardagi elektronlar soni o'tkazgich materiallarga nisbattan juda oz bo'ladi. Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi tashqi energetik ta'sirga va material tarkibidagi qo'shimchalarga ko'p jihatdan bog'liq.

Yarim o'tkazgichlardagi elektr o'tkazuvchanlikning o'zgarishi: harorat, nurlar, elektr va magnit maydon kuchlanganligi, mexanik kuchlar miqdoriga bog'liq bo'ladi.

Yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlikning ikki: elektron - *n* (*negativ*) va kovak - *p* (*pozitiv*) turilari mavjud. Ular jismda *n - p* yoki *p - n* o'tishini yuzaga keltirib, elektrotexnikada jarayonlarni o'zgartirish imkonini yaratadi. Yarim o'tkazgichli jismlarga katta va kichik quvvatga ega turli xildagi elektr to'g'rilagich, kuchaytirgich va generatorlarni misol keltirish mumkin. Ushbu turdagi materiallar elektrotexnik jarayonlarida boshqaradigan turlicha murakkab qurilmalar va uskunalarda keng qo'llaniladi.

Elektrotexnika sanoatida foydalanilayotgan yarim o'tkazgichlar: sodda tuzulishga ega bo'lgan - oddiy (tarkibi bitta kimyoviy element atomlaridan iborat) va murakkab (tarkibi ikki yoki undan ortiq kimyoviy element atomlaridan tashkil topgan) turlarga bo'linadi.

Yarim o'tkazgich materiali asosida yasalgan o'zgartirgichlar turli ko'rinishdagi energiyani (issiqlik, yorug'lik) elektr energiyasiga aylantirib beradi. Yarim

o'tkazgichli o'zgartirgichlarga misol tariqasida quyosh batareyasi va termoelektrik generatorlarni keltirish mumkin.

O'zgarimas, past kuchlanishdagi betratib chaqnashlar (elektron-kovakli o'tuvchi) nur tarqatish manbai va elektron hisoblash mashinalarining ma'lumot uzatish qurilmalarida asqotadi. Shu bilan birga yarim o'tkazgichlar isitgich asboblarida, radioaktiv nur taratish indikatorlarida, magnit maydon kuchlanganligini o'lchash qurilmalarida ham ishlatilishi mumkin.

Ayni paytda suyuq, suniy asosli va shishasimon yarim o'tkazgichlar keng ishlatilmoqda. Elektrotexnika sanoatida ishlatilayotgan yarim o'tkazgichlarning asosini **kremniy, germaniy va selen** tashkil etadi (6.1 - jadval).

Murakkab tarkibli yarim o'tkazgichlar Mendeleev davriy jadvalidagi bir guruh elementlar birikmasidan tashkil topgan. Bularga:  $A^{IV} V^{IV}$  formulaga asoslangan (SiC),  $A^{III} V^V$  (JnSb, SaAs, SaR),  $A^{II} B^{VI}$  (SdS, ZnSe) elementlar birikmasini va oksidlari ( $Si_2O$ ) dan iborat bo'lgan materiallarni kiritish mumkin. Yarim o'tkazgichli kompozitsion materiallarga tirit, silit va sopol bilan birikkan kremniy karbidi (SiS) ni va grafitli yarim o'tkazgichlarni kiritish mumkin. Yarim o'tkazgichli qurilmalar va asbob-uskunalarining xizmat muddati uzayishi, ish sifati yuqoriligi, hajmi va og'irligining boshqa yarim o'tkazgichlar (lampali) ga nisbatan ixchamligi, ishonchli ishlashi va sodda shaklga egligi, iqtisodiy yuqori samaradorlikka egaligi va shunga o'xshash o'zga sifatlari bilan ajralib turishi ularning ustun tomonlaridan hisoblanadi.

Har qanday jism o'z agregat holatini o'zgartirganda atomlarning energetik holatlari tashqi ta'sir natijasida bir-biriga nisbatan siljiydi va katta miqdordagi energetik zonalar yuzaga keladi. O'tkazgich, yarim o'tkazgich va dielektriklarning energetik diagrammalari bir-birga o'xshash emas. Buning sababi ulardagi taqiqlangan zonalarning turlicha ko'rsatkichga ekanligi bilan bog'liq. Materialning taqaqlangan zonasi uning o'lchamin belgilaydi. Tarkibiy tuzulishiga ko'ra har qanday jismning atomi o'z spektr chizig'iga ega bo'ladi.

Har qanday atom o'zining aniq, energetik holatiga ega va bir energetik sathdan boshqasiga o'tganda kvant energiyasini ajratib chiqaradi yoki iste'mol etadi. Agar atom katta energetik sathdan past sathga o'tsa, undan energiya ajralib chiqadi va

nurlanish hodisasi yuzaga keladi. Agar buning aksi bo'lsa esa atom tomonidan energiya yutiladi. Shu tartibda atom tashqi energetik ta'sir natijasida o'z energetik holatini o'zgartiradi.

## 6.1 – jadval.

### Oddiy elektron yarim o'tkazgichlarning xossalari

Element	Mendelev jadvalidagi gruhi	Taqiq zonasining kengligi, eV
Bor	III	1,10
Kremniy	IV	1,12
Germaniy	IV	0,75
Fosfor	V	1,50
Mishyak	V	1,20
Oltinugurt	VI	1,50
Selen	VI	1,70
Tellur	VI	0,36
Yod	VII	1,25

### 6.2. Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi

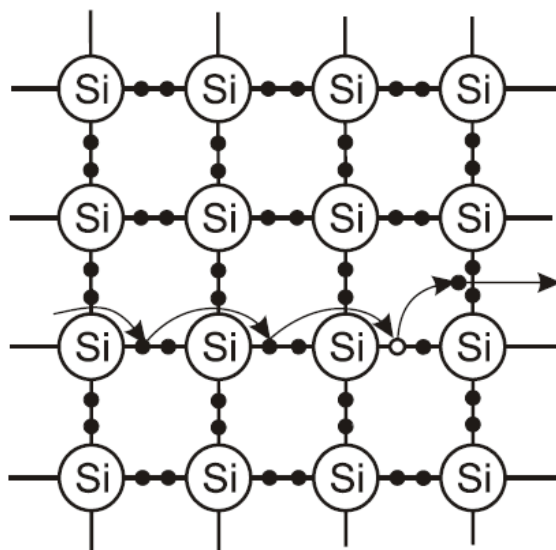
Yarim o'tkazgichlarning taqiq zonalari o'tkazgich va dielektriklarning taqiqlanish zonasi oralg'idagi joyni egallaydi. Ushbu zona juda kichkina bo'lib uni juda past miqdordagi energiya bilan ta'sir etib yengib o'tish mumkin.

Tashqi ta'sir etayotgan maydon energiyasi taqiqlangan zonadagi elektronlarning energiyasi darajasiga yetsa, yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlik jarayoni yuzaga keladi.

Yarim o'tkazgich materiallarda xususiy o'tkazuvchanlikni Mendeleyev davriy jadvalidagi IV – guruhda joylashgan kremniyning kristall panjara modeli misolida ko'rsatish mumkin.

Kremniyning kristall panjarasi olmos kabi murakkab tuzulishga ega (6.1 - rasm). Kremniy atomining to'rtta valentli elektroni qo'shnilar bilan kovalent bog'lanishni hosil qiladi. Bog'langan elektronlarning valent zona energetik darajasiga mos keladi.

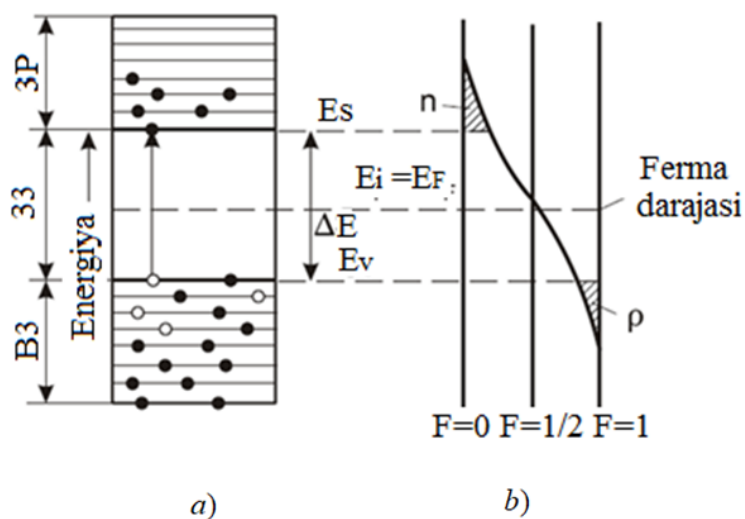
Harorat absolyut nol bo'lganda (V3) valent zonasi elektronlar bilan to'liq to'lgan, o'tkazuvchanlik zonasi (3P) esa batamom bo'sh (6.2 - rasm).



6.1- rasm. Kremniydagi elektr o'tkazuvchanlikning sxemasi.

Erkin zaryad tashuvchilar bo'sh va yarim o'tkazgich o'zini xuddi dielektrik kabi tutadi.

Harorat absolyut nol ko'rsatkichidan yuqori bo'lganda ayrim valentli elektronlar issiqlik o'zgarishlar ta'sirida taqiqlangan zonani kesib o'tadi va o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi (6.2 - a, rasm).



6.2 – rasm. Yarim o'tkazgichdagi energetik sathlarni to'lish ehtimoli funksiyasi va energetik diagrammasi.

Bog‘lanishni uzishga va elektroni ozod etishga kerakli bo‘lgan energiya son jihatdan erkinlashishga  $\Delta E$  taqiq zonaning kengligiga teng. Atomdan uzulib chiqqan elektron, erkin zaryad tashuvchiga aylanadi. Valent zonasida esa musbat ekvivalent musbat zaryad qoladi va u oz mikdordagi samarali massaga ega bo‘lgan – *kovak* vazifasini o‘taydi. Yani valent zonadan elektron chiqib ketishi bilan uning o‘rnida kovak hosil bo‘ladi. Ushbu kovak ekvivalent musbat zaryad sifatida maydon yo‘nalishi bo‘yicha siljiydi. Siljish elektronlarning maydonga teskari harakati oqibatida yuzaga keladi. Kovaklar siljiyotgan qo‘shni elektronlar bilan to‘ldirib boriladi. Tashqi maydon ta’siri yo‘qolgach esa erkin elektronlar va kovaklar kristall panjara ichida tartibsiz harakatlana boshlaydi. Tashqi elektr maydon ta’sir etganda zaryad tashuvchilarning tartibli harakati shakllanadi: erkin elektronlar o‘tkazuvchanlik zonasida va valentli elektronlar valentlik zonasida.

O‘tkazuvchanlik zonasida qo‘zg‘algan elektronlar yordamida yuzaga kelgan o‘tkazuvchanlik *elektron o‘tkazuvchanlik* yoki  $n$  tipli o‘tkazuvchanlik deyiladi.

Valent zonasidagi elektronlar atomdan atomga kovaklar orqali siljiydi va uni kovaklarning harakati sifatida tasavvur etish mumkin.

Valent zanasda kovaklarning diffuziyasiga asoslangan elektr o‘tkazuvchanlik – kovakli o‘tkazuvchanlik yoki  $p$  tipli elektr o‘tkazuvchanlik deyiladi.

Yarim o‘tkazgichda bir vaqning o‘zida ikki xil jarayon kechadi: zaryad tashuvchilarnig qo‘zg‘alishi va tartibli joylashuvning buzulishi. Yani elektronning valent zonaga qaytishi va bir juft zaryad tashuvchi (elektron va kovak) ning yo‘qolishi. Har qanday haroratda ham elektron va kovakning nisbati tengligicha qoladi.

$$n_i = p_i \text{ yoki } n_i = p_i = 2n_i$$

### **6.2.1. Yarim o‘tkazgichdagi xususiy zaryad tashuvchilarni konsentarsiyasi**

Yarim o‘tkazgichda har qanday sath elektron bilan band yoki bo‘sh qoladi (kovak bilan band). Bunday ikki xil holatning yig‘indisi birga teng:

$$F_n(\mathcal{E}) + F_p(\mathcal{E}) = 1$$

Energetik sathlarning elektron bilan to'ldirilishi Fermi funksiyasi bilan aniqlanadi. Kovaklarning to'ldirilish funksiyasi ham shunga o'xshash. Faqat farqi shundaki kovak Fermi sathadan pastga tomon qancha ko'p harakatlansa uning energiyasi shuncha ortadi. Yarim o'tkazgichdagi Fermi sathi taqiq zonasining o'rtasida bo'ladi (6.2, b – rasm)

$$E_F \approx (E_c + E_v) / 2 \quad (6.2)$$

Bu yerda  $E_s$  – o'tkazuvchanlik zonasining tubidagi energetik sath;  $E_v$  – valent zonasining eng yuqori nuqtasidagi energetik sath.

Kvant nazariyasi bo'yicha energetik  $E$  sathni elektron bilan to'ldirish ehtimoli Fermi funksiyasi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$F(E) = \left[ 1 + \exp \frac{E - E_F}{kT} \right]^{-1}, \quad (6.3)$$

bu yerda  $E_F$  – Fermi energiyasi, ya'ni maksimal energiya bo'lib elektron, metallni harorati absolyut nolga teng bo'lgan paydagi erishadigan qiymat.

Yarim o'tkazgichlarda elektron va kovaklar energiyaga ega va ular Fermi energiyasidan farq qiladi,  $E_c$  va  $E_F$  ning farqi  $kT$  dan bir necha marta yuqori shu sababli 6.3 - formulani maxrajidagi sonni e'tiborga olmasa ham bo'ladi.

U holda yarim o'tkazgichdagi energetik sathlarning kovaklar va elektronlar bilan to'lishi etimoli quyidagi formuladan topiladi:

$$F_n(E) \approx \exp\left(-\frac{E - E_F}{kT}\right); \quad F_p(E) \approx \exp\left(-\frac{E_F - E}{kT}\right). \quad (6.4)$$

Dielektrikdagi teng miqdordagi elektronlar va kovaklar konsentratsiyasi elektronlarining o'tkazuvchanligi, valent zonalardagi kovaklarni to'ldirilgan energetik zonalarni integratsiyalash yo'li bilan quyidagi ifodadan topiladi:

$$n_0 = N_c \cdot \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{kT}\right); \quad p_0 = N_v \cdot \exp\left(-\frac{E_F - E_v}{kT}\right), \quad (6.5)$$

Bu yerda  $N_c$  – o‘tkazuvchanlik zonasidagi  $E_s$  energiyaning zichiligi;  $N_B$  – valentlik zonasidagi  $E_s$  - energiyaning zichiligi.

Yarim o‘tkazgichdagi zaryad tashuvchilarning konsentarsiyasini (6.1) va (6.5) ifodani umumlashtirib quyidagicha yozish mumkin:

$$n_i = p_i = \sqrt{N_c \cdot N_B} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right), \quad (6.6)$$

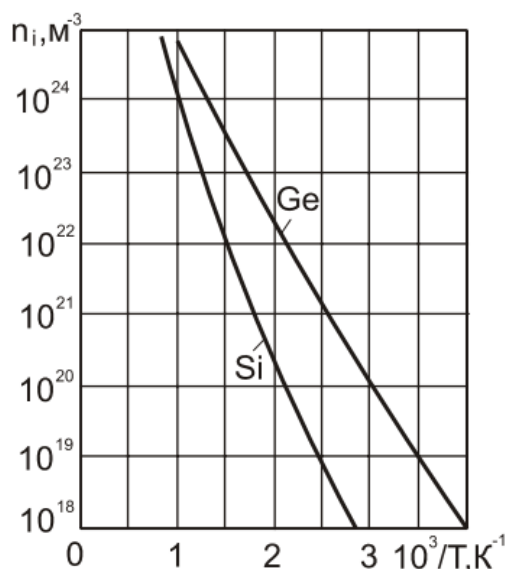
Bu yerda  $\Delta E \cong E_c - E_B$  taqiq zonasining kengligi.

4.5 ifodani grafik ko‘rinishida quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\ln n_i = \ln \sqrt{N_c \cdot N_B} - \frac{\Delta E}{2kT} \cdot \frac{1}{T}.$$

$N_c N_B$  – qiymatlari haroratga juda oz bog‘liq, shu sababli haroratga bog‘liqlik

$n_i = f \cdot \frac{1}{T}$  chiziqqli ko‘rinishga yaqin (6.3 - rasm)



6.3 - rasm. Kremniy va germaniydagi xususiy zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini haroratga bog‘liqligi.

Yarim o‘tkazgichdagi ushbu egri chiziqning egilish burchagi ta‘qiq zonasining kengligini tavsillaydi.

Yarim o‘tkazgichdagi kimyoviy bog‘lanish kuchlanishni uzish uchun kerak bo‘ladigan energiya  $\Delta E$  yetarlicha katta, shu sababli yarim o‘tkazgichli asboblarda asosan



yot jins aralashmalar o'tkazuvchanligida ishlaydi. Xususiy o'tkazuvchanlikni paydo bo'lishi ko'pchilik holatlarda asboblarning normal ish sharoiti o'zgarishiga olib keladi. Taqiq zonasining kengligi shaxsiy o'tkazuvchanlik haroratining yuzaga kelishini belgilaydi,  $\Delta E$  qanchalik katta bo'lsa aralashmali yarim o'tkazgichdagi ruxsat etilgan harorat shunchalik yuqori bo'ladi.

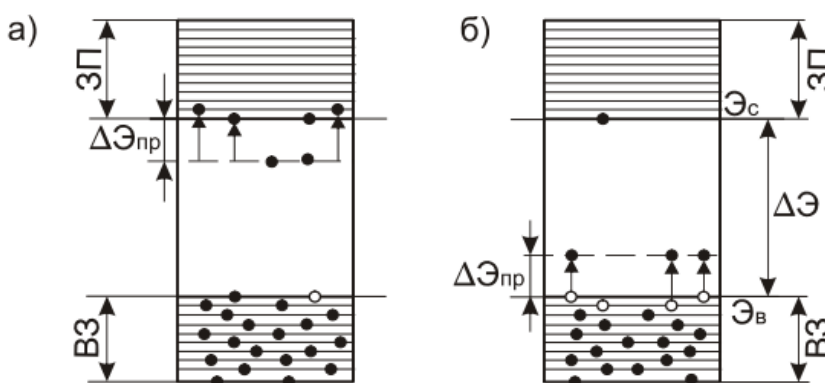
### 6.3. Yarim o'tkazgichlarning aralashmali o'tkazuvchanligi

Aralashmali o'tkazuvchanlik yot jinslarning zaryadlari tamonidan amalga oshiriladi. Shu sababli yot jins aralashmalari yarim o'tkazgichning taqiq zonasida kichikina energetik sathli hududlarni hosil qiladi.

Ionlanish energiyasining kichik qiymati evaziga ( $\Delta E_{o'tk} = 0,01...0,1$  eV), yarim o'tkazgichda zaif energetik ta'sirlar ostida katta miqdordagi toklar yuzaga kelishi mumkin.

Yot jinslar vazifasi, yarim o'tkazgichga majburan kiritiladigan ligerlangan elementlar bilan birga, yarim o'tkazgich tarkibdagi har xil defektlar va eng avvalo atomlarning tugunlari va bo'sh o'rinlar (kovaklar) bajaradi. Yot jinslar ikki turga bo'linadi: donorli va akseptorli.

Donor aralashmalar yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanlik zonasiga elektronni yetkazib beradi. Donor aralashmalarning energetik sathi yarim o'tkazgichning tubidagi o'tkazuvchanlik sathi yaqinidagi taqiq zonasida joylashgan (6.4, a – rasm).



6.4 - rasm. Yarim o'tkazgichning donorli (*a*) va akseptor (*b*) aralashmali enegetik diagrammasi.

Tashqi energetik ta'sir ostida aralashma tarkibidagi valayentli elektronlar yarim o'tkazgichning o'tkazuvchanlik sathiga  $n$  – tipli o'tkazuvchanlikni hosil qilib va osonlik bilan o'tadi.

IV gruppadagi elementlar (germaniy i kremniy) ning donorlari bo'lib, V gruppadagi – margimush (мышьяк - As), surma (Sb), fosfor (P) va boshqalar hisoblanadi.

Akseptor aralashmalar yarim o'tkazgichning valentli elektronlarini egallab oladi. Akseptorlar to'ldirilmagan energeik sathlarga ega, shu sababli, yarim o'tkazgichning taqiq zonasidagi valentli sathning yuqori qismida joylashadi (6.4, **b - rasm**). Tashqi energetik ta'sir ostida yarim o'tkazgichdagi valentli elektronlarning bir qismi, akseptor aralashmaning erkin sathniga o'tadi va uning valentli zonasida valentli elektronlarning atomdan atomga, kovakdan-kovakka jadallashagan darajada ko'chish jarayoni yuzaga keladi. Akseptorlar *p* - tipli o'tkazuvchanlikni amalga oshiradi. Germaniy va kremniyda akseptorlar vazifasini, III – guruhdagi bor (V), alyuminiy (Al), galliy (Ga), indiy (In) lar o'taydi.

### 6.3.1. Asosiy va ikkinchi darajali zaryad tashuvchilar

Aralashmali  $n$  - tipli yarim o'tkazuvchanlikda asosiy zarayad tashuvchilar elektronlar tomonidan amalga oshiriladi, ammo ayrim hollarda kovaklar **konsentratsiyasi** evaziga ham ikkinchi darajali zaryad tashuvchanlik amalga oshadi. Yarim o'tkazgichda  $r$  - tipli kovak asosiy zaryad tashuvchi bo'lib, elektron ikkinchi darajali tashuvchidir.

*Konsentratsiya – jism tarkibidagi zarrachalar soni «n» ni jismning hajmi «v» ga nisbati.*

Turlicha haroratdagi termodinamik turg'unlik sharoitida shakllanmagan yarim o'tkazgichdagi asosiy va ikkilamchi zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi (teng

miqdordagi elektronlar -  $n_0$  va kovaklar -  $p_0$ ) ning kattaligi doimiy va aralashmalar miqdoriga bog'lik bo'lmaydi.

$$n_0 \cdot p_0 = n_i^2, \quad (6,7)$$

Bu yerda  $n_i$  – mazkur haroratdagi zaryad tashuvchilarning aralashma (konsentratsiya) si.

Bu tenglama zaryad tashuvchilar tarkibidagi ta'sir etuvchi zarrachalar miqdorini nisbati deyiladi. Masalan  $n$  – tipli yarim o'tkazgichda donorlar miqdori oshirilsa, o'z sathidan o'tkazuvchanlik sathiga o'tuvchi elektronlar soni ko'payadi. Tabiiyki zaryad tashuvchilarning tezligi ortadi va kovaklar sonidagi muvozanat buziladi. Shuning uchun  $n_0$  va  $p_0$  ni miqdori mutanosib bo'lishi kerak. Jismlarga ta'sir etish qonuni faqatgina teng miqdorli aralashmalarga oid bo'lib, agar asosiy aralashmalar miqdori ma'lum bo'lsa, ikkilamchi zaryad tashuvchilar miqdorini aniqlash mumkin.

### **6.3.2. Aralashmali yarim o'tkazgichdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi**

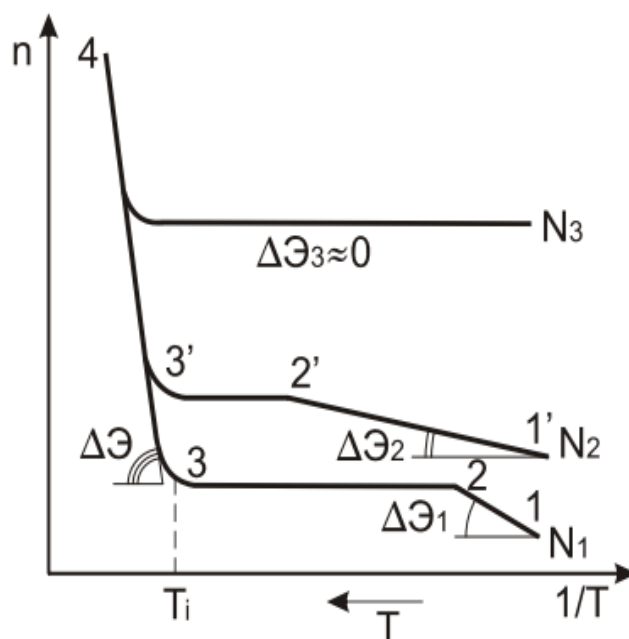
Aralashmali yarim o'tkazgichlardagi zaryad tashuvchanlik haroratga va aralashmalar konsentratsiyasi  $N$  ga bog'liq.  $n$  - tipli yarim o'tkazgichdagi aralashmalar konsentratsiyasining haroratga bog'liqligini 6.5 - rasmdan ko'rish mumkin.

Past konsentratsiyali donor aralashma  $N_I$  da qizish, past harorot hududida aralashma atomlaridagi ionlanishni kuchaytiradi va shunga mos ravishda o'tkazuvchanlik sathida erkin elektronlar konsentratsiyasini kuchaytiradi.

1-2 bo'limdagi to'g'ri chiziq burchagi aralashmaning ionlanish energiyasini tavsillaydi. 2 - nuqtaga mos keluvchi haroratda aralashmaning atomlari to'liq ionlangan va aralashma sathidagi barcha elektronlar o'tkazuvchanlik sathiga ko'chirilganligini bildiradi. 2-3 - bo'limda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi barqarorlashadi va donorlar konsentratsiyasi  $N_I$  ga tenglashadi. Bu bo'lim aralashmalarning zaiflanish hududi deyiladi. 3 - nuqtadan yuqori haroratda zaryad

tashuvchilar konsentratsiyasi yarim o'tkazgichning xususiy o'tkazuvchanligi evaziga keskin ortadi (3-4 - bo'lim).

Xususiy o'tkazuvchanlik, o'tish harorati  $T_i$  aralashmalar konsentratsiyasi va ta'qiq zonasi kengligiga bog'liq bo'ladi. 3-4 - bo'limdagi egilish burchagi yarim o'tkazgichning taqiq zonasi kengligidan aniqlanadi.



6.5 - rasm. Yarim o'tkazgichdagi donor aralashmalarni konsentratsiyasi turlicha  $N_1 < N_2 < N_3$  bo'lgan paytdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiya va haroratg orasidagi bog'liqlik.

Aralashmalar konsentratsiyasi ortishi bilan ( $N_2 > N_1$ ) zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ham ortadi, aralashmaning zaiflanish harorati ortadi (6.5-rasm, 2' nuqta).

Aralashmali atomlarning diskret energetik sathlari, aralashma zonasida parchalanadi, aralashmaning ionlanish energiyasi zaiflashadi (1'-2' bo'limni egilish burchagi). Aralashmalarning ayni bir yuqori konsentratsiyasi  $N_3 < N_2 < N_1$  da aralashma zonasi o'tkazuvchanlik zonasi bilan qoplanadi, ionlanish energiyasi nolga tenglashadi.

Bunday yarim o'tkazgich **nuqsonli yoki defektli yarim o'tkazgich** deyidali.  $n$  - tipli nuqsonli yarim o'tkazgichda aralashmali o'tkazuvchanlikning barcha hududida elektronlar konsentratsiyasi doimiy bo'ladi.

### 6.3.3. Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi

Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi – bu yo‘naltirilgan o‘rtacha harakat tezlik (dreyf tezligi  $v$ ) ni elektr maydon kuchlanilganligi  $Ye$  ga nisbatidir.

$$\mu = \frac{v}{E}, \quad \frac{m^2}{B \cdot c}, \quad (6.8)$$

Yarim o‘tkazgichlarda harakatchanlik, elektronlar  $\mu_n$  va kovaklar  $\mu_p$  harakatchanligiga ajratiladi.

Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi yarim o‘tkazgichlarda metallarga nisbattan sezilarli darajada yuqori bo‘lishi mumkin, chunki yomon o‘tkazuvchan kristallarda elektronlar bir oz erkin harakatlanadi. Ayrim toza yarim o‘tkazgichlarda harakatchanlik  $10 \text{ m}^2/\text{V}$  ni va undan yuqorini tashkil etadi. Mazkur holat katta masofaga erkin harakatlanish va elektron to‘lqini energiyasidan dalolat beradi.

Elektron to‘lqining ekvivalent uzunligi defektsiz yarim o‘tkazgichda, (1.3) formulaga asosan  $5 \dots 7 \text{ nm}$  ( $v$  metallarda  $\lambda = 0,3 \dots 0,5 \text{ nm}$ ) ni tashkil etadi. Shu sababli defektsiz yarim o‘tkazgichda atomlarning defektli o‘lchami elektronlarni tarqalishiga zaif ta’sir etadi.

Yarim o‘tkazgichlarda zaryad tashuvchilar tarqalish harakatchanligini zaiflanishiga ta’sir etuvchi sabablarga quyidagilarni kirtish mumkin:

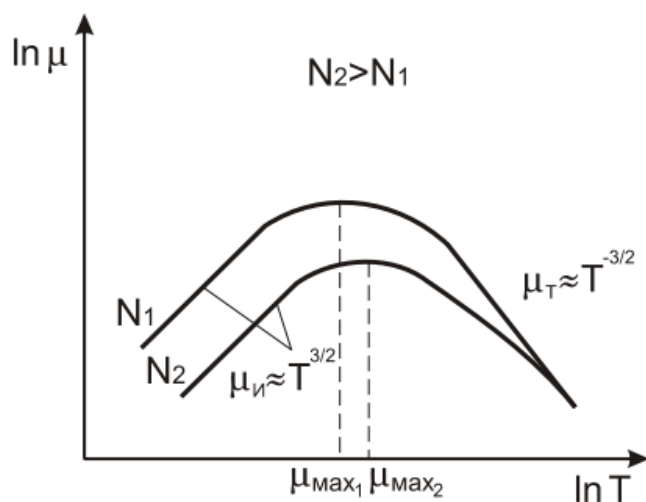
- kristall panjaradagi atomlar va ionlarning isiqlik tebranishlari;
- atomlarning ionlashgan aralashmalari.

Shunday qilib, zaryad tashuvchilarning harakatchanligi haroratga va aralashmalar konsentratsiyasiga bog‘liq (6.6 - rasm).

Past haroratlarda, ionlashgan atomlar aralashmalarining tarqalishi ustunlik qiladi: aralashmaning har bir ionlashgan atomi, zaryad tashuvchining harakat shakli (trayektoriyasi) ni o‘zgartiruvchi Kulon maydonini hosil qiladi. Bunga ionlashgan aralashmaning konsentratsiyasi sezilarli ta’sir ko‘rsatadi:

$$\mu_u \approx \frac{T^{3/2}}{N_u}, \quad (6.9)$$

Bu yerda  $N_u$  – aralashmaning ionlashgan atomlar konsentratsiyasi.



6.6 - rasm. Turlicha konsentratsiyadagi aralashmalardagi zaryad tashuvchilar harakatchanligini haroratga bog‘liqligi.

Ionlashgan aralashmadagi atomlarning tarqalishi harorat ortishi bilan kamayadi, ya’ni  $\mu$  ortadi. Yuqori haroratlarda tarqalish, panjaraning issiqlik tebranishlarida asosiy vazifani o‘taydi, harakatchanlik proporsional ravishda pasayadi  $\mu_u \approx T^{-3/2}$ .

Natijaviy harakatchanlik quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_T} + \frac{1}{\mu_u}, \quad (6.10)$$

Shunday qilib  $\mu$  ning haroratga bog‘liqligi, aniq tasvirlangan egri chiziq bilan ifodalanadi. Aralashmadagi konsentratsiyaning ortishi bilan  $\mu$  ning maksimal qiymati pasayadi va yuqori harorat tomonga o‘zgaradi.

Ionli kristallarda zaryad tashuvchilarning harakatchanligi ancha past, chunki zaryad tashuvchilarning tarqalishi, panjaradagi neytral atomlarga nisbattan ancha faol.

### 6.3.4 Yarim o‘tkazgichlarning solishtirma o‘tkazuvchanligi

Yarim o‘tkazgichdagi tokning zichligi:

$$j = e \cdot n_0 \cdot \mu_n \cdot E + e \cdot p_0 \cdot \mu_p \cdot E, \quad (6.11)$$

Bu yerda  $ye$  – elektronning zaryadi.

Om qonuniga asosan (2.3) yarim o'tkazgichning solishtirma o'tkazuvchanligi zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi va ularning harakatchanligidan aniqlanadi:

$$\gamma = e \cdot n_0 \cdot \mu_n + e \cdot p_0 \cdot \mu_p, \quad (6.12)$$

Aralashmali yarim o'tkazgichlarda, odatda asosiy zaryad tashuvchilar inobatga olinadi, u holda

- $n$  - tipli yarim o'tkazgichlar uchun:

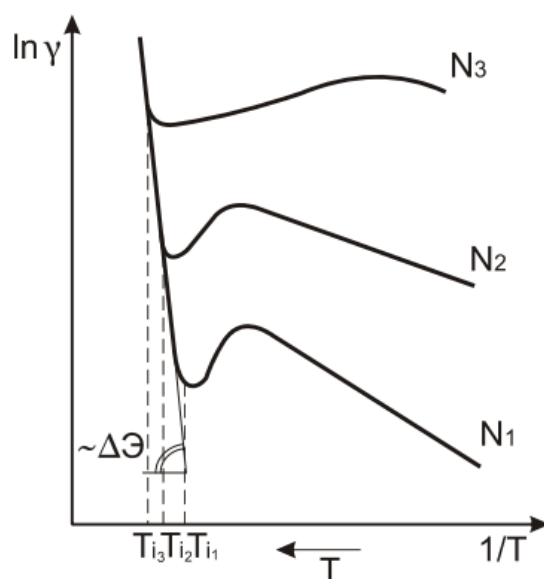
$$\gamma = e \cdot n_0 \cdot \mu_n, \quad (6.13a)$$

- $p$  - tipli yarim o'tkazgichlar uchun:

$$\gamma = e \cdot p_0 \cdot \mu_p, \quad (6.13b)$$

### 6.3.5. Solishtirma o'tkazuvchanlikni haroratga bog'liqligi

Nuqsonsiz yarim o'tkazgich uchun, harorat diapazonidagi aralashmaning zaiflashish hududida, asosiy zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi o'zgarmasdan qoladi va solishtirma o'tkazuvchanlik xususiyati zaryad tashuvchilarning haroratiga bog'liq bo'ladi (6.7 - rasm).



6.7-rasm. Yarim o'tkazgichdagi solitirma o'tkazuvchanlikning  $N_1 < N_2 < N_3$  holatida haroratga bog'liqligi.

Harorat ortishi bilan, solishtirma o'tkazuvchanlikni keskin ortishi xususiy o'tkazuvchanlik natijasida yuzaga keladi. Bunday o'tkazuvchanlik quyidagicha ifodalanadi:

$$\gamma = e \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p).$$

O'tkazuvchanlik hududidagi egilish burchagi yarim o'tkazgichning ta'qiq zonasi kengligini bildiradi.

Aralashmaning konsentratsiyasi qancha yuqori bo'lsa, o'tkazuvchanlik zonasiga shuncha ko'p elektron yetkazib beriladi, solishtirma o'tkazuvchanlik ham shuncha ortadi.

Aralashmadagi konsentratsiyaning ortishi bilan, yarim o'tkazgichdagi xususiy o'tkazuvchanlikka o'tish harorati  $T_i$  ham ko'tariladi.

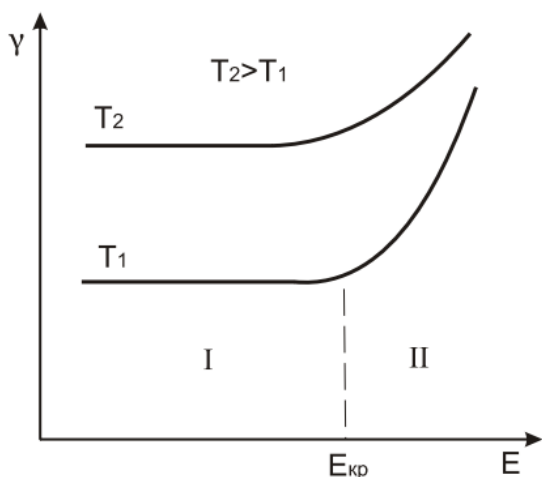
Nuqsonli yarim o'tkazgichda  $N_3$  zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi haroratga bog'liq bo'lmaydi va  $\gamma = f(T)$  aralashmali o'tkazuvchanlik hududida metallardagi solishtirma o'tkazuvchanlik o'zgarishiga o'xshash bo'ladi.

### **6.3.6. Maydon kuchlanganligini yarim o'tkazgichlardagi o'tkazuvchanlikka ta'siri**

Yarim o'tkazgichlardagi zaif maydonlar xududidagi o'tkazuvchanlik, maydonni kuchlanganligiga bog'liq bo'lmaydi va Om qonuniga bo'sunadi.

Zaif maydon kriteriyasi quyidagi shart asosida bajariladi: elektronlarning erkin (dref) tezligi issiqlik harakatidan sezilarli darajada past  $v \ll u$  (6.8, I - rasm)





6.8 – rasm. Yarim o‘tkazgichdagi solishtirma o‘tkazuvchanlikning elektr maydon kuchlanganligiga bog‘liqligi

Kuchli elektr maydonlarda,  $v$  va  $u$  o‘zaro mutanosib bo‘lganda, Ohm qonuni buziladi. Yarim o‘tkazgichning solishtirma o‘tkazuvchanligi maydonning kuchlanganligi ortishi bilan keskin ko‘payadi (6.8, II - rasm), va  $u$  avvalo zaryad tashuvchilar soning keskin ortishi bilan izohlanadi.

$T=300$  K,  $Y_{ekr} \approx 1$  MV/m bo‘lganda: kuchli maydonlar hududida zaryad tashuvchilarning harakatchanligi, maydon tarqalishiga mos holda o‘zgaradi. Issiqlik tarqalishi ta’siridagi tebranishlar kristall panjara tugunlaridagi zaryad tashuvchilar maydon kuchlanganligi ortishi bilan pasayadi, aralashmalarning ionlashgan atomlariga ta’sir etganda esa - ortadi.

### 6.3.7. Muvozanatsiz zaryad tashuvchilar.

#### Rekombinatsiya

Zaryad tashuvchilarga issiqlik ta’sir etgandan tashqari, yarim o‘tkazgichga elektromagnit nurlanish va shunga o‘xshashlar bilan qo‘shimcha ta’sirlanish bo‘lashi mumkin va  $u$ , ortiqcha muvozanatsiz zaryad tashuvchilar tug‘ilishiga olib kelishi mumkin.

$$\Delta n = n - n_0; \quad \Delta p = p - p_0, \quad (6.14)$$

Bu yerda  $n_0$ ,  $p_0$  – issiqlik ta’siridagi elektronlar va kovaklarning muvozonatlashgan konsentratsiyasi.  $n$ ,  $p$  – elektronlar va kovaklarning to‘liq konsentratsiyasi.

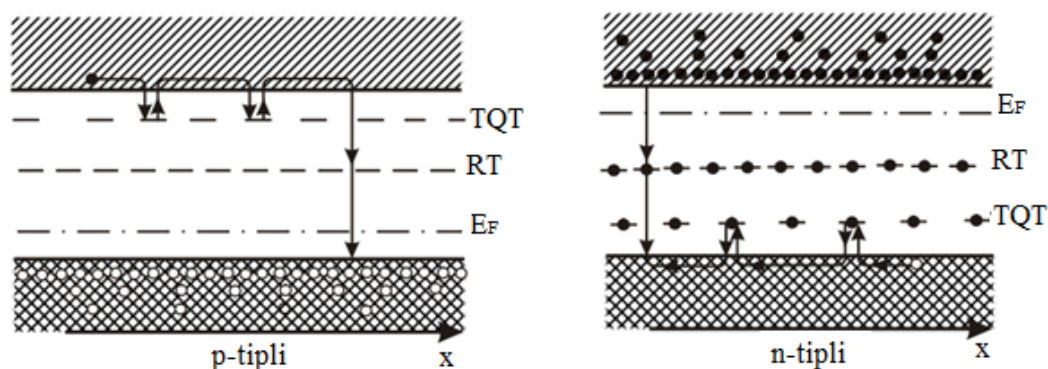
Issiqlik ta'siri yo'qolgandan so'ng yarim o'tkazgich muvozanatsiz holatga keladi, shu bilan birga *rekombinatsiya* natijasida vaznsizlik holatidagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi nolgacha tushib ketadi.

*Rekombinatsiya — suyuqlik tarkibida erkin zaryad tashuvchi (elektron va kovak) ning qarama-qarshi juftni energiya ajralishi natijasida yo'qotishi.*

**Rekombinatsiya** to'g'rdan - to'g'ri va tuzoqli rekombinatsiyaga ajraladi. To'g'ridan - to'g'ri rekombinatsiyada (*TT*), erkin elektron o'tkazuvchanlik zonasidan, biror bir erkin energetik sathdagi valent zonasiga o'tadi, natijada erkin elektron va kovakdan iborat bo'lgan zaryad tashuvchilar jufti yo'qoladi. Ammo bunday rekombinatsiya jarayonining ehtimoli judu oz uchraydi. Odatda rekombinatsiya *tuzoqlar* deb ataladigan oraliq energetik sathlar orqali o'tadi. Rekombinatsion tuzoqlar (*RT*) har qanday nuqsonli kristallar (bo'sh o'rinlar, tugunlar aro atomlar, aralashmalar va h.k) bo'lishi mumkin. Ular ta'qiq zonasida chuqur energetik sathlarni hosil qiladi (6.9-rasm). Rekombinatsion tuzoqlar, o'tkazuvchanlik va valent zonasi bilan uzviy bog'langan.

Rekombinatsiya ikki bosqichda kechadi. Birinchi bosqichda o'tkazuvchanlik zonasidan elektron tutib olinadi va natijada u elektr o'tkazuvchanlik jarayonidan chetlashadi. Tuzoq bunday holatda kovak yetib kelmaguncha faollashib kutib turadi. U hoda rekombinatsiyaning ikkinchi bosqichi – elektronning valent zonadagi erkin satha o'tish jarayoni yuz beradi. Natijada bir juft zaryad tashuvchilar yo'qoladi. Ikki bosqichli rekombinatsiyani ehtimoli kattaroq, chunki bir vaqtning o'zida elektron va kovakni bo'lishi talab etiladi.

Tarkibdagi aralashma va nuqsonlar taqiq zonasida tutib qoluvchi tuzoq (TQT-LZ) dan iborat bo'lgan kichik energetik sathlarni hosil qiladi (6.9-rasm). Tuzoqning xususiyati shundaki u faqat bitta zona bilan: o'tkazuvchanlik zonasi yoki valent zonasi bilan bog'lanadi.



6.9 - rasm. Yarim o‘tkazgichning ta‘qiq zonasida rekombinatsiya tuzog‘i (RT) va tutib qolish tuzog‘i (TQT) ni joylashuvi.

Kichik sathlarda tutib qolingani vaznsiz zaryad tashuvchilar, elektr o‘tkazuvchanlik jarayonidan to‘xtaliladi. Biroz vaqt o‘tgandan so‘ng issiqlik jarayonlari ta‘sirida ular erkinlashadi va elektr o‘tkazuvchanlik jarayonida ishtirok etadi. Shunday qilib tutib qoluvchi tuzoqlar rekombinatsiya jarayonini zaiflashtiradi.

Mazkur tuzoqlarning vazifasi haroratga bog‘liq holda o‘zgarishi mumkin. Harorat ortishi bilan issiqlikdan kengayish natijasida, zaryad tashuvchilarni tutib qoluvchi kuch zaiflashadi va bir qism rekombinatsiya tuzoqlari, tutib qolish tuzog‘iga aylanadi.

Aksincha, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining to‘yinishi natijasida tutib qolish tuzoqlari, rekombinatsiya tuzog‘iga aylanishi mumkin.

### 6.3.8. Rekombinatsiya jarayoning asosiy xususiyatlari

- vaznsiz zaryad tashuvchilarning haraktlanish vaqti,
- diffuziya uzunligi.

Vaznsiz zaryad tashuvchilarning haraktlanish vaqti – bu vaznsiz zaryad tashuvchilar to‘yinish konsentratsiyasi ( $\Delta n$ ,  $\Delta p$ ) ni, rekobinatsiya vaqtidagi konsentratsiya o‘zgarishi tezligiga nisbatidir.

$$\tau_n = \frac{|\Delta n|}{|d(\Delta n)/dt|}; \quad \tau_p = \frac{|\Delta p|}{|d(\Delta p)/dt|}. \quad (6.15)$$

Aralashmali o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan yarim o‘tkazgichlar uchun vaznsiz zaryad tashuvchilarning paydo bo‘lishi, asosiy tashuvchilar konsentratsiyasida sezilarli o‘zgarishni hosil qilmaydi. Vaznsiz tashuvchilarning harakatlanish vaqti o‘zgarmasdan qoladi va u to‘yinish konsentratsiyasiga bog‘liq bo‘lmaydi. Bunday rekombinatsiya chiziqli deyiladi va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi qo‘zg‘atish manbaidan uzilgandan so‘ng eksponenta bo‘yicha kamayadi:

$$\Delta n = \Delta n_0 \cdot \exp(-t / \tau_n), \quad (6.16)$$

Bu yerda  $\Delta n_0$  – zaryad tashuvchilarning boshlang‘ich ( $t=0$  bo‘lgan vaqtdagi) to‘yinish konsentratsiyasi.

Mazkur holatda harakat vaqti sifatida shunday vaqt olinadiki, u tugashi bilan vaznsiz zaryad tashuvchilarni to‘yinishi « ye » martaga kamayadi. Zaryad tashuvchining harakat vaqtiga yarim o‘tkazgichning kimyoviy tozaligi va tarkibidagi nuqsonlar sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Kristallik tuzilishining nomukammalligi va aralamalar qo‘shimcha rekombinatsiya tuzoqlari hisoblanadi, ular zaryad tashuvchining harakat vaqtini qisqartiradi. Toza va makammal tarkibli yarim o‘tkazgichlarda vaznsiz zaryad tashuvchilarning harakatlanish vaqti maksimal qiymatda bo‘ladi. Harorat ortishi bilan vaznsiz zaryad tashuvchilarning harakatlanish vaqti ortadi, chunki tuzoq darajasida zaryad tashuvchilarni tutib qolish qiyinlashadi. Toza yarim o‘tkazgichlarda vaznsiz zaryad tashuvchilar harakatlanish vaqti  $10^{-10} \dots 10^{-2}$  s ni tashkil etadi.

**Diffuziya uzunligi** – bu haraktlanish vaqtida zaryad tashuvchi ma’lum masofagacha aktiv harakatlanadi.

$$L_n = \sqrt{D_n \cdot \tau_n}; \quad L_p = \sqrt{D_p \cdot \tau_p}, \quad (6.17)$$

Bu yerda  $D_n$  va  $D_p$  – zaryad tashuvchilarning diffuziya koeffitsiyenti.

Misol uchun germaniy uchun  $\tau = 10 \dots 500$  mks,  $L = 0,2 \dots 3,0$  mm. Rekombinatsiya paytida elektronlar va kovaklarning to‘yinish energiyasi foton

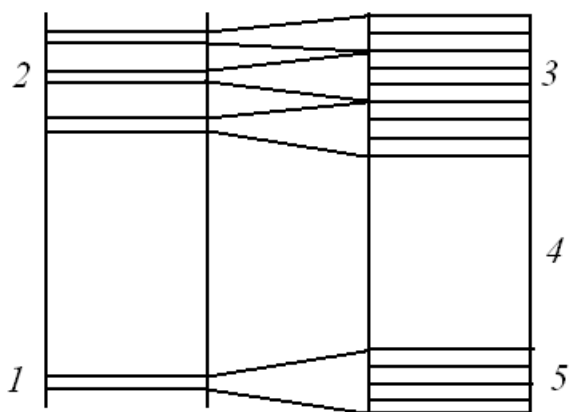
ko‘rinishida nurlanadi (nurlanish rekombenatsiyasi), yoki kristall panjaraga issiqlik ko‘rinishida uzatiladi (nurlanishsiz issiqlik rekombenatsiya).

Haroratning o‘zgarishi dielektrik materialdagi o‘tkazuvchanlikning o‘zgarishiga sabab bo‘ladi. Haroratning ortishi yarim o‘tkazgich materialida erkin elektronlar soni ko‘payishiga omil bo‘ladi. Haroratning pasayish va absolyut nolga intilishi barobarida elektronlarning soni ham proporsional ravishda kamayib boradi. Mabodo yarim o‘tkazgich materiali tarkibida erkin elektronlar mavjud bo‘lmasa elektr maydoni qanchalik katta kuch bilan ta‘sir etmasin, elektr o‘tkazuvchanlik jarayoni yuz bermaydi.

Elektronlar erkin holatga o‘tishi uchun na faqat issiqlik harakati, balki nur, elektronlar oqimi, yadro zarralari, elektr va magnit maydonlari, mexanik kuchlar ta‘sirida ham amalga oshirish mumkin.

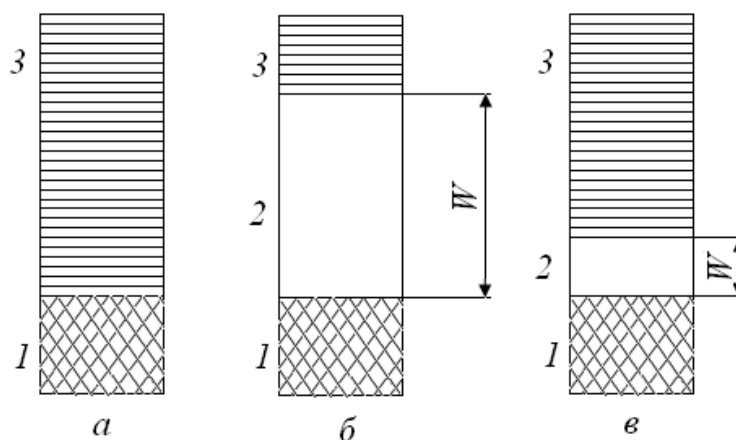
O‘tkazuvchanlik zonasi qoidasiga ko‘ra har bir atom aniq, energetik sathda o‘z elektroni bilan joylashadi. Sathlarni gorizontaal chiziqlar ko‘rinishida ifodalash mumkin. Energiya qancha katta bo‘lsa, chiziq shuncha yuqorida joylashadi va uning teskarisi. Elektronlarni qora nuqtalar bilan belgilanadi va ular quyi energetik sathdan joy oladi. Elektronni yuqori sathga o‘tishi uchun atomga qo‘shimcha miqdordagi energiya (kvant nuri, issiqlik va hokazo) bilan ta‘sir etish talab etiladi.

Atomlarning birikishi natijasida qattiq jismlar paydo bo‘ladi. Birikkan atomlarning valentli elektronlari o‘zaro ta‘sirlashib o‘z o‘rnidan qo‘zg‘aladi (siljiydi) va natijada sathi o‘zgarishiga sabab bo‘ladi **6.10 – rasm.**



**6.10** - rasm. Qattiq jism tarkibidagi atomlarning sathlarda joylashuvi

O'tkazgich, yarim o'tkazgich va dielektrik materallarda tarkibidagi atomlarning sathlar bo'yicha joylashuvi turlicha ko'rinishga ega. Ushbu joylashish 6.11 – rasmda keltirilgan.



6.11 – rasm. O'tkazgich (a), dielektrik (b) va yarim o'tkazgich (v) materiallarda energetik sathning joylashuvi.

Dielektrik materialdagi elektronlarga to'la zona, elektronlardan xoli bo'lgan zona bilan biriksa elektronlarning erkin zangaga o'tishi ta'minlanadi. Ushbu holat elektr o'tkazuvchanlik jarayonining kuchayishiga olib keladi.

Boshqa materialdan farqli o'laroq dielektrlarda elektronlarga to'la zona va elektronlardan ozod zonada kuchli energetik to'siq bo'lib, u elektronlarning ozod zonaga o'tishiga monelik qiladi. Faqat kuchli elektr maydoni ta'sir etgandagina bir qism elektronlar ozod zonaga o'tadi va natijada dielektrik o'tkazuvchanlik sodir etiladi.

Odatada yarim o'tkazgichlarda energetik to'siq juda kichkina bo'lib, uni yengish uchun past qiymatdagi energiya talab etiladi.

Yarim o'tkazgichlardagi elektr o'tkazuvchanlik erkin elektronlarning soni va ularga ta'sir etuvchi elektr maydon energiyasi miqdoriga bog'liq bo'ladi. Elektr maydon energiyasi erkin elektronlarning to'siqni yengib o'tib ozod zonaga kirishiga imkoniyat yaratadi.

Hozirgi paytda ko'pchilik yarim o'tkazgich materiallarning taqiq zonasi  $(0,8 \div 4,0) \cdot 10^{-19}$  J yoki  $0,5 \div 2,5$  eV. Bunday materiallarda valent zanasidagi sathlar elektronlar bilan to'la bo'lib, haroratning ma'lim miqdorda o'zgarishi natijasida o'tkazuvchan zonaga bir nechta elektron o'tadi va valent zonada shuncha miqdorda

kovak paydo boʻladi. Buning oqibatida har bir qoʻzgʻalish jarayonida bir vaqtning oʻzida ikkita qarama qarshi ishorali zaryad hosil boʻladi.

Bunday holatda zaryad tashuvchilarning soni oʻtkazuvchan zonadagi elektronlar sonidan ikki marta ortiqni tashkil etadi.

$$\text{Ya'ni: } n_{0i} = p_{0i}; \quad n_{0i} + p_{0i} = 2 \cdot n_{0i}$$

Ushbu holat uchun solishtirma oʻtkazuvchanlikni quyidagicha ifodalash mumkin:  $\gamma = e \cdot u_{0i} \cdot u_n + e \cdot p_{0i} \cdot u_p$

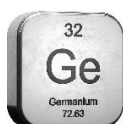
Bunda:  $u_n$  - elektronning, va  $u_p$  - kovakning siljувchanligi.

Toʻzgʻitish va qayta oʻrnashish jarayonlari natijasida jismda (har qanday haroratda) toʻzgʻitilgan tashuvchilar (elektronlar yoki kovaklar) ning barqarorlashgan miqdori shakllanadi. Uni quyidagi ifoda orqali ifodalash mumkin:

$$n_{0i} = 2N_0 \exp\left(-\frac{W}{2kT}\right);$$

bunda:  $W$  — yarim oʻtkazgichning taqiq zonasi;  $N_0$  - ozod (oʻtkazuvchan) zonadagi yarim oʻtkazgichning hajm birligidagi energetik sathlar soni;  $N_v$  — valent zonasidagi xuddi shuncha miqdordagi sathlar soni;  $N$  – ning oldidagi 2 raqami) har bir sathda bir juft elektron mavjudligidan dalolar beradi. Elektronlarning siljувchanligi ( $u_r$ ) kovaklarning siljувchanligi ( $u_r$ ) dan ancha yuqori, shu bilan birga ularning massasi ham oʻzaro farq qiladi. Shu sababli yarim oʻtkazgichlardagi elektr oʻtkazuvchanlik elektron oʻtkazuvchanlikka asoslangan.

#### 6.4. Yarim oʻtkazgich elementlar



**Germaniy.**

Germaniy tabiatda juda kam uchraydigan elementlar qatoriga kiradi. Xom ashyoni kimyoviy qayta ishlash orqali germaniy tetraxloridi olinadi va undan oq kukun koʻrinishidagi germaniy dioksidi ( $\text{GeO}_2$ ) ishlab chiqariladi. Germaniy dioksid kukuni vodorodli toblagichda  $650\text{--}700^\circ\text{S}$  haroratda qayta ishlanadi va undan kulrang germaniy kukuni olinadi. Germaniy kukuni kislotada eritmasi yordamida toza holga

keltirilib quyma holdagi xom ashyoga aylantiriladi. Germaniy xom ashyosi maxsus zavodlarda kvarqli quvur ichida inert gaz muhitida texnologik talabalar asosida eritilib, tozalanadi va undan sof germaniy olinadi. Tabiatda Germaniy tarkibida Ni, Sa, Su, Mn, As, Fe, Si kabi aralashmalar xam uchraydi. Tozalash jarayonida yot jinsli aralashmalar quyma holdagi materialning yuzasida ajralib qoladi. Keyingi bir necha martali tozalash jarayonidan so‘ng materialning qolgan qismidagi solishtirma qarshiligi 0,5 Om•m dan ortiq bo‘lishi mumkin. Ushbu qarshilik Germaniyning tozalanish darajasini baholavchi konsentratsiyaning miqdoriga bog‘liq bo‘ladi. 6.2 - jadvalda germaniyning fizik xossalari keltirilgan.

Germaniydan tayrlanadigan yarim o‘tkazgichli asboblarda ligirolovchi qo‘shimchalar bo‘lganligi sababli bir qancha turlarga bo‘linadi.

Germaniydar yarim o‘tkazgichlarni yasash uchun undan yupqa plastina shaklida numuna qirqib olinadi va uning yuzasi sayqallanib toza yaltiroq holatga keltiriladi. Sayqallash jarayonida plastinka yuzasidagi yot jinslar tozalanadi.

Kuyidagi jadvalda yarim o‘tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo‘lgan germaniy, kremniy va selenning xossalarini o‘rganish mumkin (6.2 - jadval).

### 6.2 – jadval.

#### Germaniy, kremniy va selenlarning xossalari

Elementlarning xossalari	Elementning nomi		
	Germaniy	Kremniy	Selen
Atom massasi	72,60	28,06	-
Panjara doimiysi, nm	0,566	0,542	-
Zichligi (20 <sup>0</sup> S) da, kg/m <sup>3</sup>			
Chizikli kengayish koeffitsenti (0+100 <sup>0</sup> S), K <sup>-1</sup>	6,0•10 <sup>-6</sup>	4,2•10 <sup>-6</sup>	4,8
Issiklik o‘tkazish koeffitsenti, Vt m <sup>-1</sup> K	55	80	4
Solishtirma issiklik sig‘imi (0+100 <sup>0</sup> S), J/(kg K)	333	710	330
Sirt taranglik koeffitsiyenti, N/m	936	1414	217-220
Solishtirma qarshiligi (20 <sup>0</sup> S)	4,1•10 <sup>-5</sup>	4,1•10 <sup>6</sup>	4,1•10 <sup>4</sup>
Asosiy eltuvchilarning konsentratsiyasi, m <sup>-6</sup>	0,6	0,6	0,11

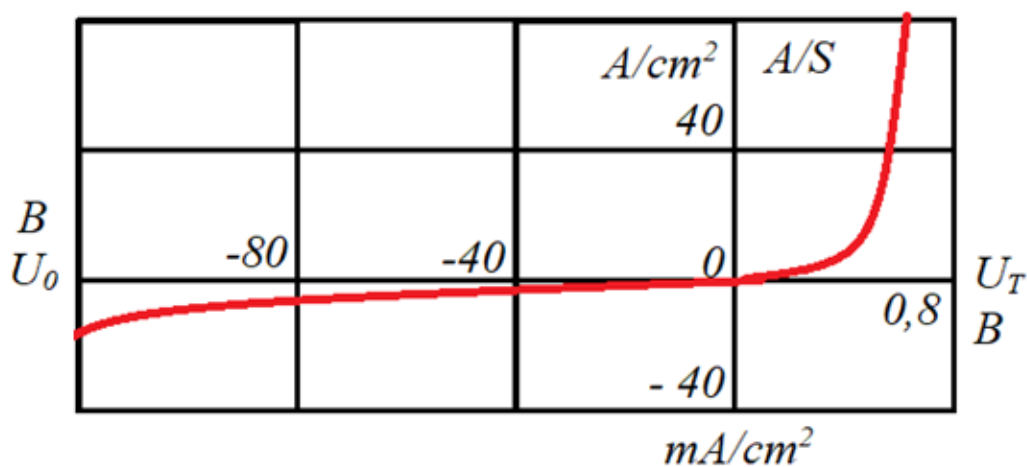


Taqiq zona kengligi ( $20^{\circ}\text{S}$ ), $\text{eV m}^2$	0,47	2000	-
Elektronlar siljuvchanligi $\text{m}^2/(\text{Vs})$	0,39	0,14	-
Kovaklarning siljuvchanligi $\text{m}^2/(\text{Vs})$	0,19	0,05	$0,2 \cdot 10^4$
Elektronlarning chiqish ishi, $\text{eV}$	4,8	4,3	-
Dielektrik singdiruvchanlik	16	12,5	-
Birlamchi ionlanish kuchlanishi, $\text{V}$	8,10	8,14	9,75

Elektrotexnika sanoatida germaniydan xar xil tranzistorlar, quvvati turlicha bo'lgan tok to'g'rilagichlari, **Xoll** o'zgartkichlari kabi yarim o'tkazgich qurilmalar ishlab chiqiladi.

Germaniyning optik nurlar ta'sirida o'z xususiyatini o'zgartirish hodisasi: fotorezistorlar, optik linzalar, optik filtrlar, nur modulyatorlarini yasashda asqotadi.

Germaniydan yasalgan yarim o'tkazgichli diodning Volt-Amper xarakteristikasi **6.12 - rasmda** tasfirlangan.



**6.12 - rasm.** Germaniydan yasalgan to'g'rilagichining Volt-Amper xarakteristikasi.

Germaniydan yasalgan yarim o'tkazgichli uskunalar harorat o'zgarishiga sezgir bo'ladi. Bunday asboblarning harorat o'zgarishi  $-60^{\circ}\text{S}$  dan  $+70^{\circ}\text{S}$  gacha bo'lishi shart. Agar harorat ushbu ko'rsatkichdan ortsa, yarim o'tkazgichdagi mustahkamlik keskin pasayib ketadi va teskari oquvchi tokning miqdori 2,5...3 martaga ortib ketadi.

Germaniyning yana bir zaif tomoni uning namlanuvchanlik xususiyati bo'lib, bunday yarim o'tkazgichli asboblarni nam muhitdan himoyalangan bo'lishi shart.



## *Kremniy*

Kremniy Mendelejev davriy jadvalining IV - gruppasidagi kub panjarali, kovalent kristall bo‘lib, tabiatda keng tarqalgan. Texnik holatdagi kremniy elementi elektr pechi yordamida ajratib olinadi. Undan so‘ng kimyoviy ishlov berib, vodorodli muhitda 1250 °S haroratgacha qizdiriladi va undan kremniy sterjeni yasaladi.

Kremniyda ham germaniy kabi tarkibidagi yot zarrachalar solishtirma o‘tkazuvchanlikka salbiy ta‘sir ko‘rsatadi. Yot jinslarning miqdori o‘tkazuvchanlikning ortishiga va elektr mustahkamlikning pasayishiga sabab bo‘ladi. Yarim o‘tkazgichli asboblarni tayyorlashda kremniy elementi muhim o‘rinni egallaydi. Kremniyning tabiatda keng uchrashi uning asosiy element sifatida ishlatilishida qulay tomonidan hisoblanadi.

Kremniydan yarim o‘tkazgichli diodlar, tranzistorlar, fotoelementlar, tenzimetrik o‘zgartirgichlar yasaladi. Ushbu yarim o‘tkazgichlar mikroelektronika va mikroprotsessor texnikalarining elektr sxemalarida keng qo‘llaniladi.

Kremniy Mendelejev davriy jadvalining to‘rtinchi guruh elementlari bilan birikkan holda bo‘lib uni olishda kvarts qumini elektr pechida yuqori haroratda qizdirish va uglerod bilan aralashtirish orqali olinadi. Harorat 2000 °S ga yetganda pechka ichida kremniy + uglerod (SiC) birikmasining  $\beta$  modifikatsiyasi paydo bo‘ladi. Harorat yanada (2000°S dan ham yuqoriga) oshirilsa kremniy + uglerod (SiC) birikmasining  $\alpha$  geksogonal modifikatsili kristall hosil bo‘ladi.

SiC kristallari o‘lchami 40 – 300 mkm. li donador kukunga aylantirilib xom ashyo holiga keltiriladi. Xom ashyoga rang berish kristallarning tarkibi va ishlov berish usulini o‘zgartirish orqali amalga oshiriladi. SiC kristallarining fizik xossalari 6.3 - jadvalda keltirilgan.

### **6.3 – jadval.**

#### **SiC ning fizik xususiyatlariga oid ma’lumotlar**

T.r.	Ko‘rsatkichlari	Qiymatlari
------	-----------------	------------

1.	Zichligi	320 kg/m <sup>3</sup>
2.	Issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti	10 - 40 Vt/m*k
3.	Solishtirma issiqlik sig'imi	620 - 750 J/kg-K
4.	Chiziqli kengayish koeffitsiyenti	(4 - 7)·10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
5.	Qattiqligi (mineralogik shkala bo'yicha)	9.5
6.	Taqiq zonaning kengligi	2,8—3,1 eV
7.	Elektronlarning siljувchanligi	0,01—0,05 m <sup>2</sup> /V-s
8.	Misga nisbattan termoelektir yurituvchi kuch	300 mkV/K

SiC kukunining elektr o'tkazuvchanlik xususiyati kukundagi donachalar o'lchamiga, zarrachalarning zichlik (siqilganlik) ko'rsatkichiga, tashqi maydon kuchlanganligiga va muhitning haroratiga bog'liq bo'ladi. Shu sababli kremniy karbidi kukunining solishtirma qarshiligi keng diapazonda (oraliqda) bo'ladi. Kremniy karbidi kukunida tokning zichligi elektr maydon kuchlanganligiga bog'liqligi bois nohiziq xarakterga ega, va u Om qonuniga bo'yso'nmaydi. Kremniy karbid donachalaridan tayyorlangan varistor (chiziqli bo'lmagan rezistor) lar bunga misol bo'la oladi. Mabodo varistor SiS kukunining o'zaro bog'lanmagan xilidan yasalsa, bunday yarim o'tkazgich materialarining xarakteristikasi o'zgaruvchan bo'ladi. Buning oldini olish uchun donador kukun zarachalari ularni bog'lovchi maxsus modda bilai ishlov berib biriktiriladi.

Bunday moddaga: kremniy loyi, ultrachinni, suyuq hodagi shisha, oson va tez eruvchan shisha va KO laki misol bo'li oladi. Tarkibiga qarab bog'lovchi modda turlicha nomlar bilan nomlanadi. Agar lak asosidagi bog'lovchi modda ishlatilsa – *pirit*, suyuq shisha asosidagi bog'lovchi modda ishlatilsa *vilit* deb nomlanadi.

Elektrotexnikada kremniy karbididan yuqori kuchlanishli uzatish liniyalarini himoya qiluvchi ventil razryadlagichlarini tayyorlashda ishlatiladi. Ventilli razryadlagich bir yoki bir necha zaryad o'tkazgichli oraliqdan va ularga kiritilgan varistorlardan tashkil topagan. Yuqori va past kuchlanishli elektr liniyalarida sodir bo'ladigan o'ta yuqori kuchlanish ta'sirida mazkur oraliqlarda elektr o'tkazuvchanlik (teshilishi) yuzaga keladi. Varistorli disklar yuqori kuchlanish ta'siri ostiga tushgach

ulardagi qarshilik keskin pasayadi. Qarshilikning keskin pasayishi razryadlagich oralig'idagi masofadan katta miqdordagi tokning yerga qarab sirqib o'tishiga sabab bo'ladi. Ushbu razryad tokining miqdori o'n, yuz va undan yuqori qiymatlargacha yerga o'tib ketishi mumkin. Linidagi tok ventill razryadlagichning qarshiligiga mos holatga yetganda (ruxsat etilgan impuls toki) tokning yerga oqishi to'xtaydi ya'ni razryadlagichning qarshiligi tiklanadi.

**Silitli** sterjenlar kremniy karbidi, kristalli kremniy va uglerod asosida tayyorlanadi. Silitning zichligi  $3,2 \text{ Mg/m}^3$  bo'lib, TKS qiymati juda kichikdir. Silitli isitkichlarning solishtirma qarshiligi  $0,001-0,1 \text{ Om}\cdot\text{m}$  bo'lib,  $1500^\circ\text{S}$  haroratga mo'ljallangan.

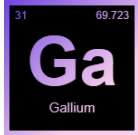
$A^{111}\text{V}^v$  birikmalari u yoki bu turdagi yarim o'tkazgich asboblarini tayyorlash uchun muhim material hisoblanadi. Bunday birikmalarga fosfidlar, arsenidlar va antimonidlar kiradi (6.4 - jadval). Bularning ichida amalda eng ko'p qo'llaniladiganlari galliy arsenidi va fosfidi hamda indiy antimonidi hisoblanadi.

$A^{111}\text{V}^v$  birikmalari komponentlarki vakuum yoki inert gaz muhitida o'zaro ta'sir ettirish yo'li orqali olinadi. Tozalangan birikmaning erish harorati uni tashkil etuvchi komponentlarning erish haroratidan yuqoriroq bo'ladi.

#### 6.4 – jadval.

#### Fosforidlar, Arsenidlar va Antimonidlar xususiyatlaori haqidagi ma'lumotlar

Xossalari	Fosfidlar			Arsenidlar			Antimonidlar		
Tartib raqami:									
$A^{111}$	13	31	49	13	31	49	13	31	49
$V^v$	15	15	15	33	33	33	51	51	51
Panjara doimiysi, nm	0,542	0,545	0,587	0,564	0,565	0,605	0,613	0,609	0,648
Zichligi $\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	2,4	4,1	4,8	3,6	5,4	5,7	4,3	5,7	5,8
Sindirish ko'rsatkichi	-	3,4	3,3	-	3,2	3,2	3,3	3,7	4,1
Chizikli kengayish koeffitsiyenti	-	4,8	4,5	3,5	5,4	4,8	4,2	6,2	5,0
Qattiqligi (mineralogik ustun bo'yicha)	5,5	5,0	-	-	4,5	4,0	4,8	4,5	3,8



## Galliy

Galliy arsenidi taqiq zonasining kengligi 1,43 eV bo‘lib, elektronlarining siljuvchanligi germaniy va kremniynikidan yuqoriroq bo‘ladi. Galliy arsenididagi kovaklarning siljuvchanligi kremniydagi kovaklarning siljituvchanligiga yaqindir. Bu materialniig akseptorlari sifatida rux kadmiy, misdan foydalaniladi, donorlari sifatida esa oltingugurt, selen, tellur ia davriy sistemadagi VI gruppada elementlari olinadi.



## Indiy

Indiy antimonidi elektronlarining siljuvchanligi katta qiymatga ega bo‘lishi bilan bir qatorda, taqiq zonasining kengligi (0,18 eV) nisbatan kichikdir. Ushbu materialning foto o‘tkazuvchanligi spektr infraqizil qismining kattagina (8 mkm. gacha) sohasini qamrab oladi. Bunda fotoo‘tkazuvchanlikning eng yuqori qiymati 6,7 mkm tulqin uzunligiga to‘g‘ri keladn.

Indiy antimonididan o‘ta sezgir fotoelementlar, optik filtr, termoelektrik generator va sovutgichlar tayyorlashda foydalaniladi.

Galliy fosfidi taqiq zonasining kengligi (2,3 eV) bilan ajralib turadi. Undan qizil yoki yashil nurlanuvchi diodlar tayyorlanadi. Galliy fosfidining asosiy xossalari **6.5 - jadvalda** keltirilgan. Bor, alyuminiy va galliy nitridlaridan ham nurlanuvchan diodlar ishlab chiqariladi.

$A^{111}$  va  $V^{VI}$  birikmalari va boshqa yarim o‘tkazgich materiallar. Sulfidlar ( $RbS$ ,  $VI_2Se_3$ ,  $SdSe$ ,  $HgSe$ ) fotorezistorlar tayyorlashda ishlatiladi, Ulardan lyuminofor sifatida ham foydalaniladi.

Sulfidlarning ayrim xossalari **6.5. - jadvalda** keltirilgan.

### 6.5 – jadval.

#### Sulfidlar, selenidlar, telluridlar va oksidlarning asosiy xossalari

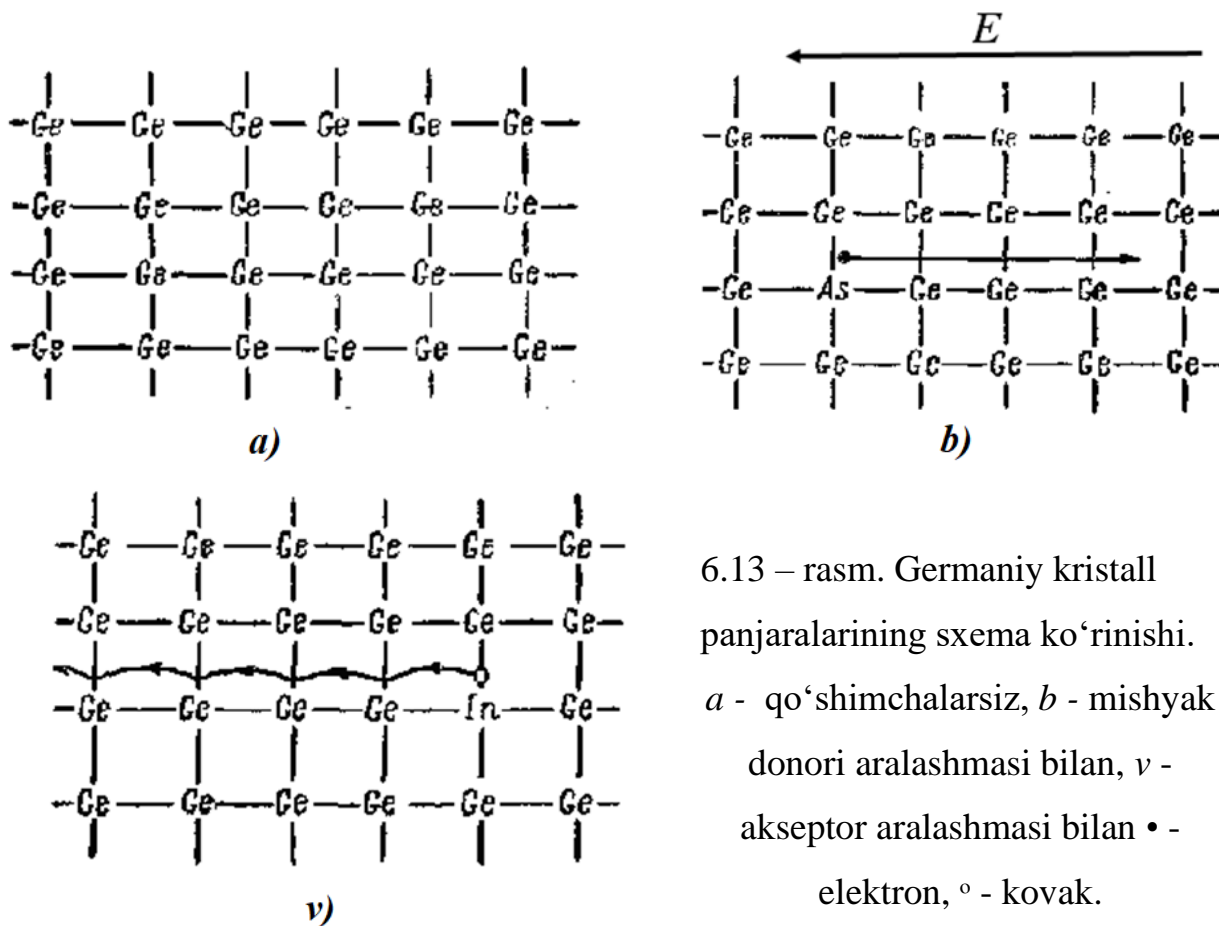
Birikmalar	Zichligi, $\cdot 10^3 \text{kg/m}^3$	$\gamma_m$ , $\text{Vt/m} \cdot ^\circ\text{K}$	$t_e$ , $^\circ\text{C}$	W, eV	U, m/(V·s)	
					<i>n</i> - turdagi	<i>p</i> - turdagi

PbS	7,60	2,9	1114	0,37	0,60	0,070
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	7,39	2,0	720	1,30	-	-
CdS	4,82	-	1750	2,40	0,02	0,055
PbSe	8,15	1,7	1076	0,25	0,12	0,100
Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	7,46	2,5	706	0,28	0,10	-
CdSe	5,81	-	1258	1,80	0,08	-
HgSe	8,26	5,6	800	0,60	1,00	-
PbTe	8,16	1,7	917	0,30	0,48	0,090
Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	-	1,1	585	0,15	0,12	0,050
CdTe	5,86	8,5	1098	0,60	0,07	0,006
HgTe	8,42	6,0	670	0,25	1,50	-
Cu <sub>2</sub> O	5,90	6,1	1230	0,34	-	0,005
ZnO	5,60	-	-	3,20	0,05	-
TiO <sub>2</sub>	4,42	-	6640	2,90	0,001	-

**Selenidlar** (RbSe, Vi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, SdSe, NgSe) fotoqarshilik termoelement va kogeret nurlanish (lazer) manbalari ishlab chiqarishda keng foydalaniladi.

**Telluridlar** (RbTe, Vi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, SdTe, NgTe) fotoqarshilik termoelement va nur tarqatuvchi asboblari tayyorlashda ishlatiladi.

**Rux oksidi** (ZnO) *n*-turdagi yarim o'tkazgichdir. Undan manfiy temperaturali [-(3÷4),%K] issiqlik qarshiliklari olinadi. Issiqlik qarshiligi (termistor) sterjen yoki plastinka shaklida sopol texnologiyasi asosida tayyorlanadi. Issiqlik qarshiliklari temperaturani o'lchash, boshqarish, kompensatsiyalash, kuchlanishni barqarorlash, impuls boshqaruv tokini cheklash, suyuqliklarning issiqlik o'tkazuvchanligini o'lchash, kontaktsiz reostatlarda va tokli vaqt relelarida qo'llaniladi. Germaniyni tarkibiga mishyak (As) va indiy (In) ni qo'shilishi 6.13 - rasmda keltirilgan.



6.13 – rasm. Germaniy kristall panjaralarining sxema ko‘rinishi. *a* - qo‘shimchalarsiz, *b* - mishyak donori aralashmasi bilan, *v* - akseptor aralashmasi bilan • - elektron, ° - kovak.

### Tekshirish uchun nazorat savollari

1. Yarim o‘tkazgichlarning ichki elektr o‘tkazuvchanligini nima ta’minlaydi?
2. Yarim o‘tkazgichning ta’qiq zonasida donor va akseptor yot jinslar qanday joylashagan? Nima sababdan germaniydagi yot jinslarning ionlanish energiya isroflari kremniyga nisbatan oz?
3. Defektli yarim o‘tkazgichdagi kovaklar va elektronlar konsentratsiyasi qanday nisbatda bog‘langan bo‘ladi?
4. Yarim o‘tkazgichdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining haroratga bog‘liqligini bayon eting. Qanday yarim o‘tkazgich nuqsonli yoki defektli deyiladi?
5. Yarim o‘tkazgichda zaryad tashuvchilarni tarqalish sababi nimada?
6. Harorat ortsa yarim o‘tkazgichda o‘tkazuvchanlik o‘zgaradimi?
7. Nima sababdan yarim o‘tkazgichda muvozanatlashmagan zaryad tashuvchilar paydo bo‘ladi?
8. Tutqich va rekombinatsiya tuzoqlarning farqi nimada?

9. Muvozanatlashmagan zaryad tashuvchilarning tug'ilish va diffuziyalanish muddatiga qanday faktorlar ta'sir etadi?
10. Fotorezistiv ta'sir deganda nimani tushuniladi?
11. Nima sababdan yot aralashmali foto o'tkazuvchanlik uzun to'lqinlar tomonga siljiydi?
12. Germaniy (Ge) va kremniy (Si) ni kristallangan tozalash usuli nimaga asoslagan? Yirik monokristallarni o'stirishda qanday usul keng qo'llaniladi?
13. Ge va Si tarkibida toblangan yot aralashmalar konsentratsiyasi ko'payganda zaryad tashuvchilarning xarakatchanligi nima sababdan va qanday o'zgaradi?
14. Planar tranzistorlar va integral mikro sxemalarda kremniyning qanday xususiyati unidan keng miqyosda foydalanish imkonini beradi?
15. A<sup>III</sup> V<sup>V</sup> yarim o'tkazgichli birikmalar qanday ximiyaviy turda bog'langan?
16. Svetodiod va injeksiyali lazerlarda qanday materiallardan foydalaniladi?
17. Quyosh batareyalari qanday materiallardan yasaladi?
18. Xona haroratida aralashmalari qancha miqdorga yetganda germaniy (Ge) xususiylar qarshilikka ega bo'ladi?



### 7.1. Materiallarning magnit xususiyatlari

Tashqi magnit maydoni ta'siriga tushgan materiallar magnitlanish xususiyatiga ega.

Magnitlanish bu – jismning hajm birligiga teng keluvchi magnit momentidir. Magnit kuchlanganligining tashqi magnit maydon bilan bog'liqligini quyidagi formula orqali ifodalash mumkin:

$$I_M = K_M \cdot H \quad (7.1)$$



Bu yerda,  $I_M$  - materialning magnitlanishi, A/m;  $H$  – tashqi magnit maydon kuchlanganligi, A/m;  $K_M$  – materialning magnitlanish xususiyatiga bog‘liq bo‘lgan magnit singdiruvchanlik.

Tashqi magnit maydon ta’siri ostida materiallarda xususiy maydon hosil bo‘ladi va u tashqi maydonga paralell yoki teskari yo‘nlashda bo‘lishi mumkin.

Natijaviy magnit maydoni materialning shaxsiy maydoni va tashqi maydonning algebratik yig‘indisidan tashkil topadi. Uni quyidacha ifodalash mumkin:

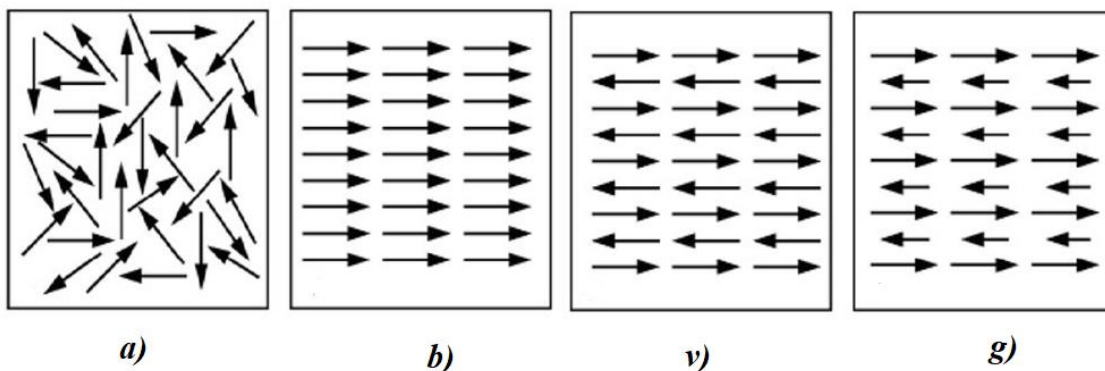
$$B = B_0 + B_i = \mu_0 \cdot H + \mu_0 \cdot I_m = \mu_0 \cdot H \cdot (1 + K_m) = \mu_0 \cdot \mu \cdot H \quad (7.2)$$

Bu yerda:  $B$  - materialning magnit induksiyasi, Tl;  $B_0$  – tashqi maydonning magnit induksiyasi (vakuumdagi), Tl;  $B_i$  – materialning shaxsiy magnit maydon induksiyasi, Tl;  $\mu_0$  – SI birliklar tizimidagi magnit doimiysi (vakuumning magnit singdiruvchanligi),  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{Gn/m}$ ;  $\mu$  – nisbiy magnit singdiruvchanlik. Ushbu qiymat materialdagi magnit singdiruvchanlikning vakuumdagiga nisbatan qanchalik yuqoriligini ko‘rsatadi.

$$\mu = B / B_0 \quad (7.3)$$

Materiallardagi magnitlanish xususiyatining birlamchi sababi elektronlarni o‘z o‘qi atrofida aylanishi (xususiy spinlar) natijasida yuzaga keladigan aylanma toklar bilan bog‘liq.

Tashqi magnit maydon ta’siriga moyillik yoki ichki magnit tuzulishga (magnit qabul qiluvchanlik) nisbatan tabiatdagi barcha materiallar diamagnetiklar, paramagnetiklar, ferromagnetiklar, anti ferromagnetiklar va ferrimagnetiklarga bo‘linadi (7.1 – rasm va 7.1-jadval).



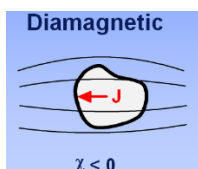
7.1 - rasm. Magnit materiallarda magnit kuch chiziqlarining yo‘nalishi: *a* – paramagnetik, *b* – ferromagnetik, *v* – antiferromagnetik, *g* – ferri magnetik.

7.1 - jadval.

### Magnit materiallar va ularning magnit singdiruvchanligi

Magnit materiallar		
Ferromagnit	Paramagnit	Diamagnit
Temir Nikel Kobalt	Alyuminiy Volfram Ebonit Azot	Mis Vismut Kvars Shisha (oyna) Tosh tuzi
$\mu \gg 1$	$\mu > 1$	$\mu < 1$

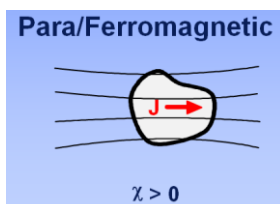
**Diamagnetiklar.**



Ushbu magnit materiallar juda past darajadagi magnitlanish xususiyatiga ega ( $K_m = 10^{-6} \dots 10^{-7}$ ). Diamagnetik materallar atomidagi xususiy maydon momenti nolga teng. Bunday materiallar, magnitlanish momenti o‘zaro teng kuchga ega bo‘lgan qarama-qarshi maydonli juft atomlardan tashkil topgan.

Diamagnetiklarga: inert gazlar, vodorod, azot, ko‘pchilik suyuqliklar (suv, neft va boshqalar), bir qancha metallar (mis, oltin, kumush, simob, rux, galiy va boshqalar) ko‘pchilik yarim o‘tkazgich materiallar (germaniy, kremniy va  $A^{III}V^V$ ,  $A^{II}V^VI$ , anorganik shisha va boshqalar kiradi. Diamagnetiklar tarkibi turlicha bo‘lgan magnit maydoni ta’siridan itarilishadi. Ushbu materiallarda  $\mu < 1$  qiymatga ega.

## *Paramagnetiklar*



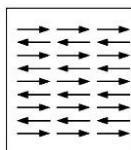
Paramagnetiklarning magnit singdiruvchanligi  $K_m = 10^{-3} \dots 10^{-6}$  atrofida bo‘ladi. Bunday materiallarga: kislorod, azod oksidi, ishqorlar va yer-metall ishqorlari, ayrim aralashma va noyob yer-metallari kabilar kiradi.

Paramagnetiklarning atomlari, elementar magnit momentiga ega bo‘lsada, issiqlik ta‘sirida betartib harakatlanishda bo‘lganligi bois, umumiy magnitlanish miqdori nolga tengdir. Bunday materiallarda tashqi magnit maydoni magnit momentlarini bir tomonga yo‘naltiradi ammo, issiqlik energiyasining qarshiligi oqibatida yagona yo‘nalish bo‘yicha shakllanishga erishib bo‘lmaydi. Paramagnetik materiallarning magnit singdiruvchanligi birga yaqin ( $\mu \leq 1$ ) bo‘ladi. Paramagnetiklar manit maydon kuchlanganligi turicha bo‘lgan muhitga kiritilsa magnitlanish jarayoni kuchsiz kechadi.

## *Ferromagnetiklar.*

Ferromagnetiklar yuqori magnit singdiruvchanlik qobiliyatiga ega bo‘lib, ushbu xususiyat magnitlash kuchlanishi va haroratga bog‘liq. Bunday materiallarda magnit sindiruvchanlikning miqdori  $K_m = 10^6$  gacha bo‘lishi mumkin. Ferromagnetiklarda ichki magnit kuch chiziqlarining tartiblanish xususiyati mavjud. Bunday holat material atomlarining magnit momentlari bir tomonga yo‘nalgan makroskopik hududlardan tashkil topganligi va paralell holatda joylashganligi sabablidir. Ferromagnetiklar zaif magnit maydonlarini qo‘shimcha to‘yintirish xususiyatiga ega. Ushbu materiallarga temir, nikel, kobalt va uning eritmaları, ayrim kamyob metallar va kimyoviy birikmalar qiradi.

## *Antiferromagnetiklar.*

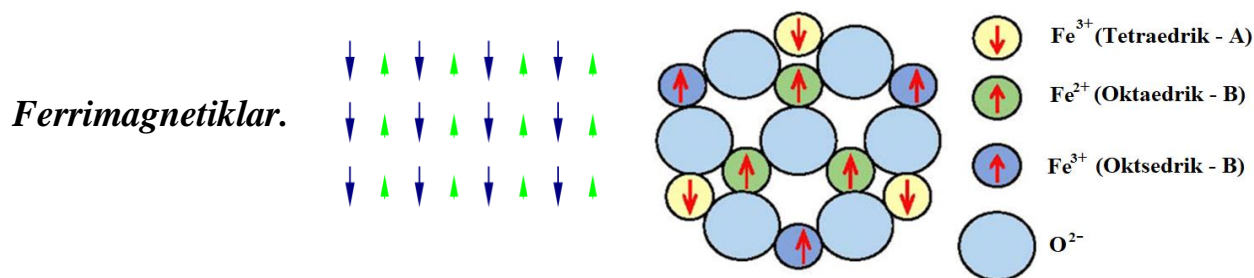


Bunday moddalar kristall panjaradagi ionlari yoki alohida atomlarining elementar magnet momenti antiparalel yoʻnalgan turlariga xosdir. Antiferromagnetiklar uchun juda past darajadagi magnet singdiruvchanlik xususiyati mavjud boʻlib u haroratga bevosita bogʻliq. Materialning magnet singdiruvchanligi  $K_m = 10^{-3} \dots 10^{-5}$  atrofida boʻlishi mumkin.

Antiferromagnetikni qizdirib magnet singdiruvchanlik darajasini oʻzgartirish yoki paramagniyetik holatiga oʻtkazish mumkin.

Antiferromagnetiklarga xrom, marganets, bir qator noyob metallar (Se, Nd, Sm va boshqalar), sulfidlar, galogenidlar, oksidlar va boshqa bir qator kimyoviy birikmalar kiradi.

Ushbu materallarda tashqi magnet maydon taʼsir etmagandagi umumiy magnetlanish nolga teng.



Ushbu moddalar, antiferromagnetlarda harorat oʻzgarishi natijasida magnetlanish hodisasining uzviy rivojlanishi sifatida qabul qilinadi. Ferrimagnetlar yuqori magnet singdiruvchanlik xususiyatiga ega. Ushbu materiallarning magnet singdiruvchanligi harorat va magnet maydon kuchlanganligi bilan uzviy bogʻliq.

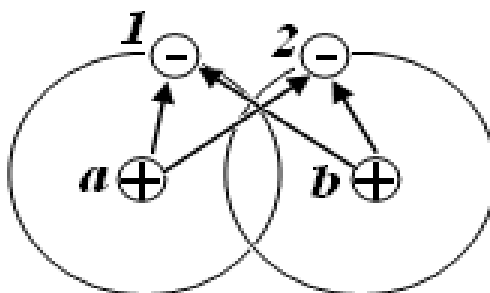
Kuchli magnetlanish xususiyatiga ega materiallar qatoriga ferrimagnetiklar (ferritlar) ni va temir, kobalt, nikel, quymalarini, uning asosidagi materiallarni kirish mumkin. Ushbu materiallar magnet xom ashyosining asosini tashkil etadi.

## 7.2. Magnet materillarni tasnifi

Ferromagnet materiallarning magnet xususiyati atom tuzulishi va oʻzaro taʼsirlashish xususiyatlariga asoslanadi. Ferromagnet materiallar orliq metallar guruhiga mansub boʻlib, atomlari yetarlicha elektron qobiqqa ega emasligi sababli

magnit momenti ham to'kis emas. Shu jumladan asosiy ferromagnetiklar – temir, kobalt va nikelda ichki  $3d$  - qobiqlar to'kis emas.

**7.2 – rasmda** kovalent bog'lanishda bo'lgan ikki atomning o'zaro ta'sirlanishi tasvirlangan. Rasmdagi vektor kuch chiziqlari elektronlar va yadrolarning o'zaro ta'sirini anglatadi.



7.2 – rasm. 2 atomli molekuladagi atom va yadrolarning elektrostatik kuchlar ostida o'zaro ta'sirlanishi: 1 va 2 – elektronlar;  $a$  va  $b$  - yadrolar.

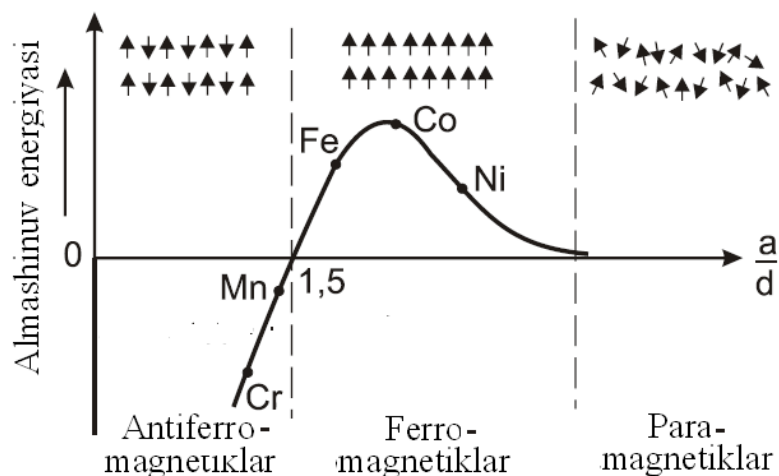
$N$  atomdan iborat bo'lgan va har bir panjarada  $z$  qo'shnidan iborat bo'lgan tizim uchun o'zaro ta'sirlashish energiyasi quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$\mathcal{E}_A = -N \cdot z \cdot A \cdot y^2 \quad (7.4)$$

Bu yerda:  $A$  – juft, qo'shaloq atomning o'zaro almashuv integrali (o'zaro energiya almashuv ta'sirlanishi);  $u$  – tanlangan yo'nalish bo'yicha atom paralell spinga ega ekanlik ehtimoli;  $u^2$  – ikki qo'shni atomning paralell spinga egalik ehtimoli.

Elektronlar orasidagi energiya almashuv integrali, elektron qobiqlarni kesib o'tish darajasi  $a/d$  nisbatiga teng bo'ladi (8.2 - rasm). Bu yerda  $a$  - atomlar orasidagi masofani,  $d$  - spinlari kompensatsiyalashmagan elektron qobiqlar diametrini bildiradi. Agar atomlar orasidagi masofa qobiq diametridan 3 marta katta bo'lsa, kuchli o'zaro ta'sirlashish energiya almashuvini spinlarning tartib bilan joylashuvini ta'min eta olmaydi.  $A > 0$  bo'lgan holatda ham oz miqdordagi almashuv kuchlari issiqlik harakatiga qarshi ta'sir eta olmaydi. Modda paramagnetizm xususiyatini namoyon etadi. Atomlar aro masofa kamayganda, o'zaro ta'sirlashuv energiyasi ortadi,

spinlarning paralell burilishi yuzaga kelib ferromagnetiklarga xos bo'lgan xususiyat shakllanadi.



7.3- rasm. Hajmiy energiyaning elektron qobig'i to'ldirilmagan atomlar aro masofaning diametrga ( $a/d$ ) nisbatiga bog'liqlik grafigi.

Atomlarning  $a/d = 1,5$  va undan past, almashinuv integrali ishorasini  $A < 0$  ga o'zgartiradi. Qo'shni atomlardagi spin momentlarining burulishi energetik jihatdan maqbul bo'lgan antiparalell holatga keladi va bu antiferromagnetiklarga xos xususiyatdan dalolatdir (inversiya nuqtasi  $a/d = 1,5$ )

Ferromagnit holat kriteriyasi

$$a/d > 1,5 \tag{7.5}$$

Ushbu kriteiyani temir, kobalt, nikel va ularning asosidagi birikmalar qanoatlantiradi.

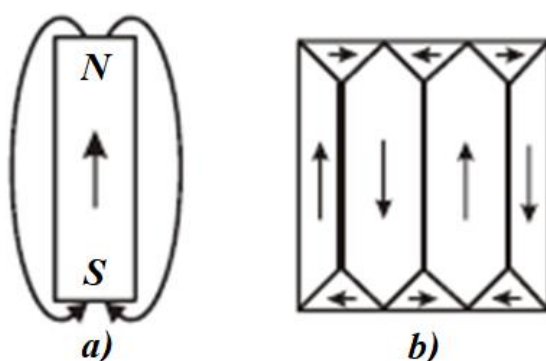
### 7.3. Ferromagnit materiallarning xususiyatlari

Ferromagnit materiallarning asosiy xususiyatlariga quyidagilar kiradi:

- to'yinish yoki maydon ta'sir etgunga qadar magnitlangan makroskopik (spontan) hududlar yoki domenlarning mavjudligi.
- magnitlanish holatining tashqi magnit maydon kuchlanganligi va haroratga bevosita bog'liqligi. Harorati Kyuri nuqtasidan yuqori bo'lganda material ferromagnit xususiyatini yo'qotadi va paramagnetikka aylanadi;

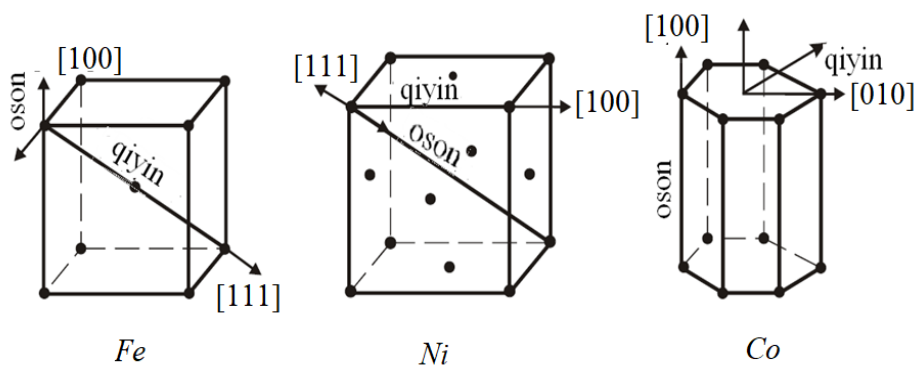
- magnit gisterezisining mavjudligi, ya'niy magnit induksiyasining magnit kuchlanganligidan ortda qolishi;
- kristallardagi ferromagnit xususiyatning magnit maydon kuch chiziqlari yo'nalishga bog'liqligi (kristallik magnit anizotropiya hodisasi);
- magnit singdiruvchanlikning zaif va kuchli ta'sirida magnit o'zak o'lchamining o'zgarishi (magnitstriksiya hodisasi);

**Domen tarkiblarning geometrik o'lchamlari** tizimning minimal erkin energiyasi ta'siri ostida shakllana. Kichik o'lchamli kristallar bitta domendan tashkil topishi mumkin. Ko'p domenli va yon tomondagi domenlar bilan bog'langan tarkibdan tashkil topgan materialda magnit energiyasi atrof muhitga sarfi juda oz miqdorni tashkil etadi. Domenlarning o'lchamlari 0,1...100 mkm.ga teng. Domenlardagi magnit momentlarning bir yo'nalishdan ikkinchisiga burulishi domenlar chegarasida 100 nm. qalinlikda (Blox devori) yuz beradi (7.4 rasm).



7.4 - rasm. Ferromagnetiklarning domen hukdudlari: *a* – bordomenli, *b* – ko'pdomenli.

**Magnit anizotropiyasi.** Ferromagnetiklarning kristallari anizotrop holatda bo'ladi. Yoki boshqacha izohlaganda kristallarning fizik-mexanik xususiyati har-bir kristalografik yo'nalishlarda turlicha va u magnit xususiyatiga bog'liq. Ferromagnetik kristallarida yengil va qiyin magnit singdiruvchanlik yo'nalishlari mavjud (7.5-rasm). Amaliyotda magnit anizotropiyasidan, magnit teksturasini hosil qilib, domenlarning magnit momentlari yengil yo'nalish tomonga burish orqali materialning magnitlanish xususiyatini yaxshilash maqsadida fojlalaniladi.



7.5 – rasm. Temir, nikel va kobaltning oson va qiyin magnitlanish yo‘nalishlari.

**Kristallografik magnit anizotropiyasining konstantasi ( $K$ )** – bu magnitlanishni kuchaytirish uchun oson magnitlanish yo‘nalishidan qiyin magnitlanish yo‘nalishiga o‘tishda sarflanadigan solishtirma energiya miqdoridir. Masalan, temir ( $Fe$ ) uchun  $20^{\circ}S$  da  $K=4,2 \cdot 10^4$  Dj/m<sup>3</sup> ni tashkil etadi.

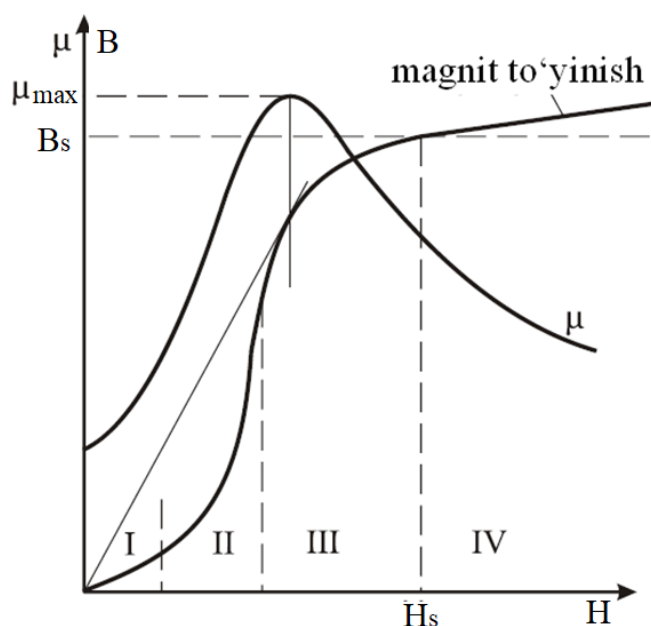
**Magnitstriksiya** – bu ferromagnit o‘zakning magnit xususiyatlari o‘zgarishi oqibatiga o‘lchamlari va shaklining o‘zgarishidir.

**Magnitstriksiyaning konstantasi  $\lambda_s$**  – magnit to‘yinish natijasida nisbiy chiziqli magnitstriksiyali deformatsiya. Magnit striksiya ferromagnit o‘zakda ichki kuchlar va deformatsiyalanishlarning yuzaga kelishi va domen chegaralarning siljishiga to‘sqinlik qilish bilan kechuvchi jarayondir. Magnitstriksiya ham kristallik magnit anizotropiyasi kabi zaif maydon ta’sirida ferromagnetikning magnitlanishini murakkablashtiradi. Shu sababli yuqori magnit singdiruvchanlik xususiyatiga, kristallik magnitstriksiyasi va kristallografik magnit anizotropiyasi nolga yaqin bo‘lgan magnit materiallar kiradi.

#### 7.4. Ferromagnetiklarning zaif va kuchli magnitlanish jarayonlari

**Magnitlanish egri chizig‘i** – ferromagnetikning magnit induksiyasini tashqi magnit maydon kuchlanganligiga bog‘liqligini tafsillaydi.  $V$  ( $N$ ) polikristalli ferromagnetikning odatiy egri chizig‘i 7.6 rasmda tasvirlangan.





7.6 rasm. Ferromagnetikdagi magnit induksiya kuchlanganligiga bog'liqlik grafigi.

Magnitlanish kuchlanganligiga bog'liq holda induksiyaning ortishi asosan ikki xil: domenlar chegarasining siljishi va ular magnit momentlarining burulish jarayonga bog'liq.

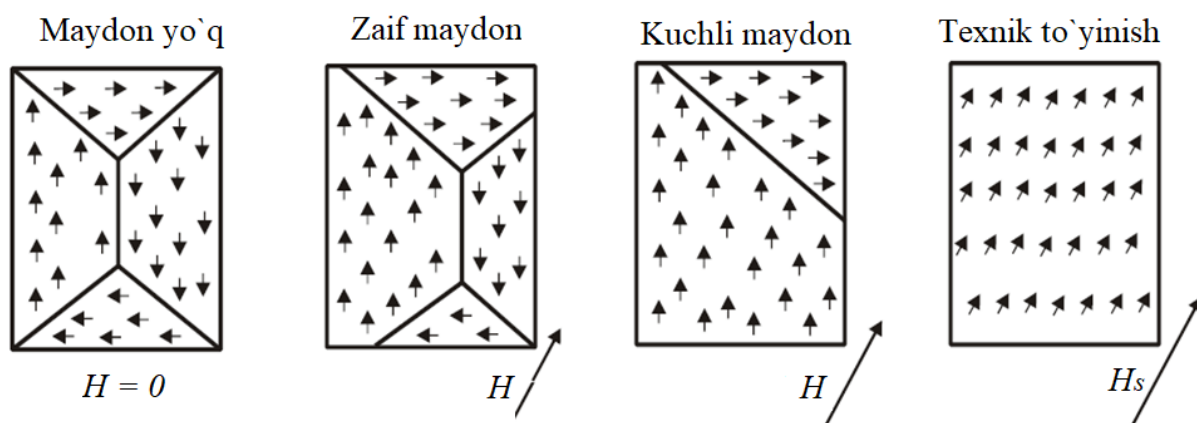
### Magnitlanish bosqichlari.

- **Zaif maydon.** Ushbu bosqichda domen chegaralarning elastik siljishi yuz beradi. Yo'nalishi maydon yo'nalishiga mos kelmaydigan (moyil bo'lmagan) domenlarning kamayishi hisobiga, magnitlanish yo'nalishi bo'yicha burilgan domenlarning vektori ortadi. Tashqi maydon ta'siri yo'qolgach domen chegaralar asl holatiga (boshlang'ich) qaytadi. Qoldiq magnitlanish yo'qoladi.

- **O'ta kuchli maydon.** Domen chegaralarning qaytalanmas siljishi yuz beradi, induksiya kuchi muttasil orib boradi, magnitlanish egri chizig'i maksimal egilishga ega bo'ladi, vektori maydon yo'nalishiga mos kelmaydigan domenlar batamom yo'qoladi.

- **Kuchli maydon.** Magnitlanishning ikkinchi mexanizmi **aylanish mexanizmi** ta'sir etadi, ya'ni domenlarning yengil magnitlanuvchi magnit vektori maydon yo'nalishi bo'yicha buriladi. Ularning to'liq burilishi natijasida texnik to'yinishni yuz berib,  $V_s$  induksiya va kuchlanganlik  $N_s$  ga mos keladi.

Texnik magnitlanishning bosqichlari 7.7 - rasm-sxemada tasvirlangan.



7.7 – rasm. Ferromagnetikdagi magnitlanish jarayonida domendagi spinlarni yoʻnalish sxemasi

- $N > N_s$  – **juft jarayon xududi**. Issiqlik tasir etishi jarayonlari natijasida yoʻnalishi oʻzgacha boʻlgan atomlardagi domen momentlarning magnit maydon yoʻnalishi boʻyicha yoʻnaltirish.

Texnik magnitlanish jarayoniga nisbatan juft jarayon **magnitlanishni haqiqiy magnitlanish** deb atash mumkin.

Taʼkidlash joizki aksariyat ferromagnit materiallarda juft jarayon hududidagi magnitlanish oʻzgaras qoladi (7.6-rasm, IV uzuq chiziq). Ammo ayrim invar tipidagi temir-nikel (Fe-Ni) qotishmalarida juft jarayon xududidagi magnitlanish kuchayadi (7.6-rasm, IV toʻgʻri chiziq). **Invar**<sup>4</sup> qotishmalarda juft jarayon katta miqdordagi **magnitstriksiya**<sup>5</sup> bilan kechadi, bu esa domenlarning shaklini va chiziqli oʻlchamini oʻzgartiradi. Domenlarning magnitlanishi,  $H > H_s$  tashqi maydon taʼsir etganda va taʼsir emaganda ham oʻz-oʻzidan Kyure nuqtasidan past  $T_k$  haroratida kuzatiladi.

Magnit singdiruvchanlik 5.3 formula asosida  $\mu = V/V_o = V/\mu_o N$ , aniqlanib **statik magnit singdiruvchanlik** deyiladi. U kordinata boshidan, asosga tomon kerakli

<sup>4</sup> Invar (lat. invariabilis — oʻzgaras) - 36 % nikel (Ni) va 64% temir (Fe) dan tashkil topgan, oʻta past harorat kengayadigan qotishma.

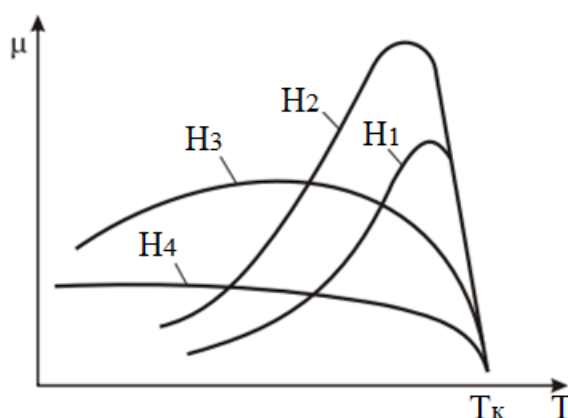
<sup>5</sup> Magnitstriksiya (lotin tilada *strictio* - siqilish, qisilish, choʻzilish) - magnitlanish holatida jismni hajmi va chiziqli oʻlchamlarini oʻzgarish hodisasi.

nuqtagacha bo'lgan masofani, kesib o'tuvchi tangens burchak ostidagi egri chiziq magnitlanishga, proporsional bo'ladi. Bunday  $\mu(N)$  bog'liqlik 7.6 - rasmda keltirilgan.

Ushbu egri chiziqning boshlang'ich nuqtadagi uchi, ferromagnitning magnitlanish jarayonlari  $N$  ning bir oz ortishi evaziga, takrorlanmas darajadagi kuchli magnitlanishni yuzaga keltiradi. Kuchli magnitlanish hududida  $\mu$  ning kamayishi, magnitlanishni to'yinishiga bog'liq.

**Boshlang'ich magnit singdiruvchanlik ( $\mu_b$ )** – ferromagnitning zaif maydonlar ta'sirida magnitlanish xususiyatini tavsillaydi. Uni 0,1A/m gacha bo'lgan kuchlanganlikda aniqlash mumkin.

**Maksimal magnit singdiruvchanlik ( $\mu_{max}$ )** – kordinata boshidan asosga tomon tangens burchak ostida tortilgan magnitlanish egri chizig'iga mos keladi. Maydon kuchlanganligining turlicha  $N_1 < N_2 < N_3 < N_4$  qiymatlarida o'lchangan magnit singdiruvchanlik  $\mu(T)$  ning haroratga bog'liqligi 7.8 - rasmda keltirilgan.



7.8 - rasm. Magnit maydon kuchlanganligi  $N_1 < N_2 < N_3 < N_4$  bo'lganda ferromagnetikda magnit singdiruvchanlik  $\mu$  ning haroratga bog'liqligi.

Kuchli va kuchsiz maydonlarda bog'liqlikning xususiyati turlicha. Boshlang'ich magnit singdiruvchanlik -  $\mu_b$  ( $N_1=0,1$  A/m) da Kyuri nuqtasidan bir oz past haroratda, aniq ajralib turuvchi maksimum qiymatga ega. Kuchli maydonlar ta'sirida  $\mu(T)$ , to'yinish hududida  $N_3$  va  $N_4$  egri chiziqlar botiqroq. Haroratni ko'tarilishi,  $\mu_b$  ning ortishiga olib keladi, natijada kristallografik magnit anizotropiyasini konstantasi va magnitostriksiya (domen chegaralarni qo'zg'alishi va domenlardagi magnit momentlarni burilish kuchini zaflashishi) ga sabab bo'ladi.

Magnit maydonining  $N_1 < N_2 < N_3 < N_4$  turlicha kuchlanganligida Kyuri nuqtasida – ferromagnit holatda paramagnitga o‘tish harorati temir uchun  $T_k = 768^\circ\text{S}$  ni tashkil etadi. Ammo  $700^\circ\text{S}$  da to‘yinish magnitlanishi  $I_m$  haqiqiy magnitlanishni yana taxminan 50% ni tashkil etadi. U holda magnit **anizotropiyasi**<sup>6</sup> konstanta bo‘lib, haqiqatda nolga teng bo‘ladi.

Kyurining eng yuqori nuqtasida  $T_k = 1130^\circ\text{S}$  kobalt, eng past nuqtasida esa  $T_k = 358^\circ\text{S}$  nikel turadi.

Magnit gisterezisi magnit induksiyaning tashqi maydondan ortda qolishi bilan izohlanadi. Agar ferromagnetikda turlicha magnitlantirish sikllari olib borilsa, gisterezis sirtmog‘i yoki gisterezislar sirtmog‘ining sikli deb atalgan berk egri chiziqqa ega bo‘lish mumkin (7.9 - rasm). Turlicha magnitlantirish orqali maksimal induksiya qiymatlariga bog‘liq holda bunday sirtmoqlarni bir qanchasini olish mumkin.

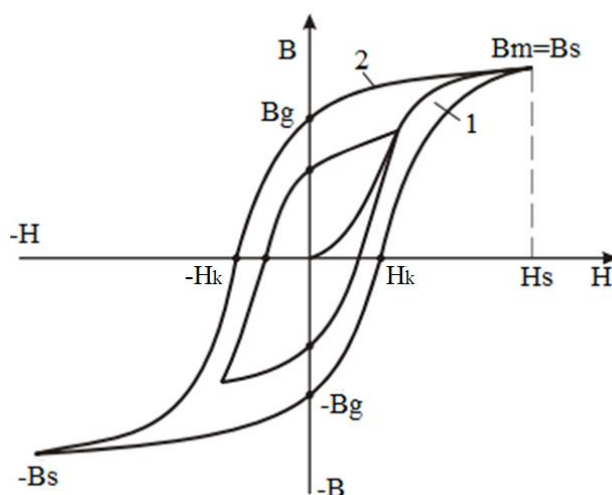
Agar turlicha magnitlantirish paytida maksimal magnitlanish induksiya qiymati, to‘yinishga erishsa  $V_{\max} = V_s$ , u hoda gisterezini cheklangan sirtmog‘i hosil bo‘ladi. Bundan tashqari magnit striksiya -  $B_s$  cheklangan gisterezis halqasi qoldiq induksiya xususiyatiga va **koersitiv kuchga**<sup>7</sup> ega.

Qoldiq induksiya  $V_r$  bu – ferromagnetikni oldindan to‘yinish darajasigacha magnitlashan so‘ng, tashqi maydon ta‘sir yo‘qolgandagi ( $N=0$ ) induksiya miqdori.

---

<sup>6</sup>**Anizotropiya** (grekcha  $\acute{\alpha}\nu\iota\sigma\omicron\varsigma$  — notekis va  $\tau\rho\acute{\omicron}\pi\omicron\varsigma$  — yo‘nalish) — muhitning xilma-xil xususiyati (masalan fizik: elastiklik, elektr o‘tkazuvchanlik, issiqlik o‘tkazuvchanlik, sinish ko‘rsatkichi, tovush yoki yorug‘lik tezligi va h.k.), mazkur muhitning ichidagi turlicha yo‘nalish; izotropiyaning aksi. Muhit bir xususiyatda **izotrop**, boshqalar uchun **anizotrop** bo‘lib, anizotrop darajasi ham farq qilishi mumkin. **Anizotropiya**, xususiy holatida **ortotropiya** (grekchadan *orthos* — to‘g‘ri va *tropos* — yo‘nalish) — muhitning o‘zaro perpendikulyar yo‘nalishlardagi turlicha xususiyati.

<sup>7</sup>**Koersitiv kuch** (lotin tilidan *coercitio* «tutib qolish») — bu ferro yoki ferrmagnitni to‘liq materialni to‘liq magnitsizlantirishga sarflanadigan tashqi magnit maydon kuchlanganlik qiymati.



**7.9-rasm.** Maksimal magnitlanish induksiyasi ( $V_{max}$ ) ta'siridagi gisterezis sirtmog'ini hosil bo'lishi. 1- asosiy magnitlanish egri chizig'i; 2 –  $V_{max}=V_s$  dagi cheklangan gisterezis sirtmog'i.

**Koersitiv kuch,**  $N_k$  - oldindan to'yinish holatigacha magnitlangan ferromagnetikni, induksiyasini, nolgacha so'ndirish (mangitsizlash) ga sarflangan maydon kuchlanganligi.

### 7.5. Magnit isroflari

Ferromagnetikni o'zgaruvchan maydonlarda qayta (takroriy) magnitlash materialning qizishi evaziga qo'shimcha energiya isroflarini yuzaga keltiradi. Qayta magnitlash isroflari, ferromagnetikni takroriy magnitlashga sarflangan elektr tok quvvati miqdoriga teng. Solishtirma isrof - 1 kg ferromagnetikka teng deb qabul qilingan. U gisterezisa va uyurma toklar yig'indisidan tashkil topadi:

$$P = P_g + P_{uy}, \quad Vt / kg$$

Gisterezisga sarflangan isroflar takroriy magnitlash paytidagi qayta tiklaymaydigan jarayonlarga asoslangan. U takroriy magnitlashga erishish paytidagi tok chastotasi va maksimal induksiyaga proporsional bo'ladi.

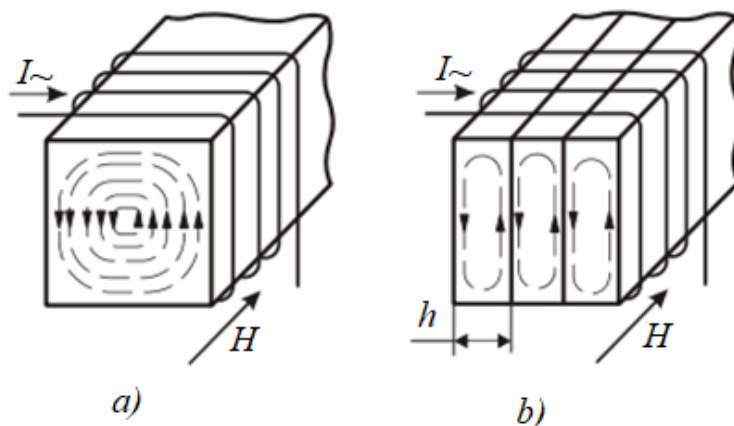
$$P_g = \eta \cdot f \cdot B_m^n, \quad (5,6)$$

bu yerda  $\eta$  – materialga bog‘liq bo‘lgan doimiy koeffitsiyent;  $n$  –  $V_m$  ga bog‘liqlik daraja ko‘rsatkichi,  $n = 1,6...2,0$ ;  $V_m$  – maksimal induksiya, Tl;  $f$  – tok chastotasi, Gts.

Takroriy magnitlashda, bir sikl davomidagi gisterezis isroflari, gisterezis sirtmog‘i yuzasiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi. Uyurma tok isroflari, o‘zgaruvchan magnet maydonidagi o‘zak massasida yuzaga keladigan elektr yurituvchi kuch va uyurma toklarga bog‘liq. Uyurma toklar magnet maydoniga perpendikulyar holatda joylashgan tekislik yuzasida paydo bo‘ladi (7.10-rasm). Varaqli (plastinka shaklidagi) materialdan yasalgan o‘zak uchun uyurma tok isroflari quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$P_B = 1,64 \frac{B_m^2 \cdot f^2 \cdot h^2}{d \cdot \rho}, \quad (5,7)$$

bu yerda  $h$  – varoqni qalinligi;  $d$  – materialni zichligi;  $\rho$  - o‘zak materialini solishtirma elektr qarshiligi.



**7.10-rasm.** Ko‘ndalang kesim yuzali ferromagnit o‘zakdagi uyurma toklar sxemasi:  
a – yaxlit yuzali; b – yig‘ma yuzali.

Gisterezis isroflari birinchidan tokning chastotasiga, uyurma toklar isrofi esa chastotaning kvadratiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi. Shu sababli yuqori chastotadagi isroflar miqdori (80-90%) ni uyuma toklar isrofi tashkil etadi. Uyurma tok isroflarini kamaytirish uchun o‘zak bir biridan izolyatsiyalangan yupqa varoqlardan va yuqori solishtirma elektr qarshilikka ega bo‘lgan materialdan yig‘iladi. Turlicha metallarni

qayta magnitlash isroflari, aniq qiymatdagi magnit induksiyasi va tok chastotasi haqidagi ma'lumotlar elektr texnik lug'atlarda berilgan. Masalan:  $R_{1,0/400} = 0,1 \text{ Vt/kg}$ ,  $V_m = 1,0 \text{ Tl}$  va  $f = 400 \text{ Gts}$  bo'lganda isrof  $0,1 \text{ Vt/kg}$  ni tashkil etadi.

## 7.6. Magnit materiallarning tasnifi

Elektrotexnikada ishlatiladigan magnit materiallar ikkita asosiy guruhga bo'linadi: magnit yumshoq va magnit qattiq.

**Magnit yumshoq materiallar** – zaif koersitiv kuchga va yuqori magnit sindiruvchanlikka ega. Shartli ravishda  $N_{sk} < 800 \text{ A/m}$  bo'lgan materiallar magnit yumshoqqa mansub.

Magnit yumshoq materiallar zaif magnit maydonlarida ham to'yinishgacha magnitlanadi, magnit gisterezisi tor va isrofi qayta magnitlanishda oz.

Magnit yumshoq materiallar elektr mashinalarni magnit o'tkazgichlarini tayyorlashda, transformatorlarini o'zaklari, drossellar, elektromagnitlar va magnit eklanlarni yasashda ishlatiladi. Ular avtomatika tizimlari, hisoblash texnikasi, elektr o'lchash asoboblarida keng joriy etiladi.

Magnit isroflari bo'yicha magnit materiallar tokning chastotasiga bog'liq holda, magnit yumshoq materiallar past chastotali va yuqori chastotalilarga bo'linadi. Past chastotali materiallarda tokni chastotasi ortishi bilan, oz solishtirma elektr qarshilik  $\rho = 0,1 \dots 0,5 \text{ mOm.m}$  evaziga magnit isroflar keskin ortadi. Shu sababli ular past va o'rta chastotalarda qo'llaniladi.

Yuqori chastotali magnit yumshoq materiallar katta solishtirma elektr qarshilikka  $\rho = 10^2 \dots 10^{10} \text{ Om.m}$  ega bo'lib, tok chastotasi ortganda oz miqdordagi o'zgaruvchi zaif magnit isroflar yuz beradi. Shu sababli ular yuqori chastotali qurilmalarda qo'llaniladi.

**Magnit qattiq materiallarga** – koersitiv kuchi  $N_k > 4 \text{ kA/m}$  katta bo'lgan materiallar kiradi. Ularda magnitlanish kuchi uzoq vaqt saqlanadi va magnitsizlantirish qiyin, gisterezis sirtmog'i og'ishgan va keng. Magnit qattiq materiallar tuli maqsadlarda ishlatiladigan qattiq magnitlarni yasash va ma'lumotlarni magnit yozishda ishlatiladi.

Magnit yumshoq -  $N_k < 0,1$  A/m; magnit qattiq -  $N_k > 1000$  kA/m yaxshi magnit materiallar hisoblanadi.

## 7.7. Magnit yumshoq materiallar

### 7.7.1. Magnit yumshoq materiallarning asosiy xususiyatlari

Magnit yumshoq materiallarning asosiy tavsifi quyidagilardan iborat:

- boshlang'ich magnit singdiruvchanlik -  $\mu_n$ ;
- maksimal magnit singdiruvchanlik -  $\mu_{max}$ ;
- to'yinish magnit induksiyasi -  $V_s$ ;
- Koersitiv kuch -  $N_s$ ;
- Ortiqcha magnitlanish isroflari -  $R$ ;
- Solishtirma elektr qarshilik -  $\rho$ ;

Magnit yumshoq materiallar uchun katta miqdordagi magnit singdiruvchanlik, to'yinish induksiyasi, solishtirma elektr qarshilik, va juda oz miqdordagi koersitiv kuchlar, magnit isroflariga ega bo'lish muhim.

Kristallik tuzulishdagi nuqsonlar va yot aralashmalar, kristallik panjara shaklining buzulishi oqibatida magnit singdiruvchanlik ( $\mu$ ) ning pasayishiga va koersativ kuch ( $N_s$ ) ning ortishiga ko'maklashadi. Ayniqsa material tarkibiga kiritilgan mayda zarrachali aralashmalarining ta'sirlanishi ortadi. Magnit yumshoq materiallar uchun bir fazali qattiq aralashma tarkibli moddalar moyilligi yuqori bo'lgan materiallar sanaladi. Zarrachalardagi donachalar qachalik yirik bo'lsa magnit singdiruvchanlik ( $\mu$ ), to'yinish magnit induksiyasi ( $V_s$ ) shunchalik katta va koersativ kuch ( $N_s$ ) va magnit isroflari shunchalik past qiymatda bo'ladi.

Kuchlanish ostidagi deformatsiyalanish holat defektlar sonining ortishiga va panjaraning buzulishini va donachalarning maydalanib ketishiga olib keladi. Natijada magnit singdiruvchanlik ( $\mu$ ) keskin pasayadi, koersativ kuch ( $N_s$ ) ortadi.

Buning oldini olish uchun eng yaxshi ishlov berish usuli bu toblash hisoblanadi. Toblash paytida ta'sir etuvchi kuch zaiflashadi, nuqsonlar zichligi zaiflashadi, yirik donachali teng massali zarrachalar hosil bo'ladi. Natijada magnit xususiyati



yaxshilanadi: magnit singdiruvchanlik ( $\mu$ ), to‘yinish magnit induksiyasi ( $V_s$ ) ortadi va koersativ kuch ( $N_s$ ) zaiflashadi.



Past chastotali neodim magnit kolonkalar

### 7.7.2 Past chastotali magnityumshoq materiallar

Past chastotali magnit materiallarga quyidagilar kiradi:

- temir (texnik, elektrolitik, karbonilli);
- elektrotexnik po‘lat (ligerlanmagan va ligerlangan);
- premalloy (Fe - Ni quymalari);
- Alsifer (Al-Si-Fe quymalari);

Temir va elektrotexnik po‘lat yuqori induksiya to‘yinishli materiallar safiga kiradi, premalloy va alsifer – yuqori singdiruvchanlik xususiyatiga ega materiallar turkumiga kiradi.

Past chastotali magnit yumshoq materiallarning asosiy tavsifi va qiymatlari haqidagi ma’lumotlar 7.2 – jadvalda keltirilgan.

### 7.2 - jadval.

#### Past chastotali i magnit yumshoq materiallarning tavsifi va asosiy qiymatlari

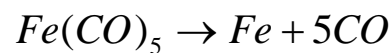
T.R	Material	$\mu_{boshlang'}$	$\mu_{max}$	$N_s$ , A/m	$V_b$ , Tl	$\rho$ , $mkOm \cdot m$
1.	Texnik temir	400	4000	50÷100	2,2	0,1
2.	Elektrolitik temir	600	15 000	30	2,2	0,1
3.	Karbonilli temir	3000	20 000	6,4	2,2	0,1
4.	Toza temir monokristali	20 000	$1,4 \cdot 10^6$	0,8	-	0,1
5.	Elektrotexnik po‘lat	200÷600	3000÷8000	10..65	2,0	0,25÷0,6
6.	Past nikelli permalloy	4000	$(15 \div 60) \cdot 10^3$	5÷30	1,0..1,6	0,45÷0,9
7.	Yuqorinikelli permalloy	$7 \cdot 10^3 \div 10^5$	$10^4 \div 3 \cdot 10^5$	0,65÷5	0,65÷1,05	0,16÷0,85

8.	Supermalloy: 79NM; 79%Ni;5%Mo, 15%Fe, 0,5%Mn	100 000	$1,5 \cdot 10^6$	0,3	0,8	0,6
9.	Alsifer 5,6%Al,9,5% Si+Fe qoldig'i	35400	117000	1,8	-	0,8

**Temir** aksariyat magnit materiallarning tashkil etuvchisi hisoblanadi. Temir sodda tuzulishga ega bo'lishiga qaramasdan, magnit materiallar orasida eng yuqori magnit to'yinish xususiyati mavjud. Uning magnitlanish xususiyati tarkibida mavjud bo'lgan aralashmalar miqdoriga bog'liqdir. Eng yuqori magnitlanish xususiyatini tarkibidagi aralashmalari 0,05% li elektrolitik temir karbonati namoyon etadi. Texnik temirda aralashmalar miqdori 0,1% gacha bo'lishi mumkin.

**Elektrolitik temir** temir xloridi yoki xlorid kislota tarkibidan elektroliz usulida olinadi.

Karbonal temir – yupqa poroshok holatida temir pentokarbonilida termik parchalash usulida olinadi:



Ushbu materiallardan elektr uskunalarning o'zaklari yasaladi.

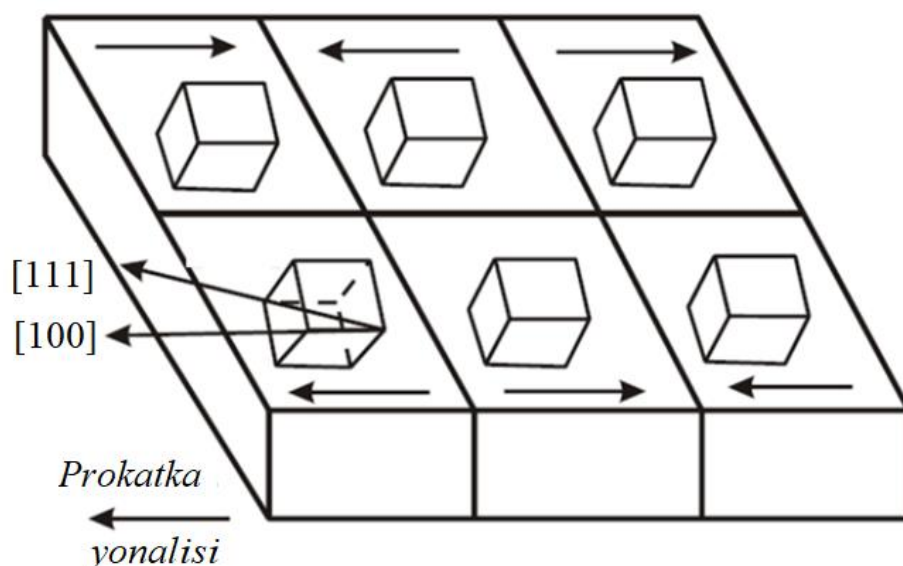
**Kremniyli elektrotexnik po'lat** magnit yumshoq material hisoblanadi u elektrotexnika sanoatida keng qo'llaniladi. Asosiy ligerlovchi elementni kremniy tashkil etadi. Kremniy po'latning solishtirma elektr qarshiligini oshiradi va u, uyurma toklar miqorini kamaytiradi. Bundan tashqari kremniy donachalar o'lchamani yiriklashtirish, magnit singdiruvchanlik ( $\mu$ ) ni orttira, koersativ kuch ( $N_s$ ) pasaytirish imkonini beradi. Shu bilan birga kremniyning po'latdagi magnit singdiruvchanlikka ijobiy ta'sirini magnit anizotropiyasi va magnitstriksiyasi pasayishidan ham sezish mumkin. Elektrotexnik po'lat ligerlangan va ligerlanmaganga ajraladi. Ligerlanmagan elektrotexnik po'latda  $Si < 0,4\%$  ni tashkil etadi.

Ligerlangan elektrotexnik po'latda  $Si < 5,0\%$  ni tashkil etadi. U qalinligi 1 mm li lenta (tasma) yoki list shakida tayyorlanadi.

Kremniyli po‘lat toza temir singari magnit anizotropiyasiga ega: yengil magnitlanish yo‘nalishi - 100, qiyin magnitlanish yo‘nalishi - 111 ga teng.

Po‘latni sovuq prokatlash, so‘ngra vodorodda toblash usuli bilan magnit teksturasini hosil qilinadi va uning tarkibi bir necha marta yaxshilanadi.

Prokatlash natijasida po‘lat tarkibida magnit kuch chiziqlari ma‘lum tomonga yo‘naltirilgan donachalar hosil bo‘ldi. Po‘lat harorati 900...1000 °S da toblanganda yirik donachalardagi magnit kuch chiziqlari biror bir tomonga (prokatka yo‘nalishi tomonga) yo‘nalitiriladi. Ya‘ni qavariq yuzali (qovurg‘ali) material hosil bo‘ladi (7.11–rasm).

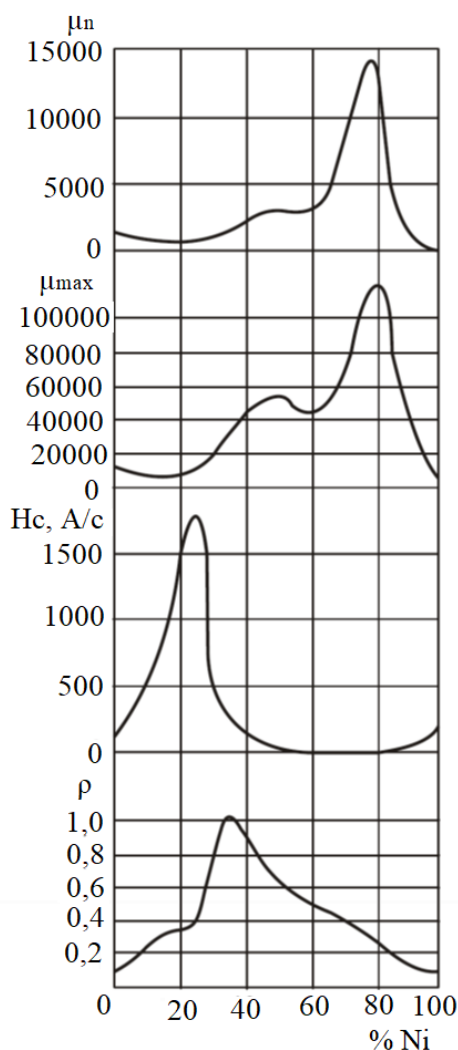


7.11 – rasm. Qavariq yuzali (qovurg‘ali) sovuq prokat kremniyli po‘latdagi donachalarning magnit yo‘nalish sxemasi

Qavariq yuzali po‘lat kuchli magntlanish xususiyatiga ega. Bunday materiallarda gisterezis tuguniga va egri chizig‘iga sarf bo‘luvchi isrof miqdori ham past darajada. Qavariq yuzali po‘latdan yasalgan quvvat (kuch) transformatorlarining o‘zaklari 20..25% ga, radio transformatorlarda 40% gacha massa va o‘lchamlarni kichraytirish imkoniyatini beradi.

**Permalloy** – temir va nikel qotishmasidan vujudga keladi. Elektrotexnika sanoatida past (oz) nikelli (tarkibidagi  $Ni$  - 50%) va yuqori nikelli premalloylar ishlatiladi.

7.12 – rasmda magnit singdiruvchanlik ( $\mu$ ), koersativ kuch ( $N_s$ ) ning nikel miqdoriga bog‘liqligi tasvirlangan.



7.12 – rasm. Permalloydagi magnit xususiyatining nikel miqdoriga bog‘liqligi

Permalloyning quyidagi markalari mavjud: 45N, 50N, 42NS, 50NXS, 76NXS, 79NM, 50NP, 65NP va h.k. Sonlar material tarkibidagi nikelning foizdagi miqdorini anglatadi. Harfiy belgilanishlar: N – nikel, X – xrom (1...3%), S – kremniy (1...2%), D – mis 95-14%), M – molibden (3-5%), P – gisterezisning to‘g‘ri burchakli (to‘rtburchak) halqasi. Kremniy va xrom solishtirma qarshilik –  $\rho$  ni oshiradi. Molibden  $\mu$  va  $\rho$  ni oshiradi, deformatsiyaga sezgirlikni pasaytiradi. Mis  $\mu$  ning harorat o‘zgarishdarida o‘zgarmasdan qolishini ta’minlaydi.

Permalloylarda, zaif maydonlar va kuchsiz koersitiv kuch ta’sirida yuqori magnit singdiruvchanlik xususiyati mavjud. Magnit striksiyasi va magnit

anizotropiyasini - doimiy nol qiymatda konstanta qolishi permalloylarni yuqori magnitlanishini ta'minlaydi. Permallyaylarni magnit xususiyati shundari, ular kuchlanish va deformatsiya o'zgarishlariga o'ta sezgir. Shu sababli termik ishlov berish jarayonida, bir xil o'lchamli, teng vaznli, tarkibi toza, qattiq va yirik donali aralashmalarini olishga qat'iy e'tibor beriladi. Bundan tashqari elektrotexnik qurilmalarda permalloyli o'zaklarni mexanik ta'sirlardan himoyalash uchun maxsus choralar ko'riladi. Maxsus termik ishlov berilganligi sababli **supermalloy 79HM (7.2-jadval)** o'ta yuqori magnit sindiruvchanlik xususiyatiga ega. Magnitostriksiya ta'sirini yo'qotish uchun uni vakuum yoki vodorodni ichida 1100...1200<sup>0</sup>S gacha qizdirilib 3...5 soat vaqt davomida asta-sekinlik bilan 20...50 <sup>0</sup>S kuchsiz maydonda sovutiladi.

#### **Permallyoylarning xususiyati:**

- nikelga boy permalloyni  $\mu_n$  va  $\mu_{max}$  yuqori va  $H_k$  past, bu undagi magnit striksiya va magnit anizotropiya nol qiymatli konstrantadan iboratligiga bog'liq;
- nikeli oz permalloylarda to'yinish induksiyasi yanada yuqoriroq (1,5 marta), solishtirma qarshilik  $\rho$  juda past (qariyb 3 marta).  $\rho$  ni kichikligi, uyurma toklarda isrof yuqoriligidan dalolat beradi va shu sababli ularga oddiy termik ishlov berish yetarli.

Permallyoylar avtomatika sohasida, hisoblash texnikalarida, turlicha tipdagi va maqsaldagi kichik o'lchamli transformatorlar, relelar, magnit kuchaytirgichlar, kontaktsiz qayta ulagichlar, magnit ekranlar va boshqalarni yasashda keng qo'llaniladi.

**Alsifer** – uchta metall Al-Si-Fe aralashmasidan hosil qilinadi. Alsiferni mutanosib tarkibi 5,6%Al , 9,5%Si, 84,9%Fe. O'zining magnit xususiyatlari bilan alsifer yuqori nikelli permalloydandan qolishmaydi. Alsifer yuqori musahkamlik va mo'rtligi bilan ajralib turadi. Alsifardan elektrotexnik qurilmalarning qalinligi 2.3 mm li magnit himoyali qobiqlari quyiladi. Alsifer maydalangan kukun holatida korbniilli temir bilan bir qatorda yuqori chastotali preslangan o'zaklar tayyorlashda ham ishlatiladi.

### **7.7.3. Yuqori chastotali magnit yumshoq materiallar**

Yuqori chastotali magnit yumshoq materiallarga magnitodielektriklar va ferritlar mansub. Yuqori chastotadagi magnit isroflar asosan, relaksatsiya va rezonans hodislariga asoslangan. Ruxsat etilgan chastota oralig'i (diapazon) ni asoslashda **kritik chastota**  $f_{kr}$  tushunchasi kiritilgan va unda  $tg\delta = 0,1$  ga teng.

Chastota oraliqlari:

- past radiochastotalar – PCh ( $f_{kr} = 0,1 \dots 20$  MGts);
- yuqori radiochastotalar YuCh ( $f_{kr} = 30 \dots 300$  MGts);
- yuqori ( $< 800$  MGts) va o'ta yuqori ( $\geq 800$  MGts) chastotalar.

Tovush diapazonida va ultra chastotalardagi o'rtacha va kuchli maydonlarda va  $\mu_n = 400 \dots 2000$ , rulon shaklida o'raladigan  $h = 25 \dots 30$  mkm yupqa kremniyli po'latlar va  $h = 2 \dots 3$  mkm) permalloylar ishlatiladi.

**Magnit dielektriklar** deb, kukun shaklidagi, dielektrik bog'lanishi (fenolformaldegid qatroni, polistirol, shisha va h.k) bo'lgan yuqori singuvchan (alsifer, karbonil temir, permalloy) kompozit materiallarga aytiladi.

Dielektrik ferromagnetik kukuni donachalarni mustahkam turib turgan holda donachalardan yaxlit plenkani hosil qiladi. Magnitodielektrikdagi umumiy isroflar magnit va dielektrik isroflar yig'indisidan iborat. Isrofni kamaytirish uchun, ayniqsa uyurma toklardan himoyalashda, ferromagnetikni bir-birida ishonchli izolyatsiyalangan mayda kukunidan foydalanish kerak. Karbonli temir kukunini o'rtacha o'lchami  $1 \dots 5$  mkm bo'ladi.

Karbonil temir asosidagi o'zaklar, talab darajasidagi mustahkamlik, oz isrof, musbat haroratdagi magnit singdiruvchanlik koeffitsiyenti va yuqori chastota diapazonida ishlatiladi.

Assifer kremniy va alyuminiyni miqdoriga bog'liq holda, magnit singdiruvchanlikni harorat koeffitsiyenti  $\alpha_\mu$  musbatdan, manfiy qiymatgacha o'zgartirish va o'zakda termostabillik xususiyatini uyg'otishi mumkin.

Supermalloy asosidagi 79NM magnitodielektriklarda boshlang'ich zaif magnit singdiruvchanlik bo'ladi. Ularning magnit singdiruvchanligi  $\mu$  alsiferlar bilan teng bo'lsada, magnit isroflari oz, parametrlarni turg'unligi (stabiilik) yuqori.

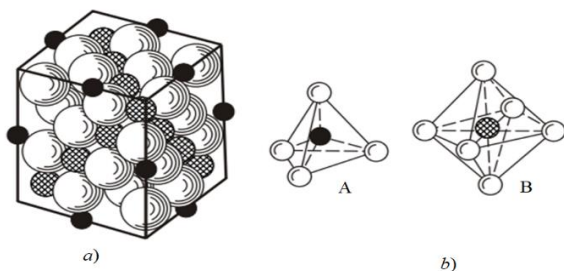
Magnit dielektriklar uchun unchalik yuqori bo‘lmagan magnit singdiruvanlik  $\mu_n = 10 \dots 250$  xususiyati ustivor, haroratni yuqori ishchi darajasi  $100 \dots 120^\circ\text{S}$ , solishtirma qarshilik  $\rho = 10^2 \dots 10^4 \text{ Om}\cdot\text{m}$  ni tashkil etadi. Ammo magnit xususiyatlarining vaqtga bog‘liq holdagi yuqori turg‘unligi ( $\mu_n$  yillik -  $0,2 \dots 2\%$ ) boshqa magnit yumshoq materiallarga nisbatan magnit dielektriklarning muhim ustundigi hisoblanadi. Magnit dielektriklar induktiv g‘altaklarni filtridagi presslangan o‘zaklarni tayyorlashda, chastota o‘lchagichlar, radio uskunalarni konturlari va boshqlarni tayyorlashda qo‘llaniladi.

**Ferritlar** – oksidli materiallar bo‘lib, ularda domenlarning spontan magnitlanishi, kompensatsiyalanmagan antiferromagnitlanishga asoslangan. Tarkibida tabiiy shpinel minerali bo‘lgan ferritlar amaliyotda keng qo‘llaniladi. Ferritlarning umumiy formulasi:



bu yerda Me - 2-valentli metall (Ni, Mg, Zn, Mn va boshqalar).

Shpinelning elementar yacheykasi murakkab kub shaklida tuzilgan (7.13-rasm). Unda 8 ta tarkibiy birlik  $\text{MeFe}_2\text{O}_4$ : ya’ni 32 ta kislorod ioni, 16 ta 3 valentli temir va 8 ta 2 valentli metall ioni mavjud.

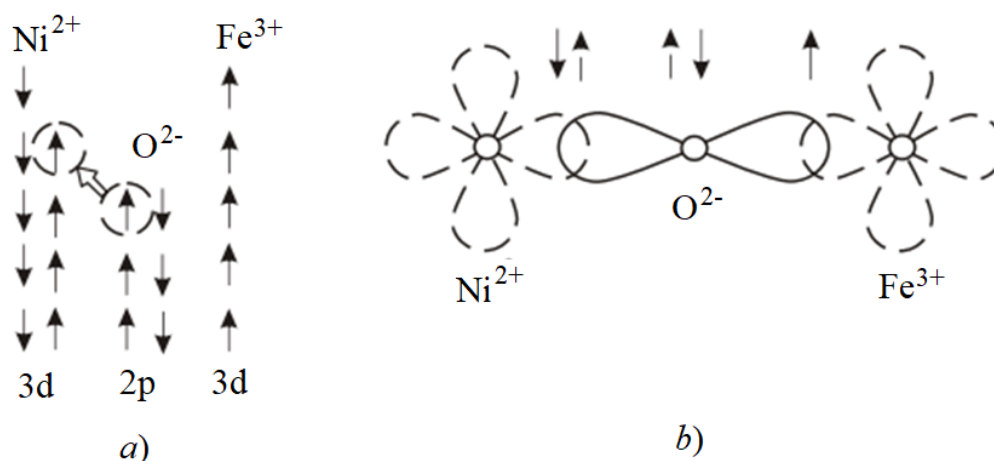


**7.13- rasm.** Shpinelning elementar yacheykalari (a) va kislorodli tugunlar aro bog‘lanish (b) tetraedrik (A) va oktaedrik (V) shakl, markazida - metall kationlari.

Kislorod ionlari kub shaklidagi tig‘iz paketga ega va unda 8 ta tetraedrik (A) va 16 ta oktaedrik (V) tugunlar aro bog‘lanish bo‘lib uning markazida metall ionlari joylashgan.

**Ferromagnetizm hodisasi.** Ferromagnitklarda metallarning magnit aktiv ionlari kislorodni ionlaridan alohida joylashgan. Metallardagi ionlar, elektronlar qobig‘i bilan

bogʻlanishda emas, shu sababli ionlar toʻgʻridan - toʻgʻri almashinish jarayolarini amalga oshira olmaydi. **Neyel** tomonidan kashf qilingan **ferromagnetizm** nazariyasiga asosan, ferromagnetiklarda kislorod inolari taʼsir etganda, metall ionlari oʻzaro aloqaga kirishadi. Nikel ferritlarining bilvosita almashinuv jaryoni 7.14-rasmda keltirilgan.



7.14-rasm. Nikel va ferritning bilvosita almashinish sxemasi: a – oʻzaro taʼsirlashuvchi ionlarni tashqi qobigʻini joylashuvi spinlar; b – ionlarni elektron qobigʻining toʻsilishi.

Kislorod anioning 2r-qobigʻi elektronlar bilan toʻliq toʻldirilgan, **spin**<sup>8</sup> (aylanish) momentlari esa juft holatda kompensatsiyalangan. Shu bilan birga nikel va temirning toʻldirilmagan 3d - qobigʻi teng holtada ikki va beshta kompesatsiyalangamagan spinga ega. Ferritning kristallik panjarasida kislorodning diamagnit ioni qoʻzgʻalishi mumkin va elektronlaridan birini oʻziga yaqin turgan kationga, masalan nikelni kationiga  $Ni^{2+}$  beradi deb taxmin qilish mumkin.

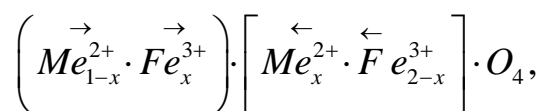
**Paulining** nuqtai nazari boʻyicha, oʻtuvchi elektronni spini, magnit maydonga teskari parallel boʻlishi kerak. Elektronni bergan kislorod anioni, magnit momentga ega boʻladi va qoʻshni kation bilan almashinish jarayonida ishtirok etadi (mazkur holatda - temir kationi bilan). Elektronlar qobilarining kuchli toʻsilishi evaziga

<sup>8</sup>**spin** (ingliz tilidan - *spin*, «aylanish, aylanmoq») — elementar zarrachaning impuls momenti.



$a/d < 1,5$  mazkur o‘zaro almashinish, antiferromagnit xususiyatiga ega. Bunday murakkab elektron jarayonining oxirgi natijasi o‘zaro ta’sirlashuvchi kationlar magnit momentini, antiparallel yo‘nalishda burilishi hisoblanadi.

Ko‘pchilik ferritlarni tarkibida metallning 2 valentli ioni va temirning 3 valentli ioni A va V o‘rinni egallaydi va uni quyidagicha ifodalash mumkin (7.12 - rasm):



Formuladagi dumaloq qavslar tetraedrik (A), to‘rtburchak shaklidagi qavslar esa oktaedrik tugunlar orasidagi ionlarni ifodalaydi, strelkalar ionlarni shartli ravishda magnit yo‘nalishi ko‘rsatadi.

Tarkibiy formuladan ko‘rinib turibdiki ferritning panjaralari, ikkita antiparallel magnitlangan A va V panjarachalar (panjara osti) dan tashkil topgan. Ferritning bunday tarkibi agar, uchta o‘zaro ta’sirlashuvchi ionlar bir to‘g‘ri chiziqda joylashgan bo‘lsa samarali almashinish jarayoni ta’minlanadi (7.13,b - rasm).

Shpinel - ferritining magnitlanishi, ikkita panjara osti magnitlanish farqiga teng:

$$|I_M = I_{mB} - I_{mA}|.$$

**Ferritlarning magnitlanishi xuddi kompensatsiyalanmagan antiferromagnetiklar kabi yuz beradi.** Harorat ortishi bilan ionlar orasidagi o‘zaro almashinish aloqalari zaiflashadi, magnitlanish pasayadi va harorat ma’lum darajaga yetganda butunlay yo‘qoladi. Ferritni paramagnitga o‘tish harorati Nelli nuqtasi yoki antiferromagnitlanish Kyuri (Tk) nuqtasi deyiladi.

**Ferritlarning elektr o‘tkazuvchanligi-** o‘zgaruvchan valentlikdagi ionlarni elektron almashinish jarayoniga asoslangan. Shpinel ferritlarida, temirning 3 valentli ionidan tashqari  $Fe^{3+}$ , doimo 2 ionli temir  $Fe^{2+}$  mavjud. Ikki valentli temir aralashmasi, ferritlarning elektr o‘tkazuvchanligiga ta’sir etuvchi faktor hisoblanadi. Temir ferriti  $Fe_3O_4$  aralashmasida  $Fe^{2+}$  maksimal miqdorda bo‘lib,  $\rho = 5^{10-5}$  Om.m. ni tashkil etadi.

**Ferrogranatlarda**<sup>9</sup> Fe<sup>2+</sup> juda oz miqdorni  $\rho = 10^{10}$  Om.m. ni tashkil etadi. Ferrogranatlarda Fe<sup>2+</sup> qancha yuqori bo'lsa  $\rho$  shuncha past. Elektronlar konsentratsiyasi ferritlarda o'zgarmas, ammo harorat ortishi bilan ionlarning issiqlik harakati ortadi, Fe<sup>2+</sup> ning elektronlari Fe<sup>3+</sup> ko'proq sakrab ularning valentligini pasaytiradi, Fe<sup>2+</sup> ni konsentratsiyasi ortadi,  $\rho$  eksponenta bo'yicha pasayadi:

$$\rho = \rho_0 \cdot \exp[E_0 / kT],$$

bu yerda  $\rho_0$  - ayni olingan ferrit uchun doimiy kattalik;  $E_0 = 0,1 \dots 0,5$  eV – elektr o'tkazuvchanlikning faollashgan energiyasi.

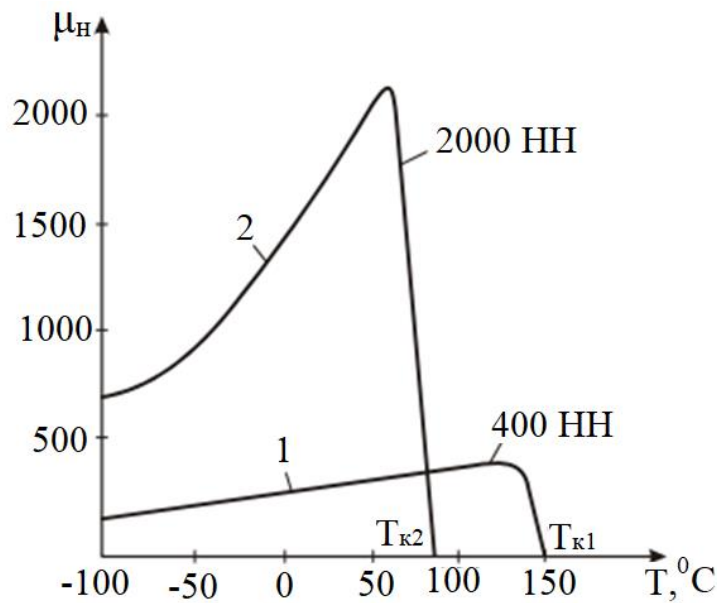
$\rho$  ni pasayishi magnit striksiya va anizotropiyani zaiflashtiradi va bu o'znavbatida  $\mu_n$  otrishiga olib keladi, sha sababli yuqori  $\mu_n$  li ferritlarda  $\rho$  ancha yuqori qiymatda bo'ladi. Tarkib bo'yicha bir guruhga mansub bo'lgan ferritlarda  $\mu_n$ , ortishi bilan Kyuri nuqtasi  $T_k$  pasayadi (7.14-rasm).

#### **Ferritlarni xususiyatlari quyidagilardan iborat:**

- Ferritlar elektr xususiyat bo'yicha dielektrik va p - tipli yarim o'tkazgich hisobanadi ( $\rho = 0,1 \dots 10^{10}$  Om.m).
- magnit isroflari oz;
- radio shaffof;
- mexanik xususiyat bo'yicha – keramika, yuqori qattiqlik va mo'rt;
- ferritlarda tarkibga kuchli bog'liqlik mavjud, disperslik, qaynash rejimi, foydalanish harorati va boshqalar.

---

<sup>9</sup> **Ferrogranatlar, ferritlar** – ittriy va lantanoidlar. Ferrit grantlarni formulasini  $3R_2O_3 \cdot 5Fe_2O_3$  yoki  $R^3 + 3Fe^{3+} + 2Fe^{3+} + 3O_{12} = R_3Fe_5O_{12}$  kabi yozish mumkin. Bu yerda  $R^{3+}$  - uch valentli nodir elementlar (Y, Gd, Td, Dy, Ho, Er, Sm yoki Eu) ni ioni.



7.14 rasm. Nikel-rux ferritlarning boshlang'ich magnit singdiruvchanligini haroratga bog'liqligi.

**Ferritlar** yarim kristalli keramika va monokristallar shaklida olinadi. Magnit xususiyati talab etilgan darajadagi ferritlarni olishda xom ashyoni kimyoviy tozaligiga va dispersligiga qat'iy talablar quyiladi. Ferritli keramikani elektrokeramikadan farqi shundaki, u shisha ko'rinishidagi fazaga ega emas; barcha jarayonlar birikish sintezi paytidagi massa ko'chirish qattiq bo'lgan paytda diffuziya yo'li bilan kechadi.

Mahsulotning shakllanishi, presslash usulida (dastlabki plastik shaklda polivinil sprit va suv aralashmasi bilan ishlov berish) yoki bosim ostida quyish orqali (plastifikator va bog'lovchi parafin) amalga oshiriladi.

Mahsulot 1200...1400 °S haroratda nazoratga olingan gaz muhitida pishiriladi. Pishirish paytida qattiq fazadagi kimyoviy reaksiya tugaydi, material ma'lum shakl va magnit xususiyatiga erishadi.

### **Radio chastotalarda qo'llaniladigan ferritlar**

Yuqori singuvchan ferritlar sifatida nikel – rux va marganets – ruxli ferritlardan foydalaniladi. Ular shpinel tarkibida kristallanadi va qattiq tarkibli aralashma ko'rinishida bo'lib, ikkita  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  va  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  ferromagnetikdan hamda  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  nomagnit oddiy ferrit materialdan shakllanadi. Nikel-rux ferritlar uchun magnit

singdiruvchanlikni maksimal qiymati tarkibdagi elementlar miqdoriga bog‘liq masalan, 50% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 15% NiO va 35% ZnO.

Qattiq aralashmalarni tarkibi Ni<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4-s</sub>X=0,7 ham shunday bog‘iliqlikda bo‘ladi.

**Ferritlarning markasi:** birinchi navbatda boshlang‘ich magnit singdiruvchanlik  $\mu_n$  ni son qiymatiga, so‘ngra chastota diapazonidagi qo‘llanilish – harflari, masalan PCh – past chastotali ( $f_{kr} = 0,1 \dots 20$  MGts), YuCh - yuqori chastotali ( $f_{kr} = 30 \dots 300$  MGts) shaklida bo‘ladi. Udan keyingi harflar, masalan “N” - nikel-rux, “M” – marganets-ruxli aralashmadan tashkil topganligini anglatadi.

Ayrim ferritlarning xususiyati haqidagi ma’lumotlar **7.3 - jadvalda** keltirilgan.

**7.3-jadval.**

**Radiochastotalarda qo‘llaniladigan ferritlar**

No	Marka	$\mu_n$	$\rho$ , Om.m.	$f_{kr}$ , MGts ( $\text{tg}\varphi = 0,1$ )	Ilova
1.	4000 NM	4000	$10^3$	0,1	3 MGts gacha
	1000 NM	1000	$3 \cdot 10^3$	1,0	
	1000 NM3	1000	$10^5$	2,2	
2.	1000 NN	1000	$10^5$	0,4	2 MGts gacha zaif va o‘rtacha maydonlarda
	400 NN	400	$10^6$	2,0	
3.	300 NN	300	$10^8$	0,4	55 MGts gacha
	60 NN	60	$10^8$	2,0	
4.	100 YuCh	100	$10^{10}$	5,0	200 MGts gacha zaif maydonlarda
	30 YuCh2	30	$10^{11}$	5,5	

Marganets-rux ferritlarni magnit singdiruvchanligi va Kyuri nuqtasi bir oz yuqoriroq, lekin solishtirma qarshiligi  $\rho = 10^3 \dots 10^5$  Om.m. bo‘lib u unchalik yuqori emas. Shu sababli ularni 3 MGts gacha bo‘lgan qurimalarda ishlatish mumkin emas. Nikel-rux ferritlarni solishtirma qarshiligi yuqori  $\rho$  ( $10^{11}$  Om.m gacha) va chastotaviy xarakteristikalar ham yaxshi.

## **Yuqori va o'ta yuqori chastotalar (O'YuCh) da ishlatiladigan ferritlar**

Yuqori chastotalarda (800 MGts gacha) litiyli ( $\text{Li}^2\text{O}\cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kobalt-bariyli ( $\text{Co}\cdot\text{Ba}$ )  $\text{O}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  va boshqa o'ta murakkab GPU panjarali ferritlar qo'llaniladi.

Mikroto'lqinlarda (O'YuCh, >800 MGts gacha) diapazonda elektronlar oqimini boshqarish: energiya oqimini bir yo'nalishdan boshqasiga yo'naltirish, tebranishlar fazasini o'zgartirish, qutblanish to'lqinlari yuzasini burish, oqim quvvatini qisman yoki to'liq yutish kabilar kerak bo'ladi.

Elektromagnit to'lqinlar dielektrik bilan to'ldirilgan bo'shliqda tarqalishi mumkin, metallardan esa aksincha to'liq aks etadi. Shu sababli metal yuzalardan to'lqinlarni uzatish va ularning konsentratsiyasi yoki tarqalishi uchun foydalaniladi. O'YuCh dagi elektromagnit energiyasi odatda g'ovak yoki qisman to'ldirilgan qattiq metall quvur, to'lqin uzatgichlar orqali uzatiladi. To'lqin uzatgichlarda energiya oqimlarini boshqarish uchun qattiq materiallar sifatida O'YuCh li ferritlardan va ayrim aktiv dielektrlardan foydalaniladi. O'YuCh dipazonidagi ferritlardan foydalanish Faradeyning magnitoptik ta'siriga va ferromagnit rezonansiga asoslangan.

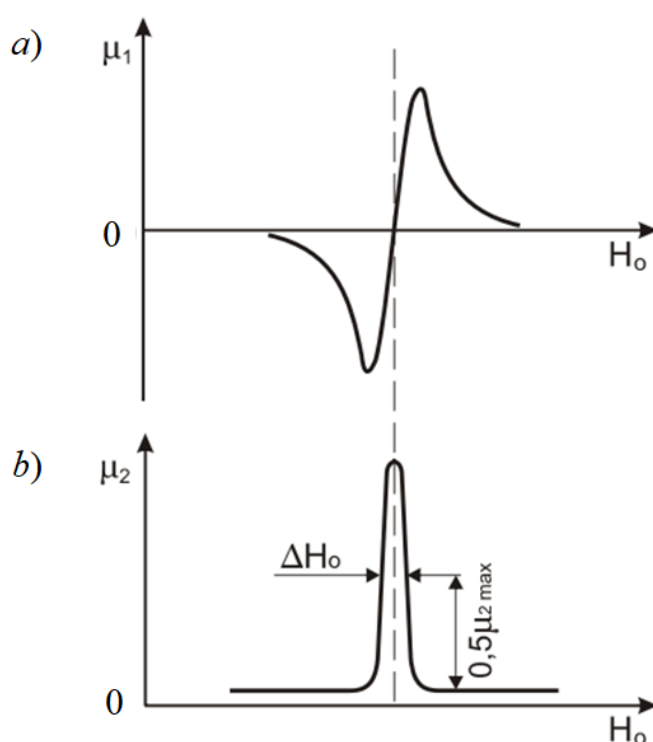
**Faradey ta'siri**, doimiy maydon bilan magnitlangan, ferritda ko'ndalang tarqaladigan yuqori chastotali qutblanish to'lqinlar tekisligining burilishi asosida yuzaga keladi. Burilish burchagi  $\varphi$ , ferrit srejenni uzunligi va magnitlavchi maydon kuchlanganligiga proporsional.

Qutblanish tekisligini talab etiladigan  $\varphi$  burchakka burish uchun kuchlanganlik qanchalik oz bo'lsa, ferrit shunchalik samaraliroq bo'ladi. Bunday ferritlardan, antenna almashtirib ulagich (pereklyuchatel) lar, tsirukyatorlar, O'YuCh energiya oqimlarini alohida to'lqin uzatgichlarga taqsimlovchi faza aylantirgichlarda foydalaniladi.

**Ferromagnit rezonansi** - qayta magnitlanuvchi yuqori chastotali maydonda ferritga o'zgarimas magnit maydon  $N_0$ , perpendikulyar holatda ta'sir etganda, yuzaga keladi. Bu maydon, elektronlarni orbital moment impulsini sekinlashishiga olib keladi va uning chastotasi  $\omega_0$  doimiy magnit maydoni  $N_0$  kuchlanganlikka mutanosib ravishda o'zgaradi. Muayyan  $N_0$  da  $\omega_0$  ning qiymati yuqori chastotali maydon chastotasiga mos bo'ladi va ferromagnit rezonans yuzaga keladi. U ma'lum bir xuddadu  $\mu_1$  ning yuqori chastotali maydon bo'ylab kamayishi va  $\mu_2$  ferrit bo'ylab  $\Delta N_0$  ni o'sishida

kuzatiladi (7.15-rasm). Bu hududda  $tg\delta$  keskin ortadi va qarshi yo‘nalishdagi elektromagnit to‘lqinining energiya oqimlari, to‘liq yoki qisman yutilishi sodir bo‘ladi.

Yuqori chastotali ventillar, tez ishga tushuvchi almashtirib ulagichlar, O‘YuCh quvvat oqimini boshqaruvchi qurilmalar va boshqa uskunalarda ferritlardan foydalanish shunga asoslangan. Ko‘pchilik mikroto‘lqinli konvertorlar rezonansdan oldingi va keyingi hududlarda ishlaydi, shuning uchun tor rezonans chiziqni ( $\Delta N_o$ ) ta‘minlash muhim. Zichlik qanchalik katta va materialning anizotropiyasi qanchalik kichik bo‘lsa,  $\Delta N_o$  shunchalik past bo‘ladi.



**7.15-rasm** Boshqariladigan magnit maydoni kuchlanganligi rezonansida ferromagnitni magnit singdiruvchanligini  $N_o$  ga bog‘liqligi: a -  $\mu_1(N_o)$  – ferritga bo‘ylami (O‘YuCh maydon tarqalish yo‘nalishi); b -  $\mu_2(N_o)$  – ferritga ko‘ndalang holda. Kuchlanganlik  $N_o$ , O‘YuCh maydonga perpendikulyar.  $\Delta N_o$  -rezonans chizig‘iining kengligi.

Mikroto‘lqinli qurilmalarni ferritlari yuqori  $r = 10^8 \dots 10^{11}$  Om.m ga, haroratga bog‘iliq tarkibiy barqarorlik va yuqori Kyuri nuqtasiga ega bo‘lishi kerak.

**Ferritlarning markalanishi:** O‘yuCh: 1 O‘Ch, 2 O‘Ch, 3 O‘Ch...80 O‘Ch kabi bo‘ldi. Raqamlar to‘lqin uzunligini (sm), O‘Ch – o‘ta yuqori chastotani bildiradi.

### **Ferritlarining qo‘llanilishi**

**Tulqin uchunligi:**  $\lambda = 1...3$  sm uchun nikelli, magniy-marganetsli, nikel - magniyli va boshqa ferritlar ishlatiladi.  $\Delta N_0 > 100$  A/m.

$\lambda = 4...10$  sm da tarkibi MgO, MnO, ZnO kabi uch karrali ferritlar va tarkibida CuO va CoO. CuO oksidlari bo‘lgan poliferritlar ishlatiladi. CuO g‘ovaklikni, CoO esa anizotoropiya konstantasini pasaytiradi. Magnitlanish to‘yinishini va magnit isroflarni kamaytirish uchun Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> qo‘shiladi.

$\lambda \geq 10$  sm bo‘lganda 3Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10SCh6, 30SCh3, 40SCh2, 60SCh, 80SCh va boshqa) ferrogranatlar qo‘llaniladi. Polikristall ferrogranatlarni rezonans chizig‘i tor bo‘lib  $\Delta N_0 = 10...100$  A/m ni tashkil etadi. Monokristall ferritlarni nodir xususiyati bor shu sababli rezonans chizig‘i  $\Delta N_0 = 3...8$  A/m ni tashkil etadi va ular 4000...5000 MGts chastotada qo‘llaniladi.

### **7.7.4. Maxsus xususiyatli magnit materiallar**

**Gisterezis sirtmog‘ini to‘g‘ri burchakli (GTTB) magnit materiallar** avtomatik qurilmalar, hisoblash va komp‘ter texnikalarida, telegraf aloqasi qurilmalarida keng qo‘llaniladi.

GTTB materialidan tayyorlangan o‘zaklarning magnit holati ikkita har xil yo‘nalishdagi turg‘un qoliq magnit induksiyaning yo‘nalishiga bog‘liq bo‘ladi.

Aynan shu xususiyat sababli ulardan, ikkilangan ma‘lumotlarni saqlash va qayta ishlashda foydalaniladi. Ma‘lumotni yozish va o‘qish, impuls toki yordamida, o‘zakni bir magnit holatdan boshqasiga o‘zgartirgan holda almashtirib, talab etiladigan magnit maydon kuchlanganligini hosil qilish orqali amalga oshiriladi.

GTTB magnit o‘zaklardagi ikkilangan elementlar yuqori ishonchlilik, kichik o‘lcham, arzon qiymat va ko‘rsatkichlarining doimiyliги bilan ajralib turadi. Ular cheksiz xizmat muddatiga ega va yozilgan ma‘lumotlarni elektr ta‘minot manbaidan ajralgan holda uzoq saklaydi. Ulardagi to‘g‘ri burchaklik koeffitsiyenti  $\alpha = V_r/V_m = 0,9$  ni tashkil etadi va yuqori tezlikda ishlaydi.

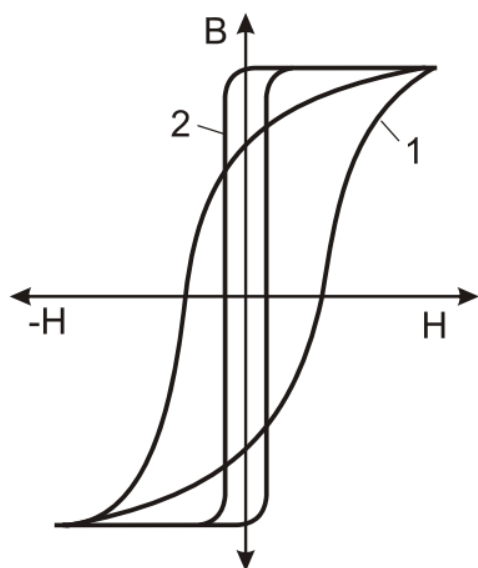
Magniy-manganetsli va litiyli ferritlar eng ko'p qo'llaniladi. Eng yaxshi xususiyatlar  $MgO \cdot 3MnO \cdot 3Fe_2O_3$  tarkibli ferritlarda hamda tarkibida qo'shimcha rux oksidi, kalsiy, litiy kabi poliferitlarda bo'ladi.

Spontan to'g'ri burchakli giserezis sirmog'ini hosil bo'lish xususiyati ferritlarga xos. Magnitlanish xususiyati, quyishdan keyingi magnitostriksiya jarayonlari natijasidagi bevosita sovutish paytida shakllanadi. Hisoblash texnikasidagi ferritdan tayyorlangan usukunalar yupqa plenka va qavatli matritsalar shaklida tayyorlanadi, ular kichik o'lchamli bo'lganligi sababli tez ishlaydi.

**Ferritlarning markalari va qo'llanilishi.** 10VT, 30VT 56VT ferritlardan  $T_k = 115 \dots 160$  °S da ishlovchi almashlab ulash qurilmalarida foydalaniladi. 100VT, 140VT, 180VT ferritlar  $T_k = 160 \dots 230$  °S da ishlaydi va eslab qolish, xotira qurilmalarida ishlatiladi. Raqamlarning ma'nosi koersativ kuch qiymati A/M, harflar esa VT – hisoblash texnikasi.

Ferritlardan tashqari, lentasini qalinligi 1,5...3 mkm (mikron) li permallaylarni 50NP, 65NP va 79NMP markali o'zaklari ishlatiladi.

Gisterezisni to'g'ri burchakli sirtmog'i kristallografik **tekstura**<sup>10</sup>, kuchli bosim ostida materialni qisish yoki materialni termomagnet ishlov berish orqali magnet tekstura hosil qilinadi (7.16-rasm).



**7.16-rasm.** Permalloy 65NP ni gisterezis sirtmog'i: 1 – termomagnet ishlov berishgacha, 2 – ishlovdan so'ng.

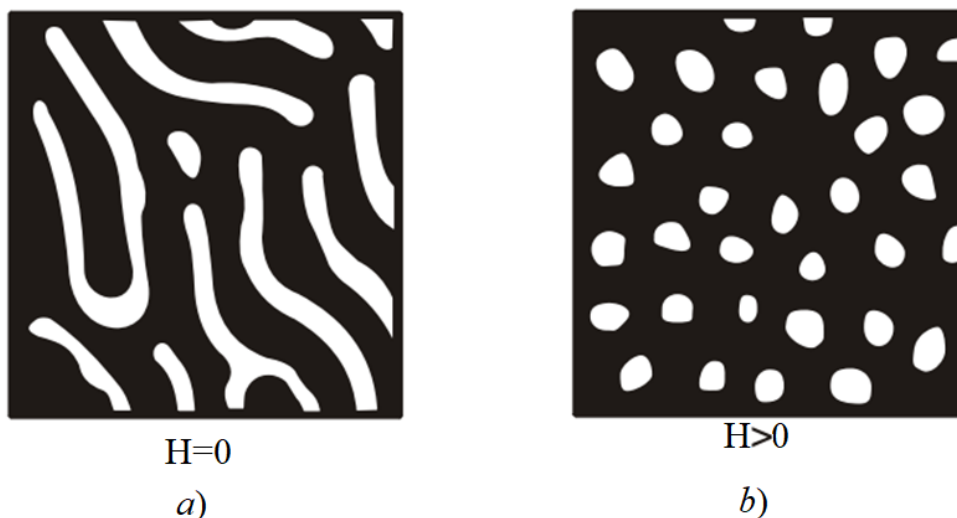
<sup>10</sup> **Tekstura** – polikristallni kristallik panjarasidagi zarrachalarni burilish yo'nalishi. Metall materiallarida kristallanish, plastik deformatsiya, rekristallizatsiya va boshqa shunga o'xshash ishlov berish jarayonidan so'ng hosil bo'ladigan izlar.



Anizotrop lentadan tayyorlagan 1,5 mkm li o‘zak 1 MGts gacha chastotada ishishi mumkin. Ferritlarga nisbatan permalloydan tayyorlangan o‘zak yuqori **Kyuri** nuqtasiga 400...630 °S ga va barqaror harorat ega bo‘ladi. Ammo uni tayyorlash texnologiyasi o‘ta murakkab va qimmat.

### Yupqa magnit plyonkalarining domen tarkibi

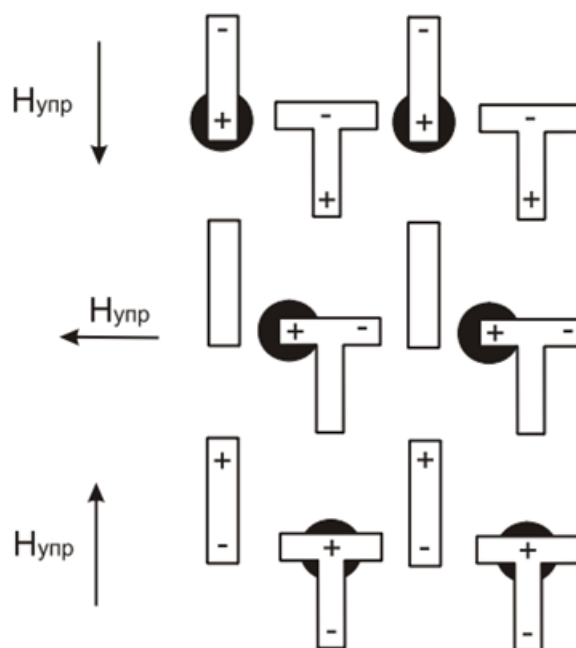
Ferrit plyonkalarining bir o‘qli magnit anizotropiyasi juda qiziq, bitta yengil magnitlanish o‘qi plenkaning yuzasiga perependikulyar yo‘nalgan bo‘ladi. Tashqi maydon bo‘lmaganda plenka labirint domen tarkibli bo‘ladi (7.17, a – rasm), yorug‘ va qorong‘u bo‘limlar – bu qarama-qarshi spontan magnitlangan domenlar hisoblanadi. Tashqi magnit maydonda yengil magnitlanish o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan kuchlanganlik silindrik magnit domenlar (SMD) ni hosil qiladi (7.17, b – rasm). Maydon katta kuchlanganda, plenka birlamchi magnitlanadi va SMD yo‘qoladi.



7.17-rasm. Yupqa magnit plenkalardagi domen tarkiblar

SDM magnit maydoni kuchlanganligining belgilangan oralig‘ida mavjud bo‘ladi. Ular xotirada saqlavchi logik elementlarni yasashda ishlatiladi. Ko‘pchilik holatlarda (turli ferritlarda) o‘nlab va yuzlab mikrometrlarni tashkil etadi. Ferrogranat plyonkalarda SMD ni chiziqli o‘lchami mikrometrga teng. SMD ni ko‘chishini boshqarish va sanash generatsiyasi uchun usul ishlab chiqilgan. Boshqarish magnitostatik tutqichlar yordamida ferrit plyonka yuzasiga ma‘lum shaklga ega

bo‘lgan permalloy aplikatsiyalarni surtish orqali amalga oshiriladi (7.18 - rasm). Plyoka tekistligi yuzasiga ta’sir etuvchi maydon yo‘nalishini o‘zgartirib, aplikatsiya elementlaridagi magnet zaryadlar qutbini o‘zgartirish mumkin. Qutblar qutbini shartli «+» va «-» qilib belgilangan. Plyonka yuzasiga SMD manfiy holatda chiqadi va ya’ni aplikatsiya elementlarining musbat zaryadiga tortiladi deb faraz qilish mumkin.



7.18- rasm. Silindrik magnet domenlari (SMD) ni permalloy aplikatsiyalar yordamida boshqarish sxemasi

Boshqaradigan kuchlanganlik maydon  $H_{boshq}$  ni kommutatsiyalash paytida SDM bir aplekatsiyadan boshqasiga o‘tadi. Ma’lumotlarni **Xoll** datchiklari yoki elektr qarshiligi magnet maydonida o‘zgaruvchi magnet rezistorlar yordamida o‘qish mumkin.

Silindrik magnet domenlardan yasalgan qurilmalar katta ma’lumot xotirasi va oz quvvat iste’moli bilan ajralib turadi.

### **Magnitstriksion materiallar.**

Magnitstriksion materiallardan foydalanish magnet striksiya va mangit elastiklik hodislariga asoslangan. Ya’ni jism o‘lchamlarini magnet maydoni ta’sirida o‘zgarishi

va mexanik ishlov berilganda magnit xususiyatlarini o'zgarishi. Magnit striksiya materiallarning quyidagi magnit xususiyatlarini ahamiyati juda katta: Magnit striksiyaning konstantalari  $\lambda_s$ , induksiya  $B_s$ , koersitiv kuch  $H_c$ , Kyuri nuqtasi harorati  $T_k$  ( $T_k$  qanchalik katta bo'lsa, doimiylik xususiyati shunchalik yuqori). Magnit striksiyali materialning oliy sifatli magnit striksiya doimiyliги  $a = \sigma/B$ ,  $\sigma$  – kuchlanish, Pa;  $V$  – mazkur kuchlanishga mos keluvchi induksiya, Tl.

Magnit striksion doimiylik qiymati  $a$  ni, o'zakni magnitlash jarayonidagi belgilangan deformatsiya qiymati (dastlabki holatda o'zak qattiq qisilgan) asosida aniqlanadi. Xususiyat qancha yuqori bo'lsa material shuncha yaxshi bo'ladi. Magnit striksion material sifatida metall qotishmalar va ferritlar ishlatiladi (24- jadval).

#### 7.4-jadval

#### Magnit striksiyali qotishmalarning xususiyati

T.R	Markasi, tarkibi %	$\lambda_s \cdot 10^6$	$B_s$ , Tl	$H_c$ , A/m	$T_k$ , °S	$a \cdot 10^7$ Pa/Tl
1.	49K2F (49S <sub>0</sub> , 2V, Fe)	70	2,4	140	980	2,2
2.	65K (65S <sub>0</sub> , Fe)	90	2,2	100	980	1,5
3.	14Yu (14Al, Fe)	40	1,2	25	500	1,2
4.	12Yu (12Al, Fe)	40	1,6	10	600	0,9

Temir kobalt va temir alyuminiy qotishmalarning kamchiligi mexanik ishlov berishni qiyinlashtiruvchi past kayishqoqlik, va ularni suvli muhitda ishlatishga to'sqinlik qiluvchi zaif antikorroziya xususiyati hisoblanadi. Yuqori chastotali magnitstriksion qurilmalarda ferritli keramika keng qo'llaniladi.

Matalli qotishmalar bilan taqqoslanganda magnit striksiyali **ferritlarni bir qancha ustun tomonlari** namoyon bo'ladi:

- juda zaif magnit isroflar va yuqori  $\rho$ ;
- ferritli keramika muhitning agressiv ta'sirlariga chidamli;
- ferritli keramikadan har qanday o'lchamdagi va shakldagi o'zgartirgichlarni yasash imkoniyati;

Magnitstriksiya ferritli keramika deganda,  $\lambda = -25 \cdot 10^{-6}$  bo'lgan va tarkibi toza nikel ferriti ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ), yoki nikel ferrit aralashma, kobalt, misli qotishmalar nazarda tutiladi.

Magnit striksiyali materiallardan elektromexanik o'zgartirgichlarni o'zaklari, elektroakustik va ultratovush texnikasi uchun (emitterlar va yutgichlar), elektromexanik va magnit striksion filtrlar, va rezanatorlarni kechikish liniyalari uchun o'zaklar yasaladi. Ulardan avtomatika va o'lchov texnikasi magnit o'zgartirgichlarini sezgir elementlari sifatida foydalaniladi.

## **7.8. Magnit qattiq materiallar**

### **7.8.1. Magnit qattiq materiallarning asosiy xususiyatlari**

Magnit qattiq materiallarning asosiy xususiyatlarini quyidagilar tashkil etadi:

- maksimal miqdordagi magnit energiyasi  $E_{\max}$ ,  $\text{kJ/m}^3$ ;
- koersitiv kuch  $N_s$ ,  $\text{kA/m}$ ;
- qoldiq induksiya  $B_r$ , Tl;
- magnitsizlanish xususiyati shaklini tafsillovchi ( $\eta_v < 1$ ) qavariqlik koefitsiyenti  $\eta_v$ ;

Koersitiv kuch  $N_s$ , qoldiq induksiya  $B_r$  qanchalik katta va qavariqlik koefitsiyenti  $\eta_v$  birga yaqin bo'lsa, magnitning energiyasining maksimal qiymati shuncha katta bo'ladi.

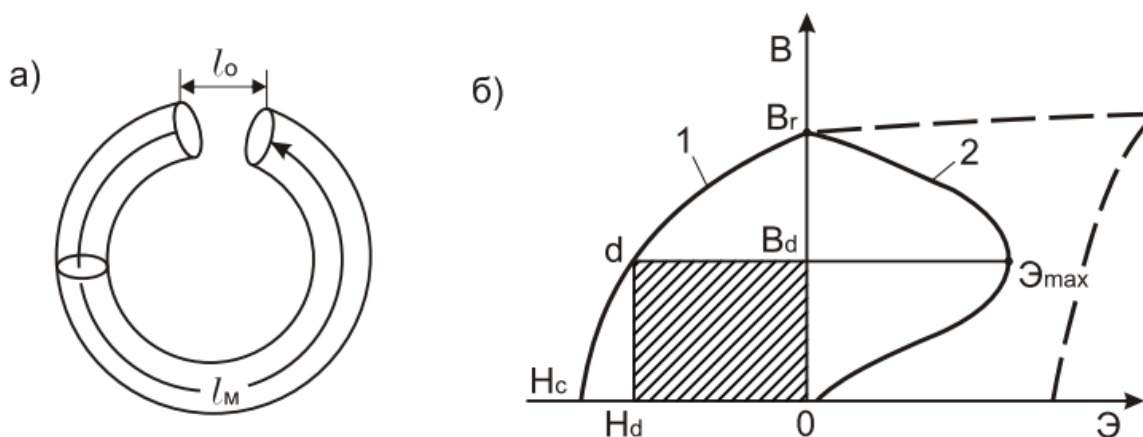
Katta koersitiv kuch  $N_s$  ni olish uchun magnitsizlanish jarayonini murakkablashtirish kerak. Termik ishlov berilgandan keyin qotishma tarkibida bir domenli nomutanosib uzaytirilgan zarrachalar bilan ( $l_1/l_2 \geq 20$ ) zaif magnit matritsada, kuchli magnit fazalar hosil qilish yuqori samarador usul hisoblanadi.

Bunday qotishmalarni, ferromagnit qo'shimchalarni magnitlanish vektorlarini burish orqali magnitsizlantirish qiyin.

Doimiy magnitli, magnit zanjirlar ochiq ya'ni ishchi oralig'i bo'shliq (ochiq havoralig) li bo'lishi kerak. Materialni oldindan kuchli magnit maydonida magnitlagandan so'ng bo'shliqda magnit oqimi paydo bo'ladi. Magnit qattiq materiallarni

magnitsizlanish xususiyati egri chiziq bilan tavsiflanadi, va bu gisterezis sirtmog‘ining bir qismini tashkil etadi (7.19-rasm).

Bo‘shliq mavjud bo‘lganda erkin qutblar evaziga ichki magnitsizlantirish maydoni  $N$  yuzaga keladi va u, magnet ichidagi induksiyani  $V$  qiymatigacha kamaytiradi. Magnet materialni holatini tafsillovchi ishchi nuqtaning holati, bo‘shliqning qattaligiga bog‘liq.



7.19-rasm. Solishtirma energiya  $E$  ni induksiya  $B$  ni qiymatiga bog‘liqlik grafigi:  $a$  - o‘zgarmas magnetni magnetlanish sxemasi,  $b$  - o‘zgarmas magnetni havo bo‘shlig‘i grafigi;  $1$  - magnitsizlanish egri chizig‘i,  $2$  - magnet energiyasi oqimi.

Tashqi maydon ta’siri bo‘lmaganda mikroskopik toklar ham yo‘qoladi. To‘la tokning qonuniga asosan:

$$\oint Hdl = 0$$

Bu har qanday integrallashagan kontur uchun ham mos keladi, xususan magnet o‘qining butun yo‘nalish uzunligi bo‘ylab. Bundan kelib chiqadiki:

$$H \cdot l_m - H_0 \cdot l_0 = 0$$

bu yerda  $l_m$  va  $l_0$  magnetning uzunligiga mos holda bo‘shliqning kattaligi,  $H_0$  bo‘shliqdagi magnet maydon kuchlanganligi.

Doimiy magnitlarga quyiladigan talab – ishchi bo‘shliqda maksimal miqdordagi solishtirma energiya -  $E_0$  ni mavjudligidir

$$E_0 = \frac{B_0 \cdot H_0}{2}.$$

Oqim tarqalishini e'tiborga olmasdan va magnit oqimi uzluksizligini e'tiborga olsak, ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$B \cdot S_m = B_0 \cdot S_0.$$

O'z navbatida,

$$E = \frac{B \cdot H}{2}.$$

Bo'shliqqa nisbatan magnitning uzunligi qancha kichik bo'lsa, magnitsizlantirish qutblari shuncha katta bo'ladi va induksiya (B) shuncha oz bo'ladi.

**7.19- rasmda** solishtirma energiya E ni induksiya B ni qiymatiga bog'liqlik grafigi keltirilgan bo'lib, berk magnitda maydon kuchlanganligi  $N = 0$  bo'lganligi sababli  $V = V_r$  chunki energiya nolga teng energiya nolga teng. Agar qutblar orasidagi bo'shliq juda katta bo'lsa, induksiya  $V = 0$ ,  $N = N_s$  bo'ladi va energiya ham nolga teng bo'ladi.

Bo'shliqdagi magnit energiyasini egri chizig'i, magnitsizlanish ishchi bo'limida yaqqol ko'rinib turgan «d» nuqtadagi maksimumga erishadi.

Bu nuqta  $E_{\max}$  ni ta'minlovchi optimal bo'shliqni ifodalaydi.

$$E_{\max} = \frac{(B \cdot H)_{\max}}{2} \quad (5.10)$$

Belgilangan masshtabda, energiya  $E_{\max}$  ni grafik shaklida, tomonlari  $V_d$  va  $N_d$  bo'lgan to'g'ri burchakli yuza sifatida tasavvur qilish mumkin:

$$\eta_B = (B \cdot H)_{\max} / D_r \cdot H_c$$

Gisterezis sirtmog'ini to'rtburchakligi orib borishi bilan magnitsizlanish egri chiziqi  $\eta_B$  birga yaqinlashadi.

### 7.8.2. Magnit qattiq materiallarni asosiy guruhleri

**Magnit qattiq materiallar guruhiga quyidagilar mansub:**

- quyma yuqori koersitiv qotishmalar;
- kukunli magnitlar;
- magnit qattiq ferritlar;
- deformatsiyalanadigan magnit qattiq qotishmalar;

- noyob metall asosidagi magnit qattiq qotishmalar.

**Quyma yuqori koersitiv qotishmalar** – bu Fe-Ni-Al-Co (Ni- 35% gacha, Al- 16% gacha, So 40% gacha), turli xil (4...8% Su, 5...8% Ti) qo‘shimchalar aralashirilgan. Ular yaxshi xususiyatga va qiymatga ega va ko‘pchilik asboblarda, qurilmalarda ishlatiladi. Mazkur qotishmalarning yuqori koersitiv holati, termik ishlov berishda dispersion parchalanish xususiyati bo‘lganligida. Ular 1200...1280 °S li yuqori harorat ostida toblanadi va 600...650 °S gacha harorat ostida asta sekinlik bilan sovutilib qattiq tarkibli qorishma tayyorlanadi. Natijada qattiq aralashmada ikki fazali dispersion parchalanish yuzaga keladi: bitta faza tarkib bo‘yicha toza temirga yaqin va kuchli magnitlanuvchan; uning bo‘linishlari bir domen qalinlikdagi plastinka yoki sterjen shaklida bo‘ladi, ikkinchi faza Ni va Al dan tashkil topib zaif magnitlanadi. Shunday qilib tarkib zaif magnitli matritsadan va bir domenli magnit ulanishlardan tashkil topadi. Bunday tarkibning magnitlanishi, magnit domenlarning burilishi evaziga amalga oshadi. Cu, Ti, Nb kabi ligerlovchi qo‘shimchalar nafaqat magnitlanish xususiyatini yaxshilaydi, shu bilan birga tavsifnomalarning qayta takrorlanishini ham ta‘minlaydi. Kristall va magnit tekstura, magnit maydon hosil qilinganda qotishmalardagi magnit xususiyat ham katta miqdorda yaxshilanadi.

**Kristalli tekstura** qolipiga quyilgan qotishmaning magnit maydonida yo‘naltirilgan issiqlik tarqalishi oqibatida kristallanishidan hosil bo‘ladi. Bunda “ustunchali” tarkib nomli qotishma hosil bo‘ladi, bunday kristallarning uzunligi 300 mm gacha yetadi. Kristallning o‘qi yengil magnitlanish oqimiga mos tushadi.

**Magnitli tekstura** – qotishmani  $N > 1200$  kA/m li kuchli magnit maydon kuchlanganligi ostida termomagnit ishlov berish natijasida hosil qilinadi.

Bunday holda, tartibli joylashgan va kuchli magnitlangan fazali plastinkalar o‘z o‘qlari bilan maydon yo‘nalishi bo‘yicha oson magnitlanadi.

Teksturalangan material magnit anizotrop bo‘ladi. Magnit teksturani hosil qilishda qotishma tarkibidagi kobaltning miqdori 24% dan yuqori bo‘lishi kerak. Kristall va magnit tekstura yaratilganda qavariqlik koeffitsiyenti  $\eta_v$ ,  $N_s$ ,  $V_r$ ,  $E_{max}$  kabi

tavsifnomalar yaxshilanadi. 7.5-jadvalda ayrim quyma qotishamlarni tavsifnomalari keltirilgan.

Monokristalli YuNDK35T5AA, YuNDK40T8AA kabi materiallarni magnit xususiyatiga juda yuqori. Belgilanishlardagi AA – belgisi monokristall tarkibdan dalolat beradi. Bunday monokristalli qotishmalarni salbiy tomonlari, yuqori darajadagi mo‘rtligi va o‘ta qattiqligi bo‘lib, ishlov berishda faqatgina sayqallash, silliqlash va tarashlash kabi ishlar amalga oshiriladi. Temir-nikel-alyuminiy (Fe-Ni-Al) kukunlaridan tayyorlangan qotishmalar bunday kamchiliklardan xoli.

**7.5- jadval.**

**Magnit qattiq quyma qotishmalarni asosiy xususiyatlari**

Qotishmalar	$E_{max}$ , kJ/m <sup>3</sup>	$H_s$ , kA/m	$B_r$ , Tl	Tarkibni xossasi
YuNDK18	9,7	55	0,9	magnit izotropoli
YuNDK35T5B	16	96	0,9	magnitli tekstura
YuNDK35T5BA*	36...40	110	1,02	magnitli va kristalli tekstura
YuNDK40T8	-	>145	-	magnitli tekstura

**Kukunli magnitlar** temir, nikel va alyuminiy (Fe, Ni, Al) kukunlarni argonli muhitda 1300 °S li yuqori harorat ostida biriktirib yaxlitlash usuli bilan olinadi. Foydalaniladigan kukunlar turlicha kattalikdagi bo‘laklar va zarralardan tashkil topishi maqsadga muvofiq. Presslash jarayonidan so‘ng quyma qotishmalarda bo‘lgani kabi, termik ishlov beriladi. Kukunlardan kichkina va aniq o‘lchamdagi magnitlar tayyorlanadi. Magnit xususiyati bo‘yicha kukunli magnitlar quyma magnitlardan zaifroq bo‘ladi (7.6- jadval).

**7.6- jadval.**

**Kukundan tayyorlangan magnitlarning asosiy xossalari**

Qotishmalar	$E_{max}$ , kJ/m <sup>3</sup>	$H_s$ , kA/m	$B_r$ , Tl	Magnit anizotropiyasi
MMK6	5	44	0,65	yo‘q



MMK7	10,5	44	0,95	bor
MMK11	16	118	0,7	bor

**Magnit qattiq ferritlarni**  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{CoO}$  qizdirib presslash orqali olinadi. Magnit xususiyati bo'yicha ular quyma qotishmalarga nisbattan zaif, ammo dielektrikka o'xshagan (solishtirma qarshiligi katta) issiqlik isrofigisiz doimiy magnit sifatida yuqori chastotali maydonlarda foydalaniladi (7.7-jadval).

**7.7-jadval.**

**Bariyli va kobaltli ferritlarning magnit xossalari**

Qotishma	Kimiyoviy formulasi	$E_{\max}$ , kJ/m <sup>3</sup>	$H_s$ , kA/m	$B_r$ , Tl
1BI	$\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,2	128	0,2
3BA		12,4	168	0,4
3BA2	$\text{CoO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	10,4	240	0,35
2KA		7,2	130	0,3

Belgilanishda I – izotropoli, A – anizotropoli.

Tarkibida kristallografik anizotropiyaning qattaligi va turlicha kattalikdagi oksidlarni zarrachalarni ishtiroki sababli ferritlardagi  $N_s$  ni qiymati quyma qotishmalarga qaraganda yuqori bo'ladi.

Anizotrop ferritlarda magnit testura, kukunlarni kuchli magnit maydon ostida  $N > 800$  kA/m presslash orqali tayyorlanadi.

Bariyli ferritlar yuqori tarkibiy va magnit barqarorlikka ega. Kobaltli ferritlar asosiy xossalari bo'yicha bariyliklarga nisbattan zaif. Kobaltli ferritlarni ustunligi, tarkibini harorat o'zgarishlariga turg'unligi hisoblanadi.

Deformatsiyalanadigan magnit qattiq qotishmalar – temir (Fe), kobalt (Co), xrom (Cr) va mis (Cu) qotishmalaridan yasaladi. Qotishmalarning xossalari 7.8-jadvalda keltirilgan. Magnitlar ingichka sim va yupqa lenta shaklida tayyorlanadi. Issiqlik ta'sirida toblash va mustahkamlashdan iborat bo'lgan ishlov berish jarayonidan so'ng, zaif magnit matritsada, mayda zarrachali ferromagnit izlar paydo bo'ladi va yaxshi magnit xususiyatlari ta'minlanadi.

**Deformatsiyalanadigan magnit qattiq qotishmalarning xossalari**

Qotishma	$E_{max}$ , kJ/m <sup>3</sup>	$H_s$ , kA/m	$B_r$ , Tl	Magnit anizotropiyasi
Xromko (30XK25)	7,7	56	0,8	yo‘q
30% Sr, 25% Co, Fe-qoldiq.	16,3	62	0,9	bor
Vikalloy (52KFA)	8,8	28	0,8	bor
52% Co, 14% V, Fe-qoldiq.				
Kunife 60% Su, 20% Ni, 20% Fe	6,7	47	0,55	bor
Platinaks (PIK78)	40	320	0,8	-
78% Pt, 22% Co				

Plastik deformatsiya jarayonida kristallik teksturasi shakllanadi va bu qo‘shimcha ravishda magnit xususiyatlarini yaxshilaydi.

Platinaks eng yuqori magnit xususitlarga ega, undan katta aniqlikdagi va muhim vazifani bajaruvchi mikrominyatur magnitlar tayyorlanadi.

### **7.8.3. Noyob tuproq metallari (NTM) asosidagi magnit qattiq qotishmalar**

Mazkur guruhga mansub magnit qattiq materiallar juda istiqbolli. Noyob tuproq metallari, o‘tish guruhi metallari bilan juft birikmalar hosil qiladi. Ulardan  $RCO_5$  va  $R_2Co_{17}$  tipli birikmalar katta qiziqish uyg‘otadi, bu yerda R – noyob yer elementi. Keltirilgan birikmalar geksogonal tarkibga ega. Ular, kuchli kristallografik magnit anizotropiya va yuqori Kyuri nuqtasi bilan ajralib turadi. Anizotropiya konstantasi K temirga nisbattan ikki marotaba yuqori. Noyob tuproq metallari orasida samariy (Sm), prazeodimiy (Pr), neodimiy (Nd), ittiriy (Y) lar ishlatiladi. NTM asosidagi ayrim sanoat qotishmalarining xususiyatlari 7.9-jadvalda keltirilgan.

**NTM asosidagi ayrim sanoat qotishmalarining magnit xususiyatlari**

Qotishma	Tarkibi	$E_{max}$ , kJ/m <sup>3</sup>	$H_s$ , kA/m	$B_r$ , Tl
KS37	37 Sm, 63 Co	55	1300	0,77
KS37A		65	1000	0,82
KSP37	37 (Sm+Pr), 63 Co	65	800	0,85
KSP37A		80	640	0,9

A - anizotropiya

Magnit ishlab chiqarish texnologiyasi murakkab, ammo yuqori magnit energiyasi va ta'sir kuchini juda yuqori qiymatga erishtirishni yagona yo'li. Magnitlar juda mayda zarachali kukunlardan tayyorlanadi, ulardagi zarrachalarni o'lchamlari domen o'lchamdagi (~ 3...10 mkm) monokristallarga yaqin. Kukunlarni presslash magnit va kristall teksturani olish maqsadida amalga oshiriladi. Zichlikni, mustahkamlikni va tarkibni shakllantirish maqsadida, vakuum yoki inert muhitda toblash, magnitni xususiyatini oshiriradi.

Masalan, Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B qotishmasidan eritma hosil qilib, uni yuqori tezlikda toblash ( $v_{soyut}$  106 °S/c) usulida kukun ishlab chiqarish texnologiyasi, 200 mkm gacha uzunlikdagi zarrachalarni olish, zichlikni oshirish va kristalli tuzilishga ega bo'lish imkonini berdi. Bunday texnologiyada tayyorlangan magnitlarda:  $E_{max}=400$  kDj/m<sup>3</sup>;  $H_c=800...1000$ kA/m;  $B_r = 1,05...1,35$  Tl kabi xossalari mujassam.

**Tekshirish uchun nazorat savollari**

1. Ferromagnetizm qanday yuzaga keladi?
2. Ferromagnit materallarning asosiy xususiyatlarini bayon eting.
3. Ferromagnit magnitlanish paytida qanday jarayonlar yuz beradi?
4. Elektrotexnik po'latni xususiyatlariga kremniy qanday ta'sir ko'rsatadi?

5. Ferromagnitning siklik magnitlanishini teskariga o'zgartirishda magnit isroflar payda bo'lishini sababini nimada? Magnit isroflarni qayday yo'qotish mumkin?
6. Elektrotexnik po'latning magnit xususiyatlarnini qanday oshirish mumkin?
7. Qaysi magnit yumushoq materiallar zaif maydon ta'sirida kuchli magnit singdiruvchanilik xususiyatiga ega?
8. Yuqori nikelli va past nikelli permalloylarni farqi nimada?
9. Qanday termik ishlov natijasida 79NM markali permalloy yuqori magnit singdiruvchanlikka erishadi?
10. Magnitdielektriklar qanday tarkibga ega va qayerda ishlatiladi?
11. Ferritlarning magnitlanish fizik xususiyati nimadan iborat?
12. Radiochastotalarda qanday ferritlar ishlatildi?
13. O'ta yuqori chastota (O'YuCh) diapazonida ishlatiladigan ferritlar qanday fizik ta'sirlarga asoslangan.
14. Qanday materiallar to'g'ri burchakli gisterezis tuguniga ega va qayerda qo'llaniladi?
15. Qanday materiallar kuchli magnitstriksiyaga ega va ular qayerda ishlatiladi?
16. Magnit qattiq materiallarning asosiy xususiyatini bayon eting.
17. Magnit qattiq materiallarning asosiy guruhlarini sanab bering.
18. Qanday qilib magnit qattiq materiallarning yuqori qiymatli asosiy xususiyatiga erishi mumkin?

## «Elektrotexnik materiallar» fanidan ishlatiladigan iboralarning glossariysi

Iboralar	Ta'rif
Dielektrik	- tarkibidan oqib o'tuvchi tokka kuchli qarshilik bilan ta'sir etuvchi sun'iy izolyatsiya materiali
Elektr o'tkazgich	- Elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi metall va nometall material
Yarim o'tkazgich materiall	- elektr o'tkazuvchanlik jarayonida elektronlar ( $n$ ) bilan birga aksariyat kovakli va nuqsonli elektronlar ( $p$ ) hisobiga elektr tokini o'tkazuvchi materiall
Magnit materiallar	- Elektr magnit maydoni ta'siri ostida magnit xususiyatlarini namoyon etadigan yoki magnitlanish xususiyatiga ega bo'lgan material
Amper	- Tok kuchining birligi
Anod	- Akkumulyator batareyasining musbat qutbi
Akkumulyator batareyasi	- Elektr zaryadini ishlab chiquvchi yoki yig'uvchi qurilma
Volt	- Kuchlanishning birligi, Volt.
Vatt (kVt)	- Aktiv quvvat birligi ( $1 \cdot 10^3$ Vatt)
V•A (kVA)	- To'la quvvat birligi ( $1 \cdot 10^3$ V•A)
Vt•soat, kVt•soat	- Iste'molchi tomonidan 1 soat vaqt davomida sarflangan elektr energiya miqdori

Gers, (Gts)	- O'zgaruvchan tokning chastota birligi magnit kuch chiziqlari yo'nalishini tashqi maydon ta'sirida
Segnetoelektrik	- o'zgartiradigan Spontan (erkin) qutblanuvchi, segnet tuzidan tashkil topgan material pezoylektrik ta'sir kuzatiladigan diyelektriklar, ya'ni deformatsiya ta'sirida o'z yuzasida elektr zaryadini
Pezoelektrik	- keltirib chiqarishi yoki tashqi elektr maydoni ta'sirida deformatsiyalanuvchi material
Molekula	- moddaning kimyoviy xossasini saqlab qoluvchi eng kichik zarracha Molekulaga, elektr nuqtai nazaridan nisbat berilsa qutbli, qutbsiz
Ion	- molekula yoki ion iborasi ishlatiladi (musbat, manfiy, neytral ion). Turlicha potentsiallarga ega bo'lgan
Izolyator	- elektr tokidan izolyatsiyalovchi uskuna Mexanik jihatdan mustahkam bo'lib
Kristall jismlar	- tarkibidagi atom va molekulalar kovalent va ion bog'langan Tarkibida joylashgan molekula va
Amorf jismlar	- atomlar tartibsiz joylashgan bo'lib, ularning mexanik va issiqlik mustahkamligi yuqori emas

Pauli qonuni	- Kvant fizikasi qonunlariga ko'ra ikkita bir xil darajadagi maydon mavjud emas.
O'ta o'tkazuvchanlik	- modda yoki materialning elektr qarshiligiga ega bo'lmagan holatini tafsillovchi xususiyati
Nometall elektr o'tkazgichlar	- Nometall materiallarining aksariyat qismi grafit tarkibli materiallardan tashkil topgan.
Kontaktollar	- Kam qovushqoq yoki pasta shaklidagi polimer kompozitsiyali moddalar, tok o'tkazuvchi yelimlar, bo'yoqlar, qoplamalar va emallardan iborat bo'lgan materiallar.
Kompozit materiall	- Tarkibi ikki va undan ortiq metall yoki materialdan tashkil topgan jism
Segnetoelektrik materiallar -	- segnet tuzi ( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) kristallaridan tashkil topgan materiallar
Kabel	- Ikki va undan ortiq izolyatsiya qavatiga ega bo'lgan elektr o'tkazgich
Sig'im kondensatori	- Elektr zaryadini yig'ish va uni ma'lum sharoitda (Amper-soat yoki kulonda o'lchov birligida) uzatish qurilmasi
Sim tola	- Elektr o'tkazgich sim yoki kabelning tok o'tkazuvchi o'tkazgichi

## MUNDARIJA

<b>Kirish</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Jismlarning tuzulishi</b> .....	<b>7</b>
1.1. O'tkazgich, yarim o'tkazgich va izolyatsiya materiallarning xususiyati .....	7
1.2. Bog'lanish turlari .....	12
1.3. Kristall panjaralar .....	17
1.4. Qattiq jismlarning zonalar nazariyasi .....	18
<b>2. Materiallarning elektrofizik xususiyatlari va elektr o'tkazuvchanligi</b> .....	<b>21</b>
2.1. Elektr o'tkazuvchanlikning asosiy tenglamasi .....	21
2.2. O'tkazgichlar, yarim o'tkazgichlar va dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi .....	22
2.3. Suyuqlik va elektrolitlarning elektr o'tkazuvchanligi .....	25
<b>3. O'tkazgich materiallar</b> .....	<b>26</b>
3.1. O'tkazgich materiallarning xususiyatlari .....	26
3.2. Solishtirma qarshiligi zaif o'tkazgich materiallar .....	32
3.2.1. Mis o'tkazgichlar va uning qotishmalari .....	32
3.2.2. Alyuminiy o'tkazgichlar va uning qotishmalari .....	39
3.2.3. Qimmatbaho metallar .....	41
3.2.4. Qiyin eriydigan metallar .....	46
3.2.5. O'ta o'tkazuvchan metallar va qotishmalar .....	51
3.3. Nometall o'tkazgichlar .....	56
3.3.1. Grafitli materiallar .....	56
3.3.2. Kontaktollar .....	58
3.4. Elektr kontakt materiallari .....	59
3.4.1. Qo'zg'almas kontaktlar .....	59
3.4.2. Uzuvchi kontaktlar .....	61
3.4.3. Sirpanuvchi kontaktlar .....	64
3.5. Solishtirma qarshiligi yuqori materiallar .....	68



3.5.1.	Yuqori aniqlikdagi rezistorlar va texnik qarshiliklar uchun qotishmalari .....	68
3.5.2.	Qizdirish elementlarining materiallari .....	72
3.5.3.	Termoparalar uchun qotishmalar .....	73
3.5.4.	Yupqa plenkali rezistorlarning materiallari .....	75
<b>4.</b>	<b>Dielektrik materiallar .....</b>	<b>78</b>
4.1.	Dielektrik materiallarning xususiyatlari .....	78
4.2.	Dielektriklarning qutblanishi va singdiruvchanligi .....	80
4.2.1.	Dielektriklarning qutblanish turlari .....	82
4.2.2.	Dielektriklarni qutblanish turlari bo'yicha tasniflanishi .....	93
4.3.	Gazsimon dielektriklar .....	95
4.3.1.	Gazsimon dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi .....	98
4.3.2.	Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi .....	99
4.3.3.	Gazsimon dielektriklarning teshilishi .....	100
4.4.1.	Neft moylari .....	105
4.4.2.	Sintetik suyuq dielektriklar .....	106
4.4.3.	Suyuq dielektriklarning elektr o'tkazuvchanligi va teshilishi .....	108
<b>5.</b>	<b>Yuqori polimerli qattiq materiallar .....</b>	<b>112</b>
5.1.	Qattiq polimerizatsion dielektriklar .....	112
5.2.	Qattiq plikondensasion dielektriklar, qizdirishga chidamli yuqori polimer dielektriklar .....	119
5.2.1.	Polimerlar asosidagi organik qattiq dielektriklar .....	119
5.3.	Yuqori chastotali chiziqli polimerlar .....	122
5.4.	Past chastotali chiziqli polimerlar (qutbli termoplastlar) .....	124
5.5.	Plastmassalar .....	126
5.6.	Elektroizolyatsiyalavchi kompaund (birikma) lar. Laklar .....	129
5.7.	Rezina .....	132
<b>6.</b>	<b>Yarim o'tkazgich materiallar .....</b>	<b>136</b>
6.1.	Yarim o'tkazgichlarni xossalari .....	136
6.2.	Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi .....	138

6.2.1.	Yarim o‘tkazgichdagi xususiy zaryad tashuvchilarni konsentratsiyasi .....	140
6.3.	Yarim o‘tkazgichlarning aralashmali o‘tkazuvchanligi .....	143
6.3.1.	Asosiy va ikkinchi darajali zaryad tashuvchilar .....	144
6.3.2.	Aralashmali yarim o‘tkazgichdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi .....	145
6.3.3.	Zaryad tashuvchilarning harakatchanligi .....	147
6.3.4.	Yarim o‘tkazgichlarning solishtirma o‘tkazuvchanligi .....	148
6.3.5.	Solishtirma o‘tkazuvchanlikni haroratga bog‘liqligi .....	149
6.3.6.	Maydon kuchlanganligini yarim o‘tkazgichlardagi o‘tkazuvchanlikka ta’siri .....	150
6.3.7.	Muvozanatsiz zaryad tashuvchilar. Rekombinatsiya .....	151
6.3.8.	Rekombinatsiya jarayoning asosiy xususiyatlari .....	153
6.4.	Yarim o‘tkazgich materiallar .....	157
<b>7.</b>	<b>Magnit materiallar .....</b>	<b>166</b>
7.1.	Materiallarning magnit xususiyatlari .....	166
7.2.	Magnit materillarni tasnifi .....	170
7.3.	Ferromagnit materiallarning xususiyatlari .....	172
7.4.	Ferromagnetiklarning zaif va kuchli magnitlanish jarayonlari .....	174
7.5.	Magnit isroflari .....	178
7.6.	Magnit materiallarning tasnifi .....	180
7.7.	Magnit yumshoq materiallar .....	181
7.7.1.	Magnit yumshoq materiallarning asosiy xususiyatlari .....	181
7.7.2.	Past chastotali magnityumshoq materiallar .....	182
7.7.3.	Yuqori chastotali magnit yumshoq materiallar .....	187
7.7.4.	Maxsus xususiyatli magnit materiallar .....	196
7.8.	Magnit qattiq materiallar .....	201
7.8.1.	Magnit qattiq materiallarning asosiy xususiyatlari .....	201
7.8.2.	Magnit qattiq materiallarni asosiy guruhlari .....	203
7.8.3.	Noyob tuproq metallari (NTM) asosidagi magnit qattiq qotishmalar .....	207

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Строение веществ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Свойства проводников, полупроводников и изоляционных материалов .....	7
1.2. Виды связей .....	12
1.3. Кристаллические решетки .....	17
1.4. Зонная теория твёрдых веществ .....	18
<b>2. Электрофизические свойства и электропроводность материалов .....</b>	<b>21</b>
2.1. Основное уравнение электропроводности .....	21
2.2. Электропроводность проводников, полупроводников и диэлектриков .....	22
2.3. Электропроводность жидких диэлектриков и электролитов ..	25
<b>3. Проводниковые материалы .....</b>	<b>26</b>
3.1. Свойства проводниковых материалов .....	26
3.2. Материалы со свойствами низкого сопротивления .....	32
3.2.1. Медные проводники и эе сплавы .....	32
3.2.2. Алюминиевые проводники и эе сплавы .....	39
3.2.3. Благородные металлы .....	41
3.2.4. Тугоплавкие металлы .....	46
3.2.5. Сверх проводящие металлы и сплавы .....	51
3.3. Не металлические проводники .....	56
3.3.1. Материалы на основе графита.....	56
3.3.2. Контакттолы .....	58
3.4. Материалы для электрических контактов .....	59
3.4.1. Неподвижные контакты .....	59
3.4.2. Разрывные контакты .....	61
3.4.3. Скользящие контакты.....	64
3.5. Материалы высокого удельного сопротивления .....	68

3.5.1.	Сплавы для образцовых резисторов и технических сопротивлений .....	68
3.5.2.	Материалы для нагревательных элементов .....	72
3.5.3.	Сплавы для термопар .....	73
3.5.4.	Материалы для тонкопленочных резисторов .....	75
<b>4.</b>	<b>Диэлектрические материалы .....</b>	<b>78</b>
4.1.	Свойство диэлектрических материалов .....	78
4.2.	Поляризация диэлектриков и диэлектрическая проницаемость	80
4.2.1.	Виды поляризации диэлектриков .....	82
4.2.2.	Классификация диэлектриков по видам поляризации .....	93
4.3.	Газообразные диэлектрики .....	95
4.3.1.	Электрическая проводимость газообразных диэлектриков .....	98
4.3.2.	Электрическая проводимость газов .....	99
4.3.3.	Электрический пробой газообразных диэлектриков .....	100
4.4.1.	Нефтяные масла .....	105
4.4.2.	Синтетические жидкие диэлектрики .....	106
4.4.3.	Электрическая проводимость и пробой жидких диэлектриков	108
<b>5.</b>	<b>Высокополимерные твердые материалы .....</b>	<b>112</b>
5.2.	Твердые поликонденсационные диэлектрики, нагрев стойкие высокополимерные диэлектрики .....	112
5.2.1.	Органические диэлектрики на основе полимеров .....	119
5.3.	Высокочастотные линейные полимеры .....	119
5.4.	Низкочастотные линейные полимеры (полярные термопласты) .....	122
5.5.	Пластмассы .....	124
5.6.	Электроизоляционные компаунды (соединения). Лаки .....	126
5.7.	Резина .....	129
<b>6.</b>	<b>Полупроводниковые материалы .....</b>	<b>132</b>
6.1.	Свойство полупроводников .....	136
6.2.	Электрическая проводимость полупроводниковые .....	136

6.2.1.	Концентрация собственных носителей заряда в полупроводнике .....	138
6.3.	Примесная проводимость полупроводников .....	140
6.3.1.	Основные и второстепенные носители заряда .....	143
6.3.2.	Концентрация носителей заряда в примесном полупроводнике .....	144
6.3.3.	Подвижность носителей заряда .....	145
6.3.4.	Удельная проводимость полупроводников .....	147
6.3.5.	Зависимость удельной проводимости и температуры .....	148
6.3.6.	Влияние напряженности поля на проводимость полупроводников .....	149
6.3.7.	Неравновесные носители заряда. Рекомбинация .....	150
6.3.8.	Основные характеристики процесса рекомбинации .....	151
6.4.	Элементарные полупроводники .....	153
<b>7.</b>	<b>Магнитные материалы .....</b>	<b>157</b>
7.1.	Магнитные свойства материалов .....	<b>166</b>
7.2.	Классификация материалов по магнитным свойствам .....	166
7.3.	Свойство ферромагнитных материалов .....	170
7.4.	Процессы сильного и слабого намагничивания ферромагнетиков .....	172
7.5.	Магнитные потери.....	174
7.6.	Классификация магнитных материалов .....	178
7.7.	Магнит мягкие материалы .....	180
7.7.1.	Основные свойства мягко магнитных материалов .....	181
7.7.2.	Низкочастотные мягко магнитные материалы .....	181
7.7.3.	Высокочастотные мягко магнитные материалы .....	182
7.7.4.	Магнитные материалы с специальными свойствами.....	187
7.8.	Твердо магнитные материалы .....	196
7.8.1.	Основные свойства магнитотвердых материалов .....	201
7.8.2.	Основные группы магнитотвердых материалов .....	201
7.8.3.	Магнитотвердые материалы из редкоземельных металлов .....	207

## TABLE OF CONTENTS

	<b>Introduction .....</b>	<b>5</b>
1.	<b>Structure of substances .....</b>	<b>7</b>
1.1.	Properties of conductors, semiconductors and insulating materials .....	7
1.2.	Types of connections .....	12
1.3.	Crystal lattices .....	17
1.4.	Band theory of solids .....	18
2.	<b>Electrophysical properties and electrical conductivity of materials</b>	<b>21</b>
2.1.	Basic equation of electrical conductivity .....	21
2.2.	Electrical conductivity of conductors, semiconductors and dielectrics .	22
2.3.	Electrical conductivity of liquid dielectrics and electrolytes .....	25
3.	<b>Conductor materials .....</b>	<b>26</b>
3.1.	Properties of conductor materials .....	26
3.2.	Materials with low resistance properties .....	32
3.2.1.	Copper conductors and alloys .....	32
3.2.2.	Aluminum conductors and alloys .....	39
3.2.3.	Noble metals .....	41
3.2.4.	Refractory metals.....	46
3.2.5.	Super conductive metals and alloys .....	51
3.3.	Non-metallic conductors .....	56
3.3.1.	Graphite based materials .....	56
3.3.2.	Contacts .....	58
3.4.	Materials for electrical contacts.....	59
3.4.1.	Fixed contacts.....	59
3.4.2.	Breaking contacts.....	61
3.4.3.	Sliding contacts .....	64
3.5.	High resistivity materials .....	68
3.5.1.	Alloys for reference resistors and technical resistance .....	68

3.5.2.	Materials for heating elements.....	72
3.5.3.	Thermocouple alloys .....	73
3.5.4.	Materials for thin film resistors .....	75
<b>4.</b>	<b>Dielectric materials .....</b>	<b>78</b>
4.1.	Property of dielectric materials .....	78
4.2.	Polarization of dielectrics and dielectric constant .....	80
4.2.1.	Types of polarization of dielectrics .....	82
4.2.2.	Classification of dielectrics by types of polarization .....	93
4.3.	Gaseous dielectrics .....	95
4.3.1.	Electrical conductivity of gaseous dielectrics .....	98
4.3.2.	Electrical conductivity of gases .....	99
4.3.3.	Electrical breakdown of gaseous dielectrics .....	100
4.4.1.	Petroleum oils .....	105
4.4.2.	Synthetic liquid dielectrics .....	106
4.4.3.	Electrical conductivity and breakdown of liquid dielectrics .....	108
<b>5.</b>	<b>High polymer solid materials .....</b>	<b>112</b>
5.2.	Solid polycondensation dielectrics, heat-resistant high-polymer dielectrics .....	112
5.2.1.	Organic dielectrics based on rollers .....	119
5.3.	High Frequency Linear Polymers .....	119
5.4.	Low frequency linear polymers (polar thermoplastics) .....	122
5.5.	Plastics .....	124
5.6.	Electrical insulating compounds (connections). Lucky .....	126
5.7.	Rubber .....	129
<b>6.</b>	<b>Semiconductor materials .....</b>	<b>132</b>
6.1.	Property of semiconductors .....	<b>136</b>
6.2.	Electrical conductivity semiconductor .....	136
6.2.1.	Concentration of intrinsic charge carriers in a semiconductor .....	138
6.3.	Impurity conductivity of semiconductors .....	140
6.3.1.	Major and minor charge carriers .....	143

6.3.2.	Concentration of charge carriers in an impurity semiconductor .....	144
6.3.3.	Charge carrier mobility .....	145
6.3.4.	Specific conductivity of semiconductors .....	147
6.3.5.	Dependence of conductivity and temperature .....	148
6.3.6.	Effect of field strength on the conductivity of semiconductors .....	149
6.3.7.	Nonequilibrium charge carriers. Recombination .....	150
6.3.8.	Main characteristics of the recombination process .....	151
6.4.	Elementary semiconductors .....	153
<b>7.</b>	<b>Magnetic materials .....</b>	<b>157</b>
7.1.	Magnetic properties of materials .....	<b>166</b>
7.2.	Classification of materials according to magnetic properties .....	166
7.3.	Property of ferromagnetic materials .....	170
7.4.	Processes of strong and weak magnetization of ferromagnets .....	172
7.5.	Magnetic losses .....	174
7.6.	Classification of magnetic materials .....	178
7.7.	Magnetic materials .....	180
7.7.1.	Basic properties of soft magnetic materials .....	181
7.7.2.	Low-frequency soft magnetic materials .....	181
7.7.3.	High-frequency soft magnetic materials .....	182
7.7.4.	Magnetic materials with special properties .....	187
7.8.	Solid magnetic materials .....	196
7.8.1.	Basic properties of hard magnetic materials .....	201
7.8.2.	Main groups of hard magnetic materials .....	201
7.8.3.	Hard magnetic materials from rare earth metals .....	207



## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Toshpo‘latov N.T. -“Elektrotexnik materiallar” fanidan o‘quv qo‘llanma. TIQXMMI. Toshkent 2019 y. -163 S.
2. Sh.M. Kamolov, A.Sh. Axmedov, «Elektrotexnika materiallari» o‘quv qo‘llanma. Toshkent. O‘qituvchi 1994 y. 159 S.
3. Петрова Л.Г., Потапов М.А., Чудина О.В. Электротехнические материалы: Учебное пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2008. - 198 с.
4. L. Solumar, D Walsh – Elektrical Properties Of Materials, Seventh Edition Oxford Univtrsisy Press © 2004 (414 peges). ISBN 0199267936
5. Богородицкий Н.Н., Пасинков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л., Энергия, 1985.
6. Казарновский Д.М., Тарасов В.М. Испытание электроизоляционных материалов. - Л., Энергия, 1980.
7. Корицкий Ю.В. - Электротехнические материалы: - М., Энергия, 1992.