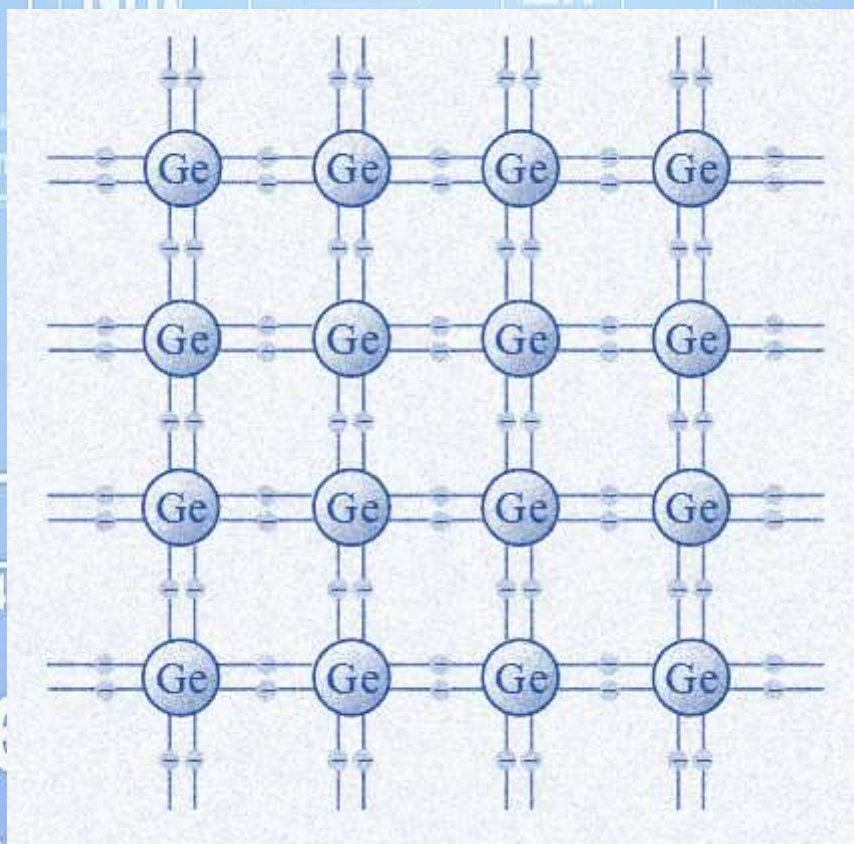


O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ELEKTRON TEXNIKA MATERIALLARI VA
ELEMENTLARI FANIDAN
DARSLIK



TOSHKENT – 2018

O'. H. Qurbonova

**Elektron texnika materiallari va
elementlari fanidan darslik**

Toshkent – 2018 yil

«Raqamli elektronika va mikroelektronika» kafedrası
O'. H. Qurbonova
Toshkent: TDTU, 2018 yil.

Elektron qo'llanma elektronika yo'nalishi bo'yicha ixtisoslashgan oliy o'quv yurti talabalari uchun mo'ljallangan. Bu elektron qo'llanmadan, shuningdek, shu soha mutaxassislari ham foydalanishlari mumkin.

Taqrizchi: TDTU Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari bilan ishlash bo'yicha prorektor, f.- m.f.d., professor N.F. Zikrillayev

© TDTU, 2018-y.

MUNDARIJA

| | |
|---|--|
| KIRISH | |
| I. Bob. Elektron texnika materiallarining tuzilishi va xossalari haqida umumiy ma'lumotlar | |
| 1.1. Elektron texnika materiallarining tasnifi..... | |
| 1.2. Molekulalar hosil bo'lishi..... | |
| 1.3. Atomlar orasidagi bog'lanish turlari | |
| 1.4. Qattiq jismlar haqida ma'lumot | |
| 1.4.1. Monokristallar va polikristallarning xossalari..... | |
| 1.5. Qattiq jismlar zonalar nazariyasi..... | |
| 1.6. Kristallardagi nuqsonlar va ularning turlari..... | |
| II. Bob. Metallar qotishmalarining tuzilishi va xossalari | |
| 2.1. Metallarning tuzilishi va asosiy xossalari..... | |
| 2.2. Metallar elektr o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi..... | |
| 2.3. Nometall materiallarda elektr o'tkazuvchanlik | |
| 2.4. Metall qotishmalari va birikmalari..... | |
| III. Bob. Dielektrik materiallar va ularning xossalari | |
| 3.1. Dielektrik materiallarning turlari..... | |
| 3.2. Dielektrik materiallarning asosiy xossalari | |
| 3.3. Dielektrik isroflar..... | |
| 3.4. Polimerlar, shishalar va keramikalar tuzilishi..... | |
| 3.5. Suyuq kristallar..... | |
| IV. Bob. Yarim o'tkazgich materiallar tuzilishi va ularning xossalari | |
| 4.1. Yarim o'tkazgich materiallar va ularning turlari..... | |
| 4.2. Yarim o'tkazgich materiallarning asosiy xossalari..... | |
| 4.3. Asosiy yarim o'tkazgich materiallar va ularning birikmalari | |
| 4.4. $A^{II}B^{VI}$, $A^{III}B^V$ va $A^{IV}B^{IV}$ bog'lanish turidagi yarim o'tkazgich materiallar..... | |
| V. Bob. Magnit materiallar haqida umumiy ma'lumotlar | |
| 5.1. Magnit materiallar va ularning turlari..... | |
| 5.2. Materiallarning magnit xossalari | |
| 5.3. Yumshoq magnit materiallar..... | |
| 5.4. Qattiq magnit materiallar..... | |
| VI. Bob. O'ta-o'tkazuvchanlik hodisasi | |
| 6.1. Optik mikroskopiya va elektron mikroskopiya..... | |
| 6.2. Rastrli elektron mikroskopiya..... | |
| 6.3. Ellipsometr yordamida kremniy oksid qatlami qalinligini o'lchash..... | |
| VII. Bob. Elektron texnika materiallari va elementlari asosida yaratilgan qurilmalar va ularning xususiyatlari | |

| | |
|--|--|
| 7.1. Rezistorlar va ularning turlari..... | |
| 7.2. Fotorezistorlarning kattaliklari va tavsiflari..... | |
| 7.3. Kondensatorlar va ularning asosiy kattaliklari..... | |
| 7.4. Transformatorlar va ularning qo‘llanilishi..... | |
| XULOSA..... | |
| IZOHLAR RO‘YXATI..... | |
| FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI..... | |

KIRISH

Elektron texnika materiallari va elementlari fani elektronika va asbobsozlik yo'nalishi talabalari uchun asosiy o'quv fanlari qatoriga kiradi. Bu fan negizida rivojlanayotgan soha hozirgi zamon ishlab chiqarishining asosi bo'lib, yangi materiallarni ishlab chiqish va ularni mamlakatning rivojlanishidagi ilmiy texnik va elektron sanoatining rivojlanganlik darajasini aniqlaydi. Ratsional raqobatbardosh materiallarni loyihalash elektron texnika materiallari va elementlari bo'yicha yetarli darajadagi bilimga ega bo'lishni talab qiladi. Shundan kelib chiqqan holda elektron texnika materiallari va elementlari fani - ko'pchilik maxsus fanlarni o'rganish uchun asos hisoblanadi.

Elektron texnika materiallari va elementlari fani bo'yicha ma'ruzalarning ushbu matnida uslubiy asoslari bayon qilingan, metall va qotishmalarning tuzilishi, shakllanish qonuniyatlari ko'rib chiqilgan, shuningdek, plastmassalar, shisha va keramikaning tuzilishi ham elektr, magnit xususiyatlarini ko'rib chiquvchi bo'limlarida, zamonaviy yarim o'tkazgichli, dielektrik, yumshoq magnitli va qattiq magnitli materiallarga alohida e'tibor berishga qaratilgan. Fanni o'zlashtirayotgan talabalar asosiy materiallarning xususiyati va xossalarini, material parametrlarining fizik ma'nosini, ularni olinish usuliga bog'liqligini, konkret maqsad uchun eng zarur materiallarni tanlab olishni tushunishlari kerak.

Fanni o'qitishdan maqsad – elektron texnika materiallarini elektr, magnit xossalari asoslari bo'yicha yo'nalishi profiliga mos, ta'lim standartiga talab qilingan bilimlar, ko'nikmalar va tajribalar darajasini ta'minlashdir.

Zamonaviy elektron texnika materiallarining asosiy xususiyatlari fizika – kimyoviy xossalari, asosiy parametrlari va tavsiflarini bilish, elektron texnika asboblari xususiyatini o'zlashtirish va elektronikaning rivojlanishi haqidagi ma'lumotga ega bo'lishdan iboratdir.

Quyidagi vazifalar o'qish jarayonida talabalarning ma'ruza va laboratoriya mashg'ulotlarida faol ishtirok etishi, adabiyotlar bilan mustaqil ishlari va o'qituvchi kuzatuvda mustaqil ta'lim olish bilan amalga oshadi.

I. BOB

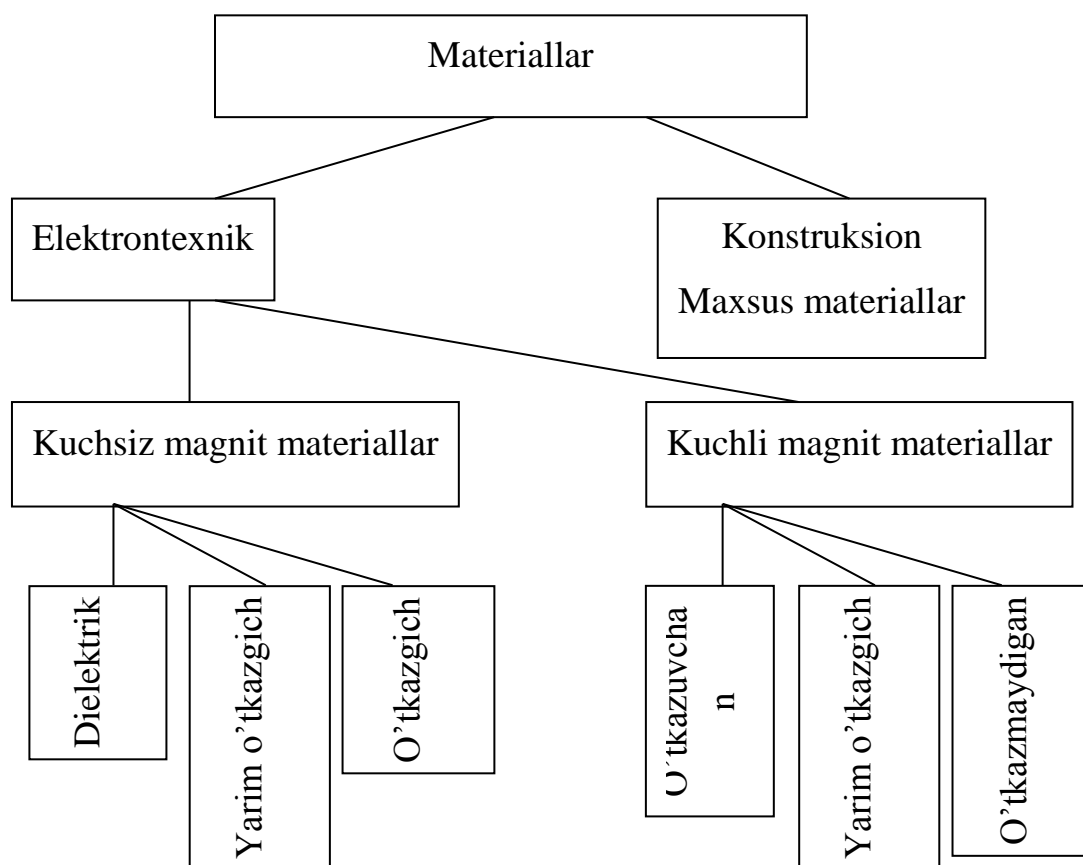
ELEKTRON TEXNIKA MATERIALLARINING TUZILISHI VA XOSSALARI HAQIDA UMUMIY TUSHUNCHA

1.1. Elektron texnika materiallarining tasnifi

Materiallarning elektr va magnit xossalariга ko‘ra sinflanishi

Materiallar o‘zaro bir-biridan fizik hamda kimyoviy xususiyatlari bilan farq qiladi. Elektron texnikasida ishlatiladigan materiallar 3 qismga bo‘linadi:

1. Elektrontexnik
2. Konstruksion
3. Maxsus materiallar



Elektrontexnika materiallari bu elektr va magnit maydonida ma'lum bir xususiyati bilan tavsiflanadi, bular amaliyotda elektr va magnit maydon ta'siri berilishiga qarab qo'llaniladi.

Elektrontexnik materiallar magnit maydonida 2 guruhga bo'linadi: kuchli va kuchsiz magnit materiallar.

Elektr maydonida ular 3 guruhga bo'linadi:

1. O'tkazgichlar.
2. Yarim o'tkazgichlar.
3. Dielektriklar.

Metallar - bu xona haroratida solishtirma o'tkazuvchanligi $\sigma = 10^{-6} \div 10^{-4}$ (Om · m) ni tashkil etgan materiallar hisoblanadi.

Yarim o'tkazgich materiallar – solishtirma o'tkazuvchanligi xona haroratida $\sigma = 10^{-4} \div 10^{10}$ (Om·m) ni tashkil etib, ularning elektrofizik xossasi metallardan farqli holda tashqi ta'sirga: yorug'lik, bosim, elektr maydon hamda haroratga juda ta'sirchan bo'lgan materiallardir.

Dielektrik materiallar - bu odatda solishtirma o'tkazuvchanligi juda kichik bo'lib, $\sigma = 10^{10} \div 10^{15}$ (Om · m) bo'lgan va elektr xususiyati qutblangan qonuniyatiga bo'ysunuvchi material hisoblanadi.

O'tkazuvchan material deb - elektr o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan materiallarga aytiladi. Ularni texnikada qo'llanilishiga sabab, normal haroratda juda yuqori solishtirma elektr o'tkazuvchanlikka egaligidir.

Yarim o'tkazgich material deb – o'tkazuvchan va o'tkazmaydigan (dielektrik) materiallar oralig'idagi materiallarga aytiladi.

Bularni boshqa materiallardan farqi solishtirma o'tkazuvchanligi tok tashuvchilarning konsentratsiyasiga hamda tashqi energetik xolatiga, haroratga va yorug'likka bog'liqligidir.

Dielektrik materiallar deb - elektr xususiyati qutblanishga bo'ysinuvchi va solishtirma o'tkazuvchanligi juda kichik bo'lgan materiallarga aytiladi. Dielektrik materiallar 2 ga bo'linadi:

1. Passiv
2. Aktiv (faol).

Passiv dielektrik materiallar ko'pincha elektro – izolyasiya sifatida qo'llaniladi. Bunga misol qilib, oddiy kondensatorni olish mumkin. Aktiv

dielektriklar ko'pincha lazer texnikasida qo'llaniladi. O'tkazuvchan materiallarning solishtirma qarshiligi $\rho < 10^{-5}$ Om·m dielektrik materiallar qarshiligi esa $\rho < 10^8$ Om·m .

1.2. Molekulalar hosil bo'lishi

Molekulalarning tuzilishi

Atom-molekular ta'limotning asosiy qoidalari XVII asrning o'rtalariga kelib M.V.Lomonosov tomonidan ishlab chiqildi va ingliz kimyogari J.Daltonning XIX asrning o'rtalarida fanga elementlarning atom massalari haqidagi tushunchani kiritganidan keyingina umum tomonidan e'tirof etildi.

Moddalar bilan bo'ladigan fizik hodisalarni molekular nazariya tushuntirib beradi. Kimyoviy hodisalarni tushuntirishda molekular nazariyaga atomlar haqidagi ta'limot yordam beradi.

Bu nazariyalarning ikkalasi— molekular nazariya bilan atomlar haqidagi nazariya birlashib, atom-molekular ta'limotni hosil qiladi. Bu ta'limotning mohiyatini quyidagi bir necha qoidalar tarzida ta'riflash mumkin:

1. Molekulalar to'xtovsiz harakatda bo'ladi. Molekulalarning harakatlanish tezligi temperaturaga bog'liq. Temperatura ko'tarilishi bilan molekulalarning harakatlanish tezligi ortadi.

2. Molekulalar atomlardan tarkib topadi, atomlar hammolekulalar kabi to'xtovsiz harakatda bo'ladi.

3. Bir turdagi atomlar boshqa turdagi atomlardan massasi va xossalari bilan farq qiladi.

4. Molekulalar orasida o'zaro tortilish va itarilish kuchlari ta'sir etadi. Bu kuchlar qattiq moddalarda eng ko'p, gazlarda esa kam namoyon bo'ladi.

5. Molekulalar orasida oraliq masofa bo'lib, uning o'lchamlari moddaning agregat holatiga va temperaturaga bog'liq.

Gazlarning molekulari orasidagi masofa eng katta bo‘ladi. Ularning oson siqiluvchanligiga sabab ana shudir. Suyuqliklarni siqish qiyin, chunki ularning molekulari o‘rtasidagi oraliq ancha kichik bo‘ladi. Qattiq moddalarda molekular o‘rtasidagi oraliq yanada kichik, shu sababli ular deyarli siqilmaydi.

6. Molekular va nomolekular tuzilishli moddalar bor.

7. Molekular tuzilishli moddalarda qattiq holatda kristall panjaraning tugunlarida molekular bo‘ladi.

Kristall panjaraning tugunlarida joylashgan molekular orasidagi bog‘lanish zaif bo‘ladi va qizdirilganda uziladi. Shu sababli molekular tuzilishli moddalarning suyuqlanish temperaturalari odatda, ancha past bo‘ladi.

8. Fizik hodisalarda molekular saqlanib qoladi, kimyoviy hodisalarda esa parchalanadi.

Bir xil moddalar tarkibi va xossalari jihatidan farq qiladigan boshqa moddalarga aylanadigan va bunda atomlar yadrolarining tarkibi o‘zgaradigan hodisalar kimyoviy hodisalar deyiladi.

Havoda oksidlanish, yonish, rudalardan metallarning olinishi, temirning zanglashi — bularning hammasi kimyoviy hodisalardir. Bu hodisalarni boshqacha qilib aytganda, kimyoviy o‘zgarishlar, kimyoviy reaksiyalar yoki kimyoviy o‘zaro ta’sirlar deyiladi. Kimyoviy hodisalar bilan fizik hodisalarni bir-biridan farq qilish lozim.

Fizik hodisalarda moddalarning shakli yoki fizik holati o‘zgaradi yoki atom yadrolarining tarkibi o‘zgarishi hisobiga yangi moddalar hosil bo‘ladi.

Masalan, gazsimon ammiak suyuq azot bilan o‘zaro ta’sir ettirilganda ammiak dastlab suyuq, so‘ngra esa qattiq holatga o‘tadi. Bu kimyoviy hodisa emas, balki fizik hodisadir, chunki moddaning (azotning ham, ammiakning ham) tarkibi o‘zgarmaydi. Yangi moddalar hosil bo‘lishiga olib keladigan ba’zi hodisalar fizik hodisalar qatoriga kiradi. Masalan, bir xil elementlarning atomlaridan boshqa xil elementlarning atomlari hosil bo‘ladigan yadro reaksiyalari fizik hodisalardir.

9. Nomolekular tuzilishli moddalarda kristall panjaralarning tugunlarida atomlar va boshqa zarrachalar bo'ladi.

Ana shu zarrachalar orasida kuchli kimyoviy bog'lanish bo'lib, uni uzish uchun ko'p energiya talab qilinadi. Shu sababli nomolekular tuzilishli moddalarning suyuqlanish haroratlari ancha yuqori bo'ladi.

Fizik va kimyoviy hodisalar atom-molekular ta'limot asosida tushuntiriladi. Masalan, fizika kursidan ma'lum bo'lgan diffuziya hodisasi bir modda molekulalarining (atomlari, zarrachalarining) boshqa moddaning molekulalari (atomlari, zarrachalari) orasiga kirib bora olishi bilan tushuntiriladi. Bunga sabab shuki, molekulalar (atomlar, zarrachalar) doimo harakatda va ular o'rtasida oraliqlar bo'ladi. Kimyoviy reaksiyalarning mohiyati bir moddaning atomlari orasidagi kimyoviy bog'lanishning uzilishidan va atomlarning qayta gruppalanib boshqa moddalar hosil qilishidan iborat.

Atom va molekulalar. Qadimgi grek faylasufi Demokrat bundan 2500 yil muqaddam barcha jismlar juda mayda, ko'zga ko'rinmaydigan, bo'linmaydigan, doimo harakatdagi zarrachalardan — atomlardan tarkib topgan, degan fikrni aytdi. „Atom“ so'zi tarjima qilinganda "bo'linmas" degan ma'noni bildiradi. Molekula va atomlar haqidagi ta'limotni, asosan, XVII asrning o'rtalarida rus olimi M.V.Lomonosov ishlab chiqqan. U tabiatdagi jismlar korpuskulalardan (molekulalardan) tarkib topgan, korpuskulalar tarkibiga elementlar (atomlar) kiradi, degan fikrni aytdi. Olim moddalarning turli-tumanligini molekulalarda turli atomlarning birikishi va ularda atomlar turlicha joylashganligi bilan tushuntirdi.



1.1- rasm. Muz kristali: suvning kristall tuzilishi.

Molekula va atomlar haqidagi ta'limot faqat 1860- yilda kimyogarlarning Karlsruedagi butun jahon syezdida uzil-kesil e'tirof etildi. Atomlar haqiqatan ham mavjudligini ko'pgina kimyoviy reaksiyalar tasdiqlaydi.

Molekulalar — ko'pchilik moddalarning eng mayda zarrachalari bo'lib, ularning tarkibi va kimyoviy xossalari berilgan moddaniki kabi bo'ladi.

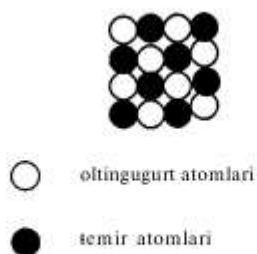
Molekulalar kimyoviy reaksiyalarda parchalanadi, ya'ni ular kimyoviy jihatdan bo'linadigan zarrachalardir.

Atomlar — moddaning kimyoviy jihatdan bo‘linmaydigan eng mayda zarrachalaridir. Bu ta’rifdagi „Kimyoviy jihatdan bo‘linmaydigan“ degan iborani alohida ta’kidlash lozim, chunki atomlar parchalanadigan va atomenergiyasi ajralib chiqadigan hodisalar ham ma’lum. Bunday hodisalarda atomlar bir-biriga aylanadi. Qattiq va gaz holatida molekulalardan tarkib topgan moddalar molekular tuzilgan moddalarga kiradi. Bunday moddalarning tipik vakili suvdur. Suv kristallarining tuzilishi sxema tarzida 1.1-rasmda ko‘rsatilgan.

Moddaning alohida zarrachalari (molekulalar, atomlar) qattiq (kristall) holatida muayyan izchillikda joylashib, panjarani eslatadigan struktura hosil qiladi. Shu sababli „Moddaning kristall panjarasi“ degan tushunchadan foydalaniladi. 1.1-rasmda ko‘rsatilganidek, suv qattiq holatda kristall tuzilishga ega bo‘ladi. Suvning kristall panjarasining tugunlarida suv molekulalari bo‘ladi. Demak, suv molekular kristall tuzilishga ega.

Kristall panjarasining tugunlarida molekulalar emas, balki atomlar turadigan ko‘pgina moddalar ma’lum (masalan, temir sulfid), bu holda panjara tugunlarida temir va oltingugurt atomlari bo‘ladi (1.2-rasm). Demak, temir sulfid nomolekular tuzilgan moddalar qatoriga kiradi.

Kristall moddani suyuqlantirish uchun uning kristall panjarasini yemirish lozim. Kristall panjarada molekulalar orasidagi bog‘lanish atomlar orasidagi bog‘lanishga qaraganda ancha bo‘sh bo‘lar ekan. Shu sababli, odatda, molekular tuzilishli moddalarning suyuqlanish harorati past, nomolekular tuzilishli moddalarning suyuqlanish harorati esa yuqori bo‘ladi. Berilgan moddaning molekular yoki nomolekular tuzilganligini uning fizik xossalariga qarab oldindan aytib berish mumkin.



1.2-rasm. Temir sulfid kristalining bir qatlami.

Molekular tuzilishli moddalar odatdagi sharoitda—gazlar (kislород, vodorod, azot va boshqalar), suyuqliklar (suv, spirt, efir va 1.1- rasm. Muz kristali: suvning kristall tuzilishi. suvmolekulasi boshqalar) yoki oson suyuqlanadigan qattiq moddalardir (oltinugurt—suyuqlanish harorati 113°C , fosfor—suyuqlanish harorati 44°C va boshqalar).

Kimyoviy elementlar. Qadimgi mutafakkirlardan kimyoga "tom" soʻzidan tashqari „element“ soʻzi ham kirib qoldi, bu tarkibiy qismdegan maʼnoni bildiradi.

Kimyoviy element — bu atomlarning muayyan turidir. Kislород atomlari atomlarning bitta turini, bitta kimyoviy element—kislород elementini, simob atomlari—atomlarning boshqa turini, kimyoviy element simobni tashkil etadi va hokazo. Hozir bizga atomlarning 109 turi—109 ta kimyoviy element maʼlum. Butun koinot eng uzoq yulduzlar va tumanlargacha ana shu kimyoviy elementlardan tarkib topgan.

„Kimyoviy element“ va „oddiy modda“ degan tushunchalarni bir-biridan farq qila bilish lozim. Qandni qizdirganimizda reaksiyadan keyin qolgan qattiq qoldiq modda—koʻmir. Bundan qand tarkibiga uglerod atomlari kiradi, degan xulosaga kelamiz. Ammo qandda (suvda eriydigan rangsiz moddada) koʻmir (suvda erimaydigan qora modda) bor deyish notoʻgʻri boʻlar edi. Uglerod atomlari koʻmirga aylanishi uchun boshqa elementlarning atomlari bilan hosil qilgan bogʻlardan uzilishi va bir-biri bilan bogʻlanishi kerak. Qandni qizdirish yoʻli bilan parchalashda ana shunday hodisa sodir boʻladi. Olovga qoʻyib, soʻng unutilgan idishdagi ovqatda ham ana shunday hol roʻy beradi. Koʻmir bilan uglerod — bitta narsa emas. Uglerod muayyan atomlar turi, yaʼni kimyoviy

elementdir. U birikmalar tarkibiga kirishi ham, erkin holda ajralib chiqishi ham mumkin. Bir-biri bilan bogʻlangan uglerodatomi biz koʻmir deb ataydigan oddiy moddaning oʻzidir. Biz koʻrib oʻtgan misolda kimyoviy element (uglerod) va ungatoʻgʻri keladigan oddiy modda (koʻmir) turlicha ataladi. Qolganelementlar esa ularga toʻgʻri keladigan oddiy moddalar bilan bir xil 1.2-rasm.

Temir sulfid kristalining bir qatlami. Oltinugurt atomlari temir atomlari nomlanadi. Shuning uchun „kislrod“, „temir“ soʻzlari kimyoviy elementni ham, shu nomdagi oddiy moddani ham bildirishi mumkin, shu sababli har qaysi holda ularni farq qila bilishga oʻrganish lozim. „Kislrod bilan nafas olamiz“, „kislrod — gaz“ deyilsa, gap oddiy modda holdagi kislrod haqida (boshqacha aytganda, kislrod molekulalari haqida) boradi. „Simob (II) oksidda kislrod bor“ deyilganda esa kimyoviy element sifatidagi kislrod haqida (boshqacha aytganda, kislrod atomlari haqida) gap boradi. „Temir magnitga tortiladi“, „temirdan mix yasaladi“ deyilganda modda sifatidagi temir nazarda tutiladi, „temir zang tarkibiga kiradi“ degan iborada esa „temir“ soʻzi kimyoviy elementning nomidir.

Kimyoviy elementlarning belgilari. Kimyoda moddalarning tarkibini va ular orasidagi kimyoviy reaksiyalarni bayon qilishni osonlashtiradigan til—kimyo tili bor. Endi shu tilning „alifbosi“ — elementlarning kimyoviy belgilari bilan tanishib chiqamiz.

Har bir kimyoviy element oʻzining maxsus belgisi bilan ifodalanadi.

Kimyoviy belgi, element lotincha nomining bosh harfi yoki bosh harfi bilan keyingi harflaridan biri orqali ifodalanadi. Masalan, lotincha Hidrogenium (gidrogenium) deyiladigan vodorod — H harfi bilan, simob Hidrargirum — (gidrargirum) Hg harfi bilan, kislrod — Oxigenium (oksigenium) — O harfi bilan belgilanadi va hokazo. Bunda H belgi vodorod elementini ham, vodorodning bitta atomini ham bildiradi. O harfi kislrod elementini ham, kislrodning bitta atomini ham, C belgi uglerod elementini ham, uglerodning bitta atomini ham bildiradi va hokazo.

Kimyoviy formulalar. Moddaning tarkibini kimyoviy belgilar bilan ifodalash moddaning kimyoviy formulasi deyiladi. Oddiy moddaning kimyoviy formulasini yozish uchun avval elementning kimyoviy belgisi yoziladi va uning o'ng tomonini pastiga moddalar molekulasidagi atomlar sonini ko'rsatuvchi indeks deb ataladigan raqam yozib qo'yiladi. Masalan, kislorod va vodorod molekulari ikki atomdan iborat, shu sababli ularning tarkibi O₂, H₂ formulalar bilan ifodalanadi (o-ikki, ash-ikki deb o'qiladi).

Murakkab moddaning formulasini yozish uchun modda qanday kimyoviy elementlardan tuzilganligini va uning molekulasida har qaysi elementning nechtadan atomi borligini bilish lozim. Avval kimyoviy elementlarning belgilari, so'ngra belgining o'ng tomoni pastiga indekslar yoziladi. Masalan, ikki atom vodorod va bir atom kisloroddan iborat suv molekulasini H₂O formula bilan ifodalanadi va ash-ikki o deb o'qiladi. Molekula ayni moddaning eng kichik zarrachasi sifatida qaralgani sababli molekula tuzilishiga ega bo'lmagan qattiq moddalarda atomlarning son nisbatlari kristalldagi, masalan, FeS dagi kabi bo'lgan eng oddiy majmuyi molekula deb qabul qilinadi.

Moddaning kimyoviy formulasiga qarab ayni modda oddiy yokimurakkab modda ekanligini, u qanday elementlardan hosil bo'lganligini, uning molekulasi tarkibiga har qaysi elementning nechtadan atomi kirganligini ayta olamiz.

Elementning nisbiy atom massasi. Atomlarning o'lchamlari qanchalik kichik bo'lishidan qat'i nazar, ularning massasi aniqlangan. Agar atomlarning massalarini massaning odatda foydalaniladigan birliklarida (kilogramm, gramm) ifodalasak, atomlar massalarining qiymatlari juda kichik sonlar bo'ladi. Masalan, uglerod atomining massasi quyidagiga teng:

$m_a(C) = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 02\ g = 2,0 \cdot 10^{-23} = 2,0 \cdot 10^{-26} kg$, kislorod atomining massasi esa quyidagiga teng: $m_a(O) = 2,66 \cdot 10^{-23} g = 2,66 \cdot 10^{-26} kg$
Atomlar massalarining bunday son qiymatlaridan foydalanish, ularni eslab qolish va ular bilan arifmetik amallarni bajarish qiyin. Shu sababli atomlarning massalarini ifodalash uchun maxsus massa atom birligi (m.a.b.) kiritilgan. 1 m.a.b.

uglerod atomi massasining 1/12 qismiga, ya'ni $1,66 \cdot 10^{-24}$ g ga teng. Elementlar atomlarining massasini 1 m.a.b. bilan taqqoslab, butun sonlar topiladi, ular nisbiy atom massalar deyiladi. Masalan, kislorod uchun:

$$A_r(\text{O}) = \frac{2,66 \cdot 10^{-23} \text{ g}}{0,161 \cdot 10^{-23} \text{ g}} = 16$$

Shu usulda barcha kimyoviy elementlar uchun nisbiy atom massalarini topish mumkin.

Element atom massasini uglerod atom massasining 1/12 qismiga nisbati elementning nisbiy atom massasi deyiladi. Elementning nisbiy atom massasi A_r bilan belgilanadi, bunda r — „relative“ so‘zining boshlang‘ich harfi, u „nisbiy“ degan ma‘noni bildiradi. Bu o‘lchamsiz kattalikdir. Nisbiy atom massasining o‘lchamsiz kattaligini atomlarning massa atom birliklarida (m.a.b.) ifodalangan massasidan farq qila bilish kerak. Atomlarning massalari element nisbiy atom massasining 1 atom birligiga ko‘paytmasi sifatida topiladi. Masalan,

$$m_a(\text{O})=16:1 \text{ m.a.b.}=16 \text{ m.a.b.}$$

Quyidagilarni o‘zaro taqqoslang:

$$m_a(\text{C})=12 \text{ m.a.b. } A_r(\text{C})=12$$

$$m_a(\text{S})=32 \text{ m.a.b. } A_r(\text{S})=32$$

$$m_a(\text{H})=1 \text{ m.a.b. } A_r(\text{H})=1$$

$$m_a(\text{Fe})=56 \text{ m.a.b. } A_r(\text{Fe})=56$$

Moddaning nisbiy molekular massasi. Moddaning kimyoviy formulasidan uning nisbiy molekular massasi (M_r) hisoblab topiladi.

Ayni modda massasini uglerod atomi massasining 1/12 qismiga nisbati shu moddani nisbiy molekular massasi deb ataladi. Moddaning nisbiy molekular massasini hisoblab topish uchun har qaysi elementning atomlari sonini hisobga olgan holda nisbiy atom massalarini qo‘shib chiqish kerak, masalan:

$$M_r(\text{H}_2\text{O})=1 : 2+16=18$$

Shunga mos holda molekulaning massasi ham (m.a.b. da) topiladi:

$$m_m=(\text{H}_2\text{O})=2\cdot 1 \text{ m.a.b.}+16 \text{ m.a.b.}=18 \text{ m.a.b.}$$

Agar modda nomolekular tuzilgan bo'lsa, uning nisbiy molekular massasi modda formulasidagi atomlar sonini hisobga olgan holda elementlar nisbiy atom massalarining yig'indisi sifatida topiladi. Bu holda formula modda shartli molekulasining tarkibini ifodalaydi.

Agar biror kimyoviy reaksiyalar zarrachalar (atomlar, molekular va b.) soni jihatidan ko'rib chiqilayotgan bo'lsa, u holda „**modda miqdori**“ degan fizik kattalik qo'llaniladi. Modda miqdorining birligi mol hisoblanadi. Mol—bu 0,012 kg (12 g) uglerodda nechta uglerod atomi bo'lsa, tarkibida shuncha zarrachalar (atom, molekula va boshqalar) bo'lgan modda miqdoridir. Mol—tarkibida $6,02\cdot 10^{23}$ molekula, atom yoki boshqa zarrachalar bo'lgan modda miqdoridir. $N_A=6,02\cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ son Avogadro doimiysi (A.Avogadro sharafiga) deb atalgan:

$$N_A = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{1 \text{ mol}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Moddaning molyar massasi M modda massasi m ning moddaning tegishli miqdori n ga nisbatiga teng: $M = \frac{m}{n}$
Masalan,

$$M(\text{H}_2\text{O}) = \frac{36 \text{ g}}{2 \text{ mol}} = \frac{18 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = \frac{9 \text{ g}}{0,5 \text{ mol}} = \frac{1,8 \text{ g}}{0,1 \text{ mol}} = 18 \text{ g/mol}$$

Ko'rinib turibdiki, moddaning molyar massasi son jihatdan 1 molning massasiga, ya'ni berilgan modda $6,02\cdot 10^{23}$ zarrachalarining massasiga teng. Moddaning molyar massasi—uning bir molining massasidir. Molyar massa, odatda, bir molga to'g'ri keladigan grammlar (g/mol) bilan ifodalanadi. Masalan, $M(\text{H}_2)=2 \text{ g/mol}$; $M(\text{FeS})=88 \text{ g/mol}$; $M(\text{Fe})=56 \text{ g/mol}$; $M(\text{S})=32 \text{ g/mol}$.

Molyar massa atom va molekularning massalari (m.a.b.da) hamda nisbiy atom va molekular massalar bilan son jihatdan mos keladi. Masalan, temir bilan oltingugurtning reaksiya tenglamasidan quyidagi ma'lumotlarni olamiz:



$$1 \text{ mol} \quad 1 \text{ mol} \quad 1 \text{ mol}$$

$$56 \text{ g/mol} \quad 32 \text{ g/mol} \quad 88 \text{ g/mol}$$

Moddaning massasi va miqdori orasidagi nisbatdan foydalanib, amalda muhim bo'lgan masalalarni yechish mumkin.

Moddaning ma'lum miqdoriga ko'ra massasini hisoblab topish. Masalan: oltingugurt bilan reaksiyada 0,5 mol temir ishtirok etadi.

Reaksiya uchun olinishi lozim bo'lgan temirning massasini aniqlang. Quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$M=m/n; m=M \cdot n;$$

$$m=56 \text{ g/mol} \cdot 0,5 \text{ mol}=28 \text{ g}$$

Javob: 28 g temir.

Moddaning kimyoviy formulasi asosida elementlarning massa ulushlarini ham hisoblab topish mumkin. Elementning massa ulushi deganda, element atomlari massasining molekula massasiga nisbati tushuniladi va odatda, birlikning ulushlarida yoki foizlarda ifodalanadi.

Har qanday miqdor suvning tarkibi 89% kislrod bilan 11% vodorodan iborat. Shunday qilib, kimyoviy formula:

—moddaning sifat tarkibini—u qanday kimyoviy elementlardan tarkib topganligini;

—modda molekulasining atom tarkibini, ya'ni modda molekulasini tashkil etgan har qaysi element atomlarining sonini ko'rsatadi.

Kimyoviy formula asosida:

—moddaning nisbiy molekular massasini va molekulasining m.a.b. dagi massasini;

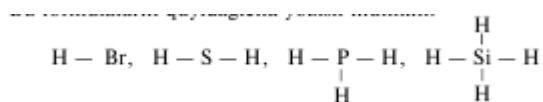
—moddadagi elementlarning massa ulushlarini (foiz hisobida) hisoblab topish mumkin.

Element atomining valentligi. Element atomlarining boshqa elementlarning muayyan sondagi atomlarini biriktirib olish

xususiyati shu elementning valentligi deyiladi. Valentlikning o'lchov birligi qilib vodorod atomining valentligi qabul qilingan. Vodorod atomi boshqa elementlarning bittadan ortiq atomini biriktira olmaydi, shu sababli vodorodning valentligi birga teng deb qabul qilingan. Boshqa elementlarning valentligini esa shu elementning atomi o'ziga nechta vodorod atomini biriktira olishini ko'rsatuvchi son bilan ifodalanadi. Ba'zi elementlarning vodorod bilan hosil qilgan birikmalarining kimyoviy formulalarini ko'rib chiqamiz.



Bu formulalarni quyidagicha yozish mumkin:



Bu yerda chiziqchalar atomlar orasidagi bog'lanishlarni ifodalaydi. Molekulalarning tuzilishi bunday ifodalanganda qanday atomlar bir-biri bilan bog'langan, qaysilari esa bog'lanmaganligini aks ettiradi. Masalan, suvning formulasidan uning molekulasida vodorodning ikkala atomi kislorod atomi bilan bog'langan. Yuqoridagi formulalardankorinib turibdiki, bir xil elementlarning (xlor, brom) atomlari vodorodning faqat bittadan atomini biriktirib oladi (bu elementlar bir valentlidir); boshqa elementlarning (kislorod, oltingugurt) atomlari esa vodorodning ikkitadan atomini biriktirib oladi (bu elementlar ikki valentlidir) va hokazo.

Shunday qilib, elementning vodorodli birikmalaridagi valentligi shu elementning atomi biriktirib olgan vodorod atomlarining soni bilan aniqlanadi. Ikki elementdan iborat moddada bir elementning valentligi ma'lum bo'lsa, shu moddaning formulasiga qarab ikkinchi elementning valentligini aniqlash mumkin.

Moddalar massasining saqlanish qonuni. Har qanday reaksiya mahsulotlari boshlang'ich moddalar qanday atomlardan tuzilgan bo'lsa, shunday atomlardan tarkib topgan bo'ladi. Atomlar kimyoviy reaksiyalar vaqtida saqlanib qoladi,

demak, ulardan har birining va, binobarin, jami atomlarning massasi ham saqlanib qolishi kerak.

Bu holda har qanday reaksiya mahsulotlarining massasi boshlang'ich moddalarning massasiga teng bo'lishi lozim.

Atom-molekular ta'limot nuqtayi nazaridan massaning saqlanish qonuni shunday tushuntiriladi: kimyoviy reaksiya natijasida atomlar yo'qolmaydi va yo'qdan paydo ham bo'lmaydi, balki ular qayta gruppalanadi. Atomlar soni reaksiyadan oldin ham, keyin ham o'zgarmaganligi sababli ularning umumiy massasi ham o'zgarmaydi. Massaning saqlanish qonunini dastlab M.V.Lomonosov shunday ta'riflagan edi: „Tabiatda sodir bo'ladigan har qanday o'zgarishning mohiyati shundaki, biror jismdan qancha miqdor kamaysa, ikkinchi jismga shuncha miqdor qo'shiladi. Demak, materiya biror joyda kamaysa, ikkinchi o'rinda ko'payadi“.

Massaning saqlanish qonunidan moddalar yo'qdan bor bo'lmaydi va mutlaqo yo'qolib ham ketmaydi, degan xulosa kelib chiqadi. Shu sababli agar kimyoviy reaksiya vaqtida modda yo'q narsadan paydo bo'layotganga yoki mutlaqo izsiz yo'qolib ketayotganga o'xshasa, biz reaksiyada qatnashayotgan va reaksiya natijasida hosil bo'layotgan moddalarni to'liq hisobga olmagan bo'lamiz.

Modda tarkibining doimiylik qonuni. Tarkibning doimiylik qonuni kimyoning asosiy qonunlari qatoriga kiradi: **har qanday toza modda olinish usulidan qat'i nazar, o'zgarmas sifat va miqdoriy tarkibga ega bo'ladi.**

Masalan, uglerod (IV) oksid (karbonat anhidrid) CO_2 ning tarkibini ko'rib chiqamiz. U uglerod bilan kisloroddan tarkib topgan (sifat tarkibi). CO_2 da uglerodning miqdori 22,27 %, kislorodniki — 72,73 % (miqdoriy tarkibi).

Atom-molekular ta'limot tarkibning doimiylik qonunini tushuntirishga imkon beradi. Atomlarning massasi o'zgarmas bo'lganligi sababli moddaning massa tarkibi ham umuman o'zgarmas bo'ladi.

Kimyoning rivojlanishi shuni ko'rsatadiki, o'zgarmas tarkibli birikmalar bilan bir qatorda, o'zgaruvchan tarkibli birikmalar ham bo'lar ekan. N.S.Kurnakovning taklifiga ko'ra, o'zgarmas tarkibli birikmalar daltonidlar (ingliz kimyogari va fizigi Daltonning xotirasiga), o'zgaruvchan tarkiblilari—bertollidlar (shunday birikmalar borligini oldindan aytgan fransuz kimyogari Bertolle xotirasiga) deb ataladi. Daltonidlarning tarkibi butun sonli stexiometrik indeksleri bor oddiy formulalar bilan ifodalanadi, masalan, H_2O , HJ , CCl_4 , CO_2 . Bertollidlarning tarkibi o'zgarib turadi va stexiometrik nisbatlarga muvofiq kelmaydi. Masalan, uran (VI) oksidning tarkibi, odatda, UO_3 formula bilan ifodalanadi. Haqiqatda esa uning tarkibi $UO_{2,5}$ dan UO_3 gacha bo'ladi. Olinish sharoitiga qarab vanadiy (II) oksidning tarkibi $VO_{0,9}$ dan $VO_{1,3}$ gacha bo'lishi mumkin. O'zgaruvchan tarkibli birikmalar borligi munosabati bilan tarkibning doimiylik qonunining hozirgi ta'rifiga aniqlik kiritish kerak bo'ladi.

Molekular strukturali, ya'ni molekulalardan tuzilgan birikmalarning tarkibi, olinish usulidan qat'i nazar, o'zgarmas bo'ladi. Nomolekular strukturali (atomli, ionli va metall panjarali) birikmalarning tarkibi esa o'zgarmas bo'lmaydi va olinish sharoitlariga bog'liq bo'ladi.

Masalan, vanadiy (II) oksidning tarkibi temperaturaga va sintezda ishlatiladigan kislorodning bosimiga bog'liq bo'ladi. Elementlarning izotop tarkibini ham hisobga olish kerak: masalan, odatdagi suvda 11,19%, og'ir suvda esa 20% vodorod bo'ladi.

1.3. Atomlar orasidagi bog'lanish turlari

Atomlar orasida har xil *bog'lanish turlari* uchrashi mumkin. Bog'lanish turi o'zaro ta'sirga kirishuvchi atomlarning elektron tuzilishi bilan aniqlanadi. Elementar zarralar ma'lum masofaga yaqinlashadi va u eng katta termodinamik stabillikni ta'minlaydi.

Bog'lanish energiyasi materiallarning fizik xususiyatini aniqlaydi. Barcha kristallar bog'lanish xarakteriga ko'ra shartli ravishda molekulyar, kovalent,

metallik va ionlilarga bo'linadi, ammo bu bo'linish shartli, chunki ular aloqani bir necha turida ishlashi mumkin.

Molekulyar bog'lanish – bu Van-der-Vals bog'lanishi ustun turadigan kristallar. Masalan, inert gazlarni kristallarida juda past haroratlarda, katta bosim ostida (qattiq holatda) atomlar yaqinlashganda elektronlarni almashinuvi mumkin emas, ular orasidagi tortishish kuchlari yaqinlashishida oniy qutblanish bilan tushuntiriladi. Normal sharoitlarda molekulyar kristallarga J_2 , H_2O , CO_2 , CH_4 lar kiradi. Bu kristallar uchun eng kompakt kristall panjara xarakterlidir (QMK). Bog'lanish energiyasi katta emas, shuning uchun molekulyar bog'lanish turiga ega bo'lgan kristall jismlar past erish haroratiga va bug'lanishga ega, katta chiziqli kengayishning harorat koeffitsiyentiga va dielektrik xususiyatlarga ega.

Kovalent bog'lanish – kovalent bog'lanish turi ustunroq bo'lgan kristallar. Bunday kristallarni davriy elementlar tizimini 4, 5, 6 guruhleri tashkil qiladi. Atomlar tizimlarining valent elektronlarini valent sohasida qo'shni atomlar bilan umumlashtiradi. Misol: uglerod (C), kremniy (Si), germaniy (Ge), surma (Sb), vismut (Bi) va boshqalar. Ushbu materiallar uchun atomlararo bog'lanishlarni yo'naltirilganligi va zich joylashmagan kristall strukturalar xarakterli. Kovalent bog'lanish turiga ega bo'lgan materiallar yuqori erish haroratiga ega, o'zining elektr xossalriga ko'ra ular yarim o'tkazgich va dielektriklarga kiradi.

Metall bog'lanish – bu kristallarda metall turidagi bog'lanish ustunroq bo'ladi. Ularni barcha A kichik guruh elementlari va 1-3 B kichik guruhlar tashkil qiladi. Ularni valentlik energetik sohalar bir- birini qoplaydi, butun kristall hajmida erkin elektronlarni umumiy sohasini hosil qiladi. QMK ga ega kristall strukturalarga misol – nikel, kumush, mis, oltin, temir – γ , platina, alyuminiy, qo'rg'oshin GZJ ga misol – magniy, kobalt, berilliy, rux, titan; HMK ga misol – temir – α , xrom, molibden, volfram, tantal. Metall turdagi bog'lanishlar uchun *polimorfizm* hodisasiga o'rin bor – turli haroratlarda (bosimlarda) qattiq holatda turli hildagi kristall strukturaga ega bo'lishi va ular *allotropik shaklga* ega yoki *modifikatsiyalar* deyiladi. Metallik bog'lanish energiyasi kovalent bog'lanishnikidan biroq kam bo'ladi, shuning uchun metallar kovalent kristallarga

nisbatan pastroq, bug'lanish erish haroratiga, kichikroq elastiklik moduliga hamda kattaroq chiziqli kengayishini harorat koeffitsiyentiga ega; metallar plastikroq, kamroq qattiq bo'ladi; yaxshi elektr o'tkazuvchanlikka ega.

Ionli bog'lanish turli valentlikka ega elementlardan iborat murakkab kristallar uchun xarakterli. Elementlar orasida elektronlarni qayta taqsimlanishi sodir bo'ladi, elektr jihatdan musbat element o'zining valent elektronlarini yo'qotadi va musbat ionga aylanadi, elektr jihatdan manfiy element ega bo'ladi, o'zini valent sohasini qurib tugatadi, mustahkam konfiguratsiyaga inert gazlarniki kabi. Misol: temir oksidi kristalli FeO, uning panjarasi manfiy zaryadlangan kislorod ionlari va musbat zaryadlangan temir ionlaridan tashkil topadi. Bu kristallarni bog'lanish energiyasi bog'lanishni ionli turidan kovalent kristall turiga yaqinroq bo'ladi, ular metallik undanda molekulyar kristallarnikidan ustunroq bo'ladi. Yuqori erish haroratiga, bog'lanishga, yuqori elastiklik moduliga va chiziqli kengayishning past harorat koeffitsiyentiga ega.

1.4. Qattiq jismlar haqida ma'lumotlar

Qattiq jism - moddaning agregat holati. Juda katta bo'lmagan tashqi ta'sirda (deformatsiya, harorat, bosim va h.k.) o'z turg'un shakl va hajmiga ega bo'lgan, hamda uni tashkil etgan atomlarning o'z muvozanat holatlari atrofida issiqlik ta'sirida o'ta sust tebranishlarga ega bo'lgan jismdir. Temir, olmos, oyna, ko'mir, muz va h.k.

Qattiq jismlar o'zining o'z tabiati va tuzilishiga qarab har xil erish haroratlariga, elektr va issiqlik o'tkazuvchanligiga ega bo'ladi.

Qattiq jismlar zich joylashgan atomlar, ionlar va molekulalardan iborat tuzilishga ega. Moddaning qattiq jism holati shu tarkibiy zarralarning bir-biriga yaqin masofalarda ular o'rtasida vujudga keladigan o'zaro ta'sir xususiyatlari bilan bog'liq. Binobarin, moddaning qattiq jism kabi tuzilishga ega bo'lishi tarkibiy zarralari o'rtasida ikki xil umumiy xarakterga ega kuchlar: zarralarning bir-biridan uzoqlashishiga qarshilik ko'rsatuvchi tortishish hamda ularning bir-biriga yaqinlashishiga tusqinlik qiluvchi itarilish kuchlarining mavjudligini taqozo qiladi.

Chunonchi, qattiq jism zarralari o'rtasida umumiy xarakterga ega bo'lgan ion, kovalent, Van-der-Vaals hamda metall va vodorod bog'lanish kuchlari mavjud. Mazkur kuchlarning hammasi ham elektrostatik tabiatga ega.

Moddaning agregat holati tushunchasi, qat'iy aytganda qattiq jismlarning muhim gruppasini hosil qiluvchi kristallargagina taalluqlidir. Kristallarda tarkibiy zarralarning ma'lum katta soha bo'yicha qat'iy tartibda joylashishi kuzatiladi. Qattiq jismning amorf holati ham mavjud. Amorf holatda, xuddi suyuqliklardagidek, jismning tarkibiy zarralarini katta soha bo'yicha emas, faqat kichik sohadagina aniq joylashishi kuzatiladi. Demak, amorf jismlarda tarkibiy tuzilishning yaqin tartibi amalga oshiriladi. Bunga aksincha, kristallar tuzilishi yaqin tartibga ham, olis tartibga ham ega. Modomiki, amorf jismlarda olis tartib yo'q ekan, uning tarkibiy zarralari (molekulalari) o'rtasidagi bog'lanish qiymat jihatdan har xil kuchda vujudga keladi, natijada ular aniq erish temperaturaga ega bo'lmaydi. Chunki bunday qattiq jism qizdirilganida eng kuchsiz bog'lanishlar pastroq temperaturada uziladi, shuning uchun amorf jism temperaturasini asta-sekin oshirilishida avval yumshash, keyin erish yuz beradi.

Qattiq jismlarning kristall tuzilishining xarakteri asosan bog'lanish kuchlari xarakteri bilan aniqlanadi. Bog'lanishlarning mavjud beshta asosiy turiga mos ravishda besh xil kristall tuzilish: ion bog'lanishning ionli kristall panjarasi; Van-der-Vaals kuchlarining molekulyar yoki qutblangan kristall panjarasi; kovalent bog'lanishning atomlardan tuzilgan panjarasi; metall bog'lanishning metall panjarasi va, nihoyat, vodorod bog'lanishning kristall panjarasi mavjud. Qattiq jismlarning kristall panjarasi deganimizda, kristall bo'ylab tarkibiy zarralarning davriy qaytariluvchi to'g'ri joylashishini tushunamiz. Kristall panjara, bog'lanish kuchlarining turidan qat'i nazar, bu kuchlarning masofaga nisbatan tortishish yoki itarilish xarakteri oqibatida tarkibiy zarralarning faqat o'zaro ma'lum masofalardagina vujudga keladigan turg'un muvozanat holatini tasvirlaydi.

Qattiq jism turlari va xossalari. Kristall va amorf materiallar

Qattiq jismlar ularni tashkil qilgan zarralarning joylashish tartibiga asoslanib kristall va amorf jismlar guruhlariga ajraladi. Amorf jismlarni (masalan, shishani) tashkil qilgan atomlar (ionlar, molekulalar)ning joylashishida qat'iy bir tartib yo'q. Bundan ularning fazalarini o'zgartirishida (masalan suyuqlanishida) qat'iy o'tish nuqtalari (suyuqlanish haroratlari) mavjud bo'lmisligi kelib chiqadi: amorf jismlar bir holatdan ikkinchi holatga uzluksiz o'tib boradi. Ammo, kristall jismlarni tashkil qilgan atom (ion, molekula)lar joylashishida muayyan tartib mavjud: ma'lum yo'nalishlarda har qanday ikki qo'shni atom oralig'i bir xil. Shuning uchun ham kristall holatdagi qattiq jismlarning fazalarini o'zgarishi (suyuqlanish, qotish va hakoza) qat'iy muayyan haroratda va bosimda sodir bo'ladi.

Qattiq jismlar tuzilishi, tarkibi, ularni tashkil etgan zarralari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari, mexanik, elektr, magnit, optik va boshqa xossalari jihatidan turli guruhlariga bo'linadi. Masalan, elektr xossalari bo'yicha qattiq jismlar yaxshi o'tkazgichlar (metallar), Yarim o'tkazgichlar (bu atamani qo'shib yozsa ham bo'ladi), dielektriklar guruhlarini tashkil qiladi. Magnit xossalari jihatidan esa diamagnit, paramagnit, ferromagnit, antiferromagnit va ferritlar deb ataladigan qattiq jismlar turlari mavjud.

Qattiq jismlarning ayrim muxim xossalari hamda ularni tavsiflaydigan asosiy tushunchalar to'g'risida ma'lumot beramiz.

Modda qattiq holatda - kristall yoki amorf shaklda bo'lishi mumkin.

Kristallar doimiy shaklga ega, amorf jismlar esa doimiy shaklga ega emas, bu ularning nomlanishidan ham kelib chiqadi, «amorf» grekcha so'z bo'lib, «shaklsiz» degan ma'noni anglatadi. Kristall moddalar bitta yaxlit kristalldan (monokristall) va juda ko'p «o'sgan» kristallchalar (polikristallar) dan iborat bo'lishi mumkin. Masalan, barcha temir buyumlar polikristall temir bo'laklaridan tayyorlangan. Amorf moddalarga misol qilib, shishani olish mumkin.

Bir moddaning o'zi termodinamik sharoitga bog'liq ravishda kristall yoki amorf holatida bo'lishi mumkin. Masalan: oltingugurt kristall shaklda (sariq rangda) va amorf (plastik oltingugurt –to'q qo'ng'ir rangda) bo'ladi.

Kvars – kristall, biroq kvars qumi eritilib, soʻngra eritma tez sovutilsa, amorf kvars shisha hosil boʻladi.

Metallurgiyada olinadigan temir kristall tuzilishga ega. Biroq, eritmani tez sovutish usuli bilan amorf temir (temir oyna) olinadi.

Moddaning kristall holatini amorf holatidan farqlovchi asosiy belgisi shundan iboratki, kristall moddalar erish harorati deb ataluvchi muayyan haroratda suyuq holatga oʻtadi (eriydi). Amorf holatdagi modda isitilganda sekin- asta yumshab borib, soʻngra suyuq holatga oʻtadi.

Amorf jism oʻz-oʻzidan kristall holatga oʻtishi mumkin. Xuddi shuningdek, plastik oltingugurt ham oʻz-oʻzidan kristall holatga aylana oladi. Juda qadimiy binolar oynasi va eskirib ketgan billur idishlar oʻzining yaltiroqlik xususiyatini yoʻqotadi. Bunday shishalarni tekshirish, ularning yaltiroqligini yoʻqolish sababi, unda mayda kristallar hosil boʻlishi ekanini koʻrsatadi.

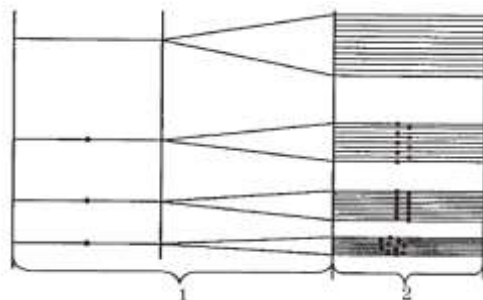
Amorf jismlarda atomlarning eng yaqin qoʻshnilari oʻrtasida tartib va davriylik saqlangan holda, uzoqlashgan sari tartib va davriyligi buzila boshlaydi. Qancha koʻp uzoqlashsa, buzilish shuncha kuchliroq boʻladi. Shuning uchun amorf jismlarga yaqin tartibi saqlangan va uzoq tartib va davriyligi toʻla saqlanmagan qattiq jismlar deb qabul qilingan.

Qattiq jismlarning sohalar nazariyasi

Oʻtkazgichlar va dielektriklar, yarim oʻtkazgichlar orasidagi farq qattiq gazni soha nazariyasini energetik diagrammalari yordamida yaxshi illyustratsiyalanadi. Izolyatsiyalangan atomda elektron faqat qatʼiy aniqlangan diskret energetik sathlardagina (xolatlarda) boʻla oladi. Energetik sathlar bir biridan energiyalari qiymatlari bilan ajratilgan, qaysiki elektronlar ushbu atomda ega boʻla olmaydi. Kristall paydo boʻlishida atomlarni oʻzaro taʼsirlashuvi namoyon boʻladi. Ushbu holatda barcha energetik sathlar (elektron bilan toʻldirilgani va toʻldirilmagani) parchalanadi, energetik sathlar sohasi paydo boʻladi (20 - rasm). Kristall panjarada atomlar soni qancha boʻlsa, shuncha soha sathlari mavjud.

Odatda soha kengligi – 1 eV. Elektronlar tashqi oʻzaro taʼsir hisobiga boʻla oladi (issiqlik nurlanishi), yuqoriroq, erkinroq energetik sathlarga oʻta oladi.

Bunday elektronlar qisman to'ldirilgan energetik soha ichida joylashadi va erkin elektronlar deyiladi. Agar elektr maydonini qo'ysak, erkin elektronlarni o'zgarishi ularni fazodagi yo'naltirilgan ko'chisiga mos keladi, ya'ni elektr tokiga.

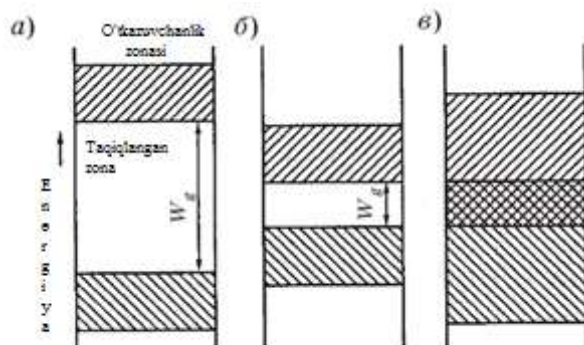


20 – rasm. Energetik sathlar sohasi

Birgalikda hosil bo'lgan energetik sathlarni energetik sohalari ruxsat etilgan sohalar deyiladi. Ruxsat etilgan sohalar bir biridan odatda taqiqlangan sohalar bilan ajratilgan. Qattiq jismlardagi elektr toki valent sohada yoki ruxsat etilgan sohada – o'tkazuvchanlik sohasida bo'lgan elektronlarga asoslangan. 21 - rasmda energetik sohalar ko'rsatilgan: *a* – dielektrikdagi; *b* – Yarim o'tkazgichdagi; *e* – o'tkazgichdagi.

O'tkazgich va qattiq dielektriklarning valent sohasi absolyut nol haroratda to'lig'icha elektronlar bilan to'ldirilgan, undan ajratilgan taqiqlangan soha o'tkazuvchanlik sohasi to'liq bo'sh.

Yarim o'tkazgichlarda taqiqlangan soha kengligi odatda 3 eV dan kichik. yarim o'tkazgichda qo'yilgan erkin elektronlar bo'lmasa, ularda tok hosil bo'lmaydi.



**21 – rasm. Energetik sohalar: a – dielektrikdagi; b – yarim o'tkazgichdagi;
 c – o'tkazgichdagi**

Agar valent sohasidagi elektron (issiqlik, optik yoki boshqa yo'l bilan) taqiqlangan sohani o'tish uchun yetarli energiyani olsa, u o'tkazuvchanlik sohasida bo'lib qoladi, valent sohasida esa vakant joy hosil bo'ladi. Agar elektr maydoni qo'shilsa, bu jarayonni siljigan valent o'rin sifatida ko'rish mumkin – kovaklar. Atomlar orasida kovalent bog'lanish paydo bo'ladi, ularni har biri boshqa atomlar bilan valent elektronlariga ega. Valent sohadagi barcha elektronlar – bu kovalent bog'lanishda ishtirok etuvchi elektronlardir.

Qattiq jismlarning kristall tuzilishi

Ion bog'lanish energiyasi. Atomlarning elektron berishi va olishi natijasida musbat va manfiy zaryadlanishi orqali ion bog'lanishning vujudga kelishi haqida yuqorida qisman tanishgan edik. Ushbu sxema kristallar uchun ham, molekulalar uchun ham o'rinli. Ion bog'lanish bir-biridan r masofada joylashgan ionning elektrostatik tortilish energiyasi

$$V = \frac{B}{r^n} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1)$$

bilan xarakterlanadi. Bunda B va n — doimiyliklar, chunonchi $n > 1$. Ionlarning o'zaro muvozanat holati potensial energiya minimumi orqali aniqlanadi:

$$\frac{dV}{dr} = 0 \quad (2)$$

U holda potensial energiya uchun

$$V = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \left(1 - \frac{r_0^{n-1}}{nr^{n-1}}\right) \quad (3)$$

ifodaga kelamiz. Bunda r_0 — molekulada ionlar orasidagi muvozanat masofa. (3) formula ion bog'lanishli molekulaning potensial energiyasini ifodalaydi.

Molekulaning muvozanat holat potensial energiyasi

$$V_{muv.}(r_0) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (4)$$

ifodasidan N ta molekuladan tashkil topgan kristall panjaraning potensial energiyasini aniqlash mumkin:

$$V_{poten.} = -NA \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (5)$$

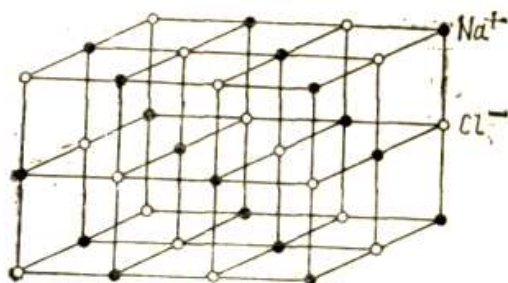
Bunda A — Madelung doimiysi deb ataladi. Madelung doimiysining (5) formuladagi ta'rifiga binoan, u kristallda muayyan molekulani qo'shni molekula bilan o'zaro ta'sir energiyasini hisobga oladi. n ni ion kristallarining siqiluvchanligini kuzatish yo'li bilan aniqlash mumkin.

(3) yoki (5) potensial energiyaning itarilish energiyasi qismi (musbat had) ionlar orasidagi masofaning p - darajasiga teskari proporsional bo'lib, Pauli prinsipi ta'siri sababli vujudga keladi. Haqiqatan ham, molekula yoki kristall panjarada qarama-qarshi ishorali ionlarning bir-biriga juda yaqin kelishiga Pauli prinsipigina yo'l qo'ymaydi. Chunki atomlarning bir-biriga juda yaqin kelishida ularning to'lgan qobiqlaridagi elektronlar soni oshib ketishi yuz bermasligi uchun ortiqcha elektronlar yadrolardan uzoqroq yuqori holatlarga o'tadi. Natijada yadrolarning effektiv zaryadi ortib itarilish vujudga keladi.

Ion bog'lanishli kristallar. Ion bog'lanishli kristallar anorganik birikmalarning ko'pchiligini tashkil etadi. Jumladan, osh tuzi NaCl va KJ ion kristallariga tipik misol bo'la oladi. Bu kabi kristallarda va ularning molekulalarida ionlarning elektron qobiqlari inert gaz atomlarining elektron qobiqlariga o'xshash. Biz yuqorida aytganimizdek, kristallardan ayrim molekulalarni ajratib olish mumkin emas. Kristallni musbat va manfiy ionlarning almashinib qaytariluvchi (takrorlanuvchi), zich joylashishi tarzida qarash kerak. Ionli kristallarning bu xil tuzilishi qo'shni qarama-qarshi ishorali ionlar o'rtasida mumkin bo'lgan maksimal elektrostatik tortilishning vujudga kelishi bilan amalga oshiriladi.

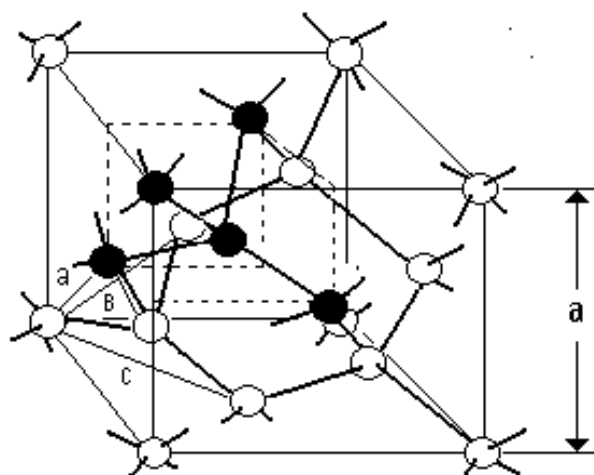
1-rasmda NaCl ning kristali tasvirlangan. Natriy ionlari o'zlari hosil qilgan kublarning uchlarida va yon tomonlarining o'rtasida joylashgan. Xlor ionlari ham xuddi shunday yoqlari markazlashgan kub panjara hosil qiladi. Shunday qilib, NaCl panjarasi bir-biriga kiritilgan ikkita yoqlari markazlashgan kub panjaralardan tuzilgan. Ushbu tuzilishda har bir Na^+ ionni o'ziga yaqin joylashgan oltita S^{1-} ionlari bilan o'ralgan va ularga kuchli elektrostatik tortiladi. Na^+ ga eng yaqin Na^+ (5.62A) ionlari o'n ikkita bo'lib xlor ionlaridan uzotsroq joylashgan. Ular o'rtasida

itarilish mavjud. Lekin, bu o‘n ikkita Na^+ ionlarining har biri o‘z navbatida eng yaqin S^{1-} ionlariga tortiladi. Har bir atomga to‘g‘ri keladigan NaCl molekulasining bog‘lanish energiyasi NaCl kristalli uchun xuddi shunday atomlar bog‘lanish energiyasidan 1,5 marta kichikdir. Bu natijani (2) dan oson keltirib chiqarish mumkin.



1-rasm. NaCl ning kristali

Agar biror moddaning atomlari uning hajmi bo‘ylab o‘zaro ma’lum davriylik bilan ma’lum o‘zgarmas masofalarda joylashgan bo‘lsa, u holda bunday modda kristall tuzilishga ega deyiladi. Atomlar ana shunday tartib bilan joylashib kristall panjarani hosil qiladi. Misol sifatida kremniy va germaniyni olsak, ularning kristall panjarasi bir xil bo‘lib, olmos kristall (1.1-rasm) panjarasining o‘zginasidir.

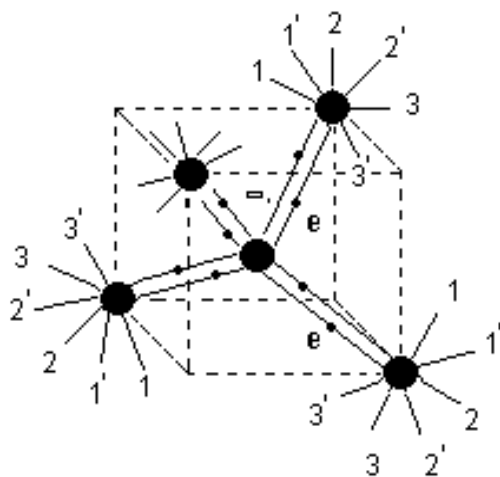


1.1-rasm. Olmos kristall panjarasi

Ushbu kristall panjarada har bir atom to‘g‘ri tetraedr uchlarida o‘rnashgan to‘rttadan atom bilan o‘ralgan holatda turadi. Atomlarning kristall panjarada ana shunday tarzda mustahkam joylashgan nuqtalari kristall panjaraning tugunlari

deyiladi. Bu atomlarning har birini alohida qarajak, ular elektrik jihatdan betaraf bo'ladi. Lekin shunga qaramasdan atomlar o'zaro yetarlicha bog'lanish kuchi bilan tortishib, o'z joylarida mustahkam turadi. Xo'sh, bu qanday kuch ekan?

Bu kuch kristall panjarani tashkil qiluvchi atomlarning valent elektronlari vositasida yuzaga keluvchi kimyoviy bog'lanish kuchidir. U odatda kovalent kuch deb yuritiladi. Ma'lumki, biz tahlil qilayotgan kremniy, germaniy va uglerod atomlari to'rt valentli bo'lib, to'rttadan valent elektronlarga ega. Demak, bunday atomlar bir vaqtda to'rtta atom bilan kovalent bog'lanish hosil qilishi mumkin. Kovalent bog'lanishni yuzaga keltiradigan asosiy sabab bu o'zaro almashinish ta'siridir. Albatta, bu turdagi o'zaro ta'sir kvantmexanik tabiatga ega. Ikki atom orasida ushbu almashinish o'zaro ta'siri yuzaga kelishi uchun ularning valent elektronlari qobiqlari qisman bo'lsa ham ustma-ust tushmog'i kerak. Boshqacha aytganda bu elektronlar ikkala atomga tegishli, ya'ni umumlashgan bo'lib qolishi kerak. Bunga eng muhim omil olmos turidagi kristall panjarada atomlarning etarlicha bir-biriga yaqin yotganligidir (bu masofa taxminan $2 \cdot 10^{-10}$ m ga teng). Undan tashqari kovalent bog'lanishning o'ziga xos xususiyati shundaki, u ma'lum yo'nalish bo'ylab, xususan umumlashgan elektronlarning eng ko'p qismi mujassamlashgan yo'nalish bo'ylab yuzaga keladi. Shunday qilib, olmos panjarasiga mansub bo'lgan kristallarda (olmos, kremniy, germaniy) har bir atom o'zining eng yaqin atrofidagi to'rtta atom bilan ana shunday kovalent bog'langan bo'ladi. Demak, kristallning barcha uyachalardagi bu beshta atomni sakkizta "umumlashgan" elektronlar kovalent bog'lanish hosil qilib kristall panjaraning tugunlarida mustahkam ushlab turar ekan. Buni shartli ravishda kremniy uchun (1.2-rasm) quyidagicha aks ettirish mumkin. Shuni ta'kidlash lozimki, kristall panjarada kovalent bog'lanishni hosil qilishda faqat valent elektronlar qatnashadi, xolos. Ya'ni, atomning qolgan barcha ichki elektronlari o'z yadrolari ta'sirida qolib, bunday bog'lanishda ishtirok etmaydi.



1.2-rasm. Kremniyda kovalent bog'lanish

Kristall panjaralarning tavsifi

Elektron texnika materiallari va elementlari – materiallarning tuzilishi va xossalari, materiallarning tarkibi haqidagi fandir. Elektron texnika materiallari va elementlarining nazariy asosi bo'lib fizika va kimyoni tegishli bo'limlari hisoblanadi. Konstruktion materiallar uchun asosiy xossalar bolib quyidagilar hisoblanadi:

- fizik: zichligi, issiqlik o'tkazuvchanligi, issiqlik sig'imi, elektr o'tkazuvchanligi, magnit xossalari;
- kimyoviy: birikmalarga kirishni kimyoviy xossalari, issiqqa chidamlilik;
- mexanik: mustaxkamlik, plastiklik, qattqlik, elastiklik va yopishqoqlik;
- texnologik: suyuq oquvchanlik, bog'lanuvchanlik, qirqishda ishlov berishga yaroqlilik;
- ishlatish vaqtida: korroziyaga qarshilik qilishi, eskirish va charchoqlik, issiqqa chidamlilik, sovuqqa chidamlilik va boshqalar.

Barcha bu xossalar materialning tarkibi va tuzilishiga ko'ra aniqlanadi.

Tabiatda qattiq jismlarni ular xususiyatlariga qarab ikki ko'rinishi mavjud: kristall va amorf shakli.

Kristall jismlar qattiqligicha qoladi, ya'ni ular berilgan shaklni ma'lum haroratgacha saqlaydi, shundan keyin ular suyuq holatga o'tadi. Sovitilishda jarayon teskari yo'nalishda bo'ladi. Bir holatdan ikkinchi holatga o'tish ma'lum erish haroratida yuz beradi.

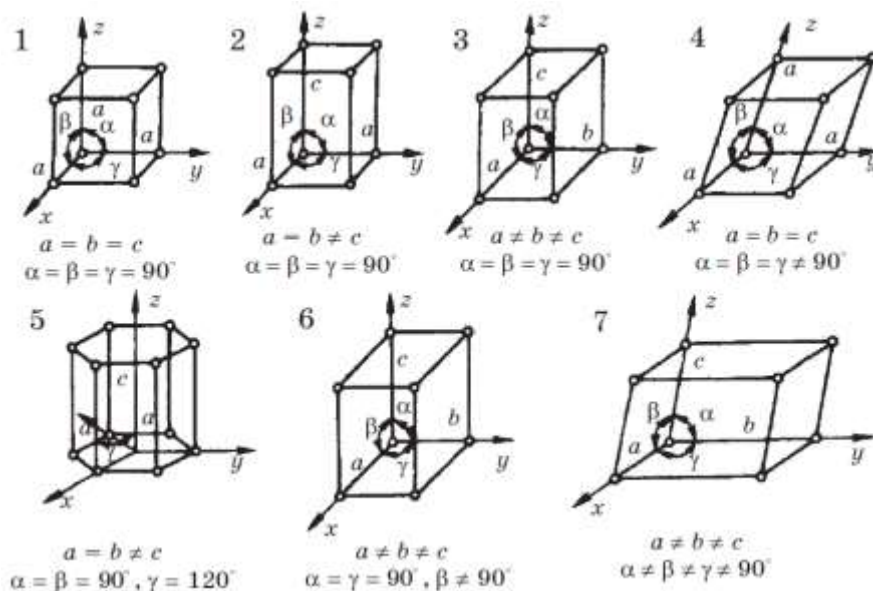
Amorf jismlar qizdirilganda yumshaydi, katta harorat intervalida yopishqoq bo'lib qoladi, shundan keyin suyuq holatga o'tadi. Sovitilganda jarayon teskarisiga sodir bo'ladi.

Qattiq jismning kristall holati amorfnikiga ko'ra stabilroq. Agar u uzoq muddat haroratda ushlab turilsa, ba'zi hollarda esa deformatsiyada amorf holatni stabil emasligi to'liq va qisman kristallanishida namoyon bo'ladi, masalan organik bo'lmagan shishalarni qizdirilganida xiralashishi yuz beradi.

Kristall jism tartibli struktura bilan ifodalanadi. Struktura tashkil etuvchilarni o'lchash va ularni aniqlash usullariga quyidagi tushunchalardan foydalaniladi: yupqa struktura, mikro va makrostruktura.

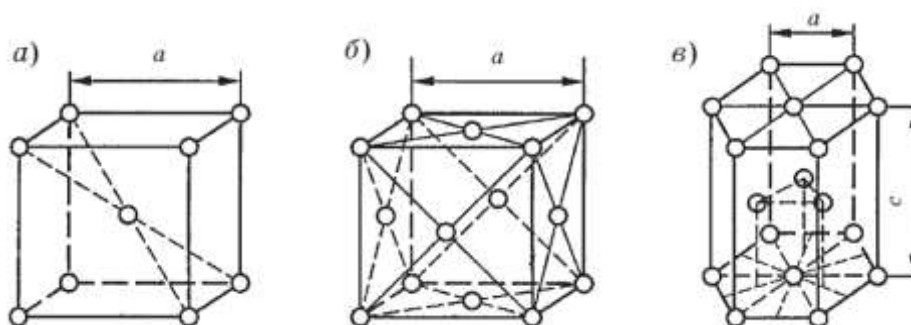
Yupqa struktura elementar zarralarning kristallda elektronlarni atomda joylashuvini bayon qiladi. Rentgenografiya va elektronografiyani difraksion usuli bilan o'rganiladi. Ko'pchilik kristall materiallar mayda kristall donalaridan tashkil topgan. Bunday *mikrostrukturani* optik yoki elektron mikroskopi yordamida kuzatishadi. *Makrostruktura* qurollanmagan ko'z bilan uncha katta bo'lmagan kattalashtirishda kuzatiladi, bunda chig'anoqlar, teshiklar (g'ovak), yirik kristallarning o'lchamlari va shakli o'rganiladi.

Elementar zarrani kristalldagi joylashuv qonuniyati *kristall panjara* tomonidan beriladi. Elementar uyachalarni kristall panjarada bayon qilish uchun olti kattalikdan foydalaniladi: uchta bo'lak a, b, c koordinata o'qlari bo'ylab eng yaqin teng masofalar va bu bo'laklar orasidagi uchta burchak α, β, γ . Ana shu kattaliklarni orasidagi munosabat uyachani shaklini aniqlaydi. Uyacha shakliga ko'ra barcha kristallar yetti tizimga bo'linadi, kristall panjaralarning turlari 2 - rasmda tasvirlangan, bunda 1 – kubsimon; 2 – tetragonal; 3 – rombsimon; 4 – romboedrik; 5 – geksogonal; 6 – monoklin; 7 – triklin.



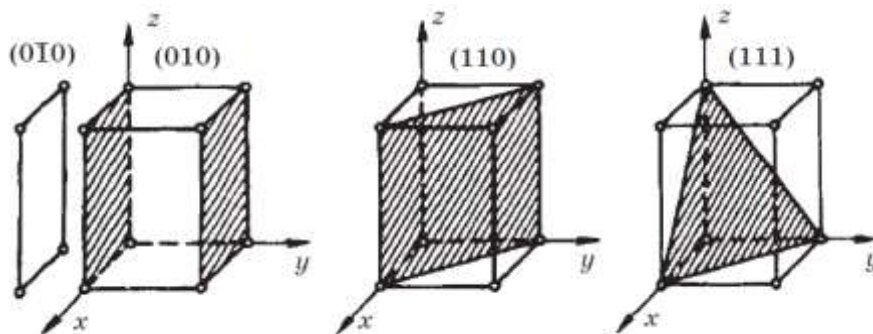
2- rasm. Kristall panjaralarning turlari: 1 – kubsimon; 2 – tetragonal; 3 – rombsimon; 4 – romboedrik; 5 – geksogonal; 6 – monoklin; 7 – triklin

a, b, c – bo'laklar panjara davri, elementar uyachali o'lchamini aniqlaydi. Ko'pchilik hollarda panjaralar murakkab, chunki elementar zarralar kristall panjara tugunlarida emas uning qirralari va markazida joylashishi mumkin. Eng ko'p tarqalgan metallarning murakkab kristall panjaralari 3 - rasmda ko'rsatilgan, bunda a – hajmiy markazlashgan kubsimon (HMK); b – qirralari markazlashgan kubsimon (QMK); c – geksogonal zich joylashgan (GZJ).



3 – rasm. Eng ko'p tarqalgan metallarning murakkab kristall panjaralari: a – hajmiy markazlashgan kubsimon (HMK); b – qirralari markazlashgan kubsimon (QMK); c – geksogonal zich joylashgan (GZJ)

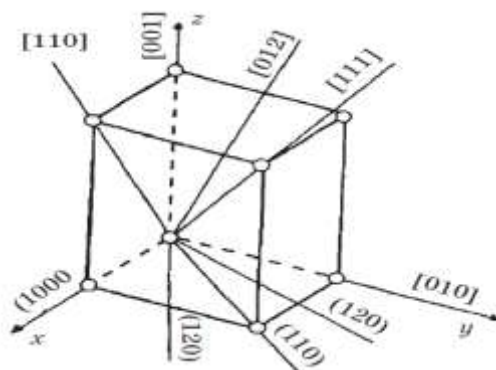
Kristall panjaraga yo'nalish berish va ularni yassi kristallda joylashtirish uchun *kristallografik indekslardan (Miller indeksi)* foydalaniladi. Kristaldagi atom yassiliklari shu yassiliklar tomonidan qirqilgan bo'laklar aniqlanadi va ular x, y, z koordinata o'qlarida qirqilgan bo'ladi. Bu bo'laklar butun sonlar bilan m, n, p uzunligi teng bo'lgan uyacha qovurg'alari a, b, c bilan o'lchanadi, ular butun koordinata o'qlari bo'ylab yagona masofa hisoblanadi. Yassiliklar indekslari uchun teskari bo'laklarni olish qabul qilingan: $h = 1/m, k = 1/n, l = 1/p$. Bu sonlar aylanali qavslarga kiritiladi. 4- rasmda oddiy kubsimon panjarani yassiliklari ko'rsatilgan.



4- rasm. Oddiy kubsimon panjaraning yassiliklari

Yo'nalish indekslari $[u, v, w]$ kristall panjara tugunlari koordinatasi bo'lak birliklarida a, b, c ni aniqlaydi, ular koordinata boshidan va kristall panjara tuguni orqali o'tadi, ularni butun sonlar bilan belgilashadi va kvadrat qavsga kiritishadi. Kristallografik yo'nalishlar va ularning oddiy kubsimon panjaradagi indekslari 5 - rasmda keltirilgan.

Kristall jismlar anizotropiya xususiyatiga ega. *Anizotropiya* – kristall jismlarni xususiyatlarini atomlar orasidagi turli masofalarga (atomlar, molekulalar) turli kristallografik yo'nalishlarda paydo bo'ladigan xususiyatlaridan kelib chiqadigan kattalik. Anizotropiya kristallarning barcha xususiyatlariga tegishli: chiziqli kengayishning harorat koeffitsiyentiga, solishtirma elektr qarshiligiga, magnit xususiyati, elastikligiga. Ammo ular monokristallarga ham hos, ular asosan sun'iy yo'l bilan olinadi.



5 – rasm. Kristallografik yo'nalishlar va ularning oddiy kubsimon panjaradagi indeksleri

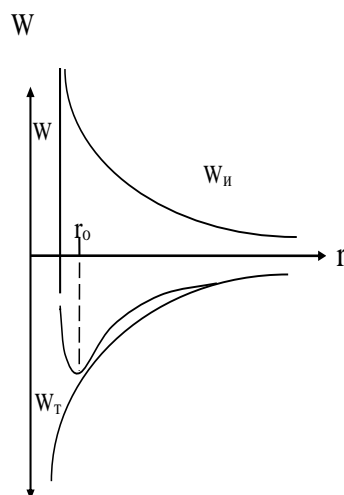
Tabiatdagi kristall jismlar – yarim kristallar ko'pchilik turli yo'naltirilgan kristallardan iborat. Ushbu holda anizotropiya yo'q, ular yolg'on izotrop hisoblanadi. Bosim ustida ishlov berishda turli kristallarni parallel oriyentatsiyasi kuzatiladi, bunday strukturalar teksturlangan deyiladi va ular anizotrop hisoblanadi.

Molekulalarning hosil bo'lish mexanizmlari muhokama etilganda, bog'lanish tabiatidan qat'iy nazar, molekula hosil qilayotgan atomlarga ikkita kuch ta'sir etishi qayd etilgan: katta masofalardayoq sezilarli bo'lgan (uzoqdan ta'sir etuvchi) tortishish kuchlari va kichik masofalarda paydo bo'ladigan va masofaning kamayishi bilan keskin ortib ketadigan (yaqindan ta'sir etuvchi) itarish kuchlari.

Itarish va tortishish kuchlari bilan bog'liq bo'lgan W_i va W_t potensial energiyalarning atomlar orasidagi masofaga bog'lanishi, hamda sistemaning to'la energiyasini masofaga bog'liqligi 6-rasmda tasvirlangan.

Atomlar orasidagi masofa r_0 bo'lganda tortishish va itarish kuchlari tenglashadi, ya'ni ularning teng ta'sir etuvchisi nolga, sistemaning potensial energiyasi minimal qiymatga ega bo'ladi, natijada sistema mustahkam muvozanat holatga erishadi. Mazkur xulosani ko'p sonli atomlar sistemasiga ham umumlashtirsak, undagi atomlar bir-biridan bir xil masofada joylashib mustahkam tuzilishga ega bo'lgan va kristall deb atalgan qattiq jismni hosil qiladi. Demak, kristallarga ta'rif beradigan bo'lsak – atom yoki ionlarning fazoda o'zaro kimyoviy bog'lanishi orqali tartibli va davriy joylashgan jismga aytiladi. Kristallning har bir

atomi (molekulasi) energetik jihatdan potensial oʻrada joylashgani uchun u muvozanat holatidan erkin siljib keta olmasdan, faqat muvozanat holati atrofida tebranma harakat qilishi mumkin. Atomlarning issiqlik harakati energiyasi bogʻlanish energiyasidan ortib ketguniga qadar bu holat saqlanadi.

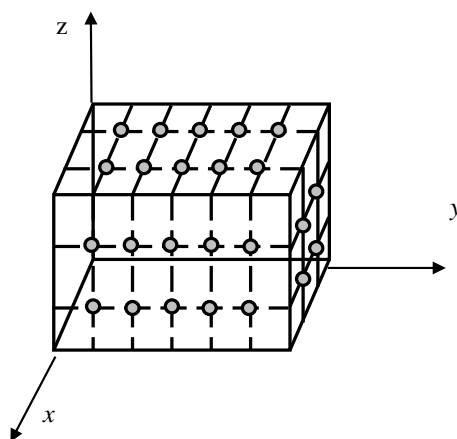


6-rasm. Itarish va tortishish kuchlari bilan bogʻliq boʻlgan W_H va W_T potensial energiyalarning atomlar orasidagi masofaga bogʻlanishi, hamda sistemaning toʻla energiyasini masofaga bogʻliqligi

Yuqoridagi fikrlarni biz ikki atom orasidagi oʻzaro taʼsir mexanizmiga asoslanib chiqardik. Uch oʻlchovli kristallda har bir atomga uning atrofidagi boshqa atomlar ham taʼsir etishi tufayli natijaviy energiya ancha murakkab boʻladi. Turli yoʻnalishlarda atomlar orasidagi masofalar har xil boʻladi. Ammo, bayon etilgan manzara sifat jihatdan oʻzgarmaydi. Kristall tarkibidagi atomlar fazoda maʼlum va har bir moddaning oʻziga xos qonuniyatlari bilan joylashgan boʻladi. Qayd etish lozimki, bir xil moddaning kristallari turlicha tuzilishga ham ega boʻlishi mumkin. Bu xodisani polimorfizm deyiladi. Masalan: bor (B) elementining kristallari toʻrt xil koʻrinishda, temirniki uch xil koʻrinishda uchraydi.

Kristallarning fazoviy tuzilishini tavsiflashda kristall panjara tushunchasidan foydalaniladi. Kristall panjara tugunlarida atomlar joylashgan fazoviy toʻrdan iborat. Uni quyidagicha qurish mumkin: x, y, z oʻqlaridan tashkil topgan

koordinatalar sistemasining (albatta, faqat to'g'ri burchakli bo'lishi shart emas) boshiga berilgan moddaning bir atomini joylashtirib, o'qlar bo'yicha o'lchamlari atomlarning muvozanat holatlariga mos, bazaviy vektorlar deb atalgan a , v , s vektorlarni joylashtiramiz. x - o'qi bo'yicha a , $2a$, $3a$, . . . masofalarga, y - o'qi bo'yicha v , $2v$, $3v$, . . . masofalarga va nihoyat z - o'qi bo'yicha s , $2s$, $3s$, . . . masofalarga atomlarni joylashtirib kristall panjaraning x , y , z o'qlari bo'yicha birlashgan atomlar zanjirini hosil qilamiz.



7-rasm. Tugunlardagi atomlarni ko'chirish (translyatsiya) vektori

Tugunlardagi atomlarni ko'chirish (translyatsiya) vektori deb atalgan vektor $T = na + mv + ks$ yordamida (7- rasm) o'qlar bo'yicha ko'chirib kristall panjara xosil qilinadi. a , b , c vektorlariga qurilgan eng kichik uyachani Brave panjarasi yoki elementar yacheyka deb ataladi. O'qlar orasidagi α , β , γ burchaklar ixtiyoriy bo'lishi mumkin.

Faqat tugunlarida atom joylashgan elementar uyachalarni oddiy uyachalar deyiladi. Yoqlarining yoki ichining markazida ham atomlar joylashgan bo'lsa, ularni yoqlari yoki hajmiy markazlashgan uyachalar deyiladi.

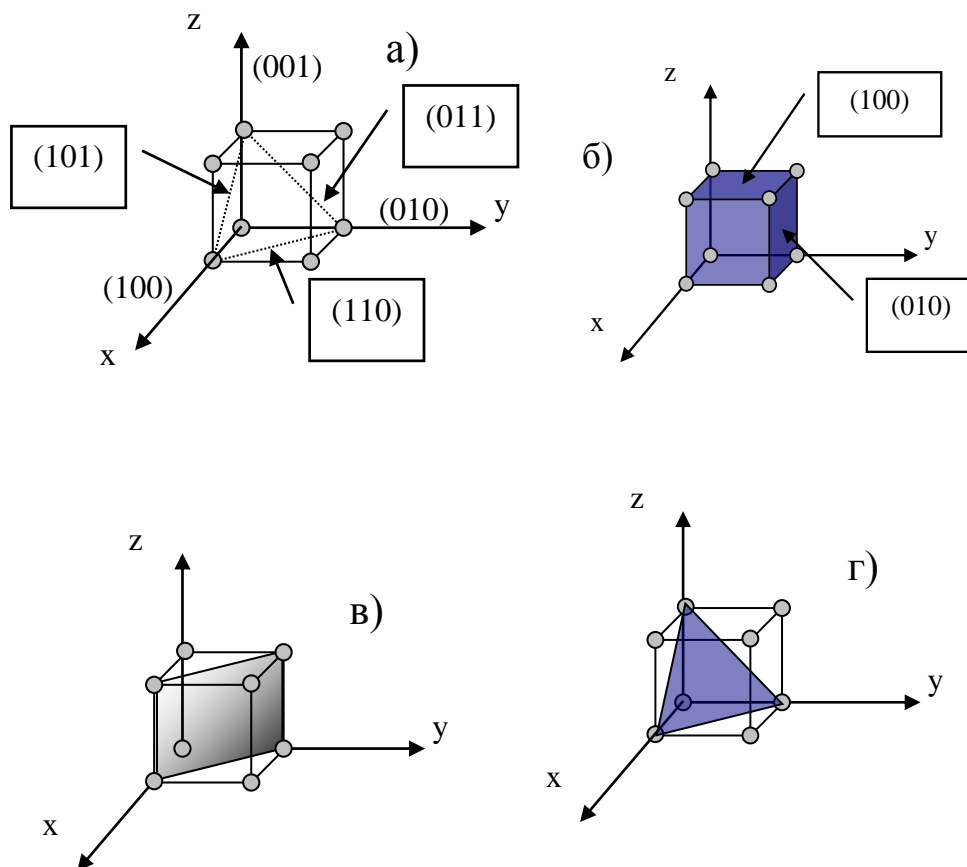
Tabiatda uchraydigan barcha kristallarni (230 fazoviy guruhlariga bo'linadi va 10^5 dan ortiq ko'rinishga ega) 14 xil Brave elementar uyachalari yordamida qurish mumkin.

Kristallardagi tugunlarni, yoʻnalishlarni va tekisliklarni belgilash uchun Miller indekslari deb atalgan yaxlit sonlar toʻplamidan foydalaniladi (8 - rasm, a,b, v, g).

Miller indekslari - kristalda atomlar joylashgan yuzani aks ettiruvchi tekislik. Bunday tekisliklar oʻz tabiatiga qarab kristall panjaraning oʻqlarini har xil koordinatlarda kesadi. Bunday tekisliklarni ifodalashning eng qulay yoʻli bu Miller indekslaridir.

Indeksni topish uchun oʻqlarda tekislik kesgan a, b, c kesmalarning teskari miqdorlari $\frac{1}{a} = h, \frac{1}{b} = k, \frac{1}{c} = l$ olinib, ular umumiy mahrajga keltiriladi va mahraj tashlab yuboriladi. Ular $[h, k, l]$ kabi belgilanadi.

Koordinata oʻqlarining boshi sifatida tugunlardan biri qabul qilinsa, unga nisbatan boshqa tugunlarning koordinatalari $x = ma, y = nb, z = kc$ lar bilan aniqlanadi.



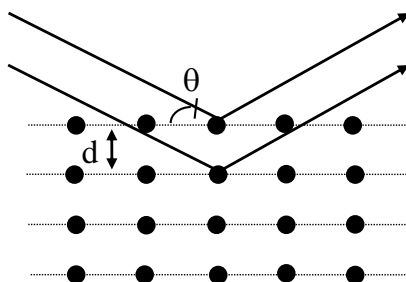
8-rasm. Miller indekslari

Agar uzunlik birligi etib panjara doimiylari a, b, c lar qabul qilinsa tugunlarning koordinatalari m, n, k butun sonlardan iborat bo'ladi. Odatda, ular ikkita to'g'ri qavslar ichiga yoziladi $[m, n, k]$.

Kristallardagi yo'nalishlar koordinatalar boshidan o'tadigan to'g'ri chiziqlar bilan belgilanadi va ular to'g'ri chiziqli qavslar ichiga olib yoziladi $[m, n, k]$ (8 - rasm, a). Kristall panjaraning ixtiyoriy uch nuqtasidan o'tkazilgan tekisliklarni atom tekisliklari deyiladi. Ular 8-rasmda (b, v, g) ko'rsatilgandek belgilanadi.

Kristallarning ichki tuzilishini qanday o'rganish mumkin? Kristallarning tuzilishini aniqlash usullari ularning atomlari kristall panjara hosil qilib joylashganligiga asoslangan. Har qanday kristall jismni hajmiy difraksion panjaradan iborat deb qarash mumkin. Bunda difraksion panjaraning davri kristall panjaraning doimiysiga teng bo'ladi.

Hajmiy difraksion panjaradan elektromagnit to'lqinlarning difraksiyalanish qonuniyati bilan rentgen nurlari difraksiyasini kuzatganda tanishgan edik.



9-rasm. Kristall panjaraning doimiylarini Vulf-Breggilar qonuni yordamida aniqlash

Demak, kristallning turli yo'nalishlardagi sirtiga ma'lum θ sirpanish burchagi ostida rentgen nurlarini, elektronlarni, neytronlarni tushirib, ularning difraksiyasini o'rganish asosida kristall panjaraning doimiylarini Vulf-Breggilar qonuni yordamida aniqlash mumkin (9-rasm).

$$2d\sin\theta = m\lambda \quad (6)$$

Kristallarda rentgen nurlarining difraksiyasini kuzatishga asoslanib, ularning tuzilishini aniqlaydigan usulni rentgenografiya deyiladi. Elektron yoki neytronlarning difraksiyasiga asoslangan usullarni esa, mos ravishda elektronografiya yoki neytronografiya deyiladi.

1.4.1. Monokristallar va polikristallarning xossalari

Kristall - atomlar joylashishida qat'iy tartib va davriylik bo'lgan qattiq jismdir (bularda atomlar joylashishida qat'iy yaqin va uzoq tartib mavjud).

Olmos, kremniy, osh tuzi va h.k. Kristallar o'zining tuzilishiga qarab monokristall va polikristallarga bo'linadi. Kristallar tabiiy bo'lishi bilan birga (olmos) odatda sun'iy yo'l bilan o'stiriladi.

Monokristall - butun shakl (hajm)da atomlari bir xil tartib va davriylikka ega holda joylashgan qattiq jismdir.

Tabiatda ba'zi minerallarning katta yaxlit kristallari ham uchraydi. Ularda atomlarning joylashishi kristall panjaraning biror xiliga mos keladi. Bunday kristallar *monokristallar* deb yuritiladi. Monokristall bir markazdan o'sgan kristalldir.

Monokristallarni sun'iy ravishda Choxral usuli bilan o'stiriladi. Hozirgi zamon texnologiyasida Si ning diametri 300 mm bo'lgan monokristalli o'stirilmoqda.

Agar eritmada kristallanish markazlari ko'p bo'lsa, bu markazlar atrofida juda ko'p kristallitlar o'sadi. Natijada hosil bo'lgan kristall jismning tashqi ko'rinishi uning ichki tuzilishini ifodalay olmaydi, chunki bu kristallitlar ixtiyoriy ravishda oriyentatsiyalanganligi uchun bir-birlariga yaqinlashganlarida chegaralaridagi atomlarning joylashishi ma'lum tartibga ega bo'lmaydi. Binobarin, har bir markazdan o'sgan kristallit berilgan qattiq jism kristall tuzilishining biror xiliga to'g'ri keladigan shaklni ololmaydi. Ular ixtiyoriy shaklga ega bo'lib, ixtiyoriy tartibda joylashadi. Bunday kristallitlar to'plamidan iborat bo'lgan modda *polikristall* bo'ladi.

Polikristall – $\bar{6}$ y o'lchamlari o'ta kichik ($0,1 \div 100$ mkm) bo'lgan monokristallardan tarkib topgan qattiq jism.

Polikristallar izotrop qattiq jismlardir, ya'ni ularning fizik xossalari barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xildir. Monokristallar esa, aksincha, anizotrop moddalar bo'lib, ularning fizik xossalari kristallning turli yo'nalishlarida turlicha bo'ladi. Shuning uchun monokristallning fizik kattaliklarini aniqlaganda ularni qanday yo'nalishda o'lchanganligi ko'rsatib o'tiladi.

Polikristall qattiq jismlarda kristallitlar chegaralarining mavjudligi ularning mexanik, optik, elektr va boshqa xossalariga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Haqiqatan, kristallitlar eritmada o'sish jarayonida ba'zi boshqa elementlarning atomlarini siqib chiqaradi. Natijada bu elementlar kristallitlar chegarasiga joylashib qoladi va polikristallarning fizikaviy xossalari o'zgarib ketishiga sabab bo'ladi.

Masalan, oq qand (rafinad qand), Si va turli yarim o'tkazgichlar polikristallari va h.k. Monokristall olishdan oldin polikristall tayyorlanib, so'ng undan monokristall olinadi.

Polikristall kremniyda hozirgi paytda yarim o'tkazgich asboblar va integral mikroskoplar ishlab chiqarish texnologiyalarini keng qo'llanilishi tashuvchisi.

a) to'liq dielektr sikli muxofazali integral tuzilishining taglik kristallar tashuvchisi

b) metall dielektrik yarim o'tkazgich – tranzistorlar uchun.

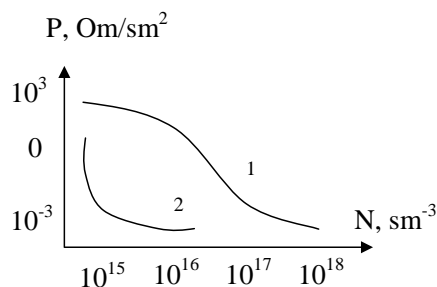
v) aktiv tuzilmalar – diodlar, fotoelementlar va tranzistorlar sifatida ishlatiladi.

Polikristall kremniy xususiyati uning tuzilish mohiyatiga kuchli bog'liq: donachaning zichligi va o'lchami: donachalar burilish sirti (donachalar aro chegara - DACH). Polikristallning bu parametrlari o'zaro bog'liq ya'ni donachalar zichligi ortishi bilan donachalar o'lchami kamayadi va donachalar aro chegaraning solishtirma sirti ortadi.

Donachalar aro chegaraning mavjudligi va ularning foyda hamda legirlovchi kirishmalar bilan o'zaro ta'sir harakteri polikristall xususiyatini kutilmaganda keskin o'zgartiradi.

Bu shunga asoslanganki, DACH ularda elektrik faol markazlarni hosil qiladi va bu markazlar zaryad tashuvchilar uchun ushlab oluvchi satxlar vazifasini o'tashi mumkin hamda rekombenatsiya va sochilish jarayonlariga tasir qilishi mumkin.

Polikristall kremniyning o'tkazuvchanligi legirlovchi kirishma miqdoriga hamda donachalar o'lchami va donachalar aro chegara holatiga ham bog'liq. 1-chizma legirlovchi kirishma miqdorini monokristal va polikristal kremniyni solishtirma qarshiligiga ta'siri ko'rsatilgan.



- 1- polikristall kremniy uchun
- 2- monokristall kremniy uchun

Shunday qilib polikristallar va ular asosida yaratilgan asboblarni elektrofizik xususyatini o'rganishda polikristallar strukturasi parametrlari xaqidagi ma'lumotlarni bilish talab qilinadi.

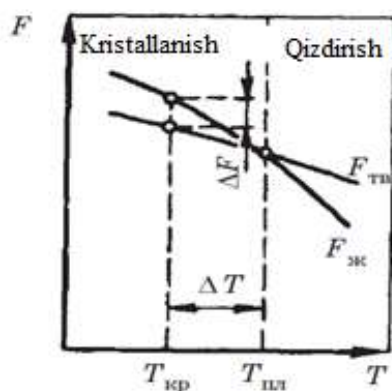
Polikristallar strukturasi o'rganishning turli usullari mavjud. Ular orasida eng oddiy va qulay usuli "metallografik" usul (2-chizma). Bu usulning mohiyati shundan iboratki, bunda mikroskop yordamida 100 marta kattalashtirib, polikristall tuzulishini xarakterlab beruvchi kattaliklarni bir necha ko'rish maydonida solishtirish va o'lchash orqali parametrlarini aniqlash mumkin. Polikristalldagi donachalar zichligini va o'lchamini aniqlash uchun ikkita usuldan foydalaniladi.

1.5. Qattiq jismlar zonalar nazariyasi

Kristallanishning energetik holatlari

Har qanday tizimni energetik holati ichki energiyani ma'lum zaxirasi bilan ifodalanadi, ular molekullarni, atomlarni, ichki yadro energiyasini, kristall panjarani elastik buzilgan energiyasi va boshqalardan jamlanadi. Erkin energiya ichki energiyani shunday tashkil etuvchisiki, ular izotermik sharoitlarda ishga aylanishi mumkin. Erkin energiya kattaligi harorat o'zgarganida, faza holati o'zgarganda, polimorf aylanishlar va boshqalar o'zgaradi: $F = U - TS$; F – erkin energiya; U – tizimni to'liq ichki energiyasi; S – entropiya.

Metall qotadi, agar erkin energiya qattiq holatga ega bo'lsa va u eriydi suyuq holat kamroq energiyaga ega bo'lsa. Harorat orta borsa, ikkala holatni ham erkin energiyasi kamayadi, ammo erkin energiyani o'zgarish qonuni qattiq va suyuq holat uchun xar hil. Suyuq va qattiq holatni erkin energiyasining harorat o'zgarganida o'zgarishi 17 - rasmda ko'rsatilgan. Harorat oshishi bilan har ikki holatni erkin energiyasi kattaligi kamayadi, ammo erkin energiyaning o'zgarishi har bir holat uchun turlicha.



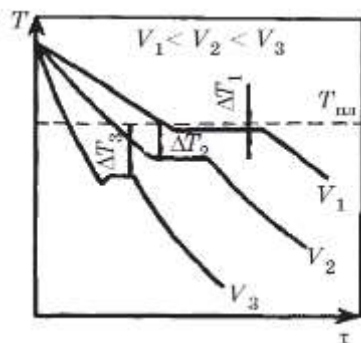
17- rasm. Suyuq va qattiq holatni erkin energiyasining harorat o'zgarganida o'zgarishi

$F_{\text{кc}} = F_{\text{мг}}$ holatida kristallanishni, muvozanat haroratini yoki nazariy haroratni farqlashadi. Ushbu haroratda metallni suyuq va qattiq haroratni farqlashadi. Ushbu haroratda metallni suyuq va qattiq holatlarda bo'lishi teng ehtimolli hisoblanadi. Real kristallanish faqat shunda boshlanadiki, qachonki ushbu jarayon termodinamik jihatdan $\Delta F = F_{\text{кc}} - F_{\text{мг}}$ sharoit uchun foydali bo'lsa, buning uchun birmuncha ko'proq sovitish kerak. Bu vaqtda amalda kristallanish boshlanadi $T_{\text{кп}}$. Nazariy va faktik haroratlari (kristallanish) orasidagi farq ko'proq *sovitish jarayoni* $\Delta T = T_{\text{нл}} - T_{\text{кп}}$ darajasi deyiladi.

Turli tezlik bilan sovitish jarayonini ifodalovchi harorat egri chizig'i 18 - rasmda keltirilgan.

Sekin sovitishda tegishli ko'proq sovitish darajasi V_1 egri chizig'idan katta emas va kristallanish muvozanat haroratiga yaqin haroratda sodir bo'ladi. Gorizontaal maydonchadagi harorat egri chizig'i kristallanish ko'rinmas issiqlik

ajratishi bilan tushuntiriladi va bu issiqlikni chiqarib yuborish bilan kompensatsiyalandi.

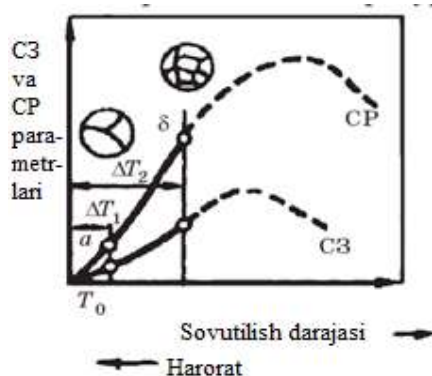


18- rasm. Turli tezlik bilan sovitish jarayonini ifodalovchi harorat egri chizig'i

Sovitish tezligini oshishi bilan (V_2 , V_3 egri chiziqlar) o'ta sovish darajasi ortadi va kristallanish jarayoni pastroq haroratda o'tadi. Shunga o'xshash kristallanishdagi kabi kristallanishni faktik haroratigacha o'ta sovitish kerak bo'ladi, shunda erishda real eritish haroratiga erishish uchun qizdirish kerak.

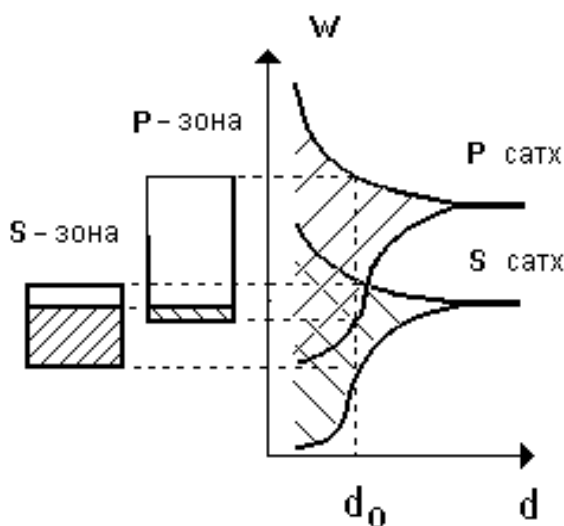
Kristallanish jarayoni ikkita elementar jarayondan iborat: kristallanish markazlarini tug'ilishi; ana shu markazlardan kristallarni o'sishi. Kristallanish tezligining yig'indisi ikkala elementar jarayonlar tezligiga bog'liq bo'ladi: kristallanish markazining tug'ilish tezligi ($C3$) va ana shu markazlarda kristallarning o'sishi (CP). $C3$, CP kattaliklari o'ta sovish darajasiga ΔT bog'liq bo'ladi (19- rasm).

ΔT ortishi bilan erkin energiyalar farqi oshadi $\Delta F = F_{oc} - F_{me}$ va $C3$ va CP atomlarini yaxshi harakatchanligi o'sadi va maksimumga yetadi. $C3$ va CP ni keyingi kamayishi harorat pasayganda harakatchanlikning pasayishi bilan tushuntiriladi. Juda kuchli o'ta sovushlarda $C3$ va CP nolga teng suyuqlik kristallanmaydi, amorf modda hosil bo'ladi. Metallni amorf holati sovitish tezligi 10^6 °C/s oshganda erishiladi.



19- rasm. Kristallanish tezligining yig'indisi ikkala elementar jarayonlar tezligiga bog'liqligi

Shunday qilib, yarimo'tkazgichda pastdagi to'lgan (valent) zonaning yuqori qirg'og'idan yuqoridagi bo'sh (o'tkazuvchanlik) zonaning quyi qirg'og'i (1.10-rasm) shunday energiyaviy oraliq ΔW_0 bilan ajralganki, xona xaroratida etarlicha issiqlik energiyasiga ega bo'lgan ba'zi bir elektronlar bu oraliqdan o'ta olishi mumkin. Ushbu jarayonda elektronlar to'lgan zonaning yuqori qismidan bo'sh zonaning pastki qismiga o'tadi. Har qanday elektronning to'lgan zonaning yuqori sathlarini tashlab to'lmagan zonaning quyi sathlariga o'tish ehtimolligi, ana shu oraliqni o'tish uchun zarur bo'lgan energiya ΔW_0 ortishi bilan keskin kamayadi (1.5 dagi 1.2 tenglikka qarang).



1.12-rasm. Metallarning kristall panjarasida S- va P-zonalarning qisman ustma-ust tushishi

Chuqur sathlar

Ko'rsatib o'tilganidek, kirishma sathlarning tavsiflaridan biri shundaki, ularning elektron to'lqin funksiyalari odatda ko'plab primitiv elementar yacheykalarga tatbiq etiladi. Binobarin, bu to'lqin funksiyalari bitta Blox funksiyasidan hosil qilinishi mumkin. Blox funksiyasi esa eng yaqin soha ekstremumining to'lqin vektoriga teng bo'lgan yagona to'lqin vektori bilan indekslanadi. Aksincha, chuqur markazlar lokalizatsiyalangan to'lqin funksiyalariga ega bo'lib, ular k-fazoning katta sohasidagi bir necha sohalarning Blox funksiyalaridan tuziladi. Shuning uchun, kuchli lokalizatsiyalangan potensialga ega bo'lgan nuqsonlar chuqur markazlarni hosil qilishi kutiladi. Uzilgan bog'lanishlar, atomlarning siljishlari bilan bog'liq deformatsiyalar hamda kirishmalar va xususiy atomlar o'rtasida elektromanfiylik yoki asos potenciallari tafovutlari ana shunday lokalizatsiyalangan potenciallarni keltirib chiqarishi mumkin. Chuqur markazlarning lokalizatsiyalangan tabiati shunday fikrga olib keladiki, ularning energiyalarini o'rganish uchun kuchli bog'lanish modelida molekulyar orbitallar usuli eng yaxshi boshlang'ich nuqta bo'lishi mumkin. Nuqson Yarim o'tkazgichga joylangani sababli, lokalizatsiyalangan nuqsonning elektronlari va Yarim o'tkazgichning Blox funksiyalari o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarni ham hisobga olish kerak. Masalan, chuqur markazning energetika sathi (yoki shunchaki chuqur sath) Yarim o'tkazgichning soha holatlari bilan yopilsa, chuqur sath resohans holatga aylanadi.

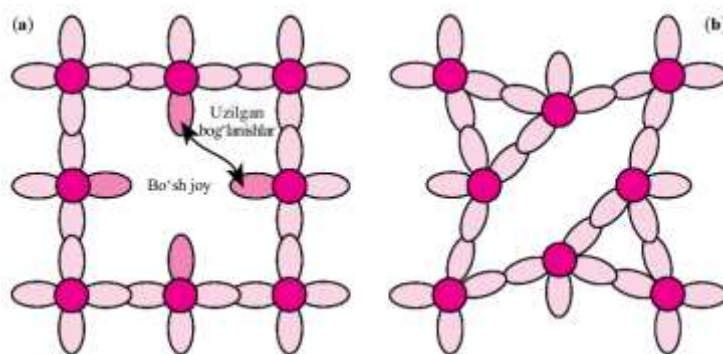
Chuqur sathlarning energiyalarini hisoblash uchun, avval nuqson potensialini bilish, keyin esa tegishli Shryodinger tenglamasini echish usulini topish kerak. Nuqson potentsiali haqida xulosa qilish juda qiyin, chunki atomlar siljishlari (yoki panjara relaksatsiyasi) u bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Panjara relaksatsiyasida ham kirishma atomi, ham uni qurshagan atomlar ishtirok etishi mumkin. Panjaradagi siljishlar chuqur markazlar uchun muhim hisoblanishining sababini esa, quyidagi misollardan sifatli tushunish mumkin.

Aytaylik, Yarim o'tkazgichdagi kirishma atom, panjarani buzish orqali mayda o'rin almashinuvchi donor yoki chuqur markaz bo'lishdan birini tanlashi lozim.

Faraz qilaylik, agar u chuqur markaz bo'lsa, uning sathi o'tkazuvchanlik sohasidan E_0 masofada taqiqlangan sohada chuqur joylashgan (E_0 termik ionizatsiya energiyasi deb ataladi). Boshqa tomondan, mayda donor sifatida u o'tkazuvchanlik sohasining cheti yaqinida energiyaga ega bo'ladi. Shu tariqa, chuqur markazga aylangach, kirishma atom o'zining elektron energiyasini pasaytirishi mumkin (taxminan E_0 ga). Ammo panjarani buzish uchun E_d panjara relaksatsiyasi energiyasi kerak bo'lishi mumkin. Agar $E_0 > E_d$ dan ko'proq bo'lsa, u holda kirishma atom uchun panjaraning spontan buzilishini yaratish va chuqur markazga aylanish ma'qulroq bo'ladi. Kirishma chuqur yoki sayoz markaz bo'lishini oldindan aytish uchun, ham E_0 ni, ham E_d ni bilish kerak. Panjaraning siljishlari sayoz va chuqur sathlar holatlari o'rtasida noturg'unlik uchun mas'ul, bu esa GaAs dagi mayda donorlarning AlGaAs qattiq eritmasidagi DX-markazlarga almashinishiga olib keladi. DX-markazlari bo'yicha AlGaAs dagi Si kirishmasi uchun E_0 0,4eV qiymatga ega. Ma'lum bo'lishicha, panjaradagi siljishlar tufayli, DX-markazlar energiyasidagi yutuq $2E_0$ ga teng. Bunga sabab – ularning manfiy U deb ataluvchi alohida xossasi. Bu erda U Xabbar modelidagi panjara tugunidagi ikki elektron o'rtasidagi itariluvchi Kulon o'zaro ta'sirini anglatadi. Manfiy U ga ega bo'lgan chuqur markaz uchun, panjara buzilishi tufayli, aslida ikkinchi elektron markazga tortishadi, garchi uni bir elektron egallagan bo'lsa ham. Natijalovchi manfiy zaryadlangan holat neytral holatdan ko'ra ancha barqaror. Manfiy U ning bu xossasi esa, panjara relaksatsiyasi natijasida nuqsonning chuqur markazga aylanishini yanada foydali qiladi. Ma'lumki, ZnS va ZnSe kabi II-VI guruhiga mansub taqiqlangan sohasi katta kenglikdagi ba'zi Yarim o'tkazgichlar uchun p-tipdagi legirlashga erishib bo'lmaydi, vaholanki, ZnTe kabi boshqa yarim o'tkazgichlar uchun n-tip legirlashning imkoni yo'q. Mazkur fenomen o'z-o'zidan kompensatsiyalash deb ataladi. Bu masalada hozircha to'liq aniqlik yo'q, ammo yaqinda shunday taxmin bildirildiki, o'rin almashinuvchi donorlar tomonidan DX-markazlarning hosil qilinishi, Al va Ga kabi III guruhga mansub oddiy legirlovchi kirishmalar yordamida ZnTe uchun n-tipdagi legirlash imkoni yo'qligini izohlashi mumkin. 16-rasmda kovalent yarim o'tkazgichning sxematik tasviri: to'rtta uzilgan

bog‘lanishli vakansiya relaksatsiyaga qadar (a) va uzilgan bog‘lanishlari bo‘lmagan vakansiya relaksatsiyadan keyin (b).

Chuqur markazlarni hosil qilish vaqtida relaksatsiyaga boshqa misol sifatida, IV guruhiga mansub yarim o‘tkazgichdagi vakansiyani ko‘rib chiqamiz. Bu holda atomni uzoqlashtirish to‘rtta elektron yo‘qotilishini anglatadi. Bu esa neytral yarim o‘tkazgichga to‘rtta musbat zaryadlar qo‘shilishiga ekvivalentdir. Aftidan, yarim o‘tkazgich ichidagi elektronlar reaksiyasi ushbu musbat zaryadlarni ekranlashdan iborat bo‘ladi. Yarim o‘tkazgich reaksiyasini kuchli bog‘lanish modelida tushunish osonroq.



16-rasm. Kovalent yarim o‘tkazgichning sxematik tasviri: to‘rtta uzilgan bog‘lanishli vakansiya relaksatsiyaga qadar (a) va uzilgan bog‘lanishlari bo‘lmagan vakansiya relaksatsiyadan keyin (b)

Kovalent yarim o‘tkazgichdagi vakansiya to‘rtta juftlanmagan uzilgan bog‘lanishni hosil qiladi, bu 16-rasmda sxematik ko‘rsatilgan. Ular qo‘shni uzilgan bog‘lanishlar o‘rtasida ikki juft bog‘lanishlarni hosil qilish orqali “davolanishi” mumkin. Dastavval uzilgan bog‘lanishli atomlar o‘rtasidagi masofa ideal kristalldagi bog‘lanishlar uzunligidan kattaroq bo‘lganligi sababli, bu atomlar yangi bog‘lanishlarni hosil qilish uchun, bir-biriga yaqinlashishi kerak (16 b-rasm). Qo‘shni atomlarning siljishlari bilan tarang energiya bog‘liq bo‘lib, u dastavval uzilgan bog‘lanishlarga ega bo‘lgan to‘rt elektronning energiyasi kamayishi bilan kompensatsiyalanadi. Har bir yangi bog‘lanish bog‘langan holatdagi ikki elektronni qabul qila olishi sababli, uzilgan bog‘lanishdagi har bir elektron

energiyasining kamayishi yopuvchi parametrlar qiymatlari tartibiga ega (V_{ss} , V_{pp} va V_{sp}).

1.6. Kristallardagi nuqsonlar va ularning turlari

Nuqsonlarning sinflanishi

Umumiy holda nuqsonlar nuqtali va chiziqli nuqsonlarga bo'linadi. Nomi ko'rsatib turganidek, nuqtali nuqsonlar odatda kristallning lokalizatsiyalangan sohalarida izolyatsiyalangan atomlar bilan bog'langan. Chiziqli nuqsonlar atomlar qatorlaridan tashkil topgan bo'lib, dislokatsiyalarga ularga tipik misol bo'la oladi. Nuqtali va chiziqli nuqsonlardan tashqari, nuqtali nuqsonlarning kichik sonidan tashkil topgan nuqsonlar ham bor. Ular komplekslar deb ataladi. Chiziqli nuqsonlar yarim o'tkazgichli moslamalarning ishini doim yomonlashtiradi. Shuning uchun moslamalarni tayyorlashda ishlatiladigan yarim o'tkazgichlar plastinalari bunday nuqsonlarga iloji boricha kam ega bo'lishi kerak. Uch o'lchovli kristall tugallanadigan sirtni ham ikki o'lchovli «nuqson» deb hisoblash mumkin. Ammo bunday sirtlar bilan bog'langan elektron holatlar nuqson holatlari emas, balki «sirt holatlari» deb ataladi. Nuqtali nuqsonlar ko'pincha maxsus nomlar va belgilarga ega bo'lgan quyidagi turlar bo'yicha qo'shimcha tasniflanadi.

Vakansiya: A atomi yo'qligi tufayli hosil qiligan vakansiya V_A kabi belgilanadi.

Tugunlararo atom: tugunlararo joylashgan A atomi I_A kabi belgilanadi.

O'rin almashinuvchi atom: o'z A atomining o'rnini bosadigan S atomi S_A kabi belgilanadi.

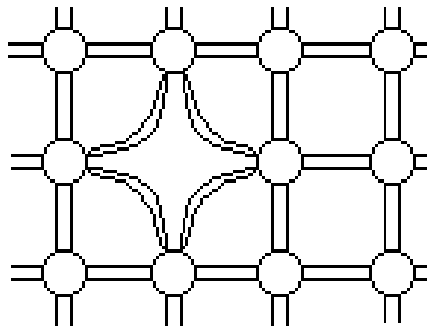
Antisayt: o'rin almashinuvchi nuqsonning alohida turi bo'lib, bunda o'z B atomi boshqa o'z A atomining holatini egallaydi.

Frenkel nuqsoni: panjara burchagidan eng yaqin tugunlar oralig'iga siljigan, A atomi tomonidan hosil qilingan V_A-I_A kompleksi.

Vakansiyalar va antisaytlar xususiy yoki tabiiy nuqsonlar hisoblanadi, chunki ular yot atomlar bilan bog'lanmagan. Ularning konsentratsiyasini kimyoviy tahlil yoki mass-spektrometriya yordamida aniqlab bo'lmaydi. Yot atomlar (ya'ni, kirishmalar) bilan bog'liq nuqsonlar noxususiy nuqsonlar deb ataladi.

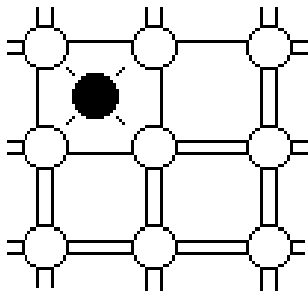
Ko'pgina muhim nuqsonlar elektrik faoldir. Kristalda erkin elektronlar yarata oladigan nuqsonlar donorlar deb ataladi, teshiklar hosil qiluvchi (ya'ni, erkin elektronlarni yo'q qiluvchi) nuqsonlar esa akseptorlar deb ataladi. Si dagi donorlarga misollar – P, As va Sb kabi V guruhidagi o'rin almashinuvchi atomlar yoki Li va Na kabi tugunlararo monovalent atomlardir. V guruhi atomlari Si atomlari o'rnini almashuvchi atomlarga qaraganda bir valent ko'proq elektronga ega. Bundan tashqari, ushbu ortiqcha elektron Si dagi V guruhiga mansub atom bilan kuchsiz bog'langan bo'lib, va Si kristallining o'tkazuvchanlik sohasi tomonga oson uyg'onishi mumkin. VI guruhidagi o'rin almashinuvchi atomlar, masalan, Si dagi S, Se va Te o'tkazuvchanlik sohasiga ikki elektron berishi mumkin, shuning uchun ular ikkilanma donorlar deb ataladi. Si dagi akseptorlarga misollar – III guruhidagi B, Al, Ga va In kabi o'rin almashinuvchi atomlardir. Si dagi II guruhiga mansub o'rin almashinuvchi atomlar (masalan, Be va Zn) ikkilanma akseptorlardir. Agar o'rin almashinuvchi kirishma atomi kristall-xo'jayin atomi kabi xuddi o'sha valentlikka ega bo'lsa, u izoelektron yoki izovalent markaz deb ataladi. Si dagi C_{Si} va GaP dagi NP shunday markazlarga misol. Quyiroqda ko'rsatilganidek, izovalent markazlar yo donorlar, yoki akseptorlar kabi xatti-harakat qilishi, yoki elektr nofaol bo'lishi mumkin.

Haqiqiy kristallarda qator sabablar tufayli turli xil nuqsonlar mavjuddir. Nuqsonlar deganda atomlarning kristall panjaradagi normal joylaridan siljishi yoki kristal panjaraga begona atomlarning kirib qolish hollari tushuniladi. Bunday nuqsonlar kristallga maxsus tashqi ta'sir ko'rsatish jarayonida yoki boshqarib bo'lmaydigan tasodifiy omillar tufayli yuzaga keladi. Ayniqsa, yarimo'tkazgich kristallar ko'pchilik nuqsonlarga o'ta sezgir bo'ladi. Yarimo'tkazgichlarda sodir bo'ladigan qator hodisalar (elektrik o'tkazuvchanlik, diffuziya, kristallarning o'sishi, optik va boshqa xossalarning namoyon bo'lishi va hokazolar) kristall panjaradagi nuqsonlarning ta'siri bilan tushuntirilishi mumkin.

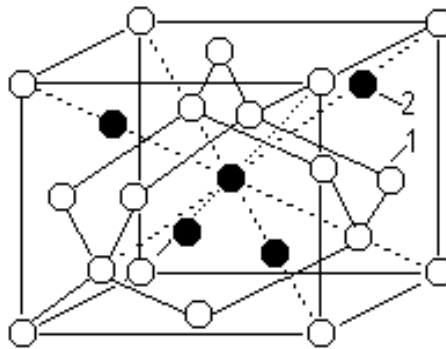


a

1.3a-rasm. Kristall panjarada vakansiya yoki Shottki nuqsoni



b



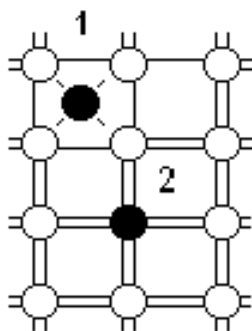
v

1.3b-rasm. Kristall panjarada tugunlararo atom

**1.3v-rasm. Kristall panjarada atomlarning joylashishi:
1-tugunlar; 2-tugunlararo kirishma atomlar**

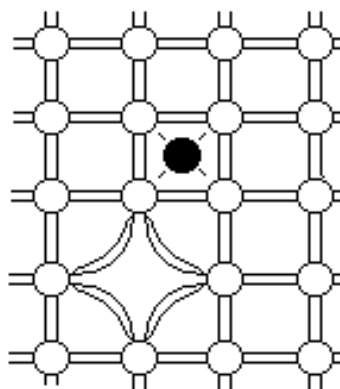
Kristallarda uchraydigan nuqsonlarni to‘rtta guruhga ajratish mumkin. Bular nuqtaviy, chizig‘iy, sirtiy va hajmiy nuqsonlardir. Nuqtaviy nuqsonlar kristall panjaraning ba‘zi nuqtalarida panjaraning o‘z atomlari yo‘qligi yoki birorta ortiqcha atom mavjudligi natijasida yuzaga keladi. 1.3(a, b, v, g, d)-rasmda eng ko‘p uchraydigan nuqtaviy nuqsonlar tasvirlangan. Agar kristall panjaraning biror tugunida xususiy atom etishmasa (1.3a-rasm) u xolda bunday nuqson vakansiya yoki Shottki nuqsoni deb ataladi. Kristallarda ba‘zibir hollarda vakansiyalar jufti mavjud bo‘ladi. Bunday nuqsonlar divakansiyalar deb ataladi. Agar tugunlar

orasida ortiqcha atom joylashgan bo'lsa, bunday nuqson kirishmaviy nuqson (1.3b-rasm) deb ataladi. Kristall panjaraning tugunlarida yoki tugunlari orasida joylashgan kirishma atomlar ham nuqtaviy nuqson deyiladi (1.3g-rasm).



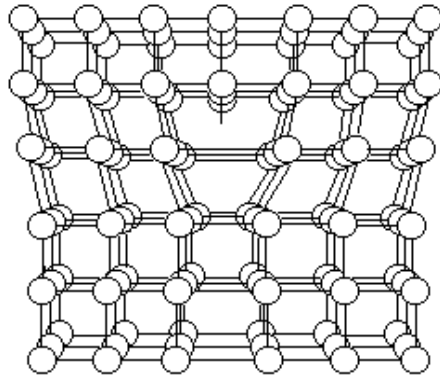
**1.3 g-rasm. Kristall panjaraning nuqtaviy nuqsoni:
1-tugunlararo kirishma atom; 2-tugundagi kirishma atom**

Vakansiya va tugundan chiqib qolgan xususiy atom jufti ham nuqtaviy nuqson hisoblanadi va Frenkel jufti nomi bilan yuritiladi (1.3d-rasm).

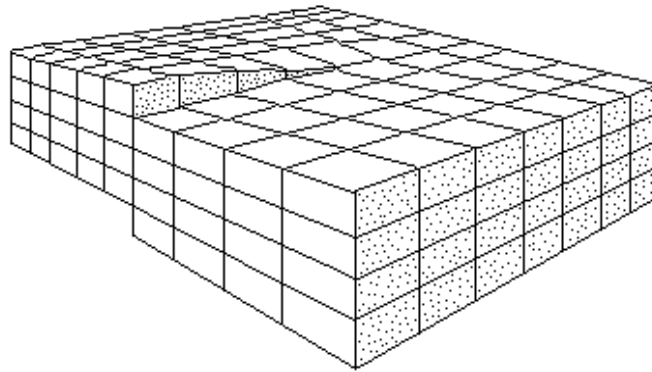


1.3d-rasm. Frenkel nuqsoni: vakansiya va tugundan chiqqan xususiy atom jufti

Chizig'iy nuqsonlarga chegaraviy va vintsimon dislokatsiyalar taaluqlidir. Chegaraviy dislokatsiya 1.4 a-rasmda tasvirlangan. Bu xil dislokatsiyalar atomlarning shunday tartibsizligidan iboratki, bunda cheksiz ko'p atomlar tekisliklari ichida bitta dislokatsiya chizig'i bilan tugaydigan atomlar yarimtekisligi kuzatiladi. Agar kristallni hayolan yarimtekislik bilan kesib, kristallning ajralgan qismlarini yarimtekislik chegarasi yo'nalishi bo'ylab bir birlik atomlar orasidagi masofagacha siljitsak, vintsimon dislokatsiya (1.4 b-rasm) tasvirini tasavvur qilishimiz mumkin.



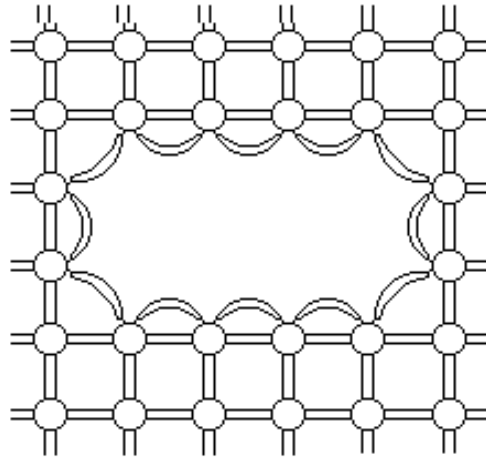
1.4a-rasm. Kristall panjaradagi chegaraviy dislokatsiya



1.4b-rasm. Kristall panjaradagi vintsimon dislokatsiya

Sirti nuqsonlar ikki tur: tashqi va ichki bo'ladi. Kristall sirtining boshqa muhit bilan chegaradosh bo'lganligi tashqi nuqsonlarning yuzaga kelishiga asosiy sababchidir. Muhit bilan o'zaro ta'sirlashish natijasida kristall sirtida adsorbsiyalangan begona atomlar qatlami, oksidlangan qatlam va boshqa sirti nuqsonlar yuzaga keladi. Ichki nuqsonlar kristall panjara bir xil orientatsiyadan ikkinchi xil orientatsiyaga o'tgan joylarda yuzaga keladi. Bunday nuqsonlarga qo'shmoqlanish tekisliklari, polikristall jismlar donachalarining chegaralari, kichik burchakli dislokatsiya chegaralari kiradi.

Hajmiy nuqsonlarga stexiometriyadan chetlanish, vakansiyalar majmuasi (1.5-rasm) yoki boshqa elementar nuqsonlar to'plami va darz ketgan joylar, bo'shliqlar, boshqa fazalarning aralashmasi kabi tartibsizliklar va hokazo nuqsonlar kiradi.

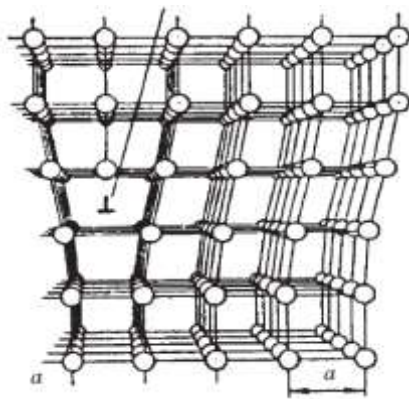


1.5-rasm. Kristall panjaraning hajmiy nuqsonlari

Biz yuqorida zikr qilib oʻtgan nuqsonlar haqida batafsil toʻxtalib oʻtirmaymiz. Bu mavzu bilan qiziqqan oʻquvchiga maxsus adabiyotga murojaat qilishni tavsiya etamiz. Kelgusida ayniqsa kirishma atomlar bilan bogʻliq nuqsonlarni koʻp uchratamiz. Chunki, zarur parametrlarga ega boʻlgan yarimoʻtkazgichlar olishning keng tarqalgan yoʻli unga maʼlum miqdorda zarur kirishma kiritishdir.

Biz shu mavzuga qisqacha boʻlsa ham toʻxtalib oʻtganimizning asosiy sababi shundaki, yarimoʻtkazgich xossalari va u asosida yasalgan turli xil Yarimoʻtkazgich asboblari elektrfizik parametrlariga har qanday nuqson ham juda keskin taʼsir koʻrsatadi. Shuning uchun texnikada sof, tuzilish nuqtai nazardan benuqson yarimoʻtkazgich materiallar olish muammosi doim alohida oʻrin egallaydi.

Chiziqli nuqsonlar ikkala oʻlchamda kichik oʻlchamlar bilan harakterlanadi, ammo uchinchi oʻlchamda ancha uzunlikka ega. Chiziqli nuqsonlarni tashqi koʻrinishi – *dislokatsiyalarda*. Elastik panjara atrofida dislokatsiyalar buzilgan boʻladi. Dislokatsiyalar zichligi – hajm birligida barcha dislokatsiya chiziqlarini uzunliklarini yigʻindisi. Dislokatsiyalar materiallar xususiyatlariga ancha taʼsir koʻrsatadi, fazali aylanishlarda ishtirok etadi, rekristallanishda, qattiq eritmalarni ikkinchi fazasida tushib qoluvchi tayyor markazlar boʻlib xizmat qiladi, kristallarni mustaxkamligiga taʼsir qiladi, uni bir necha marta kuydirilgan holatiga nisbatan oshiradi. 15 - rasmda dislokatsiya chiziqlaridan biri keltirilgan.



15 – rasm. Dislokatsiya chiziqlari

Sirtdagi nuqsonlar ikki o'lchamda kichik qalinlikka va ancha katta o'lchamga ega. Odatda bu kristall panjaralarni yo'naltirilgan bo'laklarini uchrashuv joyi hisoblanadi. Ular donachalar chegarasi bo'lishi, donachalarni ichidagi fragmentlar chegarasi, fragmentlar ichidagi bloklar chegarasi bo'lishi mumkin. Ularni yo'naltirilmagan burchaklari 5° oshmagan bo'ladi, bunday chegaralar kichik burchakli chegaralar deyiladi. Yarim kristalli moddalar uchun donachalar orasidagi chegaralar o'tish qatlamini tashkil qiladi, ularda atomlarni tog'ri joylashuvi buzilgan bo'ladi, dislokatsiyalarni to'planishi yuz berib kirishmalarni konsentratsiyasi oshadi. Donachalar orasidagi chegaralarda materiallarni fizik, mexanik xususiyatlariga ancha ta'sir etadi: donachalar qancha kichik bo'lsa oquvchanlik, yopishqoqlik chegarasi yuqoriroq bo'ladi, mo'rtlik kamayadi.

Yarim o'tkazgichlar elektron asboblarni tayyorlashda shunchalik keng ishlatilishi sabablaridan biri – boshqa tipdagi kirishmalar yoki nuqsonlarning oz miqdorini kiritish orqali, ularning elektr xossalarini sezilarli o'zgartirish imkoniyatidir. Ammo agar nuqsonlarning bir tipi elektron moslamalarni tayyorlashda foyda bersa, boshqa tipi moslamani sifatsiz qiladigan nojo'ya ta'sir ko'rsatishi mumkin. Yarim o'tkazgichlar xossalarini o'zgartirish uchun zarur bo'lgan nuqsonlar soni esa, ko'pincha million xususiy atomga bir nuqsonli atomga qaraganda ham ancha kamroq bo'ladi.

Natijada, moslamalar yasash uchun yarim o'tkazgichlardan foydalanish imkoniyati ko'pincha yarim o'tkazgich materiallarda nuqsonlar mavjudligini nazorat qilish mahoratimiz bilan belgilanadi. Materialdagi nuqsonlar soni va tabiatini nazorat qilish uchun, nisbatan nuqsonsiz namunalarni o'stirishni o'rganib olish zarur. So'ngra, yo o'sish jarayonida, yoki u tugagach, maqbul nuqsonlar sonini kiritish mumkin. Yarim o'tkazgichlarda nuqsonlarni o'rganishga bag'ishlangan ko'plab adabiyotlar mavjud. Nuqsonlarning barcha xossalarini sharhlash uchun butun boshli bir kitob ham kamlik qiladi, shuning uchun mazkur bobda nuqsonlarning elektron xossalarini o'rganish bilan cheklanamiz.

Yarim o'tkazgichlarda uchraydigan nuqsonlarning turli tiplarini tasniflashdan boshlaymiz. So'ngra nuqsonlarni ikkita katta kategoriyalarga bo'lamiz. «Effektiv massa yaqinlashuvi» orqali energiyalarini hisoblab chiqish mumkin bo'lgan kirishmalar mayda kirishmalar, ushbu yaqinlashuv doirasida kirishmalarini hisoblab bo'lmaydigan nuqsonlar esa chuqur markazlar deb ataladi. Chuqur markazlarning energetika darajalari Grin funksiyalari usuli yordamida hisoblanishi mumkin. Bu usulning oddiy misoli sifatida tetraedr bog'lanishli yarim o'tkazgichlardagi chuqur markazlarni ko'rib chiqamiz.

Nuqsonlarning energetik sathlarini hisoblash uchun Green funksiyasi usuli

Panjara relaksatsiyasini hisobga olgan holda chuqur markazlar energiyalarini hisoblash usullari mavjud. Biz chuqur markazlar elektron tuzilishini hisoblash uchun Grin funksiyalari usulini ko'rib chiqamiz. Ularni nuqsonlar muammosiga nisbatan qo'llash haqida muhokamani Ekonomou, Lannu va Burguan ishlarida topish mumkin. Bu usulni ayniqsa olmos va yiltiroq ruxtosh tipidagi yarim o'tkazgichlardagi izoelektron markazlar xususiyatlarining nuqsonlarini tartiblashtirishni o'rganish uchun qo'llaymiz.

Nuqsonlarni o'rganish maqsadida Grin funksiyalaridan foydalanish motivatsiyasini tushunish uchun, avval holatlar zichligi (HZ) tushunchasini aniqlaymiz. Ma'lum bir tizimning holatlari zichligi esa, E dan $E + \delta E$ gacha bo'lgan energiyalar intervalida yotgan energiya birligi bo'yicha ruxsat etilgan holatlar soni kabi aniqlanadi. Aytaylik, biz o'rganayotgan tizim N gamiltonianiga

ega, uning energiya sathlari esa E_k kabi belgilanadi. Bu energiya sathlari diskret yoki uzluksiz bo'lishi mumkin. Tizimdagi zarralar fazoda davriy joylashishi, yoki xuddi amorf yarim o'tkazgichdagi kabi, tamomila tasodifiy holatlarni egallashi mumkin. $n(E)$ tizim holatlarining zichligi quyidagiga teng:

$$n(E) = \sum_k \delta(E - E_k) \quad (7)$$

bunda $\delta(x)$ Dirakning delta-funksiyasi, k esa barcha mumkin bo'lgan holatlarni belgilaydi. $n(E)$ qiymati juda muhim, chunki nazariy hisoblab chiqilishi va eksperimental yo'l bilan o'lchanishi mumkin. Grin funksiyasining rezolventi yoki G operatorini quyidagicha belgilaymiz:

$$G = \lim_{\eta \rightarrow 0^+} (E - H + i\eta)^{-1} \quad (8)$$

G nima uchun shu tariqa aniqlanishini tushunish uchun, N gamiltonianining $|k\rangle$ xususiy holati uchun G ning kutilgan qiymati quyidagi ko'rinishga ega:

$$\langle k|G|k\rangle = \lim_{\eta \rightarrow 0^+} (E - E_k + i\eta)^{-1} \quad (9)$$

Delta-funksiyaning yaxshi ma'lum bo'lgan xossasi yordamida (9) ning o'ng qismini quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$\lim_{\eta \rightarrow 0^+} (E - E_k + i\eta)^{-1} = \rho(E - E_k)^{-1} - i\pi\delta(E - E_k) \quad (10)$$

bunda $[E - E_k]^{-1}$ uchun Koshining bosh qiymati deb ataladigan $P[E - E_k]^{-1}$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(E') \rho[E - E']^{-1} dE' = \rho \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(E')}{E - E'} dE' = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\int_{-\infty}^{E-\varepsilon} \frac{f(E')}{E - E'} dE' + \int_{E+\varepsilon}^{+\infty} \frac{f(E')}{E - E'} dE' \right) \quad (11)$$

Qaysidir ma'noda $P[x]^{-1}$ funksiyasi quyidagi xossaga ega, deb hisoblashimiz mumkin:

$$X = 0 \text{ bo'lganda } p[x]^{-1} = \begin{cases} 0 & da \quad x = 0, \\ x^{-1} & da \quad x \neq 0 \end{cases} \quad (12)$$

(7) va (10) dan olamiz:

$$n(E) = -\frac{1}{\pi} \sum_k \text{Im}\{\langle k|G|k\rangle\} = -\frac{1}{\pi} \text{Im}\{\text{Tr}G\} \quad (13)$$

bunda $\text{Im}\{A\}$ A kompleks qiymatining mavhum qismini, $\text{Tr}\{G\} = \langle k|G|k\rangle$ matritsa izini anglatadi. Shu tariqa, (16) G operatori va $n(E)$ o'rtasidagi nisbatni belgilaydi. Aytib o'tish kerakki, (12) da aniqlangan G matritsa elementi E ning kompleks

funksiyasi hisoblanadi. Kompleks qiymatning real qismi doim uning mavhum qismi bilan bog‘langan. Masalan, $\langle k|G|k \rangle$ ni $g(E - Ek)$ kabi belgilaymiz [qarang: (9)] va quyidagi aniqlashni kiritamiz:

$$F(E) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(E - E')f(E')dE' \quad (14)$$

bunda $f(x)$ — istalgan berilgan funksiya. (9) ni (14) ga qo‘yib, olamiz:

$$F(E) = \rho \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(E')}{E-E'} dE' + i\pi f(E) \quad (15)$$

(15) da $\{Im77\} = \pi f(E)$ ekanligini inobatga olib, $F(E)$ ning real qismini quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$Re\{F(E)\} = \frac{1}{\pi} \rho \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{Im\{F(E')\}}{E-E'} dE' \quad (16)$$

$F(E)$ funksiyasining real qismini uning mavhum qismi orqali ifodalaydigan tenglama esa, Kramers-Kronig nisbatlari, yoki dispersion nisbatlar deb ataluvchi ikki tenglamadan biri bo‘lib hisoblanadi. U yana Gilbert almashtirishi deb ataladi. Biz bu muhim nisbatlarni optik aks chizig‘iy funksiyasini o‘rganganimizda keng qo‘llaymiz. Aftidan, $g(E - Ek)$ funksiyasi Kramers-Kronig nisbatlarini qanoatlantiradi.

Nuqsonlar bilan bog‘liq masalalarda qo‘llanadigan $n(E)$ uchun boshqa ifoda quyidagi ko‘rinishga ega:

$$n(E) = \frac{1}{\pi} \frac{d}{dE} Im\{lg(detG)\} \quad (17)$$

bunda $det G - \langle k|G|k \rangle$ matritsasi aniqlovchisi.

Nuqson elektroni uchun Shryodinger tenglamasini quyidagi ko‘rinishda ifodalaymiz:

$$(H_0 + V)\Phi = E\Phi \quad (18)$$

bunda N_0 — ideal kristall gamiltoniani, V — nuqson potentsiali, E — nuqson energiyasi. Yuqorida eslatilganidek, V ma’lum, deb faraz qilamiz. Bundan tashqari, Φ_0 to‘lqin funksiyalari va “g‘alayonlanmagan” tenglamaning E_0 xususiy qiymatlari ma’lum, deb faraz qilamiz:

$$(E_0 - H_0)\Phi_0 = 0 \quad (19)$$

(18) tenglamani quyidagi ko‘rinishda qayta yozish mumkin:

$$\Phi = [E - H_0]^{-1}V\Phi \quad (20)$$

Endi Grin funksiyasining “g‘alayonlanmagan” G_0 operatorini (8) yordamida aniqlaymiz:

$$G_0 = \lim_{\eta \rightarrow 0^+} [E - H_0 + i\eta]^{-1} \quad (21)$$

Shu tarzda, Φ ni quyidagicha ifodalash uchun:

$$\Phi = G_0V\Phi \quad (22)$$

Esda tutingki, $G_0 E$ nuqson energiyasining funksiyasi hisoblanadi.

Yechimlarning ikki tipi mavjud (18).

1. Bog‘langan holatlar uchun yechimlar.

Agar nuqson elektronining E energiyasi g‘alayonlanmagan to‘lqin tenglamasining E_0 xususiy qiymatlari bilan yopilmasa, u holda nuqson elektronining Φ xususiy qiymati bog‘langan holat bo‘lishi zarur. $E E_0$ tomonidan yopilmasligi sababli, bunday energiya chog‘ida hech qanday kontinuum holati mavjud bo‘la olmaydi. Nuqson elektronining to‘lqin funksiyasi nuqson yonida lokalizatsiyalanishi kerak. E ni topish uchun, Φ ni ψ_j ortonormalangan bazis funksiyalari to‘plami bo‘yicha ajratish zarur:

$$\Phi = \sum_j a_j \psi_j \quad (23)$$

Bu ifodani (22) ga qo‘yib, a_j noma‘lumlariga nisbatan bir jinsli chizig‘iy tenglamalar tizimini olamiz:

$$\sum_j (I - G_0V)_{ij} a_j = 0, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (24)$$

bunda I — yakka matritsa; tizim aniqlovchisi nolga teng bo‘lgandagina, (24) nolga teng bo‘lmagan echimlarga ega bo‘ladi. Shu tariqa, umuman olganda, quyidagi tenglamani yechib, nuqson energiyasini aniqlash mumkin:

$$\det[I - G_0V] = |I - (E - H_0)^{-1}V| = 0 \quad (25)$$

V ixtiyoriy potentsiali borasida (25) juda murakkab ko‘rinishga ega bo‘lib, uni yechish ham qiyin. Nuqtali nuqsonlar uchun V potentsiali lokalizatsiyalangan bo‘lib, ψ_j lokalizatsiyalangan bazis funksiyalarining mos to‘plamini tanlash orqali, (25) ni soddalashtirish mumkin. Bunda nolga teng bo‘lmagan V_{ij} matritsa elementlarining faqat oz soni mavjud bo‘lishi kerak.

2. Resonans holatlar uchun yechimlar.

Ikkinchi holatda nuqson energiyasi g'alayonlanmagan holatlarning xususiy qiymatlari bilan yopiladi va resonans holat paydo bo'ladi. $E = E_0$ uchun Φ ning umumiy yechimini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\Phi = \Phi_0 + G_0 V \Phi \quad (26)$$

Nuqson g'alayonlanmagan holatning $n_0(E)$ zichligi o'zgarishiga olib keladi. Maqsadimiz $-\delta n(E)$ ni, ya'ni nuqson bilan bog'liq $n(E)$ o'zgarishini hisoblab chiqish. Aftidan, nuqson potentsiali kuchli lokalizatsiyalangan vaqtda holatlarning lokal zichligini kiritish qulay, chunki $\delta n(E)$ faqat nuqson yaqinida katta qiymatga ega bo'lishini kutamiz. G_0 operatorining matritsa elementini kiritamiz, u quyidagicha aniqlanadi:

$$G_0(r, r', E) = \langle r | G_0 | r' \rangle = \lim_{\eta \rightarrow 0^+} \sum_k \langle r | k \rangle \langle k | r' \rangle (E - E_k + i\eta)^{-1} \quad (27)$$

(10) yordamida shuni ko'rsatish mumkin:

$$Im\{G_0(r, r, E)\} = -\pi \sum_k |\langle r | k \rangle|^2 \delta(E - E_k) \quad (28)$$

Bunda $|\langle r | k \rangle|^2$ — r nuqtasida k to'liqin vektorli elektronni topish ehtimoli, ... esa nuqson yo'qligida holatlarning zichligidir (ya'ni $n_0(E)$). Agar bu ikki hadni bir-biriga ko'paytirsak, u holda olingan ko'paytma:

$$n_0(r, E) = \sum_k |\langle r | k \rangle|^2 \delta(E - E_k) \quad (29)$$

g'alayonlanmagan lokal HZ ma'nosiga ega bo'ladi. (28) yordamida $n_0(r, E)$ va G_0 o'rtasidagi bog'lanishni belgilash mumkin:

$$n_0(r, E) = -(1/\pi) Im\{G_0(r, r, E)\} \quad (30)$$

$n_0(E)$ g'alayonlanmagan holatlarining to'la zichligi quyidagi ifoda bilan beriladi:

$$n_0(E) = \sum_r n_0(r, E) = -\frac{1}{\pi} Im\{\sum_r G_0(r, r, E)\} = -\frac{1}{\pi} Im\{Tr G_0\} \quad (31)$$

O'xshash tarzda $n(r, E)$ nuqsoni mavjudligida holatlarning lokal zichligini quyidagi ko'rinishda aniqlash mumkin:

$$n(r, E) = -\frac{1}{\pi} Im\{\sum_r G(r, r, E)\} \quad (32)$$

bunda $G(r, r', E)$ quyidagi ko'rinishga ega:

$$G(r, r', E) = \lim_{\eta \rightarrow 0^+} \sum_k \langle r | k \rangle \langle k | r' \rangle (E - H_0 - V + i\eta)^{-1} \quad (33)$$

$n_0(r, E)$ va $n(r, E)$ ni aniqlash maqsadida soniy hisoblar uchun (17)dan foydalanish qulayroq, shuning uchun nuqson bilan induksiyalangan lokal HZ modifikatsiyasi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$\delta n(r, E) = n(r, E) - n_0(r, E) = \frac{1}{\pi} \frac{d}{dE} \text{Im} \left\{ \log \frac{\det G(r, r, E)}{\det G_0(r, r, E)} \right\} \quad (34)$$

G ni G_0 orqali ifodalab, (34) ni soddalashtirish mumkin:

$$G = \lim(E - H_0 - V + i\eta)^{-1} = \lim(E - H_0 + i\eta)^{-1} [1 + V(E - H_0 - V + i\eta)^{-1}] = G_0 + G_0 V G \quad (35)$$

Yuqorida keltirilgan tenglamalarda $\lim_{\eta \rightarrow 0+}$ vaqtidagi chegarani anglatadi. (35) ifodasi Dayson tenglamasi deb ataladi. Uning yordamida G ni formal ravishda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\det G = \det(I - G_0 V)^{-1} \det G_0 \quad (36)$$

(34) dagi $\det G$ uchun (36) ni qo'yib, faqat G_0 va V orqali ifodalangan $\dots n(r, E)$ ni olamiz:

$$\delta n(r, E) = -\frac{1}{\pi} \frac{d}{dE} (\text{Im} \{ \log(\det[I - G_0(r, r, E)V]) \}) \quad (37)$$

Shu tariqa, ham bog'langan, ham resohans holatlar uchun echimlar ko'rsatadiki, V nuqson potentsiali bilan induksiyalangan holatlarning elektron zichligining o'zgarishi $\det [I - G_0 V]$ kabi belgilanadi.

II. BOB

METALLAR QOTISHMALARNING TUZILISHI VA XOSSALARI

2.1. Metallarning tuzilishi va asosiy xossalari

Metall - odatdagi sharoitda yuqori elektr va issiqlik o'tkazuvchanlikka, harorat pasayganda o'tkazuvchanligi oshadigan, elektrmagnit to'lqinlarni yaxshi qaytarish, plastiklik xossalari ega qattiq jism.

O'ta o'tkazuvchan materiallar

Elektr o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan materiallarning solishtirma qarshiligi nisbatan kichik bo'ladi. O'tkazgichlardan tok o'tganda energiya isrofi ham kam bo'ladi. Ana shunday xususiyatlar, tarkibida qo'shimchalar bo'lmagan sof metallarga xosdir.

Kumush solishtirma qarshiligi eng kichik ($\rho=0,016 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$) metallidir. Kumushning oksidlanishga chidamliligi juda yuqoridir. Kumushning narxi yuqori bo'lganligi sababli, undan faqat zarur hollarda foydalaniladi. Elektrotexnikada qo'llaniladigan asosiy o'tkazgich materiallardan biri mis Cu hisoblanadi. U tabiatda keng tarqalgan material bo'lib, mexanik mustahkamlikka va yaxshi o'tkazuvchanlikka egadir. Misning solishtirma qarshiligi ρ kumushnikiga nisbatan yuqoridir. Elektrotexnikada asosan «Elektrolitik» Cu dan foydalaniladi. U tabiatda keng tarqalgan material bo'lib, mexanik mustahkamlikka va yaxshi o'tkazuvchanlikka egadir. Bunday Cu elektroliz usuli bilan yaxshilab tozalanishi natijasida uning tarkibidagi qo'shimchalar miqdori 0,005-0,007% dan ortmaydi. Cu ning solishtirma o'tkazuvchanligi 58 mk sm/m, ya'ni $\rho = 0,017 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$.

Jez-mis bilan ruxning birikishidan hosil bo'lgan qotishmadir. Jezda turiga qarab, Zn miqdori 10÷40 % atrofida bo'ladi. Jezning solishtirma qarshiligi sof misnikidan yuqori bo'lib, bu qiymat 0,04÷0,35 mkOm·m ni tashkil etadi.

Bronza asosan mis bilan qalay birikmasidan tashkil topgan qotishma bo'lib, o'tkazuvchi prujina tayyorlash maqsadida uning maxsus fosforli va boshqa turlari

qo'llaniladi. Bronzaning solishtirma qarshiligi $0,0019 \div 0,21$ mkOm·m. Cho'zilishdagi mustahkamligi $650 \div 700$ mPa bo'lib, uning edirilishga chidamliligi nisbatan yuqoridir. Mazkur turdagi bronza elektr tortkich simlar va ko'tarma kranlar uchun mo'ljallangan simlarni tayyorlashda ishlatiladi. Alyuminiy o'zining elektr o'tkazuvchanlik xususiyati jihatidan misdan keyingi o'rinda turadigan o'tkazuvchan materialdir. Qattiq alyuminiyning mexanik mustahkamligi yumshoq alyuminiyning qaraganda ikki barobar ortiq, solishtirma qarshiligi esa 60 % yuqoridir. Mis bilan bir xil o'tkazuvchanlikka ega bo'lish uchun alyuminiy simning ko'ndalang kesim yuzasini 60 % oshirish talab qilinadi. Bu esa alyuminiy ishlatilgan elektr mashina va jihozlarning hajmi va tan narxi nisbatan katta bo'lishiga olib keladi. Temir o'tkazuvchi material sifatida narxi arzonligi va yuqori mexanik mustahkamligi bilan ajralib turadi. Hatto sof temirning ham solishtirma qarshiligi ρ mis va alyuminiyga nisbatan ancha yuqori $\rho=0,10$ mkOm bo'lib, mazkur qarshilik o'zgaruvchan tok ta'sirida yana ham ortadi. Temir simlarning asosiy kamchiligi korroziyaga bo'lgan chidamsizligidir. Shu sababli bunday simlar sirti himoya qoplamasi Zn bilan qoplanadi. Sof temirning esa mexanik mustahkamligi nisbatan past bo'lganligi uchun va aloqa va elektr o'tkazgichlarda tarkibida 0,1-0,15% uglerod, cho'zilishdagi mustahkamligi 700-750 MPa bo'lgan yumshoq po'lat ishlatiladi. Bunday po'lat, asosan kichik quvvatli havo elektr o'tkazgichlarning simlari sifatida ishlatiladi. Po'latdan o'tkazuvchi material sifatida tramvay va elektrlashtirilgan temir yo'l (metro) da rel's ko'riishida foydalaniladi.

O'zgaruvchan metall bo'lmagan (qo'sh metall) simlar – sirtiga bir tekis qilib mis qoplangan po'lat simdan iborat. Bunday sim tarkibidagi mis miqdori 44-45 % bo'lib, simning solishtirma qarshiligi $0,03-0,04$ mkOm·m ga teng. Metall bo'lmagan simlarning tashqi diametri 1-4 mm bunday simlar elektr va aloqa sohalarida ishlatiladi.

Metallardagi elektr o'tkazuvchanlik nazariyasi asosida quyidagi farazlar yotadi:

1. Metallardagi erkin elektronlar o'zini xuddi ideal gaz molekulari kabi tutadi;

2. Metalldagi erkin elektronlar harakati Nyutonning klassik mexanikasidagi qonunlarga bo'ysunadi;

3. Erkin elektronlar o'zlarining xaotik harakatida bir-birlari bilan emas, balki kristall panjara ionlari bilan to'qnashadi;

4. Elektronlar ionlar bilan to'qnashganda o'zlarining kinetik energiyasini ionlarga beradi. Metallarning elektr qarshiligi erkin elektronlarning kristall panjara ionlari to'qnashishi tufayli yuzaga keladi.

Maxsus materiallar va yuqori qarshilikli qotishmalar

Texnikada, reostatlarda va elektr isitkich asboblarda katta qarshilikka ega bo'lgan materiallar ishlatiladi. Bu maqsad uchun sof metallardan emas, balki ularning maxsus qotishmalaridan foydalaniladi. Erigan ikki xil metallni o'zaro qo'shib sovutilganda ularning ayrim kristallari alohida yoki birgalikda kristallanishi oqibatida boshqa umumiy kristalli jism hosil bo'ladi. Birinchi holda qotishmaning solishtirma qarshiligi uning tarkibidagi yuqori qarshilikli metallarning miqdoriga to'g'ri proporsional. ikkinchi holda esa qotishmaning solishtirma qarshiligi uzining yuqori qiymatidan yuqori bo'ladi. Yuqori qarshilikli material ikki yoki uch komponentdan tashkil topadi.

Mis asosida tayyorlangan qotishmalarga manganin, konstantan va neytilberlar misol bo'ladi.

Manganin rezistor ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Uning tarkibida 85% mis, 12% marganets, 3% nikel bo'lgan holda solishtirma qarshiligi 0,42-0,48 mOm·m, solishtirma qarshilik koeffitsienti $(5-30) \cdot 10K$ ga tengdir. Manganindan elektr o'lchov texnikasi uchun sifatli, aniqlik darajasi yuqori bo'lgan qarshilik g'altaklari tayyorlashda foydalaniladi.

Konstantan tarkibida 60% ga yaqin mis va 40% atrofida nikel bo'lib, solishtirma qarshiligi 0,45-0,52 mkOm·m, $\alpha_p=(-20;-50)\cdot 10^{-6}$ grad⁻¹. Mazkur qotishmadan o'lchov texnikasida qo'llaniluvchi asboblarda (voltmetr va hokazo) uchun yuqori sifatli stabil qarshiliklar emas, balki qo'shimcha (yordamchi) qarshiliklar tayyorlashda foydalaniladi. Konstantan va manganin materiallari birikmasidan ishlash sharoitida haroratga bog'liq bo'lmagan qotishmalar olish mumkin. Konstantan bilan mis o'zaro kavsharlanishi natijasida 100-150 °S haroratda ishlaydigan termopara yasaladi.

Neyzilber, nikel, rux va mis asosidagi qotishma (tarkibida nikel miqdori kamaytirilgan) bo'lib, narxi arzonligi sababli reostatlarda keng miqyosda ishlatiladi. Mazkur qotishmaning solishtirma qarshiligi 0,35-0,40 mkOm·m, $\alpha_p=200/10^{-6}$ grad⁻¹, ish haroratining yuqori qiymati 200°S ga teng.

Nikel asosida tayyorlangan katta qarshilikli qotishmalarga nixrom (nikel bilan xrom aralashmasi) misol bo'la oladi. Uning solishtirma qarshiligi 1 mkOm·m, yuqori ish harorati 900-1100°S bo'lib, qizitilganda oksidlanishga chidamliligi nisbatan yuqoridir. Nixrom qotishmasidan ingichka sim (diametri 0,01-0,03 mm) tortish usuli orqali tayyorlanadi. Uning tarkibida nixrom miqdori oshirilganda solishtirma qarshilik va T_T qiymatlari ko'tarilishi bilan birga qotishmaning mustahkamligi ham oshadi.

Temir tarkibiga xrom va alyuminiy qo'shilsa solishtirma qarshilik va T_T qiymatlari yuqori (nixromnikiga yaqin), arzon qotishma (fexral yoki xromal) hosil bo'ladi. Fexral (xrom 12-15%, alyuminiy 3,5-5,5%, qolgani temir) dan ingichka (d=0,2-0,3mm) sim yoki tasmalar tayyorlanadi. Xromal (23-27% xrom 4,5-6,5% alyuminiy, qolgani temir) ning solishtirma qarshiligi 1,4-1,6 mkOm·m, ish harorati 1250°S.

Agar yuqori qarshilikka erishish talab etilsa, nixromdan foydalaniladi, chunki bu qotishmaning solishtirma qarshilik qiymati nisbatan yuqoridir.

Termopara tayyorlashda quyidagi qotishmalardan foydalaniladi: kokopel (56% Cu + 44% Ni); alyumel (95% Ni + 5% Al,Si,Mg); xromel (90% Ni + 10% Cr); platinarodiy (90% Pt + 10% Rh).

Tarkibidagi metallarning xossasiga ko'ra termoparalar quyidagi haroratlarni o'lchashda qo'llaniladi: platinarodiy – platina (1600⁰S gacha); mis – konstant, mis – kopel (350⁰S gacha); temir – konstant, temir – kopel, xromel – kopel (600⁰S) gacha; xromel – alyumel (900-1000⁰S gacha).

Metallar va ularning xususiyatlari

O'zlarining elektrofizik xossalariga qarab, hamma qattiq jismlar o'tkazgichlarga, yarim o'tkazgichlarga va dielektrik-izolyatorlarga bo'linadi.

Metallarning yaxshi elektr o'tkazuvchanliklariga asosiy sabab, ularning atomlaridagi valent elektronlari bilan yadrolari orasidagi bog'lanishdir. Boshqa ko'pchilik moddalardan farqli o'laroq metallarning atomlaridagi hamma elektronlar juda kuchli bog'lanmagan. Shu sababli, yadrodan uzoqda joylashgan elektron qobig'idagi elektronlar yadroga juda sust tortiladi. Bunday bog'lanish esa musbat zaryadlangan yadro va manfiy zaryadlangan elektron oralaridagi masofa ortishi bilan kamayib boruvchi Kulon kuchlarining mavjudligi bilan tushuntiriladi. Bundan tashqari, masofa ortishi bilan o'zaro ta'sir kuchlarining kamayishiga valent elektronlar bilan yadro orasidagi ichki qobig'larida elektronlar orasida to'siq mavjudligidir. Metallarning kristall panjaralarini tashkil etish uchun bir-birlari bilan yaqinlashtirilganda, ularning valent elektron qobig'lari bir-birlari bilan kirishib ketadi, natijada ulardagi valent elektronlari kristallning hajmi bo'ylab erkin harakatlana boshlaydi. Natijada, avval aniq bir atomga ta'lluqli bo'lgan elektron endi kristall panjarani tashkil etgan hamma atomlarga ta'lluqli bo'lib qoladi, ya'ni erkin elektronga aylanadi. Demak, qattiq holatda turgan hamma metall atomlari o'zlariga tegishli bo'lgan elektronlarning bir qismidan ajralib qolar ekan.

Metall ichidagi erkin elektronlarning o'zlarini tutishlari to'g'risida gapirilganda quyidagilarni hisobga olish kerak. Ularning harakatlari murakkab jarayondan iborat bo'lib, juda qisqa vaqt yashaydilar va shu vaqt davomida atomlardan tashqarida

bo'lmaydilar hamda juda ko'p to'qnashishlardan iborat issiqlik harakatida qatnashadilar. Ular musbat zaryadlangan ion bilan uchrashganda bir-birlariga kirishib ketishlari mumkin.

Demak, bir tomondan metall ichida erkin elektronlar hosil bo'lsa, ikkinchi tomondan ularning rekombinatsiyasi namoyon bo'lib turadi. Bunday qarama-qarshi jarayonlarning mavjudligi har qanday metallardagi erkin elektronlar sonini o'zgartirishini ko'rsatadi va ular tashqi ta'sirga bog'liq bo'lmaydilar. SHu sababli metallarning 1 sm^3 hajmida - 10^{22} atom mavjud bo'lsa va metallning valentligi «Z» bo'lsa, u holda elektronlar konsentratsiyasi $n=Z \cdot 10^{22}$ ga teng bo'ladi.

Metallarda erkin elektronlarning mavjudligi tufayli, juda katta elektr va issiqlik o'tkazuvchanlik xususiyatiga egadir. Endi biz bu masalalarni metallarning klassik elektronlar nazariyasi asosida ko'rib chiqamiz. Bu nazariya quyidagi asosiy farazlardan kelib chiqadi:

- 1). Elektronlarning harakati klassik mexanika qonunlariga bo'ysungan holda amalga oshadi.
- 2). Elektronlarning o'zaro ta'sirlari mavjud emas.
- 3). Elektronlarni metall panjara ionlari bilan ta'siri oddiy sharhlarning urilishiga o'xshash.
- 4). Elektron gaz xuddi idel gazga o'xshash.

Bu nazariya ham, xuddi klassik fizikaning boshqa nazariyalariga o'xshab hodisalarning umumiy holatini taqriban ifodalaydi. Aniqroq xaqiqatni metallarning kvant nazariyasi ifodalaydi.

Issiqlik harakatlarida ishtirok etayotgan erkin elektronlar juda katta 10^8 s/m tezlik bilan betartib harakat qiladilar. Bu harakatlar jarayonida panjara ionlari bilan juda ko'p marta to'qnashadilar. Har to'qnashganda ular tezliklarining son qiymatlari yoki yo'nalishlari o'zgaradi, ko'pchilik hollarda ularning ikkalasi ham o'zgaradi.

Metallardagi erkin elektronlarni, shamol bo‘lmagan paytda havoda muallaq holatda betartib harakatlanayotgan “chivin” lar to‘plamiga o‘xshatish mumkin. Agar shamol esib qolsa, bu to‘plam shamol yo‘nalishi bo‘yicha harakatlana boshlaydi, shamolning tezligi oshgan sari chivin to‘plamining tezligiga ham ta’sir ko‘rsatadi. Odatda kristallning hajmida dislokatsiyalar betartib joylashadi va ularning soni juda ko‘p bo‘ladi, taxminan 1 sm^3 hajmda $10^8:10^9$ ta.

Klassik elektron nazariyasiga binoan metallni ko‘rib chiqadigan bo‘lsak, metallarga tashqi elektr maydon ta’sir qilmasa, undagi elektronlar ma’lum bir yo‘nalishga ega bo‘lmaydi va betartib harakat qiladi. Agarda metallarga elektr kuchlanishi berilsa tashqi elektr maydon kuchlanganligiga teskari bo‘lgan yo‘nalishda elektronlar doimiy tezlanish bilan harakatlana boshlaydi. Bunda elektronlar ma’lum bir yo‘nalish bo‘yicha elektr toki hosil qilib, metall o‘tkazuvchanligini sodir qiladi yoki bo‘lmasa kristall panjaraga musbat zaryadlangan ionlar bilan urilib, energiya beradi va elektr maydonda tezlanish olgan holda harakatlana boshlaydi. O‘tkazuvchan materiallar tasnifiga asoslangan holda elementlarni ko‘rib chiqamiz:

Mis elementi va uning fizik xususiyati

Mis metalli elektrotexnik materiallar ichida sanoatda ko‘p qo‘llaniladi:

1. Solishtirma qarshiligi kichik;
2. Mexanik chidamliligi juda yuqori;
3. Emirilishga juda chidamli ;
4. Yaxshi ishlov bersa bo‘ladi ;
5. Payvandlash uchun ishlatishda juda engil metall.

Misni olish uchun qayta ishlov beriladi. Misning tarkibida kumush 0,05% ni tashkil etsa, uning solishtirma o‘tkazuvchanligi 5% ga kamayadi. Agar uning tarkibida nikel yoki alyuminiy aralashgan bo‘lsa solishtirma o‘tkazuvchanligi 25-40% gacha yomonlashadi. Undan tashqari, tarkibida berilliy, temir, kremniy yoki

fosfor bo'lsa, uning solishtirma o'tkazuvchanligi 55% ga yomonlashadi. Mis elementining kamchiligi shundaki, uni qizdira boshlasak oksidlanish shuncha tez ketadi, kuchlanishga kelsak, elektrotexnikada keng ko'lamda ishlatiladi. Masalan: har xil simlar, transformatorlar o'ramida va hokazo.

Alyuminiy elementining fizik xususiyati

Misdan keyingi radiotexnikada eng ko'p qo'llaniladigan material - bu alyuminiy bo'lib, u elektr tokini yaxshi o'tkazadigan materialdir. Alyuminiy juda engil, kumushsimon oq rangda tabiatda uchraydi. Uning solishtirma qarshiligi misnikidan 16 marta katta bo'lib, alyuminiy misdan 3,5 marta engildir. Normal sharoitda erish harorati 660°S , solishtirma issiqlik sig'imi $923 \text{ J}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}$, solishtirma issiqlik o'tkazuvchanligi 218 Vt . Haroratli chiziqli kengayish koeffitsienti $21\cdot 10^{-6} \text{ K}$ ga teng. Solishtirma qarshiligi $0,0265 \text{ m}\Omega\cdot\text{m}$ ga teng, chiqish ishi $4,25\text{eV}$ ga teng. Alyuminiyning kamchiligi, mexanik chidamliligining juda kichikligidir. Alyuminiy elektroliz yo'li bilan olinadi. Alyuminiy tabiatda har xil markali ko'rinishda uchraydi, ya'ni 1AE, A97, A999, AE markali tarkibida 0,5 kirishma bor. Undan tayyorlangan alyuminiy simni solishtirma qarshiligi $0,028 \text{ m}\Omega\cdot\text{m}$ ni tashkil etadi, A97 markali alyuminiy tarkibida 0,3% kirishma bor. Bu markali alyuminiy juda toza material bo'lib, kremniy bilan kontakt qilinadi. Uning kamchiligi elektromigratsiyaga juda kam moyilligidir.

Metallar o'zining elektr o'tkazuvchanligi bilan bir-biridan farq qiladi. Eng yaxshi elektr o'tkazgichlar oltin, kumush, mis, alyuminiy. Metallarning elektr o'tkazuvchanligi temperatura bilan quyidagi formula orqali bog'langan:

$$\sigma = \sigma_0(1 - \alpha T)$$

Solishtirma elektr qarshiligiga ρ ko'ra metall o'tkazuvchan materiallarni ikki guruhga ajratish mumkin: yuqori o'tkazuvchanlikka ega materiallar, ularda normal haroratda $\rho < 0,05 \text{ m}\Omega\cdot\text{m}$; yuqori qarshilikli metall va qotishmalar, ularda bir

xil sharoitda $\rho > 0,3 \text{ mkOm}\cdot\text{m}$. Alohida absolyut nolga yaqin haroratlarda juda ham kichik solishtirma qarshilikka ega bo'ladi.

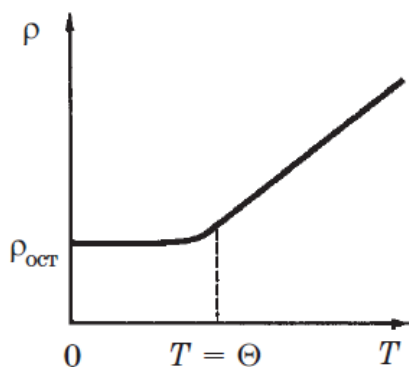
O'tkazuvchan materiallarni elektr xarakteristikasiga solishtirma qarshiligini va unga teskari kattalik solishtirma o'tkazuvchanlikni; kontakt potentsiallar farqi va termoelektr yurituvchi kuchni (termo E.Yu.K.); metallardan elektronlarni chiqish ishini kiritish mumkin.

Solishtirma o'tkazuvchanlik simenslarda ifodalanadi (Sm/m) va $\sigma = \frac{q^2 n_0 \lambda}{2m v_T}$ formula yordamida aniqlanishi mumkin, bu yerda q – elektron zaryadi ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$); n_0 – metallni hajmi birligidagi erkin elektronlar soni; λ – panjarani ikkita tuguni orasidagi masofa, bunda erkin elektronlar bir biri bilan to'qnashishidagi o'rtacha masofa; m – elektron massasi; v_T – erkin elektronni issiqlik harakatini o'rtacha tezligi.

Erkin elektronlarni konsentratsiyasi va ularni xaotik issiqlik harakati tezligi ma'lum haroratda turli metallarda juda kam farq qiladi, shuning uchun solishtirma o'tkazuvchanlik asosan erkin elektronlarni o'tkazgichdagi yugurish yo'lini o'rtacha uzunligiga bog'liq. Issiqlik tezligi o'tkazuvchi materialning strukturasi bilan aniqlanadi. Masalan, kristall panjarasi eng tartibga keltirilgan toza metallar uchun solishtirma qarshiligi kichik, panjarada defektlarni bo'lishi va aralashmalar mavjudligi ρ ni oshishiga olib keladi. Shunday qilib, o'tkazgichlarni solishtirma qarshiligi $\rho = \rho_{\text{TEПИ}} + \rho_{\text{OCT}}$, bu yerda $\rho_{\text{TEПИ}}$ – asosan panjarani issiqlik tebranishlariga asoslangan solishtirma qarshilik, ρ_{OCT} – kristall panjarada defektlar mavjudligi bilan bog'liq solishtirma qarshilik.

Metallar uchun harakterli bo'lgan solishtirma qarshilikni haroratga bog'liqligi 22 - rasmda keltirilgan.

Debay haroratidan Θ yuqoriroq haroratlarda u metallar uchun $400\text{...}800^\circ\text{C}$ ga teng solishtirma qarshilik chiziqli ortadi va u asosan panjarani issiqlik tebranishlarini oshishiga bog'liq. Past haroratlar sohasida (kriogen) solishtirma qarshilik deyarli haroratga bog'liq bo'lmaydi, faqat ρ_{OCT} bilan aniqlanadi.



22 – rasm. Metallar uchun solishtirma qarshilikni haroratga bog'liqligi

Metall o'tkazgichlarni solishtirma qarshiligini haroratga bog'liq o'zgarishini solishtirma qarshilikni harorat koeffitsiyenti deb ifodalash qabul qilingan, TK ρ yoki α_ρ (K^{-1}). Agar harorat tor chegarada o'zgarsa, bunda solishtirma qarshilikni o'rtacha harorat koeffitsiyentidan foydalaniladi

$$\alpha_\rho = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_0(T_1 - T_0)} \quad (41)$$

bunda ρ_0 – boshlang'ich harorat deb qabul qilingan T_0 haroratdagi solishtirma qarshilik; $\rho_1 - T_1$ haroratdagi solishtirma qarshilik. Metallar uchun α_ρ $4 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ ni, qotishmalar uchun esa ancha kam – $10^{-4} \dots 10^{-6} K^{-1}$ ni tashkil qiladi.

Yuqori o'tkazuvchanlikka ega metallar va qotishmalar yetarli darajada mustahkamlik, plastiklik, korroziyaga chidamlilik, yaxshi qalaylanadi va payvandlanishga ega bo'lishi kerak. Amalda kimyoviy toza metallardan: mis, allyuminiy va kumush ega.

Mis (Cu) bir qator qadrli texnik xossalarga ega: kichik solishtirma qarshilik, yetarli yuqori mexanik mustahkamlikka, qoniqtiruvchi karroziya chidamlilikka ega; ishlov berishga yaxshi (varaqlarga, lentalarga oson prokatlanadi va simga cho'ziladi); qalaylanish va payvandlanish xususiyati yaxshi. Eng kichik solishtirma qarshilikka ximiyaviy toza mis ega (kislorodsiz M00₆ solishtirma qarshiligi 0,017 mkOm·m; vakuumda tozalangan misni elektrolitik qayta eritish bilan yoki katoddagi misni kukun metallurgiyasi usuli bilan olinadi). Misni mexanik va elektr harakteristikalari uni holatiga sezilarli bog'liq. Masalan, MT markali qattiq

cho'zilgan mis kam o'tkazuvchanlikka va nisbiy cho'zilishiga ega, ammo MM markali kuydirilgan misga nisbatan katta mexanik mustahkamlikka ega.

Katta mustahkamlikka ega bo'lgan maxsulotlar uchun kadmiyli va berilliyli latun va bronzadan foydalaniladi.

Alyuminiy (Al) havoda oson oksidlanadi, bunda mustahkam oksid plenksi bilan qoplanadi va u metallni keyinchalik oksidlanishidan himoyalaydi, bu uning yuqori korroziyaga mustahkamligini ta'minlaydi. Simli alyuminiyning solishtirma elektr qarshiligi 0,028 mkOm·m dan oshmasligi va yuqori plastiklikka ega bo'lishi kerak.

Kumush (Ag) minimal solishtirma elektr qarshiligiga ega 0,016 mkOm·m; uncha yuqori bo'lmagan mustahkamlik, ammo yaxshi plastiklikka ega. Boshqa qimmatbaho metallarga (oltin, plastina) nisbatan kumush pasaytirilgan ximiyaviy chidamlilik, metall asosga u bilan qoplangan diffuziyalanish an'alariga ega.

Qalaylar (Sn) – qotishmalarni metallar bilan qalaylashda foydalaniladi. Yuqori o'tkazuvchanlikdan tashqari ular uncha katta bo'lmagan o'tish qarshiligiga (kontakt qarshiligi) ega bo'lishi kerak. Qalaylarni ikki turini farqlashadi: past haroratli qalaylashtirish, bunda qalaylashtirish harorati 400° gacha erish haroratiga ega va yuqori haroratli qalaylashtirish. Qalaylash erish harorati metallni eritish haroratidan pastroq bo'lishi kerak, qalaylashtirishga uchraydigan, qalay sirtini yaxshi xo'llashi kerak, metallni chiziqli kengayishini harorat koeffitsiyenti va qalayniki yaxshi bo'lishi kerak. Qalaylashtirishda qalay asosidagi qo'rg'oshin, rux, kumushdan (bu qotishmalar evtektik aralashmalarni hosil qiladi) yaxshi o'tkazuvchanlik va qarshilikka ega, ular qotishmalarni hosil qiluvchi metallarnikidan oz farq qiladi. Past haroratli qalaylashtirish uchun qalay-qo'rg'oshinli va qalay-ruxli qalaylashtirgichdan foydalaniladi: ПОС 61 (61% qalay, evtektik qotishma erish harorati 183°), ПОЦ-90 (90% qalay, evtektik qotishma, erish harorati 199°). 100° dan past haroratlarda vismutni qo'rg'oshin, kadmiy va qalay qotishmalaridan (yuqori mustahkamlikni ta'minlamaydi, vismutli qotishmalar mo'rt bo'ladi) foydalaniladi. Yuqori haroratli sifatida mis, mis-rux, mis-fosfor li qalaylashtirgichda (ПМЦ-36, 36% mis). Kumushni

qalaylashtirgichlar juda texnologik ular yaxshi eriydi, yumshaydi, mexanik xususiyatlari yuqori erish harorati 779 dan 920° gacha (mis bilan kumush).

Kontakt materiallari ajraluvchi, sirg'anuvchi va qo'zg'almaslarga bo'linadi.

Qo'zg'almas kontaktlarga butun metalli (payvandlangan va qalaylashtirilgan) zajimli (boltli, vintli) ulanishlar kiradi. Butun metalli ulanishlar faqat mexanik mustahkamligi bilan emas, ular stabil elektr kontaktini kichik o'tish qarshiligi bilan farq qilishi kerak. Zajimli kontaktning sifati asosan kontaktli bosish va materiallarni plastik deformatsiyasi xususiyati bilan aniqlanadi. Shunga bog'liq ravishda bunday kontaktlarni sirtini yumshoq korroziyaga chidamli metallar (qalay (Sn), kumush (Ag), kadmiy (Cd) va boshqalar) bilan qoplash kerak.

Ajratuvchi kontaktlar elektr zanjirlarini davriy ulanishi va uzilishini ta'minlashadi. Ularni funksiyasini javobgarroqligini oldindan ularga kattaroq talablarni qo'yadi: korroziyaga nisbatan chidamlilikni; payvandlanishga va elektr eroziyasi ta'siriga mustahkamlikni; olinadigan va zarbali iste'molchilar ta'siriga chidamlilikni, yuqori o'tkazuvchanlik va issiq fizik xususiyatlar.

Kuchsiz tokli ajratuvchi kontaktlar uchun kontakt materiallar sifatida toza qiyin eriydigan metallardan (volfram (W), molibdendan (Mo)) tashqari qimmat metallardan ham (platina (Pt), oltin (Au), kumush (Ag)) foydalaniladi, shuningdek, ular asosidagi turli xil qotishmalar (oltin-kumush, platina-ruteniy, platina-rodiy), metallokeramik kompozitsiyalardan (masalan, Ag–CdO) foydalaniladi.

Kuchli tokli ajratuvchi kontaktlar qoidaga ko'ra metallokeramik materiallardan tayyorlanadi, ular kukunli metallurgiya usuli yordamida olinadi. Ular mis va kumush asosidagi kompozitsiyalarni o'z ichiga oladi: kumush-kadmiy oksidi, kumush-mis oksidi, mis-grafit, kumush-nikel, kumush-grafit.

Sirpanuvchi kontaktlar qo'shimchasiga yuqori yuvuvchi iste'molchilarga chidamliligi bilan farq qiladi. Kontakt juftliklarini tashkil etishini metall grafik tarkibli materiallardan tashkil qiladigan eng yuqori sifatlarga ega bo'ladi. Ular past ishqalanish koeffitsiyentidan tashqari, grafit va uning asosidagi materiallar yoy hosil qiluvchi kuchlanishni kattaligi bilan farq qiladi, shuning uchun kontaktlarni uchqunlanishdan yedirilishi katta emas.

Sirpanuvchi kontaktlar uchun o'tkazuvchan bronza va latunlar ishlatiladi, ular yuqori mexanik chidamlilikka, sidirib yuboruvchi iste'molchilarga chidamliligi, elastikligi, antifriksion xususiyatlarga va atmosferadagi korroziyaga chidamli. Kollektor plastinalarini tayyorlash uchun qo'shimcha qattiq mis ishlatiladi, shuningdek, kumush bilan legirlangan misdan va boshqa materiallardan foydalaniladi.

Metallokeramikada kukunlardan tayyorlangan kontaktlar uchun tayyorlangan maxsulotga kumush shimdirilgan yoki volframdan g'ovakli karkaslar oldiniga presslangan misdan yoki volfram-nikel qotishmasidan tayyorlanadi.

Katta solishtirma qarshilikka ega materiallarga qotishmalar kiradi, ular normal sharoitlarda $0,3 \text{ m}\Omega\cdot\text{m}$ dan kam bo'lmagan solishtirma elektr qarshiligiga ega. Bu materiallar yetarlicha keng elektr o'lchov va elektr isitish asboblari, namunali qarshilik, reostatlarni va boshqalarni tayyorlashda foydalaniladi.

Elektr o'lchov asboblari, namunali qarshiliklarni va reostatlarni tayyorlashda, qoidaga ko'ra, vaqt bo'yicha yuqori solishtirma stabil qarshilikka va kichik qarshilikni harorat koeffitsiyentiga ega bo'lgan qotishmalar ishlatiladi. Bunday materiallar qatoriga manganin, konstantan, nixrom.

Manganin – bu mis-nikelli qotishma bo'lib, tarkibi o'rtacha 2,5... 3,5% nikeldan (kobalt bilan), 11,5... 13,5% marganets, 85,0... 89,0% misdan iborat. Marganets bilan legirlash, shuningdek, $400 \text{ }^\circ\text{C}$ haroratda maxsus termo ishlov berishni o'tkazish, manganinni solishtirma qarshiligini -100 dan $+100^\circ\text{C}$ gacha bo'lgan intervalda stabillash imkonini beradi. Manganin mis bilan juftlikda, juda kichik termo EYuK qiymatiga, vaqt bo'yicha yuqori stabil solishtirma qarshilikka ega bo'ladi, bu ulardan rezistorlarni va yuqori aniqlik sinfiga ega bo'lgan elektr o'lchov asboblari tayyorlashda ulardan keng foydalanish imkonini beradi.

Konstantan manganinga o'xshash komponentlarga ega, ammo ularda nisbat boshqacha bo'ladi: nikel (kobalt bilan) 39... 41%, marganets 1...2%, mis 56,1...59,1%. Uning solishtirma elektr qarshiligi haroratga bog'liq bo'lmaydi.

Nixromlar – temir asosidagi qotishma, markasiga bogʻliq ravishda 15...25% xrom, 55...78% nikel, 1,5% marganetsdan iborat. Ular asosan elektr isitish elementlarini tayyorlashda foydalaniladi, chunki ular yuqori haroratlarda havo muhitida yaxshi chidamlilikka ega, bu esa chiziqli kengayishni harorat koeffitsiyentlari bu qotishmalar va oksid plenklarining qiymatlari yaqinligi bilan izohlanadi.

Yuqori qarshiliklarga ega qotishmalar orasida, (nixromdan tashqari) turli elektr isitgich elementlarni taʼsirlashda keng ishlatiladiganlar orasida issiqlikka chidamli fexralni va xromalni qayd etish kerak. Ular Fe–Cr–Al tuzilishga kiradi va oʻzini tarkibida 0,7% marganets, 0,6% nikel, 12...15% xrom, 3,5...5,5% alyuminiy qolgani – temir larni mujassamlashtirgan. Bu qotishmalar yuqori haroratlarda, turli gazsimon muhitlarda, ularni sirtini ximiyaviy parchalanishlarga yuqori chidamlilikka egaligi bilan farq qiladi.

2.2. Metallar elektr oʻtkazuvchanligining haroratga bogʻliqligi

Kvant mexanikasi nuqtai nazaridan qaraganimizda, ideal kristall panjaradagi elektronlar hech qanday toʻsiqqa uchramasdan harakat qiladi, buning natijasida metallardagi elektr oʻtkazuvchanlik cheksiz katta boʻlishi kerak, lekin kristall panjara hech vaqt ideal sof boʻlmaydi, chunki panjarada doimo maʼlum darajada nuqsonlar (kirishma va vakansiya) boʻladi. Bu nuqsonlar elektronlarning sochilishiga olib keladi, yaʼni ularning tartibli harakatiga qarshilik koʻrsatadi. Bundan tashqari, $T > 0$ katta boʻlgan har bir holatda kT energiyaga ega boʻlib, oʻz muvozanat holati atrofida maʼlum chastota va amplituda bilan tebranadi – bu esa elektronning toʻgʻri chiziqli harakatiga taʼsir etadi. Undan tashqari, metallarda elektronlar konsentratsiyasi juda katta boʻlgani uchun ($n \approx 10^{22} \text{ cm}^{-3}$) ularning oʻzaro toʻqnashuvi tufayli panjaraning atomlari ham doimo muvozanat vaziyat atrofida tebranib (issiqlik tebranishi) turadi (13- rasm).

Bunday holat metallarda elektr qarshiligini vujudga keltiradi. Agar metall qancha toza va harorati qancha past boʻlsa, elektr qarshiligi shuncha kam boʻladi.

Metallarning solishtirma elektr qarshiligini

$$\rho = \rho_{\text{teb}} + \rho_{\text{kirishma}} + \rho_{\text{o'zaro to'qnashuv}} \quad (1.2)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin.

ρ_{teb} - panjaraning issiqlik tebranishi natijasida hosil bo'ladigan qarshiligi; ρ_{kirishma} - begona atomlarda elektronlarning sochilishi natijasida vujudga kelgan qarshilik.

Agar $T = 0$, K bo'lsa, $\rho_{\text{teb}} = 0$;

Metallning hajm birligida n dona erkin elektronlar bo'lsin. Bu elektronlarning o'rtacha tezligi $\langle \vec{V} \rangle$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\langle \vec{V} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vec{V}_i \quad (1.3)$$

Agar \vec{E} tashqi elektr maydoni yo'q bo'lsa, ya'ni $\vec{E} = 0$, $\langle \vec{V} \rangle = 0$ bo'ladi. Agar $\vec{E} \neq 0$, bo'lsa $\langle \vec{V} \rangle \neq 0$ bo'ladi va tok vujudga keladi. Elektroniga

$$\vec{F} = -e\vec{E} \quad (1.4)$$

elektr kuchi va

$$\vec{F}_{\text{karuu}} = -\Gamma \langle \vec{V} \rangle \quad (1.5)$$

qarshilik kuchi ta'sir qiladi.

Bunday holda elektronning kristalldagi harakat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$m^* \frac{d\langle \vec{V} \rangle}{dt} = -e\vec{E} - \Gamma \langle \vec{V} \rangle \quad (1.6)$$

bunda m^* - elektronning effektiv massasi $m^* = \frac{\hbar^2}{d^2 E / dK^2}$. Bu tenglamani echish bilan elektronlarning o'rtacha tezligini $\langle \vec{V} \rangle$ topish mumkin. Muvozanat vaziyati tiklangandan keyin, $\langle \vec{V} \rangle = \text{const}$ bo'ladi. Agar tashqi maydonni ($\vec{E} = 0$) yo'qotsak,

$\langle \vec{V} \rangle$ tezlik kamaya boshlaydi va elektronlar bilan panjara orasida muvozanat tiklangandan keyin $\langle \vec{V} \rangle = 0$ ga aylanadi. $\langle \vec{V} \rangle$ kamayish qonuniyati (5) tenglamadan kelib chiqadi, ya'ni $\vec{E} = 0$ da,

$$m^* \frac{d \langle \vec{V} \rangle}{dt} + r \langle \vec{V} \rangle = 0 \quad (1.7)$$

$$\frac{d \langle \vec{V} \rangle}{dt} + \frac{r}{m^*} \langle \vec{V} \rangle = 0 \quad \text{ni echib,}$$

$$\langle V(t) \rangle = \langle V(0) \rangle \exp\left(-\frac{r}{m^*} \cdot t\right) \quad (1.8)$$

ni topamiz. Bundan ko'rinadiki,

$$\tau = \frac{m^*}{r} \quad (1.9)$$

vaqtda $\langle \vec{V} \rangle$ tezlik e marta kamayadi.

τ - vaqtni relaksatsiya vaqti deyiladi va tezlikning e marta kamayishi uchun ketgan vaqtni ifodalaydi.

$$\vec{F}_{\text{карши}} = -\frac{m^*}{\tau} \langle \vec{V} \rangle \quad (1.10)$$

Muvozanat hol ro'y bergandan so'ng tashqi maydonni uzib elektronning $\langle \vec{V} \rangle$ tezligini (5) ning chap tomonini nolga tenglab topish mumkin,

$$-e\vec{E} - \frac{m^*}{\tau} \langle \vec{V} \rangle = 0$$

$$\langle \vec{V} \rangle = -\frac{e\tau}{m^*} \vec{E} \quad (1.11)$$

Bunday paytdagi tok zichligi

$$\vec{j} = -en \langle \vec{V} \rangle = -en - \frac{e\tau}{m^*} \vec{E} = \frac{ne^2\tau}{m^*} \vec{E} \quad (1.12)$$

Om qonunining differensial ko‘rinishi $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ ga asosan

$$\sigma = \frac{ne^2 \tau}{m^*} \quad (1.13)$$

koefitsient elektr o‘tkazuvchanlikni ifodalaydi.

Klassik mexanika nuqtai nazaridan

$$\sigma = \frac{ne^2 \tau'}{2m} \quad (1.14)$$

formuladagi $\tau' = \frac{\langle \lambda \rangle}{\langle V \rangle}$ - erkin yugurish vaqti.

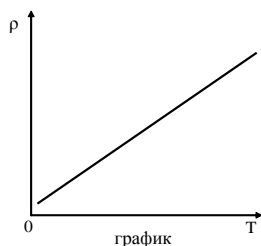
Formualalarni solishtirsak, τ ni $\tau'/2$ bilan mos kelishini ko‘ramiz.

Formuladagi σ tajriba natijasiga yaxshi mos keladi, chunki, $\sigma \approx 1/T$, klassik

elektron nazariya bo‘yicha esa $\sigma_{\text{klas}} \sim \frac{1}{\sqrt{T}}$ edi.

Klassik nuqtai nazardan \vec{E} elektr maydoni, barcha elektronlarni harakatga keltiradi.

Kvant mexanikasi nuqtai nazardan qaraganda elektr maydoni faqat Fermi sathi yaqinidagi elektronlarning harakatini o‘zgartira oladi xolos. Pastroq sathdagi (valent) elektronlarining harakatini o‘zgartirmaydi va ularni formulada xissasi bo‘lmaydi. Undan tashqari formulada m^* effektiv massa turibdi.



$$R = R_0(1 + \alpha T) \quad (1.15)$$

2.3. Nometall materiallarda elektr o‘tkazuvchanlik

Gazlarda elektr o'tkazuvchanlik

Gazlarda elektr toki erkin elektron yoki ionlar hisobiga sodir bo'ladi. Tashqi tasir orqali sodir bo'ladigan gaz elektr o'tkazuvchanligi mustaqil bo'lmagan elektr o'tkazuvchanlik deyiladi. Urilish ionizatsiyasi orqali ro'y beradigan elektr o'tkazuvchanlik mustaqil bo'lgan elektr o'tkazuvchanlik deyiladi. Ikkita yassi elektrod ionlashtirilgan gaz muhitiga kiritilib, ularga kuchlanish berilsa, ionlar harakatga kelib, zanjirdan tok o'tadi. Gaz volt-amper tavsifining bosh qismi Om qonuniga bo'ysunadi (1-rasm). Normal sharoitda ($t=20^{\circ}\text{C}$, $p=790$ mm.sim.ust.).

Havoda to'yingan tok zichligi juda kichik qiymatga to'g'ri kelgani uchun havo yaxshi dielektrik hisoblanadi. $U=U_i$ qiymatida gazda urilish ionlashishi sodir bo'ladi. Gazlarda mustaqil bo'lmagan elektr o'tkazuvchanlik tashqi ionizator, radioaktiv yoki kosmik, nurlar bartaraf etilgandagina to'xtaydi. Bunda zaryad tashuvchilar keskin kamayishi sababli gazdan o'tayotgan tok nolga intiladi.

2.4. Metall qotishmalari va birikmalari

Toza metallar past mustahkamlik va uncha yuqori bo'lmagan texnika xususiyatlarga ega. *Qotishma* deb, bir necha komponentlardan eritish yo'li bilan olinadigan materialga aytiladi. Qotishmalarni komponentlari metallar, metallmaslar va kimyoviy birikmalar bo'lishi mumkin. Qotishmalar komponentlarining soniga ko'ra ular ikkilangan, uchlangan bo'lishi va boshqalar bo'lishi mumkin. Fotokimyoviy o'zaro ta'sirlarda komponentlar fazalarni hosil qiladi, ularning soni va turi qotishma holatini ifodalaydi.

Faza – qotishmaning bir jinsli qismi, u ma'lum tarkib bilan ifodalanadi, kristall panjara turi va boshqa qismlardan sirt bilan ajratilgan. Fazalar soniga qotishmalar, bir, ikki va ko'p fazali bo'lishi mumkin. Suyuq holatda qotishma komponentlarini holati odatda cheklanmagan holda bir-biriga erib, suyuq eritmani hosil qiladi. Qattiq holatda komponentlar qattiq eritmalarning mexanik aralashma, ximiyaviy birikmalarni hosil qilishi mumkin.

Mexanik aralashma. Agar qotishma tarkibiga kiruvchi elementlar ularni suyuq holatida qotirilganda bir biri bilan erib ketmasa va o'zaro ta'sirlashmasa,

mexanik aralashma hosil bo'ladi (qalay - qo'rg'oshin, alyuminiy-mis). Mexanik aralashmalarda kristall panjaralarni ikkita turi mavjud.

Ximiyaviy birikmalar. Tuzulishiga ko'ra bu birikmalar bir jinsli qattiq jismlardan iborat bo'ladi, ularni xususiyatlari ularning hosil qiladigan elementlarnikidan farq qiladi, ular o'zgarmas erish haroratiga ega bo'ladi, ularni tarkibi stexiometrik proporsiyalarda oddiy formula ko'rinishiga A_mB_n ifodalanadi. Ximiyaviy birikmalarni ikki turini farqlashadi: metall – metall emas, metall – metall. *Metall – metall emas* ximiyaviy birikmalarga ion turdagi bog'lanishlarga ega bo'lgan fazalar kiritiladi: sulfidlar, oksidlar va gidridlarni kiritishadi. *Metall – metall* tizimiga elektron birikmalarni kiritishadi. Elektron birikmalar bir valentli metallardan hosil qilinadi (mis (Cu), kumush (Ag), litiy (Li)) yoki metallarni o'tish guruhlari (temir (Fe), marganets (Mn), kobalt (Co)) bir tomondan, 2 va 5 valentli metallar (alyuminiy (Al), berilliy (Be), magniy (Mg), rux (Zn)) ikkinchi tomondan. Elektron birikmalar o'zgaruvchi tartibli fazalar hisoblanadi. Bu turdagi birikmalar ma'lum elektron konsentratsiyaga ega bo'ladi, ya'ni atomlar soniga valent elektronlarining ma'lum nisbatini: $3/2$ – odatda (HMK) panjaraga, ularga CuZn, CuBe, Cu₃Al kiradi; $21/13$ – murakkab kubsimon panjaraga ega Cu₅Zn₈, Co₅Zn₂₁, Fe₅Zn₂₁; $7/4$ – geksagonal panjarali CuZn₃, Cu₃Sn₂, Cu₃Si. Elektron birikmalar misli qotishmalar uchun xarakterli (latun, bronza).

Qattiq eritmalar. Ularni komponentlaridan biri (erituvchi) o'zining kristall panjara holatini saqlaydi, boshqa atomlarning komponentlari esa (eruvchi) ularning panjaralarida joylashib, ularni buzadi. Bunday eritmalar ikki turda bo'ladi: o'rnini bosuvchi va kiritilgan bo'ladi. O'rnini bosuvchi qattiq eritmalar ancha tartibga keltirilgan strukturaga ega bo'ladi va ular o'zining xossalari ko'ra ximiyaviy birikmalarga yaqin bo'ladi; cheklanmagan eruvchan bo'la oladi. Qattiq eritmalarga erituvchanlikni kiritish cheklangan.

Gibbs faza qoidasi. Muvozanatli fazalarni mavjud bo'lish qobiliyati muvozanatli sharoitlarda Gibbs qoidasi bilan aniqlanadi. Fazalar qoidasi fazalar soni orasida Φ miqdoriy bog'liqlikni o'rnatayotib, komponentlar miqdoriga K va erkinlik doirasiga C ko'ra jarayonlarni oldindan aytish imkoniyatini beradi.

Qizdirish va sovutish vaqtida qotishmalarda va berilgan sharoitda fazalar sonini aniqlaydi. Fazalar qoidasi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi: $C = K + P - \Phi$.

Erkinlik darajasi soni sifatida yoki variantlar tizimi sifatida tashqi P va ichki faktorlar soni tushuniladi, ularni muvozanat holatida bo'lgan fazalar sonini o'zgartirmasdan o'zgartirish mumkin. Metall qotishmalarni tashqi faktori bo'lib, faqat harorat hisoblanadi, shuning uchun fazalar qoidasi: $C = K + I - \Phi$.

Variantlilik manfiy bo'la olmaydi, shuning uchun metall qotishmalarga muvozanat uchun ularni strukturalarida komponentlar sonidan fazalar soni 1 ga oshib ketmasligi kerak.

Toza metallni kristallanishida qachonki ikkita (suyuq va qattiq) faza bo'lganda erkinlik darajasi soni 0 ga teng, ya'ni erkinlik invariant va ikkala faza qat'iy ma'lum haroratda ikkala faza ham muvozanatda bo'ladi. Toza metall suyuq holatda erkinlik darajasini 1 ga ega bo'ladi (invariant tizim), ya'ni fazalar sonini o'zgarmaganda haroratni ma'lum chegaralarida o'zgarish imkoniyatiga ega bo'ladi.

Fazalar qoidasidan kelib chiqadiki, ikkilik tizimlarida bir vaqtda mavjud bo'ladigan fazalar soni 3 tadan oshiq bo'lmaydi. Qotishmaning katta miqdorida u muvozanat holatda bo'la olmaydi.

III. BOB

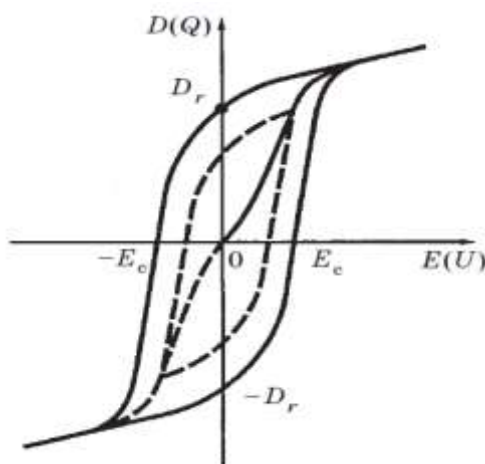
DIELEKTRIK MATERIALLAR VA ULARNING XOSSALARI

3.1. Dielektrik materiallarning turlari

Faol dielektriklar

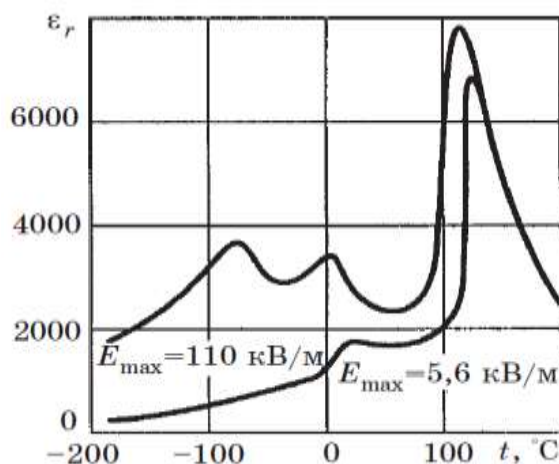
Dielektriklar, ularni xossalari tashqi energetik ta'sir yordamida boshqarish mumkin bo'lsa va ulardan elektronikani funksional elementlarini yaratish uchun bu ta'sirlardan foydalanilsa, ular dielektriklarni faol guruhiga kiradi: segneto-, pyezo- va piroelektriklar; elektro-, magneto- va akustooptik materiallar; dielektrik chiziqli bo'lmagan optic xossaga ega bo'lgan kristallar.

Segnetoelektriklar – spontan qutblanishga ega moddalar, ularni yo'nalishi tashqi elektr maydoni ta'sirida o'zgarishi mumkin. Segnetoelektriklar bir qator spetsifik xossalarga ega va u ma'lum harorat diapazonidagina namoyon bo'ladi. Harorat T_k (segnetoelektrik Kyuri nuqtasi) faza o'tish harorati hisoblanadi, undan pastida segnetoelektrik domen strukturasi ega va segnetoelektrikka xos xususiyatlarga ega. T_k dan yuqori haroratlarda domen strukturasi parchalanishi yuz beradi va dielektrik paraelektrik holatga o'tadi. Segnetoelektriklarni domen strukturasi bog'liqligi oqibatida ularni elektr induksiyasini elektr maydon kuchlanganligiga bog'liqligi chiziqli bo'lmaydi (35 - rasm) va u *dielektrikni gisterezis sirtmog'i* nomiga ega bo'ladi.



35 – rasm. Dielektrikni gisterezis sirtmog'i

36 - rasmda bariy titanatini dielektrik singdiruvchanligini elektr maydonini turli kuchlanganligida haroratga bog'liqligi keltirilgan.



36 – rasm. Bariy titanatini dielektrik singdiruvchanligini elektr maydonini turli kuchlanganligida haroratga bog'liqligi

Segnetoelektriklarni ximiyaviy bog'lanishi va fizik xususiyatiga ko'ra ikkita guruhga bo'lish qabul qilingan: ionli kristallar ularga bariy titanati $BaTiO_3$, qo'rg'oshin titanati $PbTiO_3$, kaliy niobati, $KNbO_3$ bariy-natriy niobati $BaNb_5O_{15}$ va boshqalar kiradi; dipolli kristallar ularga signet tuzi $NaKC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$, tringlitsinsulfat $(NH_2CH_2COOH)_3 - H_2SO_4$, kaliy digidrofosfati KH_2PO_4 va boshqalar kiradi.

Birinchi guruh birikmalarini barchasi suvda erimaydi, katta mexanik mustahkamlikka ega, keramik texnologiya bo'yicha oson olinadi. Dipolli birikmalar aksincha, kichik mexanik mustahkamlikka va suvda eruvchanlikka ega, shuni hisobiga bu birikmlarni suvdagi eritmalaridan yirik kristallar o'stiriladi.

Segnetoelektriklar solishtirma sig'imi kata bo'lgan kichik o'lchamli past chastotali kondensatorlarni tayyorlashda qo'llaniladi; qutblanishi katta chiziqli bo'lmagan materiallardan dielektrik kuchaytirgichlar, modulyatorlar va boshqa boshqariladigan qurilmalarida foydalaniladi; hisoblash qurilmalarida xotira uyachalarini, lazer nurlanishini o'zgartiri va modulyatsiya uchun, pyezo va piroelektrik o'zgartirgichlarida.

Kondensatorli segneto keramikalar ichidan ajratish mumkin, masalan, T-900 uning kristall fazasi stronsiy titanati SrTiO_3 va vismut $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Kyuri harorati $T_K = -140^\circ\text{C}$ bo'lgan qattiq eritmadan iborat. Bu material dielektrik singdiruvchanlikni haroratdan "silliqlangan" bog'liqligiga ega. Past kuchlanishlarda ishlaydigan kichik o'lchamli kondensatorlarni ishlab chiqarish uchun CM-1 materialidan ham foydalaniladi. U bariy titanati tayyorlangan bo'lib, unga sirkoniy va vismut oksidlari qo'shilgan. Kondensatorlarni tayyorlash uchun xona haroratida ishlaydigan shu bilan bir qatorda yuqori voltli T-8000 ($\epsilon_r = 8000$) materialdan foydalaniladi u kristallik fazasiga ega edi $\text{BaTiO}_3\text{--BaZrO}_3$ asosidagi. Bu materialni Kyuri nuqtasi xona haroratiga yaqin.

Chiziqli bo'lmagan kondensatorlarni tayyorlash uchun boshqa segnetoelektrik materiallardan foydalaniladi, ular keskin ko'ringan chiziqli emaslik xossalariga ega – dielektrik singdiruvchanlikni elektr maydon kuchlanganligiga kuchli bog'liqligiga. Bunday materiallar *varikond* deyiladi. Varikondlar elektr zanjirlarini parametrlarini sig'imini o'zgartirish bilan bog'langan holda boshqarishga mo'ljallangan. Segnetoelektriklardan shakli tog'ri burchakliga yaqin bo'lgan gisterezis sirtmog'idan foydalaniladi. Masalan, bunday triglitsinsulfat (TGS)lardan EHM ni xotira qurilmalarida foydalanishi mumkin.

Ba'zi segnetoelektriklarni va antisegetoelektriklarni kristallari kuchli ifodalangan elektrooptik effektga ega (antisegetoelektriklar segnetoelektriklar kabi domenli qurilishga ega, ammo har bir domenli spontan qutblanganligi ularda nolga teng, chunki har bir domen ichidagi dipol momentlari antiparallel yo'naltirilgan). Elektrooptik effect muhitni sindirish ko'rsatkichini o'zgarishi tashqi o'zgarmas elektr maydonini mavjudligi sababli o'zgarishidan iborat. U *chiziqli* deyiladi (effekt Pokkels), agar sindirish ko'rsatkichi kuchlanganlikni birinchi darajasiga proporsional o'zgaradi va kvadratik deyiladi, agar maydon kuchlanganligiga (Kerr effekti) kvadratli bog'lanish kuzatilsa. Segnetoelektrik kristallarni elektrooptik xossalaridan lazer nurlanishini modullash uchun elektr maydoni tomonidan kristallga qo'yilgani bilan amalga oshirilganda foydalaniladi. Yorug'likni elektrooptik modulyatorlari uchun litiy niobati LiNbO_3 , kaliy

digidrofosfatidan KH_2PO_4 , STSL markali tiniq segnetokeramik tizimdan foydalaniladi. U qo'rg'oshinni sirkoniy titanatini lantan oksididan iborat qattiq eritma hisoblanadi.

Segnetoelektrik keramikani BaTiO_3 va legirlashda $\text{Ba}(\text{Ti}, \text{Sn})\text{O}_3$ va $(\text{Ba}, \text{Pb})\text{TiO}_3$ neodim va marganetsni qattiq eritmalaridan materiallar olinadi, ular o'z xossalriga ko'ra segneto Yarim o'tkazgichlarga kiradi. Bunday materiallarda legirlash sababli donorli va akseptorli satxlar paydo bo'ladi va o'tkazuvchanlik milliardlab marta Yarim o'tkazgichlarga xos qiymatlargacha qaytariladi. Ammo yuqori o'tkazuvchanlik Kyuri nuqtasidan past bo'lgan haroratlardagi qutbiy fazada mavjud. Kyuri nuqtasi yaqinida o'tkazuvchanlik keskin kamayadi ($10^2 \dots 10^6$ marta) faqat Kyuri nuqtasidan yuqoriroqda yana orta boradi harorat ortishi bilan. Bunday effekt *pozistorli* deyiladi. Keramik elementlar – pozistorlar past “sovuq” va yuqori “qaynoq” qarshiliklarga ega, ular issiqlik nazorat tizimida, o'lchov texnikasida, dvigatellarni ishga tushirish tizimlarida avtosozlash va boshqa qurilmalarda ishlatiladi.

Pyezoelektriklar – pyezoelektrik effekti kuchli ifodalangan dielektriklar. To'g'ri pyezoelektrik effekt deb, dielektrikni mexanik kuchlanish ta'sirida qutblanishga aytiladi. Teskari pyezoelektrik effektda dielektrik o'lchamlarini qo'yilgan elektr maydoni ta'sirida o'zgarishiga aytiladi. Pyezoelektriklar orasida muhim o'rinni monokristalli kvars egallaydi, uni plastinalaridan yuqori xarakteristikaga ega bo'lgan kristallografik oriyentatsiyaga ega bo'lgan kichik $\text{tg}\delta$ yuqori mexanik asllikka (ya'ni, kichik mexanik yo'qotishlarga) ega plasinalar qirqib olinadi. Mexanik asllik ($\text{tg}\delta$ ga teskari kattalik) kvars resohatorlarida $10^6 \dots 10^7$ ga yetishi mumkin.

Kvarsdan tashqari turli pyezoo'zgartgichlarda litiy sulfati, signet tuzi, litiyni niobati va tantalati kristallaridan foydalaniladi. Pyezoo'zgartirgichlarni tayyorlashda pyezoelektrik keramikadan foydalaniladi va u asosan qo'rg'oshinni sirkonat – titanatidan iborat qattiq eritmalaridan $\text{PbZrO}_3\text{--PbTiO}_3$ (STS)lardan olinadi.

Pyezokeramikani monokristallardan afzalligi – murakkab shakldagi va xoxlagan o'lchamdagi faol elementlarni tayyorlash imkoniyatini mavjudligi. Pyezokeramika kichik o'lchamli mikrofonlar, telefonlar, detonatorlar, bosim, deformatsiya, tezlanish, vibratsiya datchiklarida, pyezokeramik filtrlar, kechiktirish liniyalari, pyezotransformatorlarda va boshqalarni tayyorlashda ishlatiladi.

1960 yillarni oxiri va 1970 yillarni boshida yuqori effektivli polimer pyezoelektriklar xususan, polivinilidenftorid (PVDF), raqobatbardosh pyezokeramikali maxsulotlar yaratildilar. PVDF dan pyezoplyonka va kompozitlar, uni asosidagi kontaktsiz uzib-ulagichlarda, kalkulyatorlarni klaviaturasida, EHMLarda, nomerlanlovchili telefonlarda qo'llanishga erishmoqda. PVDFni pyezoxossalarini stabilligi STS keramikasi bilan tenglashtirsa bo'ladi. STS kompozitlarini asosiy parametrlari 1% ga yiliga kamayadi 10 mobaynida, u PVDFlarda 4% ga kamayadi 10 yilda.

Faol pyezoelektriklarga *piroelektriklar* kiradi, ya'ni piroelektrik effektga ega bo'lgan dielektriklar. Piroelektrik effekt dielektriklarni spontan qutblanishini haroratga bog'liq o'zgarishidan iborat. Chiziqli piroelektriklarga turmalin va litiy sulfati kiradi. Piroelektriklar spontan qutblanadi, segnetoelektriklardan farqli ravishda ularni qutblanish yo'nalishini tashqi elektr maydoni ta'sirida o'zgartirib bo'lmaydi. O'zgarmas haroratda piroelektrikni spontan qutblanishi qarama-qarshi ishorali erkin zaryadlar bilan kompensirlangan bunda atrof muhit atmosferasidagi zaryadlangan zarralarni adsorbsiyasi va elektr o'tkazuvchanlik jarayoni hisobiga. Harorat o'zgarishi bilan spontan qutblanishi o'zgaradi, bu piroelektrik sirtida ba'zi zaryadlarni ozod bo'lishiga olib keladi, buning oqibatida yopiq zanjirda elektr toki hosil bo'ladi. Piroeffektidan issiqlik datchiklarini, nurli energiya qabul qilgichlarini yaratishda foydalaniladi, ular infraqizil va SVCH-nurlanishlarini qayd qilish uchun mo'ljallangan bo'ladi.

Ba'zi segnetoelektrik kristallar kuchli piroeffektga ega bo'ladi, ularni qatoriga bariy-stronsiy niobati, triglitsinsulfat (TGS), litiy niobati va tantalati kiradi. Piroelektrik effekt qutblanganda namoyon bo'ladi, ya'ni segnetokeramikada

doimiy elektr maydoni ta'sirida va ba'zi polimerlarda, masalan, ftoridlarni qutblangan polivinildenftoridda, polivinilidenxloridda.

Qattiq dielektriklar optik kvant generatorlari uchun (lazerlar) faol muhit hisoblanadi, ular *kristallik* yoki *shishasimon* matritsasidan iborat bo'ladi, ularda faol ionlar (faollashtirgichlar) bir tekis taqsimlangan. Yorug'likni yutilish va nurlash jarayoni faol ionlar satxlari orasida elektronlarni o'tishi bilan bog'langan shunda matrisa faol rol o'ynaydi. Lazerni nurlanish spektri faol ion turiga asosan bog'liq bo'ladi.

Qattiq jinsli lazerlarda rubin matritsali rubin $\text{Al}_2\text{O}_3+0,05\%\text{Cr}_2\text{O}_3$, faollashtirgich $-\text{Cr}^{3+}$, u nurlanish to'lqin uzunligini aniqlaydi 0,7 mkm, lazerlarda ittriy-alyuminiyli granat matritsa bo'lib $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ hisoblanadi, faol ionlar Nd^{3+} , nurlanish to'lqin uzunligi 1,6 mkm.

3.2. Dielektrik materiallarning asosiy xossalari

Dielektriklar deb shunday moddalarga aytiladiki, ularni asosiy elektr xususiyati bo'lib elektr maydonida qutblanishi hisoblanadi. Taxminan, suyuq va qattiq dielektrlarda elektr zaryadi atomlar, molekulalar yoki ionlar bilan elektr maydonida siljiy oladi. Shu vaqtda musbat va manfiy zaryadlarni markazlarini ajralishi, ya'ni *qutblanishi* sodir bo'ladi. Dielektriklar tarkibida erkin elektronlar ham bo'ladi va ular elektr maydonida siljib elektr o'tkazuvchanlikni hosil qiladi. Ammo, ularni miqdori dielektrikda kichik, shuning uchun tok ham kichik.

Izolyatsiyalovchi materiallar sifatida ishlatiladigan dielektriklar *passiv* deyiladi. *Aktiv* dielektriklar ham mavjud ularni parametrlarini boshqarish mumkin elektr maydon kuchlanganligi, harorat va mexanik kuchlanishni o'zgartirib.

Ximiyaviy tarkibiga ko'ra ularni organiklarga bunda ular uglerod va vodorodni, azotni, kislorodni va boshqa elementlarni birikmalaridan iborat bo'ladi, element organiklarga ularda molekulalar kremniy, magniy, alyuminiy, titan va boshqa elementlar atomlari tarkibiga kiradi; organik bo'lmaganlarga o'zini tarkibida uglerodga ega bo'lmaganlarga ajratiladi.

Dielektriklarni texnik qo'llanilishini aniqlaydigan turli tuman xossalardan asosiylari bo'lib: elektr o'tkazuvchanlik, qutblanish, dielektrik yo'qotishlar, elektr mustaxkamligi va elektr eskirishi hisoblanadi.

Dielektriklarni elektr o'tkazuvchanligi. Foydalanilayotgan dielektriklar o'zining hajmida uncha kata bo'lmagan erkin zaryadlarga ega bo'ladi va ular elektr maydon ta'sirida ko'chib yuradi, ular ionlar (musbat va manfiy) elektronlar va elektronni vakansiyalari (kovaklar) polyaronlar bo'lishi mumkin. Dielektriklardagi taqiqlangan sohani kengligi 3...7 eV, o'tkazuvchanlik sohasini o'tishga yetarli energiyani elektronlar dielektrikni qizdirilishi yoki ionlantiruvchi nurlanish ta'sirida olishi mumkin. Kuchli maydonlarda zaryadlarni dielektriklardagi metal elektrodlardan injeksiyasi (elektron va kovaklarni) bo'lishi mumkin, erkin zaryadlar (ion va elektron) hosil bo'lishi mumkin zarbali ionlashish oqibatida, qachonki erkin zaryadlarni energiyasi atomlarni to'qnashuvlarda ionlashishi uchun yetarli bo'ladi.

Qattiq dielektriklar uchun ionli elektr o'tkazuvchanlik xarakterli hisoblanadi. Qizdirish yoki yoritishida, radiatsiya ta'sirida, kuchli elektr maydon ta'sirida avvaliga bunday dielektriklardagi defektlar va aralashmalar ionlashadi. Shu yo'l bilan hosil qilingan ionlar past haroratli dielektriklardagi elektr o'tkazuvchanlik sohasini aniqlaydi.

Kattaroq intensiv ta'sirlarda dielektrikda materialni asosiy zarrachalari ionlashadi. Shu vaqtda solishtirma o'tkazuvchanlik harorat ortishi bilan kata tezlik bilan sodir bo'ladi asosiy zarralarni ionlashuvi vaqtida paydo bo'ladigan ionlarni soni defektlar va aralashmalardagi ionlashuvidan kata bo'ladi. Asosiy zarralarni faollashtirish energiyasi katta bo'ladi, elektr o'tkazuvchanlikni bu sohasi yuqori haroratli xususiy deyiladi.

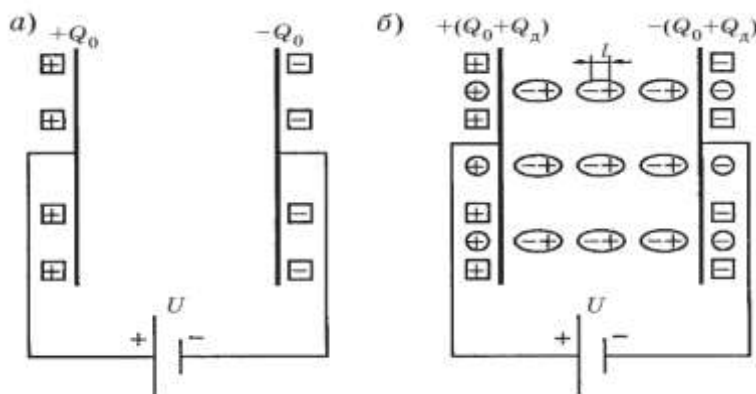
Dielektriklardagi sirt elektr o'tkazuvchanligi material sirtini ifloslantiruvchi komponentlarni adsorblash xususiyati bilan aniqlanadi. Xususan namlikni atrof muhitda mavjud atmosferada. Qutblanuvchi dielektriklar yaxshi namlanadi va ular gidrofillar deyiladi, gidrofoblarga nisbatan qaysiki ular suv bilan xo'llanmaydi.

Gidrofoblar bo'lib qutblanmaydigan dielektriklar hisoblanadi. Ularni sirtidagi namlikni yuqa qatlami sirt qarshiligini kamaytiradi.

Dielektrik singdiruvchanlik va qutblanganlik. 28 - rasmda ikkita yassi kondensator tasvirlangan, ulardagi elektrodlar yuzasi S ular orasidagi masofa h . Kondensatorda (28, a - rasm) elektrodlar orasida vakuum, kondensatorda (28, b - rasm) – dielektrik. Agar elektrodlarda elektr kuchlanishi bo'lsa U , bunda elektr maydon kuchlanganligi $E = U / h$. Vakuumli kondensator yig'ilgan elektr zaryadi erkin zaryad Q_0 deb ataladi (28- a rasmdagi kvadratlar).

Elektr maydonida zarrachalar, ulardan dielektrik qurilgan bog'langan musbat va manfiy zaryadlar aralashib ketadi. Natijada elektr momenti bo'lgan dipolar hosil bo'ladi: $m = ql$, bu yerda, q – musbat (unga son jihatdan teng bo'lgan manfiy) zarracha zaryadi, Kl; l – zaryadlar markazlari orasidagi masofa, dipol yelkasi, m.

Qutblangan zaryadlarni kompensatsiyalash uchun elektr kuchlanishi manbaida qo'shimcha bog'langan zaryadi Q_n yaratiladi. Dielektrigi bo'lgan kondensatordagi to'liq zaryad yig'indisi: $Q = Q_0 + Q_n = \epsilon_r Q_0$, bunda ϵ_r – nisbiy dielektrik singdiruvchanlik.



28 – rasm. Yassi kondensator

Vakuumi bo'lgan kondensatorni elektrodleri orasidagi elektr sig'imi:

$$C_0 = Q_0 / U \quad (55)$$

Bu kondensatorni sig'imi dielektrikni elektrodleri orasidagi:

$$C = Q / U \quad (56)$$

Ushbu formulalardan kelib chiqadiki, $\epsilon_r = C/C_0$ – dielektrigi bo'lgan kondensatorni shu kondensatorni sig'imga nisbati bu yerda elektrodlar orasida vakuum mavjud.

Yassi kondensator sig'imi: $C = \epsilon_0 \epsilon_r S/h$, bunda $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m – elektr doimiysi. $\epsilon_0 \epsilon_r = \epsilon$ ko'paytmasi absolyut dielektrik singdiruvchanlik deyiladi.

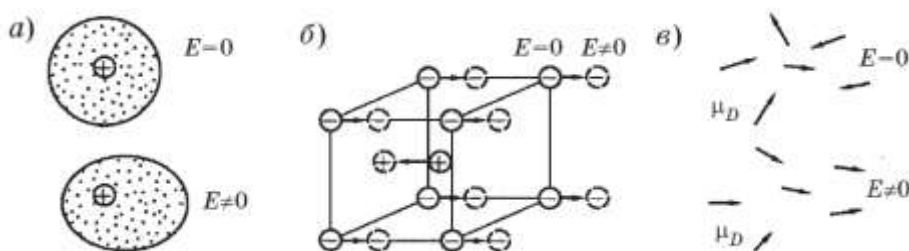
Dielektrikni qutblangan holati, shuningdek, hajm birligi ichidagi elektr momenti bilan ham ifodalanadi, qutblanganlik P (Kl/m²), u dielektrik singdiruvchanlik bilan ham bog'langan $P = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1)E$ – qutblanganlik vektor kattalik hisoblanadi.

Dielektriklarning qutblanishi

Elastik (tez, relaksatsiyalanmaydigan) va elastik bo'lmagan (sekin, relaksatsion) qutblanishga farqlash qabul qilingan. Elastik qutblanish bir onda t vaqt ichida tugaydi u qutilgan kuchlanishni yarim davridan ancha kichik. Shuning uchun tez qutblanadigan jarayon dielektrikda faqat reaktiv tokni hosil qiladi. Bunday tez qutblanishga elektron ($10^{-16} \dots 10^{-13}$ s vaqtda tugaydigan) va elastik ionli ($10^{-14} \dots 10^{-13}$ s da tugaydigan) lar kiradi.

Elektron qutblanish. Elektr maydonidagi atomlar, ionlar yoki molekularlar electron qobiqlar deformatsiyalanadi. Elektronlarni siljishi o'z atom va molekulari chegarasida qisqa masofalarda (10^{-13} m) sodir bo'ladi. Bunday qutblanish barcha atom va molekularlarda ularni agregat holatlari va ularda qutblanishi boshqa turlarini mavjudligiga qaramay mustaqil sodir bo'ladi.

29 a - rasmda vodorod atomini elektron qobig'ida elektr maydonida sodir bo'ladigan deformatsiya sxematik tasvirlangan.

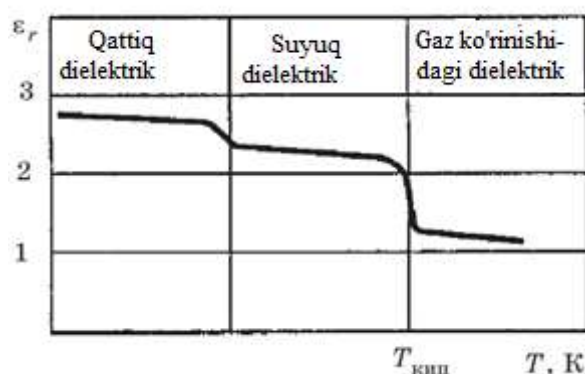


29 – rasm. Vodorod atomini elektron qobig'ida, elektr maydonida sodir bo'ladigan deformatsiya sxemasi

Dielektriklar ularda o'ringa ega faqat elektron ionlashuv va ular qutblanmaydigan dielektriklar deyiladi. Qutblanmaydigan dielektrikning molekulalarida musbat va manfiy zaryadlarni markazlari mos keladi, shuning uchun bu molekulalar qutblanmagan bo'ladi. Qutblanmagan dielektriklar bo'lib: gazlar – geliy, vodorod, azot, metan; suyuqliklar – benzol, to'rt xlorli uglerod; qattiq – olmos, politelen, ftoroplast-4, parafinlar hisoblanadi.

Dielektrik singdiruvchanlikni gazsimon dielektrlardagi qiymati 1dan kam farq qiladi, qutbli bo'lmagan suyuq va qattiq dielektriklar uchun u 2.5 dan oshmaydi. Qutblanmagan dielektrlarda dielektrik singdiruvchanlik harorat ortishi bilan juda kam o'zgaradi va qo'yilmagan kuchlanishni chastotasi $10^{12} \dots 10^{13}$ G gacha ortishida ham o'zgarmaydi. 30 - rasmda dielektrik singdiruvchanlikni qutblanmaydigan dielektriklar uchun haroratiga bog'liqligi ko'rsatilgan.

Ionli elastik qutblanish kristallsimon dielektrlarda sodir bo'ladi musbat va manfiy ionlardan qurilgan: galoid-shikarli kristallarida, slyudada, keramikada.



30 – rasm. Dielektrik singdiruvchanlikni qutblanmaydigan dielektriklar uchun haroratiga bog'liqligi

Bunday dielektrlarni elektr maydonida har bir ionda elektron qobiqlarni siljishi sodir bo'ladi – elektron qutblanish. Bir biriga nisbatan panjara ostida musbat va manfiy ionlardan iborat siljish kuzatiladi, ya'ni elastik ionli qutblanish

(29 δ - rasm) kuzatiladi. Bu siljish qutblanganlikni oshiradigan qo'shimcha elektr momentini hosil bo'lishiga olib keladi, bundan kelib chiqib dielektrik singdiruvchanlikni oshishiga. Ionli qutblanish qo'yilgan kuchlanish chastotasiga $10^{12} \dots 10^{13}$ G gacha bog'liq bo'lmaydi. Ionli kristallarni dielektrik singdiruvchanligi harorat oshishi bilan ortadi, issiqlikdan kengayish kabi ionlar orasidagi bog'lanish energiyasini bo'shashiga olib keladi, shuning uchun, ularni elektr maydonida siljishini ortishiga olib keladi.

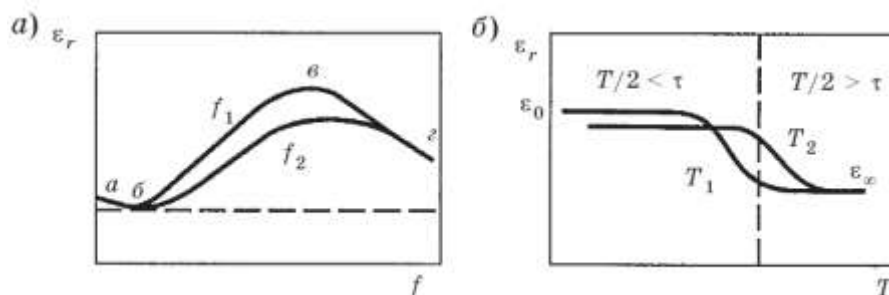
Elastik bo'lmagan qutblanish

Elastik bo'lmaganga dipolli qutblanish kiradi, ular qutbli gazsimon va suyuq dielektrlarda kuzatiladi. Qutblangan dielektrlar qutblangan molekulalardan tuzilgan ularni musbat va manfiy zaryad markazlari mos kelmaydi. Qutblangan molekula xususiy elektr momentiga (dipol momenti) ega. Qutblangan molekulalardan gazsimon amiak NH_3 , suv bug'lari va spirtlardan iborat. Qutblangan suyuqliklar bo'lib suv, xlor-benzol $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$, nitrobenzol $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ hisoblanadi. Bunday molekulalarni elektr maydonlarida atomlarni electron qobiqlari siljiydi – elektron va dipolli qutblanish (molekulalarni dipol momentlari maydon bo'ylab oriyentirlanadi) sodir bo'ladi. Qattiq qutblangan dielektrlarda dipolli qutblanish jarayoni bo'laklarni deformatsiyasidan iborat – molekulalarni zvenolari, segmentlari yoki molekulalarni alohida qutblangan guruhlarini oriyentatsiyasidan.

Dipolni oriyentatsiyalash uchun vaqt talab qilinadi va bu vaqt relaksatsiya τ vaqti deyiladi va u dielektrikni yopishqoqligiga to'g'ri proporsional va haroratiga teskari proporsional. Harorat ortishi bilan dielektrikni yopishqoqligi eksponensial kamayadi, shuning uchun τ ham kamayadi. Haroratni shu sohasida ϵ_r harorat ortishi bilan oshadi (31, a, δ - ϵ - rasm bo'lak) ϵ_r ni ϵ - z bo'lakda kamayishi qutblangan molekulalarni issiqlik harakati ta'sirida oriyentatsiyasini buzilishiga sabab bo'ladi; a- δ bo'lakda esa zichlik kamayadi.

Agar $T/2 < \tau$ bo'lsa, qutblangan molekulalarni elektr momentlari elektr maydonida oriyentirlashga ulgurmaydi. Dipol qutblanish ϵ_r kamayadi (31 δ - rasm). Dielektrikni tuzilishiga va relaksatsiya vaqtini tashqi shartlariga bog'liq

ravishda τ dipolni qutblanishi keng chegaralarda (10^{-8} dan 10^{-1} s gacha) o'zgaradi. Elektr maydonida oriyentatsiyalanganda dipolar molekulyar kuchlarni o'zaro ta'sirini oshib o'tadi, "ishqalanish" bilan buriladi; haroratni bu sohasida dipolli qutblanish yo'qotishlar bilan sodir bo'ladi.



31 – rasm. Harorat ortishi bilan dielektrikning yopishqoqligini eksponensial kamayishi

Ionli – relaksatsiyali qutblanish. Texnikada ishlatiladigan qattiq dielektriklar zarralar hajmida zich bo'lmagan joylashuvga, kristall panjara defektiga – vakansiyaga ega bo'lishi mumkin. Ionlarni elektr maydonida siljishi yo'naltirilgan bo'lib qoladi. Natijada musbat va manfiy zaryad markazlarini joylashuviga farq yuzaga keladi, ya'ni elektr momenti paydo bo'ladi. Bunday jarayon ion relaksatsiyali qutblanish deyiladi. Harorat ortishi bilan qutblanish va dielektrik singdiruvchanlik oshadi.

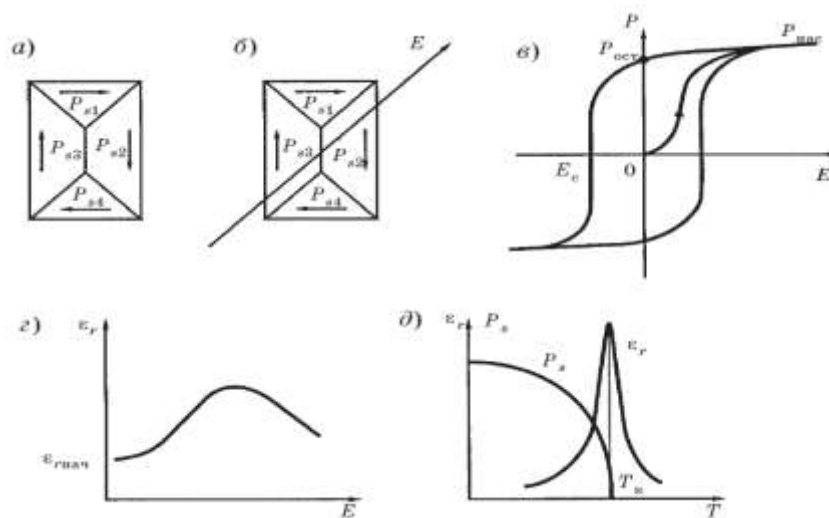
Migratsion qutblanish. Elektr izolyatsiyalovchi materiallar solishtirma elektr o'tkazuvchanligi va dielektrik singdiruvchanligi bilan qiymatlariga ko'ra farqga ega bo'lib bir jinsli bo'lmasligi mumkin. Blok va donchalar chegarasida qo'shimcha zaryadlar hosil bo'lishi mumkin. Shunday bo'sh bog'langan ionlarga ega bo'lishi mumkin, ular elektrodlar tomon yo'nalib u yerda lokallashadi, natijada elektrodlar atrofida hajmiy zaryad paydo bo'ladi va u elektr momentiga bog'liq bo'ladi. Bunday qutblanish zaryad hajmli yoki yuqori voltli qutblanish deyiladi. Migratsion qutblanish jarayoni 10^{-3} ...1 s davomida tugallanadi.

Spontan (o'z-o'zidan yuz beruvchi) qutblanish. Domenli qutblanish. Segnetoelektriklar. Segnetoelektriklarga hos bo'lgan xususiyatlar birinchi bo'lib

signet tuzlarida aniqlangan edi, shuning uchun segnetoelektriklar deb signet tuzi hossalriga o'xshash xossaga ega materiallarni atay boshlashdi.

Segnetoelektriklarga elektr maydoni bo'lmaganida ham ion zarralarini o'zi o'zidan ionli kristallarda yoki molekulalarni qutbli molekulalarida siljishi yuz beradi bu esa dielektrik hajmida musbat va manfiy zaryadlarni mos kelmasligiga, ya'ni qutblanishiga olib keladi. Bunday qutblanish spontan (o'z-o'zidan) deyiladi. Dielektrikda sohalar paydo bo'ladi – domenlar. Har bir domenda o'z-o'zidan qutblanishga uchragan zarralar bir yo'nalishga siljigan. Bu yo'nalishda oriyentirlangan va spontan qutblanish domenlar P_s vektori. Qo'shni domenlarda P_s ni yo'nalishi qarama-qarshi yoki perpendikulyar bo'lishi mumkin (32, a - rasm).

Elektr maydonida segnetoelektriklarda elastik elektron va ionli qutblanish sodir bo'ladi, shuningdek, elastik bo'lmagan domenli. Domenli qutblanish vaqtida (jarayonida) domenlar vektorlar P_s elektr maydon yo'nalishi bo'ylab oriyentirlanadi (32 b - rasm). Domenlarni yo'nalishini qayta oriyentirlanish P_s segnetoelektriklar uchun harakterli bo'lgan chiziqli bo'lmagan xususiyatlar bilan tushuntiriladi: dielektrik gisterezis va ularni dielektrik singdiruvchanligini elektr maydon kuchlanganligiga bog'liqligi bilan tushuntiriladi (32, e, z - rasm). Kristallarni qutblanishi elektr maydonini qutblanganligi ortishi bilan oshadi va ular domenlarni P_s oriyentirlanganligi sababli qutblanishni to'yinishiga yetadi. Kuchlanganlik kamayishi bilan $E = 0$ da qoldiq qutblanish kuzatiladi, chunki domenlarni oriyentatsiyasi saqlanadi.



32 – rasm. Qo‘shni domenlarda P_s ning yo‘nalishini qarama-qarshi yoki perpendikulyar bo‘lishi

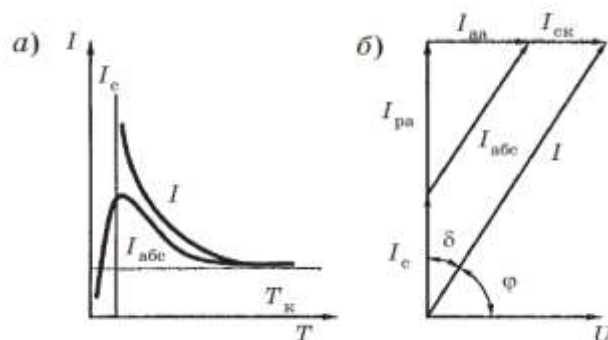
Qutblanishni nolgacha kamaytirish mumkin, bunda namunaga elektr maydon kuchlanganligi qo‘yiladi E_c va u koersitiv kuch deyiladi.

Segnetoelektriklar uchun katta dielektrik singdiruvchanlik (bir necha mingacha) va uni keskin haroratga bog‘liqligi harakterli (32 d - rasm) haroratni ortishi domenlarni oriyentirlanishiga to‘sqinlik qiluvchi kuchni kamayishiga olib keladi. Dielektrikni qutblanishi, domenni qutblanishi sababli yuzaga keladi, oshadi dielektrik singdiruvchanlik haroratini yuqori nuqtasida maksimal qiymatga yetadi. Kyuri haroratida spontan qutblanish yo‘qoladi segnetoelektrik o‘zini segneto elektrik xususiyatini yo‘qotadi va para elektrik holatga o‘tadi. Shu vaqtda dielektrik singdiruvchanlik bilan elektr maydon kuchlanganligi orasidagi chiziqli bo‘lmagan bog‘lanish saqlanadi.

Solishtirma dielektrik yo‘qotishlar va dielektrik yo‘qotishlar burchagi

Dielektrik yo‘qotishlar deb qo‘yilgan kuchlanish ta‘sirida dielektrikda yutiladigan quvvatga aytiladi. Quvvat yo‘qotishlari elektr o‘tkazuvchanlikni va sekin qutblanishni keltirib chiqaradi. Agar dielektrikda gazli ulanishiga (g‘ovaklarga) ega bo‘linsa ishlash jarayonida uni yuqori kuchlanishlarida va yuqori chastotalarida g‘ovaklarda gazlarni ionlashishi sodir bo‘ladi va u ionlashishida yo‘qotishlarga uchraydi.

Kondensatorni o'zgarimas kuchlanishga ulanishida uning elektrodleri orasida dielektrik joylashadi, vaqt bo'yicha kamayuvchi tok oqadi $I = I_{a\delta c} + I_{ck}$ (33 - rasm, a).



33 – rasm. Toklarni vektor diagrammasida kondensator orqali dielektrikdan o'zgaruvchan tokni o'tishi

Siljish toki (sig'im toki) I_c atomlardagi, ionlardagi va molekulalardagi electron qobiqlarni siljishi oqibatida paydo bo'lgan, ya'ni tez elastik qutblanishni o'rnatish jarayonini; u $10^{-16} \dots 10^{-15}$ s mobaynida kamayadi, shuning uchun dielektrikda energiya sochilishini keltirib chiqaradi.

Vaqt bo'yicha kamayuvchi absorbsiya toki $I_{a\delta c}$ sekin qutblanishni borishida bog'langan zaryadlarni siljishi bilan bog'liq va u energiya sochilishini dielektrikdagi hamda dielektrik yo'qotishlarni keltirib chiqaradi.

Teshib o'tuvchi sirqish I_{ck} toki dielektrikda elektr o'tkazuvchanlik jarayonida erkin zaryadlarni ko'chishi sababi yuzaga keladi va vaqt birligi ichida o'zgarmaydi (agar dielektrik elektr tozalash o'tkazilmasa yoki uni eskirishi, degredatsiyasi) va yo'qotishlarni keltirib chiqaradi, o'tkazgichdagi Joule yo'qotishlari singari. Bundan o'zgarimas kuchlanish yo'qotishda, absorbsiya toki keltirib chiqargan, u faqat sekin qutblanish jarayoni bo'lganida o'ringa ega, ya'ni kondensator ulanganda.

Kuchlanish o'zgaruvchan bo'lganida $I_{a\delta c}$ o'ringa ega bo'ladi, agar sekin qutblanish jarayonini relaksatsiya vaqti kam yoki qo'yilgan kuchlanishni Yarim davri bilan o'lchamli bo'lsa ($\tau = T/2$). Ushbu holatda dielektrikda sochilgan quvvat unga elektr maydoni ta'sir etganda, ya'ni dielektrik yo'qotishlar I_{ck} va $I_{a\delta c}$ toklari sababli bo'ladi va u kuchlanish qo'yilgan barcha vaqtda kuzatiladi.

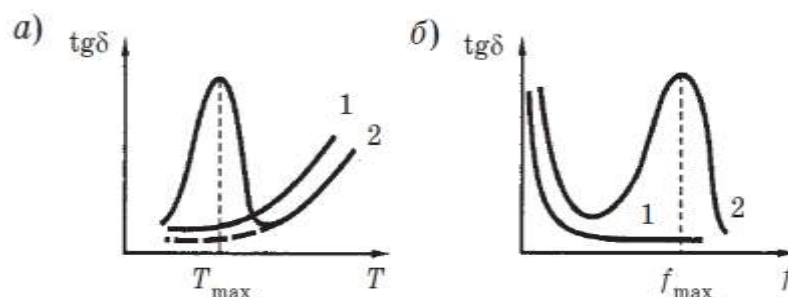
Toklarni vektor diagrammasida kondensator orqali dielektrikdan o'zgaruvchan tokni o'tishida (33 δ - rasm) sig'im toki I_c kuchlanishdan U faza bo'yicha 90° oldinroq yuradi va dielektrikda quvvat yo'qotishni qilmaydi. $I_{a\delta c}$ absorbsiya toki qutblanishlar bilan aniqlanadi, ularni o'rnatish jarayoni energiya yo'qotishlari bilan bog'langan. Shuning uchun reaktiv I_{pa} va faol I_{aa} tashkil etuvchilarga ega. Teshib o'tuvchi tok I_{ck} qo'yilgan kuchlanish bilan faza bo'yicha mos keladi. Toklar yig'indisi reaktiv $I_p = I_c + I_{pa}$ va faol $I_a = I_{aa} + I_{ck}$ tashkil etuvchilarga ega kuchlanishdan $\varphi < 90^\circ$ burchak oldinda yuradi. Tok bilan kuchlanish orasida sig'imli zanjirda faza siljishini burchakni 90° gacha to'ldiruvchi δ burchagi *dielektrik yo'qotishlar burchagi* deyiladi. Toklarni vector diagrammalariga mos

$$tg\delta = I_a/I_p, \quad (57)$$

bunda $tg\delta$ – dielektrik yo'qotishlarni tangens burchagi u muxim parameter bo'lib o'zgaruvchan kuchlanishida ishlaydigan dielektrikni sifatini ifodalaydi.

Yuqori chastotalar va yuqori kuchlanishlar texnikasida ishlatilayotgan dielektriklar uchun $tg\delta$ qiymati $10^{-4} \dots 10^{-3}$ qiymatdan oshmasligi kerak. Dielektrik quvvat yo'qotishlari: $P_a = UI_a = \omega U^2 C tg\delta$. Yassi kondensatorni sig'imi uchun ifodani qo'yib va $S = 1 \text{ m}^2$, $h = 1 \text{ m}$ deb qabul qilib solishtirma dielektrik yo'qotishlar uchun formulani olamiz (Vt/m^2): $P_{a,yd} = 5,567 \cdot 10^{11} E^2 \varepsilon_f tg\delta$, bu yerda E – elektr maydon kuchlanganligi, V/m ; $\varepsilon_r tg\delta = \varepsilon''$ – dielektrik yo'qotishlar koeffitsiyenti; $5,567 \cdot 10^{-11} \varepsilon_r f tg\sigma = \sigma_a$ – chastotasi f bo'lgan o'zgaruvchan tokdagi dielektrikni o'tkazuvchanligi, Sm/m .

Qattiq dielektriklarda dielektrik yo'qotishlar. Qutbli bo'lmagan dielektriklarda dielektrik yo'qotishlar elektr o'tkazuvchanlik sababli kelib chiqadi, qutblanadiganida esa elektr o'tkazuvchanlik va dipolli qutblanishlar sababli kelib chiqadi, qutblanadiganida esa elektr o'tkazuvchanlik va dipolli qutblanishlar sababli kelib chiqadi. $Tg\delta$ ni haroratga va chastotaga bog'liq qutblangan va qutblanmagan dielektriklar uchun 34 - rasm, a , δ larda ko'rsatilgan.



34 – rasm. $Tg\delta$ ni haroratga va chastotaga bog'liq qutblangan va qutblanmagan dielektriklar

Qattiq dielektrlardagi issiqlik ionli qutblanishlar jarayonida kuchsiz bog'langan ionlarni elektr maydonida ko'chishi energiya yo'qotishlari bilan o'tadi. Ba'zi zarrachalar hajmida zich joylashmagan dielektrlarda masalan, shishada u yerda ion relaksatsion qutblanish o'ringa ega ham $\text{tg}\delta$ ni harorat va chastotalarda o'zgarish qonuniyatlari kuzatiladi dipolli qutblanishga harakterli bo'lgan.

Segnetoelektrlardagi dielektrik yo'qotishlar elektr o'tkazuvchanlik va domenli qutblanishlardan aniqlanadi. $Tg\delta$ ni o'zgarishi harorat va chastotaga bog'liq bu xollar uchun qattiq qutbli dielektrlardagi kabi bo'ladi.

Dielektrikni teshilishi va elektr mustaxkamligi

Agar qo'yilayotgan kuchlanishni ozilyatorga oshirib borsak dielektrikdagi elektr maydon kuchlanganligi ba'zi kritik qiymatlardan oshadi va dielektrik o'zini izolyatorlik xususiyatini yo'qotadi.

Dielektrik bo'ylab teshib o'tuvchi tok keskin 10^8 A/m^2 ga oshadi dielektrikni qarshiligi esa shu qiymatgacha kamayadiki elektrodnlarni qisqa tutashuvi sodir bo'ladi. Bu hodisa dielektrikni *teshilishi* deyiladi. Teshilish vaqtidagi U_{np} kuchlanish qiymati *teshuvchi kuchlanish* deyiladi va bunda elektr maydon kuchlanganligi E_{np} – *elektr mustahkamligi* deyiladi.

Agar kuchlanish U U_{np} qiymatiga yotsa teshib o'tuvchi tok keskin oshadi qachonki elektrodnlardagi kuchlanish kamayganida ham. Bu shundan iboratki, qo'yilgan kuchlanish ta'sirida dielektrikda qaytmas jarayonlar yuz beradi va uning qarshiligini keskin kamaytiradi. Dielektrik teshilishini quyidagi turlarini farqlashadi.

Elektr teshilishi – bu jarayon shundan iboratki, natijada dielektrik elektr maydonida atomni, ionni yoki molekulani zaryadlariga ta'sir qilayotgan kuch elektronlarni zarbali ionlashtirilishiga uchraydi.

Elektr issiqlik teshilishi shundan iboratki, dielektrik yo'qotishlar yoki elektr o'tkazuvchanlik ta'sirida dielektriklarda oshib boradigan issiqlik ajralishi yuz beradi, buni *issiqlik* teshilishi deyiladi.

Issiqlik teshilishi paydo bo'ladi, qachonki dielektrik chiqargan issiqlik va atrof muhitga ajratiladigan tarqaydigan issiqlik orasidagi muvozanat buzilsa. Agar ajralib chiqayotgan issiqlik tarqaydigan issiqlikdan kata bo'lsa, dielektrik qiziydi va eng yomon issiqlik tarqatish joyida harorat shunday qiymatgacha yotsa quyish, erib ketish, ya'ni teshilish sodir bo'ladi.

Elektroximiyaviy teshilish (elektr eskirish) dielektrikni ximiyaviy tarkibini strukturasi sekin o'zgarishi bilan bog'liq bo'ladi, ular elektr maydoni yoki dielektrikda uchraydigan razryadlar yoki dielektrikni o'rab turuvchi muhitdagi razryadlar ta'sirida rivojlanadi. Elektroximiyaviy teshilish jarayoni kuchlanganligi bo'lgan elektr maydonlarida kamroq rivojlanadi dielektrikni elektr mustahkamligiga nisbatan.

Elektroizolyatsiyalovchi plastmassalar

Plastmassalarni asosiy qismi bo'lib polimerlar – yuqori molekulalar birikmasi hisoblanadi. Plastmassa tarkibiga polimerlardan tashqari to'ldirgichlar, plastifikatorlar, stabilizatorlar, qotirgichlar, rang beruvchilar, g'ovak hosil qilgichlar va boshqa qo'shimchalar kiradi. Polimerlar kata molekulyar massaga ega bo'ladi va monomerlardan iborat bo'ladi. *Polimerlanish* deb, monomer molekulalardan past-molekulali zararli mahsulotlarni ajratmasdan polimer hosil qiluvchi reaksiyalarga aytiladi. *Polikondensatsiya* – monomerlardan past molekulali moddalardan ajralib chiqishi bilan polimerlarni hosil qiluvchi reaksiya. Polimerlar chiziqli va muhitlilarga bo'linadi.

Termoreaktiv polimerlar (reaktoplastlar) qizdirilganda makro molekulalarni muhitli strukturasi hosil qiladi va erimaydigan va aralashmaydigan holatga o'tadi. Bu jarayon qaytmasdir.

Chiziqli qutblanmaydigan polimerlar kichik dielektrik yo'qotishlar bilan ifodalanadi, va elektrotexnikada, radiotexnikada elektroizolyatsiyalovchi material sifatida qo'llaniladi. Ularga kiradilar: polietilen $[-CH_2 -]_n$, polistirol $[-H_2C - CH - C_6H_5]_n$, poliizobutilen $[-CH_2 - C(CH_3)_2 -]_n$, polipropilen, politetraftoretlen (ftoroplast-4) $[-CF_2 -]_n$ – ular uncha katta bo'lmagan qiymatga ega bo'lgan materiallardan polimerlashdan olingan.

Chiziqli qutblanuvchi polimerlar qutblanmaydiganlarga nisbatan dielektrik singdiruvchanlikni katta qiymatlariga ega ($\epsilon = 3...6$) va dielektrik yo'qotishlarni ($tg\delta = (1...6)10^{-2}$ 1 MG chastotada). Bunday xususiyat makro molekulalarni elementar zvenolarni asimmetrik qurilishi bilan tushuntiriladi, buning oqibatida ushbu materiallarda dipol relaksatsion qutblanish paydo bo'ladi. Bu polimerlar soniga polivinilxlorid $[-CH_2 - CHCl -]_n$, politriftoxtlor etilen (ftoroplast-3) $[-CF_2 - CFCl -]_n$, poliamid smolalar kiradi.

Polikondensatsiyadan olinadigan polimerlar, plastmassalarni bog'lovchi moddasi turiga ko'ra olinadigan polimerlar fenolo-fermoldegidli (fenoplastlar), epoksidli, poliefirli, kremniy organik, poliimidlilarga bo'linadi. Fenolo-formaldegidli smolalar – bu fenolni formaldegid bilan polikondensatsiyasi maxsuloti. Polikondensatsiyani o'tkazish sharoitiga bog'liq ravishda termoplastik smolalarni olish mumkin va ular o'ralgan nomiga ega (fenol ko'p bo'lganida) yoki termoreaktiv, rezolli deyiladi (formaldegid ko'p bo'lganida). O'ralgan smolalarni, laklarni va presskukunlarni ishlab chiqarishda elektr izolyatsiyasini tayyorlashda qo'llaniladi. Rezit (bakelit C bosqichdagi) qatlamli plastiklarni (getinaks va tekstolitni) tayyorlashda qo'llaniladi.

Termoreaktiv poliefirli smolalar (gliftaliyli) elektr mashinalari, transformatorlarni cho'lg'amlariga shimdirish uchun ishlatiladi. Termoplastik polimerlar etilenglikol va tereftaliy kislotalardan (lavsan) olinganlari kondensatorlarni ishlab chiqarishda va elektr mashinalarida paza izolyatsiyasi sifatida qo'llaniladi. Dielektrik ko'rsatkichlari bo'yicha ular kuchsiz qutblangan dielektriklarga kiradi.

Epoksid polimerlar elektroizolyatsiyalovchi va germetiklovchi materiallar sifatida ishlatiladi. Ular amaldagi barcha konstruksion materiallar kabi ular yaxshi adgeziyaga ega.

Kremniy organik polimerlar elastik smola ko'rinishida qattiq jism suyuq dielektrlardan olinadi. Ular suvda amalda xo'llanmaydi, ular suvni itarib yuborish xususiyatini berishda plastmassaga, keramikaga va boshqa materiallarda ishlatiladi.

Poliimidlar eng qizdirishga chidamli polimerlar bo'lib, plyonkalarni, laklarni, issiqqa chidamli tolalarni yaratishda qo'llaniladi.

Kompozitsion materiallar qog'ozni, gazlama yoki shishagazlamani, termoreaktiv smolada shimdirish jarayonida issiq preslashda olinadi. To'ldirgichga bog'liq ravishda ular getinaks, tekstolit, shishatekstolit deyiladi. Ular pechat platalarni, boshqa elektroizolyatsiya maxsulotlarida ishlatiladi.

3.3. Dielektrik isroflar

Gazlarda dielektrik isrof asosan elektr o'tkazuvchanlik hisobiga sodir bo'ladi. Gazlarning elektr o'tkazuvchanligi juda kichik bo'lganligi uchun ularda $tg \delta$ qiymati ham kichik bo'ladi. Gazlarning solishtirma hajmiy qarshiligi taxminan 10^{16} Om·m, dielektrik singdiruvchanligi $\xi_q = 1$, $tg \delta = 4 \cdot 10^{-8}$ ga teng. Elektr maydon kuchlanishi (U) gaz molekulalarining ionlashish kuchlanishi (U_I) qiymatidan past bo'lganda dielektrik isrof deyarli sodir bo'lmaydi. Bu hol gazni qiymati (U_Q) dan o'tganda gaz molekulalarida ionlashish boshlanadi va gazda dielektrik isrof ($tg \delta = 10^{-5}$) orta boradi. Kuchlanishning U qiymatida gazda teshilish ro'y beradi $tg \delta = f(U)$ tavsifi.

Qutbsiz suyuqliklarda dielektrik isroflar o'tkazuvchanlik tufayli sodir bo'ladi.

Qutbli suyuqliklarda esa bu isrof o'tkazuvchanlikdan tashqari dipol-relaksatsiya qutblanishi hisobiga sodir bo'ladi. Suyuqliklarda dielektrik isrof qiymati ularning qovushqoqligiga ham bog'liqdir. Suyuqlik nisbatan bo'lsa,

molekulalar elektr maydon ta'sirida o'z holatini o'zgartirishga ulgurmaydi. Bu holda dielektrik isrof juda kam bo'ladi. Agar suyuqlik juda suyuq bo'lsa, bunda molekulalar maydon ta'sirida o'z o'rnini deyarli ishqalanishsiz o'zgartiradi. Suyuqlik o'rta qovushqoqlikka ega bo'lganida undagi dielektrik isrof ancha yuqori bo'ladi va uning ma'lum bir qiymatida maksimumga erishadi.

Agar suyuqlik dielektrikdagi isroflar faqat o'tkazuvchanlik tufayli sodir bo'lsa, bu isroflar tok kvadratiga to'g'ri proporsional bo'lgani uchun $tg\delta$ qiymati avvaliga sekin, keyin keskin ortadi .

Qattiq dielektrlarda dielektrik isrofi material tuzilishiga bog'liq. SHu sababli ular 4 turkumga bo'lib o'rganiladi:

- 1) Molekula
- 2) Ion
- 3) Segnetoelektrik
- 4) Bir jinsli bo'lmagan.

Molekulali tuzilishga ega dielektrikdagi isroflar molekula shakliga uzviy bog'liqdir. Qutbsiz dielektrlar (serezin, polietilin, polistirol, politetraftoretlen...)dagi dielektrik isroflar juda kamdir. Qutbli bo'lgan dielektrlar (sellyuloza, poliamid, poliuretan, bakelit va hokazo) dipol relaksatsiya qutblanishga ega bo'lib, ulardagi dielektrik isroflar qiymati kattadir. Bu dielektrlardagi isroflar haroratga bog'liq.

Ion strukturali qattiq jismlardagi dielektrik isroflar ionlarning panjarada joylashish holati bilan bog'liq: ionlari zich joylashgan dielektrlarda isrof kam bo'ladi, ionlari zich bo'lmasa relaksatsiya qutblanishi kuzatilib, dielektrik isrof qiymati katta bo'ladi. Ularga mullit kordiepit, siron va boshqa materiallarni misol tariqasida keltirish mumkin. Harorat ortishi bilan elektrik chinnida ionlar ko'payadi va $tg\delta$ qiymati eksponensial qonun bo'yicha o'sib boradi. Ion strukturali amorf jismlarda (organik shishalarda) dielektrik isroflar o'tkazuvchanlik va qutblanish hisobiga ro'y beradi.

Segnetoelektriklardagi dielektrik isroflar oddiy dielektriklarga nisbatan yuqori bo‘ladi. Bunga asosiy sabab ularning o‘z-o‘zidan qutblanishidir. Segnetoelektriklardagi dielektrik isroflar haroratga nisbatan kam o‘zgaradi. Qutblanish Kyurik nuqtasida, susayishi natijasida keskin pasayib ketadi.

Tarkibi bir jinsli bo‘lmagan qattiq jismlar tarkibidagi komponentlar soni kamida ikkita, mexanik bir-biri bilan aralashgan bo‘lishi kerak. Bunga sopol misol bo‘ladi. Sopoldagi dielektrik isroflar uning tarkibidagi kristall va shishasimon faza miqdorining o‘zaro nisbatiga bo‘g‘liq bo‘ladi, turli qo‘shimchalar sopoldagi dielektrik isroflarni oshiradi.

Qattiq dielektriklarning elektr o‘tkazuvchanligi.

Qattiq jismlarning elektr o‘tkazuvchanligi ularning tarkibidagi ionlarning yoki boshqa zarralarning siljishi hisobiga sodir bo‘ladi, ba’zi qattiq jisimlarda esa o‘tkazuvchanlikni erkin elektronlar keltirib chiqaradi. Kuchli elektr maydon ta’sirida jismda elektronli elektr o‘tkazuvchanlik turi Faradey qonunini qo‘llash orqali tajriba yo‘li bilan aniqlanadi. Ion tuzilishli dielektriklarda elektr o‘tkazuvchanlik asosiy issiqlik harakat ta’sirida ozod bo‘ladigan ionlar siljishi hisobiga ro‘y beradi. Past harakatda kiristal panjarada bo‘sh bog‘langan ionlar, hususan qo‘shimchalarining ionlari siljiydi. Atom yoki molekula panjarali dielektrikning o‘tkazuvchanligi qo‘shimchalar hisobiga ro‘y beradi. Bu holda uning solishtirma elektr o‘tkazuvchanligi juda kichik qiymatni tashkil etadi. Dielektrikdagi elektronlarning siljuvchanligi ancha yuqori bo‘ladi. Ion strukturali dielektrikning elektr o‘tkazuvchanligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\gamma = A \exp(-b/T) \quad (4.19)$$

Bu erda : $b=(W_0 +W_c)k$; W_0 –ionlarni ozod etish energiyasi; b - koeffitsient (qattiq jismlarda $b=10000 - 22000$ Kga teng); T - harorat, $k=1.38 \cdot 10^{23}$ J/K Bol’sman doimiysi. (16)ga asosan, dissosatsiya va siljish energiyalari qancha katta qiymatga ega bo‘lsa, solishirma elektr o‘tkazuvchanlik bilan harorat shuncha kuchli ravishda o‘zgaradi.

Ion panjarali kristall tuzilishga ega jismlarda elektr o'tkazuvchanlik ion valentligi bilan bog'liqdir. Bir valentli ion kristallarning elektr o'tkazuvchanligi ko'p valentli ionli kristallarga nisbatan yuqori bo'ladi. Masalan, NaCl kristallining elektr o'tkazuvchanligi MgO yoki Al₂O₃ kristallarining elektr o'tkazuvchanligiga qaraganda yuqori bo'ladi. Organik qutbsiz amorf dielektrik (polistrol va hokazo) ning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi ancha kichikdir. SHishaning elektr o'tkazuvchanligi uning kimyoviy tarkibiga bog'liq bo'lganligi sababli mazkur qiymatni texnologik jarayonda boshqarish mumkin bo'ladi. Agar dielektrikka elektr maydon ta'sir ettirilsa, dielektrik asta-sekin qiziy boshlaydi, chunki ta'sir etayotgan energiyaning bir qismi uning qizishiga sarf bo'ladi. Qizishga sarf bo'ladigan elektr quvvati dielektrikdagi isrof yoki dielektrikdagi energiya sochilishi deyiladi. Dielektrikdan ichki tok o'tishi natijasida undagi elektr energiyasining isrofi o'zgaras va o'zgaruvchan kuchlanish ta'sirida ro'y beradi.

O'zgaras kuchlanish ta'sirida jismda davriy qutblanish kuzatilmagani sababli dielektriklardagi energiya isrofi uning solishtirma yuza va hajmiy qarshiligiga bog'liq bo'ladi. O'zgaruvchan kuchlanishda dielektrikda ichki toklardan tashqari qo'shimcha sabablar vujudga kelib, undagi elektr energiyasi isrofi ortadi. Elektr maydonida joylashgan dielektrikda sarflanadigan quvvat miqdorini aniqlash uchun dielektrikdagi isrof burchagi δ yoki shu burchak tangensi $tg\delta$ dan foydalaniladi. Elektrotexnikada sinusoidal tokli elektr zanjiri eng ko'p tarqalgan. Sinusoidal tok kuchlanishi o'z shaklini saqlagani holda o'zgarishi mumkinligi bilan o'zgaras tokdan farq qiladi. O'zgaruvchan tok turli usullarda hosil qilinadi. Bunday usullardan eng oddiyi generator yordamida tok hosil qilishdir. Dielektrik isrof burchagi deb, sig'imli zanjirdagi kuchlanish va tokning fazaviy siljish burchagi 90^0 gacha to'ldiradigan burchakka aytiladi. Dielektrikda energiya isrofi qancha katta bo'lsa, fazaviy siljish burchagi shuncha kichik va δ burchak yoki uning funksiyasi $tg\delta$ shuncha katta bo'ladi. Jismning agregat holati (gaz, suyuq va qattiq) ga qarab, undagi dielektrik isrofning tabiati

turlicha bo‘ladi. Dielektrik isrofini ifodalaydigan vektor diagramma 8-rasmda ko‘rsatilgan.

C va R o‘zaro ketma-ket ulangan holat uchun faol quvvat:

$$P_a = \frac{U}{z} \frac{U r_s}{z} = \frac{U^2 r_s}{x^2 + r^2} \frac{U^2 \omega C_s \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}; \quad (4.20)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_a}{U_c} = \omega C_s r_s \quad (4.21)$$

Bu erda, z-to‘la qarshilik.

Xuddi shuningdek, sig‘im va qarshilik o‘zaro parallel ulangan zanjir uchun:

$$P_a = U \cdot I_a = U^2 \omega C_r \operatorname{tg} \delta, \quad (4.22)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C_r r_r}, \quad (4.23)$$

Izolyasiyasi o‘ta qizib ketishining oldini olish maqsadida $\operatorname{tg} \delta$ qiymati kichik bo‘lgan dielektrik tanlab olinadi. $\operatorname{tg} \delta$ ni aktiv (I_a) va reaktiv (I_c) tok qiymatining nisbati orqali ham topish mumkin. Dielektrikning sifatligi (Q) isrof burchagi tangensiga teskari proporsional kattalikdir:

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{ctg} \delta = \frac{I_a}{I_c} \quad (4.25)$$

Dielektrikning sifati qancha yaxshi bo‘lsa $\operatorname{tg} \delta$ ning qiymati shuncha kichik bo‘ladi: $\operatorname{tg} \delta = 2 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$.

Dielektrikning turli qismidagi quvvat isrofini aniqlash uchun uning solishtirma isrof qiymtini bilish kerak:

$$p = \frac{P}{V} = E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta = 5,56 \cdot 10^{-11} E^2 f \varepsilon_r \operatorname{tg} \delta, \quad (4.26)$$

Bunda ρ -solishtirma isrof, Bt/m³; $\omega = 2\pi f$ -burchak chastotasi; E- elektr maydon kuchlanganligi, B/m; V-dielektrikning hajmi, m³.

Dielektrikda quvvat isroflar 4 xil bo‘ladi:

1. Qutblanish tufayli sodir bo‘ladigan quvvat isroflar.
2. O‘tkazuvchanlik tufayli sodir bo‘ladigan quvvat isroflar.
3. Ionlashish sharoitida sodir bo‘ladigan quvvat isroflar.
4. Bir jinsli bo‘lmagan jismlarda sodir bo‘ladigan isrof quvvatlar.

Qutblanish tufayli sodir bo‘ladigan quvvat isroflar: bunday isroflar relaksion qutblanishga ega bo‘lgan dielektrlarda sodir bo‘ladi. Relaksion dielektrik isroflar elektr maydon ta’sirida zarralar issiqlik harakatining buzilishidan kelib chiqadi. Relaksion isroflar berilgan kuchlanishning chastotasi bilan oshib boradi, radio chastota va o‘ta yuqori chastotalarda bilinadi. Relaksion dielektrlarning isrofidagi $\operatorname{tg} \delta$ ning temperaturaga bog‘liqligi berilgan moddaning tavsifiga qarab ba’zi haroratlarda maksimum bo‘lishi kuzatiladi.

Bu isroflarga yana yorug‘lik chastotalarida sodir bo‘ladigan rezonans isroflarini kiritish mumkin. Isroflarning bu turi qat’iylik bilan topshirilgan chastotali gazlarda sinchkovlik bilan tekshiriladi.

Qutblanish tufayli isroflar sodir bo‘lgan zaryad va kuchlanish orasidagi bog‘lanish ellips ko‘rinishida bo‘ladi.

O‘tkazuvchanlik tufayli sodir bo‘ladigan quvvat isroflari: bunday isroflar hajmiy yoki yuzaviy o‘tkazuvchanlikga ega bo‘lgan dielektrlarda kuzatiladi. $\operatorname{tg} \delta$ ning qiymati quyidagicha topiladi:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1.8 \cdot 10^{12}}{\xi f \rho} \quad (4.27)$$

bu erda f chastota, Gs va p- solishtirma qarshilik, Om-sm.

Bu turdagi isroflar maydon chastotasiga bog'liq emas. Haroratga bog'liqligi quyidagicha topiladi:

$$P_T = Ae^{\frac{-b}{T}} \quad (4.28)$$

Bu erda A - materialning o'zgarish koeffitsienti. o'tkazuvchanlik tufayli isroflar sodir bo'lganda zaryad va kuchlanish orasidagi bog'lanish to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi, 9-rasm (a).

Ionlashish sharoitidagi isroflar: bunday isroflar havoda yoki tarkibida havo bo'shliqlari bo'lgan jismlarda, masalan: chinni, qog'oz hamda zich dielektriklar orasi bo'shliqlarida sodir bo'ladi. Bunday isroflar quyidagicha topiladi:

$$P_T = Af(U - U_0)^3, \quad (4.29)$$

Bu erda A - o'zgarish koeffitsienti; f maydon chastotasi; U berilgan kuchlanish; U_0 -ionizatsiya boshlanish vaqtiga to'g'ri keladigan kuchlanish. (25) formula $U > U_0$ va $\tan \delta$ ning E ga bog'liklik qiymati o'zgarish bo'lganda to'g'ri bo'ladi. U_0 kattaligi gaz bosimiga bog'liq, gazning bosimi oshishi bilan ionizatsiyaning boshlanishida uchlanish oshadi.

Bir jinsli bo'lmagan jismlarda sodir bo'ladigan isrof quvvatlar: segnetoelektrlarda energiya isrofi o'z-o'zidan qutblanish hisobiga ro'y beradi. Uning qiymati Kyurik nuqtasidan past haroratlarda katta bo'ladi. Segnetoelektrlarda energiya sarfi dielektrikdagi ancha yuqori bo'ladi. Bunday isroflar hamma bir jinsli bo'lmagan dielektrlarda sodir bo'ladi: plastmassalarda, keramikada, mekanitda, mikaleks va boshqalar.

3.4. Polimerlar, shishalar va keramikalar tuzilishi

Qattiq materiallar uchta asosiy toifaga (metallar, keramikalar va polimerlar) qulaylik bo'lishi uchun guruhlangan edi. Bunday usuldan foydalanish kimyoviy tarkib va atom tuzilishiga ko'ra asoslanib, materiallar o'ziga xos xususiyatlari bo'yicha shu farqlanuvchi guruhlardan biriga kiradi. Bu materiallarni sinflarga ajratish ularning xossalari o'rganish asosida amalga oshiriladi.

Metallar

Bu guruh materiallari bir va undan ko'p metall elementlaridan (masalan, temir, alyuminiy, mis, titan, oltin va nikel) tashkil topgan. Metall va qotishmalardagi atomlar keramika va polimerlarga nisbatan zichroq joylashgan.

Metall materiallarda elektronlarning juda katta konsentratsiyasi mujassamlashgan. Metallarning ko'pchilik xossalari shu elektronlarning xususiyati bilan izohlanadi. Bundan tashqari ba'zi metallar (masalan, Fe, Co va Ni) magnit xossalariga ega.

Polimerlar

Polimerlar tarkibiga ma'lum plastmassa va rezina materiallari kiradi. Ulardan ko'pchiligi organik birikmalardan tashkil topgan bo'lib, uglerod, vodorod va boshqa metall emas elementlarga asoslangan (ya'ni O, N va C). Bulardan tashqari, juda katta molekulyar strukturalar mavjudki, ularning zanjirida ko'pincha uglerodli atomlar asos bo'lib hisoblanadi. Ularga quyidagi polimerlar – polietilen (PE), neylon (vinil xlorid), (polivinil xlorid), (PS) penoplast va silikon rezinasi misol bo'ladi, ya'ni bunda ularning sinuvchanligi va ko'chmalari massaga asoslanishi, shuningdek metall va keramikalar bilan mos kelgan holat mavjud bo'lishi nazarda tutiladi. Polimerlarning ko'pchiligi bo'ysinuvchi va egiluvchi (ya'ni plastmassa) xususiyatga ega bo'lganda, ular murakkab shakllarga oson keltiriladi. Umuman, ular kimyoviy jihatdan inertdir va ko'p miqdorda atrof muhit uchun ham inert bo'lib hisoblanadi. Ulardagi asosiy kamchilik ancha past haroratlarda yumshab va parchalanib ketishidadir, bu ko'p hollarda ulardan amalda

foydalanishni cheklaydi. Bundan tashqari, ular kichik elektro‘tkazuvchanlikka ega va antimagnit hisoblanadi.

Polimerlar deb, katta molekulyar massaga (10^4) ega bo‘lgan moddalarga aytiladi, ularda atom zvenolari bitta guruhdagi molekulalardan iborat bo‘ladi. Har bir zveno dastlabki past molekulyar moddadan monomerdan iborat bo‘ladi. Polimerlarni chiziqli molekulalarini orasidagi bog‘lanishni harakteriga bog‘liq ravishda ular termoplastik va termoreaktivlarga bo‘linadi.

Termoplastiklar qizdirilganda ko‘p marta yumshashi, sovitilganda qotishi mumkin o‘z xususiyatlarini o‘zgartirmasdan.

Termoreaktivlar takroriy qizdirishda ular termik parchalanishgacha qattiq bo‘lib qoladi.

Bu farq shunday tushuntiriladi, termoplastiklarda molekulalar orasiga nisbatan bo‘shroq Van-der-Vals kuchlari ta‘sir qiladi, qizdirish vaqtida bu bog‘lanishlar bo‘shashadi va material yumshaydi, termoreaktivlarda molekulalar bog‘lanishiga molekulalar orasida qo‘shimcha ko‘ndalang kovalent bog‘lanishlar mavjud bo‘ladi. Ular mo‘rt turli darajadagi kristallanish darajasiga ega strukturaga ega bo‘ladi.

Shisha amorf moddadan iborat bo‘lib, ular oksidli, oksidi bo‘lmagan birikmalarni eritilishida hosil bo‘ladi. Shisha hosil qiluvchi oksidlar bo‘lib SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , GeO_2 lar hisoblanadi. Amorf shisha strukturali shisha massa sovitilganda paydo bo‘ladi, bunda uni yopishqoqligi krastallanishiga to‘sqinlik qiladi.

Keramika

Keramika - tarkibi bo‘yicha metall va metall bo‘lmagan elementlar oralig‘ida joylashgan bo‘lib, ular ko‘pincha oksidlanadi, azotlanadi va karbidlanadi. Masalan, umumiy keramik materiallar tarkibiga alyuminiy oksidi (yoki korund Al_2O_3), kremniy oksidi (yoki kvars SiO_2), kremniy azoti (Si_3N_4) kiradi va ularga ba‘zi an‘anaviy keramika deb ataladigan loysimon foydali qazilmalardan ishlangan (ya‘ni chinni), shuningdek, sement va shisha misol bo‘la

oladi. Mexanik xususiyatlariga nisbatan keramik materiallar nisbatan qattiq va kuchli qat'iylikka ega va ularni metallarning ayrimlari bilan taqqoslash mumkin. Bulardan tashqari keramik materiallar o'z xususiyatiga ko'ra ulardan issiqlik va elektr o'tganida (past o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi) hamda keskin atrof muhit haroratlarida metall polimerlarga qaraganda chidamli bo'ladi. Optik xususiyatlari bo'yicha keramika tiniq bo'lishi yoki tiniq bo'lmasligi mumkin va oksid keramikaning bir qismi magnit xossalariga ega ekanligini ko'rsatadi (masalan, Fe_3O_4).

Keramikalarni yuqori haroratlarda kukunlarni qovushtirish yo'li bilan olishadi. Qizdirish vaqtida dastlabki material o'zaro ta'sirlashadi, shunda kristallik, amorf fazalar paydo bo'ladi. Keramika g'ovak material bo'lib, amorf fazali shisha hisoblanadi, ular kimyoviy tarkibiga ko'ra kristallardan farq qiladi. Yarim kristalli strukturaga ega bo'lib, unda shisha qatlamchasi bo'lib, unda donachalar tartibsiz joylashgan bo'ladi, ular shuning uchun xususiyatiga ko'ra bir jinsli bo'lib, ular mo'rt bo'ladi.

Sitallar yoki shisha kristalli materiallar maxsus tarkibli shishalardan nazorat qilinadigan kristallanish yo'li bilan olinadi. Ularni strukturasi tartibli yo'naltirilgan juda mayda kirishma kristallardan va qoldiq shisha (ular ximiyaviy tarkibi bo'yicha dastlabkidan farq qiladi)dan iborat bo'ladi. Kristallar hosil bo'lishi uchun Li_2O , TiO_2 , Al_2O_3 lar kiritiladi. Fotositallardan ham foydalaniladi – ular yorug'likka sezgir materiallar bo'lib, termokristallar – eskirishga chidamli materiallar hisoblanadi (ishqalanish tugunlari, himoya emallari stabil dielektriklar, platalar).

Suyuq kristallar – ular molekulyar strukturasi tartibga keltirilgan suyuqliklardir. Ular kristallar va suyuqliklar orasidagi joyni egallaydi va ularda molekulalar tartibsiz joylashgan bo'ladi. Ular anizotrop xususiyatga ega: yorug'likni sindirish ko'rsatkichi, solishtirma elektr qarshiligi, dielektrik singdiruvchanlik, yopishqoqlik va boshqalar. Suyuq kristallarni strukturasi bosim, elektr maydoni, qizdirish ta'sirida oson o'z xususiyatlarini boshqarish imkonini

beradi, ulardan sezgir indikatorlarni yaratish mumkin. Organik materiallar ham qiymatga ega, ularni molekulari cho'ziqroq shaklga ega.

Shisha deb, amorf jismlarga aytiladi. Ular qotishmani qayta sovitish natijasida uning ximiyaviy tarkibi haroratni qotishi sohasi, qattiq jismni asta-sekinlik bilan metal xususiyatlarini yopishqoqligini ortishida olinadi. Bunda suyuq holatdan qattiq holatga o'tishi qayta jarayondir.

Ximiyaviy tarkibiga ko'ra amaliy qiymatga ega bo'lgan shishalar uchta asosiy turga bo'linadi: *oksidli* - (SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , Al_2O_3) oksidlari asosida, *galogenidli* - (BeF_2 , fluorberillat shisha) galogenidlar asosida, *xalkogenidlar* – sulfidlar, selenidlar va telluridlar asosidagi.

Ulardan oksidli shishalardan keng foydalaniladi, ular tarkibiga ko'ra bir qator sinflarga va guruhlariga bo'linadi:

- oksid-shisha hosil qilgich ko'rinishiga ko'ra – silikatlik, boratli, fosfatli, germaniyli, alyuminsilikatli va boshqalar;
- ishqorli oksidlarni miqdoriga ko'ra – ishqorsiz (ishqoriy yer oksidlarni miqdoriga ko'ra MgO , CaO , BaO), ko'p ishqorli, kam ishqorli.

Shishani elektr xossasini uni tarkibiga kuchli bog'liq. Ko'pchilik shishalar ionli o'tkazuvchanlik bilan ifodalanadi. Ba'zi shishani maxsus turlari – xalkogenid, vanadiyli (yarim o'tkazgichli) – ular elektronli yoki aralash o'tkazuvchanlikka ega. Eng kam elektr o'tkazuvchanlikka kvarts shisha ega, eng yuqori o'tkazuvchanlikka esa – yuqori ishqorli shishalar ega. Shishalarni elektr o'tkazuvchanligi harorat oshganda juda tez ortadi bunda ionlarni harakatchanligi ham ortadi. Sanoat shishalarini solishtirma hajmiy qarshiligi uncha yuqori bo'lmagan haroratlarga $10^8 \dots 10^{15}$ $\text{Om} \cdot \text{m}$ atrofida o'zgarib turadi. Shishalarni elektr o'tkazuvchanligiga kattaroq ta'sirni sirt o'tkazuvchanligi ko'rsatadi va u suvni adsobirlangan plyonkasiga kuchli bog'liq bo'ladi.

Dielektrik yo'qotishlar shishalarda o'tkazuvchanlik yo'qotishlari, relaksatsion yo'qotishlardan, strukturali yo'qotishlarnikidan to'planadi: $\text{tg} \delta$ shishalarda ishqoriy oksidlarni miqdorini o'sishi bilan ortadi. Eng kam dielektrik singdirishga kvarts shishalar ega [$\epsilon_r = (3,7 \dots 3,8)$]. Shishalar tarkibida qo'rg'oshin bariy kabi oksidlarni

bo'lishi, ularni qutblanishi yuqori bo'lganligi sababli yer shisha kattaligi taxminan 20 larga boradi.

Shishalarni teshilishi elektr va issiqlik jarayonidan kelib chiqadi. Kuchlanish o'zgarimas bo'lganda shishani elektr mustahkamligi juda kata va 500 MV/m, harorat oshishi bilan esa keskin kamayadi. O'zgaruvchan elektr maydonida shishani elektr mustahkamligi 17...80 MV/m.

Yarim o'tkazgichli shisha elektron asboblarda va ko'rinishlarda foydalaniladi. Masala, termoqarshiliklarda, yorug'lik filtrlarida va foto qarshiliklarda bunda ularda orttirilgan elektr o'tkazuvchanlik tanlangan yorug'lik yutilishi bilan birgalikda olib boriladi.

Elektrotexnik keramika

Bu material berilgan kimyoviy tarkibdagi minerallar va metall oksidlaridan shakllangan massani kuydirish natijasida olinadi. Ko'pchilik keramik materiallar yuqori mexanik mustahkamligiga, issiqlikka chidamli, yuqori elektr harakteristikasiga ega, mexanik deformatsiyalarni uzoq vaqt iste'molchini qo'yilishida organik materiallarnikidan katta, elektr va issiqlik eskirishlariga chidamli.

Elektr izolyatsiyalovchi material sifatida elektrotexnik chinni ishchi kuchlanish 1150 kV gacha bo'lgan o'zgarimas tokda 1500 kV gacha bo'lgan sharoitda ishlab chiqarishda qo'llanilmoqda. Elektrotexnik chinni har qanday keramika kabi kristall, amorf va gaz fazalaridan iborat. Chinnini asosiy komponentlaridan mineral kelib chiqishga ega bo'lgan ham materiallari hisoblanadi – loysimon moddalar (kaolin va loy, kvars, dala chpati, gips, pegmatit). Chinnini elektrizolyatsiyalovchi xususiyatlari normal harorat sharoitida uni past chastotalarda ishlatish imkonini beradi: $\epsilon_r = 6...7$, $\text{tg}\delta = 0,02$; $\text{tg}\delta$ elektrotexnik chinnisi harorat ortishi bilan tez ortadi, uni yuqori kuchlanish va chastotalarda qo'llashni qiyinlashtiradi.

Steatitli keramika upasimon minerallar asosida tayyorlanadi uning asosiy kristall fazasi magniyni metasilikati MgO-SiO_2 hisoblanadi. Steatitli materiallar ρ

yuqori qiymatlari, shu bilan bir qatorda yuqori harorat va kichik $\text{tg}\delta$ bilan ifodalanadi.

Radiochinni shishasimon fazada unga BaO og'ir oksidini kiritilishi bilan sifati yaxshilangan chinnidan iborat.

Ultrachinnini turli markalari Al_2O_3 ni ko'p miqdori bilan ifodalanadi va mukammallashgan radiochinni hisoblanadi. Ultrachinni oddiy chinniga nisbatan oshirilgan mexanik mustahkamlik va issiqlik o'tkazuvchanlikka ega.

Polikor, alohida zich strukturaga ega bo'lib (Al_2O_3 uchun nazariyga yaqin) optik tiniqlikka ega va kolbalarni va ba'zi maxsus tok manbalarini tayyorlashda qo'llaniladi.

Kondensator keramikasi dielektrik singdiruvchanlikka ega $\epsilon_r = 10...230$ yoki $\epsilon_r = 900$. Birinchi holatda keramika yuqori chastotali dielektrikka kiradi: $\text{tg}\delta$ 1 MG chastotada 0.0006 dan oshmasligi kerak. Ikkinchi holatda past chastotali keramikaga o'rinda bor: 1000 G chastotada $\text{tg}\delta = (0,002... 0,025)$. Kondensator keramikasiga odatda mumkin bo'lsa harorat koeffitsiyentini kichik qiymati dielektrik singdiruvchanlik talab qo'yadi. Kondensator materiallarini ko'pchiligi o'zini tarkibida titan dioksidi – rutil (TiO_2) ega va *tikonda* deyiladi. Ularni orasida kalsiy titanati va stronsiy titanati asosidagi keramikani ko'rsatish mumkin CaTiO_3 va SrTiO_3 . Yuqori chastotalarda bu materiallarda haroratga bog'liqlik $\text{tg}\delta$ bo'sh ifodalangan, ammo bu ko'rinishdagi materiallar pasaytirilgan elektr mustahkamlik (8... 12 MV/m) ifodalangan.

Harorat stabilligini keramikada mavjudligini oshirish uchun harorat koeffitsiyentini musbat qiymatiga ega bo'lgan ϵ_r komponentasini kiritadi. Bunday materiallar ko'pincha termokompensirlangan deyiladi. Bu guruhga titanosirkoniyli keramika kiradi: TiO_2 – ZrO_2 ; CaTiO_3 – CaZrO_3 ; lantanli keramika LaAlO_3 – CaTiO_3 . Past chastotali keramikani asosini bariy titanati BaTiO_3 va qattiq eritmalar va uni asoslari kiradi. Bu materiallar dielektrik singdiruvchanligi qiymatini yuqoriligi uni elektr maydon kuchlanganligini chiziqli bo'lmagan bog'liqligi bilan farq qiladi.

3.5. Suyuq kristallar

Suyuq dielektriklar

Neft mahsulotlaridan ishlab chiqarilgan izolyasiya mollari o'zining afzalligi bilan birga ba'zi bir kamchiliklar: eskirish, chaqnash va alangalash xavfi, portlash ham holi emas. Ana shu sababli, yuqori qiymatli dielektrik singdiruvchanlikka erishish maqsadida suyuq sintetik dielektriklar ishlab chikarildi. Bunga misol qilib, keng miqiyosda qo'llanilayotgan xlorlangan ugluvodorodlarni olish mumkin. Turli xil ugluvodorodlar molekulalaridagi vodorod atomi o'rniga xlor atomini kiritish orqali xlorlangan ugluvodorodlar, ya'ni xlorlangan difenil olinadi. Xlorlangan difenil tarkibidagi xlor miqdori 43% dan 67% gacha oshirilsa, quyuuq yoki mumsimon modda hosil bo'ladi. Vodorod atomi o'rnidagi xlor atomlarining miqdori oshirilishi natijasida modda quyuuqlashib, zichligi ortadi va uning qotish harorati pasayadi (9-jadval):

9-jadval

Ba'zi sintetik dielektriklarning fizik va kimyoviy xossalari:

| Ko'rsatkichlar | Trixlordif enil | Soatol - 10 | Geskol |
|---|--------------------|-------------|---------|
| Zichligi, kg/m ³ | 1360 | 111510 | 1640 |
| Kinematik qovushqoqligi, 10 ⁻⁶ m ² /s | 40-70 | 650 | 3,5-4,0 |
| Qotish harorati, °S | -19 | -6 | -60 |
| Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsenti, Vt/m ³ *°S | 0,0963 | - | 0,15 |
| tgδ(90 °C) | 0,015 | 0,03 | 0,03 |

| | | | |
|---|---------------|-----------|-------------------|
| $\rho, \text{Om}\cdot\text{m} (90^\circ\text{S})$ | $3\cdot 10^9$ | 10^{12} | $13\cdot 10^{10}$ |
| E_r | 5,9 | - | 2,7-2,9 |
| $E_T, \text{MB/m}$ | 20 | 22 | 18 |

O‘rta darajada xlorlangan pentaxlordifenil (sovtol) quyuuq modda bo‘lgani sababli, suyultirish maqsadida unga xlorlangan quyuuq uglevodorod qo‘shiladi. Kondensator moyini quyuuq difenil bilan aralashtirib, hosil bo‘lgan quyuuqlik qog‘ozli izolyasiyaga shimdirilsa, kondensatorning reaktiv quvvati ortadi hamda hajmi birmuncha kichrayadi.

Sovtol-10 ning tarkibi 90% pentaxlordifenil hamda 10% trixlorbenzoldan iborat bo‘lib, undan yuqori kuchlanishli transformatorlarni to‘latishda, shuningdek qattiq izolyasiyaga shimdiriluvchi sifatida foydalaniladi.

Geksol kimyoviy jihatdan barqaror quyuuqlik bo‘lib, tarkibi 80% geksaxlorbutadien va 20% pentaxlordifenildan iborat. U harorat va cho‘g‘ ta’sirida chaqnash yoki alanganish hususiyatiga ega emasligi bilan ajralib turadi va juda past haroratida ham qotmaydi. Geksol sifati yaxshi quyuuq dielektrik hisoblanib, undan transformatorlarda izolyasiya sifatida foydalaniladi.

Ko‘rib o‘tilgan barcha difenillar zaxarli hisoblanganligi sababli, ular bilan ishlash mobaynida texnika xavfsizligi choralari ko‘rilishi lozim. Kremniy-organik (KO) quyuuqlik zaxarli bo‘lmay, ekologik jihatdan xavfsiz bo‘lganligi sababli ular elektrotexnikada keng miqyosda qo‘llanilmoqda. KO quyuuqliklar gigroskopik emas hamda yukori haroratga bardoshlidir. Bu quyuuqliklarga poliorganosiloksan polietilsiloksan, polifenilsiloksan va boshqa quyuuqliklar kiradi (10-jadval). Poliorganosiloksan (161-123, 161-45 navli) impulsli transformator, radio va elektron apparatlarida qo‘llanilmoqda.

10-jadval.

Ba’zi kremniy-organik quyuuqliklarning fizik va kimyoviy xossalari.

| Ko'rsatkichlar | PMS-0 | PMS-0 | PES-3 | FM-5 | 161-123 | 161-45 |
|---|--------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Zichligi, kg/m ³ | 942 | 974 | 960 | 944 | 1080 | 1145 |
| Qotish harorat °S | -65 | -60 | -70 | -110 | -100 | -90 |
| Dinamik kovushokligi 10 ⁻⁶ m ² /s | 10 | 60 | 15 | 16 | 18 | 55 |
| ε _r | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 2,8 | 5,4 | 5,8 |
| tg δ | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,002 | 0,02 | 0,0001 |
| ρ, Om·m | 2·10 ¹² | 2·10 ¹² | 10 ¹¹ | 10 ¹¹ | 5·10 ¹⁰ | 4·10 ¹⁰ |
| E _m MV/m | 14 | 18 | 18 | 14 | - | - |
| Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, Vt/m·°S | 0,0138 | 0,154 | 0,138 | 0,135 | 0,115 | 0,127 |

Xlor-ftor-uglerodli va ftor-uglerodli suyuqlik molekulalarida vodorod atomi o'rnini xlor va ftor atomlari qisman yoki to'liq egallaydi. Ftor organik suyuqliklarda tg δ qiymati juda kichik bo'lishi bilan birga, yuqori darajali haroratga chidamligi sababli, uni 200 °S va undan haroratda ishlatish mumkin. Bu suyuqlikning sirt taranglik kuchi va qovushqoqligi nisbatan kichikdir. Ftor-organik suyuqlik uchuvchan bo'lganligi sababli u bilan to'latilgan elektr apparatini yaxshilab zichlash talab etiladi. Bu suyuq dielektrik yordamida

chulgʻamlar va magnit oʻtkazgichlardan ajralib chiqqan issiqlik atrofga tez va yaxshi tarqaladi.

Elektrotexnika uskunalari qoʻyiladigan ftor-organik suyuqligi (xlodon) tok oʻtayotgan sim va chulgʻamdan ajralib chiqayotgan issiqlik taʼsirida bugʻlanib, issiqlikni yutadi, soʻngra sovitgichda kondensatsiyalanib, yana asosiy sistemaga suyuq holda qaytadi. Natijada uskuna boʻshliqlarida katta bosim hosil boʻlib, apparatning gaz muhitidagi elektr mustahkamligi ortadi. Havo tarkibidagi ftor-organik suyuqlik bugʻlari portlash xavfini tugʻdirmaydi. Suyuq holatda bu dielektrik deyarli yonmaydi. Yuqori dielektrik singdiruvchanlikka ($\epsilon_r=35-39$) ega bunday qutbli sintetik suyuqliklarga misol qilib, nitrobenzol ($N_5S_6-NO_2$) etilengliol ($NO-SN_2-SN_2-ON$), sianoetilsaxaroza ($S_{38}N_{46}N_8O_{11}$) kabi suyuqliklarni keltirish mumkin. Elektr maydoni taʼsiriga chidamli, oʻzida elektr quvvatini juda kam isrof etadigan sintetik uglevodorodli qutbsiz suyuqliklarga poliizobutilen, polibutilen va alkilbenzol misol boʻla oladi. Agar kondensatorning qogʻoz izolyasiyasi poliizobutilenga shimdirilsa, kondensatorning zaryadlanish vaqti keskin ortadi.

Oqtol suyuqligining zichligi $860-875 \text{ kg/m}^3$, alanganish harorati $138-165 \text{ }^\circ\text{S}$, dielektrik xosalar: $\epsilon_r = 2,2-2,3$; $\text{tg } \delta = 10^{-4}-10^{-3}$. Bu suyuqliklar asosida tayyorlangan qogʻozli kondensatorning nisbatan xizmat muddati 1,8-2,3 barobar yuqoridir. Oqtolning vazelin bilan aralashmasi qogʻozli kondensatorlarda qoʻllanilganda kondensatorning xizmat muddati boshqa shimdirilgan suqlikli kondensatorlarga nisbatan 20-40 barobar yuqori boʻladi.

Suyuq dielektrlarning elektr oʻtkazuvchanligi

Suyuqlikning elektr oʻtkazuvchanligi uning molekula tuzilishi va tarkibidagi qoʻshilmalarga bogʻliq. Suyuqlik molekulari ionlashmagani uchun, ularning elektr oʻtkazuvchanligiga qoʻshimcha (nam, tuz, ishqor, kislota va hakoza) larning taʼsiri katta boʻladi. Qutbli suyuqliklar katta elektr oʻtkazuvchanlikka ega boʻlib, ularning dielektrik ξ_v gi ortishi natijasida dielektrikning elektr oʻtkazuvchanligi ham ortadi, oʻta qutbli suyuqliklar yuqori elektr oʻtkazuvchanlikka egaligi sababli,

bunday suyuqliklar ionli o'tkazuvchanlikka ega o'tkazgichlar deb qaraladi. Suyuq dielektrlarning solishtirma o'tkazuvchanligi haroratga uzviy bog'langan bo'lib, haroratning ortib borishi bilan uning qovushqoqligi kamayadi. Oqibatda ionlarning siljivchanligi ortib, suyuqlikning o'tkazuvchanligi ortadi. Suyuq dielektrlarning solishtirma o'tkazuvchanligi:

$$\gamma = A \exp(-a/T) \quad (4.18)$$

Bu erda A, a- berilgan suyuqlikni ifodalaydigan o'zgarmas kattaliklar. Qutbli dielektrlar qutbsiz dielektrlardan o'zining katta o'tkazuvchanligi bilan farq qiladi. Suyuq dielektrlarda p-solishtirma qarshilikning qiymati kamayishi bilan, uning singdiruvchanligi keskin ortadi.

IV. BOB

YARIM O'TKAZGICH MATERIALLAR TUZILISHI VA ULARNING XOSSALARI

Qattiq jismlar fizikasi darsliklarida yarimo'tkazgichga $10^{-2} - 10^9 \Omega\text{cm}^1$ diapazondagi elektr qarshilikka ega material sifatida ta'rif beriladi. Taxminan noldan 3 eVgacha energetik taqiqlangan zona kengligidagi material sifatida ham alternativ (muqobil) ta'rif berish mumkin. Metallar va yarimmetallar taqiqlangan zona kengligi nolga teng bo'ladi, 3 eV dan yuqori taqiqlangan zonaga ega materiallar esa izolyatorlar deb ataladi. Mazkur ta'riflarga istisnolar ham mavjud. Masalan, ko'pchilik hollarda yarimo'tkazgichli olmos (taqiqlangan zonasi kengligi 6 eV) va yarim izolyasiyalovchi GaAs (taqiqlangan zonasi kengligi 1,5 eB) materiallar esa izolyatorlar deb ataladi.

Eng keng tarqalgan yarimo'tkazgich materiali sifatida Si elementi hisoblanadi. Germaniy (Ge) bilan birgalikda shunga o'xshash strukturali yarimo'tkazgichlarning katta sinfini hosil qiladi. Si va Ge kristall strukturalari aynan bir xil: olmos va α – qo'rg'oshin kabi (shuningdek, u «kulrang» qalay deb ham ataladi). Bu strukturada har bir atom to'rtta bir-biriga yaqin, tetraedr hosil qiluvchi atom bilan o'ralgan bo'ladi. (Har bir atom to'rt karrali koordinatsiyaga ega). Tetradrik bog'lanishga ega yarim o'tkazgichlar elektron sanoatining asosi va zamonaviy texnologiyaning zamini bo'lib hisoblanadi. Elementlar davriy jadvalining V va VI guruhini ba'zi elementlari, ya'ni fosfor (P), oltin gugurt (S), selen (Se) va tellur (Te) ham yarim o'tkazgichli elementlardir. Bu yarim o'tkazgichlarda atomlar uch karrali (P) yoki ikki karrali koordinatsiyaga ega bo'lishi mumkin. Natijada bunday elementlar bir necha turli xil kristall strukturalarda mavjud bo'lishi hamda shisha shaklida olinishi mumkin. Masalan, Se monoklinli va trigonal kristall strukturalarda shisha shaklida (uni polimer deb ham atash mumkin) o'stiriladi.

Shuningdek, yarim o'tkazgachli xossalarga ega bo'lgan moddalar ham mavjud. Masalan, ko'plab tabiiy minerallar yarimo'tkazgich bo'lib hisoblanadi, bunga yaltiroq rux toshi (ZnS), kuprit (Su₂O), galinet (PbS) va boshqalar misol bo'lishi mumkin. Ilmiy-tadqiqot laboratoriyalarida sintezlash yordamida yarim o'tkazgichlarni birlashtirish orqali ma'lum bo'lgan turli xil materiallar sinfini, ya'ni yarim o'tkazgichlar oilasini yaratish mumkin. Yarimo'tkazgichlar turli xil kristall strukturali kimyoviy birikmalar orasida ham uchraydi. Bu kermniy (Si) va selen (Se) yoki arsenid galliy (GaAs) kabi ikkita birikmali elementlar bo'lishi mumkin. Ko'plab organik birikmalar, masalan, poliatsetilen (CH)_n, yarimo'tkazgich bo'lib hisoblanadi. Ba'zi yarimo'tkazgichlar magnitli (Cd_{1-x}Mn_xTe) yoki segnetoelektrik (SbSi) xususiyatlarni namoyon qiladi. Boshqalari (GeTe va SrTiO₃) yetarlicha legirlanganda o'ta o'tkazgichlarga aylanadi.

3.1. Yarim o'tkazgich materiallar va ularning turlari

Yarim o'tkazgichlarga solishtirma elektr qarshiligi 10^{-5} – 10^8 Om·m ga ega bo'lgan materiallar kiradi. Oddiy yarim o'tkazgichlar: germaniy (Ge), kremniy (Si), selen (Se), tellur (Te), bor (B), uglerod (C), fosfor (P), oltingugurt (S), surma (Sb), mishyak (As), kulrang qalay (Sn), yod (I) va bir qator ximiyaviy birikmalar kiradi. Yarim o'tkazgichlar bir qator o'ziga xos xususiyatlarga ega va shunga ko'ra o'tkazgichlardan keskin farq qiladi: xaroratni katta intervalida ularni solishtirma qarshiligi kamayadi, ya'ni ular solishtirma qarshilikning harorat koeffitsiyenti manfiy bo'ladi; yarim o'tkazgichga aralashmani kichik miqdorda qo'shilsa, ularni solishtirma qarshiligi keskin o'zgaradi; yarim o'tkazgichlar turli turdagi tashqi ta'sirlarga – yorug'lik, yadro nurlanishi, elektr va magnit maydoni, bosim va boshqalarga sezgir bo'ladi.

Yarim o'tkazgich bo'lib, umumiy formulalarga mos keluvchi turli elementlarini birikmalari hisoblanadi:

➤ ikkilangan (binar) birikmalar: A^IB^{VII} (CuCl, AgBr); A^IB^{VI} (Cu₂O, CuS); A^IB^V (KSb, K₃Sb); A^{II}B^{VII} (ZnCl₂, CdCl₂); A^{II}B^{VI} (ZnO, ZnS, CdS); A^{II}B^V (ZnSb, Mg₃Sb₂); A^{II}B^{IV} (Mg₂Sn, CaSi); A^{III}B^{VI} (GaS); A^{III}B^V (GaP, GaAs, InSb); A^{IV}B^{IV}; A^VB^{VI}; A^{VI}B^{VI};

➤ uchlangan birikmalar: $A^I B^{III} B^{VI}_2$ (CuAlS₂, CuInS₂); $A^I B^V B^{VI}_2$; $A^I B^{VIII} B^{VIII}_2$; $A^{IV} B^V B^{VI}_2$;

➤ qattiq eritmalar: GeSi, GaAs_{1-x}P_x va boshqalar.

Xususiy va kirishmali yarim o'tkazgichlar. Metallardagi kabi yarim o'tkazgichdagi tok zaryad tashuvchilarni dreyfi bilan bog'langan. Ammo agar metallarda erkin elektronlarni mavjudligi metallik bog'lanishlarni tabiatiga bog'liq bo'lsa, yarim o'tkazgichlarda zaryad tashuvchilarni paydo bo'lishi bir qator faktorlar bilan aniqlanadi, ulardan eng muhimi bo'lib, yarim o'tkazgichni tozaligi va harorati hisoblanadi. Tozalik darajasiga qarab, yarim o'tkazgichlar xususiy va kirishmalilarga bo'linadi.

Xususiy yarimo'tkazgich - yarimo'tkazgichlar hajmida donorlar va akseptorlar, kirishma atomlari yoki elektroaktiv boshqa nuqsonlar konsentratsiyasi o'ta kam bo'lgan yarimo'tkazgichlarga aytiladi. Xususiy yarimo'tkazgichlarda erkin elektronlar konsentratsiyasi, erkin kovaklar konsentratsiyasiga teng bo'lgan yarimo'tkazgichdir, ($n=p=n_i$).

Bunday yarimo'tkazgichlarda Fermi sathi (F) quyidagicha aniqlanadi:

$$F = -\frac{E_c - E_v}{2} \pm kT \ln \frac{N_v}{N_c} = -\frac{E_g}{2} \pm kT \ln \frac{N_v}{N_c}$$

Xususiy yarimo'tkazgichlar o'tkazuvchanligi tashqi ta'sirga o'ta sezgir bo'lishi bilan, bunday yarimo'tkazgichlar shu turdagi yarimo'tkazgichlar ega bo'lgan eng kichik o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi.

$$\sigma_0 = en_0 \mu_{n0} + ep_0 \mu_{p0}$$

μ_{n0}, μ_{p0} – xususiy yarimo'tkazgichdagi elektron va kovaklar harakatchanligi.

Kirishmali yarimo'tkazgichlar - donor yoki akseptor kirishmalarga ega bo'lgan yarimo'tkazgichlarga aytiladi. Tok tashishda kirishma atomlari elektronlari ishtirok etadi. **Donor** kirishma kiritilgan yarimo'tkazgichlar n – tur-li yarim o'tkazgich deyiladi, **Akseptor** kirishma kiritilgan yarim o'tkazgichlar p – turli

deyiladi. Bunday yarim o'tkazgichlarda tok tashuvchilar konsentratsiyasi kirishma atomlari konsentratsiyasiga bog'liq ravishda o'zgaradi.

Kirishma atomlarining yarim o'tkazgichdagi konsentratsiyasi ularning kiritilgan haroratdagi eruvchanligi bilan aniqlanadi. Odatda n-turli Si olish uchun V guruh elementlari P, As, Sb (asosan P), p-turli Si olish uchun III guruh elementlari – B, Ga, Al (asosan B) ishlatiladi. Bular kremniyga asosan kremniyni o'stirish vaqtida kiritiladi.

n – turli yarimo'tkazgichlar Si uchun **КЭФ** (Кремний электронной фосфора) deb nomlansa;

p – turli yarim o'tkazgichlar Si uchun **КДБ** (Кремний дырочный Бором) deb nomlanadi.

Murakkab yarimo'tkazgichlar - tarkibi uch va undan ortiq kimyoviy element atomlaridan iborat Yarimo'tkazgich materialdir.

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{S}$. Bu yerda x – kirishma atomlarining miqdori bo'lib, $x = 0 \div 1$ o'zgari-shi mumkin. Bunday InAs–GaAs sistemali murakkab yarimo'tkazgichlar panjara parametri, material tarkibidagi (x)ning miqdoriga qarab quyidagicha chiziqli o'zgaradi va shunga mos taqiqlangan zona qiymati ham o'zgaradi.

Solishtirma qarshiligi pastroq bo'lgan yarimo'tkazgichlar olishda ($\rho < 1000$ Om·sm) kirishma atomlari Choxralskiy metodi bilan o'stirilganda kiritilsa, solishtirma qarshiligi katta bo'lgan material olishda ($\rho > 1000$ Om·sm) tigelsiz zonaviy eritish metodi qo'llaniladi.

Eng keng tarqalgan yarim o'tkazgichlarning bir necha turining qisqacha bayonini keltiramiz.

➤ ***Oddiy yarim o'tkazgichlar***

Eng keng tarqalgan yarim o'tkazgich shubhasiz Si elementi hisoblanadi. Germaniy (Ge) bilan birgalikda o'xshash strukturali yarim o'tkazgichlar katta sinfi hosil qiladi. Si va Ge kristall strukturalari aynan bir xil: olmos va α –

qo'rg'oshindek («kulrang» qalay deb ham ataladi). Bu strukturada har bir atom to'rtta bir-biriga yaqin, tetraedr hosil qiluvchi atom bilan o'ralgan bo'ladi. (Har bir atom to'rt kara koordinatsiyaga ega). Tetraedrik bog'lanishga ega yarim o'tkazgichlar elektron sanoatining asosi va zamonaviy texnologiyaning zamini hisoblanadi. Mazkur kitobning katta qismi bu yarim o'tkazgichlarning xossalarini o'rganishga bag'ishlangan. Elementlar davriy jadvalining V va VI guruhining ba'zi elementlari ya'ni fosfor (P), oltin gugurt (S), selen (Se) va tellur (Te) ham yarim o'tkazgichlar hisoblanadi. Bu yarim o'tkazgichlarda atomlar uch karali (P), ikki karali koordinatsiyaga ega bo'lishi mumkin. Natijada bunday elementlar bir necha turli xil kristall strukturalarda mavjud bo'lishi mumkin, hamda shisha shaklida olinishi mumkin. Masalan, Se monoklinli va trigonal kristall strukturalarda yoki shisha shaklida (uni polimer deb ham atash mumkin) o'stiriladi.

➤ ***Binar birikmalar***

Davriy jadvalning III va V guruh elementlaridan (GaAs ga o'xshash) hosil bo'luvchi birikmalarining xossalari IV guruh birikmalarining xossalariga juda o'xshash. IV guruh elementlaridan III – V birikmalarga o'tishda bog'lanish qisman ionli bo'ladi. Ionlilik yarim o'tkazgichlar xossalarida muhim o'zgarishlarga olib keladi. U ionlar o'rtasidagi Kulon o'zaro harakati hamda elektron sohali strukturada fundamental tirqishi energiyasini o'zgartiradi. Ionlilik kattalashadi va uning roli ZnS kabi II - VI birikmalarda ortib boradi. Natijada ko'pchilik II - VI birikmali yarim o'tkazgichlarda taqiqlangan soha kengligi 1 eV dan katta bo'ladi. Tarkibida og'ir element – simob telluridi (Hg) bo'lgan birikmalar bundan mustasno. Simob telluridi (Hg Te)kulrang qurg'oshinga o'xshash tqiqlangan sohali Yarim o'tkazgich xisoblanadi.

Katta taqiqlangan soha kengligidagi II-VI yarim o'tkazgichli birikmalar displey va lazerlar yaratishda, tor ta'qiqlangan sohali II-VI yarim o'tkazgichlar infraqizil priyomniklar tayyorlanishda keng qo'llaniladi. I-VIII (CuCl) guruh birikmalarida ta'qiqlangan soha katta ionlik sababli (>3 eV) dan katta bo'lishi mumkin. Ularning ko'pchiligi yarim o'tkazgich emas, balki izolyator hisoblanadi. Ionlar o'rtasidagi Kulonlar o'zaro harakati tufayli krisstalning ilashshu

energiyasining oshishi tarkibida tetraedrik bog‘lanish emas, balki olti karali koordinatsiyali atomlarga ega tosh tuzi strukturasi hosil bo‘lishi uchun yoqimli sharoit yaratadi. IV va VI guruh elementlaridan hosil bo‘luvchi juft birikmalar, ya’ni qo‘rg‘oshin sulfidi (PbS), PbTe va qalay sulfidi (SnS) ham yarim o‘tkazgichlar hisoblanadi. Bu birikmalarning katta qismi olti karali koordinatsiyaning hosil bo‘lishiga imkon yaratadi. Katta ionligiga qaramay, ular simob xalkogenidlariga o‘xshash juda tor ta’qiqlangan sohalarga ega. Tor sohali yarim o‘tkazgichlar IV-VI infraqizil nurlanish priyomniklari sifatida qo‘llaniladi, GaN, III-V guruh keng sohali birikmasi spektrning havorang sohasini nurlantiruvchi svetodiod va lazerlar uchun ishlatiladi.

➤ ***Qatlamli yarim o‘tkazgichlar***

Qo‘rg‘oshin Iodidi (PbI₂) molibden disulfidi (MoS₂) va galliy selenidi (GaSe) kabi yarim o‘tkazgichli birikmalar o‘zining qatlamli krisstal strukturasi bilan xarakterlanadi. Qatlamlar ichida ular kovalent bog‘lanishlarga ega bo‘lib, van der vaals bog‘lanishlarga nisbatan kuchliroq. Qatlamli yarim o‘tkazgichlarga qiziqish katta, chunki qatlamlardagi elektronlarning harakati kvazi-ikki o‘lchamli hisoblanadi. Bundan tashqari qatlamlar o‘rtasidagi o‘zaro harakatni ularning o‘rtasiga interkalyasiya deb ataluvchi tashqi atomlarni kiritish orqali o‘zgartirish mumkin.

➤ ***Organik yarim o‘tkazgichlar***

Poliatsetilen [(CH₂)_n] va polidiatsetilen kabi ko‘plab organik birikmalar yarim o‘tkazgichlar hisoblanadi. Organik yarim o‘tkazgichlar hech qanday hech qanday elektron asboblarda hozircha qo‘llanilmayapti. Ular kelajakda qo‘llanilishi mumkin. Organik yarim o‘tkazgichlarning noorganik yarim o‘tkazgichlardan afzalligi shundaki, ularni berilgan kerakli xossalar bilan olish oson. Masalan, bog‘liq bog‘lanishlarga ega birikmalar, ya’ni – C = C – C = katta optik nochiziqlik bilan xarakterlanadi, shuning uchun optoelektronikada qo‘llanilishi mumkin. Kerakli hollarda bu birikalarning ta’qiqlangan sohalarni kimyoviy formulasini o‘zgartirish yo‘li bilan noorganik yarim o‘tkazgichlarga nisbatan o‘zgartirish oson C₆₀ (fulleren) kabi uglerodning yangi shakllari yarim o‘tkazgichlar hisoblanadi. Grafit

plastinasidan iborat bir necha nanometr diametrida trubka shaklli uglerodlardan biri nanotrubka sifatida tanish (1,2,3,4). Bu uglerodli nanotrubkalar va ularning «qarindoshlari», BN-nanotrubkalar bilan nanosekund elektronikaga katta kelajak ta'minlanadi. Ular tuzilishiga bog'liq holda metall yoki yarim o'tkazgichlar bo'lishi mumkin.

➤ ***Magnit yarim o'tkazgichlar***

Magnit ionlaridan iborat ko'plab biikmalar, ya'ni yevropiy (Eu) va marganets (Mn) yarim o'tkazgichli va magnit xossalariga ega. Masalan, magnit yarim o'tkazgichlarga EuS va $Cd_{1-x}Mn_xTe$ turidagi qattiq aralashmalar kiradi. Keyingi magnit ionlari tarkibiga ko'ra ferromagnetizm va antiferromagnetizm kabi turli xil magnit xossalarini namoyon qiladi. Tarkibida magnit ionlari katta bo'lmagan konsentiatsiyaga ega yarim o'tkazgichlarning magnit qattiq aralashmalari yarim magnit yarim o'tkazgichlar deb ataladi. Keyingi vaqtda bu qattiq aralashmalar samarali qo'llanilishi bilan e'tiborni tortadi.

Ulardagi faradey aylanishi nomagnit yarim o'tkazgichlarga nisbatan oltita tartibdan katta bo'lishi mumkin. Magnito-optik samaradorligi kuchliligiga ko'ra bu materiallar optik modulyatorlar sifatida qo'llanilishi mumkin. $Mn_{0.7}Ca_{0.3}O_3$ turidagi perovskitlar o'z xossalariga ko'ra magnit maydoniga qat'iy bog'liq bo'lgan metall –yarim o'tkazgich o'tishlaridan yuqori, bu gigant magnit qarshilik hodisasi GMQ ga olib keladi.

➤ ***Boshqa turli xil yarim o'tkazgichlar***

Sanab o'tilgan kategoriyalarga mansub bo'lmagan ko'p yarim o'tkazgichlar mavjud. Masalan, SbSI yarim o'tkazgich hisoblanadi, u past haroratda segneelektrik xossasiga ega. I-III-VI₂ va II-IV-V₂ umumiy formulali (AgGaS₂ va ZnSiP₂ kabi) birikmalar xolkopirit strukturasi kristallanadi. Bu birikmalardagi bog'lanish tetraedrik, ular yiltiroq rux tosh strukturasi ega III-V va II-VI guruh yarim o'tkazgichlarining analoglari deb hisoblash mumkin. V guruh va VI guruh elementlaridan hosil bo'lgan birikmalar Al₂Se₃ formulasi kabi ham kristall shaklida, ham shisha shaklidagi yarim o'tkazgichlar hisoblanadi. Bu o'tkazgichlarning ko'pchiligi qiziq xossalarga ega, lekin qo'llanilishining

cheklanganligi bilan e'tiborni tortmaydi. Ularning mavjudligi yarim o'tkazgichlar fizikasi sohasi o'sish va kengayish uchun katta imkoniyatlarga ega.

Kirishmali yarimo'tkazgich. Kirishmali n-tur yarimo'tkazgich

n – turli yarim-o'tkazgich - yetarli miqdorda donor kirishma kiritilgan va o'tkazuvchanligi kiritilgan donor atomlar miqdori bilan aniqlanadigan materialdir. n – turli yarimo'tkazgichda erkin elektronlar konsentratsiyasi kovklarnikidan juda ko'p bo'ladi. ($n \gg p$)

Bunday materiallarda $T > 100$ K elektronlar konsentratsiyasi kiritilgan donor kirishma atomlari konsentratsiyasiga teng bo'ladi.

$$n_n = N_d^+$$

Kovaklar (p_n) konsentratsiyasi

$$p_n = \frac{(n_i)^2}{n_n}$$

n_i – berilgan haroratdagi xususiy tok tashuvchilar konsentratsiyasi.

O'tkazuvchanlik esa: $\sigma = en_n \mu_n$

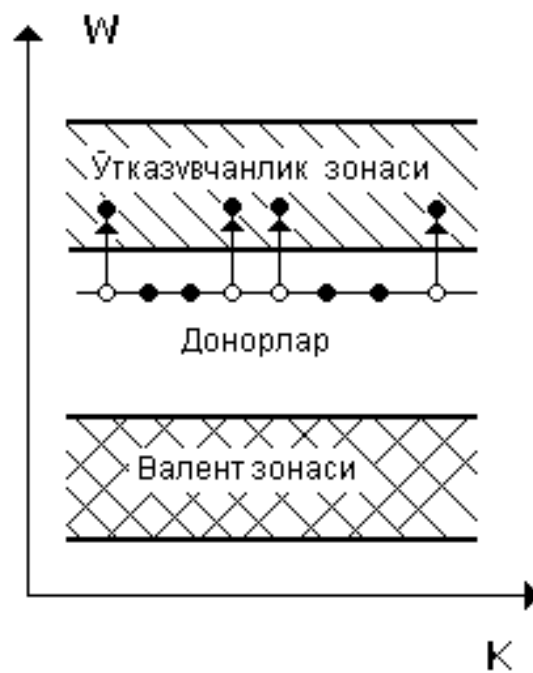
Agar yarimo'tkazgich kristalldagi ayrim atomlar o'zgacha valentlikka ega bo'lgan elementning atomlari bilan almashtirilsa, panjara tuzilishidagi qat'iy tartib buziladi. Kirishmaning mavjudligi tufayli energiyaviy diagrammaning ko'rinishi o'zgaradi. Biroq, agar kirishma miqdori ko'p bo'lmasa, masalan, asosiy atomlar sonining yuz mingdan birini tashkil qilsa, ideal yarimo'tkazgich kristalining energiyaviy diagrammasi deyarli o'zgarmaydi, deb qarash mumkin. Chunki, kirishma atomlarning kiritilishi mavjud zonalar orasida yangi kvant holatlar hosil bo'lishigagina (agar faqat bir turdagi kirishma kiritilsa) olib keladi. Bu holda kirishma atomlari bir-biridan uzoq joylashgani uchun, umumiy holda ular orasidagi o'zaro ta'sirni hisobga olmasdan kirishma tomonidan kiritilgan kvant holatlarni loaqal taqiqlangan zonaning ma'lum joylarida joylashgan energiyaviy holatlar deb qarash mumkin.

Qo‘shimcha energiyaviy sathning asosiy kristall zonalari orasidagi holati kristallning o‘tkazuvchanligiga kirishmalar miqdori juda oz bo‘lganida ham kuchli ta’sir qiladi.

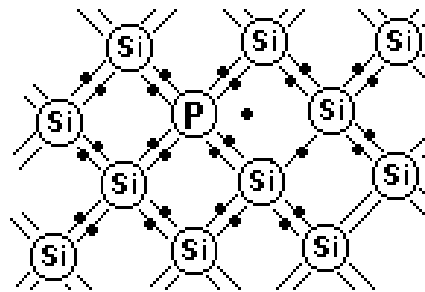
Besh valentli fosfor, margimush va surma kabi elementlar atomlari germaniy va kremniyda o‘tkazuvchanlik zonasiga yaqin joylashgan qo‘shimcha donor sathlar hosil qiladi. Past temperaturalarda kirishmaviy sathlar elektronlar bilan to‘lgan bo‘ladi, ammo yuqori temperaturalarda elektronlar issiqlik harakati tufayli bu sathdan o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tib oladi. Bu holda ular erkin va demak, harakatchan bo‘lib qoladilar hamda kristallning elektrik o‘tkazuvchanligida qatnashadilar.

Bunday sharoitda, o‘tkazuvchanlik elektronlarining soni taxminan kirishma atomlarining soniga teng bo‘ladi, kristallning o‘tkazuvchanligi kirishma konsentratsiyasiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘liq bo‘ladi. 1.15-rasmda n -tur yarimo‘tkazgichda tok hosil qiluvchi harakat-chan zaryad tashuvchilar ko‘rsatilgan.

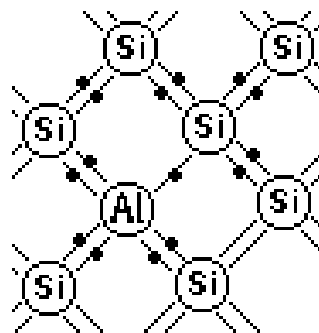
Kremniy kristaliga kiritilgan besh valentli kirishmaviy atom bitta elektronini osongina bo‘shatib, o‘tkazuvchanlik zonasiga berib qo‘yishining fizik-kimyoviy mohiyati quyidagidan iborat: kremniy atomlari to‘rt valentli bo‘lganligidan, kristall panjara



1.15-rasm. n-tur yarimoʻtkazgichda harakatchan zaryad tashuvchilar



1.16a-rasm. Kremniy va besh valentli kirishma atomning kovalent bogʻlanishi



1.16b-rasm. Kremniy va uch valentli kirishma atomning kovalent bogʻlanishi

hosil qilishda to'rttala elektroni vositasida atrofidagi to'rtta atom bilan kovalent bog'lanish (1.2-rasmga q.) hosil qiladi.

Agarda, kristall panjaraning biror tugunidagi kremniy atomini besh valentli kirishma atom bilan (1.16a-rasm) almashtirsak, u holda bu atom to'rtta elektronini atrofidagi atomlar bilan kovalent bog'lanish hosil qilishga beradi. Uning beshinchi valent elektroni kimyoviy bog'lanishda ishtirok etmay, atom bilan zaif bog'langan valent elektronligicha qoladi. Endi bunday elektronga ozginagina issiqlik energiyasi berilsa, u atomdan ajralib, o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi, ya'ni erkin elektronga aylanadi.

Agar donorlar konsentratsiyasi N_d akseptorlar konsentratsiyasidan ancha ko'p bo'lsa, (1.31) tenglamada n_a ni hisobga olmasa ham bo'ladi. Shuningdek, barcha donorlar ionlashgan deb faraz qilish mumkin, chunki xona temperaturasida germaniy va kremniy uchun bimalol shunday deb olsa bo'ladi. Bunga qo'shimcha ravishda valent zonadagi kovaklar konsentratsiyasi o'tkazuvchanlik zonasidagi elektron(asosiy zaryad tashuvchi)lar konsentratsiyasidan ancha kam deb qabul qilsak, (1.31) tenglama:

$$n_n \cong N_d \quad (1.41)$$

ko'rinishni oladi, bu erda, "n"-indeks ushbu kattalik n -tur yarimo'tkazgichga tegishli ekanini ko'rsatadi.

Endi Fermi sathi uchun (1.26) va (1.41) tenglamalardan quyidagi ifodani olamiz:

$$W_{F_n} = W_c - kT \ln \left(\frac{N_c}{N_d} \right) \quad (1.42)$$

n -tur yarimo'tkazgichdagi noasosiy zaryad tashuvchilar-kovaklar konsentratsiyasini topish uchun (1.41) dan olingan kattalikni (1.28) ifodaga qo'yamiz. Natijada quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$p_n = \frac{N_c N_g}{N_d} e^{-(W_c - W_g)/kT} \quad (1.43)$$

Kirishmali p-tur yarimo'tkazgich

Uch valentli galliy yoki bor elementining atomlari germaniy va kremniy kristalida valent zonaga yaqin joylashgan kirishmaviy sath hosil qiladi. Past temperaturalarda kirishmaviy sath elektronlar bilan to'lmagan. Biroq, yuqori temperaturalarda elektronlar issiqlik harakati tufayli uyg'onishi hisobiga yarimo'tkazgich valent zonasidan bu sathga o'tishlari mumkin. Bunda ular qo'zg'almas manfiy zaryadlarga aylanib (chunki bu sathlar ancha chuqur bo'lganligidan ulardan elektronning qaytib chiqishi ancha qiyin) valent zonada harakatchan qo'shimcha kovaklar hosil qiladilar.

"Kovak"-musbat zaryadli erkin zaryad tashuvchi soxta zarra sifatida namoyon bo'ladi. Aslida u, kristall panjarasidagi valent bog'lanishlarda (1.2-rasmdagi bog'lanishlarni ko'z oldingizga keltiring) biror sabab tufayli etishmay qolgan elektronning o'rnidir.

"Kovak"ning mohiyatini tugal tushunib olish muhim bo'lganligi tufayli biz bu haqda batafsilroq to'xtalamiz.

Masalan, kremniy kristall panjarasining 1.2-rasmda keltirilgan beshta atomdan iborat uyachasini olaylik. Bu uyachada valent bog'lanishlarda sakkizta elektron ishtirok etadi. Bu elektronlarning to'rttasi markazdagi atomniki, qolgan to'rttasi atrofdagi qolgan atomlarnikidir. O'sha atrofdagi atomlarning har biri ham o'z navbatida, o'z atrofidagi qolgan uchta atom bilan uchta valent elektroni yordamida valent bog'lanishlar hosil qiladi. Xullas, kremniy kristalidagi atomlarning hamma valent elektronlari valent bog'lanishlarga umumlashgan. Shu bilan birga, har bir atomda elektrik betaraflik saqlanib qoladi, ya'ni odatdagidek atom yadrosidagi musbat zaryad atomdagi elektronlarning yig'indi zaryadi bilan betaraflashganicha qoladi.

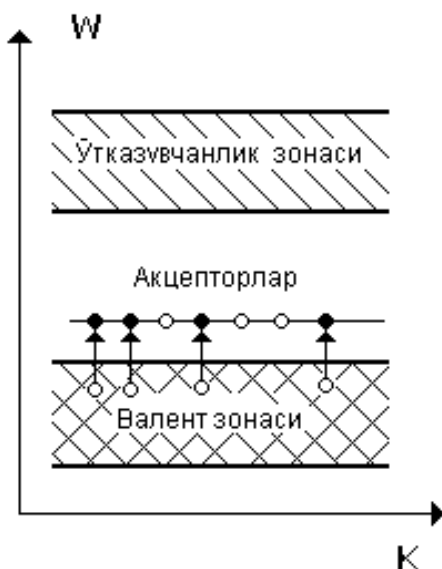
Agarda, biror valent bog‘lanishdagi elektron qandaydir sabab bilan (masalan, issiqlik energiyasi yoki tashqaridan berilgan boshqa energiya hisobiga) shu bog‘lanishdan bo‘shab o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tib ketsa, u holda shu valent elektronini yo‘qotgan atom musbat ionga aylanadi, ya’ni shu atomda bitta musbat zaryad-kovak paydo bo‘ladi. Agar shu bog‘lanishning-kovakning atrofiga birorta elektron kelib qolsa, uni shu kovak ushlab oladi va natijada elektronning bo‘sh joyi-kovak rekombinatsiya yo‘li bilan yo‘qoladi.

Uch valentli kirishma valent zonadan elektron olganligi uchun uni akseptor kirishma deyiladi. Xo‘sh, bu kirishma nima sababdan o‘ziga elektronni olar ekan? Yuqorida aytilganidek, kremniy atomi to‘rt valentli bo‘lganligidan, kristall panjara to‘rtta elektron bilan kovalent bog‘lanish hosil qiladi. Endi uning o‘rniga 3 valentli atom kirsas, to‘la kovalent bog‘lanish hosil qilish uchun unga bitta elektron etishmaydi (1.16b-rasm), ya’ni kovak yuzaga keladi. Endi biror yo‘l bilan bitta elektronni qo‘shib olish imkoniyati tug‘ilishi bilan kirishma atom bu imkoniyatini amalga oshiradi. Bunday elektronlar kristalda berilgan haroratda issiqlik harakatining fluktuatsiyasi hisobiga doimo hosil bo‘lib turadi. Demak, kristallning birlik hajmida unga kiritilgan akseptor atomlarning konsentratsiyasiga mos konsentratsiyada kovaklar mavjud bo‘ladi. Kristall elektrik o‘tkazuvchanligi bu holda asosan kovaklar bilan belgilanganligi uchun bunday yarimo‘tkazgichni *p*-tur yoki kovak yarimo‘tkazgich deb ataydilar. *p*-tur yarimo‘tkazgichda kovaklar asosiy zaryad tashuvchilar, elektronlar esa, noasosiy zaryad tashuvchilardir.

1.17-rasmda *p*-tur yarimo‘tkazgichda tok hosil qiluvchi harakatchan zaryad tashuvchilar ko‘rsatilgan.

n-tur va *p*-tur yarimo‘tkazgichlarda noasosiy zaryad tashuvchilarni hisobga olmasa ham bo‘lar ekan, degan tasavvur paydo bo‘lishi mumkin. Bu mutloqo noto‘g‘ri fikr. Ko‘pchilik yarimo‘tkazgich asboblarning ish jarayonida noasosiy zaryad tashuvchilarning ahamiyati katta. Bu haqda tegishli mavzularda ma’lumotlar beriladi.

1.15- va 1.17-rasmlarda kirishmalar kiritilgan yarimo‘tkazgich (masalan, kremniy)ning energiyaviy diagrammalari ko‘rsatilgan. Shuni aytib qo‘yish joizki, xona temperaturasida taqiqlangan zonaning kengligi germaniy yarimo‘tkazgich uchun 0,67 eV, kremniy uchun esa 1,12 eV ga teng.



1.17-rasm. p-tur yarimo‘tkazgichda harakatchan zaryad tashuvchilar

Agar akseptorlar konsentratsiyasi donorlar konsentratsiyasidan katta bo‘lsa, (1.31) tenglamada N_d va n_d kattaliklarni hisobga olmasa ham bo‘ladi. Shuningdek, barcha akseptorlar valent zonadan elektron olgan, ya’ni $n_a=N_a$ deb qabul qilsak bo‘ladi. Xona temperaturasida shunday holat to‘liq ravishda o‘rinli bo‘ladi. Bunga qo‘shimcha ravishda, valent zonadagi kovaklar konsentratsiyasi o‘tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar konsentratsiyasidan ancha katta deb faraz qilsak, (1.31) tenglama quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$p_p \cong N_a \quad (1.44)$$

bu yerda, "r"-indeks ushbu kattalik r-tur yarimo‘tkazgichga tegishli ekanligini ko‘rsatadi.

Endi (1.28) va (1.44) ifodalar yordamida Fermi sathini aniqlash mumkin:

$$W_{F_p} = W_g + kT \ln \left(\frac{N_g}{N_a} \right) \quad (1.45)$$

(1.45) tenglamadan topilgan W_F ning qiymatini (1.26) ifodaga qo‘ysak, r -tur yarimo‘tkazgichdagi noasosiy zaryad tashuvchilar-elektronlar uchun quyidagi munosabatni olamiz:

$$n_p = \frac{N_c N_g}{N_a} e^{-(W_c - W_g)/kT} \quad (1.46)$$

(1.45) ifodadan ko‘rinishicha, Fermi sathi n -tur yarimo‘tkazgichda valent zonaning shipiga yaqin joylashar ekan.

4.2. Yarim o‘tkazgich materiallarning asosiy xossalari

Yarim o‘tkazgichlar-moddaning ajoyib turi bo‘lib, ular o‘ziga xos xossalari bilan boshqalardan yaqqol ajralib turadi. Umuman olganda, elektr o‘tkazuvchanligiga qarab moddalar uchta katta sinfga: o‘tkazgichlarga (elektr o‘tkazuvchanligi 10^6 dan katta), yarimo‘tkazgichlarga (elektr o‘tkazuvchanligi $10^8 \div 10^6$ oralig‘ida) va dielektriklarga (elektr o‘tkazuvchanligi 10^8 dan kichik) bo‘linadi. Yarimo‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligi juda keng oraliqda yotishi yuqoridagi ma’lumotlardan ko‘rinib turibdi.

Solishtirma elektr o‘tkazuvchanlik - uzunligi va kesim yuzasi bir birlikka teng bo‘lgan silindrsimon o‘tkazgichning elektr o‘tkazuvchanligiga teng kattalik.

U solishtirma elektr qarshiligining tesari qiymatiga teng. Solishtirma o‘tkazuvchanlik σ bilan belgilanadi va uning birligi $[\sigma] = [Om \cdot sm]^{-1}$.

Qattiq jismlarda solishtirma o‘tkazuvchanlik:

$$\sigma = en\mu$$

e – elektron zaryadi ($-1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl), n – elektronlar konsentratsiyasi (sm^{-3}),

μ - elektron harakat-chanligi ($sm^2/V \cdot s$)

Shu bilan birga yarimo‘tkazgichlarning o‘ziga xos muhim xususiyatlaridan biri elektrik o‘tkazuvchanligining ulardagi kirishmalarning turi va konsentratsiyasiga nihoyatda sezgirligidir. Masalan, toza yarimo‘tkazgichga $10^{-7} \div 10^{-10}$ % miqdorda kirishma kiritish bilan uning elektr o‘tkazuvchanligini keskin o‘zgartirish mumkin. Shu bilan birga yarimo‘tkazgichlarning yana bir muhim xususiyati - ular elektr o‘tkazuvchanligining xaroratga o‘ta sezgirligidir. Bunday bog‘lanishni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\sigma = V \cdot \exp(-W_a / kT)$$

bu erda, σ -berilgan T -temperaturadagi elektr o‘tkazuvchanlik, V -o‘zgarmas doimiy, W_a -zaryad tashuvchilarning faollanish energiyasi, k -Bolsman doimiysi, T -temperatura. Chunonchi, yarimo‘tkazgichning temperaturasi $1^{\circ}S$ ga o‘zgarganda uning elektr o‘tkazuvchanligi 5-6% ga o‘zgarishi mumkin. Juda ko‘plab yarimo‘tkazgichlarga va ular asosida yasalgan asboblarga yorug‘lik, ionlovchi nurlar va shu kabilarning ta’sirlari ham elektr o‘tkazuvchanlikning keskin o‘zgarishiga olib keladi. Bunga turli yarimo‘tkazgich detektorlarni, yorug‘lik diodlarini, yorug‘lik rezistorlarini va qator boshqa asboblarni ham misol qilib ko‘rsatish mumkin. Shuni eslatib o‘tish joizki, yarimo‘tkazuvchanlik xossasi faqat qattiq jismlargagina xos bo‘lmay, suyuq holatdagi organik birikmalardan iborat shishasimon, amorf tuzilishga ega bo‘lgan yarimo‘tkazgichlar ham shunday xossalarga egadirlar. Ular o‘zlarining bir qator ma’lum kamchiliklari tufayli hozircha texnikada keng tatbiq qilinganicha yo‘q. Qattiq jismlardan yarimo‘tkazgich xossasiga ega bo‘lgan moddalar qatoriga juda ko‘p turli moddalar, masalan, kremniy, germaniy, bor, olmos, fosfor, oltingugurt, selen, tellur, ko‘pchilik tabiiy minerallar va qator birikmalar: *GaAs*, *GaP*, *InSb*, *SiC*, *ZnS*, *CdTe*, *GaSb* va hokazolar kiradi. Bu yarimo‘tkazgichlar o‘zlarining xilma xil xossalari bilan bir-birlaridan ancha farq qiladilar. Shuning uchun ham turli maqsadlar uchun turli yarimo‘tkazgichlar qo‘llaniladi.

Biroq, hozirgi zamon texnikasida asosan bir necha xil yarimo‘tkazgichlar keng ishlatilmoqda. Bularning ichida eng oldingi o‘rinlarda kremniy (*Si*), germaniy

(Ge), galliy margimushi (GaAs) turadi. Ayniqsa kremniy hozirgi zamon mikroelektronikasida o'zining ko'p xossalari bilan murakkab texnologik talablarga javob berganligi sababli asosiy material o'rnini egallab turibdi.

Elektron texnikasida ishlatiladigan ko'pchilik yarimo'tkazgich materiallar kristall tuzilishga ega. Yarimo'tkazgichning kristall tuzilishi naqadar mukammalligi, unda turli nuqsonlarning bor yoki yo'qligi va ularning miqdori yarimo'tkazgichning asosiy xossalarini belgilab beruvchi omildir. Shu boisdan, qisqa bo'lsa ham asosiy yarimo'tkazgich moddalar - kremniy va germaniyning kristall tuzilishi va uning asosiy xususiyatlari haqida to'xtalib o'tamiz.

Tok tashuvchilarning harakatchanligi – zaryad tashuvchilarning, tashqi bir birlik elektr maydon kuchlanganligi ta'sirida olgan dreyf tezliklariga son qiymati jihatdan teng bo'lgan kattalik bo'lib, u μ harfi bilan ifodalanadi. Elektron va kovaklar harakatchanligi, kristalldagi mavjud nuqsonlar tabiati, ularning konsentratsiyasi, harorat va boshqa ta'sirlarga juda bog'liq bo'ladi. Harakatchanlik yarimo'tkazgich materiallarning asosiy fundamental parametrlaridan biridir. Uning qiymati haroratga, kirishma atomlar konsentratsiyasi va tashqi ta'sirlarga o'ta bog'liqdir.

$$\mu = \frac{V_{dr}}{E}, [\mu] = \frac{sm^2}{V \cdot s}$$

Yarimo'tkazgichlarda elektronlar va kovaklarning harakatchanligi:

$$\mu_n = \frac{e}{m_e^*} \langle \tau \rangle, \quad \mu_p = \frac{e}{m_p^*} \langle \tau \rangle$$

τ – relaksatsiya vaqti.

Harakatchanlik qiymati qancha ko'p bo'lsa, unday yarimo'tkazgich materiallarning elektronikada foydalilik ehtimolligi shuncha ko'p bo'ladi.

Differensial shakldagi Om qonuni:

$$J_n = E\sigma_n = E/\rho_n \quad (44)$$

bunda $\sigma_n = qn\mu_n$ – elektronlar sababli hosil bo'lgan yarim o'tkazgichni solishtirma elektr o'tkazuvchanligi, Sm/m; $\rho = 1/\sigma$ – solishtirma elektr qarshiligi, Om·m.

Xususiy yarim o'tkazgich uchun tokni kovakli tashkil etuvchisini zichligi shunga o'xshash bo'ladi

$$J_p = Eqp\mu_p \quad (45)$$

bunda p – valent sohasidagi kovaklar konsentratsiyasi, m^{-3} ; μ_p – kovaklarning harakatchanligi, $m^2/(V\cdot s)$.

Kovaklar sababli hosil bo'ladigan yarim o'tkazgichning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi

$$\sigma_p = qp\mu_p \quad (46)$$

Xususiy yarim o'tkazgich orqali tok zichligini yig'indisi

$$j = j_n + j_p = (qn\mu_n + qp\mu_p)E \quad (47)$$

Xususiy yarim o'tkazgichning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi

$$\sigma_i = \sigma_n + \sigma_p = qn\mu_n + qp\mu_p = qn_i(\mu_n + \mu_p) \quad (48)$$

Kirishmali yarim o'tkazgichni xona haroratidagi kirishma to'liq ionlashadi va shundan kelib chiqib, o'tkazuvchanlik erkin zaryad tashuvchilarning harakati bilan, elektron va kovaklarni n - va p - turdagi yarim o'tkazgichda tegishli ravishda aniqlanadi

$$\sigma_n = qn_n\mu_n, \quad \sigma_p = qp_p\mu_p \quad (49)$$

bunda n_n va p_p – asosiy zaryad tashuvchi elektron va kovaklarning konsentratsiyasi.

Chunki erkin zaryad tashuvchilarni konsentratsiyasi va harakatchanligi haroratga bog'liq bo'ladi, shunda solishtirma o'tkazuvchanlik ham haroratga bog'liq bo'ladi. Shu vaqtda erkin zaryad tashuvchilarni konsentratsiyasi uchun eksponensial bog'liqlik karakterli hisoblanadi, harakatchanlik uchun esa – darajali. $\Delta W \approx kT$ ga teng bo'lgan xususiy yarim o'tkazgichlar uchun darajali bog'lanish eksponensial bog'lanishdan kuchsizroq, yozish mumkin

$$\sigma_i = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta W}{kT}} \quad (50)$$

bunda ΔW – taqiqlangan sohaning kengligi; k – Boltsman doimiysi; T – absolyut harorat; σ_0 – haroratga bog'liq bo'lmagan ko'paytqich; valentli elektronlarni barchasi o'tkazuvchanlik sohasiga o'tib olganda, u $T = \infty$ da σ ni ifodalashi kerak.

$\sigma(T)$ bog'liqlik grafigini ushbu ifodani logorifmlab, qurish qulay

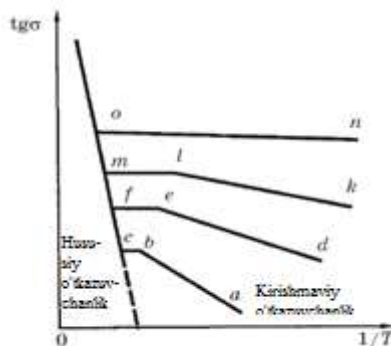
$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \Delta W / kT \quad (51)$$

Kirishmali yarim o'tkazgich uchun elektr o'tkazuvchanlik quyidagiga teng bo'ladi

$$\sigma = \sigma_1 e^{-\frac{\Delta W}{kT}} + \sigma_2 e^{-\frac{\Delta W_a}{kT}} \quad (52)$$

bunda ΔW_a – ionlovchi kirishma energiyasi.

24 – rasmda yarim o'tkazgichni turli kirishma konsentratsiyasiga ega bo'lganini haroratga bog'liqligi ko'rsatilgan.



24 – rasm. Yarim o'tkazgichni turli kirishma konsentratsiyasiga ega bo'lganini haroratga bog'liqligi

Solishtirma o'tkazuvchanlikni yarim o'tkazgichda *harorat* ortishi bilan ortishi, past harorat sohasida zaryadni erkin tashuvchilarini konsentratsiyasini ortishi bilan bog'liq, bunda T kirishmani ionlanishi hisobiga bo'ladi (24 - rasmini *ab, de, kl* bo'laklari).

Egri chiziqni kirishma bo'lagidagi qiyalik kirishma konsentratsiyasiga bog'liq. Kirishmadagi atomlarni konsentratsiyasi ortishi bilan Yarim o'tkazgichda absissalar o'qidagi egri chiziqni og'ishi kamayadi va u yuqoriroqda joylashadi. Bu shu bilan tushuntiriladiki, kirishmali o'tkazuvchanlik sohasidagi to'g'ri chiziqni og'ishi kirishmani ionlashish energiyasi bilan aniqlanadi. Kirishmani

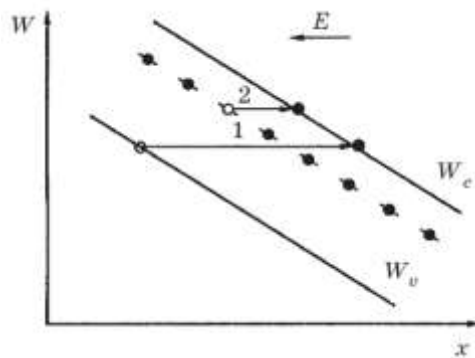
konsentratsiyasi ortishi bilan ionlashtirish energiyasi kamayadi va shunga mos ravishda to'g'ri chiziqni og'ishi kamayadi.

Haroratni ortishi bilan kirishmani tugashi boshlanadi – uni to'liq ionlashuvi. Xususiy elektr o'tkazuvchanlik esa sezilarli namoyon bo'lmaydi. Ushbu sharoitlarda erkin zaryad tashuvchilarni konsentratsiyasi haroratga bog'liq bo'lmaydi va yarim o'tkazgichning solishtirma o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi, zaryad tashuvchilarni harakatchanligini haroratga bog'liqligidan aniqlanadi. Haroratni keyinchalik ortishi natijasida solishtirma o'tkazuvchanlikni keskin ortishi elektr o'tkazuvchanlikni hususiy sohasiga mos keladi.

Kuchli elektr maydonlarida Om qonunini chiziqiligi buziladi $j = \sigma E$. Elektr maydoni kuchlanganligini minimal qiymatidan boshlab tokni kuchlanishga bog'liqligini chiziqli bajarilmagan qismi *kritik* deyiladi. Bu chegara keskin va ma'lum bo'lmaydi va yarim o'tkazgichning tabiatiga, kirishma konsentratsiyasiga, atrof muhit haroratiga bog'liq bo'ladi. Chunki solishtirma o'tkazuvchanlik erkin zaryad tashuvchilarni konsentratsiyasi, ularni harakatchanligi bilan aniqlanadi, qiymatlardan loqal biri elektr maydoni kuchlanganligiga bog'liq bo'lganda, Om qonunining chiziqiligi buziladi.

Agar erkin zaryad tashuvchilarni tezligini absolyut qiymati tashqi maydon ta'sirida ularning o'zaro to'qnashuvini o'rtacha yo'li issiqlik tezligi bilan o'lchamli bo'lsa, zaryad tashuvchilarni harakatchanligi elektr maydoniga bog'liq bo'ladi. Shunda u atrof muhit haroratiga bog'liq ravishda ortishi yoki kamayishi mumkin. Kuchli elektr maydonini ta'siri erkin zaryad tashuvchilarni konsentratsiyasini ancha oshishiga olib keladi.

Tashqi elektr maydoni ta'sirida yarim o'tkazgichdagi E kuchlanganlikda, uning energetik sohasi qiyalik bo'lib qoladi. 25 - rasmda kuchli elektr maydonida yarim o'tkazgichni energetik sohalari ko'rsatilgan.

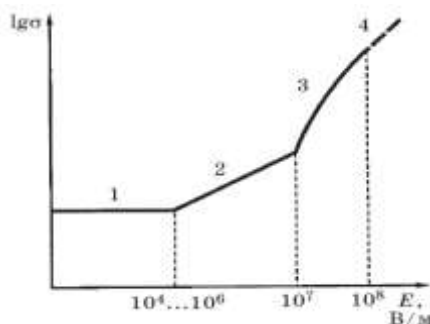


25 – rasm. Kuchli elektr maydonida yarim o'tkazgichni energetik sohalari

Kuchli elektr maydonida sohalar qiyaligida kirishma sathidagi, valent sohasidagi elektronlarni o'tkazuvchanlik sohasiga energiyani o'zgartirmasdan tunnel jarayonida elektronlarni "sizib kirishi" taqiqlangan soha orqali bo'ladi.

Erkin tashuvchilarni konsentratsiyasini oshish mexanizmi kuchli elektr maydoni ta'sirida *elektrostatik ionlashish* deyiladi, u elektr maydon kuchlanganligi taxminan 10^8 V/m bo'lganda sodir bo'lishi mumkin.

26 - rasmda yarim o'tkazgichni o'tkazuvchanligini tashqi elektr maydonini kuchlanganligiga bog'liqligi ko'rsatilgan.



26 – rasm. Yarim o'tkazgichni o'tkazuvchanligini tashqi elektr maydonini kuchlanganligiga bog'liqligi

26 - rasmda 1 bo'lak Om qonunini chiziqililigi bajarilishiga mos keladi; 2 – termoelektrik ionlashishga; 3 – elektrostatik va zarbali ionlashishga; 4 – teshilishga.

Qattiq kristall jismni o'tkazuvchanligi deformatsiyadan o'zgaradi, uning ortishi yoki kamayishi (cho'zilishi yoki siqilishi) atomlararo masofasi va

konsentratsiyani o'zgarishiga, zaryad tashuvchilarni harakatchanligiga olib keladi. Konsentratsiya yarim o'tkazgichni energetik sohalarini kengligini o'zgarishi va kirishmali sathni siljishiga, bu esa zaryad tashuvchilarni energiya faolligini va shundan kelib chiqib, konsentratsiyani ortishi yoki kamayishiga olib keladi. Harakatchanlik atomlarni tebranish amplitudasini ortishi yoki kamayishi, shuningdek, yaqinlashishi yoki uzoqlashishiga o'zgaradi.

Yarim o'tkazgichlarni solishtirma o'tkazuvchanligini deformatsiyani ma'lum ko'rinishida o'zgarishi *tenzo sezuvchanlik* bilan ifodalanadi

$$d_{\rho} = \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta l/l} \quad (53)$$

va u solishtirma qarshilikni nisbiy o'zgarishini berilgan yo'nalishdagi nisbiy deformatsiyasiga nisbatidan iborat bo'ladi.

Yarim o'tkazgichlarda foto o'tkazuvchanlik. Elektronni erkin holatga o'tishi yoki teshikni paydo bo'lishi yorug'lik ta'sirida ham yuz berishi mumkin. Yarim o'tkazgichlarga tushayotgan yorug'lik energiyasi elektronga berilishi mumkin. Shu vaqtda har bir elektronga berilgan energiya yorug'lik tebranishlarini chastotasiga bog'liq bo'ladi va yorug'likni yorqinligiga (yorug'lik kuchiga) bog'liq bo'lmaydi. Yorug'lik nurini yorqinligi ortishi bilan yorug'lik nurini yutuvchi elektronlar soni oshadi, ularni har biri oladigan energiya emas.

Ma'lum yarim o'tkazgichlar uchun chegaraviy to'lqin uzunligi mavjud bo'ladi va kvant energiyasi bilan aniqlanadi va u valent sohasidagi eng yuqori sathdagi elektronni qo'zg'atish va o'tkazuvchanlik sohasini eng past sathiga o'tish uchun yetarli bo'ladi, ya'ni taqiqlangan sohani kengligiga teng bo'ladi. Yarim o'tkazgichning foto o'tkazuvchanligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_{\phi} = q\Delta n\mu_n \quad (54)$$

bunda Δn – yorug'lik nuri bilan yoritilganida yarim o'tkazgichda paydo bo'ladigan qo'shimcha elektronlar soni.

Yorug'lik nuri yordamida ozod qilingan elektronlar o'tkazuvchanlik sohasida juda qisqa vaqt bo'ladi (10^{-3} – 10^{-7} s). Tashqi elektr maydoni bo'lmagan vaqtda ular atomlararo oraliqlarda xoatik ko'chib yuradi. Qachonki kristallga potentsiallar farqi

qo'yilsa, ular elektr o'tkazuvchanlikda ishtirok etadi. Namunani yoritish tugallanganda elektronlar ancha pastroq energetik sathlarga – kirishmali yoki valent sohasiga. Yarim o'tkazgich uzluksiz yoritilganida unda qo'shimcha (muvozanatda bo'lmagan) zaryad tashuvchilar pastki sathga ketayotganlari bilan dinamik muvozanat o'rnatiladi, ya'ni dinamik muvozanat zaryad tashuvchilarni generatsiya jarayoni va ularni rekombinatsiyasi orasida o'rnatiladi.

Yarim o'tkazgichlarda termoelektrik hodisalar. Eng muhim termoelektrik hodisalarga Zeebek, Peltje va Tompson effektlari kiradi.

Zeebek hodisasini mazmuni shundan iboratki, turli yarim o'tkazgichlar yoki yarim o'tkazgich va metallarni ketma – ket ulanishidan iborat elektr zanjirida E.Yu.K. paydo bo'ladi, agar ushbu materiallarni uchlari orasida harorat farqi mavjud bo'lsa. Qaynoq uchdagi erkin zaryad tashuvchilar yuqoriroq energiyaga ega bo'ladi va ularni miqdori sovuq uchdagidan ko'p bo'ladi. Shuning uchun, qaynoq uchdan sovuq uchga oqadigan tashuvchilarni hajmi katta bo'ladi. Natijada yarim o'tkazgichlarida zaryad to'planadi. Termo E.Yu.K.ni ishorasiga ko'ra yarim o'tkazgichni elektr o'tkazuvchanligini baholash mumkin.

Zeebek hodisasiga teskari bo'lgan effekt Peltje effekti deyiladi. U shundan iboratki, ikki turli jinsli yarim o'tkazgichlarni yarim o'tkazgich va metallni kontakti orqali tok o'tkanida issiqlikni yutilishi yoki chiqishi tokni yo'qolishiga bog'liq sodir bo'ladi.

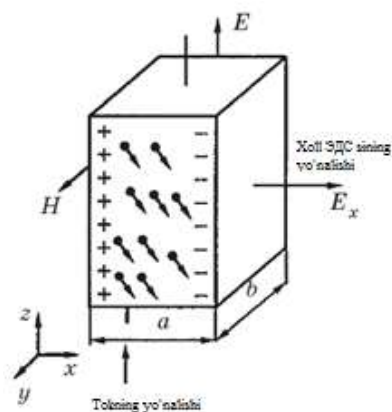
Tompson effekti shundan iboratki, bir jinsli materialdan tok o'tganda issiqlikni chiqishi yoki yutilishi sodir bo'ladi, shunda ularda harorat gradiyenti mavjud bo'ladi. Harorat gradiyentini yarim o'tkazgichda mavjudligi termo E.Yu.K. hosil bo'lishiga olib keladi.

Yarim o'tkazgichlarda galvanomagnit effektlari elektr va magnit maydonlarini ta'sirida yuzaga keladi. Ulardan biri Xoll effekti shundan iborat. Agar yarim o'tkazgich bo'ylab elektr toki oqsa, uni magnit maydoniga tok yo'nalishiga perpendikulyar joylashtirilsa, yarim o'tkazgichda ko'ndalang elektr maydoni paydo bo'ladi va u tok va magnit maydoniga perpendikulyar bo'ladi.

27-rasmda n -turdagi yarim o'tkazgichli plastinka tasvirlangan. Elektr maydoni E z o'qqa parallel yo'nalgan, magnit maydoni esa H y o'qi bo'ylab yo'nalgan. Magnit maydonida harakatlanayotgan elektronga Lorens kuchi ta'sir qiladi va u uni magnit maydoniga perpendikulyar yo'nalishga og'diradi. Natijada, elektronlar namunani yonlaridan biriga to'planadi. Qarama-qarshi qirrada musbat kompensirlanmagan zaryad hosil bo'ladi va donor kirishma ionlaridan iborat bo'ladi. Zaryadlarni bunday to'planishi paydo bo'lgan elektr maydonini ta'siri elektroni ta'sir etayotgan Lorens kuchiga tenglashgunicha davom etadi.

Elektron – kovak o'tish yarim o'tkazgich asboblarni ko'pchilik turilarida asosiy struktura elementi hisoblanadi. U yarim o'tkazgich materialni ikkita sohasi orasidagi turli turdagi o'tkazuvchanlikka ega yoki solishtirma o'tkazuvchanlikni turli qiymatlarida o'tish qatlamidan iborat bo'ladi, shunda sohalardan biri metall bo'lishi mumkin.

Germaniy (Ge) – sinchkovlik bilan o'rganilgan yarim o'tkazgichlardan biri bo'lib, yarim o'tkazgichlar uchun harakterli bo'lgan ko'pchilik hodisalar birinchi bo'lib tajriba yo'li bilan shu materialda topilgan edi.



27 – rasm. n -turdagi yarim o'tkazgichli plastinka

Oldindan tozalangan germaniy quymalaridan dastlabki, material sifatida alohida toza germaniyni sohali eritish usuli yoki bevosita monokristallarni eritmadan tortish yo'li bilan olishda foydalaniladi.

Germaniyni elektr xossalari issiqlikda ishlov berish kuchli ta'sir ko'rsatadi. Agar n -turdagi namunani $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan yuqori haroratgacha qizdirsak va undan keyin keskin sovitsak (chiniqtirsak) shunda elektr o'tkazuvchanlik turi o'zgaradi. Germaniyni p -turdagi o'tkazuvchanligi uchun ham shunga o'xshash issiqlik ishlov berishi o'tkaziladi va u elektr o'tkazuvchanlikni o'zgartirmasdan solishtirma qarshilikni kamayishiga olib keladi. Toblangan namunalarni kuydirish $500\text{...}550\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratlarda nafaqat elektr o'tkazuvchanlik turini, dastlabki solishtirma qarshilikni ham tiklaydi.

Germaniy turli turdagi diodlarni, tranzistorlarni, datchiklarni Xoll E.Yu.K. larini, tenzo datchiklarni tayyorlashda ishlatiladi. Germaniyni optik xususiyatlari ulardan fotodiodlarni va foto tranzistorlarni, yorug'lik nuri modulyatorlarini, optik filtrlarni, shuningdek, yadro zarrachalarini hisoblagichlarini tayyorlashda ishlatish imkonini beradi. Germaniyli asboblarni haroratini ishchi diapazoni -60 dan $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha.

Kremniy (Si) yer po'stida eng ko'p tarqalgan elementlardan biri bo'lib, uni tarkibida kremniy miqdori taxminan 29%. Ammo, erkin holda u tabiatda uchramaydi, ular oksid ko'rinishda faqat birikmalarda va kremniy kislotalarini tuzlarida uchraydi. Tabiiy kremniy oksidlarini kvarts monokristalli ko'rinishda esa ba'zan 99,9% yetadi.

Texnik kremniy taxminan 1% kirishmaga ega bo'ladi va yarim o'tkazgich sifatida ishlatib bo'lmaydi. U Yarim o'tkazgich tozaligidagi kremniyni ishlab chiqarish uchun dastlabki xom material hisoblanadi, uning tarkibida kirishmalar $10^{-6}\%$ dan kam bo'lishi kerak.

Yarim o'tkazgich tozaligidagi kremniyni olish texnologiyasi quyidagi amallardan iborat: texnik kremniyni oson uchuvchi birikmaga aylantirish, u tozalanidan keyin oson qayta tiklanishi mumkin; birikmalar fizik va ximiyaviy yo'l bilan tozalanadi; toza kremniyni ajratish bilan birikmani qayta tiklash; tigelsiz sohali eritish bilan kremniyni yakuniy tozalash; monokristallarni o'stirish.

n - va p -turdagi kremniy kristallari kiritish yo'li bilan mos kirishmalarni o'stirishda olinadi, ularni ichida eng ko'p chinni va bor ishlatiladi.

Kremniy yarim o'tkazgichlar elektronikasini tayanch materiali hisoblanadi. U integral mikrosxemalar hamda diskret yarim o'tkazgich asboblarni tayyorlash uchun foydalaniladi. Yarim o'tkazgichli integral mikrosxemalar kichik o'lchamlari va faol sohalarini murakkab konfiguratsiyasi sababli radiotexnika va hisoblash texnikasida ayniqsa keng foydalanilmoqda. Kremniydan yarim o'tkazgich diodlarni har xil turlari tayyorlanadi: past chastotali (yuqori chastotali), kichik quvvatli (quvvatli), maydon tranzistorlari; stabilitronlar; tiristorlar. Texnikada fotoo'zgartiruvchi kremniyli asboblarni keng qo'llanishga erishdilar: fotodiodlar, fototranzistorlar, quyosh batareyalarini fotoelementlari. Germaniyga o'xshab, kremniydan tayyorlangan Xoll datchiklari, tenzodatchiklar, yadro nurlanishlari detektorlari. Kremniyni taqiqlangan sohasini kengligi germaniyni taqiqlangan sohasidan kengroq bo'lgani uchun kremniyli asboblarni germaniyga qaraganda yuqoriroq haroratlarda ishlashi mumkin. Kremniyli asboblarni ishlash haroratini chegarasi 180... 200 °C ga yetadi.

Selen (Se) – Mendeleev davriy jadvalidagi IV guruh elementi bir qator foydali xossalarga ega. U bir qator allotrop modifikatsiyalarda uchraydi – shishasimon, amorf, monoklin, geksogonal. Seleni tozalash uchun vakuumli rektifikatsiya va ionalmashinuv smola yordamida tozalashdan foydalaniladi. Natijada aralashmalar miqdori 10^{-4} % gacha kamayadi.

Yarim o'tkazgich asboblarni tayyorlash uchun (o'zgaruvchan tok to'g'rilagichlari, fotoelementlarni) kulrang geksogonal kristallik selendan foydalaniladi. Uning taqiqlangan sohasini kengligi 1,79 eV. Bunday selen teshikli o'tkazuvchanlik turiga kiradi. Uning solishtirma qarshiligi taxminan 10^3 Om·m (xona haroratida) selen boshqa yarim o'tkazgichlardan farqli ravishda erkin zaryad tashuvchilarni konsentratsiyasini anomal haroratga bog'liq bo'ladi: u harorat ortishi bilan kamayadi shu vaqtda zaryad tashuvchilarni harakatlanganligi oshadi. Seleni elektr xossalari ko'pchilik tadqiqotchilar tomonidan o'lchangan, ammo olingan ma'lumotlar bir biriga qarama-qarshi.

Yarimo'tkazgichlarda erkin zaryad tashuvchilar. O'tkazuvchanlik elektronlari va kovaklari

Yuqorida ko‘rib o‘tilganidek, mutlaq noldan farqli temperaturalarda elektronlarning issiqlik ta‘sirida uyg‘onishi va ularning valent zonadagi holatdan o‘tkazuvchanlik zonasidagi holatlardan biriga o‘tishi ma‘lum ehtimollikka ega. Xuddi shuningdek, elektron donor aralashma sathidan o‘tkazuvchanlik zonasiga yoki valent zonadan akseptor kirishmasi sathiga o‘tishi ham mumkin (1.15-1.17-rasmlarga qarang).

O‘tkazuvchanlik zonasidagi holatlardan birida turgan elektron o‘zini erkin zaryad tashuvchidek namoyon etadi, zero bu zonadagi holatlar kvaziuzluksiz (deyarli uzluksiz) bo‘lgani uchun, elektronning holati juda kichik elektrik maydon ta‘sirida ham o‘zgarishi mumkin. Bunday elektronlar o‘tkazuvchanlik elektronlari deb ataladi.

Xususiy yarimo‘tkazgich valent zonasidagi elektronlar tizimidan bir nechta o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tib ketsa, bu tizimda elektronlarning vakant (bo‘sh) holatlari yuzaga keladi. Bunday sharoitda yarimo‘tkazgichga tashqi elektrik maydon berilsa, valent elektronlar bu maydonga mos yo‘nalishda ko‘chib shu vakant holatlarga o‘tishlari mumkin. Shunday qilib, tashqi elektrik maydon butun valent elektronlar tizimining holatini o‘zgartiradi, ya‘ni vakant holatlarning ko‘chishini yuzaga keltiradi. Ya‘ni, valent zonada ham o‘ziga xos erkin zaryad tashuvchilar paydo bo‘ladi.

Bunday erkin zaryad tashuvchilarning o‘ziga xos xususiyatlari shundan iboratki, valent zonadan o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tgan elektronlarning soni qancha bo‘lsa, zaryad tashuvchilar soni ham shuncha bo‘ladi. Ikkinchidan, bu erkin zaryad tashuvchilarning zaryadi elektron zaryadiga teng va ishorasi jihatdan unga teskari, ya‘ni musbat ishoralidir. Normal valent elektronlarning to‘la bo‘lmagan tizimi xususiyatini to‘la ravishda ifodalovchi bunday zarralar soni yarimo‘tkazgich valent zonasidagi vakant holatlar soniga tengdir. Bunday kvazizarra o‘tkazuvchanlik kovagi degan nom bilan yuriti-ladi.

Erkin zaryad tashuvchilarning asosiy xossalari

Biz yuqoridagi mavzularda o'tkazuvchanlik elektronlari va kovaklar haqida ko'p to'xtalgan edik. Endi ularning asosiy tavsifnomalari bilan yaqindan tanishaylik.

O'tkazuvchanlik elektronlari bilan kovaklarning zaryadlari miqdoran o'zaro teng, ishora jihatdan esa teskaridir, ya'ni $e_n = -1,6 \cdot 10^{-19} K$ va $e_p = 1,6 \cdot 10^{-19} K$. Ular turli xil samaraviy- m_n va m_p massalarga ega. Ular τ_n va τ_p -o'rtacha yashash vaqtlari davomida mavjud bo'ladilar. Ularning harakati erkin yugurish yo'llari- l_n va l_p , harakatchanliklari μ_n va μ_p , diffuziya yo'li uzunliklari L_n va L_p lar bilan tasiflanadi. O'tkazuvchanlik elektronlari va kovaklarning yarimo'tkazgichdagi konsentratsiyasi temperaturaga, kirishmaviy atomlar konsentratsiyasiga, elektrik maydon kuchlanganligiga, yarimo'tkazgichga ta'sir ko'rsatayotgan yorug'lik yoki boshqa tashqi omillarning jadalligiga bog'liq.

O'tkazuvchanlik elektronlari va kovaklarining samaraviy massalari

Yarimo'tkazgichlarda o'tkazuvchanlik elektronlari va kovaklari biz yuqorida aytib o'tganimizdek, qator o'ziga xos xususiyatlarga ega. Masalan, o'tkazuvchanlik elektronlari zaryad jihatdan vakuumdagi elektronga o'xshash bo'lishiga qaramasdan massa jihatdan undan tubdan farq kiladi. Masalan, o'tkazuvchanlik elektronlari uchun samaraviy massa m_n -tushunchasi kiritilib, u kattalik jihatdan turli yarimo'tkazgichlar uchun turli qiymatlarga ega. Chunonchi, kremniyda $m_n=0,26m_0$, germaniyda esa $m_n=0,12m_0$. Xuddi shuningdek kovaklar uchun ham samaraviy massa m_p -tushunchasi mavjud. Kremniy uchun $m_p=0,38m_0$, germaniy uchun esa $m_p=0,25m_0$. O'tkazuvchanlik elektronlari va kovaklari massasining bunday namoyon bo'lishiga, yarimo'tkazgichda o'tkazuvchanlik elektronlarining vakuumdagi erkin elektronlardan farqli ravishda kristall panjarani tashkil qiluvchi atomlar va ularning elektronlarining murakkab elektrik maydonlar ta'sirida harakat qilishlari sababdir. Ushbu maydonlar bir sharoitda elektronlar harakatiga to'sqinlik qilsa, (bunda elektron og'irroq zarra sifatida namoyon bo'ladi), ikkinchi sharoitda ularning harakatini tezlashtiradi (bu xolda elektron

engilroq zarra sifatida namoyon bo‘ladi). Undan tashqari anizotropik kristallarda m_n va m_p samaraviy massalar kristallografik yo‘nalishlarga ham bog‘liq bo‘ladi. Samaraviy massa haqidagi masala bilan chuqurroq tanishmoqchi bo‘lgan o‘quvchiga qo‘shimcha adabiyotga murojaat qilishni tavsiya etamiz.

Erkin zaryad tashuvchilarning yashash vaqti

Yarimo‘tkazgichda berilgan temperaturada, muvozanat holatda ma’lum konsentratsiyada erkin elektronlar va erkin kovaklar mavjud ekanligi bizga yuqoridan ma’lum. Bunday konsentratsiyalar muvozanatdagi konsentratsiyalar deb ataladi va mos ravishda n_0 va p_0 harflari bilan belgilanadi. Yarimo‘tkazgichda muvozanat sharoitida vaqt birligi ichida ma’lum miqdorda elektron va kovak juftlari hosil bo‘lib (generatsiyalanib) tursa, ikkinchi tomondan shuncha juft rekombinatsiyalanib turadi:

$$r_0 = g_0 \quad (1.6)$$

bu yerda, r_0 va g_0 muvozanat holatidagi rekombinatsiya va generatsiya tezliklari. Shuning uchun ham n_0 va p_0 lar berilgan temperatura uchun o‘zgarmaydi.

Vaqt birligi ichida rekombinatsiyalanuvchi zaryadlar juftining soni ularning konsentratsiyasiga mutanosibdir:

$$r_0 = \gamma_r n_0 p_0 \quad (1.7)$$

bu yerda, γ_r - rekombinatsiya doimiysi deyiladi.

Erkin elektron va kovak hosil bo‘lishi va ularning qaytib rekombinatsiyalanishi hodisalari orasida ma’lum vaqt o‘tadi. Bu vaqt qarama-qarshi zaryadli zarralarning bir-biri bilan uchrashish ehtimolligiga, rekombinatsiya vaqtida ajralib chiqqan energiyani socha olish imkoniyatiga va boshqa sharoitlarga bog‘liq. Zarraning erkin holatda mavjud bo‘lish o‘rtacha vaqti uning yashash vaqti de-yiladi.

Biz Yuqorida γp_0 -elektronning, γn_0 -esa, kovakning rekombi-natsiyalanish ehtimolligi ekanligini ko'rsatdik. Ularning yashash vaqtlari esa ushbu ehtimolliklarning teskari qiymatlarining o'z-ginasidir:

$$\tau_n = \frac{1}{\gamma_r p_0} \quad (1.8)$$

elektron va

$$\tau_p = \frac{1}{\gamma_r n_0} \quad (1.9)$$

kovak uchun.

Mos ravishda ushbu ifodalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$\tau_n = \frac{n_0}{r_0} \quad (1.10)$$

elektron va

$$\tau_p = \frac{p_0}{r_0} \quad (1.11)$$

kovak uchun.

Yuqoridagi ifodalar muvozanat holati uchun o'rinlidir. Agar, yarimo'tkazgich tashqi ta'sirga uchrasa, masalan, yorug'lik bilan yoritilsa, keskin qizdirilsa, zarralar bilan urilsa, uning hajmida jadallik bilan zaryad tashuvchilar hosil bo'la boshlaydi - muvozanat buziladi. Bunday sharoitda nomuvozanat holat yuzaga keladi.

Bu hol uchun nomuvozanat zaryad tashuvchilarning yashash vaqti:

$$\tau = \frac{1}{\frac{1}{\tau_n} + \frac{1}{\tau_p}} \quad (1.12)$$

Ushbu jarayonda nomuvozanat zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi vaqtga qarab:

$$\Delta n = \Delta n(c)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1.13)$$

qonuniyat bilan o'zgaradi. Bu erda, $\Delta n(c)$ -zaryad tashuvchilarning tashqi ta'sir to'xtagan paytdagi nomuvozanat konsentratsiyasi.

Erkin zaryad tashuvchilarning harakatchanligi

Xarakat tezligini deyarli yo'qotgan elektron E elektrik maydon ta'sirida Δv qo'shimcha tezlik olsa, u holda elektronning maydon bo'ylab harakatidagi o'rtacha tezligi:

$$\bar{g} = \frac{\Delta \bar{g}}{2} = \frac{e}{2m_n} \cdot \frac{l_n}{g_0} E = \mu_n E \quad (1.16)$$

$$\text{bu erda, } \mu_n = \frac{e}{2m_n} \cdot \frac{l_n}{g_0} = \frac{\bar{g}}{E} \quad (1.17)$$

elektronning harakatchanligi deyiladi. Ya'ni, elektronning kuchlanganlik kattaligi 1 V/sm bo'lgan maydonda olgan tezligi elektronning harakatchanligi deb ataladi. Bu ifodadan ko'rinishicha, erkin zaryad tashuvchining harakatchanligi uning samaraviy massasiga teskari mutanosib bo'lib, o'lchov birligi $\text{sm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ga teng.

Xuddi yuqoridagidek, kovak uchun ham harakatchanlik ifodasini yozishimiz mumkin:

$$\mu_p = \frac{e}{2m_p} \cdot \frac{l_p}{g_0} \quad (1.18)$$

Erkin zaryad tashuvchilarning harakatchanligi kristall panjaraning xossalriga, unda kirishmalarning bor yoki yo'qligi va temperaturaga bog'liqdir.

Xona temperaturasida elektronlarning harakatchanligi kremniyda $1350 \text{ sm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, germaniyda esa $3900 \text{ sm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ga teng. Temperatura ortishi bilan kristall panjaradagi atomlarning issiqlik tebranishlari ko‘payishi tufayli elektronlarning sochilishi ham kuchayadi, harakatchanligi esa kamayadi.

Tajribadan quyidagi munosabatlar topilgan:

$$\mu_n = 5,5 \cdot 10^6 T^{-(1,5+2,5)} \text{ cm}^2 \cdot B^{-1} \cdot c^{-1}, \text{ kremniy uchun,}$$

$$\mu_n = 3,5 \cdot 10^7 T^{-1,6} \text{ cm}^2 \cdot B^{-1} \cdot c^{-1}, \text{ germaniy uchun.}$$

Kirishmalar konsentratsiyasi u qadar yuqori bo‘lmaganda, ($10^{15} - 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ atrofida) ular harakatchanlikka sezilarli ta‘sir ko‘rsatmaydi. Bundan yuqoriroq konsentratsiyalarda esa, kirishmalar harakatchanlikni susaytiradi. Kovaklarga kelsak, ularning xona temperaturasidagi harakatchanligi kremniyda $430 \text{ sm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, germaniyda esa $1900 \text{ sm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Temperatura ortishi bilan kovaklar harakatchanligi elektronlarnikiga qaraganda keskinroq kamayadi:

$$\mu_p = 2,4 \cdot T^{-(2,3+2,7)} \text{ cm}^2 \cdot B^{-1} \cdot c^{-1}, \text{ kremniy uchun,}$$

$$\mu_p = 9,1 \cdot 10^8 T^{-2,3} \text{ cm}^2 \cdot B^{-1} \cdot c^{-1}, \text{ germaniy uchun.}$$

Hozirgi zamon texnikasida ishlatiladigan yarimo‘tkazgichlar orasida erkin zaryad tashuvchilarining harakatchanligi eng yuqori bo‘lganlari bu-GaAs va JnSb kristallaridir. Ularda elektronlarning harakatchanligi $9 \cdot 10^5 \text{ sm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ gacha boradi.

Yarimo‘tkazgichlarda erkin zaryad tashuvchilar statistikasiga oid ba’zi masalalar

Oldingi mavzularda biz umumiy holda qanday yo‘l bilan xona temperaturasida o‘tkazuvchanlik, shuningdek valent zonalarda elektronlar bilan kovaklar paydo bo‘lishini ko‘rib chiqdik. Yarimo‘tkazgich orqali o‘tayotgan elektrik tokining zichligi va shu yarimo‘tkazgichga berilgan kuchlanish orasidagi

bogʻlanishni topish uchun berilgan sharoitdagi elektronlar bilan kovaklar konsentratsiyasini bilish zarur.

Elektronlar va kovaklar konsentratsiyasining tegishli miqdoriy ifodasini topish uchun isbotsiz ikki qoidani qabul qilamiz. Bulardan birinchisi, statistik fizikaga oid Fermi-Dirak taqsimoti funksiyasi boʻlib, u har qanday alohida energiyaviy sathning elektron bilan toʻlish ehtimolligini koʻrsatadi. Kvant mexanikasidan olingan ikkinchi qoida esa, maʼlum energiyaviy oraliqdagi kvant holatlar zichligini aniqlaydi.

Keyingi paragrafda biz oʻtkazuvchanlik zonasidagi va kirishmaviy sathlardagi elektronlar zichligi, shuningdek, valent zonadagi kovaklar zichligini Fermi sathi orqali ifodalanuvchi munosabatlarni topamiz.

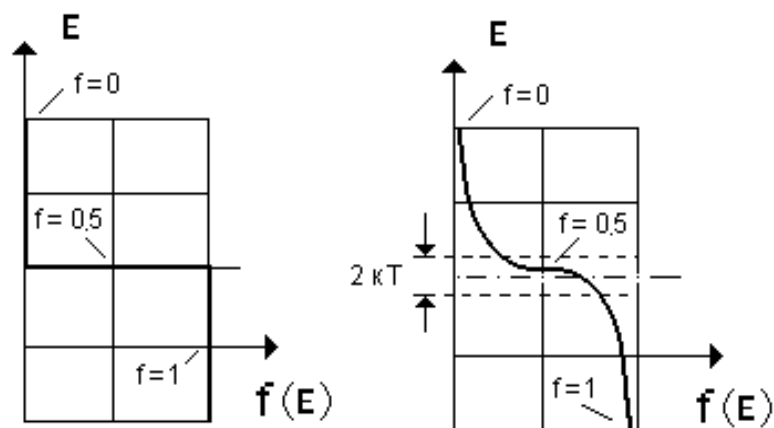
Fermi-Dirak taqsimoti

Yuqorida (1.4 da) eslatib oʻtilganidek, mutlaq nol temperaturada kristalldagi barcha kvant holatlar maʼlum bir sathgacha elektronlar bilan egallangan va bu sathdan yuqoridagi barcha holatlar boʻsh (elektronlar tomonidan egallanmagan) boʻladi. Biroq yuqoriroq temperaturalarda baʼzi bir elektronlar yuqori sathlarga oʻtib ularni egallashi uchun etarli energiyaga ega boʻlib qolishlari mumkin.

Fermi-Dirak taqsimot funksiyasi energiyasi W boʻlgan sathning elektron bilan egallangan boʻlish ehtimolligini aniqlaydi:

$$f(W) = \frac{1}{1 + e^{\frac{W - W_F}{kT}}} \quad (1.19)$$

Bu erda, k -Bolsman doimiysi, T -mutlaq temperatura.



1.18-rasm. Fermi-Dirak taqsimot funksiyasi

W_F -energiyaviy sath Fermi sathi deb ataladi. Bu shunday sathki, uning elektron bilan to'lish ehtimolligi $1/2$ ga teng, chunki (1.19) ifodaga ko'ra, agar $W=W_F$ bo'lsa, $f=1/2$ ga teng. (1.19) ifodaga (1.10-rasm) asosan $0 K$ da Fermi sathi elektron bilan egallangan holatlarni elektron bilan egallanmagan holatlardan ajratuvchi sathdir. Yuqori temperaturalarda Fermi sathi elektron bilan ko'proq egallangan holatlarni kamroq egallangan holatlardan aj-ratib turadi. Taqsimot funksiyasi Fermi sathiga nisbatan simmetrik ekanligiga ishonch hosil qilish (1.18-rasm) qiyin emas.

Xususiyy yarimo'tkazgichda kovaklar soni elektronlar soniga teng bo'lganligi va taqsimot funksiyasining simmetrikligi sababli Fermi sathi taqiqlangan zonaning deyarli o'rtasida yotadi.

Kirishmali yarimo'tkazgichda akseptor yoki donor kirishmadan qaysi biri ko'p bo'lishiga qarab, Fermi sathi yo valent zonaga yoki o'tkazuvchanlik zonasiga yaqin yotadi. Masalan, agar yarimo'tkazgichda donor kirishma ko'p bo'lsa-Fermi sathi o'tkazuvchanlik zonasiga yaqinroq; agar akseptor kirishma ko'p bo'lsa-valent zonasiga yaqinroq yotadi.

Fermi-Dirak taqsimoti faqat ma'lum energiyaviy sathning elektron bilan egallanganligi ehtimolini ko'rsatishini eslatib o'tamiz.

Dinamik muvozanat holatida elektron va kovaklar issiqlikdan uyg'onish natijasida uzluksiz ravishda hosil bo'lib turadi. Shu bilan birga teskari jarayon-

erkin zaryad tashuvchilarning rekombi-natsiyalanib yo‘qolishi ham uzluksiz ravishda sodir bo‘lib turadi. Shu sababdan taqsimot funksiyasi elektronlar energiyasining vaqt bo‘yicha o‘rtacha taqsimotini ko‘rsatadi.

Erkin zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasini aniqlash

1.7 ga asosan kirishma kiritish tufayli vujudga kelgan qo‘shimcha kvant holatlarni, alohida diskret energiyaviy sathlar sifatida qarash mumkin. 1.15 va 1.17-rasmlarda bu sathlar ΔW_d va ΔW_a lar bilan belgilangan. ΔW_d energiyaviy kvant holatlarining soni kristallga kiritilgan donor atomlar soniga teng yoki agar 1 sm^3 hajmli kristalda, ΔW_d sathdagi kvant holatlarning zichligi donor atomlari konsentratsiyasi $N_d, \text{ sm}^{-3}$ ga teng bo‘ladi.

Donor kirishma atomlarining ba‘zilari ionlashgan bo‘lishi, ya’ni ΔW_d energiyaviy sahtdagi elektronlarning ba‘zilari issiq-likdan uyg‘onishi tufayli o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tgan bo‘lishi mumkin. Agar n_d elektronlar ΔW_d energiyaviy sathdagi o‘z kvant ho-latlarini saqlab qolsalar, ya’ni donor atomlarining n_d/N_d qismi ionlashmagan holda qolsa, elektronlar konsentratsiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$n_d = \frac{N_d}{1 + e^{(\Delta W_d - W_F)/kT}} \quad (1.20)$$

(1.20) tenglama ΔW_d energiyaviy sathdagi donor holatlaridagi elektronlar konsentratsiyasini Fermi sathi va temperatura bilan bog‘laydi.

Xona temperaturasida germaniy va kremniy kristali uchun Fermi sathi odatda ΔW_d energiyaviy sathdan bir necha kT qadar pastda joylashadi va shuning uchun $\left[(\Delta W_d - W_F)/kT \right] \gg 1$ bo‘ladi. Shu sababli mahrajdagi 1 soni hisobga olinmasa (1.20) ifoda quyidagicha ko‘rinishda yozilishi mumkin:

$$n_d = N_d e^{-(\Delta W_d - W_F)/kT} \quad (1.21)$$

(1.21) tenglama donor sathdagi elektron bilan egallangan holatlar konsentratsiyasini donor kirishmaning konsentratsiyasi- N_d , Fermi sathi- W_F va mutlaq temperatura- T bilan bog'laydi.

Xuddi shu tarzda issiqlikdan uyg'onishi tufayli valent zonadan ΔW_a sathdagi akseptor holatga o'tgan elektronlar konsentratsiyasi n_a Fermi sathi W_F va mutlaq temperatura T orqali quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$n_a = \frac{N_a}{1 + e^{(\Delta W_a - W_F) / kT}} \quad (1.22)$$

bu yerda, N_a -akseptor atomlarning konsentratsiyasi.

O'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar konsentratsiyasini topish nisbatan murakkabroq masaladir. O'tkazuvchanlik zonasidagi kvant holatlar bu zonaning tubi W_s dan taqiqlangan zonaning qoq o'rtasi- $W_{1/2}$ qadar energiyaviy oraliqda joylashgan bo'ladi va berilgan holatning egallanganlik ehtimolligi bir holatdan boshqa holatga o'tganda o'zgarib turadi.

Bu masalani echish uchun isbotsiz qabul etilgan qoidalarning ikkinchisidan foydalanamiz: o'tkazuvchanlik zonasidagi W energiyaviy sath atrofidagi dW energiyaviy oraliqdagi kvant holatlar zichligi $g(W)dW$ quyidagicha munosabat bilan ifodalanadi:

$$g(W)dW = \frac{8\pi(2m_n^3)^{\frac{1}{2}}}{h^3} \quad (1.23)$$

bu yerda, m_n -elektronning samaraviy massasi, h -Plank doimiysi.

(1.23) tenglama o'tkazuvchanlik zonasining pastki qismi uchun o'rinlidir. Biroq ko'pchilik elektronlar bu zonaning tubiga yaqin joylashgani uchun undan etarli darajada aniqlik bilan foydalanish mumkin.

(1.19) va (1.23) tenglamalardan foydalanib, o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar zichligini aniqlash mumkin:

$$n = \int_{W_c}^{W_2} f(W)g(W)dW = \frac{8\pi(2m_n^3)^{\frac{1}{2}}}{h^3} \int_{W_c}^{W_2} \frac{(W - W_c)^{\frac{1}{2}} dW}{e^{(W-W_c)/kT} + 1} \quad (1.24)$$

Agar xona temperaturasida $W_s - W_F$ energiyaviy oraliq bir necha kT ga tengligini va W ning o'sishi bilan integral tez sur'at bilan kamayishini (chunki ko'pchilik elektronlar yuqorida qayd etilganidek o'tkazuvchanlik zonasining tubiga yaqin joylashgan bo'ladi) hisobga olsak, (1.24) ifodani soddalashtirish va quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$n = \frac{8\pi(2m_n^3)^{\frac{1}{2}}}{h^3} \int_{W_c}^{\infty} (W - W_c)^{\frac{1}{2}} e^{-(W-W_c)/kT} dW \quad (1.25)$$

Bu integralni echish o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar konsentratsiyasi uchun quyidagi ifodani beradi:

$$n = N_c e^{-(W_c - W_F)/kT} \quad (1.26)$$

bu yerda,

$$N_c = 2 \left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (1.27)$$

N_s - o'tkazuvchanlik zonasidagi holatlarning samaraviy zichligi deb ataladi. U har bir yarimo'tkazgich uchun aniq qiymatga egadir.

(1.26) ifoda o'tkazuvchanlik zonasidagi erkin elektronlar konsentratsiyasini $W_s - W_F$ energiyaviy oraliq va mutlaq temperatura T bilan bog'laydi. Xona temperaturasida germaniy uchun $W_s \cong 5 \cdot 10^{-19} \text{ sm}^{-3}$, kremniyda esa $W_s \cong 2,82 \cdot 10^{-19} \text{ sm}^{-3}$.

Yuqoridagiga o'xshash usul bilan valent zonadagi kovaklar konsentratsiyasi, Fermi sathi va temperatura orasidagi bog'lanishni topish mumkin:

$$p = N_g e^{-(W_F - W_a)/kT} \quad (1.28)$$

bu yerda, N_v - valent zona yuqori chegarasi(shipi)ning energiyasi.

$$N_g = 2 \left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (1.29)$$

m_p -valent zonadagi kovaklarning samaraviy massasi, W_v -valent zo-nadagi holatlarning samaraviy zichligi deyiladi. Bu kattalik ham har bir yarimo'tkazgich uchun ma'lum qiymatga ega. Masalan, xona tem-peraturasida germaniy uchun $W_v \cong 6,1 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$, kremniy uchun esa $W_v \cong 1,02 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$. Erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi n va p larning ko'paytmasi Fermi sathining holatiga, ya'ni kirishmalar kon-sentratsiyasiga bog'liq emasligiga e'tiborni jalb qilmoqchimiz:

$$np = N_c N_g e^{-(W_c - W_g)/kT} = \text{const} \quad (1.30)$$

U yoki bu kirishma yarimo'tkazgichdagi elektronlar konsentratsiyasini oshirsa, u mos ravishda kovaklar konsentratsiyasini shuncha marta kamaytirishi va aksincha, kovaklar konsentratsiyasini oshirsa, elektronlar konsentratsiyasini shuncha marta kamaytirishi ushbu ifodadan ko'rinib turibdi.

Yarimo'tkazgichning elektrik o'tkazuvchanligi

Yarimo'tkazgichda zaryadlar o'tkazuvchanlik elektron va kovaklar ko'rinishida ko'chadi. Buni nazarda tutsak, yarimo'tkazgich kristalidan o'tgan tokning zichligi uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\vec{j} = e \left(p \vec{\mathcal{G}}_{\partial p, p} - n \vec{\mathcal{G}}_{\partial p, p} \right) = e (p \mu_p + n |\mu_n|) \vec{E} \quad (1.47)$$

bu erda, $\vec{\mathcal{G}}_{\partial p, p}$ va $\vec{\mathcal{G}}_{\partial p, p}$ mos ravishda kovak va elektronlarning maydon ta'sirida olgan tezliklari.

Ushbu ifodani differensial ko‘rinishda yozilgan Om qonuni

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

bilan solishtirib, yarimo‘tkazgichning solishtirma elektr o‘tkazuvchanligi uchun quyidagi munosabatni topamiz:

$$\sigma = e(p\mu_p + n|\mu_n|) \quad (1.48)$$

n -tur yarimo‘tkazgichda $p \gg n$ bo‘lgani uchun

$$\sigma_n = en\mu_n \quad (1.49)$$

p -tur yarimo‘tkazgichda $n \gg p$ bo‘lgani uchun

$$\sigma_p = ep\mu_p \quad (1.50)$$

bo‘ladi.

(1.47) ifodaning chap va o‘ng tomonlarini yarimo‘tkazgichning ko‘ndalang yuzasi S ga ko‘paytirib va $E = \frac{U}{d}$, $R = \frac{1}{\sigma} \frac{d}{S}$ ekanligini nazarda tutib, bir jinsli yarimo‘tkazgichning volt-amper tavsifnomasi uchun quyidagi munosabatni olamiz:

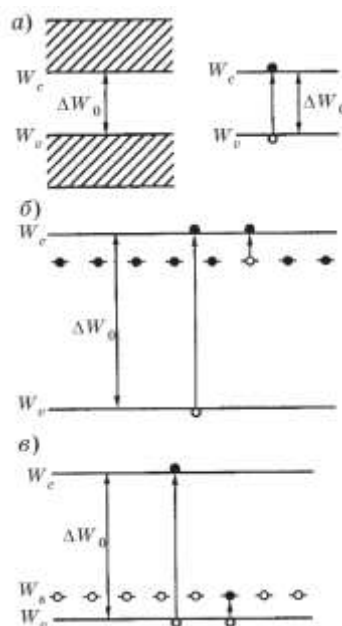
$$I = \frac{U}{R} \quad (1.51)$$

ya’ni, omik tutashuvli bir jinsli yarimo‘tkazgichdan o‘tuvchi tok kuchi kuchlanishga bog‘liq ravishda chizig‘iy qonun bilan o‘zgaradi.

Har bir atom o‘zining tashqi qobiqlarida to‘rtta elektronga ega bo‘ladi. Bu elektronlarni har biri qo‘shni atomni elektroni bilan juftlik hosil qiladi va kovalent bog‘lanishni hosil qiladi. Harorat ortishi bilan bir xil elektronlar kovalent bog‘ni uzib o‘tkazuvchanlik sohasiga o‘tadi (23, a - rasm).

Xususiylar yarim o‘tkazgichni kristallidagi har bir elektroniga o‘tkazuvchanlik sohasida u tomonidan valent sohasida qoldirilgan bitta kovak mos keladi. Ushbu holatda erkin elektron taqiqlangan sohadagi kenglik energiyasi qiymatiga ko‘ra

kattaroq energiyaga ega bo'ladi. Chunki qo'zg'alishni har bir aktida xususiy yarim o'tkazgichda qarama-qarshi ishorali ikkita zaryad tashuvchi bir vaqtni o'zida yaratiladi, ularni zaryad tashuvchilardagi umumiy miqdorida o'tkazuvchanlik sohasidagi elektronlar sonidan ikki marta katta bo'ladi. Kristallga qo'yilgan tashqi elektr maydonida erkin elektronlar maydonga qarshi harakatlanadi (manfiy zaryad hisobiga) kovaklar esa tok yo'nalishida. Ammo elektronlar – qarama-qarshi yo'nalishda ham harakatlansa, odatiy tokni hosil qiladi va uning yo'nalishi qo'yilgan tashqi maydonnikiga mos keladi. Shundan kelib chiqadiki, elektron va kovakli toklar bir tomonga oqqanligi uchun ular qo'shiladi.



23 – rasm. Harorat ortishi bilan elektronlarning kovalent bog'ni uzib o'tkazuvchanlik sohasiga o'tishi

Ko'pchilik yarim o'tkazgich asboblarda kirishmali yarim o'tkazgichlardan foydalaniladi. Kirishmaga ega bo'lgan yarim o'tkazgich *kirishmali* deyiladi, kiritilgan kirishma sababli hosil qilingan o'tkazuvchanlik *kirishmali o'tkazuvchanlik* deyiladi.

Agar Mendeleev jadvalidagi IV guruh yarim o'tkazgich tarkibiga kirishma sifatida mishyak kiritilsa, kirishma atomiga kovalent bog'lanishlarni yakunlanishi uchun asosiy modda atomlari bilan to'rta valent elektroni kerak. Atomni

kirishmasida beshinchi elektron kovalent bog'lanishda ishtirok etmaydi. O'z atomi bilan Kulon ta'sir kuchi bilan bog'langan. Bu bog'lanishni energiyasi katta emas (elektron-voltni bir hissasi). Chunki xona haroratida issiqlik energiyasi $kT = 0,026$ eV, shundan ko'rinib turibdiki, xona haroratida mishyakni kirishma atomlarida ionlanish sodir bo'ladi, buni oqibatida beshinchi valent elektroni uziladi va erkin elektron bo'lib qoladi.

Kirishmada ionlanish bilan bir qatorda asosiy moddani atomlarini ham ionlanishi sodir bo'ladi. Ammo ancha katta xususiy o'tkazuvchanlikka ega haroratdan past haroratlar sohasida bo'lganda, kirishmadan uzib olingan elektronlar soni kovalent bog'lanishlardan uzib olingan elektronlar va kovaklar sonidan ancha katta bo'ladi. Bundan kelib chiqadiki, kristallda o'tkazuvchanlikni ancha qismini elektronlar hosil qiladi, shuning uchun, ular *asosiy* zaryad tashuvchilar, kovaklar esa – *asosiy bo'lmagan* zaryad tashuvchilar deyiladi. Bunday yarim o'tkazgichlar elektronli yoki n – turdagi deyiladi, elektronni beruvchi kirishma esa *donor* nomiga ega bo'ladi.

Energetik diagrammalarda yarim o'tkazgichni panjarasida kirishmani bo'lishi taqiqlangan sohada yotgan lokal energetik sathni paydo bo'lishini ifodalaydi. Mishyak atomlarini ionlanishida erkin elektron paydo bo'ladi, uni uzish uchun kremniyni kovalent bog'lanishini uzishga qaraganda, ancha kam energiya talab qilinadi, shunda donor kirishmani energetik sathi uncha chuqur bo'lmagan taqiqlangan sohada o'tkazuvchanlik sohasi “tagida” joylashishi kerak (23, 6 - rasm).

Agar IV guruh yarim o'tkazgichlariga Mendeleev jadvalidagi III guruh elementlarini kiritsak, masalan, alyuminiyni kiritsak, shunda uchta valent elektronlarini barchasi kirishma atomidagi kovalent bog'lanishlarni paydo qilishda ishtirok etadi, to'rtta bog'lanishlardan biri asosiy modda yaqin atomlaridan biri tugallanmagan bo'lib qoladi. To'ldirilmagan bog'lanish alyuminiy atomi yaqinida issiqlik energiyasi ta'sirida qo'shni atomidan asosiy moddani elektroni o'tishi mumkin. Shu vaqtda alyumining manfiy ioni va erkin kovak hosil bo'ladi, u asosiy

modda bog'lanishi bo'ylab harakatlanadi va kristall o'tkazuvchanligida ishtirok etadi.

Elektronlarni tutib qoluvchi kirishma *akseptorli* deyiladi. Erkin kovakni hosil qilish uchun asosiy modda atomidan kirishmaga o'tish uchun, kremniyni kovalent bog'lanishdan uzishga qaraganda, ancha kichik energiya talab qilinadi. Shuning uchun, kovaklar miqdori erkin elektronlarni sonidan ancha ko'p bo'lishi uchun kristallni o'tkazuvchanligi kovakli bo'ladi. Bunday yarim o'tkazgichda asosiy zaryad tashuvchi bo'lib, kovaklar hisoblanadi, asosiy bo'lmaganlari – elektronlar. Akseptor kirishmali yarim o'tkazgich *p* – turdagi yoki *kovakli Yarim o'tkazgich* deyiladi.

Energetik diagrammada 23, ϵ - rasmda namoyish qilingan akseptor kirishma W_a energetik sathga ega, u valent sohasini shipidan uncha katta bo'lmagan masofada joylashgan. Akseptor kirishma ionlashganda valent sohasidan W_a sathga elektronni o'tishi sodir bo'ladi, valent sohada esa kovaklar hosil bo'ladi va u erkin zaryad tashuvchi hisoblanadi.

Yarim o'tkazgichlarda bir vaqtning o'zida donorli va akseptorli kirishmalar mavjud bo'lishi mumkin. Bunday yarim o'tkazgichlar *kompensirlangan* deyiladi.

Yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlik. Xususiy yarim o'tkazgichda zaryad tashuvchi bo'lib, erkin elektronlar va kovaklar hisoblanadi, ularning konsentratsiyasi bir xil. Tashqi elektr maydoni bo'lganda, xususiy yarim o'tkazgich oraqali oqib o'tadigan elektron tokni tashkil etuvchisi, ya'ni elektr zaryadlari soni, vaqt birligi ichida maydon birligi orqali, elektr maydonga perpendikulyar yo'nalishda bo'ladi

$$J_n = qnv_n \quad (42)$$

bunda $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ – elektron zaryadi, Kl; n – o'tkazuvchanlik sohasi elektronlarining konsentratsiyasi, m^{-3} ; v_n – elektronlarni tartibli harakatini o'rtacha tezligi, elektr maydonini ta'siri ostida (dreyf tezligi), m/s.

Odatda tezlik V_n maydon kuchlanganligiga proporsional bo'ladi









$$V_n = \mu_n E \quad (43)$$

bunda μ_n – *harakatchanlik* deb ataluvchi proporsionallik koeffitsiyenti, $m^2/(V \cdot s)$.

4.3. Asosiy yarim o'tkazgich materiallar va ularning birikmalari

“Yarim o'tkazgichlar hosil qiluvchi” elementlar davriy jadvali

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | 0 | |
|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H ¹ 1s | | | | | | | | He ² 1s ² | |
| Li ³ 2s | Be ⁴ 2s ² | B ⁵ 2s ² 2p | C ⁶ 2s ² 2p ² | N ⁷ 2s ² 2p ³ | O ⁸ 2s ² 2p ⁴ | F ⁹ 2s ² 2p ⁵ | | Ne ¹⁰ 2s ² 2p ⁶ | |
| Na ¹¹ 3s | Mg ¹² 3s ² | Al ¹³ 3s ² 3p | Si ¹⁴ 3s ² 3p ² | P ¹⁵ 3s ² 3p ³ | S ¹⁶ 3s ² 3p ⁴ | Cl ¹⁷ 3s ² 3p ⁵ | | Ar ¹⁸ 3s ² 3p ⁶ | |
| K ¹⁹ 4s | Ca ²⁰ 4s ² | Sc ²¹ 4s ² 3d | Ti ²² 4s ² 3d ² | V ²³ 4s ² 3d ³ | Cr ²⁴ 4s ² 3d ⁴ | Mn ²⁵ 4s ² 3d ⁵ | Fe ²⁶ 4s ² 3d ⁶ | Co ²⁷ 4s ² 3d ⁷ | Ni ²⁸ 4s ² 3d ⁸ |
| Cu ²⁹ 4s 3d ¹⁰ | Zn ³⁰ 4s ² 3d ¹⁰ | Ga ³¹ 4s ² 4p | Ge ³² 4s ² 4p ² | As ³³ 4s ² 4p ³ | Se ³⁴ 4s ² 4p ⁴ | Br ³⁵ 4s ² 4p ⁵ | | Kr ³⁶ 4s ² 4p ⁶ | |
| Rb ³⁷ 5s | Sr ³⁸ 5s ² | Y ³⁹ 5s ² 4d | Zr ⁴⁰ 5s ² 4d ² | Nb ⁴¹ 5s 4d ⁴ | Mo ⁴² 5s 4d ⁵ | Tc ⁴³ 5s 4d ⁶ | Ru ⁴⁴ 5s 4d ⁷ | Rh ⁴⁵ 5s 4d ⁸ | Pd ⁴⁶ 4d ¹⁰ |
| Ag ⁴⁷ 5s 4d ¹⁰ | Cd ⁴⁸ 5s ² | In ⁴⁹ 5s ² 5p ¹ | Sn ⁵⁰ 5s ² 5p ² | Sb ⁵¹ 5s ² 5p ³ | Te ⁵² 5s ² 5p ⁴ | I ⁵³ 5s ² 5p ⁵ | | Xe ⁵⁴ 5s ² 5p ⁶ | |
| Cs ⁵⁵ 6s | Ba ⁵⁶ 6s ² | La ⁵⁷⁻⁷¹ Series | Hf ⁷² 6s ² 5d ² 4f ¹⁴ | Ta ⁷³ 6s ² 5d ³ | W ⁷⁴ 6s ² 5d ⁴ | Re ⁷⁵ 6s ² 5d ⁵ | Os ⁷⁶ 6s ² 5d ⁶ | Ir ⁷⁷ 5d ⁹ | Pt ⁷⁸ 6s 5d ⁹ |
| Au ⁷⁹ 6s 5d ¹⁰ | Hg ⁸⁰ 6s ² 5d ¹⁰ | Tl ⁸¹ 6s ² 6p | Pb ⁸² 6s ² 6p ² | Bi ⁸³ 6s ² 6p ³ | Po ⁸⁴ 6s ² 6p ⁴ | At ⁸⁵ 6s ² 6p ⁵ | | Rn ⁸⁶ 6s ² 6p ⁶ | |

-  Yarim o'tkazgichlar kabi kristallanuvchi elementlar
-  III-V turdagi yarim o'tkazgichlar hosil qiluvchi elementlar
-  III-VI turdagi yarim o'tkazgichlar hosil qiluvchi elementlar
-  I-VI turdagi yarim o'tkazgichlar hosil qiluvchi elementlar
-  I-VII turdagi yarim o'tkazgichlar hosil qiluvchi elementlar
-  IV-VI turdagi yarim o'tkazgichlar hosil qiluvchi elementlar
-  I-III-VI xalkopirit turdagi yarim o'tkazgichlar hosil qiluvchi elementlar
-  II-VI-V xalkopirit turdagi yarim o'tkazgichlar hosil qiluvchi elementlar

Yarim o'tkazgich materiallar

| Material | Element yoki birikma Element or compound | Nomlanishi Name | Kristall strukturasi Crystal structure | 300K (Å) da panjara doimiysi Lattice constant at 300K (Å) |
|----------|---|---|---|--|
| Element | C | Uglerod Carbon (diamond) | D | 3,56683 |
| | Ge | Germaniy Germanium | D | 5,64613 |
| | Si | Kremniy Silicon | D | 5,43095 |
| | Sn | Qalay Grey tin | D | 6,48920 |
| IV-IV | SiC | Kremniy karbidi Silicon carbide | W | a=3,086; c=15,117 |
| III-V | AlAs | Alyuminiy arsenidi Aluminum arsenide | Z | 5,6605 |
| | AlP | Alyuminiy fosfidi Aluminum phosphide | Z | 5,4510 |
| | AlSb | Alyuminiy antimonidi Aluminum antimonide | Z | 6,1355 |
| | BN | Bor nitridi Boron nitride | Z | 3,6150 |
| | BP | Bor fosfid Boron phosphide | Z | 4,5380 |
| | GaAs | Galliy arsenid Gallium arsenide | Z | 5,6533 |
| | GaN | Galliy nitrid Gallium nitride | W | a=3,189; c=5,185 |
| | GaP | Galliy fosfid Gallium phosphide | Z | 5,4512 |

| | | | | |
|-------|------|---|---|--------------------|
| III-V | GaSb | Galliy antimonidi Gallium antimonide | Z | 6,0959 |
| | InAs | Indiy arsenid Indium arsenide | Z | 6,0584 |
| | InP | Indiy fosfid Indium phosphide | Z | 5,8686 |
| | InSb | Indiy antimonidi Indium antimonide | Z | 6,4794 |
| II-VI | CdS | Kadmiy sulfid Cadmium sulfide | Z | 5,8320 |
| | CdS | Kadmiy sulfid Cadmium sulfide | W | a=4,16; c=6,756 |
| | CdSe | Kadmiy selenid Cadmium selenide | Z | 6,050 |
| | CdTe | Kadmiy tellurid Cadmium telluride | Z | 6,482 |
| | ZnO | Rux oksidi Zinc oxide | R | 4,580 |
| | ZnS | Rux sulfid Zinc sulfide | Z | 5,420 |
| | ZnS | Rux sulfid Zinc sulfide | W | a=3,82; c=6,26 |
| IV-VI | PbS | Qo'rg'oshin sulfid Lead sulfide | R | 5,9362 |
| | PbTe | Qo'rg'oshin tellurid Lead telluride | R | 6,4620 |
| | PbSe | Qo'rg'oshin selenid Lead selenide | R | 6,12 |

D-olmos; W-vyursit; Z-rux obmankasi; R-tosh tuzi

D-diamond; W-wurtzite; Z-zincblende; R- rock salt

В таблице 1.1.2 приведены разность значения электроотрицательности и доля ионной связи в различных полупроводниковых материалах по расчету Паулинга.

Таблица 1.1.2

| Material | Element yoki birikma | Elektroqarshilikning farqi | Доля ионной связи, % |
|----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| IV | C | 0 | 0 |
| | Ge | 0 | 0 |
| | Si | 0 | 0 |
| | Sn | 0 | 0 |
| IV-IV | SiC | 0,8 | 0 |
| III-V | AlAs | 0,6 | 11 |
| | AlP | 1,6 | 50 |
| | AlSb | 1,4 | 43 |
| | BN | 0,4 | 8 |
| | BP | 1,3 | 40 |
| | GaAs | 0,5 | 9 |
| | GaN | 1 | 22 |
| | GaP | 1,9 | 61 |
| | GaSb | 0,1 | 2 |
| | InAs | 0,5 | 9 |
| | InP | 0,6 | 11 |
| | InSb | 0,3 | 6 |
| II-VI | CdS | 1 | 22 |
| | CdSe | 0,9 | 19 |
| | CdTe | 0,6 | 11 |
| | ZnO | 2 | 64 |
| | ZnS | 1 | 22 |
| | PbS | 0,9 | 19 |
| | PbTe | 0,8 | 17 |
| | PbSe | 0,5 | 9 |

Kremniy karbidi yagona binar birikma hisoblanadi va Mendeleyev davriy jadvalini IV guruh elementlari tomonidan hosil qilingan. Bu yarim o'tkazgich material katta taqiqlangan soha kengligiga ega (2,8...3,1 eV) (modifikatsiyasiga bog'liq ravishda). Kremniy karbidi yuqori haroratda (700 °C) ishlovchi yarim o'tkazgich asboblarni tayyorlashda ishlatiladi.

Kremniy karbidi kristallari yarim o'tkazgich tozaligi grafit isitkichlari va ekрани bo'lgan pechlarda – quruq haydash usuli yordamida olinadi. Kristallanish jarayoni argon atmosferasi sharoitida 2400... 2600 °C haroratda o'tkaziladi. Olinayotgan kristallar plastinasimon shaklga ega bo'ladi. Uning o'lchami ko'ndalangiga taxminan 1 sm. Kremniy karbidi eng qattiq moddalardan biri hisoblanadi, u 1400 °C dan oshiq haroratlarga oksidlanishga chidamli bo'ladi.

SiC kristallini elektr o'tkazuvchanligi normal haroratda – kirishmali. Elektr o'tkazuvchanlikni turi va kristallarni rangi kremniy karbidi uchun begona kirishmalar yoki Si yoki C atomlarini haddan ko'pligidan stexio o'tkazuvchanligiga, C ni ko'pligi esa teshikli o'tkazuvchanlikka olib keladi.

Kremniy karbidi varistorlarni seriyalab chiqarishda (chiziqli bo'lmagan), yorug'lik diodlarini, shuningdek, yuqori haroratli diodlar, tranzistorlarni, yuqori energiyali zarralarni hisoblagichlarini, ximiyaviy agressiv muhitlarda ishlay oladiganlarini chiqarishda qo'llaniladi.

4.4. $A^{II}B^{VI}$, $A^{III}B^V$ va $A^{IV}B^{IV}$ bog'lanish turidagi yarim o'tkazgich materiallar

Yarim o'tkazgich materiallar element tarkibi bo'yicha 5 guruhga bo'linadi.

1. Elementar yarim o'tkazgichlar;
2. $A^{III}B^V$ yarim o'tkazgich birikmalar;
3. $A^{II}B^{VI}$ yarim o'tkazgich birikmalar;
4. $A^{IV}B^{IV}$ yarim o'tkazgich materiallar;
5. Murakkab yarim o'tkazgich materiallar

Amalda barcha elementar yarim o'tkazgichlar va ko'pchilik $A^{III}B^V$ va $A^{II}B^{VI}$ yarim o'tkazgich birikmalar, shuningdek murakkab yarim o'tkazgich materiallar olmos yoki rux obmankasi tipidagi kristall tuzilishga ega bo'lib, ular – tetraedr fazalariga tegishli, bu erda har bir atom mos kelgan tetraedr balandliklarida joylashgan to'rtta ekvivalent masofaga yaqin qo'shnilar bilan o'rab olingan. Ikkita yaqin qo'shni atomlar o'rtasidagi bog'lanish qarama-qarshi spinga ega bo'lgan elektronlar bilan amalga oshiriladi. Shuning uchun elementar yarim o'tkazgichlarda kimyoviy bog'lanish 100% kovalentli bo'ladi, $A^{III}B^V$ birikmalarda bog'lanish ionli - kovalent ko'rinishga ega. $A^{III}B^V$ birikmalarda ionli bog'lanish ulushi oshadi. Yarim o'tkazgichlarning asosiy fundamental parametri bo'lib, E_d taqiqlangan zona kengligi hisoblanadi. E_d kattaligi - kristall panjaraning kimyoviy bog'lanishidagi qatnashadigan valent elektronni ozod qilish uchun zarur energiya bo'lib, u material o'tkazuvchanligini ta'minlashda qatnashadi. Yarim o'tkazgichlarda E_d kattaligi asosan kristall panjarani hosil qiluvchi atomlarning valent elektronlari holati orqali aniqlanadi.

Jadval 1

| Element | Elektron tuzilishi | E_g , eV |
|---------|--|------------|
| C | $1s^2 2s^2 2p^2$ | 5,48 |
| Si | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ | 1,17 |
| +Ge | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$ | 0,74 |
| Sn | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^2$ | 0,082 |

Bu elementlarning hammasi kovalent bog'lanishli olmossimon kristall panjara hosil qilsa ham, lekin ularning atomlari elektron tuzilishidagi valent elektronlarning joylashishi, panjaradagi energiya bog'lanishi, E_d taqiqlangan zona kengligini kattaligi juda keskin farqlanishi mumkin. Bunday qonuniyat $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$ yarimo'tkazgich birikmalarda va murakkab materiallarda ham o'rinli

bo'radi. Shuning uchun elementlarni birikmalarda kombinasiyalash natijasida (ya'ni, atomda valent elektronlarning har xil energetik holati) E_d boshqariladigan yarim o'tkazgich material olish mumkin. Bu material o'zining fizik kattaliklariga ko'ra olmosga juda yaqin bo'radi.

Yarim o'tkazgichlarni shartli ravishda keng zonali, bunda $E_d \geq 2$ eV, normal - bunda $2 > E_d > 0.6$ eV va qisqa zonali $E_d < 0.5$ eV kabi turlarga bo'linadi. Aynan Yarim o'tkazgichlarning E_d kattaligi mikroelektronikaning har xil foto va optoelektron asboblarni ishlab chiqarishda ularning funksional imkoniyatlarini aniqlaydi.

A^{III}B^V bog'lanish turlaridagi yarim o'tkazgichlar va shu turdagi Yarim o'tkazgichli qotishmalar

Yarim o'tkazgichlarda elektr o'tkazuvchanlikning ikki: elektron (n) va elektron-kovak (p) turi mavjud bo'lib, ular jismda p-n o'tishini vujudga keltiradi. Bunday jismlarga katta va kichik quvvatga ega turli xildagi elektr to'g'rilagichlar, kuchaytirgich va generatorlar misol bo'la oladi. Ulardan boshqariladigan turli hil moslamalarda keng miqyosda foydalaniladi. Amalda qo'llanilayotgan yarim o'tkazgichlar, asosan, odiy va murakkab xillarga bo'linadi. Yarim o'tkazgichlar turli ko'rinishdagi energiya (issiqlik, yorug'lik) ni elektr energiyasiga aylantirib beradi. Yarim o'tkazgichli o'tkazgichlarga misol tariqasida quyosh batareyasi va termoelektrik generatorlarni keltirish mumkin. Past o'zgarmas kuchlanishdagi rekombinatsiyali chaqnash nur uzatish manbai va hisoblash mashinalaridan axborot chaqirish qurilmalarida ishlatiladi.

Yarim o'tkazgichlarni isitkich asboblarda, radioaktivli nur indikatorlarda va magnit maydon kuchlanganligini o'lchashda foydalaniladi. Hozirgi davrda shishasimon va suyuq yarim o'tkazgichlar o'rganilmoqda. Oddiy yarim o'tkazgichlardan texnikada keng qo'llaniladiganlariga kremniy va germaniy kiradi. Murakkab yarim o'tkazgichlar Mendeleev davriy sistemasidagi turli gurux elementlari birikmasidan, masalan: $A^{III} B^V$ (InSb, CaAs, Cap), $A^{II} B^{VI}$ (CdS, ZnSe) elementlari birikmasidan, shuningdek, ba'zi oksidlar (Cu_2O) dan iborat. Yarim

oʻtkazgichli kompozitsiyalarga (tirit, silit), sopol bilan birikkan kremniy karbidi (SiC) va grafitli yarim oʻtkazgichlar misol boʻla oladi.

Yarim oʻtkazgich ishlatilgan asbob uskunalar xizmat muddatining yuqoriligi, hajm va ogʻirligiga nisbatan kichikligi, oddiy ishonchli ishlashi, iqtisodiy samaradorligi va boshqa sifatlari bilan ajralib turadi.

$A^{III} B^V$ birikmalari komponentlari vakuum yoki inert gaz muhitida oʻzaro taʼsir ettirish yoʻli orqali olinadi. Tozalangan birikmaning erish harorati uni tashkil etuvchi komponentlarning erish haroratidan yuqoriroq boʻladi.

$A^{III} B^V$ birikmalari u yoki bu turdagi yarim oʻtkazgich asboblarini tayyorlash uchun muxim material hisoblanadi. Bunday birikmalarga fosfatlar, arsenidlar va antimonidlar kiradi. Bularning ichida amalda eng koʻp qoʻllaniladigani galliy arsenidi va fosfidi hamda indiy antimonididir.

Galliy arsenidi taqiqlangan zonasining kengligi 1,43 eV boʻlib, elektronlarning harakatchanligi Ge va Si nikidan yuqoriroq boʻladi. Galliy arsenididagi kovaklarning harakchanligi Si – dagi teshiklarning siljuvchanligiga yaqin. Bu materialning akseptorlari sifatida rux, qadimiy, misdan foydalaniladi, donorlari sifatida esa S, selen, tellur va davriy sistemadagi VI gurux elementlari olinadi.

Indiy antimonidi. Elektronlarning harakatchanligi katta qiymatga ega boʻlishi bilan bir qatorda, taqiqlangan zonasining kengligi (0,18 eV) nisbatan kichikroqdir. Ushbu materialning fotooʻtkazuvchanligi spektr infraqizil qismining katta (8 mkm. gacha) sohasini qamrab oladi. Bunda fotooʻtkazuvchanlikning eng yuqori qiymati 6,2 mkm toʻlqin uzunligiga toʻgʻri keladi.

Indiy antimonididan oʻta sezgir fotoelementlar optik filtr, termoelektrik generator va sovutkichlar tayyorlashda foydalaniladi.

Galliy fosfidi: taqiqlangan zonaning kengligi (2,3 eV) bilan ajralib turadi. Undan qizil yoki yashil nurlanuvchi diodlar tayyorlanadi. Bundan tashqari, Bor alyuminiy va galliy netridlari birikmalaridan ham nurlanuvchan diodlar ishlab

chiqariladi. $A^{III} B^{VI}$ birikmalari sulfidlar (PbS , Bi_2S_3 , $CdSe$, CdS) fotorezistorlar tayyorlashda ishlatiladi. Ulardan lyuminafor sifatida ham foydalaniladi.

$A^{III} B^V$ yarim o'tkazgich birikmalar – kremniy va germaniyni eng yaqin analoglari. Nitridlar, fosfidlar arsenidlar va antimonidlar amaliy ahamiyatiga ega. Bu birikmalar eng atom konsentratsiyasiga yoki III guruh elementlari ko'p bo'ladigan, shuningdek, gaz fazasidagi tashkil topgan bo'ladi. Antimonidlar, galliy arsenidi va indiy odatda inert flyusi ostidagi zitravkada qotishmadan so'rib olish to'li bilan o'stiriladi. Eritmadan olingan monokristallar yuqori xikim tozalikni yetarli bo'lmagan kattaligiga ega. Tozalash uchun germaniy va kremniyni tozalashda ishlatiladigan usullardan foydalaniladi.

Galliy arsenidi birikmalar ichida alohida o'rinni egallaydi. Taqiqlangan soha kengligini kattaligi (1,4 eV) elektronlarni yuqori harakatchanligi ($0,85 \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) uni asosida asboblari yaratish imkonini beradi va ular yuqori harorat va chastotalarda ishlay oladi.

Birinchi yarim o'tkazgich GaAs hisoblanadi, undan 1962 yilda injeksion lazer yaratilgan. U yorug'lik diodlarini, tunnel diodlarini, Gann diodlarini, tranzistorlarni, Quyosh batareyalarini va boshqa asboblarni tayyorlashda foydalanilgan. Infraqizil soha spektrida ishlatiladigan detektorlarni, Xoll datchiklarini, termoelektrik generatorlar, tenzometrlar tayyorlashda indiy antimonidi InSb dan foydalaniladi u juda ham kichik kenglikka ega taqiqlangan sohaga (0,17 eV) va juda yuqori bo'lgan elektronlarni harakatchanligiga ega ($7,7 \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$).

Yorug'lik diodlarini seriyalab ishlab chiqarishida *galliy fosfidi* GaP keng qo'llanishga erishildi, u taqiqlangan sohani kata kengligiga esa (2,25 eV). Guruhni boshqa birikmalaridan farqli ravishda favqulotda yuqori sezgirlikka mexanik kuchlanishga *galliy antimonidi* GaSb ega. GaSb birikmani solishtirma qarshiligi $4 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ bosim ta'sirida 2 martaga oshadi. Bunday bosimda GaAs va InP kristallarga qo'yilgan ularni solishtirma qarshiligi faqat 3 % ga o'zgaradi. Deformatsiyalarga yuqori sezgirliigi sababli galliy antimonididan teznometrlarni tayyorlashda qo'llaniladi.

$A^{II}B^{VI}$ yarim o'tkazgich birikmalarga rux xalkogenidi, kadmiy va simoblar kiradi. Ularni ichidan sulfidlarni, selenidlarni va telluridlarni ajratish mumkin.

$A^{II}B^{VI}$ birikmalarni monokristallarni o'stirish texnologiyasini ishlab chiqish uncha to'liq emas $A^{III}B^V$ ga qaraganda. Keng sohali yarim o'tkazgichlar $A^{II}B^{VI}$ texnologik munosabatda qiyin ob'yektlardan iborat bo'lib, ular yuqori erish haroratiga, dissotsiatsiyani yuqori bosimlariga va erish nuqtasiga ega. Bunday materialni o'stirish ko'pchilik hollarda dastlab sintez qilingan birikmalarni payvandlangan kvarts ampulalarda bug' fazasi orqali qayta kristallab amalga ishiriladi.

$A^{II}B^{VI}$ birikmalar ko'pchilik hollarda sanoat lyuminoforlarini, fotorezistorlarni, yuqori sezgirlikka ega Xoll datchiklarini va uzoq infraqizil nurlanish qabul qilgichlarini tayyorlashda ishlatiladi.

Yarim o'tkazgich birikmalari orasida $A^{II}B^{VI}$ turdasisida eng ko'p o'rganilgani qo'rg'oshin xalkogenidi hisoblanadi: PbS, PbSe, PbTe, qo'rg'oshin sulfidi, selenidi va telluridi hisoblanadi. Bu birikmalar tor sohali yarim o'tkazgichlar hisoblanadi. Qo'rg'oshin xalkogenidlaridan infraqizil texnikada fotorezistorlarni, infraqizil lazerlarni, teznometr va termo generatorlarni xona haroratidan 600 °C gacha bo'lgan intervallarda ishlaydiganlarida foydalaniladi.

Elementlar davriy jadvalning III va V guruh elementlaridan (GaAs ga o'xshash) hosil bo'lgan birikmalarning xossalari IV guruh birikmalarining xossalari juda o'xshash. IV guruh elementlaridan III – V birikmalarga o'tishda bog'lanish qisman ionli bo'ladi. Ionlilik xususiyati yarimo'tkazgichlar xossalari muhim o'zgarishlariga olib keladi. U ionlar o'rtasidagi kulon o'zaro ta'sir natijasida hamda elektron zonali strukturada fundamental tirqish energiyasini o'zgartiradi. Ionlilik kattalashadi va uning roli ZnS kabi II - VI birikmalarda ortib boradi. Natijada ko'pchilik II - VI birikmali yarim o'tkazgichlarda taqiqlangan zona kengligi 1 eV dan katta bo'ladi. Tarkibida og'ir element – simob telluridi (Hg Te) bo'lgan birikmalar bundan mustasno. Simob telluridi kulrang qo'rg'oshinga o'xshash taqiqlangan zonali yarim o'tkazgich hisoblanadi.

Keng taqiqlangan zonali II-VI yarimo‘tkazgichli birikmalar lazerlar yaratishda, tor taqiqlangan zonali II-VI yarim o‘tkazgichli birikmalar infraqizil priyomniklar tayyorlashda keng qo‘llaniladi. I-VIII (CuCl) guruh birikmalarida katta ionlik sababli (>3 eV bo‘lganda) taqiqlangan zona keng bo‘lishi mumkin. Ularning ko‘pchiligi yarim o‘tkazgich emas, balki izolyator hisoblanadi. Ionlar o‘rtasidagi kulonlar o‘zaro ta’siri tufayli kristallning bog‘lanish energiyasini oshishi tarkibida tetraedrik bog‘lanish emas, balki olti karrali koordinatsiyali atomlarga ega tosh tuzi strukturasi hosil bo‘lishi uchun zarur sharoit yaratadi. IV va VI guruh elementlaridan hosil bo‘luvchi juft birikmalar, ya’ni qo‘rg‘oshin sulfidi (PbS), PbTe va qalay sulfidi (SnS) ham yarimo‘tkazgichlar hisoblanadi. Bu birikmalarning katta qismi olti karrali koordinatsiyaning hosil bo‘lishiga imkon yaratadi. Katta ionlilikka ega bo‘lishiga qaramay, ular simob xalkogenidlariga o‘xshash juda tor taqiqlangan zonalarga ega. Tor zonali IV-VI yarimo‘tkazgichli guruh elementlari infraqizil nurlanish priyomniklari sifatida qo‘llaniladi, III-V yarimo‘tkazgichli guruh elementlari (masalan, GaN) keng zonali birikmasi spektrning havorang sohasini nurlantiruvchi svetodiod va lazerlar uchun ishlatiladi.

| III guruh elementlari | | V guruh elementlari | |
|-----------------------|--|---------------------|--|
| Element | Elektron struktura | Element | Elektron struktura |
| B | $1s^2 2s^2 2p^1$ | N | $1s^2 2s^2 2p^3$ |
| Al | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ | P | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ |
| Ga | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^1$ | As | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$ |
| In | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^1$ | Sb | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^1$ |

| II guruh elementlari | | VI guruh elementlari | |
|----------------------|---|----------------------|--|
| Element | Elektron struktura | Element | Elektron struktura |
| Zn | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$ | S | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ |
| Cd | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2$ | Se | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^4$ |
| | | Te | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^4$ |

V. BOB

MAGNIT MATERIALLAR HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

5.1. Magnit materiallar va ularning turlari

Magnit xususiyatlariga mos barcha materiallar diamagnitli (diamagnetiklar), paramagnitli (paramagnetiklar), ferromagnitli (ferromagnetiklar), antiferromagnitli (antiferromagnetiklar), ferrimagnitli (ferrimagnetiklar) kiradi.

Diamagnetiklar – moddalar, qo'yilgan maydonga qarama – qarshi maydon bilan magnitlanadi va ularni kuchsizlantiradi, ya'ni $k_m < 0$ (10^{-4} dan 10^{-7} gacha)ga ega. Diamagnetizm barcha moddalarga hos, ammo kuchsiz ifodalanadi; ularga barcha inert gazlar, o'tish metallari (berilliy (Be), rux (Zn), qo'rg'oshin (Pb), kumush (Ag)), Yarim o'tkazgichlardan (germaniy (Ge), kremniy (Si)), dielektriklardan (polimerlar, shisha), o'ta o'tkazgichlar kiradi.

Paramagnetiklar - $k_m > 0$ (10^{-2} dan 10^{-5} gacha) ga ega moddalar, ular tashqi magnit maydoni ta'sirida kuchsiz magnitlanadi. Paramagnetiklarga metallar kiradi, ularning valent elektronlari toq songa ega bo'ladi (kaliy (K), natriy (Na), alyuminiy (Al), o'tish metallari (molibden (Mo), volfram (W), titan (Ti), platina (Pt)) ularni atom qobiqlari qurilib bitmagan elektronlarga ega.

Ferromagnetiklar – moddalar, ularni atomlari orasida *almashinuvchi* o'zaro ta'sir paydo bo'ladi. Bunday o'zaro ta'sir natijasida masofaga bog'liq ravishda qo'shni atomlarni magnit momentlari parallel oriyentatsiyali bo'lib qoladi, bu energetik foydali hisoblanadi (ferromagnetizm) yoki antiparallel (antiferromagnetizm). Almashinuvchi kuchlar ta'sirida ferromagnit moddani atomlarini magnit momentlari oriyentatsiyasi parallel bo'lishi ma'lum sohalarda hosil bo'ladi, ular *domenlar* deyiladi. Domen doirasida material tashqi maydoni bo'lmaganida to'yinguncha magnitlansa alohida atomlarni almashuv o'zaro ta'siri sababli. Bu o'zaro ta'sir ma'lum haroratgacha davom etadi va u *Kyuri nuqtasi harorati* deyiladi. Bundan yuqori haroratlarda domenlar buziladi, ferromagnetizm paramagnit holatga o'tadi. Ferromagnit materiallar oson kuchsiz magnit maydonlarida magnitlanadi, u kuchli magnit qabul qiluvchanlikka ega (10^6 gacha), shuningdek, uning chiziqli emasligi bog'lanishi maydon kuchlanganligi va

haroratdan. Temir (Fe), nikel (Ni), kobalt (Co) va nodir yer metallaridan gadoliniy (Gd) ferromagnit metallarga kiradi.

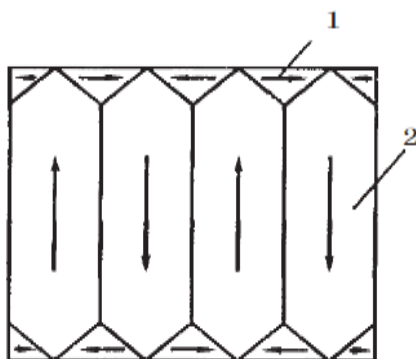
Antiferromagnetiklar deb, magnit momentlarining qo'shni atomlarni almashinuv o'zaro ta'sirlari vaqtida antiparallel oriyentatsiyaga ega bo'ladigan materiallarga aytiladi. Chunki qo'shni atomlarni magnit momentlari o'zaro kompensatsiyalanadi, antiferromagnetiklar magnit momentiga ega bo'lmaydi, magnit qabul qiluvchanlik bilan ifodalanadi, ular qabul qiluvchanlik bo'yicha paramagnetiklarga yaqin. Qandaydir kritik haroratdan yuqoriroq harorat *Neel harorati* nomini oldi (Kyuri haroratiga o'xshash) antiferromagnetikni magnit tartibli holati buziladi va u paramagnit holatga o'tadi.

Ferrimagnetiklarga shunday moddalar kiradiki, ularda almashinuv o'zaro ta'sir bevosita magnitofaol atomlar orasida emas ferromagnetik holatidagi kabi emas kislorodni magnitlanmagan ioni orqali amalga oshadi. Bunday o'zaro ta'sir *bilvosita almashuv* yoki *o'ta almashuv* deyiladi. Bu o'zaro ta'sirlar ko'pchilik hollarda qo'shni ionlarni magnit momentlari antiparallel oriyentatsiyasiga olib keladi (ya'ni, antiferromagnit tartiblanishiga). Ammo ionlarni magnit momenti to'liq kompensatsiyalanmaydi va ferrimagnit moddalar magnit momentiga ega bo'ladi va domen strukturaga ega bo'ladi. Ferrimagnetiklar ferromagnetiklar bilan bir qatorda kuchli magnit materiallarga kiradi.

Ferromagnit materiallarda magnitlanish va o'ta magnitlanishning texnik jarayonlari

Ferromagnit materiallarda shunday domen strukturasi ado etiladi, ular uchun tizimni to'liq erkin energiyasi minimal hisoblanadi. To'liq erkin energiya quyidagi asosiy energiya turlaridan iborat: magnitostatik, magnit anizotropiyasi, magnitstriksiya, almashuv. Minimum magnitostatik energiyani sochilish maydonlari bilan bog'langani yoki magnit uchidagi qutblarni paydo bo'lishi shunday holatda o'ringa ega bo'ladiki, qachonki magnit oqim material ichida yopiq bo'lsa. Bir domenli holat zararli hisoblanadi, chunki u magnit qutblanishni paydo bo'lishiga olib keladi, ular tashqi magnit maydonini hosil qiladi (sochilish maydoni). Magnitostatik energiya kamayadi, agar jism bir necha domenlardan

iborat bo'lsa va domenlarni tutashuvida (37 - rasm) nolga teng bo'lib qoladi, bu yerda 1 – tutashgan domenlar; 2 – asosiy domenlar. Magnit oqimi jism ichida tutashadi, uni tashqarisida magnit maydoni nolga teng bo'ladi.



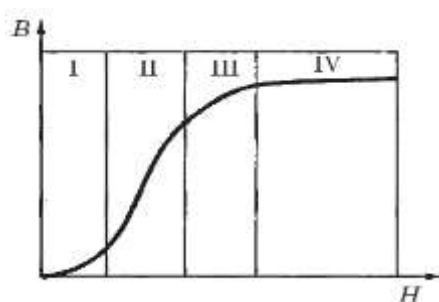
37 – rasm. 1 – tutashgan domenlar; 2 – asosiy domenlar

Namunali domenlarga bo'linishi energiya bilan cheklanadi, bu energiya domenlar orasida chegarani hosil qilish uchun sarflanadi. Domenlarni chiziqli o'lchamlari 10^{-2} dan 10^{-5} sm gacha. Domen chegaralarini qalinligi bir necha yuz nanometrni tashkil qiladi.

Tashqi magnit maydoni ta'sirida domenlarni hajmini ortishi kuzatiladi, ular magnitlanish yo'nalishi maydon kuchlanganligi yo'nalishiga mos keladi yoki yaqin bo'ladi. Ferromagnit moddani magnit induksiyasini tashqi magnit maydonini kuchlanganligiga bog'liqligi *magnitlanganlikni asosiy egri chizig'i* deyiladi (38 - rasm).

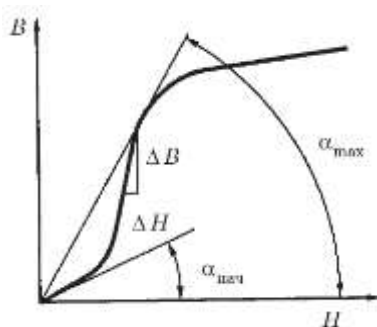
Magnitlanishni *II* sohadagi egri chizig'i shu bilan ifodalanidiki, bunda elastik bo'lmagan domenlarni chegarasini siljishi sodir bo'ladi, ya'ni jarayon qaytadigan jarayon emas. To'yinishga yaqinlashgan sohada (*III* soha) induksiyaning o'zgarishi asosan aylanish jarayoni bilan tushuntiriladi, qachonki magnitlanish vektorini yo'nalishi o'z o'zidan bo'ladigan sohada tashqi maydon yo'nalishiga yaqinlashadi. To'liq magnitlanish oriyentatsiyasi maydon bo'ylab texnik to'yinishiga mos keladi (*III* sohani oxiri). Egri chiziqni oxirgi bo'lagi (*IV* soha) induksiyaning kuchsiz oshishiga mos keladi, bunda maydon kuchlanganligi ortadi. Ushbu holatda induksiyaning oshishi domenini magnitlanishini ortishi hisobiga bo'ladi, ya'ni alohida elektronlarni spin momentini oriyentatsiyasi, yo'nalishi tashqi magnit

maydonini yo'nalishiga mos kelmaydi, bu issiqlik haroratini oriyentatsiyasini o'zgarishi sababli bo'ladi.



38 –rasm. Magnitlanganlikni asosiy egri chizig'i

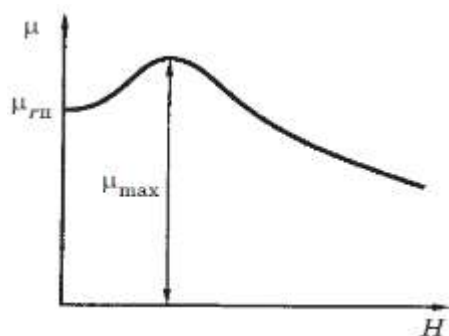
Magnitlanishni asosiy egri chiziqlaridan foydalanib, magnet kirituvchanlikni turli ko'rinishini aniqlash mumkin (39 - rasm).



39 – rasm. Magnet kirituvchanlikni turli ko'rinishi

Absolyut $\mu_a = B/H$, nisbiy $\mu = B/\mu_0 H$, boshlang'ich μ_{rH} , maksimal μ_{max} magnet singdiruvchanlikni farqlashadi. Boshlang'ich va maksimal magnet singdiruvchanlik I va II bo'laklardagi magnetlanishni asosiy egri chizig'iga urinma bo'lib, o'tgan burchak tangensi kabi aniqlanadi.

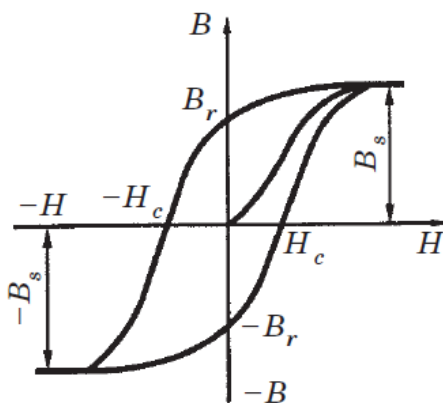
Magnet singdiruvchanlikni maydon kuchlanganligiga bog'liqligi 40 - rasmda ko'rsatilgan.



40 – rasm. Magnit singdiruvchanlikni maydon kuchlanganligiga bog'liqligi

Moddani boshlang'ich magnit singdiruvchanligi harorat ortishi bilan va Kyuri haroratida maksimumga ega bo'ladi.

Magnit gisterezisi deb, magnit induksiyasini magnit maydon kuchlanganligidan ortda qolish hodisasiga aytiladi (41 - rasm).



41 – rasm. Magnit gisterezisi

H nolgacha namunada kamayganda B_r qoldiq induksiya bo'ladi. Agar maydon yo'nalishini qarama – qarshi o'zgartirsak va uni oshira borsak, induksiyani nolgacha kamaytirish mumkin. Ushbu holda H_c koersitiv (kechiktiruvchi) kuch deyiladi. Qiymatiga ko'ra materiallarni koersitiv kuchlar, yumshoq magnitli (koersitiv kuchni kichik qiymati va katta magnit singdiruvchi) va qattiq magnit kuchlariga bo'linadi (katta koersitiv kuchli, nisbatan kichik magnit singdiruvchanlikka ega). To'yinish induksiyasi qiymatini H_s maydonda aniqlash qabul qilingan va u $5H_c$ ga teng. Induksiyani o'zgarish egri chizig'i magnit maydon kuchlanganligi $+H_s$ dan $-H_s$ ga o'zgarganda va aksincha, gisterezis

sirtmog'ini chegarasi deyiladi, unga ko'ra H_c koersitiv kuch, to'yinish induksiyasi B_s va qoldiq induksiya B_r aniqlanadi.

Ferromagnit monokristallni magnitlanishi anizotrop. Temir kristalli yo'nalishida (100) magnitlanish kubi qovurg'asi to'yinguncha magnitlanadi, magnit maydonining ancha kichik kuchlanganligida kubni diagonali yo'nalishiga nisbatan (111). Bundagi solishtirma energiya o'ta magnitlanish yo'nalishida yengil magnitlanish va qiyin magnitlanish yo'nalishida *kristallografik magnit anizotropiyasining konstantasi K* deyiladi. Yarim kristall materiallarda anizotropiya effekti o'rtachalashtiriladi. Ammo prokatka yo'li bilan kristallografik anizotropiyani yaratsa bo'ladi va u magnitlanishni yengillashtiradi.

Magnitlanish maydonlarda H_s kuchlanganlikdan kichik bo'lsa, texnik magnitlanish deyiladi, katta kuchlanganlikka ega maydonlarda – asl magnitlanish yoki parajarayon deyiladi.

Magnitlanish jarayonida magnit anizotropiyasidan tashqari magnitostriksiya hodisasi ham sezilarli ta'sir ko'rsatadi, ular magnitlanishni yengillashtirishi yoki to'xtatishi mumkin.

Magnitostriksiya – ferromagnetik o'lchamlarini ularni magnitlanishida o'zgarishi. Texnik magnitlanish sohasida ($H < H_s$) magnitostriksiya chiziqli harakterga ega bo'ladi, parajarayon sohasida ($H > H_s$) – hajmiy bo'ladi.

Barcha ferromagnit materiallarda invar turdagi qotishmalardan tashqari, parajarayon sohasidagi magnitlanish maydon o'sishi bilan o'zgarmaydi. Invar turdagi qotishmalarda esa bu sohadagi magnitlanish ortadi (elektronlarni spin momentlarini qo'shimcha oriyentatsiyasi natijasida) va katta magnitostriksion hodisalarni keltirib chiqaradi.

Texnik magnitlanishda ($H < H_s$) domenni o'lchami l va magnit maydon yo'nalishi $\lambda = \pm \Delta l / l$ kattalikka o'zgaradi, chiziqli magnitostriksiya koeffitsiyentiga. Ulardagi kattalik va ishora ferromagnetikni tabiatiga, kristallografik yo'nalishiga, magnitlarning darajasiga bog'liq.

Magnitlanish maydonlarda $H > H_s$ bo'lganda, kristall hajmi ham oshadi. Hajmni nisbiy o'zgarishi λ_s parajarayonni hajmiy magnitostriksiya koeffitsiyenti

deyiladi. U odatda kichik bo'ladi, ba'zi qotishmalarda invar deb ataladigan ular katta qiymatlarga erishadilar (temir-nikel qotishmasida). Magnitostriksiya hodisasidan ultratovush to'lqin generatorlarini loyihalashda foydalaniladi va boshqa magnitostriksion asboblarda.

Qayta magnitlash jarayonida magnit materiallar o'zgaruvchan magnit maydonida issiqlik yo'qotishlari bilan bog'langan magnit maydonini bir qismini, u tashqaridan materialni qizishida namoyon bo'ladi. Magnit maydonidagi yo'qotishlar solishtirma magnit yo'qotishlari $P_{y\partial}$ yoki magnit yo'qotishlarni tangens burchagi $tg\delta_m$ bilan harakterlanadi.

Paydo bo'lish mexanizmiga ko'ra yo'qotishlar gisterezis va dinamiklarga ajratiladi. Gisterezisdagi yo'qotishlar magnit gisterezisi bilan bog'langan va domenlarni ko'chish chegarasi qaytmasdir. Ular sirtmoqni (gisterezis) yuzasi va o'zgaruvchan tokni chastotasiga proporsional bo'ladi. Gisterezisga sarf bo'ladigan yo'qotish quvvati

$$P_r = \eta B_{max}^n f v \quad (61)$$

bunda η – materialni xususiyatiga bog'liq koeffitsiyent; B_{max} – sikl mobaynidagi maksimal induksiya Tl; $n = 1,6...2,0$ – daraja ko'rsatkichi, uni qiymati V ; f – chastota; v – namuna hajmi sm^3 .

Dinamik yo'qotishlar, ular kuchsiz magnit maydonini hisobga oladi, uyurma toklari bilan ifodalangan, shuningdek, magnit induksiyasini kechikishi, magnit maydon kuchlanganligi o'zgaradi. Uyurma toklardagi yo'qotishlar elektr toklari tomonidan keltirib chiqaradi, ular magnit materiallari tashqi magnit tomonidan induksiyalanadi va materialni elektr qarshiligiga kuchli bog'liq (qarshilik oshishi bilan yo'qotishlar kamayadi). Uyurma toklaridagi yo'qotishlar quvvati:

$$P_f = \xi B_{max}^2 f^2 v \quad (62)$$

bunda ξ – magnit materialini turi va shakliga bog'liq koeffitsiyent.

Magnit materiallarini ishlab chiqishda berilgan xususiyatlari bilan shuni hisobga olish kerakki, magnit harakteristikalar M_s, H_s, λ_s, K va Kyuri harorati ferromagnetikni faqat ximiyaviy tarkibiga bog'liq xarakteristikalar ham μ, H_c, B_r, H_s termik ishlov berish turiga bog'liq, chunki ular sezgir strukturalar hisoblanadi.

Ximiyaviy jihatdan toza ferromagnit materiallar va bir fazali qotishmalar va ular asosidagi moddalar oson magnitlanadi (H_s kichik qiymat). Defektlarni miqdori minimal bo'lishi kerak (masalan, kristallarni chegarasi), ular yirik kristall struktura bilan ta'minlanadi. Agar ferromagnetik kristallni o'lchami domenlar o'lchamiga yaqinlashsa, gisterezis sirtmog'i shakli to'g'ri burchakli shaklga kiradi. Qoldiq kuchlanish, hohishga qarshi, termik ishlov berish qo'llaniladi – kuydirish.

Ferromagnetizm nazariyasi elementlari

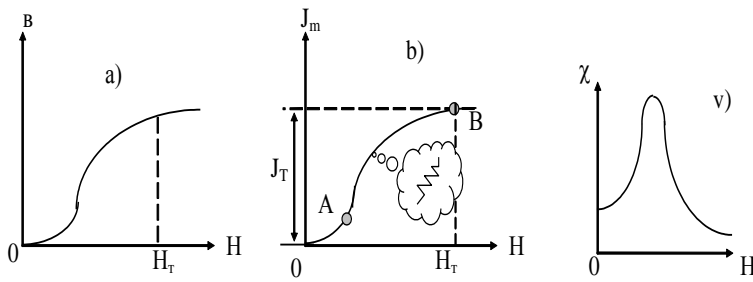
Kuchsiz magnitlanuvchi moddalar sinfiga kiruvchi dia- va paramagnitliklardan tashqari bir guruh moddalar o'zlarining kuchli magnitlanuvchanlik xossalari bilan ulardan ajralib turadi. Bu moddalarni ferromagnitliklar deyiladi. Ferromagnitliklarda tashqi magnit maydon bo'lmaganda ham spontan magnitlangan sohalar mavjud bo'ladi. Bu sohalar tashqi ta'sirlar: magnit maydoni, deformatsiya va temperaturaning o'zgarishi natijasida keskin o'zgaradi.

Bunday moddalarga temir, kobalt, nikel, gadolinij va ularni qotishmalari kiradi. Ferromagnitliklarda \vec{j}_m va \vec{H} lar orasidagi bog'lanish chiziqli bo'lmaydi. Ferromagnitliklarni magnitlanish qonunlari A.T. Stoletov tomonidan tajribada chuqur o'rganilgan.

5.4-rasmda magnit induksiyasi \vec{B} , magnitlanish vektori \vec{j}_m va magnit qabul qiluvchanlik χ_m larning magnit maydon kuchlanganligi \vec{H} ga bog'liq grafigi keltirilgan.

\vec{H} ning ortishi bilan \vec{B} va \vec{j}_m lar tez o'saboshlaydi, so'ngra H_T da \vec{j}_T to'yinish darajasiga erishadi. \vec{B} esa \vec{H} hisobiga sekinlik bilan o'sishni davom ettiradi. Bu holatni ferromagnitlikning to'yinishi deyiladi.

Magnitlanish egri chiziqini sinchiklab o'rganish, tashqi magnit maydon \vec{H} ning ortishi bilan magnitlanish vektori \vec{j}_m ning ortishi tekis bo'lmasdan sakrashesimon bo'lishini ko'rsatadi (5.4-rasm). Ayniqsa, sakrashesimon ko'rinish rasmdagi egri chiziqning burilish sohasida (AV soha) yaxshi seziladi.



5.4-rasm.

Magnitlanishdara
jasinisakrashsimono'zga
rishinitajribadabirinchi
martaBarkgauzenkuzatd
ivabuxodisaniBarkgauz

eneffektideyiladi.

Magnitqabulqiluvchanlik χ_m dastlab Nortishibilantezortadi, umaksimumgaerishgach, Nningyanadaortishibilan χ_m ningkamayishikuzatiladi. Tashqi magnit maydonning nihoyatda katta qiymatlarida esa χ_m nolga intiladi.

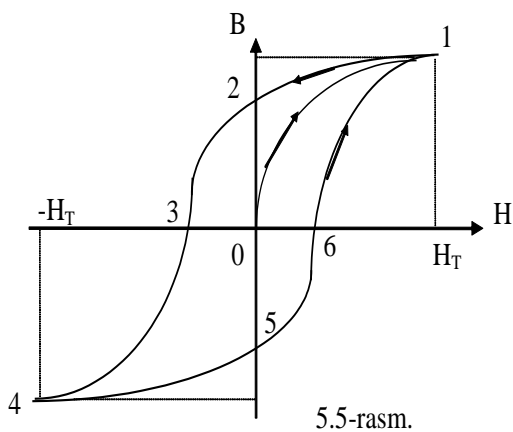
Magnit maydoni to'yinishga erishgandan so'ng magnit induksiya

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi_m \vec{H} \quad (5.2)$$

faqat \vec{H} ning o'sishi hisobiga o'sib, formuladagi ikkinchi hadning hissasi bo'lmaydi, ya'ni bu had nolga aylanadi. Bundan shunday xulosaga kelamizki, katta kuchlanishga ega bo'lgan magnit maydonlarida ferromagnit o'zaklardan foydalanish maqsadga muvofiq emas.

Ferromagnetikdagi \vec{B} ning tashqi \vec{H} bog'liq holda o'zgarish 14.5-rasmda keltirilgan. $B=B(H)$ ning grafigi $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1$ ko'rinishdagi berk egri chizikdan iborat bo'ladi.

\vec{B} ning \vec{H} ga bog'liq holda o'zgarishi magnit gisterezisi deyiladi. Rasmdagi $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1$ yopiq chiziqni gisterezis sirtmoqi deyiladi. Gisterezis sirtmog'i bo'yicha kuzatsak, $H=0$ da $B=B_k$ ga (2 nuqta) teng qoldiq induksiya hosil bo'lganini ko'ramiz. $B_k=0$ bo'lishi uchun $H=-H_k$ (3 nuqta) teskari maydon berish kerak. H_k ni koertsitiv kuch deyiladi.



Ko'rinib turibdiki, ferromagnitdagi magnit maydon induktsiyasi \bar{B} ning qiymati magnitlovchi tashqi maydon \bar{H} ning o'zgarishiga monand ravishda o'zgarmaydi.

Gisterezis sirtmoqi yuzasi ferromagnitkning magnitlash uchun

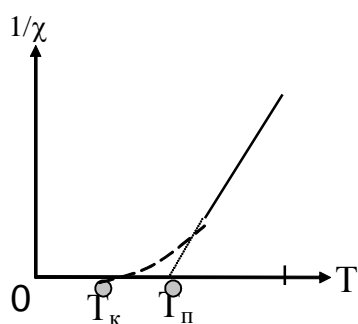
sarflangan ishga proporsional bo'lib bu ish to'lasicha bitta tsikldagi magnitlashda ferromagnitkning birlik hajmida ajralgan issiqlikka teng bo'ladi. Shuning uchun ferromagnetiklarni ko'p marta magnitlaganda qiziydi va gisterezis sirtmog'i qancha katta bo'lsa shuncha ko'p issiqlik ajralib chiqadi.

Koertsitiv kuchning darajasiga bog'liq holda ferromagnitliklar yumshoq va qattiq magnitlarga farqlanadi.

Agar $H_k \sim 0,8 \div 8$ A/m bo'lsa, yumshoq magnit xisoblanadi va magnitlash uchun oz energiya sarflanadi. Bunday materiallardan transformatorlar va elektr mashinalari uchun o'zaklar tayyorlanadi.

Qattiq magnitlarda esa $H_k \sim 10^4 \div 10^5$ A/m, bunda qoldiq induktsiya $V_k > 1$ Tl bo'ladi va ulardan doimiy magnitlar tayyorlanadi. Shunday qilib, ferromagnit moddalar gisterezis sirtmoqining shakli va yuzasiga harab "qattiq" va "yumshoq" magnitlarga bo'linadi.

Yumshoq magnitlar tor gisterezis sirtmoqiga, kichik koertsitiv kuchga va Yuqori magnit qabul qiluvchanlikka ega, qattiq magnitlar aksincha, keng sirtmoqqa va katta koertsitiv kuchga ega bo'ladi.



5.6-rasm.

Ferromagnitlarda qoldi magnitlanish tashqi zarbalarga juda sezgir bo'lib u o'zini ferromagnetiklik xususiyatini yo'qotadi. Shuning uchun doimiy magnitlarni turli zarbalardan saqlash kerak.

Xuddi shuningdek xodisa ferromagnitlarni qizdirganda ham paydo

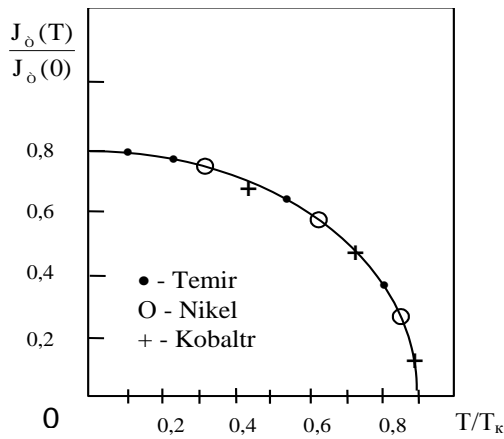
bo'ladi. Temperatura Kyuri nuqtasi (T_k) deb atalgan teperaturadan o'tishi bilan ferromagnit o'zini xossasini yo'qotadi va T_k dan Yuqorida u o'zini paramagnit modda kabi tutadi. $1/\chi$ ni T ga bog'liq holda o'zgarishi chiziqli bo'ladi (5.6-rasm).

Bu bog'lanish Kyuri-Veyss qonuni bo'yicha aniqlanadi, ya'ni

$$\chi = \frac{C}{T - T_k} \quad (5.3)$$

bunda S - Kyuri doimiysi, T_k - Kyuri nuqtasi.

(5.6) rasmdan ko'rinadiki T_k - Kyuri nuqtasi, T_p paramagnit nuqtadan ancha pastda. 5.7 - rasmda temir, nikel va kobaltning magnit vektorini temperaturaga bog'liq holda o'zgarish grafigi keltirilgan. Rasmdan ko'rinadiki, nisbiy koordinatalarda uchala ferromagnit moddalar uchun magnitlanish vektorini tempera-turaga bog'liq holda o'zgarishi bir xil egri chiziqdan iborat.

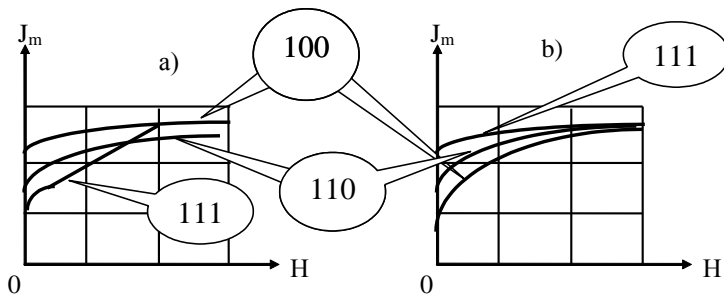


5.7-rasm.

Temperaturaning ortishi bilan magnitlanish vektori kamayadi va Kyuri nuqtasida nolga teng bo'ladi. Kyuri nuqtasidan Yuqori temperaturada jismlar ferromagnit xossasini yo'qotishgina emas, balki uni issiqlik sig'imi, elektr o'tkazuvchanligi va boshqa ba'zi fizik xossalari ham o'zgaradi. Jismlarni ferromagnit holatdan paramagnit holatga

o'tishida issiqlik yutilmaydi yoki aj-ralmaydi. Bu xulosa II tur fazoviy o'tishga misol bo'ladi.

Temir uchun Kyuri nuqtasi $T_k = 1043$ K, kobalt uchun $T_k = 1043$ K, nikel



5.8-rasm.

uchun $T_k = 631$ K ga teng. Monokristall ferromagnit moddalarda magnitlanish vektori anizotrop xossaga ega bo'ladi. 5.8-rasmda temir va nikel

monokristallarda magnitlanish vektori [111], [110] va [100] yo'nalishlarga bog'liq holda o'zgarishi keltirilgan.

Monokristallarda shunday yo'nalishlar mavjudki, magnitlanish bu yo'nalishlar bo'yicha oson va to'yinishga kichik larda erishiladi. Bu yo'nalishlarni engil magnitlanuvchi yo'nalishlar deyiladi.

Temirda shunday yo'nalish [100], nikelda esa [111], holgan yo'nalishlarda magnitlanish qiyin bo'ladi, bu yo'nalishlar temir uchun [110] va [111], nikelda [110] va [100]. Shuning uchun bu yo'nalishlarni qiyin magnitlanuvchi yo'nalishlar deyiladi.

$$U_m = \int_0^B H dB \quad (5.4)$$

integral berilgan yo'nalishda jismni magnitlash uchun sarflangan ishni ifodalaydi.

Bu ish magnitlangan kristallning erkin energiyasiga aylanadi.

Ferromagnitizmning tabiati

Jismlar magnitlanganda magnet momentlari vujudga keladi,

$$P_m = j_m V, \quad (5.5)$$

bunda j_m magnitlanish intensivligi, V jism hajmi. P_m magnet momenti maydonga joylashtirilgan alohida atomlar magnet momentlarini yig'indisidan hosil bo'ladi,

$$\vec{P}_m = \sum_{i=1}^n \vec{P}_{ai} \dots$$

\vec{H} maydonida tartibli joylashgan P_m , mexanik moment L ni tartibli joylashtiradi. Chunki, jism magnitlanguncha L mexanik moment nolga teng, ammo magnet momenti P_m hosil bo'lishi bilan unga teskari yo'nalgan mexanik moment L paydo bo'ladi.

Bu momentlar nisbati

$$\frac{\vec{P}_{m,o}}{\vec{L}_0} = -\frac{e}{2m} \quad (5.6)$$

ifodalanadi. Ferromagnit jismlar magnitlashganda, ularda mexanik momen-tining paydo bo'lishini Eynshteyn va de-Gaaz, hamda Ioffe va Kapitsa tomoni-dan o'tkazilgan tajribalarda kuzatildi. Bu hadisa magnetomexanik effekt deyiladi.

Tajribalar asosida aniqlangan quyidagi munosabat

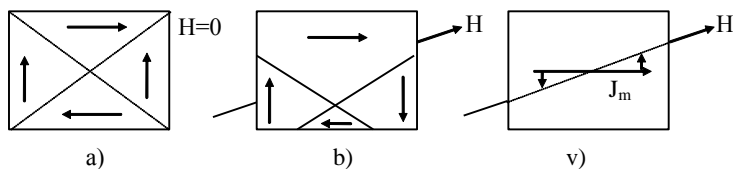
$$\frac{\vec{P}_{m,c}}{\vec{L}_c} = -\frac{e}{m} \quad (5.7)$$

(5.6) dagiga nisbatan ikki marta katta bo'lib chiqdi. Bundan, ferromagnetiklarning magnit xususiyatlari ular tarkibidagi elektronlarning orbital magnit momenti bilan emas, balki spin magnit momentlari bilan bog'liq, degan xulosaga kelamiz.

Bu xulosa ferromagnitik xossasiga ega bo'lgan kimyoviy elementlarning elektron strukturasi bilan ham muvofiq keladi.

Ferromagnit kristallning panjarasidagi atomlar o'zaro bir-biri bilan juda kuchli ta'sirlashadi. Bu ta'sirlashuv, asosan, chetki qobiqdagi elektronlar orqali sodir bo'ladi. Kristalldagi qo'shni atomlarning elektron qobiqlari bir-birining ichiga kirib boradi, natijada atomlar bir-birliri bilan elektron-lar almashish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bu ta'sirlashuv tufayli elektronlar-ning spin magnit momentlari o'zaro parallel joylashadi. Natijada ferro-magnit ichida shunday sohachalar vujudga keladiki, bu sohachalardagi spin mag-nit momentlari o'z-o'zidan bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. Bu sohachalarni domen-lar deb ataladi. Tashqi magnit maydon bo'lmaganda domenlarning magnit momentlari turlicha yo'nalgan bo'ladi va domenlarning magnit momentlarining yig'indisi nolga teng bo'ladi (5.9 (a)-rasm).

Agar tashqi magnit maydoni bo'lsa, domenlarda siljish sodir bo'ladi. Bunda magnit momentlarining yo'nalishlari tashqi maydon yo'nalishiga yaqin bo'lgan domenlar boshqa domenlar hisobiga kattalashadi (5.9 (b)-rasm). Tashqi maydon orttirilsa, domenlar shunday buriladiki, natijada ularning magnit momentlari tashqi



5.9-rasm.

maydon bo'ylab yo'naladi (5.9 (v)-rasm). har bir domenlardagi barcha spin magnit momentlarining mutloq bir tomonga yo'nalishi, ya'ni

domendagi spontan magnitlanishning maksimal qiymatga erishishi, faqat $T=OK$ dagina sodir bo'ladi. haqiqatan, $T=OK$ dan farqli temperaturalarda issiqlik harakat

energiyasi nolga teng bo'lmaydi. Shuning uchun issiqlik harakat energiyasining ta'siri tufayli domenlar ichidagi ba'zi spin magnit momentlari tashqi magnit maydon yo'nalishiga qarama-qarshi (antiparallel) joylashib holadi. Temperatura ortgan sari domenlarning joylashuvida tartibsizlik kuchayib $T=T_k$ (Kyuri nuqtasi) da domenlarning spontan magnitlanishi butunlay yo'holadi, ya'ni har bir domen ichidagi parallel va antiparallel spinlar soni tenglashadi.

Magnitlanish jarayonida moddalarning shakli va o'lchamlari o'zgaradi. Bu hodisa magnitostriksiya deyiladi. Ferromagnitliklarda magnitostriksiya boshqa magnitliklarga haraganda sezilarli darajada bo'ladi. Jismning nisbiy uzayishi $\sigma = \frac{\Delta l}{l}$ magnitostriksiya doimiysi deyiladi. Masalan, nikel uchun $\sigma = 3 \cdot 10^{-5}$ ga teng bo'lib, uning qiymati uncha katta emas.

Antiferromagnitizm

Ferromagnit xossasiga ega bo'lgan jismlar ichki elektron qovatlari to'ldirilmagan (o'tuvchan va nodir er) metallar hisoblanadi. Bu gurux metallarga temir, kobalt va nikel (3d-qavat to'lmagan) kiradi (o'tuvchan metallar), shuningdek (nodir er) metallar guruxiga godoliniy, disproziy va erbiy kiradi (4f-qavat to'lmagan). Ferromagnitizm - qo'shni atomlarda to'ldirilmagan qavatlardagi elektronlarni o'zaro ta'sir almashuvi tufayli sodir bo'ladi. O'zaro ta'sir sistemaning energiyasini o'zgarishiga olib keladi. Bu xodisa vodorod atomlarining yaqinlashishi misolida yaqqol ko'rinadi. Bunday sistemani o'zaro ta'sir energiyasi

$$U = 2E_0 + \frac{K \pm A}{1 \pm S^2} \quad (5.8)$$

ko'rinishda yoziladi. Bunda

$2E_0$ - o'zaro ta'sirlashmaydigan ikkita vodorod atomining energiyasi,

K - zaryadlarning elektrostatik o'zaro ta'sir energiyasi, $0 < S < 1$ oraliqdagi qiymatlarni qabul qilib, noortoganallik integrali deyiladi,

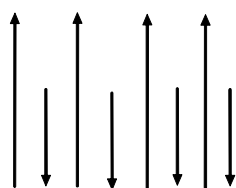
A - almashinuv energiyasi yoki almashinuv integrali deyiladi.

(5.8) formula K ning ishorasiga harab ($|K| < |A|$) elektron almashinuvchi atomlardagi elektronlar spinlarining parallel (minus ishora) yo'nalganligiga mos kelsa, antiparallel hol (5.8) formulada plus ishora uchun mos keladi. Formuladan ko'rinadiki, $A < 0$ (manfiy) da elektronlarning spinlari antiparallel joylashadi, bunda sistemaning energiyasi kamayadi. $A > 0$ (musbat) da spinlar parallel joylashadi, bunda sistemaning energiyasi ortadi. $A < 0$ da valent bog'lanish hosil bo'lib, antiferromagnit xossasi namoyon bo'ladi, $A > 0$ da ferromagnit xossasi nomoyon bo'ladi va spontan maganitlanishga olib keladi.

$A < 0$ da ham elektron spinlarining joylashishi tartibli bo'ladi, lekin spotan magnetlanish xosil bo'lmaydi, chunki qo'shni panjara tugunlaridagi ionlarning spin magnet momentlari qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib bir-birlarini kompensatsiyalaydi.

Tashqi maydon ta'sirida bir qism spinlar yo'nalishini o'zgartirishi na-tijasida atiferromagnetikning magnetlanishi sodir bo'ladi. Antiferromagnetiklarning xususiyati biror temperaturadan Yuqori temperaturada yo'holadi va u paramagnitga aylanadi. **Bu temperaturani antiferromagnetikning Kyuri nuqtasi yoki Neel nuqtasi deyiladi.**

Ferritlar



5.10-rasm.

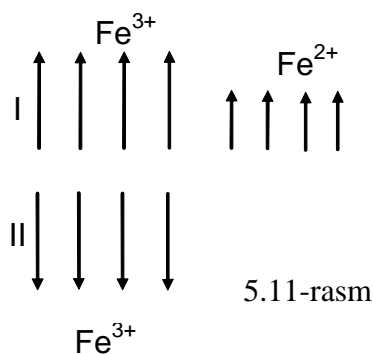
Antiferromagnetiklarni kristall panjarasini bir-birining orasiga kirgan ikkita panjaraning yig'indisi deb harash mumkin. Panjaralarning magnet momentlari miqdori bo'yicha teng, yo'nalishi esa qarama-qarshi. Shuning uchun ular bir-birini

kompensatsiyalaydi. Lekin, shunday hollar ham uchraydiki, bir-birining orasiga kirgan birinchi va ikkinchi panjaralarning magnet momentlari nolga teng bo'lmaydi, chunki bu panjaralardagi atomlarni soni yoki tabiati turlicha bo'lishi mumkin (5.10-rasm).

Bu holda kristalda spontan magnitlanish hosil bo'ladi. Shunday ferromagnitliklarni ferrimagnetiklar deyiladi. Ferrimagnetiklar o'zlarini xuddi ferromagnitliklarga o'xshab tutadi, lekin ularning ichki tuzilishlarining farqlanishiga harab, spontan magnitlanishining temperaturaga bog'lanishi turlicha bo'ladi.

Ferromagnetiklarda temperatura ortishi bilan magnitlanish jmi bir tekis kamaymasdan, Kyuri nuqtasiga etguncha nol orqali o'tadi. Ferrimagnet jismlarga misol qilib, temir magnitonini ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) olish mumkin. Bunday moddalarni ferritlar deyiladi. Bunda manfiy kislorod ioni tomonlari markazlangan kub panjara hosil qiladi. Har bir $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ molekulaga bitta ikki valentli (Fe^{2+}) va ikkita uch valentli (Fe^{3+}) temir ionlari to'g'ri keladi.

Ikki valentli temir ionlarini boshqa ikki valentli ionlar almashtirishi mumkin, ya'ni Mg, Ni, Co, Mn, Cu, Zn va boshqalar. Ferritning murakkab strukturasi bitta panjarasida uch valentli temirning yarimi, ikkinchisida esa ikkinchi yarmi bilan ikki valentli temir ioni yoki uni o'rnini oluvchi boshqa metall ioni joylashadi.



Ularni magnit momentlari qarama-qarshi joylashgan. Bunda uch valentli temir ionlarining magnit momentlari kompensatsiyalashsa, spontan magnitlanishni ikki valentli temir ioni vujudga keltiradi (5.11-rasm). Ferritlarning ajoyib xususiyatlari bor. Ular yaxshi magnit

xossalarga va katta elektr qarshilikka ega. Ferritlarning bunday xossalridan foydalanib doimiy magnitlar va EXM larning xotira uyachalari yasaladi.

5.2. Materiallarning magnit xossalari

Har qanday modda magnit maydoniga kiritilsa, magnit momentiga ega bo'ladi. Moddani magnitlanishini magnit induksiyasi B (Tl), magnit maydon kuchlanganligi H (A/m), magnitlanganlik M (A/m), magnit qabul qiluvchanlik k_M , magnit singdiruvchanlik μ , magnit oqimi Φ (Vb) lar bilan ifodalanadi.

Magnitlanganlik magnit maydon kuchlanganligi bilan munosabat bilan bog'langan

$$M = k_M H \quad (58)$$

Moddadagi magnit induksiyasi tashqi va xususiy magnit maydoni induksiylari yig'indisidan aniqlanadi

$$B = B_0 + B_{BH} = \mu_0 H + \mu_0 M = \mu_0 (H + M) \quad (59)$$

bunda $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – magnit doimiysi, Gn/m.

Ifodani birlashtirib olamiz

$$B = \mu_0 H (1 + k_M) = \mu_0 \mu_r H \quad (60)$$

bunda $\mu_r = 1 + k_M$ yoki $\mu_r = B/(\mu_0 H)$ – nisbiy magnit singdiruvchanligi.

5.3. Yumshoq magnit materiallar

Bunday materiallar kuchsiz maydonlarda ($H < 5 \cdot 10^4$ A/ m), katta magnit singdiruvchanlik ($\mu_H < 88$ mGn/m va $\mu_{max} < 300$ mGn/m) va kichik yo'qotish va qayta magnitlanishlarda magnitlanadi. Ular elektromagnitlarni, transformatorlarni, stator va rotor varaqlarini tayyorlashda qo'llaniladi.

Qayta magnitlanishdagi yo'qotishlarni kattaligi magnit materiallarini ruxsat etilgan ishchi chastotasi orqali aniqlanadi va ular past va yuqori chastotalilarga bo'linadi.

Past chastotalilar o'z navbatida bo'linadilar: *to'yinishi yuqori bo'lgan induksiyali* B_s past chastotali va *yuqori magnit singdiruvchanligiga ega* past chastotalilar μ (boshlang'ich va maksimal).

To'yinishni yuqori induksiyali materiallari. Bu temir, legirlangan va legirlanmagan elektrotexnik po'lat. Ularni kuchlanganligi 10^2 dan 10^4 A/m gacha bo'lgan magnit maydoniga ega bo'lganlarda foydalanishadi. Uglerod va uni aralashmalaridan eng toza bo'lgan karbonil temir vakuumda $Fe (CO)_5$ – termik parchalanish hisobiga karbonil keyinchalik, temir kukunini qovushtirish yo'li bilan olinadi. Elektrolitik temir va karbonil – qimmat va ular uncha katta bo'lmagan maxsulotlarda ishlatiladi. Texnik temirda ko'proq aralashmalar bo'ladi va u prokat yo'li bilan olinadi va keyinchalik u vakuumda yoki vodorodli muhitda kuydiriladi.

Legirlanmagan elektrotexnik po'latlar past solishtirma elektr qarshiligiga ega, ular qayta magnitlanishda katta issiqlik yo'qotishlariga uchraydi. Elektrotexnik po'latni elektr qarshiligi kremniy bilan legirlanib oshiriladi, bunda kremniyni chegaralangan hissasi 5,1% dan oshmaydi, agar uni hissasi ortsa po'lat mo'rtroq bo'lib, shtamplashga yaroqsiz bo'lib qoladi.

Po'latni xususiyatlarini sovuq prokatkadan keyin ancha yaxshilanishi mumkin, bunda kristallarni vodorod muhitida keyinchalik kuydirish yo'li bilan kristallarini muvaffaqiyatli oriyentatsiyasini keltirib chiqaradi, ular qoldiq kuchlanish bo'yicha olinib, uni donachalarini yiriklashtiradi. Yengil kristallitlarda magnitlanishni prokat bo'ylab yo'nalishdagi oriyentatsiyasini o'qida (po'lat teksturaga ega bo'ladi).

Magnit induksiyasi to'yinishini eng katta qiymatiga yuqori legirlangan kobaltli qotishmalar ega bo'ladi (temir – kobalt - vanadiy), masalan, 50KΦ2 qotishma to'yinish induksiyasi 2,3 Tl ni tashkil qiladi, kuchlanganligi 8 kA/m bo'lganda magnit maydonida; temir – 1,5 Tl.

Yuqori magnit singdiruvchanlikka ega materiallar. Juda kuchsiz magnit maydonlarida (100 A/m dan kam) katta induksiya qiymatlariga erishish uchun katta boshlang'ich singdiruvchanlikka ega bo'lgan qotishmadan *permalloidan* foydalaniladi. Bu temir nikelli qotishmalar shunisi bilan harakterlanadiki, ulardagi magnit anizotropiyasi va magnit striksiyasi nolga teng; bu esa ayniqsa permalloini oson magnitlanishi uchun sabab bo'ladi. Permalloida nikel miqdori 45 dan 80% gacha, μ_h 80 mGn/m dan katta, μ_{max} 300 mGn/m dan katta, ularni kuchsiz maydonlarda magnitlanishni ta'minlaydi, oshirilgan solishtirma elektr bo'lgan chastotalarda foydalanish imkonini beradi. H_c ni kichikligi 16 A/m gisterezisdagi yo'qotishlarni kamaytiradi. Permalloi yaxshi plastiklikka ega yuqa varaqlarga va simga prokatlash mumkin. Magnit xususiyatlari deformatsiyaga kuchli bog'liq, magnit singdiruvchanlik kamayadi, koersativ kuch oshadi, shuning uchun, ularga termik ishlov berish majburiy. To'g'ri burchakli gisterezis sirtmog'iga ega bo'lishni ikkita yo'li mavjud: kristallografik yoki magnit teksturalarini yaratish. Kristallografik tekstura kuydirish darajasi yuqori bo'lgan sovuq plastik

deformatsiyada prokatka qilish yo'li bilan erishiladi. Magnit tekstura magnit maydoni (termomagnit ishlov berishda) chiniqtirish natijasida materialni sovitish bilan erishiladi, shu vaqtda magnit kuchlanganlik vektorlari maydon bo'ylab oriyentatsiyalanadi va keyinchalik magnitlanishda xuddi shu yo'nalishda vektorlarni aylanishi bo'lmaydi.

Permalloi xususiyatlarini yaxshilash uchun ularni turli qo'shimchalar bilan legirlashadi. Molibden va xrom bilan legirlash solishtirma elektr qarshiligini va boshlang'ich singdiruvchanlikni yaxshilaydi, mexanik kuchlanishlarga sezgirlikni kamaytiradi va to'yinish induksiyasini pasaytiradi. Permalloini kamchiliklariga uning nisbatan narxini yuqoriligi, magnit hossalari mexanik kuchlanishlarga kuchli bog'liqligi hisoblanadi.

Alsiferlar – uchlangan allyuminiy, kremniy va temirdan iborat qotishma. Alsiferlar permalloidan arzon, ammo yuqori qattqlikka va mo'rtlikka ega, shuning uchun, alsiferdan maxsulotlar kukunlardan presslash yoki kuyish usullari bilan tayyorlanadi.

Alohida xususiyatga ega magnit qotishmalar. Bir qator hollarda kuchsiz magnit maydonlarida magnit singdiruvchanligi yuqori doimiylikka ega materiallar talab qilinadi. Bunday xususiyatga ega materiallar yuqori magnit oqimiga ega bo'lgan magnit elementlarini yaratish uchun kerak bo'ladi. Xususan, ayrim drossellar, tok transformatorlari, telefon aloqasi apparatlari, o'lchov asboblari va boshqalarda magnit singdiruvchanlik magnitlanishni qaytar va qaytmas jarayonlari bilan bog'langan bo'lishi mumkin. Singdiruvchanlik magnitlanishni qaytish jarayonlarida doimiy, shundan kelib chiqib, bunday materiallar turli magnit maydonlarida qaytuvchan singdiruvchanlikga ega bo'lishlari kerak.

Tajriba yo'li bilan o'rnatilganki, doimiy singdiruvchanlikka Fe–Ni, Fe–Co, Fe–Ni–Co qotishmalar asosidagi materiallar ega bo'ladi. Uchlangan (25% Co, 45% Ni va qolgani – Fe) qotishma perminvar deyiladi. Perminvarni magnit singdiruvchanligi vakuumdagi maxsus termik ishlov berishdan keyin 300 teng bo'lib qoladi va u kuchlanganlik 0 dan 160 A/m gacha o'zgarguncha doimiy bo'lib qoladi. Perminvarni to'yinish induksiyasi 1,55 Tl ga yetadi. Perminvardan

foydalanish uni qimmatligi va olinish texnologiyasini murakkabligi sababli cheklangan.

O'zoqlarni turli turlari, elektromagnitlarni qutblari va magnit maydon kuchlanganligi 24000 A/m va undan katta magnit maydonlarida ishlash uchun to'yinish induksiyasi alohida yuqori bo'lgan materiallar kerak bo'ladi. Bunday xususiyatlarga Fe-Co – qotishma *permendyur* ega va u 30...50% kobaltdan, 1,5...2% vanadiy (qolgani – temir)dan iborat. Bu qotishma ma'lum bo'lgan ferromagnetiklar ichida eng yuqori to'yinish induksiyasiga ega (2,43 Tl). Permendyurni kamchiliklari qatoriga solishtirma elektr qarshiligini kichikligi, bu uyurma tokni anchagina yo'qotilishiga, o'zgaruvchan magnit maydonida ishlaganida olib keladi.

Elektrotexnikada magnit singdiruvchanligi haroratga kuchli darajada bog'liq materiallardan foydalaniladi, ularni harorat magnit maydonlaridagi kompensatsiyasi uchun (termokompensatsiya). Ulardan magnit shuntlarini tayyorlashda foydalanishadi, uning yordamida doimiy magnit maydonidagi magnit zanjirlarini xususiyatlaridagi harorat stabilligiga erishiladi. Harorat ortishi bilan asosiy magnitni ishchi bo'shlig'idagi magnit oqimi kamayadi. Bu o'zgarish magnit shuntini qarshiligini oshishi hisobiga kompensatsiyalanadi. Shuntni termomagnit material magnit singdiruvchanligiga ega bo'lishi kerak va u haroratga kuchli bog'liq bo'lishi kerak -70 dan $+80$ °C ishchi diapazonida va Kyuri nuqtasida, shuningdek, qurilmani ishchi haroratiga yaqin bo'lgan. Termomagnit material sifatida magnit shuntlari uchun quyidagi qotishmalardan foydalaniladi: mis-nikelli – kalmalloy, temir-nikelli – termolloy, temir-nikel – xromli – kompensator.

Amorf magnit materiallar (AMM). AMMni alohida xususiyati bo'lib, ularda uzoq tartibli atomlarni joylashuvi bo'lmaydi. Ammo, bunga qaramasdan atomlarni joylashuviga davriylikni yo'qligiga ko'ra, AMM magnit momentlarini tartibli joylashuviga ega bo'ladi. AMM ko'pchilik xususiyatlariga ko'ra, shisha va metall qotishmalarga o'xshaydi. Bunday materiallar eritilgan holatdan tez sovitish yo'li bilan olinadi, bunda kristallanish amalga oshib ulgurmaydi.

Amorf struktura qotishmani $10^5 \dots 10^8$ K/s maxsulotdagi tezlik bilan sovishda olinadi, uni sim yoki lenta ko'rinishda.

AMMga termik ishlov berishda xarakteristikasini oshirish uchun tashqi magnit maydoni bo'ylab o'tkazishadi, bu esa ularni magnit singdiruvchanligini yuqori, kichik koersitiv kuchni, to'yinish induksiyasini oshirilgan qiymatini va solishtirma elektr qarshiligini ta'minlaydi. AMM ishlab chiqarish yumshoq magnit materiallarini metall varaq ko'rinishida ishlab chiqariladigan turidan arzon. Magnit yumshoq metalli AMM 75...85% aralashmadan (yoki bitta) temir (Fe), kobalt (Co), nikel (Ni) va 15...25% metall emaslardan (oson eriydigan komponentadagi – shisha hosil qiluvchi) iborat. Yuqori singdiruvchanlikka ega istiqbolli materiallar bo'lib, amorf qotishmalar hisoblanadi: temir, nikel va kobaltdan. AMMni alohida xususiyatlarini yaxshilash uchun ular qo'shimcha xrom (Cr), molibden (Mo), alyuminiy (Al), marganets (Mn), vanadiy (V) va boshqalar bilan legirlanadi. Metall emaslar AMMni magnit va xarorat parametrlarini yomonlashtiradi, ammo ularni solishtirma elektr qarshiligini yaxshilaydi.

Amorf magnit materiallarni texnikada magnit yozuvlarida, qayta eshitishlarda, maxsus transformatorlarni turli turlarida, impulsli ta'minot manbalarida va chastotasi bir necha megagersgacha bo'lgan o'zgarmas kuchlanish o'zgartirgichlarda, magnit kuchaytirgichlarida, yozishni yuqori zichlikka ega bo'lgan magnitarezistiv boshchalarda F.I.K. yuqori bo'lgan elektr dvigatellarda ishlatiladi.

Magnitodielektriklar. Bu materiallar ferro yoki ferrimagnit materiallarni kichik dispers zarralarini konglomeratidan iborat, ular bir biridan organik yoki organik bo'lmagan dielektrik bilan – bog'lovchi element bilan izolyatsiyalanadi. Magnit fazasidagi zarralarni izolyatsiyalangan sababli magnitodielektriklar yuqori solishtirma elektr qarshiligi va uyurmali tokka va kichik qarshilikka ega, ammo magnit singdiruvchanlikning qiymatini pasaytiradi. Magnitodielektriklar gisterezisida uncha katta bo'lmagan yo'qotishlarga va singdiruvchanlikni yuqori stabilligiga ega.

Ferromagnit zarralarni elektr izolyatsiyasi suyuq shisha, turli smolalar, masalan polikristal, fenolformaldegid smolalar bilan ta'minlanadi.

Eng ko'p tarqalishga temir karbonili, alsifer va molibdenli permalloi asosida ishlangan magnitodielektriklar erishdi.

Yuqori chastotali. Yuqori chastotalarda issiqlik yo'qotishlari ortadi va u magnit xossalarni yomonlashuvi bilan birga bo'ladi, magnit singdiruvchanlik ham kamayadi. Issiqlik yo'qotishlarini kamaytirishni effektiv yo'li – dielektrikni elektr qarshiligi yuqori bo'lgan materiallardan foydalanish hisoblanadi. Bunday materiallarga *ferritlar* kiradi.

Ferritlar. Ferritlarni asosiy afzalligi yuqori magnit parametrlarini katta elektr qarshiligi bilan birgaligi hisoblanadi va unda ferromagnit metall va qotishmalarni qarshiligi $10^3 \dots 10^{13}$ martaga oshadi, shundan kelib chiqib, ular chastotalar oshirilganda nisbatan kichikroq yo'qotishlarga ega bo'ladi, bu esa ularni yuqori chastotali qurilmalarda ishlatilishini beradi.

Yuqori magnit singdiruvchanlikka ega bo'lgan magnit yumshoq ferritlarni ximiyaviy tarkibi ximiyaviy formulada MeOFe_2O_3 ko'rinishida yozilishi mumkin, unda metall sifatida ikki valentli ionlardan foydalaniladi Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mg^{2+} va boshqalar. Keltirilgan ferritlarni kristall strukturasi tabiiy mineralni strukturasi o'xshash – asl shpinelni MgAl_2O_4 kabi bo'ladi, shuning uchun, ularni *shpinel* yoki *ferroshpinel* strukturali ferritlar deyiladi. Bunday struktura zich joylashtirilgan qirraga yo'naltirilgan kubsimon panjarali deyiladi.

Ferritlarni solishtirma elektr qarshiligi 10^{12} Om/m ga yetadi. Ularni nisbiy magnit singdiruvchanligi bir necha mingdan bir necha birlikkacha diapozonda o'zgaradi, to'yinishni kichik induksiyasi 0,4 Tl dan kichik, nisbiy katta koersitiv kuch – 180 A/m gacha, uncha katta bo'lmagan Kyuri harorati, qoldiq kuchlanishga katta sezgirlik, keramikani barcha xossalari ega: qattiq, mo'rt, ishlov berish qiyin.

To'g'ri burchakli gisterezis sirtmog'iga (TGS) ega ferritlar avtomatik boshqarish qurilmalarida va hisoblash texnikasida ishlatiladi. Ularni muhim xarakteristikasi bo'lib, tog'ri burchaklik koeffitsiyenti hisoblanadi $k_{n,y}$ va u qoldiq

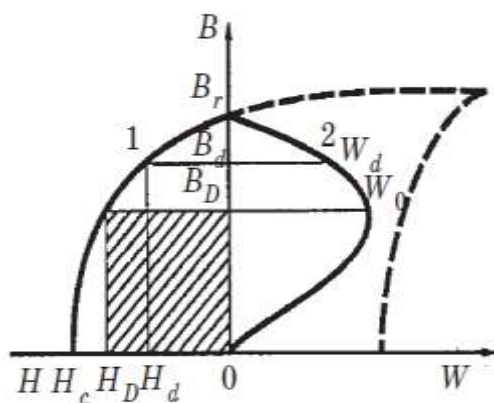
induksiyani, maksimal magnit induksiyasiga $k_{\text{n.y}} = B_r / B_{\text{max}}$ nisbatidan aniqlanadi. TGS li ferrit sifatida magnit margonetsli va litiyli shpinel strukturali rux, kalsiy, mis, natriy ionlari bilan legirlangan ferritlardan foydalaniladi. Ularda tog'ri burchaklik koeffitsiyentlari – $k_{\text{n.y}} = 0,9 \dots 0,94$; qoldiq induksiya – $B_r / B_r = 0,15 \dots 0,25$ Tl, Kyuri harorati – $T_K = 110 \dots 250$ °C (magniyli ferritlar uchun), $T_K = 550 \dots 630$ °C (litiyli ferritlar uchun).

Ferritlar, yuqori chastotalarda ishlaydigan qurilmalar uchun, murakkab tarkibga ega bo'ladi, ular to'rt va undan ko'p litiy, bariy oksidlaridan iborat bo'lishi mumkin. *Ferritlar – granatlar* kristall panjaralarga ega bo'ladi, granat minerallaridan ularni formulasi $3\text{Me}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3$, ularda legirlovchi element nodir yer elementlaridan (NYE) foydalaniladi, foydalanishda poli- va monokristallar kirmaydi. Yarim kristalli ferrit-granatlar oksidlarni yopishda NYE dan: ittriy, gadoliniiy, samariydan foydalaniladi. Ortoferritlar huddi ferrit-granatlar kabi temir oksidlaridan, legirlangan NYE. Ularni tarkibi $R\text{FeO}_3$ mos keladi, R – nodir yer elementlari (ittriy, gadoliniiy, samariy) ular ortorombik kristall strukturaga ega. Ularda spetsifik domen strukturasi topilgan – silindrsimon magnit domenlari, magnitlanish vaqtida yuqori harakatchanlikka ega, domenlar labirint strukturani tashkil qiladi, bu xotira qurilmalarida axborotga murojaat tezligini oshiradi.

5.4. Qattiq magnit materiallar

Bu materiallar doimiy magnitlarni tayyorlash uchun ishlatiladi – doimiy magnit maydonlari manbai hisoblanadi. Ular kuchli H maydonlarda 1000 kA/m katta bo'lgan, qayta magnitlanishda katta yo'qotishlarga ega bo'ladi, qoldiq induksiya 0,5 – 1 Tl va koersitiv kuch 560 kA/m gacha bo'ladi.

Doimiy magnitlar ishchi bo'shliqqa ega: shundan kelib chiqib, ochiq uchlarda magnit qutblari hosil qiladi, bu yerda magnitidan bo'shaydigan kuchlanganligi H_d bo'lgan maydon hosil bo'ladi, magnit ichida induksiyani B_d ga kamaytiradi va u qoldiq induksiyadan B_r dan kichik bo'ladi. 42 - rasmda qattiq magnit materiallarni xususiyatini ifodalovchi egri chiziqlar keltirilgan.



42 – rasm. Magnit materialni xususiyatini ifodalovchi egri chiziqlar

Maydonning solishtirma magnit energiyasi (J/m^3), magnitni havo bo'shlig'ida paydo bo'ladigan $W_d = \frac{B_d H_d}{2}$. Magnitni uzilgan qismidagi induksiya B_d boshliq ortishi bilan kamayadi. Yopiq magnitda $B_d = B_r$ – magnit energiyasi nolga teng bo'ladi, chunki $H_d = 0$. Qutblar orasidagi bo'shliq katta bo'lsa, magnit maydon kuchlanganligi materialni koersitiv kuchiga teng bo'ladi H_c , B_d esa $= 0$. Shundan kelib chiqib, magnit energiyasi $W_d = 0$. B_d va H_d ni qandaydir qiymatlarida energiya maksimal qiymatlarga yetadi $W_{max} = \frac{B_d max H_d max}{2}$. W_{max} kattalik qattiq magnit materialni muhim xarakteristikalaridan biri bo'lib hisoblanadi.

Magnitsizlanishni egri chizig'ini shakli magnit qavariqlikni ifodalaydi $\gamma = \frac{(BH)_{max}}{(B_r H_c)}$. Qavariqlik koeffitsiyenti gisterzis sirtmog'i tizim to'g'ri burchakligini oshishi bilan birga aniqlanadi. Maksimal energiya qancha katta bo'lsa, qoldiq induksiya ham shunday B_r , koersitiv kuch H_c va qavariqlik koeffitsiyenti γ ham katta bo'ladi.

Qattiq magnit materiallarni xususiyatlari stabilligi uzoq ishlatish sharoitlarida mumkin bo'lgan harorat o'zgarishlariga ko'ra baxolanadi. Xossalarini stabil bo'lmasligi struktur o'zgarishlar (struktur eskirish), shuningdek, zarbalar, tebranishlar (magnit eskirish)dan kelib chiqishi mumkin. Oxirgi holatda xossa qayta magnitlanish bilan tiklanishi mumkin. Strukturali nostabillik muvozanatda bo'lmaydigan strukturaga ega bo'lgan qattiq magnit materiallardan foydalanishni cheklaydi.

Qattiq magnit materiallar tarkibi va olinish yo'liga ko'ra, quyilgan yuqori koersitiv qotishmalar, metallokeramik materiallar, qattiq magnit ferritlari, NYE asosidagi elementli qotishmalarga bo'linadi.

Quyilgan yuqori koersitiv qotishmalar. Eng ko'p tarqalishga temir-nikel-alyuminiyli, temir-nikel-kobalt-alyuminiy qotishmalarni turli qo'shimchalar bilan legirlangan qotishmalar erishdilar.

Bunday qotishmalarni yuqori koersitiv holati dispersimon qotishma mexanizmi bilan ifodalanadi (ba'zi hollarda bunday qotishmalar *dispersimon qotish* qotishmalari deyiladi). Yuqori haroratlarda (1200...1300°C) elementlarni eruvchanligi cheklanmagan va Fe–Ni–Al qotishmalar bir jinsli holatda (α -faza) bo'lib turibdi. Sekin sovitishda ma'lum haroratgacha dispersion parchalanish muvozanat fazasida (α_1 va α_2) ikki fazada sodir bo'ladi, shunda α_1 faza o'zining tarkibi toza temirga yaqin va kuchli magnitli hisoblanadi, faza α_2 Ni–Al dan tashkil topgan va kuchsiz magnitli hisoblanadi. Shunday qilib, kuchli magnit faza α_1 bir domenli ulanishlar ko'rinishida magnit bo'lmagan fazada α_2 da taqsimlangan. Bunday strukturaga ega bo'lgan materiallar koersitiv kuchni katta qiymatiga ega.

Qotishmalarni yuqori koersitiv holati Fe–Ni–Al nikelni konsentratsiyasi 20...33%, 11...17% alyuminiyniki hosil bo'ladi. Ularni magnit xossasini yaxshilash uchun legirlash kerak. Misni legirlanishi koersitiv kuchni oshiradi va mexanik xossalarini yaxshilaydi, ammo qoldiq induksiyasini pasayishiga olib keladi. Kobalt bilan legirlanish koersitiv kuchni anchaga oshiradi va to'yinish induksiyasi va qavariqlik koeffitsiyentini oshiradi. Legirlash elementi sifatida, shuningdek, titan, kremniy va niobiydan ham foydalaniladi. Koersitiv kuch bu qotishmalarda $H_c = 50$ kA/m magnit energiyasi esa $W_{max} = 12$ kJ/m³ bo'ladi.

Al–Ni–Co turidagi qattiq magnit materiallar temirni nikel bilan (12...26%), kobalt bilan (2...40%) va alyuminiy (6...13%) qotishmalari tarkibida magnit xossalarini yaxshilash uchun legirlovchi qo'shiladi mis (2...8%), titan (0...9%) va nikeldan (0...3%) qo'shiladi. 15% kobaltdan iborat qotishmalarni issiqlikda ishlov berishga qo'yiladi, shunda qotishma 1250... 1300°C gacha kuchli magnit maydonida sovitishdan iborat, shu vaqtda magnit tekstura paydo bo'lib, qotishma

magnito-anizotrop bo'lib qoladi. Izotrop qotishmalar $W_{max} = 6 \text{ kJ/m}^3$ magnit energiyasiga, anizotrop qotishmalar esa – $W_{max} = 16 \text{ kJ/m}^3$ ga.

Magnit xossalari yaxshilash uchun qotishmalarda kristall tekstura qotishmani yo'naltirilgan kristallanish yo'li bilan hosil qilinadi (qotishmani sovitishni alohida sharti). Natijada kristallarni ustunchasimon yo'naltirish ko'rinishidagi makrostrukturasi hosil bo'ladi. Shu vaqtda barcha magnit parametrlarini ortishi kuzatiladi. Magnit energiyasi odatdagi kristallanishga nisbatan 60...70% ga oshadi va 40 kJ/m^3 ga yetadi.

Qotishmalardan maxsulotlar quyish yo'li bilan olinadi. Qotishmalarning kamchiligi bo'lib, ularni alohida mo'rtligi, yuqori qattiqligi bo'lib, shuning uchun ularga metall qirquvchi stanoklarda ishlov berish qiyinlashtirilgan. Qo'pol shilish ko'rinishida kesish bilan mexanik ishlov berishda qattiq qotishmali pichoqlar bilan qotishmalarni kesish mumkin, agar tarkibida kobalt bo'lmasa. Har qanday qotishmadan ishlangan detallarni yassi silliqdash yoki dumaloq silliqdash stanoklari yordamida silliqdash mumkin ikki qabulda: termik ishlov berguncha qo'pol silliqdash, termik ishlov berishdan keyin – toza silliqdash. Qo'pol ishlov berish uchun, shuningdek, ishlov berishni elektr uchquni usulidan ham foydalaniladi.

Metallokeramik va metalloplastik magnitlar. Ular kukun metallurgiya usuli bilan yaratiladi, bunda ishlab chiqarish jarayonini avtomatlashtirish mumkin, shunda qat'iy saqlangan o'lchamlar bilan maxsulotni olish mumkin.

Metallokeramik magnitlar yuqa dispers maydalangan kukunlardan tayyorlangan YNKD qotishmalardan tayyorlanadi (Y – alyuminiy, N – nikel, D – mis, K – kobalt), shuningdek, Cu–Ni–Co, Cu–Ni–Fe qotishmalaridan presslash va keyinchalik, yuqori haroratlarda yoqish yo'li bilan tayyorlanadi. Chunki metallokeramik magnitlarda havo o'tadigan g'ovaklar bor, shuning uchun, ularni magnit xossalari quyma materiallaridan past bo'ladi. Qoidaga ko'ra g'ovaklik (3...5%) qoldiq induksiyaning B_r kamaytiradi va magnit energiyasini W_{max} 10... 20% ga kamaytiradi va koersitiv kuchga H_c ta'sir qilmaydi. Ularni mexanik xossalari quyilgandan yaxshiroq. Metalloplastik magnitlarni tayyorlash metallokeramikalaridan ko'ra soddaroq, ammo ularni xossalari yomonroq.

Metalloplastik magnitlar YND yoki YNDK qotishmalarini kukunidan tayyorlanadi, ular dielektrik xususiyatlari bilan aralashiriladi (masalan, fenol-formaldegid smola bilan) shundan keyin, presslanadi.

Qattiq magnit ferritlar. Eng ko'p tarqalishga bariy (stronsiy) asosidagi $BaFe_{12}O_{19}$ ($BaO-6Fe_2O_3$) va kobalt $CoFe_2O_4$, ($CoO-Fe_2O_3$) ferritlar asosida tayyorlangan ferritlar erishdi. Kobaltli ferrit shpinel turidagi ferrit, bariyli esa – tabiiy mineral ko'rinishida magnito – plyumbitni geksogonal panjarali turidan iborat. Bariyli va stronsiyli magnitlar katta magnit anizotropiyasiga ega, ular mayda donachalik struktura bilan koersitiv kuchni oshirilgan qiymatiga olib keladi (350 kA/m gacha).

Geksogonal ferritlar asosidagi barcha magnitlar magnit maydon ta'sir qilganda, vibratsiyalar, zarba ta'sirida ularni yuqori chastotali maydonda ishlaydigan magnit zanjirlarida ishlatish mumkin, chunki bariyli magnitlarni qarshiligi katta ($10^6 \dots 10^9$ Om·m gacha).

Nodir yer metallari asosidagi qotishmalar. Intermetalli kobalt birikmalari nodir yer metallari (NYM) seriy Ce, samariy Sm, prazeodim Pr, lantan La va ittriy Y – ishlangan $R_x Co_y$, bu yerda R – NYM birikmalari koersitiv kuchlar juda katta qiymatga, magnit energiyasiga ega bo'ladi. Bu guruhda RCO_5 va R_2Co_{17} turdagi birikmalar juda muhim, ular eng ko'p magnit anizotropiyasiga, katta spontan magnitlanishga va yuqori Kyuri haroratiga ega bo'ladi. RCO_5 birikmalar stabil emas, ular ikki va undan ko'p fazalar soniga ega bo'ladi. Ko'p fazalik, magnit anizotropiyasini yuqori qiymati magnitostriksiyasi yuqori koersitiv kuchni paydo bo'lishiga sabab bo'ladi.

NYM olingan magnitlarni olish texnologiyasi quyish yoki suyuq fazani kukunlarni yopilishida ishtirok etishidan iborat, NYM lardan ko'p olinish hisobiga suyuq faza hosil qilinadi. Bunday qotishmalardan foydalanish istiqbollari katta. Bunday qotishmalarni asosiy kamchiliklari: yomon mexanik xossalar (mo'rtlik yuqori), kamyob materiallardan foydalanish, yuqori narx.

Boshqa magnitoqattiq materiallar. Ko'rib chiqilgan qattiq magnit materiallarda doimiy magnit uchun an'anaviy materiallardan foydalaniladi – martensit po'lati, shuningdek, plastik deformatsiyalovchi qotishmalar.

Martensit deb, po'latni mikrostrukturasini alohida ko'rinishiga aytiladi va uni tez sovutilishida (toblanishda) olinadi. Martensitni paydo bo'lish plastinkasimon shaklga ega hajmiy o'zgarishi bilan birgalikda boradi, katta ichki kuchlanish hosil qilinadi, bu esa katta koersitiv kuchni paydo bo'lishiga olib keladi. Faqat legirlangan martensit po'latdan foydalaniladi, ular legirlanuvchi qo'shimchalar deyiladi: xromli (3% Cr gacha), volframli (8% W gacha) va kobaltli (15% Co gacha). W_{max} ni martensit po'latlaridagi qiymati past (1...4 kJ/m³). Ular eskirish xususiyatiga ega. Ana shu materiallar cheklangan qo'llanishga ega, javobgarligi eng kam holatlarda qo'llanishga ega.

Plastik deformatsiyalanadigan qotishmalar yuqori mexanik xususiyatga ega stanoklarda ishlov berish uchun yaroqli yuqori mexanik xususiyatlarga ega.

Ulardan eng ko'p tarqalgani *kunife* (60% Cu, 20% Ni, 20% Fe), *kuniko* (50% Cu, 21% Ni, 29% Co, qolgani – Fe) va *vikalloy* (51,0...54,0% Co, 10...13,0% V, qolgani – Fe). Kunife qotishmalari anizotrop sim va shtampovka ko'rinishida qo'llaniladi. Kuniko qotishmalari kunife qotishmalaridan qimmatroq, ular murakkab konfiguratsiyaga ega magnitlarni tayyorlash uchun qo'llaniladi. Vikalloy murakkab konfiguratsiyaga ega bo'lgan mayda magnitlarni tayyorlashda qo'llaniladi.

Ushbu qotishmalarni magnit xarakteristikalarini: qoldiq induksiyasi 0,6...0,9 Tl; koersitiv kuchi 24...57 kA/m; magnit energiyasi 2,8...14 kJ/m³.

VI. BOB

O'TA-O'TKAZUVCHANLIK HODISASI

Absolyut nolga yaqin temperaturalarda bir qator metall va qotishmalarning elektr qarshiliklari birdaniga sakrab nolga aylanadi, ya'ni modda o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tadi.

Bunday temperatura kritik temperatura deyiladi va T_k bilan belgilanadi.

O'tkazgich solishtirma harshiligining temperaturaga bog'likligi quyidagi formula bilan ifodalanadi (5.1-rasm):

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t) \quad (5.1)$$

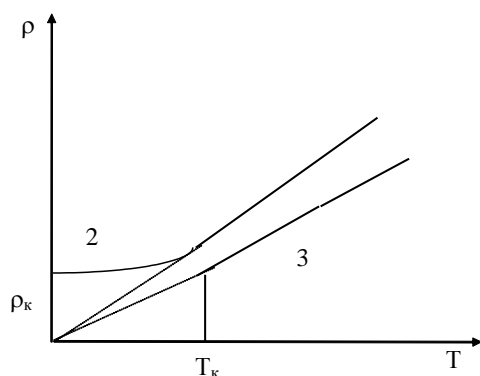
bunda ρ - $T=0$ gradusdagi o'tkazgichning solishtirma harshiligi; α - qarshilikning temperatura koeffitsiyenti.

Turli metallar uchun T_k turlicha. Masalan, simob uchun $T_k = 4,1$ K, qo'rg'oshin uchun $T_k = 7,3$ K. Umuman T_k o'ta o'tkazuvchanlik kuzatiladigan o'tkazgichlarda 20 K Yuqori emas. Lekin, o'tao'tkazuvchan moddalarni Yuqori temperaturalarda ham hosil qilish bo'yicha ilmiy izlanishlar davom etib kelmoqda.

1986 yilda Shvetsariyalik olimlar Dj.Bednorts va K. Myullerlar $T=30$ K dan Yuqori temperaturada keramika-lantan-bariy-mis-kislorod aralashmasidan iborat moddada o'ta o'tkazuvchanlik hodisasini ochdilar. O'sha yilning o'zida Yapo-niya, AQSh va Xitoyda ham keramika-lantan-strontsiy-mis-kisloroddan iborat qotishmada ($T=40-50$ K) o'tao'tkazuvchan moddani hosil qildilar. Xuddi shuningdek, Rossiya fanlar akademiyasining fizika institutida A.Golovashkin rahbarligidagi laboratoriyada Yuqori temperaturali o'tao'tkazuvchan modda hosil qilindi. Uning temperaturasi $T=90-100$ K ga teng.

Hozirgi paytda AQSh va Rossiya fanlar akademiyasida keramik materiallardan tayyorlangan yangi o'tao'tkazuvchan moddalar hosil qilingan bo'lib, ularda o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi $T=250$ K dan boshlab (-23^0) kuzatiladi. Lekin bu holat turg'un bo'lmay, ba'zan o'zining xossasini yo'qotadi. Hozirgi paytda bunday moddalarning o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tishlarining tabiatini o'rganish va

yangi o'ta o'tkazuvchan moddalarni aniqlash sohasida katta ilmiy tadqiqot ishlari davom etmoqda.



Tajribada o'ta o'tkazuvchanlik holatini ikki usulda kuzatish mumkin:

1. Tok o'tayotgan umumiy elektr zanjirga o'ta o'tkazgichdan iborat qismni qo'shish (ulash) yo'li bilan, bunda o'ta o'tkazuvchanlik holatga o'tayotganda qismning uchlaridagi potentsiallar ayrimasi

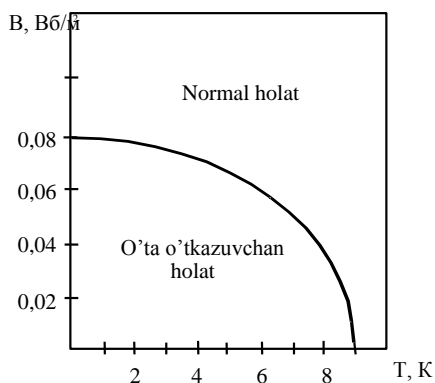
($U = 2 - 1 = 0$) nolga aylanadi.

2. O'ta o'tkazuvchan moddadan yasalgan halqani unga perpendikulyar bo'lgan magnit maydoniga joylashtirgandan so'ng, halqa T_k dan past temperaturaga sovuganda magnit maydonini uzish

5.1-rasm.usuli bilan, bunda magnit maydon induksiyalagan tok halqada chekiz uzoq aylanib turaveradi.

Xuddi shunday tajribani 1911 yilda golland fizigi G.Kamerling - Onnes amalga oshirib o'ta o'tkazuvchanlik hodisasini kashf etdi.

1959 yilda Kollinz 2,5 yil davomida ham halqadagi tokning kamaymaganligini aniqladi. *O'ta o'tkazuvchi moddalarda elektr qarshilikning yo'holishdan tashhari, ularga magnit maydoni ham kiraolmasligi aniqlandi, ya'ni ular magnit maydonini to'lasicha siqib chiqaradi. Bu hodisa Mayssner effekti deyiladi. Demak, o'ta o'tkazuvchan moddada $\mu = 0$, ma'lumki $\mu < 1$ moddalarni diamagnitliklar deyiladi. Demak, o'ta o'tkazgichlar ham ideal diamagnitliklardir.*



5.2 -rasm.

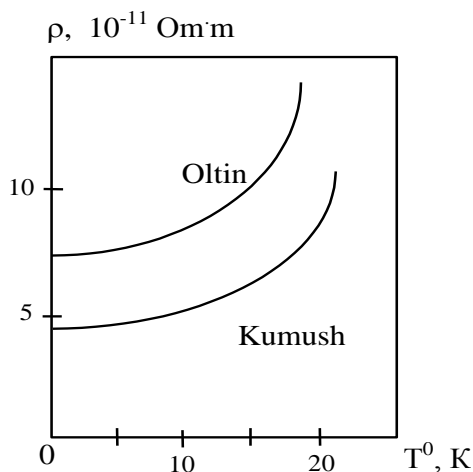
Metallar o'ta o'tkazuvchan holatga o'tganda ularni boshqa xossalari o'zgaradi (elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasida harakati natijasida). *Bu xossalarga ularning issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanligi, termo EDS lar kiradi.*

Demak, metallarning normal va o'tkazuvchanlik holatlari ularning elektron strukturasi sifat jihatidan farqlanishi bilan xarakterlanadi. Shu ikki faza chegarasida temperatura tashqi magnit maydoniga ta'sir ko'rsatadi. Bu bog'lanish $B=B_0(1-T^2/T_k^2)$ 5.2-rasmda keltirilgan.

Aytish joizki, oddiy sharoitlarda yaxshi o'tkazgich xisoblangan (kumush, mis va oltin) jismlar o'ta o'tkazuvchanlik xossasiga ega emas (5.3-rasm), chunki, quyida ko'ramiz, o'tkazuvchan moddalar uchun elektron - fonon o'zaro ta'sir asosiy rol o'ynaydi.

O'ta o'tkazuvchanlik nazariyasi 1957 yilda Bardin, Kuper va Shriflerlar tomonidan ishlab chiqilgan (BKSh). Mazkur nazariyaga binoan metalldagi elektronlar bir-birlaridan kulon kuchlari bilan o'zaro itarishishdan tashhari, ular, tortishishning maxsus turi bilan, bir-birlariga tortishadilar ham. O'zaro tortishish itarishishdan ustun bo'lganda o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi sodir bo'ladi. O'zaro tortishish natijasida o'tkazuvchanlik elektronlari birlashib kuper juft-larni hosil qiladilar. Bunday juftlikka kirgan elektronlar qarama-qarshi yo'nalgan spinga ega bo'ladilar. Shuning uchun juftliklarning spini nolga teng va ular bozonga aylanadilar. Bozonlar asosiy energetik holatda to'planishga moyil bo'ladilar va ularni uyg'ongan holatga o'tkazish nisbatan qiyin. Agar ku-per juftlar muvofiqlashgan harakatga keltirilsa shu holatda ular cheksiz uzoq vaqt holishlari mumkin. Bunday juftlarning muvofiqlashgan harakati o'ta o'tkazuvchanlik tokini hosil qiladi.

Aytilgan gaplarni kengroq tushuntiramiz. T_k dan past temperaturalarda metalda harakatlanayotgan elektronlar, musbat ionlardan tashkil topgan metallning kristall panjarasini diformatsiyalaydi (qutblaydi). Deformatsiya nati-jasida elektron, panjara bo'ylab elektron bilan ko'chadigan, musbat zaryadli bulut bilan chor atrofidan o'ralib qoladi.



5.3-rasm

Elektron va uni o'rab olgan bulut, boshqa elektronlarni o'ziga tortadigan, musbat zaryadlangan sistemaga aylanadi. Shunday qilib kristall panjara, elektronlar orasida tortishishni yuzaga keltiruvchi, oraliq muhid vazifasini o'taydi.

Kvant mexanikasi tili bilan aytganda bu hodisa elektronlar orasida fonon bilan almashishning natijasidir. Metalda

harakatlanayotgan elektron panjaraning tebranish tartibini o'zgartirib fonon hosil qiladi (yo'qotadi). Panjaraning uyg'onish energiyasi boshqa elektronga uzatiladi, u esa o'z navbatida fanonni yutadi. Bu tarzda fonon almashinish oqibatida elektronlar orasida, tortishish xarakteriga ega bo'lgan qo'shimcha o'zaro tasirlashish paydo bo'ladi. Past temperaturalarda o'ta o'tkazgich moddalarda bu tortishish kulon tortishishdan ustun bo'ladi. Fanon almashinish bilan bog'liq bo'lgan o'zaro tasirlashish, impuls va spinlari qarama-qarshi bo'lgan elektronlar orasida kuchliroq namoyon bo'ladi. Natijada bunday ikkita elektron kuper juftliklarga birlashadi. hamma o'tkazuvchanlik elektronlari kuper juftliklarni hosil qilishmaydi. Temperatura absolyut noldan farqli bo'lganda juftlarning buzilishining ma'lum ehtimolligi mavjud. Shuning uchun xar doim juftliklar bilan bir qatorda kristall bo'ylab oddiy tarzda harakatlanadigan "normal" elektronlar bo'ladi. Temperatura T_k ga yaqinlashgan sari normal elektronlarning hisasi ortib boradi va T_k da 1ga teng bo'ladi. Demak, T_k dan yuqori temperaturalarda o'ta o'tkazuvchanlik holati bo'lishi mumkin emas.

Elektronlar jufti (kuper juftlari) ning hosil bo'lishi metallning energetik spektrini o'zgarishga olib keladi.

Elektron sistemani uyg'otish uchun (o'ta o'tkazuvchanlik holatida) xech bo'lmasa, bitta elektronlar jufti orasidagi bog'lanishni buzish kerak, buning uchun $E_{\text{bog'}}$ energiyasiga teng energiya berish kerak. Demak, o'tao'tkazuvchan holatda energetik spektrda $E_{\text{bog'}}$ ga teng bo'lgan energetik tirqish paydo bo'ladi, bu tirqish Fermi sathi sohasida joylashgan. Demak, o'tao'tkazuvchan holatda, elektron sistemaning uyg'ongan holati asosiy holatdan E bog' energetik tirqish bilan ajralgan bo'ladi. Shuning uchun ular orasidagi kvant o'tishlar doimo bo'lavermaydi. Kichik tezliklarda elektron sistema uyg'onmaydi, bu esa harakatni qarshiliksiz bo'lishiga, ya'ni elektr qarshilikning yo'holishini ko'rsatadi. Temperaturaning ortishi bilan $E_{\text{bog'}}$ kengligi kichrayadi va T_k da $E_{\text{bog'}} = 0$ ga aylanadi. O'z navbatida barcha elektron juftlari buziladi va jism normal holatga o'tadi.

6.1. Optik mikroskopiya va elektron mikroskopiya

Elektron mikroskopiya

Ilmiy izlanishlarda keng tarqalgan qurilma elektron mikroskopdir. Yuqori ajrata olish imkoniga ega bo'lgan elektron mikroskoplar alohida qismlar to'g'risida ma'lumotlar olish imkoniga ega. Ko'plab chiqadigan qurilmalarda ajrata olish imkoniyati 20 dan 80 Å gacha bo'ladi. Ayrim elektron mikroskoplarda ajrata olish imkoni 10-15 Å ni tashkil qiladi. Elektron mikroskop proektor yordamida olinadigan ajrata olish 3-4 Å ga etadi. Bunday holatda molekula strukturasi, kristall panjaraning alohida qismlardan ko'rish mumkin.

Ma'lumki elektron mikroskoplarning yorug'lik mikroskoplardan asosiy farqi shundaki ob'ektning tasvirini olish uchun yorug'lik nuri o'rniga elektronlar oqimi ishlatiladi.

Bunday mikroskoplarning ajrata olishning chegaralanishiga ikkita sabab bor.

Texnik sabablar: linza maydonining asimmetriyasi, tashqi elektr va magnit maydonlarning elektronlar to'plamiga ta'siri, magnit linzasida tokni va mikroskopda kuchlanishning tebranishi, mikroskopning tebranishi va boshqalar.

Ajrata olish kabi imkoniyati chegaralovchi prinsipial faktorlarga difraksiyon xatolik, sferik va xromatik aberratsiya kiradi.

Elektron optik qurilmalarining fokuslash xususiyatini ko'rilganda elektron nurlarining geometrik yo'nalishini o'rganish etarlidir. Biroq elektron mikroskoplarning ajrata olish imkoniyati baholashda elektron va ionlarning to'liqin xususiyatini hisobga olish kerak bo'ladi.

Ma'lumki yorug'lik mikroskoplarning ajrata olish imkoniyati diffraksiya tufayli cheklangandir. Difraksiya bo'lishi esa yorug'lik to'liqin uzunligiga bog'liqdir. Xuddi shunday cheklanish barcha turdagi elektron mikroskoplarda bo'ladi.

Elektron yoki ionlarning to'liqin uzunligi de-Broyl nisbati bilan aniqlanadi.

$$\lambda = h/mv$$

Ajrata olish imkoniyati linzalarning takomillashmaganligi, hamda elektron to'liqinlarining mikroskopda diffraksiyasi bilan cheklanishi mumkinligini ko'rsatadi.

To'liqin uzunligini kamaytirish maqsadida elektronlarning o'rniga og'ir zarralar – ionlar ishlatila boshladi. Bu esa o'z navbatida mikroskoplarning ajrata olish imkoniyatini oshishiga olib keldi.

Ion mikroskoplarning imkoniyatlari bir xil tezlashtirish potensialida qisqa to'liqin uzunligidan foydalanishiga bog'liqdir. O'sha elektron linzalardan foydalangan holda ob'ektiv linza aperturasini kamaytirish mumkin. Bu esa elektron linzalarning sferik aberratsiyani kamaytirish hisobiga mikroskoplarning ajrata olish imkoniyatini bir necha barobar oshirishga olib kelishi mumkin.

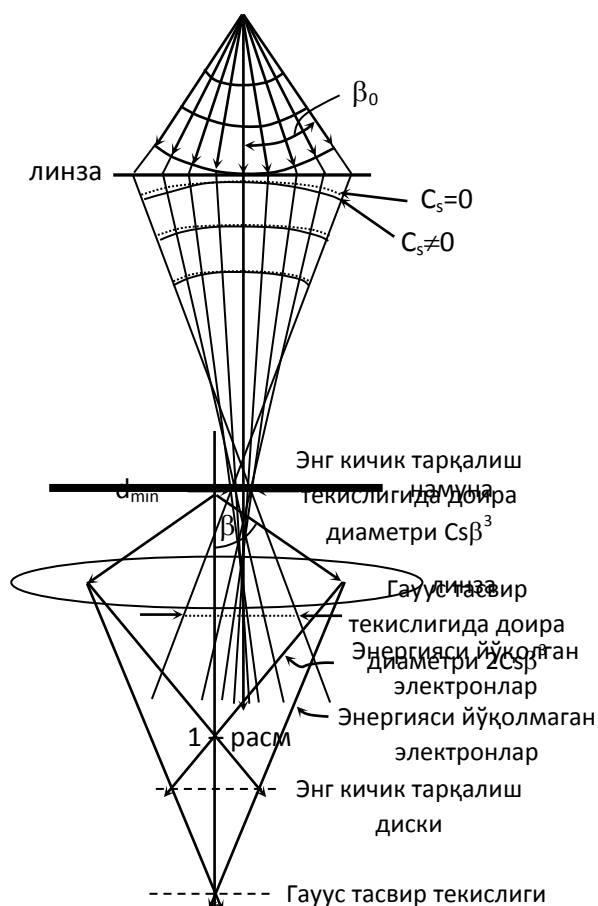
Biroq ob'ektni singib o'tuvchi og'ir ionlar o'rganilayotgan strukturani buzilishiga olib kelishi mumkin. Bu esa ion mikroskoplarlarning imkoniyatlarini cheklaydi.

Elektron – ion mikroskop – proektorlarning ajrata olish imkoniyati harakatlanayotgan elektron va ionlarning diffraksion hodisalar bilan cheklangan.

Yuqorida aytilgan ajratishni cheklovchi linza nuqsonlari haqida qisqa ma'lumot berib o'tamiz.

Sferik aberratsiya. Bu nuqson optik o'qdan uzoqda xarakatlanuvchi nurga makummal darajada ta'sir qilmaslikdan yuzaga keladi. Elektron optik o'qdan qanchalik uzoqda xarakatlansa, u shunchalik o'q yo'nalishi tomon kuchli og'diriladi (1 – rasm). Buning natijasida nuqta yakuniy o'lchamda disk ko'rinishida tasvirlanadi. Sferik aberratsiya $C_s=0$ mavjud bo'lmaganda tasvir, gauss tasvir tekisligi deb nomlanuvchi tekislikda nuqta ko'rinishida bo'lishi kerak. Manba tasvirining eng kichik diametri gauss tekisligidan yuqoriroqda, eng yaxshi fokuslash tekisligida joylashadi. Gauss tekisligida nuqta diametri

$$d = 2C_s\beta^3$$



2 - расм

ni tashkil qiladi, bu erda β – linza ko'rishining fazoviy burchagi, C_s – sferik aberratsiya koeffitsienti. Paraksial bo'lmaganligi sababli gauss tekisligida tasvir qo'shimcha $2C_s\beta^3$ gacha yoyiladi.

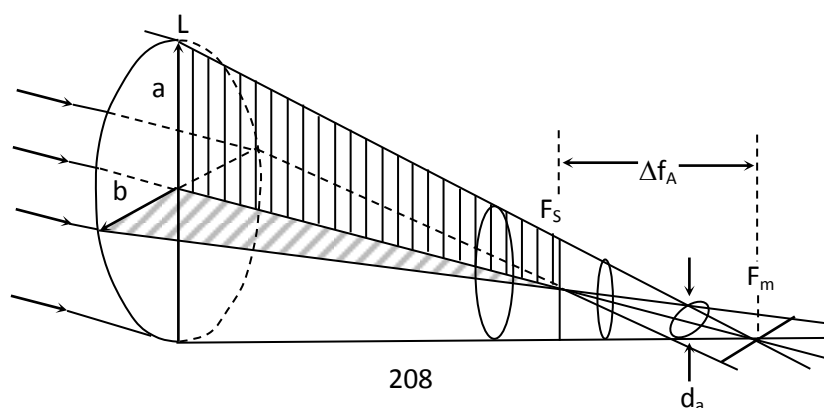
Xromatik aberratsiya. Bu nuqson elektronlarning monoxromatik bo'lmashligi va elektronlarni elektromagnit maydonda turlicha og'ishiga bog'liq bo'ladi. Bu turdagi nuqsonni tasvirlovchi chizma 2 –

rasmda keltirilgan. Kichik energiyaga ega boʻlgan elektronlar katta burchakka ogʻishadi. Yuqori kuchlanishning oʻzgarishi juda kichik 10^{-6} boʻladi, yaʼni 100keV boʻlganda 0,1 eV ni tashkil qiladi. Bunday energetik farqlanishda xromatik aberratsiya muammo tugʻdirmaydi. Biroq noqayishqoq jarayonlar tufayli elektronlar spektri namuna orqali oʻtgandan soʻng yoyiladi. Buning natijasida eng yaxshi fokuslash tekisligida nuqta tasviri

$$r_{chr} = C_c (\Delta E / E_0) \beta$$

radiusli diskni hosil qiladi. Bu erda S_s – linzaning xromatik aberratsiya koeffitsienti, ΔE – energiya yoʻqotilishi, E_0 – elektronlarning boshlangʻich energiyasi. Qalinligi 50 – 100 nm boʻlgan parda orqali oʻtgan elektronlarning kattagina qismi uchun ΔE odatda 15 – 25 eV ni tashkil qiladi. Qalinroq namunalar uchun mos ravishda ΔE katta boʻladi. Bu erdan quyidagi xulosaga kelish mumkin, katta ajratishni olish uchun yupqa namunalar ishlatilishi kerak.

Astigmatizm. Elektromagnit linza qutblari orasidagi tirqishda mavjud boʻlgan maydon oʻqqa simmetrik boʻlishi kerak. Yumshoq magnit materialdan tayyorlangan oʻzak taqsimoti va qutbli yakunlarning aniq boʻlmasligidan maydonning oʻqqa simmetriyasi buziladi. Yupshoq magnit materialning kimyoviy tarkibi bir jinsli boʻlmasligi magnit maydonni gʻallayonlanishiga olib keladi. Bundan tashqari apertura markazda mukammal joylashmagan boʻlishi mumkin. Bundan tashqari ifloslanish tirqishning mukammalligini buzadi. Buning natijasida elektronlar traektoriyasi buziladi. Bu esa astigmatizmga olib keladi (3 – rasm). Astigmatizmni keltirib chiqaruvchi koʻpgina sabablar nuqtani



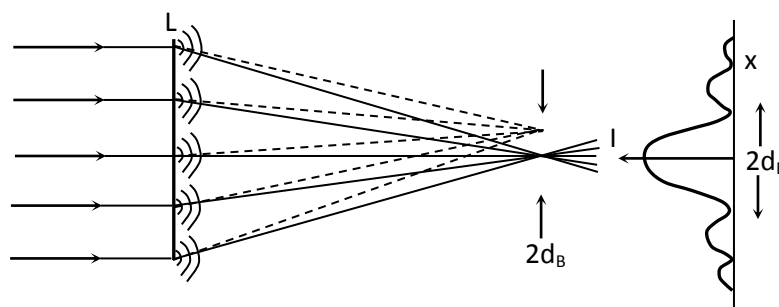
$$r_{ast} = \beta \Delta f$$

radiusli diska yoyilishiga olib keladi. Bu erda Δf – astigmatizm tufayli fokus masofaning farqlanishi.

Difraksiya. To‘plam zarralari chegaralovchi diafragma orqali o‘ta turib, difraksiyaga uchraydi (4 – rasm). Buning natijasida

$$d_d = 0,6\lambda / \beta$$

diametrdagi dog‘ hosil bo‘ldi. Bu erda λ – zarraning debroyl to‘lqin uzunligi bo‘lib, elektronlar uchun quyidagi nisbat bilan $\lambda_{(HM)} = 1,22 / E_0^{1/2}$ aniqlanadi.



4 – расм.

Elektron mikroskoplarda tasvirni hosil qiluvchi elektronlarning chiqish usuliga ham muhim ahamiyatga ega.

Elektron mikroskoplarda elektronlarni katoddan ozod qilishning quyidagi usullari mavjud; termoemissiya, fotoemissiya, elektronlarni bombordirovkasi ta’sirida chiqarishi va musbat ionlar va avtoelektron emissiya.

Elektron mikroskopda foydalaniladigan elektr va magnit maydon aksial simmetrikdir. Bu maydonning ajoyib hususiyati shundaki, ob’ektning ma’lum bir nuqtasida katta bo‘lmagan burchak atrofida chiqayotgan zaryadlangan zarralar maydonning ta’siri tufayli tasvirning mos keluvchi joyida yig‘iladi.

Elektr va magnit linzalar nafaqat tasvirni kattalashtirishda, balki kamaytirish maqsadida ishlatiladi. Ular soyali va rastr elektron mikroskoplarni loyihalashda ishlatiladi.

Mikroskopning foydali kattalashtirilishi. Elektron mikroskopning takomillashganligi ularning ajrata olish kuchi bilan ifodalanadi. $\sigma\mu=R$ nisbatan eng kichik ajrata olish masofasi σ , mikroskopning foydali kattalashtirilishi μ va ko'zning ajrata olish imkoniyati R ni bog'laydi. σ kattaligini bilgan holda $R=0.1-0.3$ mm qiymatini berib foydali kattalashtirish M ni topamiz, ya'ni ko'zning ajrata olishini asbobning ajrata olishiga nisbati.

Foydali kattalashtirish M ni ajrata olish masofasi σ ga bog'liqligi 1 – rasmda ko'rsatilgan. Misol uchun yorituvchi elektron mikroskoplarning ajrata olish masofasi $\sigma=10\text{\AA}$, $R=0.2$ mm da foydali kattalashtirilishi $\mu=200000$ gini topamiz.

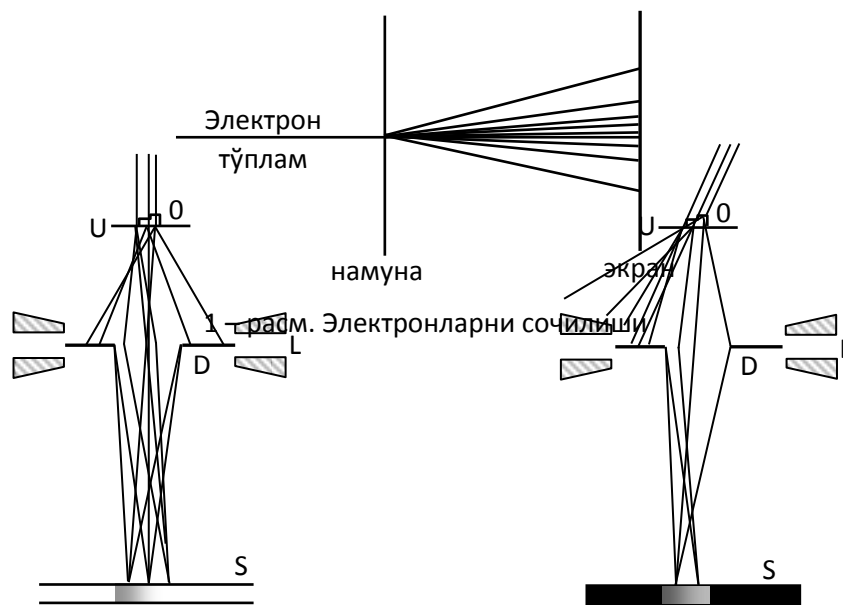
Yorituvchi elektron mikroskop

Yorituvchi elektron mikroskopning ishlash prinsipi. Jismni elektron to'plami bilan yoritish usuli yorug'lik to'plami jism orqali o'tuvchi va shundan so'ng optik tizimga tushuvchi oddiy yorug'lik mikroskopni eslatadi. Biroq bu tashqi o'xshashdir. Amalda esa elektronoptik tasvirni hosil bo'lishiga olib keluvchi jismning elektron to'plam bilan ta'sirlashish xarakteri, yorug'lik mikroskopda jismning yorug'lik to'plami bilan ta'sirlashish mexanizimidan mutloqo farq qiladi.

Yorug'lik mikroskopida jism orqali o'tuvchi yorug'lik to'plami, jismdagi yorug'likni turlicha yutuvchi, qaytaruvchi, sindiruvchi va sochuvchi qismlarda turlicha susayadi. Bu esa jismning tasvirini ko'rish imkonini beradi. Misol uchun turlicha yutuvchi soha holatida jism bo'laklari tomonidan yorug'likni kuchliroq to'xtatuvchi soha, tasvirda jismning shaffof sohasiga nisbatan qoraroq bo'ladi. Elektron to'plami bilan ishlaganda elektronlarning shunday tezligini tanlash mumkin bo'lardiki, unda elektron jism orqali o'tayotganda undagi zich va qalin bo'laklar tomonidan qisman ushlanardi. Biroq ishlashning bu turi yorituvchi turdagi elektron mikroskop uchun yaroqsizdir. Elektronlar jism tomonidan ushlanishi uchun u o'zining energiyasini yo'qotishi kerak. Biroq elektronlar jism atomlari bilan to'qnashib, o'zining energiyasini asosan katta bo'lmagan bo'laklarda beradi. Berilgan energiya kattaligi boshlang'ich energiyaning katta bo'lmagan qismni tashkil qiladi. SHuning uchun elektron jism orqali o'tayotganda,

uning tezligi sekin asta kamayadi. Demakki elektronlarning boshlang'ich tezligini jismning ma'lum bir bo'laklarida ushlanishi uchun tanlansa, u holda boshqa bo'laklar orqali o'tgan elektronlar o'z energiyasining sezilarli qismini yo'qotadi va tezliklari keskin farqlanishi vujudga keladi. Bu esa katta xromatik aberratsiyani yuzaga keltiradi. SHuning uchun ular tasvirni hosil qilish uchun yaroqsizdir.

Jismning elektronoptik tasvirini olish uchun jismda elektronlarning to'xtalishi emas, balki elektronlarning sochilishi deb nomlanuvchi hodisadan foydalaniladi. Bu hodisa tez elektronlar jismning yupqa qatlami orqali o'tayotganda, ular o'zining boshlang'ich yo'nalishidan og'ishadi. Bunda elektronlarning tezligi juda kam o'zgaradi. sochilish natijasida yupqa parallel elektron to'plam jism orqali o'tib, tarqala boshlaydi (1 – rasm). Agarda tarqaluvchi to'plam yo'lga, unga perpendikulyar bo'lgan ekran qo'ysak, u holda ekranda quyidagi manzarani ko'rishimiz mumkin. Elektronlarning eng katta zichligi, elektronlarni ekranga tushishi orqali hosil bo'lgan doira markazida bo'ladi, ya'ni elektronlar og'magan joy. Markazdan qanchalik uzoq bo'lsa, shunchalik ekranga tushuvchi elektronlarning zichligi kichik bo'ladi. Markazdan ma'lum bir masofada elektronlar umuman mavjud bo'lmaydi. SHunday qilib, sochilga elektron konusi to'ldirib, u uchun og'magan elektronlar nuri simmetriya o'qi hisoblanadi. Elektronlarning boshlang'ich yo'nalishidan og'ish burchagi qanchalik kichik bo'lsa, shunchalik sochilgan elektronlar zichligi katta bo'ladi. Agarda jismning sochuvchi qatlami qalinligini yoki zichligini oshirsak, u holda katta sochilish burchagiga to'g'ri keluvchi sochilgan elektronlar ulushi oshadi, hamda sochilgan elektronlar konusi cho'qqisidagi burchak kattalashadi. Xudi shunga o'xshash hodisa elektronlarning energiyasi kamayganda kuzatiladi.



2 – расм. Ёруғ тасвирни олиш

3 – расм. Қоронғу тасвирни олиш

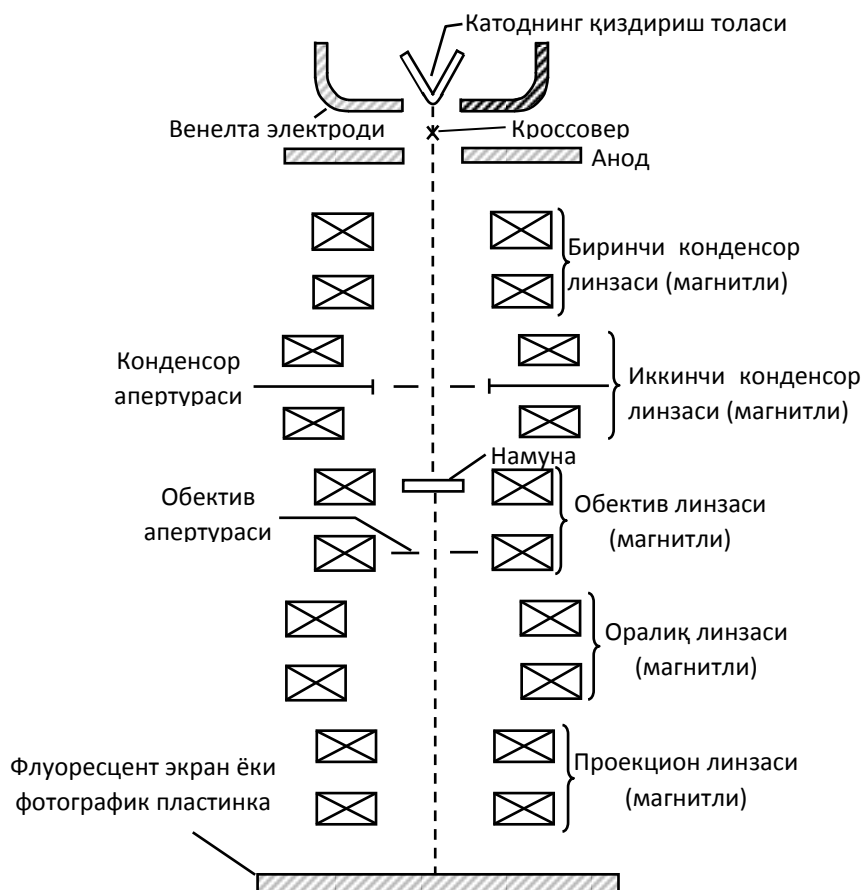
Sochilgan elektronlar hisobiga jismning elektron optik tasvirini olishni ko‘rib chiqamiz. Monoxromatik parallel elektronlar to‘plami tushuvchi O jism orqasiga elektron linza L va apertura diafragmasi D joylashtirilgan bo‘lsin (2 – rasm). Oxirgisining ahamiyati katta bo‘lib, u apertura burchagidan katta burchakka sochilgan elektronlarni ushlab qoladi. Elektron to‘plam jism tomonidan sochilsa, apertura diafragmasi tomonidan ushlab qolinadi. Jism elektronlarni kuchsiz sochuvchi taglikda (yupqa parda) yotibdi. Jism bir jinsli bo‘lmaganligi uchun elektronlarning uning turli sohalarida turlicha sochiladi. Jismdan o‘tuvchi elektronlar qanchalik kuchsiz sochilsa, ular apertura diaframasidan o‘tadi. SHuning uchun L linza yordamida S fluoressent ekranda olingan jism tasvirida, ekranga tushuvchi elektronlarning zichligi, jismning qalin va zich joylarida sochilishi hisobiga kichik bo‘ladi. Aksincha kam sochilgan joylar uchun ekranda yorug‘roq bo‘ladi. Bu usulning nomi yorug‘ maydonli tasvir deyiladi.

Tasvirni olishning boshqacha usuli xam mavjuddir. Elektronlar to‘plami elektron optik tizimning bosh optik o‘qiga nisbatan ma‘lum bir burchak ostida namunaga yo‘naltiriladi (3 – rasm). Bunda sochilishga uchramagan elektronlar diafragma tirqishiga tushmaydi va unda ushlanadi. Diafragma orqali kuchli sochilishga uchragan elektronlar o‘tadi. Tasvirni hosil qilishda sochilgan elektronlar ishtirok etadi. Kuchli sochilishga uchraganlar yorug‘roq bo‘ladi.

Kuchsiz sohilishga uchraganlar esa qoraroq bo‘ladi. Bunday tasvir qora maydonli tasvir deyiladi.

Yorituvchi elektron mikroskop qurilmasi. Yorituvchi elektron mikroskop murakkab optik mikroskopning elektron analogidir (4 – rasm). Bunday mikroskoplar 1930 yillarda ENT asosidagi displeyni tayyorlashda qo‘laniladigan texnologiyalardan foydalanilgan xolda yaratilgan. Bunda yupqa namuna bir tomondan nurlantiruvchi tizim xosil qilgan, ma’lum bir energiyadagi bir jinsli elektron to‘plam bilan nurlantiradi. Namunaning boshqa tomonidagi quvvatli ob’ektiv linzalar tasvirni hosil qiladi. Obektiv orqasida proeksion tizim joylantirilgan bo‘lib, uning vazifasi namuna tasvirini ko‘z ko‘rishi mumkin bo‘lgan o‘lchamgacha kattalashtirgan holda fluoressent xosil qiladi. Tasvirni yozish uchun fluoressent ekran, fotoplenka yoki fotoplastika bilan almashtiriladi. Namunaning qalinligi uni nurlantiruvchi elektronning o‘rtacha erkin yurish yo‘lidan kichik bo‘lishi kerak. Namunaning qalinligi iloji boricha yupqa bo‘lishi kerak, aks xolda yuqori ajrata olish imkoniyati va elektron mikroskopning keskinlik chuqurligining kattaligi sababli tasvirda ko‘p miqdorda bir birining ustiga tushgan elementlar xosil

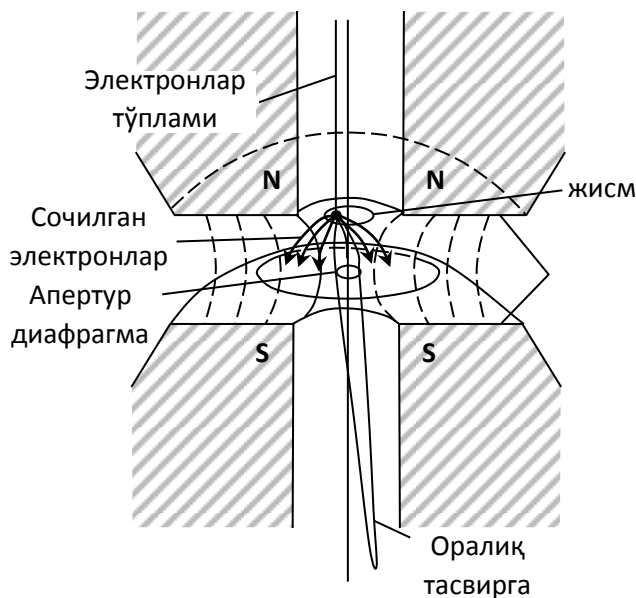
bo‘ladi. Namunaning qalinligi ajrata olish imkoni kattaligidan 10 marta oshmasligi kerak. Metall qotishmalar va yarimo‘tkazgichlarning 10-100mm qalinlikdagi pardalarni olish uchun mikroemirish usulidan foydalaniladi. Kattalashtirilgan tasvirning kontrastligi namuna orqali o‘tuvchi elektronlarni bir qismini atom bilan to‘qnashishi xisobiga erishiladi. Bunda elektron sochiladi yoki ularni energiyasi kamayadi. Sochilgan elektronlarni tasvirni fokal tekisligiga yig‘ish uchun obektiv linzada apertura diafragmasi joylashtiriladi. YOrituvchi elektron mikroskopda apertura diafragmasi tasvirni hosil mexanizmida muxim rol o‘ynaydi. U tomonidan α_{yut} katta burchakka og‘gan elektronlarni yutib oladi. Bu esa fluoressent ekranda fon xosil bo‘lishini oldini oladi. SHuningdek apertura ob’ektiv linzaning sferik aberratsiyasini kamaytiruvchi vosita xisoblanadi. Uning o‘lchami sferik aberratsiya xisobiga tasvirning yoyilishi difraksiyadagidek bo‘lguncha



4 – расм. Ёритувчи электрон микроскопнинг схематик тасвири

kichraytiriladi. Aperturaning o‘lchamini yanada kichaytirish, tasvirni difraksion yoyilishini oshishiga olib keladi. Elektronlar energiyasi qanchalik katta bo‘lsa,

ularning to'liq uzunligi shunchalik kichik bo'ladi. Bunga bog'liq ravishda apertura shunchalik kichik bo'ladi. Odatiy 10 – 100 kV ishchi kuchlanishlarda optimal apertura burchagi $0,5^\circ$ bo'lishi kerak. Ob'ektiv linzasining 2 mm fokus masofasiga 40 mkm diametrli apertura diafragmasi mos keladi.



5– расм.

Fluorescent ekranda tasvirni ko'rish yoki foto plastinkaga uni tasvirini olish uchun namunani nurlantiruvchi elektronlarning intensivligi iloji boricha katta bo'lishi kerak. Nurlantiruvchi tizim shu xolatni hisobga olgan holda ishlab chiqariladi va turli konstruksiyaga ega bo'lishi mumkin. Odatda u elektrostatik uch elektrodli manbadan iborat bo'lib, undan so'ng ikkita magnit linzali kondensor joylashtiriladi. Uch elektrodli manbaning katod va anod orasida crossover hosil qilinadi va elektronlar to'plamining anoddan chiqqandagi yoyilganlik 10^{-2} rad ($0,5^\circ$) tashkil qiladi.

Birinchi kondensorning linzasi pastki o'ram ichida krossoverning kichiklashtirilgan tasvirini hosil qiladi. Bu tasvir namunani nurlantiruvchi dog'ni olish uchun ikkinchi kondensor linzasi tomonidan kattalashtiriladi (kattalashtirish koeffitsienti 1 – 2 oraliq atrofida). Bu dog'ning diametri ikkinchi kondensor linzadagi magnit maydoni kuchlanganligini o'zgartirish bilan boshqariladi. Dog'ning diametri ko'rilishi kerak bo'lgan yuzadan katta bo'lishi kerak emas.

To'plam tokining zichligi kondensorning apertura o'lchami, manba elektrodlaridagi kuchlanish va katoddan emissiyaning maksimal ravshanligi bilan aniqlanadi. Birinchi kondensor linzasi to'plam krossoverini 10 – 15 marta kamaytiradi. Namunadagi nurlantiruvchi dog' diametrini V – shakli katod cho'lg'ami ishlatilganda, 1 mkm gacha kamaytirilishi mumkin. Agarda yanada kamaytirish talab qilinsa, elektronlarning nuqtaviy manbalari ishlatiladi.

Ob'ektiv linzasi kichik fokus masofaga ega bo'lib, uni 1 mm qilish mumkin. Namuna bevosita fokusga joylashtiriladi. 200000 marta kattalashtirish uchun ob'ektiv, oraliq va proeksion linzalar orasidagi kattalashtirishlarning nisbati 100:20:100 ga teng qilib olinadi. Oraliq linzaning vazifasi mikroskopning uzunligini faqatgina proeksion linzaning o'zi ishlatilgan mikroskopga qaraganda kichiklashtiradi. Bu bilan 1mm kichik fokus masofali magnit linzani yaratish qiyinchiligidan xoli bo'linadi.

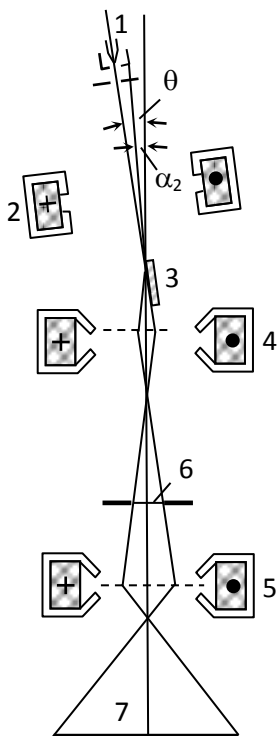
Kondensor va kattalashtiruvchi tizimlarda magnit linzalar qo'llaniladi, chunki ularda elektrostatikga nisbatan kichik aberratsiyaga erishiladi.

YOEMda namuna va barcha linzalarning o'q joylashuvi qo'zg'almas qilib o'rnatilgan. Fokuslash va kattalashtirish ob'ektiv, oraliq va proeksion linzalarning fokus masofasini o'zgartirish bilan boshqariladi. Bunda fokus masofa linzalarning magnit o'ramlari orqali oqib o'tayotgan tokni o'zgartirish bilan amalga oshiriladi. SHuning uchun manba elektrodlaridagi tok va kuchlanishlarning turg'unligi, mikroskopning ishlashida muxim ahamiyatga egadir. Bundan tashqari linza va aperturaning optik o'qining yustirovkasi yuqori aniqlikda qilinishi kerak.

YOEM yordamida sirt strukturasi kuzatishda ikkita usuldan foydalaniladi. YUpqa namunalar uchun qorong'ulash (soyalash) usuli ishlatilsa, qalin namunalarda esa nusxa olish usulidan foydalaniladi.

AKSLANUVCHI ELEKTRON MIKROSKOP

Elektronlar oqimini o‘tqazmaydigan massiv namuna sirtini bevosita kuzatish uchun maxsus turdagi elektron mikroskop yaratilgan.



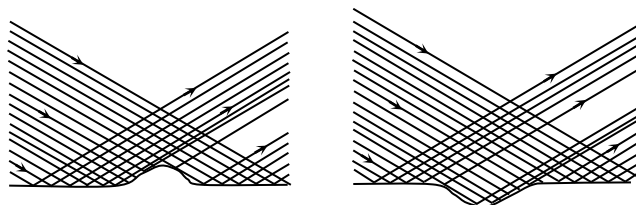
1 – рasm. Аксланувчи магнит электрон микроскоп схемаси

1 – Электрон тўп; 2 – конденсор линза; 3 – намуна; 4 – обектив линза; 5 – проекцион линза; 6 –

Akslanuvchi mikroskopning optik kattalashtirish tizimi (1 – rasm) yorituvchi turdagi mikroskop kabi bo‘lib, biroq jismni tasvirini hosil qilishga olib keluvchi, jismni elektron to‘plam bilan o‘zaro ta’sirlashishi o‘zgacha bo‘ladi. Akslanuvchi mikroskopda tekshirilayotgan namuna, uning sirtiga ma’lum burchak ostida tushuvchi elektron to‘plam bilan nurlantiriladi. Jismning tasviri akslangan, aniqrog‘i namuna sirtidan sochilgan elektronlar hosil qiladi. Akslangan to‘plamdagi tok zichligining taqsimoti sirt relefiga bog‘liq bo‘ladi (2 – rasm). SHuning usun ekrandagi yakuniy tasvir ma’lum darajada shu relefni tasvirlaydi.

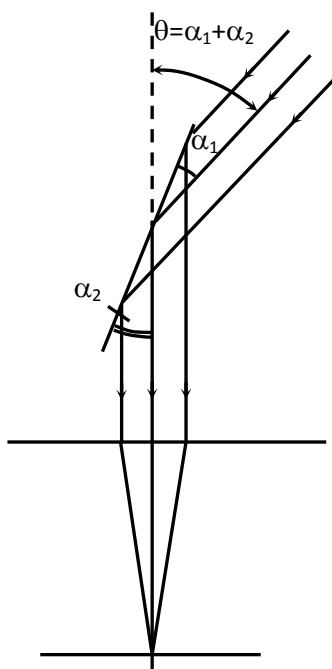
Tasvirni olishdagi xatolikka quyidagi holat sabab bo‘ladi, ya’ni elektronlar namuna sirti bilan o‘zaro ta’sirlashganda o‘z energiyasini turli darajada yo‘qotadi. Buning natijasida akslangan to‘plam monoenergiyali bo‘lmaydi. Akslangan to‘plamda energiya farqlanishi katta bo‘ladi. Uni tushuvchi va akslangan elektronlarni, namuna sirti bilan hosil qilgan burchakni kamaytirish bilan erishiladi (mos ravishda α_1 va α_2). Kichik burchaklarda ($\alpha_1, \alpha_2 \approx 8^\circ$) farqlanish kattaligi 80 keV energiyali elektronlar uchun 100 eV ni tashkil qiladi. Bu esa tushush tekisligiga perpendikulyar yo‘nalishda bir necha 100 angstromga teng bo‘lgan ajratishni beradi. Namuna sirtiga kichik burchak ostida tushuvchi va akslanuvchi elektron to‘plamlarga ega bo‘lgan akslanuvchi mikroskoplar ko‘llaniladi. Bunday

mikroskoplarda obektiv o‘qi tekshirilayotgan namuna tekisligi bilan α_2 burchak hosil qiladi. Jismga tushuvchi elektron to‘plam shu o‘q bilan θ burchakni tashkil qiladi va $8 - 12^\circ$ ga teng bo‘ladi. Kerakli elektron to‘plam yo‘nalishini olish uchun mikroskopning yorituvchi tizimi obektiv o‘qiga nisbatan og‘dirilgan holda joylashtiriladi.



2 – расм. Аксланувчи микроскопда электронлар зичлигининг тақсимоти

Akslanuvchi mikroskopning kamchiligi, elektron to‘plamning og‘ma tushushi bilan bog‘liq bo‘lgan tasvir buzilishidir. To‘plamning bunday yo‘li tufayli tushush



3 – расм. Аксланувчи электрон микроскопда жисмга электрон тўп-ламни оғма тушуши

O – обектив; D – обектив-

tekisligiga parallel yo‘nalishdagi sirt o‘lchami, shu tekislikka perpendikulyar bo‘lgan tasvir o‘lchamiga nisbatan kichiklashgan bo‘ladi. Darhaqiqat, agar mikroskop optik tizimining kattalashtirishi M ga teng bo‘lsa, u holda tushush tekisligiga perpendikulyar bo‘lgan jism sirtida yotuvchi a uzunlikdagi tasvir qismi Ma bo‘ladi. Tushush tekisligiga parallel joylashgan xudi shu uzunlikdagi tasvir $M \sin \alpha_2$ o‘lchamga ega bo‘ladi. Bu erda α_2 – akslangan elektronni namuna sirti bilan hosil qilgan burchak. SHunday qilib, birinchi holatda kattalashtirish $M_{\perp} = M$ bo‘lsa, ikkinchi holatda

$M_{\parallel} = M \sin \alpha_2$ bo‘ladi.

Bundan tashqari o‘lcham jasmning ko‘tariluvchi qismlarida ham o‘zgaradi. h balanlikka ega ko‘tariluvchi qism tasvirining uzunligi $Mh \cos \alpha_2$ teng bo‘ladi. Bu holatda kattalashtirish $Mh \cos \alpha_2$ ga teng bo‘ladi.

Akslanuvchi elektron mikroskopning eng katta kamchiligi ajrata olishning cheklanganli va tasvirning deformatsiyalanishiga qaramasdan, u shaffof bo‘lmagan jism sirtini bevosita kuzatishda eng samarali uskuna bo‘lib hisoblanadi. Akslanuvchi mikroskop yordamida temir namunaning tasviri 4 – rasmda keltirilgan.



4 – расм. Аксланувчи микроскоп ёрдамида олинган тасвир

6.2. Rastrli elektron mikroskopiya

«Rastr elektron mikroskopiya» soʻzi turli xil asboblarning guruhini oʻz ichiga qamrab oladi va ularni koʻpincha yagona konstruktiv birlikga birlashtirishadi. Tasvirni nuqtalar boʻyicha qurish, tasvir oʻlchamlarini radiotexnik usullar bilan oʻzgartirish, elektronlar toʻplamini rastrga yoyish bu asboblarning umumiy xosligidir. Asboblarning orasidagi farqlar, skanerlovchi toʻplamdagi elektronlarning obʻekt moddalari bilan taʼsirlashish natijasini qayd qilish bilan aniqlanadi. Qayd qilinuvchi taʼsirlashishlarni natijasining tabiyati va intensivligi olinayotgan tasvirning koʻrinishini aniqlaydi.

REM – oddiy boʻlmagan elektron mikroskop boʻlib, unda tasvir obʻekt orqali oʻtgan elektronlar yordamida elektronlar linzalar tomonidan hosil qilinadi. REM da tasvirni hosil qilish va uning oʻlchamlarini oʻzgartirish uchun elektron-optik tizimlar ishlatilmaydi. Unda tasvir nuqta boʻyicha quriladi va u elektron toʻplamining namuna sirti bilan taʼsirlashish natijasidir. Kuzatilyotgan soxa mikroskop elektron toʻpi bilan siljitib nurlantiriladi, mos keluvchi tasvir sixron va sinfoz quriladi. Elektron linzalar REMning elektron-optik usulda muhim qismini tashkil qilib, biroq ular elektron toʻplamini hosil qilish uchun ishlatiladi.

Rastr elektron mikroskopda ishlatiladigan elektronlar oqimi, nurlarga qoʻyilgan barcha talablarni qanoatlantiradi.

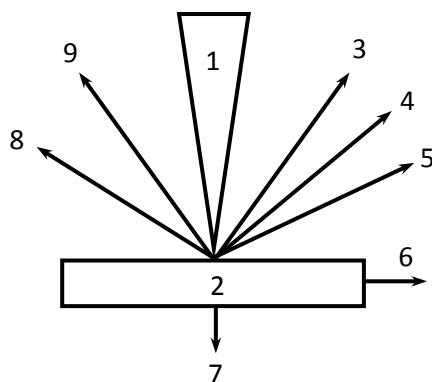
1. Elektronlar oqimini elektr yoki magnit maydoni yordamida ogʻdirish mumkin. Biroq bittasini ishlatishni afzal koʻriladi ham mikroskopni elektron zondida, hamda tasvirni kuzatish va sifatga olish uchun moʻljallangan elektron-nur trubkalarda. Hozirda elektromagnit ogʻdiruvchi tizimlardan foydalaniladi, chunki ularni vakuumdan tashqariga joylashtirish mumkin. Elektr maydon orqali elektronlarni ogʻdirish uchun plastinkani kalonna ichiga joylashtirish kerak boʻladi. Ularni ifloslanishi tasvirni buzilishiga olib keladi.

2. Toʻplam diametri namuna sirtida maʼlum bir oʻlchamga keltirish mumkin. Elektronlar oqimini elektrostatik yoki elektromagnit linzalar yordamida fokuslash mumkin.

3. Nurlanish namuna tizimida ta'sirlashish samaradorligi va kuzatilayotgan namuna tarkibi va topografiyasi haqida ma'lumotlarni olib boruvchi sirt xususiyatlari orasidagi bog'liqlikni mavjudligi.

Rastr elektron mikroskopning fizikaviy asosi. Rastr elektron mikroskopning ishlash prinsipi, fokuslangan elektron to'plam – zond bilan jism sirtini nurlantirganda hosil bo'ladigan jarayonlarga asoslanadi. 1 rasmda ko'rsatilgandek elektronlarning namuna (modda) bilan ta'sirlashish natijasida turli xil signallar vujudga keladi. Ulardan asosiylarni quyidagi elektronlar oqimi tashkil qiladi: qaytgan, ikkilamchi, Oje – elektronlar, yutilgan va namunadan o'tgan elektronlar, shuningdek quyidagi nurlanishlar: katodlyuminessentsiya va rentgen.

Namuna sirtning tasvirini olish uchun ikkilamchi, qaytgan va yutilgan elektronlar ishlatiladi. Qolgan nurlanishlar REM da qo'shimcha ma'lumot manbayi sifatida ishlatiladi.



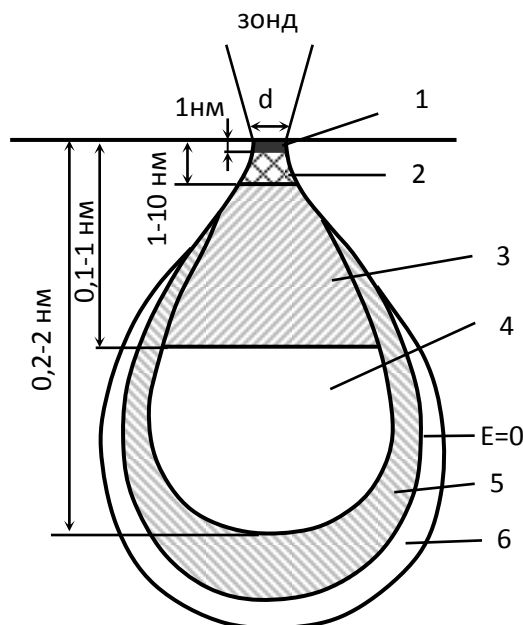
1 – расм. Электрон нурни жисм билан ўзаро таъсирлашиш эффекти. 1 – электрон нур, 2 – жисм, 3 – акланган электронлар, 4 – иккиламчи электронлар, 5 – Оже – электронлар, 6 – ютилган электронлар токи, 7 – ўтиб кетган электронлар, 8 – катодлюминесцент нурланиш, 9 – рентген нурланиш.

Xar qanday mikroskopning asosiy xarakteristikasi ularning ajrata olish qobiliyati hisoblanadi. U quyidagilar bilan aniqlanadi: 1 – zond diametri yoki kesim yuzasi, 2 – namuna va detektor tizimi hosil qiladigan kontrastlik, 3 – namuna signalni hosil bo'lish sohasi.

Zond diametri asosan konstruktiv xususiyat va mikroskop bo'g'inlarning sifatida, avvalambor elektron optikaga bog'liq bo'ladi. Zamanaviy REMLarda zond diametri 5 – 10 nm gacha kichiklashtirilgan.

Kontrastlikni ajrata olish qobiliyatiga ta'siri quyidagida namayon bo'ladi. REMda kontrastlikni hosil qilish, namunaning qo'shni sohalaridan qayt qilinayotgan signallarning farqi bilan aniqlanadi. Bu signallarning farqi qanchalik katta bo'lsa, kontrastlik shunchalik katta bo'ladi. Kontrast bir necha faktorlarga, ya'ni sirt topografiyasiga, jismning kimyoviy tarkibiga, sirdagi mahalliy magnit va elektr maydonlariga, struktura elementlarining kristallografik yo'nalishiga bog'liq bo'ladi. Ulardan eng asosiysi namuna sirtining notekisligiga bog'liq bo'lgan topografik, hamda kimyoviy tarkibiga bog'liq bo'lgan kompozitsion hisoblanadi. Kontrast darajasi, shuningdek chiqishida signal hosil qiluvchi detektorga tushgan nurlanishni aylantirish samaradorligiga bog'liq bo'ladi. Olinayotgan kontrastlik etarli bo'lmasa, u holda uni zond tokini ko'paytirish bilan oshirish mumkin. Biroq katta elektronlar oqimi, elektron optika hususiyatidan kelib chiqqan holda yaxshi fokuslanmaydi, ya'ni zond diametri oshadi va bunga mos ravishda ajrata olish qobiliyat kamayadi.

Ajrata olishni cheklovchi keyingi faktor namunada signallarni hosil bo'lish sohasining o'lchamiga bog'liq bo'ladi. 2 – rasmda elektron to'plam namunaga ta'sir qilganda turli nurlanishlarning hosil bo'lish sxemasi keltirilgan. Birlamchi



2 – расм. Жисм сиртини электронлар (зонд) оқими билан нурлантирилганда сигналларни ҳосил бўлиш соҳаси. 1 – Оже – электронлар, 2 – иккиламчи электронлар, 3 – аксланган электронлар, 4 – характерли рентген нурланишлари, 5 – секинлашувчи рентген нурланишлари, 6 – флуоресценция.

elektronlar namunaga kirganda barcha yo'nalish bo'yicha sochiladi. SHuning uchun namuna ichida elektron to'plamni kengayishi yuz beradi. Birlamchi elektronlarning $E=0$ energiyagacha sekinlashgan sohasida, nok simon shaklga ega bo'ladi. Namunada elektron to'plamini yon tomonlarga kengayishi, zond diametri 10 nm bo'lganda ham, 1 dan 2 mkm gacha borishi mumkin. elektronlarning yoyilishi, elektronlarning namuna sirtiga chiqish yuzasi elektronlar to'plamining fokusidan katta bo'lishiga olib keladi. Bunga bog'lik ravishda elektronlarning namuna ichida sochilish jarayoni akslangan, ikkilamchi va yutilgan elektronlardan olinayotgan tasvirning ajrata olish qobiliyatiga katta ta'sir qiladi.

Akslangan elektronlar. Ular birlamchi elektronlarning bir marotaba elastik sochilishlari natijasida katta burchakka (90° gacha) yoki ko'p marotaba sochilishlar natijasida kichik burchakka sochilishda hosil bo'ladi. YAkunda

birlamchi elektronlar namuna atomlari bilan bir necha ta'sirlashib, energiya yo'qotadi va o'zining harakat yo'nalishini o'zgartiradi, hamda namuna sirtini tark etadi. Akslangan elektronlarning hosil bo'lish sohasining o'lchami katta va namuna materialida elektronlarning yugurish yo'liga bog'liq. Soha ko'lami birlamchi elektronlarni tezlashtiruvchi kuchlanish oshishi va namuna tarkibiga kiruvchi elementlarning o'rtacha atom raqamining Z kamayishi bilan o'sadi. Soha ko'lami 0,1 dan 1 mkm gacha borishi mumkin. Akslanish jarayonida energiyaning bir qismini yo'qotgan elektronlar namunani elektron zond tushgan joyga nisbatan katta masofada tark etadi. Bunga mos ravishda signal olinadigan yuza zond yuzasidan katta bo'ladi. SHuning uchun akslangan elektronlarni qayd qilish rejimida REM ning ajrata olishi katta emas va katta bo'lmagan tezlashtiruvchi kuchlanishda va og'ir material bilan ishlaganda 10 nm o'zgarsa, katta tezlashtiruvchi kuchlanishda va engil material bilan ishlaganda 100 nm etadi. Akslangan elektronlar emissiyasining eng asosiy xususiyati elementning atom raqamiga bog'liqligidir. Birlamchi elektronlar to'plamining tushush nuqtasida material atom raqami kichik bo'lsa, u holda qichik energiya zahirasiga ega bo'lgan kam miqdorda akslangan elektronlar hosil bo'ladi. Atom raqami katta bo'lgan namuna sohasida, ko'p miqdorda elektronlar akslanadi va namunaning kichik chuqurligida hosil bo'lganligi uchun ular sirt tomon harakatlanishida kam energiya yo'qotadi. Bu qonuniyat akslangan elektronlarda tasvir olishda ishlatiladi.

Ikkilamchi elektronlar. Namunaga kiruvchi birlamchi elektronlarning jism atomining tashqi qobiqlardagi elektronlar bilan o'zaro ta'sirlashadi va ularga o'zining energiyasini bir qismi beradi. Namuna atomining ionlashishi yuz beradi va bunda ozod bo'lgan elektron namunani ikkilamchi elektron ko'rinishida tark etadi. Ular 50 eV gacha bo'lgan kichik energiya bilan xarakterlanadi va sirtga yaqin bo'lgan sohadan chiqadi. Ikkilamchi elektronlarni beruvchi qatlam chuqurligi 1 – 10 nm ni tashkil qiladi. Bu qatlam chegarasida elektronlarning sochilishi kichikdir, shuning uchun ikkilamchi elektronlarda tasvir olishda ajrata olish qobiliyati avvalo birlamchi zond diametri bilan aniqlanadi. Ikkilamchi elektronlar, boshqa signallarga qaraganda maksimal ajrata olish qobiliyatini 5 – 10

nm ta'minlaydi. SHuning uchun REM da jism sirti tasvirini olishda u eng asosiy ma'lumot manbai hisoblanadi. Hosil bo'luvchi ikkilamchi elektronlar miqdori element atom raqamiga kuchsiz bog'liq.

Ikkilamchi elektronlarning chiqishini aniqlovchi asosiy parametr birlamchi elektronlar to'plamini jism sirtiga tushush burchagidir. SHunday qilib, sirt mikrosohalarning og'ishining o'zgarishi ikkilamchi elektronlarning chiqishini keskin o'zgartiradi. Bu effekt sirt topografiyasi haqida ma'lumot olishda ishlatiladi.

YUtilgan elektronlar. Zond ta'sirida hosil bo'lgan elektronlarning bir qismi namuna xajmida qoladi. Birlamchi to'plamning energiyasi 10 – 20 keV bo'lganda hosil bo'lgan ikkilamchi va akslangan elektronlarning 50% namuna sirtiga etib boradi, hamda uni tark etadi. Qolgan elektronlar yutilgan elektronlar tokini hosil qiladi. Uning miqdori zond toki, hamda akslangan va ikkilamchi elektron toklari farqiga teng bo'ladi. Bu farq tasvir olish uchun signal bo'ladi.

Ajrata olish qobiliyati akslangan elektronlar kabilir. Tasvir olishda bu usul kam ishlatiladi.

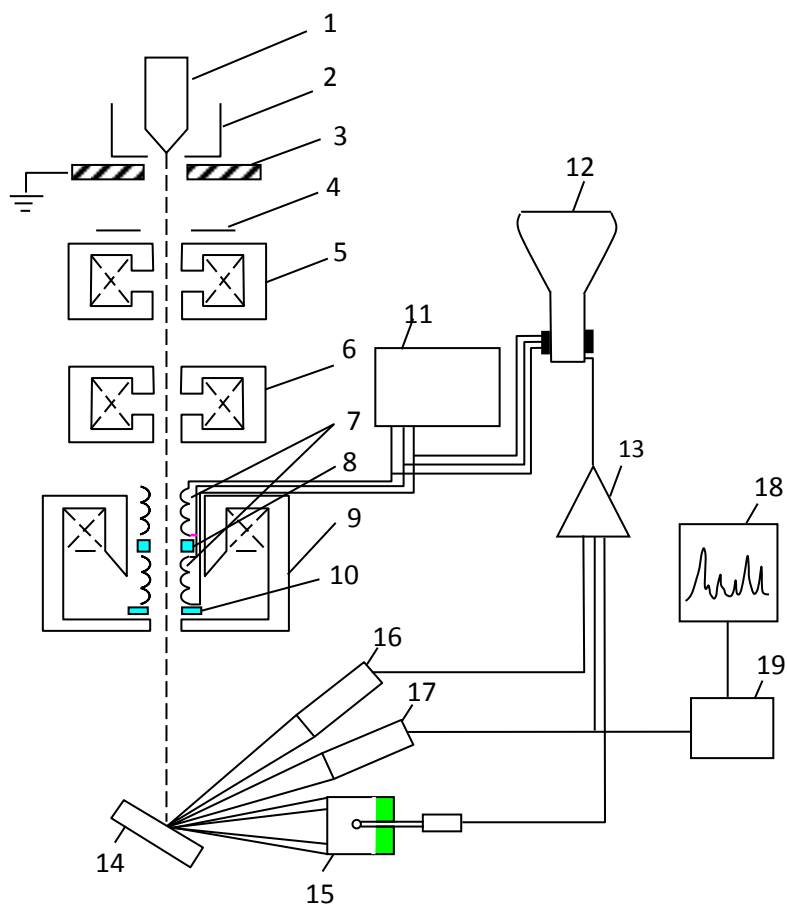
Rastr elektron mikroskop qurilmasi va ishlashi. Rastr elektron mikroskopning sxemasi 3 – rasmda keltirilgan. U quyidagi bo'limlardan tashkil topgan: elektronlarni hosil qiluvchi elektron to'p 1 – 3; elektron zondni hosil qiluvchi va 11 namuna sirtida uni skanerlashini ta'minlovchi elektronoptik tizimlar 4 – 10; tasvirni hosil qiluvchi tizimlar 11 – 13, 15.

Elektron to'p 1 katod, 2 Venelta silindri va 3 anoddan tashkil topgan. Odatda katod sifatida volframli V – shakldagi sim ishlatiladi. Tok o'tkazish bilan katod qizdirilganda elektronlarning termoemissiyasi yuz beradi. Elektronlar katod va anod orasiga qo'yilgan kuchlanish ta'sirida tezlashtiriladi. Kuchlanish 1 dan 50 kV gacha o'zgartirish mumkin. Venelta silindri katta manfiy potensialga ega bo'lib, elektron oqimni boshqarish uchun ishlatiladi. To'pdan chiqqan elektronlar oqimi uchta 5, 6, 9 elektrmagnit linza orqali o'tadi. Elektronlar oqimi fokuslash o'q

simmetriyasiga ega bo'lgan magnit maydoni tomonidan amalga oshiriladi. Magnit maydon solenoid o'ramlari orqali tok o'tishida hosil bo'ladi. Linzaning fokus masofasini solenoid o'ramlari orqali oqib o'tayotgan tok kuchini o'zgartirish yordamida amalga oshiriladi. Tizimda, elektronlar to'plamini yoyilishini cheklovchi ikki diafragma 4, 10 mavjuddir.

Astigmatizm linzalarning magnit yoki geometrik simmetriyasini buzilishiga bog'liqdir. Astigmatizm 8 stigmator deb nomlanuvchi maxsus tizimni kiritish bilan yo'qotiladi. U linzaning magnit maydoni to'g'rilaydi va uning simmetriyasini tiklaydi.

Stigmator 9 obektiv linzada joylashgan. Bundan tashqari unda ikkita elektrmagnit og'diruvchi g'altak joylashtirilgan. Bu g'altaklar zondni mos ravishda x va y yo'nalishga og'diradi. G'altak 11 generator bilan bog'langan. Bu generator elektron zondni namuna bo'ylab va elektron nurni elektron nur trubkasi 12 ekrani



3 – расм. Растр электрон микроскопинг схемаси.

1 – катод; 2 – Венелта электроди; 3 – анод; 4 – чегараловчи диафрагма; 5 – биринчи конденсор линза; 6 – иккинчи конденсор линза; 7 – оғдириш ғалтаги; 8 – стигматор; 9 – обектив линза; 10 – тўмлаш ўлчамини чекловчи диафрагма; 11 – ёйиш генератори; 12 – ЭНТ; 13 – кучайтиргич; 14 – намуна; 15 – детектор; 16 – ФЭК; 17 – рентген микроскопистрат; 18 – ЭММ; 19 – блоклар

bo'ylab sinxron harakatlanishini ta'minlaydi. Elektron to'plam namuna sirtida akslangan, ikkilamchi va yutilgan elektronlarni keltirib chiqaradi. Bu signallar maxsus detektor tomonidan ushlanadi. Bu sxema 15 ikkilamchi elektronlarni qayd qilishda ishlatiladigan detektor keltirilgan. Detektorda elektronlar oqimi elektr signalga (tok) aylantiriladi. Tok 13 kuchaytirgich orqali o'tib ekranda ravshanlikni hosil qiladi.

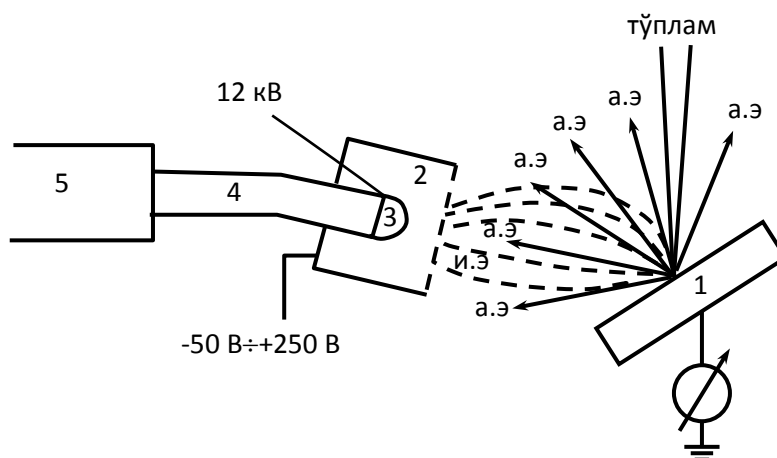
Jism sirt tasviri quyidagicha hosil bo'ladi. Og'diruvchi g'altak yordamida zond namuna sirti bo'ylab haraktlanadi. U chiziq bo'ylab yuradi. Parallel chiziqlar yig'indisi jism yuzasi haqida ma'lumot beradi.

REM ni kattalashtirishi ekran bo'ylab nurni yoyish amplitudasi (L) va namuna sirti bo'ylab zondni yoyish amplitudasi (l) orasidagi nisbat bilan aniqlanadi va L/l ga teng bo'ladi. Ekranda L yoyish uzunligining maksimal qiymati o'zgarmas bo'lganligi uchun mikroskopning kattalashtirishini oshirish uchun l kamaytirish kerak bo'ladi. Zondni tebranish amplitudasini o'zgartirish boshqarish bloki yordamida amalga oshiriladi. Bunda og'diruvchi g'altakdagi tok o'zgartiriladi.

Ikkilamchi va akslangan elektronlar detektori. Elektron mikroskopda eng keng qo'llaniladigan detektor, Everxart va Tornli tomonidan takomillashtirilgan ssintillyator – fotokuchaytirgich turidagi detektor hisoblanadi (4 – rasm).

Bu detektorning asosiy qismi ssintillyatoridir. U katta energiyadagi elektronlar tushganda yorug'lik chiqaradi. Nurlanish nur o'tkazgich orqali fotokuchaytirgich oynasiga tushadi. Bunday tizim kichik shovqin hisobiga katta kuchaytirish koeffitsientiga ega. Ko'pgina ssintillyator uchun energiyasi 10 – 15 keV bo'lgan elektronlar kerak bo'ladi. SHuning uchun ikkilamchi elektronlarni kerakli energiyagacha tezlashtirish uchun ssintillyatorga 12 kV yaqin potensial beriladi. Bunga qo'shimcha tarzda bu potensial tushayotgan elektronlar to'plamiga ta'sir qilmasligi uchun ssintillyator Faradey silindri bilan o'raladi. Faradey silindridagi kuchlanishni o'zgartirgan holda hosil bo'layotgan signalga ikkilamchi elektronlarning ta'sirini yo'qotish mumkin yoki bo'lmasa ularning samarali

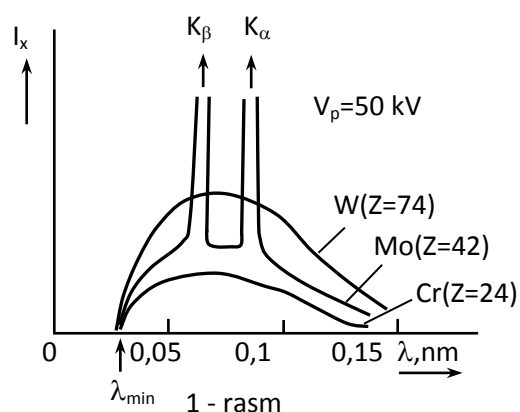
ishlatilishiga erishish mumkin. Masalan, +250 V berilganda ikkilamchi elektronlar o‘z yo‘nalishidan og‘adi va silindr ichiga tushadi.



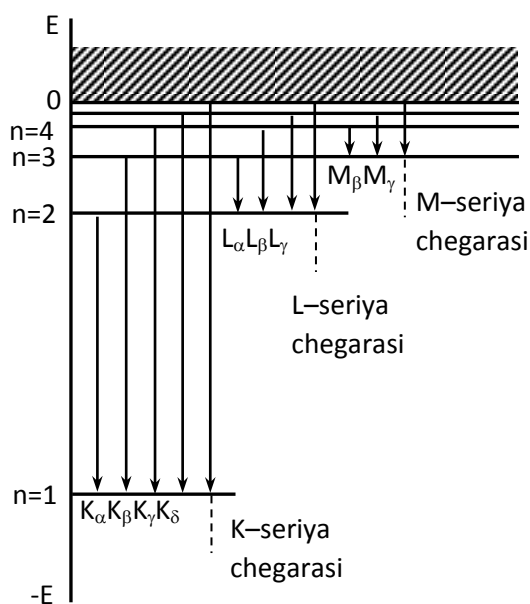
4 - расм. Эверхарт -Торнли детектор. а.э. – аксланган электронлар; и.э. – иккиламчи электронлар; 1 – намуна; 2 - Фарадей цилиндри; 3 - сцинтиллятор; 4 - нур ўтказгич; 5 – фотокучайтиргич.

RENTGEN SPEKTRAL ANALIZ

Rentgen spektral mikro taxlil deyilganda jismning element tarkibini unda g‘alayonlangan xarakterli rentgen nurlanishi bo‘yicha aniqlash tushuniladi. Rentgen spektral taxlil qilgichda xarakterli spektrni taxlil qilish uchun spektrometrning ikki turi ishlatiladi (kristalsiz yoki kristalli taxlil qilgich). RSMTQ dan farqi shundaki g‘alayonlangan birlamchi nurlanishlar tor elektron zond orqali namunaning kichik hajmida hosil qilinadi. Bu zond REM da ishlatiladigan zondga o‘xshashdir. SHuning uchun rentgen mikro analizning asosi sifatida rastr elektron mikroskopning elektrton optik tizimi ishlatiladi.



Elektron zond namuna bilan o‘zaro ta’sirlashganda g‘alayonlanishi mumkin bo‘lgan signallardan biri rentgen nurlanish bo‘lib, ularni sekinlashuvchi va

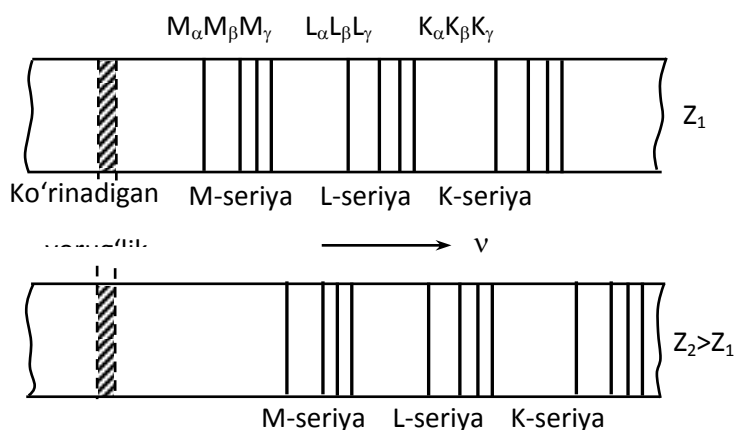


2 - rasm

xarakterli nurlanishga bo‘lish mumkin (1-rasm). Sekinlashuvchi rentgen nurlanishlari taxlil qilinayotgan material atomining elektr (kulon) maydonida birlamchi elektronlarning sekinlashishi hisobiga vujudga keladi. Birlamchi elektronlarning kinetik energiyasi qisman yoki to‘laligicha rentgen nurlanishlar energiyasiga aylanadi. Bunga mos ravishda nurlanish energiyasi noldan to tushuvchi

elektron energiyasiga teng bo‘lgan uzluksiz spektrga ega bo‘ladi. SHuning uchun uni uzluksiz rentgen nurlanishlari deyiladi. Rentgen spektral mikroanalizda sekinlashuvchi nurlanishlar keraksiz bo‘lib, u fon darajasini oshishiga asosiy qo‘shimcha qo‘shadi va buni yo‘qotib bo‘lmaydi. Bu esa yuqori signal/fon nisbatini olish uchun nurlanishni g‘allayonlantirish sharoitini yaxshilashni, hamda asbobning sezgirligini oshirishni talab qiladi.

Birlamchi elektronlar namunaga kiringanda ular nafaqat atomning elektr maydonida, balki material atomining elektronlari bilan bevosita to‘qnashganda



3 - rasm

ham sekinlashadi. Buning natijasida birlamchi elektronlar namuna atomlarini energetik g‘allayonlangan holatda qoldirgan holda ichki K

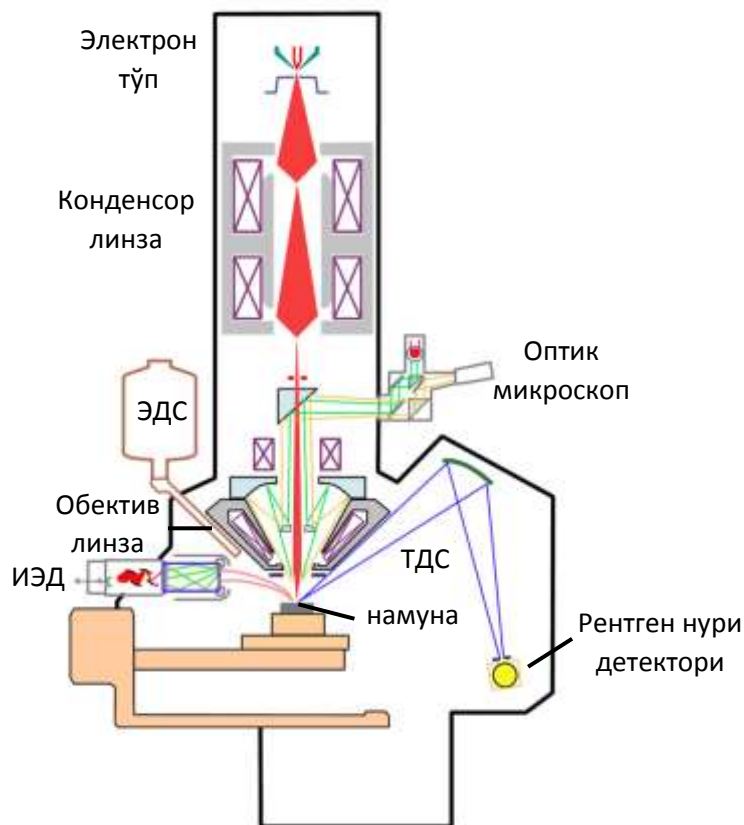
–, L – va M – qobiqlardan elektronlarni urib chiqaradi. Hosil bo‘lgan bo‘shliq yuqori energetik satxdagi elektronlarning o‘tishi bilan to‘ladi (2 – rasm). Atom asosiy holatga o‘tadi. Ortiqcha energiya rentgen nurlanish kvanti ko‘rinishida ajralib chiqadi. Ajralib chiqayotgan kvant energiyasi jarayonda ishtirok etayotgan elektron satxning energiyasiga bog‘liq bo‘lgani uchun ular xar bir element uchun xarakterli bo‘ladi va xarakterli rentgen nurlanishlarini xosil qiladi. Xar bir atom aniq satxlar miqdoriga ega bo‘lib, ular orasida ma’lum turdagi o‘tishlar amalga oshishi mumkinligi uchun xarakterli rentgen nurlanishlari diskret chiziqli spektrin beradi. Bir xil nomli qobiqlarga elektronlarni o‘tishida hosil bo‘lgan rentgen chiziqlari bitta spektral seriyani (K –, L –, M – seriya) tashkil qiladi. CHiriq spektrning eng qisqato‘lqinli seriya K – seriyadir. Seriyadagi chiziqlarni grek xarflari bilan belgilanib (α , β , γ , δ , ...), α indeks eng uzun to‘lqin chizig‘iga tegishli bo‘ladi. β indeks qisqaroq to‘lqin chizig‘iga tegishli bo‘ladi. Atom tartibi Z bo‘lgan elementdan atom tartibi $Z+1$ bo‘lgan elementga o‘tganda chiziqli spektr strukturasi o‘zgarmaydi, balki barcha xarakteristik chiziqlarni katta chastota tomon siljishiga olib keladi (3 – rasm).

Mozli qonuni bo‘yicha bitta seriya ichidagi rentgen chiziqlar uchun nurlanish energiyasining kimyoviy elementlarning atom tartibiga bog‘liqligi mavjud:

$$E = p(Z - q)^2$$

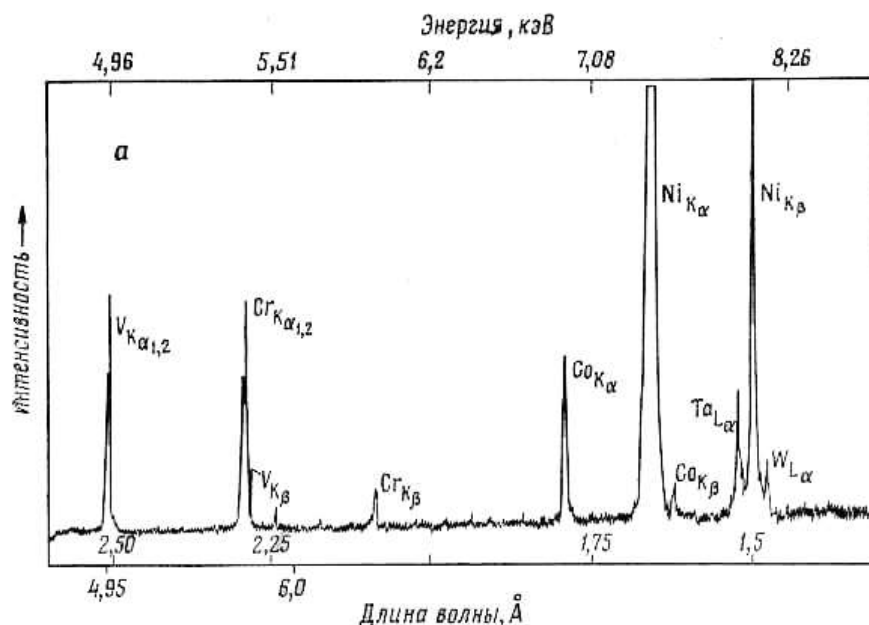
bu erda E – energiya, Z – emitterlanayotgan atomning atom nomeri (q – doimiy).

Emitterlangan spetrning to‘lqin uzunligi yoki energiyasini aniqlash mumkin bo‘lsa, u xolda namuna tarkibidagi elementlar haqida hulosa qilish mumkin. Bu rentgen spektral tahlilning asosidir. Xarakterli spektr bo‘yicha ishtirok etuvchi elementlar chiziqlarining intensivligini (α – chiziq) aniqlash va uning intensivligini o‘lchash mumkin bo‘lsa, u xolda uning asosida elementning miqdorini taxlilini amalga oshirish mumkin.



4 – расм. Рентген спектрал анализ қурилмаси

Рентген спектрал микроанализатор қурилмаси ва ишлаши. Спектрал микроанализни о‘тқазish uchun REM sistemasiga рентген спектрометр кiritiladi (4 - rasm). Спектрометрлар турли xilda bo‘lishi mumkin. Agarda спектрометр nurlanish J intensivligini λ to‘lqin uzunligi funksiyasi sifatida aniqlasa, u to‘lqin dispersiyali спектрометр turiga kiradi. Agarda J ni energiya funksiyasi sifatida qo‘rsatilsa, u energiya dispersiyali спектрометр turiga kiradi.



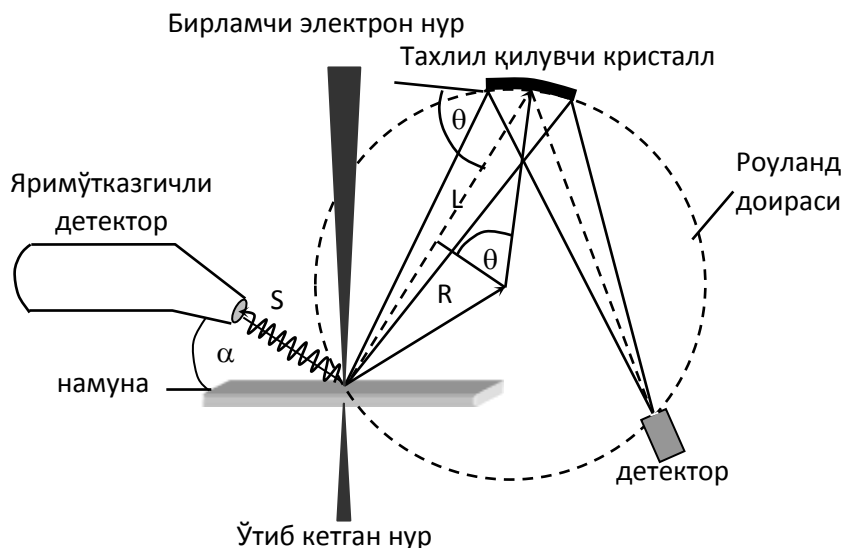
Rentgen nurlarining energiya dispersiyali spektrometrlarni, ya'ni yarimo'tkazgichli detektorlarni rivojlanishidan oldinroq kristall spektrometr qurilmalardan keng foydalanilgan. Unda uchib chiqqan rentgen nurlarining intensivligi, ularning to'liq uzunligiga bog'liq ravishda o'lchangan. Bunday to'liq dispersiyali spektrometrlarda rentgen nurlarini ma'lum kristalldan akslanishi foydalaniladi va u Breeg qonuni bilan yoritiladi

$$2d\sin\theta=n\lambda.$$

Namuna sirtidagi zond nuqtasi, tahlil qiluvsi kristall yuzasi va detektor tirgishi fokuslovchi doira atrofida joylashtiriladi (5 - rasm). Bu doirani Rouland doirasi deyiladi. Kristall va detektorning harakati mexanik bog'langan bo'lib, kristall yuzasi θ burchakka siljiganda, detektor 2θ burchakka siljiydi. O'lchanayotgan to'liq uzunligi quyidagi nisbat orqali aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{d}{R} L,$$

bu erda R – Rouland doirasining radiusi, L – namuna va taxlil qiluvchi kristall orasidagi o‘zgaruvchi masofa. Bu spektrometrning asosiy kamchiligi fokuslash shartini bajarilishi uchun aniq mexanik roslash kerak bo‘ladi.



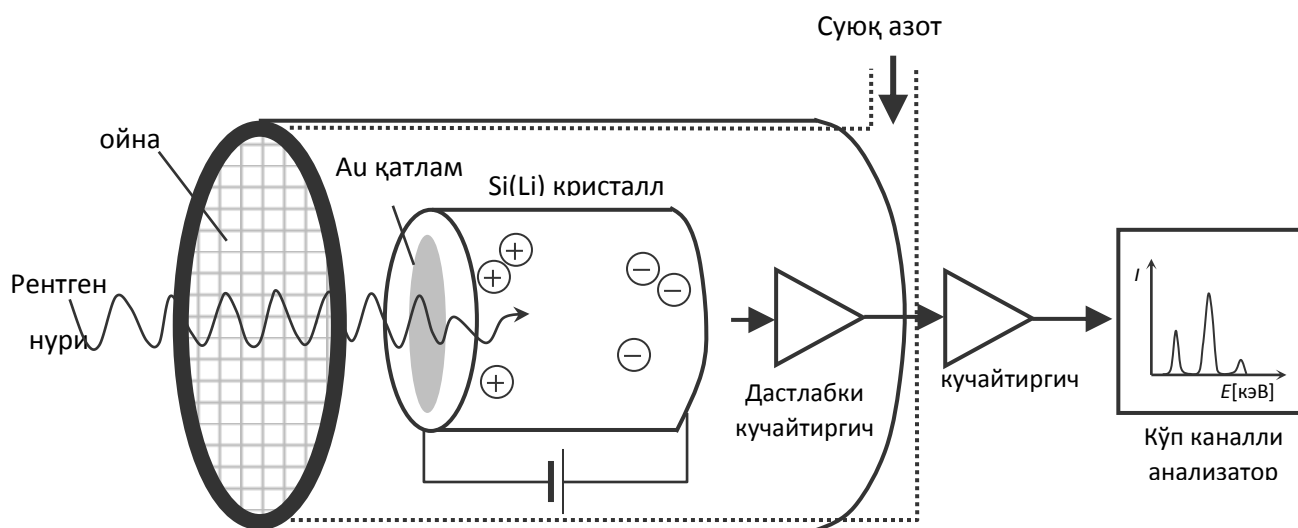
5 – расм. Тажриба қурилмаси.

Barcha to‘lqin uzunligini qoplash uchun panjara doimiysi har xil bo‘lgan uchta yoki to‘rta kristall ishlatish kerak bo‘ladi. Misol uchun LiF kristallining skanerlash burchagi $\theta=15 - 65^\circ$ to‘lqin uzunligining 0,35 dan 0,1 nm gacha bo‘lgan oralig‘ini o‘z ichiga oladi. Bu esa mos ravishda rentgenning 3,5 - 12,5 keV oralig‘idagi energiyasiga to‘g‘ri keladi. Akslangan nurlanishlar proporsional hisoblagich tomonidan qayd qilinadi. Spektrometr yordamida tartib raqami $Z = 4$ (Be) dan $Z = 92$ (U) gacha bo‘lgan elementlarni aniqlash mumkin. Bu esa to‘lqin uzunligi katta oraliqda bo‘lgan nurlanishlarni qayd qilishni talab qiladi. Bunga mos ravishda almashtiriladigan kristallar to‘plamidan foydalaniladi.

Energiya dispersiyali spektrometr yuqorida aytilganidek yarimo‘tkazgichli detektorlardan foydalanishga asoslanadi (6 – rasm). Yarimo‘tkazgichli detektor sifatida litiy bilan legirlangan kremniy yoki xususiy germaniy kristalli ishlatilishi mumkin. Si detektorlarda litiy kirishma atomlarning ta’sirini yo‘qotish maqsadida kiritilgan. Xususiy kristall rentgen nurlarini qayd qilishda samarali hisoblanadi. Umuman olganda detektor ichida elektron kovak juftligi rentgen nuri

tomonidan hosil qilinadi. Bitta elektron kovak juftligini hosil qilish uchun Si ga 3,8 eV kerak bo'lsa, Ge uchun 2,9 eV kifoyadir. Rentgen nurining energiyasi birlamchi elektronlarning energiyasi va nurlantirilayotgan materialga bog'liq holda bir necha keV bo'lganligi uchun bitta foton minglab elektron kovak juftligini hosil qiladi. Elektron va kovaklarning miqdori kelayotgan rentgen nuri energiyasining to'g'ri kattaligidir.

Elektron kovak juftligi Si kristallga qo'yilgan maydon ($0,5 \div 1$ keV) ta'sirida ajratiladi. Kristallning oldi va orqa tomoniga o'tqazilgan oltin qatlami kontakt sifatida xizmat qiladi.



6 – яримўтказгичли детектор

Natijaviy elektr cho'qqi kuchaytiriladi va cho'qqi balandligi bo'yicha tahlil qilinadi va ko'p kanalli analizator yoki kompyuterda saqlanadi. Issiqli tufayli hosil bo'lgan elektron kovak juftligi miqdorini kamaytirish, kuchaytirgichlarda ishlatilgan tranzistorga bog'liq bo'lgan shovqin darajasini kamaytirish va litiyni diffuziya qilishini oldini olish maqsadida detektor suyuq azot bilan sovitiladi.

EDS ning eng asosiy afzalligi bir vaqtning o'zida tushuvchi barcha kvantlarning energiyasini taxlil qilish imkonini beradi. Buning natijasida rentgen spektrlarini bir necha daqiqa ichida olish imkonini beradi. EDS ni kamchiligi TDS qaraganda energetik ajratish bir tartibga kichik bo'lib, u elementlarni $Z = 11$ (Na) dan boshlab qayd qila boshlaydi.

Miqdoriy rentgen spektral tahlil Kasten tomonidan taklif qilingan uchta tuzatish (ZAF) usuli bilan amalga oshiriladi. Usul asosida bir xil sharoitda namunaning i –elementning rentgen nurlanishining intensivligi (J_i) va tarkibida o‘sha elementni o‘z ichiga olgan etalon intensivligi ($J_{(i)}$) sekinlashuvchi rentgen nurlanishi – fon intensivligini chiqarib tashlab o‘lchanadi. i elementning C_i og‘irlik konsentratsiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$S_i = (ZAF)_i J_i / J_{(i)} C_{(i)},$$

bu erda $C_{(i)}$ – etalonda elementning og‘irlik ulushi;

Z_i – elektronlarning akslanishi va sekinlashishi asoslangan holda, namuna va etalon orasida o‘rtacha atom raqami farqi hisobiga kiritilgan to‘g‘rilash;

A_i – namunada rentgen nurlanishini yutilishiga kiritilgan to‘g‘rilagich, u zonda energiyasi, rentgen nurlanishini chiqish burchagi va namunada qiziqtirayotgan elementning yutilini massaviy koeffitsienti orqali aniqlanadi;

F_i –Sekinlashuvchi nurlanish va boshqa element nurlanishlari hisobiga i elementda ikkilamchi rentgen nurlanishi hisobiga hosil bo‘ladigan flyuoressensiya uchun kiritilgan to‘g‘rilash.

To‘g‘rilash kattaligini hisoblash uchun turli hisoblash usuli ishlatiladi. Zamonaviy qurilmalarda to‘g‘rilashni hisoblashning turli dasturlari mavjud.

6.3. Ellipsometr yordamida kremniy oksid qatlami qalinligini o‘lchash

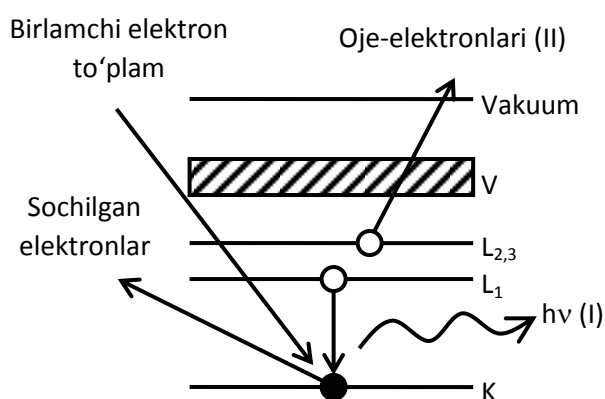
OJE ELEKTRON SPEKTROSKOPIYA

Elektromagnit nurlanishlar va zaryadlangan zarralar spektroskopiyasining turli xil usullari qattiq jism sirti va sirt oldi qatlamining tarkibini taxlil qilishga qo‘llanilishi mumkin.

Elektron spektroskopiya usuli u yoki bu g‘allayonlantiruvchi faktor ta’siri ostida qattiq jism sirti chiqaruvchi elektronlarning energetik spektrini o‘lchashga asoslanadi.

Elektron Oje – spektroskopiyada g‘allayonlashtirish uchun birlamchi elektronlar deb nomlanuvchi elektronlar to‘plami ishlatiladi. Odatda energiyasi 1 dan 25 keV gacha bo‘lgan birlamchi elektronlardan foydalaniladi. Birlamchi elektronlar ta’sirida qattiq jismda yuz beruvchi jarayonlarni ko‘rib chiqamiz. Birinchidan atomning elektron qobig‘i potensialida elektronlarning elastik sochilishi mavjuddir. Namunani bir yoki bir necha elastik sochilishlardan so‘ng tark etgan elektron birlamchi elektronlar kabi energiyaga ega bo‘ladi.

Noelastik sochilishi natijasida birlamchi elektronlar energiyasining bir qismi



1 рaсм. Xарактерли рентген нурланишлари (1) ёки Оже – электронларни (2) ҳосил бўлишига олиб келувчи электронларни ғаллаёнланиш жараёнининг схемаси

(1 – rasm) atomning ichki qobiqlardagi elektronlarga beriladi. Elektronlar esa o‘z navbatida noelastik sochilgan birlamchi elektronlar bilan birgalikda qattiq jism sirtidan uchib chiqadi. Bu elektronlar ikkilamchi elektronlar deb ataladi, hamda ularning spektrdagi miqdori energiya oshishi bilan tez tushub ketadi.

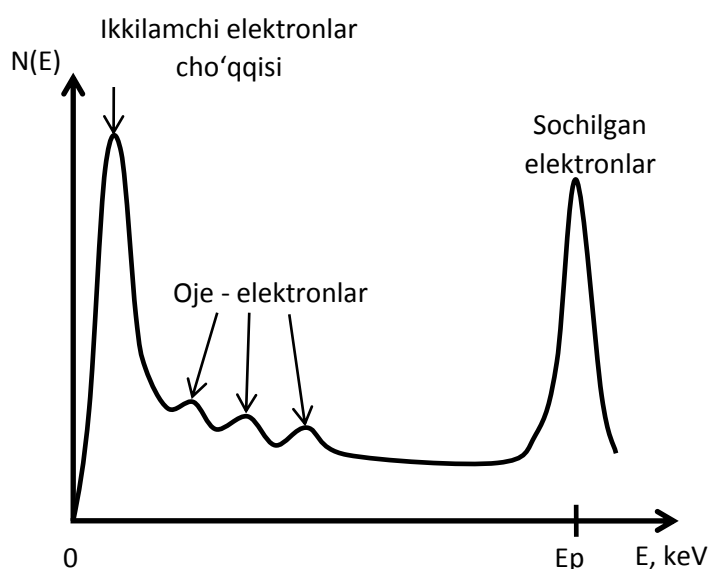
Noelastik to‘qnashish hisobiga atom qobig‘ida hosil bo‘lgan bo‘shliq qisqa vaqt ichida ($\tau \sim 10^{-16}$ s) yuqori satxdagi elektronlar biri tomonidan to‘ldiriladi. Ortiqcha energiya rentgen kvantlarini chiqarishga sarf qilinadi yoki bo‘lmasa uchunchi elektronga beriladi va u atom tomonidan chiqariladi.

Bu elektronlarning kinetik energiyasi boshlang‘ich (K satx), oraliq (L_1 satx) va yakuniy (L_2 satx) holatlarning potensial energiyasini farqiga bog‘liq bo‘ladi. SHuning uchun bu elektronlarning energiya spektri har bir kimyoviy element atomlari uchun xarakterli bo‘ladi.

Ortiqcha energiyani uchunchi elektronga berish bilan atomning ichki qobiqlari orasida yuz beradigan elektron o‘tishlar hisobiga bo‘shliqni to‘lish

jarayoniga Oje effekt deyiladi. Uchib chiqqan elektronlarni esa Oje – elektronlari deyiladi. SHunday qilib elektron oje spektroskopiyasi asosida quyidagi jarayonlar yotadi: birlamchi elektron to‘plam tomonidan atomning ichki satxlarni ionlashishi, nurlanishsiz Oje – o‘tish va Oje – elektronlarni vakuumga chiqishi, hamda elektron spektrometr yordamida unig qayd qilinadi.

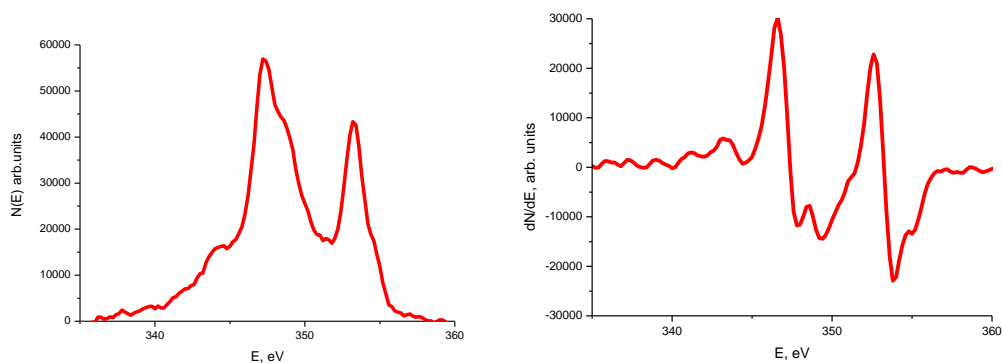
Elektronlar to‘plami bilan g‘allayonlangan kabi tezlashgan ionlar ta’sirida yoki rentgen kvantlarini fotoelektronni chiqarish bilan yutilish hisobiga atomning ichki elektron qobig‘ida bo‘shliq hosil bo‘lganda Oje – elektronlar chiqadi. Usullar mos ravishda ionli yoki rentgen g‘allayonlanishli Oje spetroskopiyasi deb ataladi.



2 – расм. Иккиламчи сочилган ва Оже – электронлар спектри

2 rasmda E_p energiyali yuqori energiyali birlamchi elektronlar to‘plami ta’sirida qattiq jism chiqaruvchi elektronlarning spektri keltirilgan. Unda maksimal energiyasi E_p atrofida bo‘lgan elastik sochilgan elektronlarning cho‘qqisi va ikkilamchi elektronlarning past energetik yo‘llakchasi kuzatiladi. Oje – elektronlar esa ikkilamchi elektronlar fonida energiya taqsimoti $N(E)$ egri chizig‘ida katta bo‘lmagan cho‘qqilarni beradi. Oje – elektronlarning spektrini ushbu fonda ajratish murakkab tajribaviy vazifadir. Birlamchi elektronlar tomonidan g‘allayonlangan Oje – elektronlarini sirt komponentsini aniqlashda ishlatiladigan usul 1953 yilda

Lender tomonidan taklif qilingan. Biroq kimyoviy taxlilda Oje – spektroskopiyadan keng foydalanish, Xarris ikkilamchi va noelastik sochilgan elektronlar fonini bartaraf qilish uchun energiya taqsimoti $N(E)$ egri chizig'ini differensiallashni taklif qilgach, 1968 yildan so'ng boshlandi. Misol tariqasida 3 rasmda kumushning Oje – spektri integral ($N(E)$) va differensial (dN/dE) shaklda keltirilgan.



Spektrdagi Oje – chiziqlarning energetik xolatlarini jism atomini energetik spektri bilan bog'liqligini batafsil ko'rib chiqamiz. Birlamchi bo'shliq atomning K – qobig'ida hosil bo'lgan bo'lib, unga mos keluvchi sath E_K energiyaga ega. U E_{L1} energiyali L – qobig'dagi elektron bilan to'ladi. Energiyalar farqi $E_{L1} - E_K$ esa L_2 sathdagi elektronga beriladi. Oje – elektron energiyasi

$$E_m = E_K - E_{L1} - E_{L2} - \varphi_A \quad (1)$$

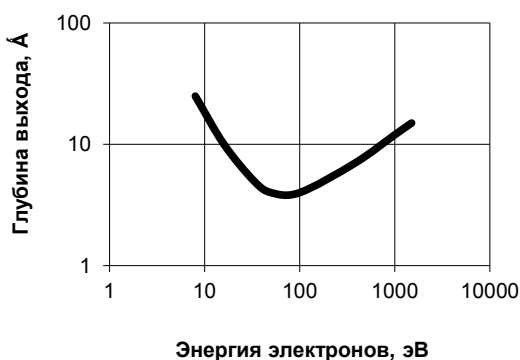
bo'ladi. Bu erda φ_A – spektrometrning taxlil qiluvchi elektrodini chiqish ishi. Ko'rilgan Oje – o'tishni KL_1L_2 o'tish sifatida aniqlanadi. Turli extimollik bilan bir qator bunga o'xshash o'tishlar bo'lishi mumkin (KL_1L_1 , KL_1L_2 , $M_2M_4M_4$). Oje – spektroskopiya usulining o'zigi xosligi shundaki Oje – elektronlarning energiyasi g'allayonlantiruvchi to'plamdagi elektronlar energiyasiga bog'liq bo'lmaganligi bo'lib, u element atomning elektron sathlari energiyasi farqi bilan aniqlanadi.

Oje – jarayonlarni bo'lishi uchun kamida ikkita energetik sath va uchta elektron bo'lishi kerakligi uchun arim atomlarda H, He va Li Oje – elektronlar hosil bo'lmaydi. Qolgan elementlarni esa EOS usuli bilan aniqlash mumkin. 4

rasmda elektron Oje – spektraskopiyada yuz berish extimolligi katta bo‘lgan Oje – o‘tishlar keltirilgan. Bular qo‘shni orbitallar orasidagi elektron o‘tishlardir, ya’ni KLL, LMM, MNN, NOO va OOO.

YUqorida takidlab o‘tilganidek ichki qobiqlarda bo‘shliq to‘lganda, xam Oje – elektronlar emissiyasi, xam rentgen kvantlarni nurlanishi yuz beradi.

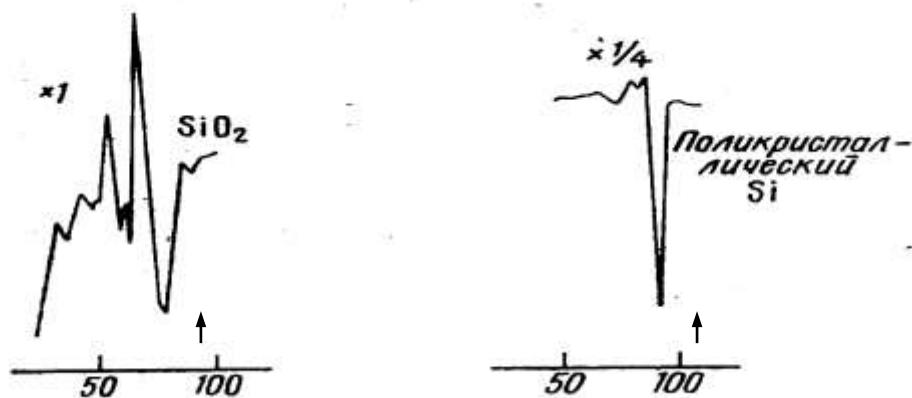
EOS usuli namuna sirt oldi qatlamning tarkibi haqida ma’lumot olish imkonini beradi. Bunga sabab Oje – elektronlarga xos energiyadagi (50 – 2000 eV) elektronlarning o‘rtacha erkin yugirish yo‘lining kichikligidir. O‘z energiyasini plazmali tebranishlarni g‘allayonlashtirishga, ichki qobiqlarni g‘allayonlashtirishga yoki sohalar aro o‘tishga bergan Oje – elektronlar kuzatilayotgan xarakteristik Oje – cho‘qqilaridan yo‘qoladi va ikkilamchi elektronlarning birjinsli fonining bir qismi bo‘lib qoladi. 6 rasmda Oje – elektronlarning chiqish chuqurligining ularning energiyasiga bog‘liqligi keltirilgan. Oje – spektroskopiya usuli sirdagi atom tarkibiga sezgir bo‘ladi. Tekshirilayotgan namuna sirtida adsorbatning bir monoqatlami bo‘lganida, Oje – spektrda adsorbatni tashkil qiluvchi moddaning chiziqlari ko‘proq bo‘ladi.



SHuning uchun qattiq jismni Oje – spektroskopiya usuli yordamida taxlil qilishni o‘ta yuqori vakuum ($p \sim 10^{10}$ Torr) sharoitida o‘tqazish kerak.

Oje – elektronlar emissiyasida kimyoviy bog‘ni hosil qilishda ishtirok etuvchi atomlarning valent qobig‘idagi elektronlar ishtirok etishi mumkin bo‘lganligi uchun chiziq shakli va maksimal energiya modda atomning kimyoviy tabiatiga bog‘liq bo‘ladi. Bundan tashqari Oje – spektrdan tekshirilayotgan moddadagi kimyoviy

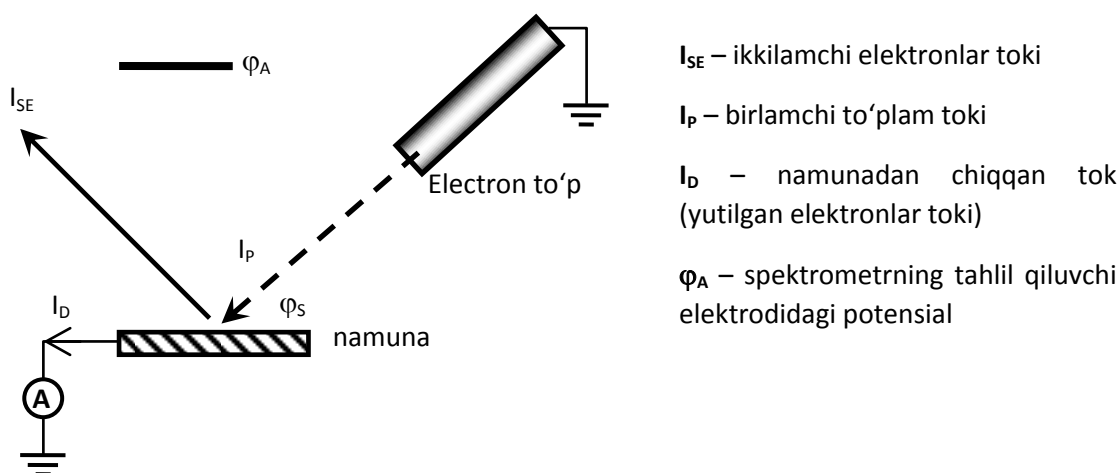
bog‘ haqida ma’lumot olish mumkin. Ikkita yoki ko‘p miqdordagi atomlar orasida kuchli kimyoviy bog‘ mavjud bo‘lsa, ichki gibridlangan elektron sathlar izolyasiya xolidagi atomlarning energiyasiga qaraganda bir necha elektron voltga siljigan bo‘ladi (kimyoviy siljish). Misol tariqasida 7 rasmda, kremniyning LVV o‘tish sohasidagi elementar kremniy va kremniy dioksididagi kremniy atomining differensial Oje – spektri keltirilgan



7 rasm. SiO₂ (76 eV) va Si (92 eV) uchun LVV o‘tishga mos keluvchi kremnii Oje – elektronlari spektri.

Ion bog‘lanishda elektro manfiy elementlarning elektron sathi past energiya tomon siljigan bo‘lsa, elektro musbat elementlarniki esa katta energiya tomon siljigan bo‘ladi.

Namunaning kichik o‘tkazuvchanligi tufayli sirtida zaryad to‘planganligi sababli spektrni siljishi mumkin. Bunda Oje – spektrda energetik chiziqlarni kengayishi va signal/shovqin nisbatni kamayishi yuz beradi.

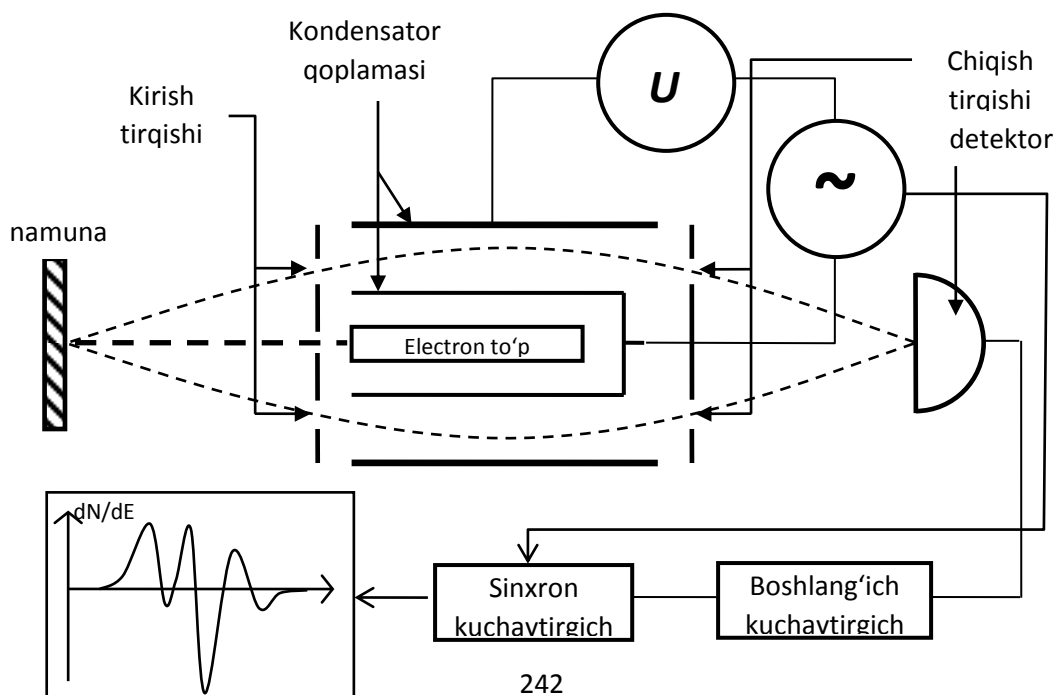


Sirtida nolga teng bo'lmagan qandaydir φ_s potensial mavjud bo'lib, u o'zgarishi mumkin (8 - rasm). Elektron to'p yoqilganidan so'ng zaryad va toklarning qayta taqsimlanishi yuz beradi. Oje – elektronlar toki kam bo'lganligi sababli toklar taqsimoti uchun ifoda quyidagicha bo'ladi:

$$I_p = I_{SE} + I_D$$

Namuna orqali oqib o'tayotgan tok o'zgarma bo'lib, faqatgina namuna o'tkazuvchanligiga bog'liq bo'ladi. U xolda ifodadan ko'rinib turibdiki, toklarning qayta taqsimlanishiga birlamchi to'plam toki va ikkilamchi elektronlar tokining o'zgarishi ta'sir qilishi mumkin. Birinchisi vaqt bo'yicha tokning no turg'unligi, fokuslovchi tizimning noturg'unligi va to'plamning siljishi natijasida o'zgarishi mumkin. Ikkinchisi esa to'plam ikkilamchi elektronlarning chiqish koeffitsientni boshqacha bo'lgan sohaga siljiganda o'zgarishi mumkin. Nisbatni o'zgarishi, $\varphi_A - \varphi_s$ potenciallar farqini o'zgarishiga olib keladi va natija spektr chizig'i siljiydi.

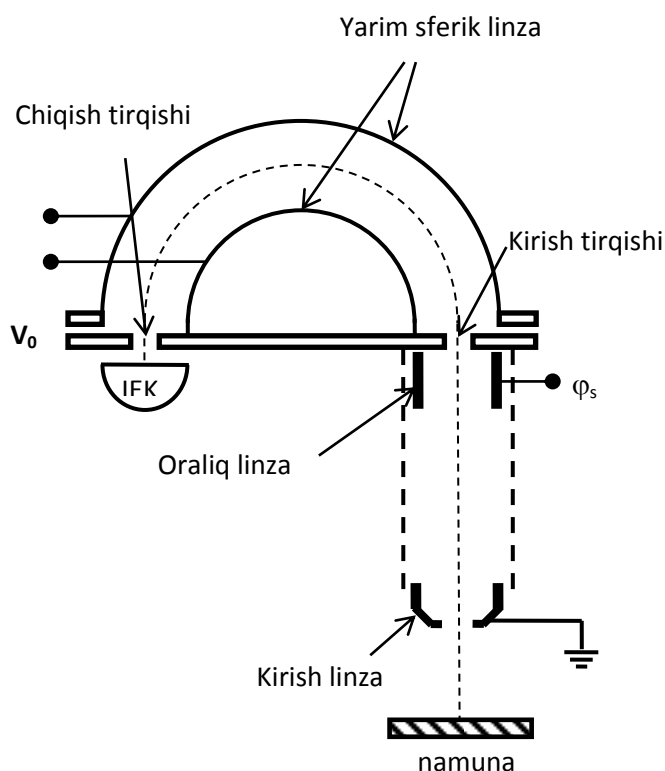
Oje – spektrlarni o'lchash usuli va qurilmasi. Dastlabki Oje – spektrometrlarda dispersiyalovchi element sifatida «silindrik ko'zgu» turidagi elektronlar energiyasi analizatori ko'llanilgan. Uni odatda «Venalda silindri» deb atashadi (9 – rasm). Bu analizator ikkita konsentrik silindrdan tashkil topgan. Tirqish orqali o'tuvchi va detektorga tushuvchi elektronlar energiyasi silindrik



9 – rasm. Venelta cilindri turidagi energiya analizatori sxemasi

kondensator qomlamalari orasidagi U kuchlanish bilan aniqlanadi. Bu kuchlanishni o'lchash bilan spektrini yoyish amalga oshiriladi. Bundan tashqari silindrga amplitudasi $\Delta \ll U$ bo'lgan modullovchi o'zgaruvchan kuchlanish qo'yiladi. Modullovchi signalni uzatish bilan spektrni differensiallash amalga oshiriladi. Sinxron kuchaytirgich chiqishidan kelayotgan signal $dN(E)/dE$ ga proporsional bo'ladi.

Zamonaviy elektron spektrometrlarda ko'pincha energiyaning yarimsferik analizatori ishlatiladi (10 rasm). Bu analizator kollimator va yarimsferik kondensatordan iborat bo'ladi. Kollimatorda elektron to'plam parallel qilinadi va fokuslanadi.



10 – расм. Ярим сферик энергия анализаторининг схематик тасвири

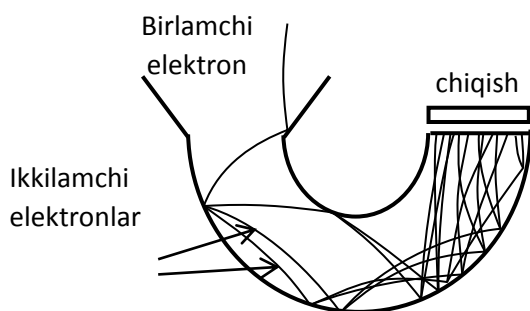
Analizator tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$eV_0 = E \left(\frac{R_2}{R_1} - \frac{R_1}{R_2} \right)$$

bu erda V_0 yarim sferik elektodlar orasidagi kuchlanish, E – elektronlarni o‘tqazish energiyasi, R_1 va R_2 energiya analizator sferasining ichki va tashqi radiusi.

Energiyaning yarim sferik analizatorida spektrni yoyish ikkita yo‘l bilan amalga oshiriladi. O‘zgarmas ushlab qoluvchi potensial rejimida kirish va oraliq linza orasiga o‘zgarmas ushlab qolish kuchlanishi φ_s ko‘yilsa, elektronlarni energiya bo‘yicha yoyish esa yarim sferalar orasidagi kuchlanishni o‘zgarishi bilan amalga oshiriladi. Bu rejim past energiyali elektronlarni (150 eV gacha) taxlil qilishda qulaydir.

Yarim sferik elektodlardagi o‘zgarmas potensial rejimida yarim sferik elektodlar orasidagi kuchlanish V_0 o‘zgarmas bo‘lib, elektronlarni energiya bo‘yicha yoyish ushlab qolish kuchlanishini o‘zgarishi bilan amalga oshiriladi. Bu rejim 150 eV dan katta energiyadagi elektronlarni qayd qilish uchun qulaydir.



11 – расм. Иккиламчи электронлар кучайтиргичи схемаси

Detektor sifatida analizator chiqishida ikkilamchi elektronlar kuchaytirgichi (IEK) ishlatiladi. IEK da elektronlarning ko‘p marotaba to‘qnashishi natijasida elektronlar ko‘chkisi paydo bo‘ladi va u elektron hisoblagich sxemasi qayd

qiladigan impuls tokini hosil qiladi.

Oje – elektronlarni impuls elektron xisoblash rejimi zamonaviy spektrometrlarda kompyuter boshqarish bilan qo‘llaniladi. Bunda Oje – spektr integral shaklda olinadi. Spektrni differensiallash uchun modullovchi signal yarim sferik elektodlar orasiga yoki bo‘lmasa oraliq linzaga qo‘yiladi.

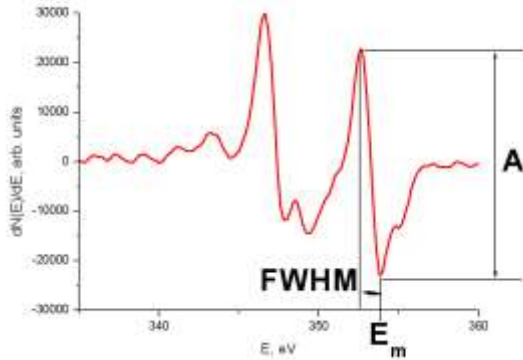
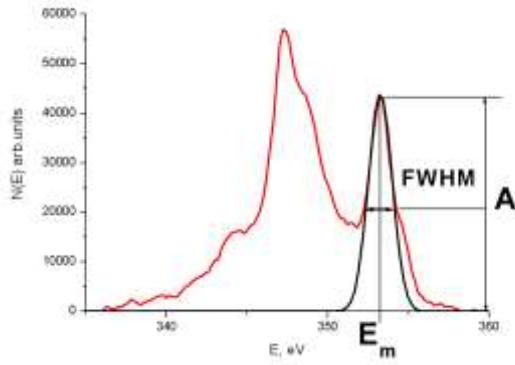
Sifatiy va miqdoriy taxlil. Qattiq jism sirtini sifatiy taxlilining maqsadi EOS usuli yordamida elementning mavjudligini aniqlash, uning matritsa komponentasi bilan kimyoviy bog‘i haqida ma’lumot berishi va uning taxminiy

konsentratsiyasini berishi. EOS usulida miqdori taxlil sirtidagi elementlarning konsentratsiyasini aniqlashda qo'llaniladi.

Sifatiiy taxlil. Oje – spektrlarini yozgandan so'ng qayd qilingan spektrning maksimumlari qaysi kimyoviy elementga mos kelishini aniqlash kerak bo'ladi. Bunday aniqlashda Oje – o'tishlar energiyasi qo'llanmalardan va Oje – spektrlarning etalon atlaslaridan foydalaniladi.

Oje – spektrlarni taxlil va qayta ishlash jarayonida tajriba ma'lumotlarini raqamli taxlilning quyidagi usullaridan foydalaniladi: fonni chiqarib tashash, shovqinni filtirlash, $N(E)$ spektrni differensiallash, tekislash, o'rtalash, yaqin joylashgan cho'qqilarni ajratish va Gauss funksiya $G(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right)$

chiziqlari shaklini approksimatsiyalash. Oje – spektrlarni taxlil qilishda qo'llaniladigan dasturiy vositalar raqamli taxlilning asosiy usullarini o'z ichiga oladi. Integral spetrlarda $N(E)$ chiziqlarni yoritish uchun Gauss funksiya bilan foydalanilganda E_m maksimal energiya sifatida keltirilgan gaussian maksimumini o'rni tushuniladi. Cho'qqi kengligini maksimumdagi $I/2$ satxdagi gaussianning to'liq kengligi sifatida $\Delta E=2\sigma$ baholanadi. Chiziqning intensivligi sifatida amplituda A yoki integral intensivlik I olinadi.



Differensial spektrlarda E_m kattalik deyildagan energiya shkalasida minimumning spektral joylashishi tushnilsa, cho‘qqi kengligi esa maksimum va minimum orasidagi masofa tushuniladi. Intensivlik (amplituda) maksimum va minimum qiymatlarning farqi bo‘lsa, integral intensivlik esa amplitudani kenglikka ko‘paytmasi bo‘ladi.

Olingan spektrlarni cho‘qqilarning joylashuvi bo‘yicha matematik qayta ishlash natijasida sirtidagi elementlarni sifatini aniqlash mumkin.

Miqdoriy taxlil. EOS usulida miqdoriy taxlil o‘tkazish uchun elementning Oje – elektronlari toki va mazkur elementning namuna sirtidagi konsentrasi orasidagi bog‘liqlikni o‘rnatishdan iboratdir. Elementda WXY Oje – o‘tishlar natijasida hosil bo‘luvchi Oje – elektronlar tokini quyidagicha yozin mumkin.

$$I_{\alpha}(WXY) = \int_{\Omega} \int_{E_w}^{E_p} \int_0^{\infty} I_p(E, Z) \sigma_{\alpha}(E, E_w) N_{\alpha}(Z) \gamma_{\alpha}(WXY) \exp\left(-\frac{Z}{\lambda}\right) d\Omega dE dZ$$

bu erda Ω – g‘allayonlanayotgan hajm, E – Oje – elektronlarning energiyasi (Oje – elektronlarning energiyasi taqsimoti Gauss yoki Lorens bo‘yicha), E_p va

$I_p(E, Z)$ – g‘allayonlantiruvchi birlamchi elektronlar oqimining energiyasi va zichligi, E_w – ichki W sathning energiyasi, $\sigma_n(E, E_w)$ – ichki W sathning ionlashish yuzasi, $N_a(Z)$ – sirdan Z chuqurlikda a elementning atom konsentratsiyasi, λ - Oje – elektronlarning chiqish chuqurligi, $\exp(-Z/\lambda)$ Oje – elektronlarning chiqish ehtimolligi, $\gamma_a(WXY)$ – WXY Oje – o‘tish ehtimolligi.

G‘allayonlantiruvchi oqim zichligini ikkiga ajratish mumkin. Bu erda I_p – birlamchi g‘allayonlantiruvchi oqim, $I_p(E, Z)$ – sochilgan birlamchi elektronlar ta’sirida yuzaga keluvchi g‘allyonlantiruvchi oqim. U holda quyidagicha yozish mumkin:

$$I_\alpha(WXY) = I_p T N_\alpha \gamma_\alpha(WXY) \sigma_\alpha(E, E_w) \lambda (1 + R_B)$$

bu erda R_v orqaga sochilish koeffitsienti, T – analizatorni o‘tqazishi.

Miqdoriy taxlilni ifoda asosida o‘tqaziladigan bo‘lsa, ionlashish yuzasi, Oje – elektronlarni chiqishi va orqaga sochilish koeffitsientini aniq bilish kerak. Bundan tashqari Oje – elektronlar tokining mutloq tokini aniq o‘lchash kerak. Sirtning notekisligi xam taxlilni murakkablashtiradi, chunki tekis sirtga qaraganda Oje – elektronlarning chiqishi kamayadi. Bu barcha shartlarni oddiy laboratoriya Oje – taxlilida bajarib bo‘lmaydi. Fizik kattaliklarni nazariy aniqlashga asoslangan miqdoriy taxlil hozirda bajarish mumkin bo‘lmasa, EOS usulida miqdoriy taxlil qilishning bir qator usullari mavjud.

Elipsometriya

Ellipsometriya parda qalinligi, sindirish ko‘rsatgichi, ekstensiya koeffitsientini va qatlam massasini o‘lchashda qo‘llaniladigan usuldir. Bu uchul yordamida yana sirt g‘adr budirligi, materiallar taqsimoti, turli materiallar aralashmasini tahlil qilish mumkin.

Ellipsometriya usuli qutblangan yorug‘likni, tekshirilayotgan namuna bilan o‘zaro ta’sirlashishi tufayli, undan qaytganda qutblanish holatining o‘zgarishini aniqlashga asoslangan. CHiziqli qutblangan yorug‘likning namunadan qaytgandagi

qutblanish holatining o'zgarishi ta'sirlashayotgan namunaning hajmiy xususiyatlariga, sirtning xossasi va strukturasi bog'liq. Hozirgi zaon ellipsometriya usuli asosan qaytgan nurni tahlil qilishga asoslangan.

CHiziqli qutblangan yorug'likning bir jinsli va epitaksial qatlamli namunadan qaytishi – rasmda keltirilgan. YArimo'tkazgichlarda nur sindirish ko'rsatkichi namunadan qaytganda P va S tashkil etuvchilari orasida faza farqi paydo bo'ladi, elektr maydon kuchlanganligi vektorining oxiri tarqalish yo'nalishiga tik bo'lgan tekislikda ellips chizadi, boshqacha aytganda, qutblangan yorug'lik o'tkazuvchan namunadan qaytganda elliptik qutblanadi. Epitaksial strukturalarda esa havo, epitaksial qatlam va epitaksial qatlam taklik chegaralaridan qaytgan nurlar orasida qo'shimcha faza farqi vujudga keladi. Namunadan qaytgan elliptik qutblangan yorug'lik holati odatda ikkita ellipsometrik parametrlar (ψ va Δ) bilan, boshqacha aytganda, qutblanish burchagi orqali aniqlanadi. Bu parametrlar qaytgan elliptik qutblangan nurning tarqalish yo'nalishiga tik tekislikdagi shakli va qanday yo'nalishda ekanligini ko'rsatadi. Parametr ψ burchak tashayotgan va qaytayotgan nurlarning P va S tashkil etuvchilari elektr maydon kuchlanganliklari amplitudalarining o'zaro nisbati, ya'ni qaytish koeffitsientlari nisbati bilan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{(E'_{Pqay} / E'_{Sqay})}{(E'_{Push} / E'_{Stush})} = \frac{|r_p|}{|r_s|} \quad (1)$$

bu yerda: S - (indeks-ko'rsatgich) – tushish tekisligiga tik tekislikda chiziqli qutblangan yorug'likni, P - (indeks-ko'rsatgich) - tushish tekisligiga chiziqli qutblangan yorug'likka tegishli ekanligini ko'rsatadi. r_s , r_p – yorug'likning S va P - tashkil etuvchilari uchun qaytish koeffitsienti. Namunaga tushayotgan yorug'lik chiziqli qutblangan deb faraz qilinadi, ya'ni tushayotgan yorug'likning S va P – tashkil etuvchilari fazalari bir biriga mos keladi. O'z navbatida, yorug'likni S va P – tashkil etuvchilarning (1) ifodadagi kompleks qaytish koeffitsientlari nisbati quyidagicha ifodalanishi mumkin.

$$\frac{r_p}{r_s} = \frac{|r_p|}{|r_s|} e^{i(\delta_p - \delta_s)} = e^{i\Delta} \operatorname{tg} \psi \quad (2)$$

bu ellipsometriyaning asosiy tenglamasidir. Yuqoridagi ifoda o'lchangan kattaliklar ψ va Δ ni namuna xossalari haqidagi ma'lumotni o'z ichiga olgan qaytish koeffitsientni bog'lanishini ko'rsatadi. Amalda bu murakkab ifoda toza taklik uchun echilishi mumkin. Xar qaysi murakkab struktura o'lchangan kattaliklar ψ va Δ uchun namunalarning optik modellashni va mos keluvchi echilgan nisbatni talab qiladi. Parda qalinligi, sindirish ko'rsatgichi, ekstensiya koeffitsienti va boshqa xossalar modelga asoslangan holda hisoblab topiladi. Namunalar uchun to'g'ri optik modelni tanlash, namuna xossalarni to'g'ri aniqlashda fundamental ahamiyatga ega.

Ma'lum bir to'lqin uzunligi va burchak ostida o'lchangan ikkita ellipsometrik burchaklar ψ va Δ ko'pi bilan ikkita parametrlarni, ya'ni parda qalinligi va shaffof qatlamning sindirish ko'rsatgichini aniqlash imkonini beradi. Ko'plab o'lchash burchaklari o'lchanadigan kattaliklar soni oshiradi. Bunga bog'liq ravishda namuna aniqlanishi mumkin bo'lgan xossalar soni ham oshishiga olib keladi. Odatda aniqlanadigan xossalar 4 – 5 tadan oshmaydi.

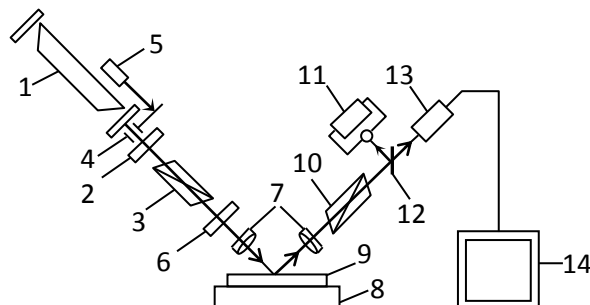
Ikkinchi ellipsometrik parametr Δ

$$\Delta = \delta_{Pqaytish} - \delta_{Sqaytish} = \delta_P - \delta_S \quad (3)$$

ga teng bo'lib, u namuna sirtidan yorug'likning qaytishi sababli paydo bo'lgan S va P – tashkil etuvchilari orasidagi faza farqini ko'rsatadi.

Qaytgan yorug'likning ellipsometrik parametrlari Δ va ψ ni maxsus optik elementlarga polyarizator (qutblagich), analizator (taxlil qilgich) va fazoviy plastinkalarga ega bo'lgan ellipsometrda o'lchanadi. 2 - rasmda optik sxemasi eng keng tarqalgan ellipsometr ko'rsatilgan bo'lib, u kollimirlangan nur, qutblagich, namunadan oldin va keyin qo'yilgan chorak to'lqin kompensator, taxlil qilgich va qayd qiluvchi qurilmadan tashkil topgandir. Qutblagich, tahlil qilgich va kompensator limbaga o'rnatilgan bo'lib, limba yorug'likni tushish tekisligiga

nisbatan ularning burilish burchagini yuqori aniqlikda oʻrnatish imkoni beradi (1'). Azimutni musbat hisoblash, nurga toʻgʻri qarab, soat oʻqiga teskari amalga oshiriladi.



2 - расм. Лазерли эллисометрик микроскоп ЛЭМ-2 нинг оптик схемаси.

1- гелий-неонли лазер; 2- чорак тўлқинли пластинка; 3- поляризатор; 4-модулятор; 5- электродвигатель; 6-чорак тўлқинли пластинка; 7-объектив; 8- намуна ушлагич; 9- намуна; 10-анализатор; 11- фотоэлемент; 12- айланувчи кўзгу; 13- узатувчи камера; 14-видео назорат қилувчи қурилма.

Turli optik sxemali ellipsometrlar, xususan kompensatorsiz sxema, shuningdek turli ellipsometrik oʻlchashlarni oʻtqazish usullari mavjuddir. Eng keng tarqalgan oʻlchash usuli nolinchii usul boʻlib, u quyidagidan tashkil topgandir:

- limba oʻrnatilgan 3 ta optik elementdan (polarizator, analizator va kompensator) ikkitasini optik oʻq atrofida aylantirish yordamida asbob chiqishida namunadan qaytgan nurning eng kichik intensivligini olishga erishiladi. Bunda uchinchi element qoʻzgʻalmas holatda boʻladi, odatda chorak toʻlqinli plastinka $\pm 45^\circ$ azimut bilan oʻrnatiladi.

- qaytgan nurning soʻnish holatida aylantirilayotgan elementning azimuti hisoblanadi;

- oʻlchangan burchaklardan ψ va Δ parametrlar hisoblanadi.

- ellipsometriya tenglamasini taxminiy yoki aniq olish orqali yoki qaytaruvchi sirtning optik doimiylari yoki sirt pardasining sindirish koʻrsatkichi va qalinligi aniqlanadi.

Namunadan keyin qo'zg'almas kompensator sxemadan foydalanilganda polyarizatorni aylantirish bilan qaytgan nurning shunday qutblanish ellipsi olinadiki, bosh o'qqa chorak to'liqlik plastinkaning xarakterli o'qi bilan mos kelishi kerak. Bu holda nur kompensatordan o'tgandan so'ng yana chiziqli qutblangan bo'lib qoladi, ya'ni chorak to'liqlik plastinka, elliptik qutblangan yorug'lik komponentlari orasida mavjud bo'lgan fazalar farqi 90° ga, qo'shimcha fazalar farqi $\pm 90^\circ$ qo'shib, umumiy fazalar siljishini 0 yoki 180° aylantiradi.

Agarda kompensator namunadan oldin qo'yilsa, u holda polyarizator aylantirish orqali kompensatordan keyin shunday elliptik yorug'lik nuri olinadiki, izlanayotgan sirdan qaytganda nur yana chiziqli qutblangan bo'lishi kerak. Asbobning chiqishida nol signalga erishilganda, har bir optik sxema va o'lchash usulni xarakterli bo'lgan, nisbatlar bilan aylanayotgan elementlar azimuti (polyazator R va analizator A) Δ va ψ parametrlar bilan bog'lanadi.

Analizator tomonidan yorug'likning so'nish paytini aniqlashda ko'z bilan aniqlash yoki o'zgarmas yoki o'zgaruvchan signalda fotoelektrik qayd qilish, ishlatilishi mumkin.

Nurlanish manbayi sifatida simob lampa (yashil nur chizig'i $546,1$ nm), filtirli qizdiriladigan lampa va lazerlar, odatda geliy-neonli ($\lambda=632,8$ nm) ishlatilishi mumkin.

Yorug'lik manbayi sifatida lazer ishlatilganda, lazerdan keyin chorak to'liqlik plastinka o'rnatiladi, u chiziqli qutblangan lazer nurlanishini sirkulyar-qutblagichga aylantiriladi. Bu esa tushayotgan yorug'lik oqimining intensivligini polyazatorning turli holatlarda doimiy bo'lishini ta'minlaydi.

Barcha turdagi ellipsomerlarda kompensator sifatida chorak to'liqlik plastinkalar ishlatilsa, polyazator sifatida Glana-Fuko prizmasi yoki dixrons polyazatorlar ishlatiladi.

Qutblanish burchaklari Δ va ψ ni aniqlash. O'lchov odatda o'lchashning, ya'ni analizator azimut burchagining ikki sohasida bajariladi. Birinchi sohada

analizatorning azimut burchagi $0 < A_1 \leq +90^\circ$ oraliqda o'zgaradi. Bu sohada $\Delta < 180^\circ$ da bo'lsa, yorug'lik minimumi polyarizator azimut burchagining $-45^\circ < P < 135^\circ$ oralig'ida kuzatiladi. Analizator azimut burchagining ikkinchi o'zgarish sohasida $90^\circ < A_2 < 180^\circ$ yorug'lik minimumi polyarizator azimuti $45^\circ < P_1 \leq 135^\circ$ yoki $135^\circ < P_2 < 225^\circ$ oralig'ida kuzatiladi. Bunda ψ va Δ lar

$$\Delta = P_1 + P_2$$

$$\psi = [A_1 + (180 - A_2)] / \lambda$$

hisoblash formulalaridan aniqlanadi.

ψ va Δ larning tajribada aniqlangan qiymatlari bo'yicha oldindan chizilgan nomogrammadan yoki ellipsometriya asosiy tenglamasi orqali hisoblab, yarimo'tkazgich namunalari optik konstantalarining elektrofizik parametrlari aniqlanadi.

Ellipsometriyaning qo'llanish sohalari. Ellipsometriyaning mikroelektronikada qo'llanish sohalaridan biri kremniy II – oksidida fosforning diffuziya koeffitsientini aniqlashda qo'llanilishidir. Bu usul kremniy ustiga o'stirilgan dielektrik pardagining qalinligini fosfor diffuziyasigacha va undan keyingi, hamda qatlam qatlam olishdagi qiymatini aniq o'lchashga asoslangan. Fosfor diffuziya qilingan kremniy II – oksidi qatlamining emirilish tezligi toza kremniy II – oksidi qatlamining emirilish tezligidan farq qiladi. Bu esa qolgan qatlam qalinligini aniqlash imkonini, bunga bog'liq holda fosfor kirish chuqurligi aniqlanadi.

Ellipsometriya usulining ion legirlangan kremniy qatlamini nazorat qilishda qo'llanilishi katta qiziqish uyg'atadi. Bu holat ion legirlangan qatlam yutuvchi taglikdagi yutuvchi qatlam hisoblanishidan kelib chiqadi. Bunday tizimlar uchun ellipsometrik parametrlar ψ va Δ ning bog'liqligi davriy funksiya bo'lmaydi va parda qalinligi noldan cheksiz qiymatga o'zgarganda mazkur parametrlar murakkab qonuniyat bo'yicha o'zgaradi. Toza kremniy sirti uchun ma'lum

burchak ostida tushgan yorug'lik uchun $\bar{\Delta}$ va $\bar{\psi}$ parametrlarni bilgan holda (yorug'likni 70° burchak ostida tushganda $\bar{\Delta}=179^\circ17'$, $\bar{\psi}=10^\circ12'$), ularning o'zgarishi bo'yicha ionli legirlangan qatlam strukturasi haqida xulosa chiqarish mumkin. Oksid pardaning ψ va Δ larga ta'sirini oldini olish maqsadida namunani o'lchashni HF kislotada ishlov berilgandan so'ng o'tqazish kerak bo'ladi.

SKANERLOVCHI TUNNEL MIKROSKOP

Birinchi skanerlovchi tunnel mikroskop 1982 yilda yaratilgan. SHunday bo'lsa ham undan ko'pincha ilmiy va ishlab chiqarish laboratoriyalarda foydalanishmoqda. STM ning foydalanish sohasi ham kengayib bormoqda.

STM ga qiziqishni uning ajrata olishning ajoyibligi bilan tushuntirilib, u atom darajasida izlanishlarni o'tqazish imkonini beradi. STM dan foydalanish orqali turli xil material sirtining kristallik hosil bo'lish qonuniyatini kuzatish, viruslar, DNK malekulalarini o'rganish mumkin.

Skanerlovchi tunnel mikroskopning ishlash tamoyili

Elektronlar o'z tabiatiga ko'ra ham to'liqin, ham zarra xususiyatiga egadir. Uning holati SHredenger tenglamasiga –to'liqin funksiyasining echish yordamida yoritiladi. Uning kvadrat moduli- elektronlarning biron bir vaqtda fozoning berilgan nuqtasidabo'lish ehtimolligi zichligini ifodalaydi.

Hisoblashlar shuni ko'rsatadiki, elektronlarning to'liqin funksiyasi atomdaatomlarning effektiv ko'ndalang kesim yuzasiga mos keluvchifaradan tashqarida ham noldan farqlidir. SHuning uchun atomlarni yaqinlashtirganda atomlarning o'zaro itarish kuchi ta'sir qilguncha, elektronlarning to'liqin funksiyasi bir birini oldinroq yopadi. Elektronlarning bir atomdan ikkinchisiga o'tish imkoni tug'iladi. SHunday qilib, bir biriga tutashtirilmay yaqinlashtirilgan ikki jism orasida elektronlar almashish imkoni bo'ladi.

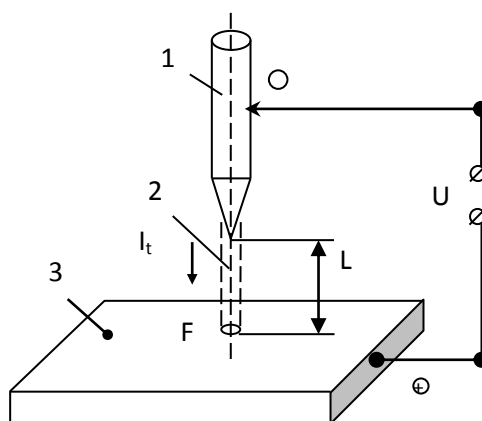
Elektronlarning yo'naltirilgan harakatini ta'minlash uchun ikkita jism orasida ikkita shart bajarilishi kerak.

1. Jismning birida erkin elektronlar (elektron o'tkazuvchanlik) bo'lishi kerak, ikkinchi qismda elektronlar o'tishi uchun to'lmagan elektronlar sathi bo'lishi kerak.

2. Ikkita jism orasiga potensial farqi qo'yilishi kerak. Ularning kattaligi ikkita jism orasidagi havo dielektrik tirqishini tashilishida hosil bo'ladigan elektr zaryaddan kichik bo'lishi kerak.

Ko'rsatilgan sharoitlarda hosil bo'ladigan elektr tokini tunnel effekti bilan tushuntiriladi va tunnel toki deb ataladi.

Amaliyotda STM da tunnellanish o'tkazgichlardan biri igna (zond) 1, boshqasi- tekshirilayotgan ob'ekt sirti (3) bo'lganda amalga oshiriladi (1 – rasm). Zond o'tkirlikning (1) o'tqazuvchanlikdagi elektronlar, (3) ob'ektning o'tqazuvchanlik sohasiga o'tishi uchun kerakli energiyasini olishi kerak, energiyaning kattaligi zond va namuna sirti orasidagi masofa ℓ ga, ular orasidagi elektron chiqish ishi F_1 va F_2 ga bog'liqdir.



1 – rasm. Zond va namuna orasidagi tunnel tokini ўtish sxemasi. 1 – zond; 2 – elektronlar tўplami; 3 – namuna. U – zond va namuna orasidagi potensiallar farqi, I_t – tunnel tok; L – zond va namuna orasidagi masofa; F – tunnel tutashuv yuzasi.

Zond va namuna sirtini $\ell=0,5$ nm yaqinlashtirganda (bir biriga yaqin bo'lgan zond va namuna atomlar elektronlarning to'liq funksiyasini bir birini qo'llaydi) va $U=0,1-1$ V potentsiallar farqi qo'yilganda, tunnel effektini asoslangan, zond va namuna orasida tok hosil bo'ladi:

$$I_t \approx enVDF \quad (1)$$

bu erda $e=1,6 \cdot 10^{19}$ kl – elektronlar zaryadi, $n=10^{28} \text{ m}^{-3}$ – elektronlar konsentratsiyasi; $V = 10^6 \text{ m/s}$ – elektronlar tezligi, F – elektron to‘plamning ko‘ndalang kesim yuzasi; D – tunnel effekti rejimida L tirqish orqali elektronlarni o‘tish extimolligi bo‘lib, u quyidagi formula orqali baholanadi:

$$D = e^{-2k_0L} \quad (2)$$

bu erda

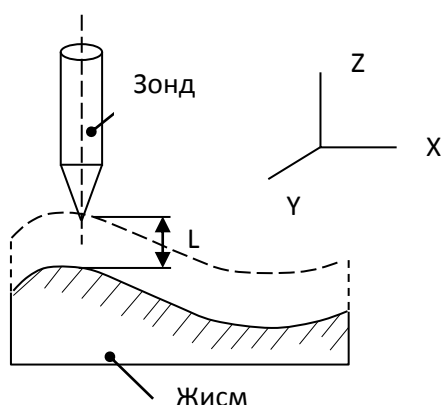
$$k_0 = \sqrt{\frac{2m\Phi}{\hbar^2}} \quad (3)$$

bu erda m – elektronlar massasi $m=9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; F – zond – namuna tizimida samarali energetik to‘siq kattaligi, \hbar – Plank domiysi $\hbar=1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

Ko‘pgina zond – namuna juftligi uchun $F \approx 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ (4,4 eV) (3) bo‘yicha hisoblash $k_0=1,1 \text{ \AA}^{-1}$.

Tunnel tokini baholashda elektronlar oqimi diametri 0,4 nm bo‘lgan elektronlar to‘plamini hosil qiladi deb tasavvur qilinadi. Bu holatda elektronlar to‘plamining ko‘ndalang kesim yuzasi $F \approx 10^{-19} \text{ m}^2$ bo‘ladi. YUqorida keltirilgan (1) ifodaga hisoblash parametrlarini qo‘ysak, taxliliiy tunnel tokning qiymati $I_t \approx 3 \cdot 10^{-9} \text{ A}$.

Tunnel tok zond va namuna orasidagi masofaga eksponential bog‘liq. L masofa, D ni L ga bog‘liq formulasida eksponential ko‘rsatgich darajasiga kiradi va o‘z navbatida I_t ning qiymatiga ta’sir qiladi (1 formula). SHuning uchun masofa



0,1 nm ga oshganda ko‘rsatgich D va tunnel I_t toki 10 marta kamayadi. Bu esa mikroskopni namuna balandligi bo‘yicha yuqori ajrata olish qobiliyatini ta’minlaydi. CHunki sirt reliefi balandligini salgina

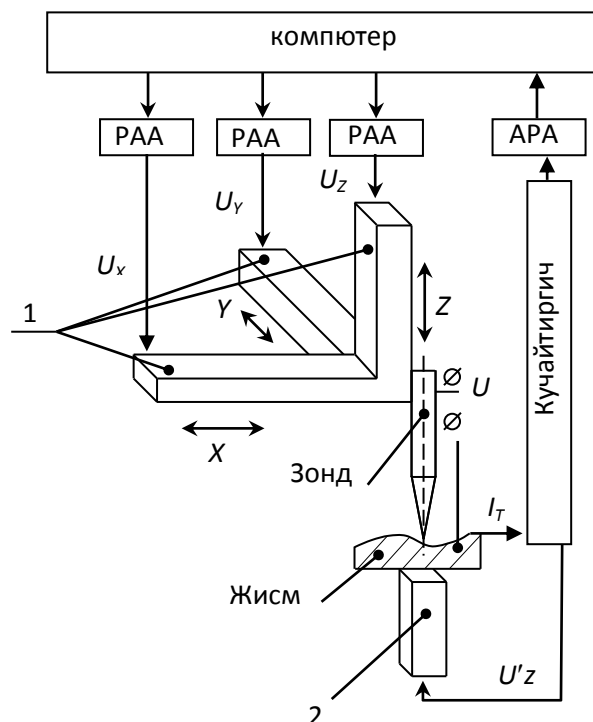
2 – расм. Жисм сиртида зондни харакатланиш схемаси

o'zgarishi sezilarli ravishda tunnel tokini oshishi yoki kamayishiga olib keladi.

STM quyidagicha ishlaydi (2 – rasm). Zond namuna sirtiga vertikal bo'yicha (Z o'q) tunnel toki hosil bo'lguncha olib kelinadi. So'ngra zond sirtida x, y o'qi bo'ylab, sirtga normal bo'ylab zond ignasini xarakatlantirish yordamida tokni doimiy ushlagan xolda xarakatlantiriladi. Skanerlash vaqtida zond namuna sirtidan bir xil L masofada qoladi. L masofani saqlash uchun zondni vertikal bo'yicha xarakatlantirish namuna sirtining relefini ko'rsatadi.

STM ni ishlaganda namuna va sirt orasidagi masofa $L \approx 0,3 - 1 \text{ nm}$ bo'lganligi uchun ular orasida havo molekulasini bo'lish extimolli kichik, ya'ni tunnel tokini o'tishi bo'shliqda yuz beradi.

O'zgarmas tunnel toki rejimida ishlovchi STM ning blok – sxemasi 3 – rasmda keltirilgan. Uchta dvigatel 1 yordamida zond namuna XY tekisligi va unga Z normal bo'yicha xarakatlantiriladi. Jism zond o'tkirligiga 2 dvigatel yordamida keltiriladi. Jismning XY tekisligida zondni boshqarish uchun raqamli analog aylantirgichdan X-, Y-dvigatelga U_x va U_y kuchlanish beriladi. Z – dvigatelga teskari bog'lanish U_z kuchlanishi $U_z = f(I_t)$ beriladi va dvigatel jism sirtiga normal bo'yicha zondni zond - namuna zanjirida I_t tunnel toki berilgan darajada



3 – расм. Сканирующей туннельной микроскопии блок – схема : 1 – X, Y, Z ўқи бўйича зонднинг ҳаракатлантириш учун двигателга узатиладиган кучланиш; U_x , U_y , U_z – 1 двигателга узатиладиган кучланиш; U_z – 2 двигателга узатиладиган кучланиш; U - зонд ва жисм орасидаги потенциаллар фарқи; I_t – туннель токи

turg'unlashgunicha xarakatlantiradi. SHunday qilib $U_z=f(U_x, U_y)$ sirti skanerlashda U_z ni o'zgarishi sirt relefini $z=f(x, y)$ o'zgarish xarakterini miqdoriy yoritadi. Bu bog'liqlikni qayd qilish uchun kompyuter ishlatiladi. U ARA chiqqan signallarni qayta ishlaydi. Bu esa tajriba parametrlarini tez o'zgartirish, uch o'lchamli massiv ma'lumotlarini matematik qayta ishlashni o'tqazish, ma'lumotlarni saqlab qolish va turli shakllarda chiqarish imkonini beradi. ARA ga signal kuchaytirgichdan keladi. Kuchaytirgich tunnel tokini kuchaytirish uchun ishlatiladi.

VII. BOB

ELEKTRON TEXNIKA MATERIALLARI VA ELEMENTLARI ASOSIDA YARATILGAN QURILMALAR VA ULARNING XUSUSIYATLARI

7.1. Rezistorlar va ularning turlari

Rezistorlar elektron qurilmalarning muhim detallaridan biri hisoblanadi va ularning deyarli hammasida ishlatiladi. Rezistorlar sxemalarning ba'zi bir nuqtalariga keltirilgan kuchlanishni pasaytirish uchun, ya'ni kamaytiruvchi sifatida ishlatiladi. Ular reaktiv elementlar bilan birga har xil filtrlarni tashkil qiladi, kuchaytirgichlar sxemasida yuklama qarshiligini va boshqa vazifalarni bajarishi mumkin.

O'zgaruvchan rezistorlar yordamida radioqurilmalarning turli zanjirlaridagi tok va kuchlanishni sozlash mumkin bo'ladi.

Quyidagilar rezistorlarni tavsiflovchi asosiy parametrlar hisoblanadi:

- 1) qarshilikning nominal miqdori;
- 2) nominal miqdordan yo'l qo'yilgan og'ish;
- 3) nominal tarqalish quvvati;
- 4) ish harorati oralig'i, yo'l qo'yilgan nisbiy namlik va atmosfera bosimi;
- 5) o'ziga xos shovqin darajasi.

Rezistorning nominal miqdori uning ustida ko'rsatilgan bo'ladi. Miqdori 999 Om gacha bo'lgan qarshilik Om (om, Ω) bilan, 1000 dan 99 000 Om gacha - ming Om (ming om, m. Ω) yoki kiloom (kom, k Ω) bilan, 100 000 Om va undan oshig'i — megom (MOM, M Ω) bilan ifodalanadi.

Nominal miqdordan yo'l qo'yilgan og'ish miqdori rezistorning ustida ko'rsatiladi va aniqlik sinfiga bog'liq bo'ladi. Ko'p rezistorlar uch aniqlik sinfiga ega:

- 1-sinf, nominal miqdordan og'ish $\pm 5\%$;
- 2-sinf, nominal miqdordan og'ish $\pm 10\%$;
- 3-sinf, nominal miqdordan og'ish $\pm 20\%$.

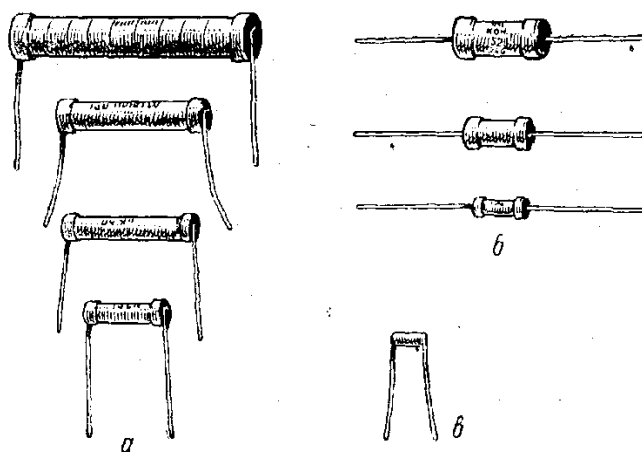
Nominal tarqalish quvvati rezistorda ajraladigan quvvat bo‘lib, bunda rezistor yo‘l qo‘yilgan miqdorda qiziydi.

Tok (I) qarshilik (R) orqali o‘tganda rezistorda vujudga keladigan quvvatni quyidagi formula biln aniqlash mumkin:

$$P = I^2 R, \quad [Vt][A \cdot Om] \quad (63)$$

Bu quvvatning miqdori rezistor ustida ko‘rsatilgan nominal tarqalish quvvatidan oshmasligi kerak. Ish haroratlari oralg‘i rezistorning radioapparaturada normal ishlashiga imkon beradigan haroratlar oralg‘ini ko‘rsatadi. Ish haroratlari oralg‘idan tashqari, qarshilik miqdorining o‘zgarishini haroratning o‘zgarib turishiga bog‘liqligini ham hisobga olish kerak. Bu o‘zgarish harorat $1^{\circ}C$ ga o‘zgarganda qarshilik miqdori qanchalik o‘zgarishini ko‘rsatuvchi harorat koeffitsienti bilan tavsiflanadi.

Rezistorlar sezuvchanligi yuqori radiopriyomnik qurilmalar va o‘lchash apparaturasida ishlatilganda o‘ziga xos shovqin darajasi muhim o‘rin o‘ynaydi. Qarshilik vujudga keltirgan signallar uning o‘ziga xos shovqini hisoblanadi. O‘ziga xos shovqin darajasi mikrovolt (mkv) bilan o‘lchanadi. Radioqurilmalarning yuqori sifatli ishlashi uchun rezistorlarning o‘ziga xos shovqin darajasi mumkin qadar past bo‘lishi kerak.



43-rasm. Rezistorlarning tashqi ko‘rinishi:

a - VS turidagi; b- MLT turidagi; v - ULM turidagi

O‘zgaruvchan va o‘zgarmas rezistorlar va ularning xossalari

Rezistorlar o'zgaruvchan va o'zgarmas bo'ladi. O'zgaruvchan rezistorlarning miqdori ma'lum oraliqda o'zgarishi mumkin.

O'zgarmas rezistorlar ham, o'zgaruvchan rezistorlar ham simli yoki simsiz bo'lishi mumkin. Elektronika sanoatida har xil nominal miqdorli simsiz o'zgarmas rezistorlar ishlatiladi.

Quyida radioappaturalarda uchraydigan rezistorlarning turlarini tavsifi keltirilgan.

Yuqori stabilli - turdagi rezistorlar chinni o'zak yoki naycha ko'rinishida bo'lib, ularning ustiga tok o'tkazuvchi yupqa uglerod qatlami surkalgan. Bu qatlam namga chidamli izolyasiyalovchi himoya lak qatlami bilan qoplanadi.

Rezistor korpusining ikki uchiga chiqarish simlari ulangan. Har xil quvvatli rezistorlarning tashqi ko'rinishi 17-a rasmda ko'rsatilgan. VS turdagi rezistorlar namlik yuqori (95—98 % gacha) va atmosfera bosimi 90 mm simob ust. gacha bo'lgan sharoitda,—60° dan +70° C gacha haroratlar oralig'ida uzoq muddatgacha ishlashi mumkin.

Yuqori stabill turdagi rezistorlar 0,25 dan 10 Vt gacha bo'lgan tarqalish quvvatiga mo'ljallanib, har xil miqdorli qilib ishlab chikariladi. Rezistorlar korpusida uning nominal miqdori (raqam bilan) va yo'l qo'yilgan og'ish miqdori (foiz bilan) ko'rsatiladi. Kuchlanish ostida bo'lgan rezistor shovqinining E.Yu.K. qarshilikda pasayadigan har bir volt kuchlanish uchun 5 mkv dai oshmaydi. (mkV/V). Katta miqdorli rezistorlar uchun qisqartirilgan belgilar qo'llaniladi: ming «K» harfi bilan, million «M» harfi bilan almashtiriladi. Agar rezistor ustida nominal miqdordan yo'l qo'yilgan og'ish miqdori ko'rsatilmagan bo'lsa, u holda bu miqdorni $\pm 20\%$ deb bilish kerak. Nominal tarqalish quvvati 1 Vt yoki undan oshiq bo'lgan rezistorlar korpusida nominal tarqalish quvvati miqdori ham ko'rsatiladi. Masalan, nominal (quvvati 1,0 vt bo'lgan 2-sinf aniqlikdagi 100000 Om li rezistor quyidagicha belgilanadi: 100k Ω , 10% 1,01 W.

MLI (metallangan, laklangan, issiqqa chidamli) - turdagi rezistorlar tashqi muhit harorati-60° dan +120° C gacha o'zgarib turganda, havoning nisbiy namligi

98% va atmoofera bosimi past (40mm. simob. ust.gacha) bo'lgan sharoitda ishlay oladi.

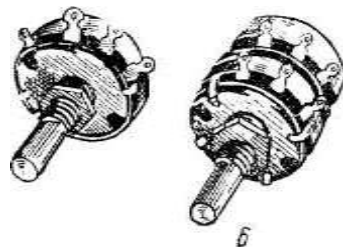
MLI turdagi rezistorlarni 0,5; 1,0; 2,0 Vt tarqalish quvvatlariga mo'ljallab, har xil miqdorli (100 om dan 10^7 om gacha) qilib ishlab chiqariladi. Rezistorlarda yo'l qo'yilgan shovqin E.Yu.K. miqdori bo'yicha ikki guruhga bo'linadi: «A» guruh — shovqin E.Yu.K. 1 mkv/v gacha va «B» guruh — shovqin E.Yu.K. 1 dan 5 mkV/V gacha.

MLI rezistorlarni markalashga misol: MLT-2-330 kOm — II—B. Bu nominal tarqalish quvvati —2 Vatt, qarshilikning nominal miqdori — 330 kOm, 2-sinf aniqlikda, «B» guruxli (shovqin E.Yu.K. 5 mkV/V dan ortiq emas) ekanligini ko'rsatadi.

ULK (uglerodli, loklangan, kichik gabaritli) - turdagi rezistorlar o'zgarmas va o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlatishga mo'ljallangan. Ularni har xil miqdorli (27 Om dan 1 MOm gacha) qilib, nominal tarqalish quvvati 0,12 Vt ga mo'ljallab ishlab chiqariladi.

Bu rezistorlar — 60° dan $+ 100^\circ$ C gacha harorat oralig'ida nisbiy namlik 98 % gacha va atmoofera bosimi 40 mm. sim. ust. gacha bo'lgan sharoitda ishlay oladi.

ULK turdagi rezistorning og'irligi 0,2 gr dan oshmaydi. MLI va ULK rezistorlarning tashqi ko'rinishi 43-v rasmda ko'rsatilgan.

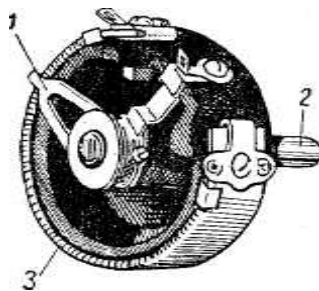


44-rasm. SP tipdagi o'zgaruvchan rezistorlar

Simli rezistorlar. Simli rezistorlar ancha yuqori ishonchliligi va parametrlarining turg'unligi bilan simsiz rezistorlardan farq qiladi. Bunday

rezistorlar ancha yuqori nominal tarqalish quvvatiga ega; simsiz rezistorlarga qaraganda shovqin darajasi past.

Simli rezistorlarning o'lchamlari mumkin qadar kichik bo'lishi uchun ularni solishtirma qarshiligi yuqori materiallar, nixrom va konstantandan tayyorlanadi. Simli o'zgarimas rezistorlar ustiga ximoyalovchi emal qatlami qoplangan sim o'ralgan sopol naychadan tashkil topadi.



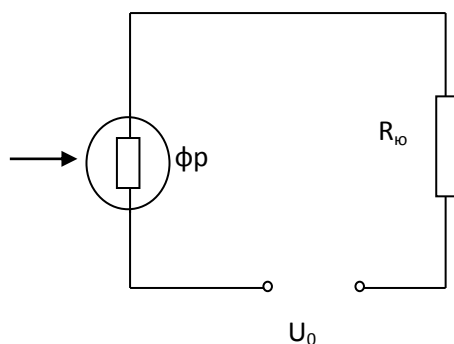
45-rasm. Simli o'zgaruvchan qarshilik. 1 – suiluvchi; 2 – o'q; 3 – sim “yoqacha”

Simli naychali rezistorlar 20 Om dan 50 000 Om gacha oraliqda, tarqalish quvvati 15 Vt dan 150 Vt gacha qilib ishlab chiqariladi. Nominal qarshilik miqdori va tarqalish quvvati rezistorning emal sirtida ko'rsatilgan bo'ladi.

Simli o'zgaruvchan rezistorlarning tuzilishi simsiz rezistorlardan qo'zg'aluvchi kontaktining «yoqacha» sirtida siljishi bilan farq qiladi (45-rasmga qarang). «Yoqacha» karkasdan iborat bo'lib, unda sim o'rami joylashgan. Simning qo'zg'aluvchan kontaktga tegib turadigan joyi izolyasiyadan tozalanadi.

7.2. Fotorezistorlarning tavsiflari va kattaliklari

Fotorezistor deb - yorug'lik oqimi ta'sirida elektr qarshiligi o'zgaradigan Yarim o'tkazgich asboblarga aytiladi. Fotorezistorlar tayyorlash uchun zarur bo'lgan materiallar sifatida qo'rg'oshin va kadmiyning sulfidlari va selenidlari ishlatiladi. Fotorezistorlarni odatda doimiy yoki o'zgaruvchan tok zanjiriga yuklanish qarshiligi bilan ketma – ket holda ulanadi. Yorug'lik oqimi bo'lmaganda fotorezistor orqali qorong'ulik toki oqadi: $I_k = U / (R_K + R_H)$ bunda R_k - fotorezistorning qorong'ulik toki (46-rasm).

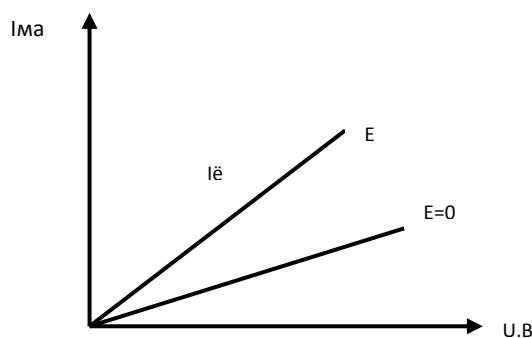


46-rasm. Fotorezistorning ulanish sxemasi

Yorug‘lik oqimi ta‘sirida fotorezistorning qarshiligi tushadi va undan yorug‘lik toki oqadi: $I_{\bar{e}} = U / (R_{\bar{e}} + R_H)$ bunda $R_{\bar{e}}$ -fotorezistorning yorug‘lik toki Yorug‘lik va qorong‘ilik toklari orasidagi farqni o‘tkazuvchanlikning birlamchi fototoki deyiladi: $I_{\phi} = I_{\bar{e}} - I_K$

Yorug‘lik oqimi oshganda o‘tkazuvchan elektronlarning bir qismi atomlar bilan to‘qnashadi, ularni ionlashtiradi va qo‘shimcha elektronlar oqimini hosil qiladi (o‘tkazuvchanlikning ikkilamchi fototoki), fotorezistor turi va ish rejimini tanlanadi bir qator tavsiflardan foydalaniladi.

Fotorezistorlarning voltamper tavsifi qorong‘ilikda va yoritilganlikda qoida bo‘yicha chiziqlidir, ya‘ni ular uchun Om qonuni bajariladi (47-rasm).



47-rasm. Yoritilmagan va yoritilgan fotorezistorning Volt-Amper tavsifi

Fotorezistor Yarim o‘tkazgich materialidan plyonka yoki plastina ko‘rinishida tayyorlanadi. Plyonka va plastinaning qarama-qarshi chekkalariga omik kontaktlar o‘rnatiladi.

Qorong'ulikda fotorezistorning qarshiligi omik kontaktlar orasida joylashgan Yarim o'tkazgichning ko'ndalang kesimi, uzunligi va solishtirma qarshiligi orqali aniqlanadi.

Fotorezistorning asosiy tavsifi integral sezgirligi bo'lib, u yorug'lik oqimining o'zgarishi natijasida qarshiligining o'zgarish darajasini ko'rsatadi. Fotorezistorga qo'yilgan kuchlanish o'zgarmas bo'lganda, yorug'lik tushib turgan paytda qarshilikni kamayishi, undan oqayotgan tokning oshishiga olib keladi.

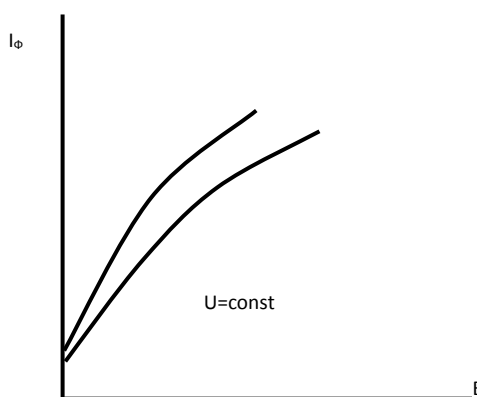
Yorug'lik bo'lmaganda fotorezistordan oqayotgan tokni qorong'ulik toki deyiladi. Fotorezistordan yorug'lik tushganda oqayotgan tokni fototok deyiladi.

Fotorezistorning ma'lum diapazondagi yorug'lik to'lqinlariga bog'liq xossalarni uning spektral sezgirligi deyiladi.

Chegaraviy sezgirligi deyilganda, yorug'lik signallarining minimal sathi tushuniladi, ya'ni ularni elektr signallariga aylanganda fotorezistorning xususiy elektr shovqini fonida ajratib olish mumkin.

Chegaraviy sezgirligi harorat pasayishi bilan ortadi, shuning uchun kuchsiz signallarni qabul qilinishga mo'ljallangan fotorezistorlar kuchli sovitilgan rejimda ishlaydi (48-rasm).

Yorug'lik tavsifi - fototokning doimiy spektral tarkibiga ega bo'lgan tushayotgan yorug'lik oqimiga bog'liqligidir. Eng katta sezgirlik - kam yoritilganlikda kuzatiladi.



48-rasm. Fotorezistorning yorug'lik tavsifi

Fotorezistorning yorug'lik tavsifi noxiziqiy bo'lib, fototok va yoritilganlik orasidagi proporsional bog'liqlik faqat yoritilganlik o'zgarishini qisqa intervalida, hamda kichik qiymatlarida kuzatilishi mumkin.

Fotorezistorlardan amalda foydalanishda ularning chastotali tavsifi muhim ahamiyatga ega. Ular o'zlarida shu narsani aks ettiradiki, ya'ni fotorezistorlarda yuz beradigan fotoelektr jarayonlar inersiyali xususiyatga ega, fototok yoritilganlikning o'zgarishiga ulgura olmaydi. Fotorezistor sirtiga nurlanish oqimi tusha boshlaganda fototok kuchi fotorezistor zanjirida o'zining maksimal qiymatiga tezda erisha olmaydi va faqat qandaydir vaqt oralig'idan τ_0 keyin unga erishadi. Xuddi shunday hodisa fotorezistorni yoritish to'satdan to'xtatilgan paytda ham kuzatiladi. Bu holda fototok darhol nol qiymatga tushmaydi. Faqat τ_0 vaqt o'tgandan keyin to'liq yo'qoladi. Fotorezistorlarda fotoelektr inersiyaning mavjudligi hosil bo'ladigan tok kattaligi tushayotgan o'zgaruvchan yorug'lik chastotasi γ ga bog'liq bo'ladi. Bu bog'lanishning xarakteri shundayki, γ oshishi bilan fototok kuchi kamayadi, fotorezistorlarning haroratli bog'lanishi ham muhim ahamiyatga ega. Ularni ishlatish sharoitida, atrofdagi havo temperaturasi keng diapazonlarda o'zgarishi mumkin, lekin fotorezistor o'zining fotoelement xossasini o'zgartirmasligi kerak. Harorat oshishi bilan Yarim o'tkazgichlarning omik qarshiligi kamayadi, fotorezistor sezgirligi ortadi. Haroratni yanada oshishi natijasida fotorezistorning sezgirligi kamayadi va xatto nolga teng bo'lishi mumkin.

7.3. Kondensatorlar va ularning asosiy kattaliklari

O'zgarmas sig'imli kondensatorlar

Hozirgi zamon radio qurilmalarida kondensatorlar keng qo'llanilmoqda. Elektr kondensator dielektrik bilan ajratilgan ikki yoki undan ko'p elektrodlar (qoplamalar) dan tashkil topgan tizim bo'lib, bunda dielektrik qalinligi qoplamalar o'lchamlariga nisbatan kichik. Elektrodning bunday tizimi o'zaro elektr sig'imiga ega bo'ladi. Elektr kondensator tayyor mahsulot ko'rinishida elektr zanjirlarda ishlatiladi, ya'ni jamlashtirilgan sig'im zarur bo'lgan paytlarda. Elektr kondensatorlarda dielektriklar sifatida gazlar, suyuqliklar va qattiq elektr

izolyasiyali moddalar, shuningdek Yarim o'tkazgichlar xizmat qiladi. Ular tebranish konturlarini hosil qilish, elektr zanjirlarini ajratib qo'yish uchun, shuningdek, filtrlarning elementi bo'lib xizmat qiladi. Elektr kondensator qoplamalari orasida gazsimon va suyuq dielektriklar bo'lganda qoplamalar sifatida metall plastinalar tizimi foydalaniladi, bunda plastinalar oralig'i doimiy bo'ladi. Qattiq dielektrik holida elektr kondensator qoplamalari yupqa metall filtlardan tayyorlanadi yoki metall qatlamlari bevosita dielektrikka yotqiziladi. Ayrim turdagi elektr kondensatorlar uchun metall folga sirtiga (1 qoplama) dielektrikning yupqa qatlami yotqiziladi, 2-qoplama sifatida metall yoki Yarim o'tkazgich plyonka, u dielektrik qatlamiga boshqa tomondan yotqiziladi yoki elektrolit (unga oksidlangan folga botiriladi) ishlatiladi.

Kondensatorlarni tafsivlovchi asosiy parametrlari:

- 1) sig'im nominal miqdori;
- 2) nominal miqdordan og'ishi yo'l qo'yilgan miqdor;
- 3) ish kuchlanishi;
- 4) teshib o'tish sinov kuchlanishi;
- 5) izolyasiya qarshiligi yoki sizish toki hisoblanadi.

Shuningdek, kondensator dielektrigida bo'ladigan isrofn, harorat va namlik o'zgarganda sig'im miqdorining turg'unligini tafsivlovchi miqdorlar ham uning muhim parametrlari hisoblanadi.

Sig'im nominal miqdoridan og'ishga yo'l qo'yilgan miqdor kondensatorning aniqlik sinfiga bog'liq bo'ladi. Ko'p kondensatorlarni qarshiliklarga o'xshab, uch aniqlik sinfiga bo'ladi:

- 1-sinf nominal miqdordan og'ish $\pm 5\%$;
- 2-sinf nominal miqdordan og'ish $\pm 10\%$;
- 3-sinf nominal miqdordan og'ish $\pm 26\%$.

Kondensatorning ish kuchlanishi, uning uzoq vaqt normal ishlashini ta'minlovchi kuchlanish miqdorini ko'rsatadi. Ish kuchlanish miqdori volt bilan kondensatorning ustida ko'rsatilgan bo'ladi.

Sinov kuchlanishi kondensatorning dielektrigi teshilmay ma'lum vaqt (odatda bir minutdan oshmaydi) chidashi kerak bo'lgan kuchlanish miqdorini ko'rsatadi. Kondensatorning ustida, ko'pincha, dielektrikning teshilishi (materialining ishdan chiqishi) bir necha sekunda ro'y beradigan teshib o'tish kuchlanishini miqdori ko'rsatiladi.

Izolyasiya qarshiligi keltirilgan ma'lum miqdordagi kuchlanishda kondensatorning «sezuvchi» tok miqdorini tavsiflaydi.

Izolyasiya qarshiligi odatda MegaOm yoki MOm/mkf da ifodalanadi. Izolyasiya qarshiligining miqdori kondensator korpusida ko'rsatilmaydi, lekin uni yuqori sezgir Ommetr bilan o'lchash mumkin.

O'zgaruvchan tok kondensator orqali o'tganda dielektrikda tok qisman isrof bo'ladi, bu kondensatorni qizishga olib keladi. Tashqi muhitning harorati va namligi o'zgarganda sig'im miqdori ham o'zgaradi, chunki kondensator plastinkalarining o'lchami va dielektrikning singdiruvchanligi ham o'zgaradi.

Kondensatorning tuzilishi shunday bo'lishi kerakki, natijada sig'im o'zgarishlari juda oz bo'lsin.

Kondensatorlar o'zgarmas va o'zgaruvchan sig'imli bo'ladi. O'zgaruvchan sig'imli kondensatorlarda sig'imni ma'lum oraliqda tekis o'zgartirish mumkin.

Kondensator sig'imini oz oraliqda o'zgartirish uchun Yarim o'zgaruvchan (sozlovchi) kondensatorlar ham mavjud bo'lib, ular apparaturani sozlashda ishlatiladi.

Kondensatorlar havo dielektrikli, qattiq dielektrikli (qog'ozli, slyudali, keramikali) va elektrolitli (quruq va nam) bo'lishi mumkin.

O'zgarmas sig'imli kondensatorlarning asosiy turlarini tavsifini ko'rib o'tamiz.

Qog'ozli kondensatorlar (49-rasm) past chastotalarda filtrlash, blokirovkalash va o'tish kondensatorlari sifatida ishlatiladi. Bu kondensatorlardagi dielektrik—maxsus modda shimdirilgan qog'ozdir.

1-jadvalda qog'ozli kondensatorlarning parametrlari haqida asosiy ma'lumotlar keltirilgan.

1-jadval

| Turi | Kondensatorlarning tavsifi | Sig'imi, mkf da | Ishlash kuchlanishi, V da | Korpusi | Ishlash harorat oralag'i, °C da |
|-------------|---|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|
| KB | Qog'ozli kondensatorla | 0,0047-0,5 | 200-600 | Qog'oz silindr shaklli | -40 dan + 60 gacha |
| KBG-I | Qog'ozli kondensator germetiklangan | 0,00047-0,1 | 200-600 | Sopol silindr shaklli | -60 dan + 70 gacha |
| KBG-M | Qog'ozli kondensator germetiklangan | 0,01-0,25 | 200-600 | Metall, silindr shaklli | -60 dan + 70 gacha |
| KBG-MP | Qog'ozli kondensator germetiklangan | 0,01-2,0 | 200-1500 | Metall, yassi | -60 dan + 70 gacha |
| KBG-MN | Qog'ozli kondensator germetiklangan | 0,25-10,0 | 200-1500 | Metall, to'g'ri to'rt burchak | -60 dan + 70 gacha |
| BM | Qog'ozli, kichik gabaratli | 0,00051-0,55 | 100 | Metall silindr shaklli | |
| KBM | Germetiklangan, yog'langan qog'ozli kondensator | 0,1-4,0 | 50-1000 | Metall to'g'ri to'rt burchak | |
| BGM | Qog'ozli, germetiklangan kichik gabaritli | 0,00092-0,05 | 400 | Metall, silindr shaklli | -60 dan + 85 gacha |

Slyudali kondensatorlar yuqori elektr ko'rsatkichlarga ega.

Ular kichik o'lchami va arzonligi bilan ajralib turadi. Bu kondensatorlarda dielektrik sifatida slyuda ishlatiladi. Slyudali kondensatorlar haqida asosiy ma'lumotlar 2-jadvalda keltirilgan.

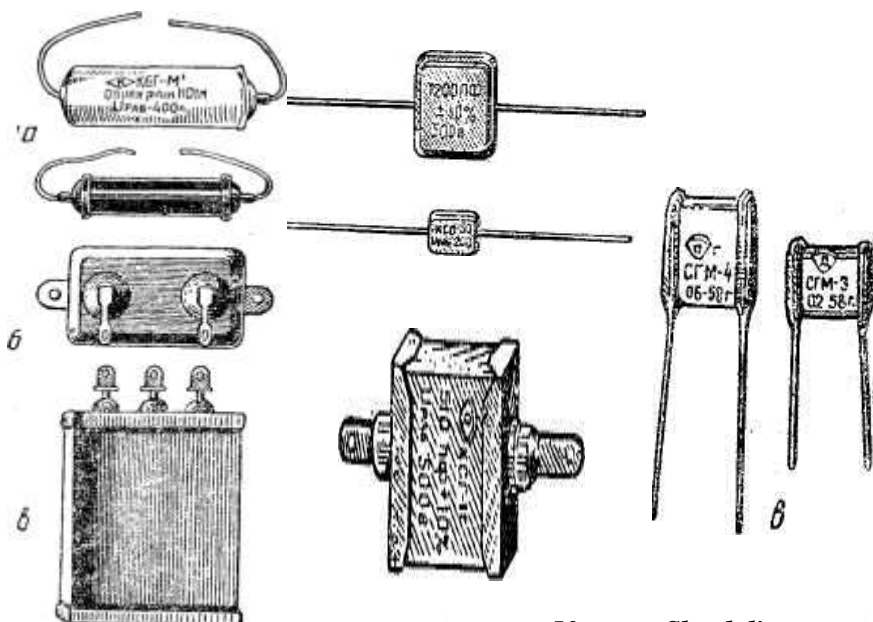
2-jadval

| Turi | Kondensatorlarning xarakteristikasi | Sig'imi, pf da | Ishlash kuchlanishi, V da | Ishlash harorat oralig'i, °S da |
|-------------|--|-----------------------|----------------------------------|--|
| KSO-1 | Slyudali, siqilgan | 10-220 | 250 | 60 dan +70 gacha |
| KSO-2 | Slyudali, siqilgan | 10-680 | 500 | -60 dan +70 gacha |
| KSO - | Slyudali, siqilgan | 3300-10000 | 500 | -60 dan +70 gacha |
| KSG-1 | Slyudali, germetiklangan | 470-20000 | 500 | -60 dan +70 gacha |
| KSG-2 | Slyudali, germetiklangan | 20000-100000 | 500 | -60 dan +70 gacha |
| SGM | Kichik gabaritli, slyudali, germetiklangan | 51-6200 | 250-500 | -60 dan +70 gacha |

Sopolli kondensatorlar slyudali kondensatorlarga nisbatan ancha yuqori elektr ko'rsatkichlarga ega. Bu kondensatorlarda dielektrik sifatida kuydirish yo'li bilan o'tkazuvchi qatlam yuritilgan sopol ishlatiladi. Ular qisqa va ultraqisqa to'lqinli radioapparatlarda o'tish, blokirovkalash va kontur kondensatorlari sifatida keng qo'llaniladi.

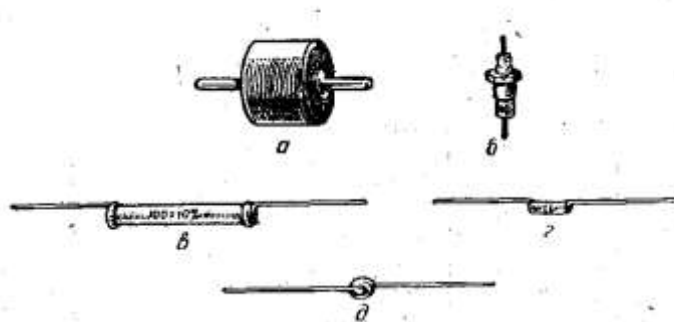
Sopolli kondensatorlarning asosiy parametrlari 3-jadvalda keltirilgan.

| Turi | Kondensatorlarning tavsifi | Sig'imi, pf da | Ishlash kuchlanishi, V da | Eslatma |
|------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|--|
| KTK | Naysimon, keramikali | 2—750 | 500 | Izolyasiya qarshiligi 1000 MOM dan kam emas. |
| KDK | Disksimon, keramikali | 1—100 | 500 | |
| KGK | Germetiklangan, keramikali | 5—1000 | 500 | |
| KVKG | Tuvaksimon, yuqori voltli | 47—2200 | 10000 gacha | |
| KVKS | Silindr shaklli, yuqori voltli | 47—470 | 3000—6000 | |
| KVKT | Naysimon, yuqori voltli . | 15—1500 | 10000gacha | |
| KVKB | Bochkasimon, yuqori voltli | 2,5—68 | 10000 gacha | |
| KDM | Disksimon, kichik gabaritli | 1—1500 | 60 | |
| KTM | Naysimon, kichik gabaritli | 1—3000 | 60 | |

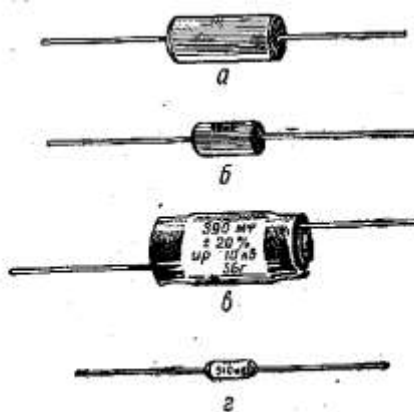


49-rasm. Qog'ozli
kondensatorlarning tashqi
ko'rinishi: a — КБГ-М tipdagi; б—
БГМ tipdagi; в— КБГ-ММ tipdagi

50-rasm. Silyudali
kondensatorlarning tashqi
ko'rinishi: a — КСО tipdagi;
б— КСГ tipdagi; в — СГМ
tipdagi



51-rasm. Sapolli kondensatorlarning tashqi ko'rinishi: a- FGT turdagi; b-KTPS turdagi; v – KTK turdagi; g- KTM turdagi; d-KDM turdagi



52-rasm. Plyonkali kondensatorlarning tashqi ko'rinishi: a - FGT turdagi; b - FT turdagi; v - POV turdagi; g - PM turdagi

Plyonkali kondensatorlar izolyasiya qarshiligining juda yuqoriligi (50 000 MOm gacha) va dielektrigidagi yo'qotishning kamligi bilan farqlanadi. Bu kondensatorlarda dielektrik sifatida polistirool (stirofleks)ning yupqa plyonkasi yoki maxsus oynasimon emal ishlatiladi.

Plyonkali kondensatorlardan eng ko'p tarqalgan turlarining ma'lumoti 4-jadvalda keltirilgan.

Elektrolitli kondensatorlar filtrlarda, pulslanuvchi tokning blokirovka va ajratish zanjirlarida, shuningdek, tranzistorli kuchaytirgichlarda o'tish kondensatori sifatida ishlatiladi.

Alyuminiy lentaga kimyoviy usulda yupqa oksid qatlami olinadi. Bu qatlam dielektrik bo'lib xizmat qiladi. Kondensatorida birinchi qoplama alyuminiy tasma, ikkinchisi esa tasmaga tegib turadigan elektrolit qatlamidan iborat bo'ladi.

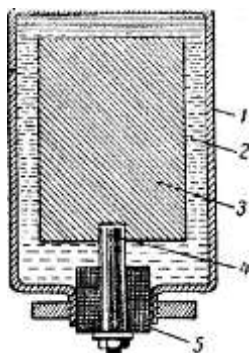
4-jadval

| Turi | Kondensatorlarning tavsifi | Sig'imi | Ishlash kuchlanishi, V da | Eslatma |
|------|--|-----------------|---------------------------|----------------|
| PGSI | Plyonkali, germetiklangan, stirofleksli | 0,003—0,02 mkf | 500—1000 250—1000 | Sapol korpusli |
| PGSM | | 0,015—2,0 | | Metall |
| PM | Kichik gabaritli, polistirolli | mkf | 60 | korpusli |
| POV | | | | |
| PSO | Polistirolli, ochiq, yuqori voltli | 100—1000 | (10÷15) 10 ³ | |
| KS | Polistirolli, ochiq. | pf | 250—500 | |
| | Oyna emalli | 390 pf | 500 | |
| FT | Issiqqa chidamli, ftoroplastli | 470—10000 | | |
| | | pf | 200—600 | |
| FGT | Issiqqa chidamli, germetiklangan, ftoroplastli | 10—470 pf | 200—600 | |
| | | 510pf—0,25 mkf. | | |
| | | 0,25; 0,5 mkf | | |

Oksid plyonkasi bir tomonga o'tkazish xususiyatiga ega, shuning uchun kondensatorni ulashda ko'rsatilgan qutblikka qat'iy rioya qilish kerak.

Elektrolitli kondensatorlar suyuq va quruq (Yarim quruq) elektrolitli bo'ladi. Elektrolit suyuq bo'lganda, oksid plyonkali alyuminiy tasma suyuq yoki yopishqoq elektrolitga joylanadi. Elektrolit quruq bo'lganda, yopishqoq yoki Yarim qattiq elektrolit shimdirilgan qistirma oksid plyonkaga tegib turadi. 53-rasmda suyuq elektrolitli kondensatorni tuzilishi ko'rsatilgan. Elektrolitli kondensatorlarning asosiy afzalligi shundaki, ularni o'lchami nisbatan kichik bo'lsada, katta sig'im

olish mumkin. Asosiy kamchiliklari shundan iboratki, ularning sizish qarshiligi kam va sigʻim miqdori haroratga hamda kondensatorning ishlash vaqtiga bogʻliq.



53-rasm. Suyuq elektrolitli kondensatorning tuzilishi:

**1— korpus; 2— elektrolit; 3— kontakt plastinkasi 4— chiqish sterjeni;
5— izolyasiya vtulkasi**

Elektrolitli kondensatorlarning quyidagi standart turlari mavjud:

KE — elektrolitli;

KEG — germetiklangan, elektrolitli;

EGS — silindr shaklli, germetiklangan, elektrolitli;

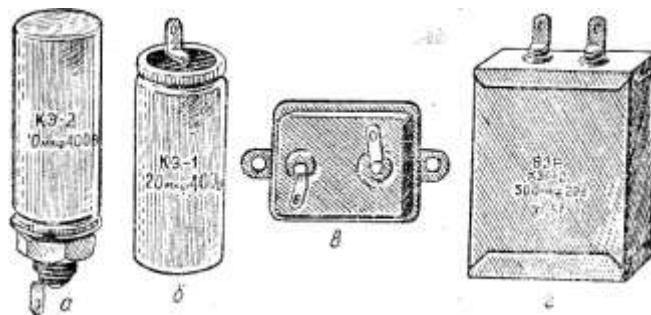
EM — kichik, gabaritli, elektrolitli;

ETO — tantaldan boʻlgan, hajmli, elektrolitli.

KE kondensatorlari tuzilishi boʻyicha uch guruxga boʻlinadi: KE-1, KE-2, KE-3.

KE-1 va KE-2 turdagi kondensatorlar silindr shakllida boʻlib, alyuminiy korpusga joylashgan. Korpusning bir tomonida ichki elektrod uchi chiqarilgan, ikkinchi elektrod sifatida korpusning oʻzi xizmat qiladi.

KE-3 turdagi kondensatorlar ham silindr shaklli boʻlib, ularning ikki tomonidan chiqish elektrodleri chiqarilgan. Har xil turdagi elektrolitli kondensatorlarning tashqi koʻrinishi 54-rasmda koʻrsatilgan. Bunday kondensatorlar sigʻimining nominal miqdori 2 mkf dan ish kuchlanishi esa 8 dan 500 V gacha oraliqda boʻladi.



54-rasm. Elektrolitli kondensatorlarning tashqi ko‘rinishi: a — KE-2 M turdagi; b— KE-1 M turdagi; v — EM turdagi; 2 — KEG-2 turdagi

Kondensatorlar ishlash haroratining yo‘l qo‘yilgan chegarasi 3 ga bo‘linadi:

M (sovuqqa chidamli) harorat oralig‘ining o‘zgarishi — 40° dan $+60^{\circ}\text{C}$ gacha; PM (yuqori darajada sovuqqa chidamli), harorat oralig‘ining o‘zgarishi — 50° dan $+60^{\circ}\text{C}$ gacha; OM (maxsus sovuqqa chidamli), harorat oralig‘ining o‘zgarishi — 60° dan $+60^{\circ}\text{C}$ gacha.

EGS turdagi kondensatorlarning ishlash kuchlanishi 6 V dan 500 V gacha, sig‘im miqdori 2 mkf dan 2000 mkf gacha qilib ishlab chiqariladi.

EM turdagi kondensatorlarning ishlash kuchlanishi 4 V dan 60 V gacha, sig‘im miqdori 0,5 dan 25 mkf gacha bo‘ladi.

ETO turdagi kondensatorlarning ishlash kuchlanishi 4 V dan 70 V gacha va sig‘im miqdori 10 mkf dan 80 mkf gacha qilib ishlab chiqariladi. Bu turdagi kondensatorlar yuqori ekspluatatsiya ko‘rsatkichlari bilan ajralib turadi: ish haroratlarning oralig‘i— 60° dan $+150^{\circ}\text{S}$ gacha, yo‘l qo‘yilgan nisbiy namligi 98 % gacha va yo‘l qo‘yilgan atmosfera bosimi 5 mm sim. ust. gacha bo‘ladi.

Metallangan qog‘ozli kondensatorlar. Hozirda elektronika sanoatida metallangan qog‘ozli takomillashtirilgan kondensatorlar ko‘plab chiqarilmoqda.

Bu kondensatorlar kichik o‘lchamli, lekin katta sig‘imga ega: o‘zgarmas yoki pulslanuvchi kuchlanish zanjirlarida ishlashi mumkin va yuqori ekspluatatsiya ko‘rsatkichlariga ega. Metallangan qog‘ozli kondensatorlar elektrolitli kondensatorlar o‘rnida muvaffaqiyatli ishlatilmoqda.

Hozirgi vaqtda bunday kondensatorlarning quyidagi turlari ishlab chiqariladi:

MBG- metallangan qog'ozli, germetiklangan. To'g'ri to'rtburchakli va silindr shaklli korpusda montaj qilinadi. Ishlash kuchlanishi 200 dan 1500 V gacha, sig'im nominal miqdori 0,025 dan 25 mkf gacha bo'ladi.

MBGO — metallangan qog'ozli, germetiklangan, bir qatlamli, ishlash kuchlanishi 160 dan 600 V gacha va sig'im miqdori 0,25 dan 30 mkf gacha bo'ladi.

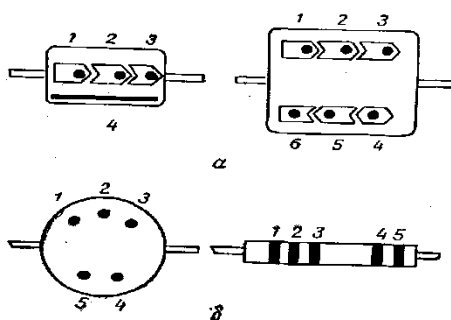
MBGT — metallangan qog'ozli, germetiklangan, issiqqa chidamli, ishlash kuchlanishi 160 dan 1000 V gacha va sig'im nominal miqdori 0,1 dan 20 mkf gacha. Bu turdagi kondensatorlarning afzalligi shundaki, ular —60° dan +100°C gacha harorat oralig'ida turg'un ishlaydi.

MBGCH—metallangai qog'ozli, germetiklangan. chastotali, o'zgaruvchan yoki pulslanuvchi kuchlanish zanjirlarida ishlatishga mo'ljallangan. Ishlash kuchlanishi 150 dan 1000 V gacha, sig'im miqdori 0,25 dan 10 mkf gacha bo'ladi.

MBM—metallangan qog'ozli, kichik o'lchamli, 160 V ishlash kuchlanishiga mo'ljallangan, sig'im miqdori 0,05 dan 1,0 mkf gacha.

Kondensatorlarni rangli markalash. Ilgari kondensatorlar rangli markalanar edi, ya'ni hamma belgilar har xil rangli nuqtalar ko'rinishida qo'yilar edi.

Presslangan kondensatorlar uchun rangli nuqtalar strelkada qo'yiladi (55-a rasm).



55-rasm. Rangli markalash nuqtalarini qo'yish

Sopolli kondensatorlarda nuqtalar markazga nisbatan nosimmetrik joylashgan (55-b rasm).

Sig‘im miqdori uchta nuqta bilan belgilanadi: oldingi ikki nuqta 1, 2— raqamlar, uchinchi 3— ko‘paytiruvchi, 4- nuqta aniqlikni foizida, nuqta 5— ishlash kuchlanishi miqdorini voltlarda ko‘rsatadi.

5-jadval

| Rang | Nominal sig‘im, pf da | | Aniqlik, % da | Ishlash kuchlanishi, V da |
|---------------|-----------------------|----------------|------------------|---------------------------------|
| | Raqamlar | Ko‘paytiruvchi | | |
| Qora | 0 | 1 | - | - |
| Jigar rang | 1 | 10 | - | 250 |
| Qizil | 2 | 100 | - | 500 |
| To‘q sariq | 3 | 1000 | - | 1000 |
| Sariq | 4 | 10.000 | - | 1500 |
| YAshil | 5 | 100.000 | - | 2000 |
| Ko‘k | 6 | 1000.000 | - | 2500 |
| Binafsha rang | 7 | 10.000.000 | - | 3000 |
| Kul rang | 8 | 100.000.000 | - | 5000 |
| Oq | 9 | 1000.000.000 | 2 | 7000 |
| Oltin rang | - | 0,1 | 5 | - |
| Kumush rang | - | 0,01 | 10 | - |
| Rangsiz | - | - | 20 | - |

5-jadvalda har xil rangga to‘g‘ri keladigan kondensatorlarning miqdorlari keltirilgan.

M i s o l: Oldingi uchta rang—qora, jigar rang va to‘q sariq, to‘rtinchi — oltin rang, beshinchi — jigar rang. Bu shuni ko‘rsatadiki, kondensatorning sig‘im miqdori 1000 pf, aniqligi 5% va ish kuchlanishi 250 V. Ba‘zan kondensatorga yana bir rangli chiziq yoki nuqta qo‘yiladi. Bu kondensator sig‘imining turg‘unlik guruxini ya‘ni tashqi haroratda 1⁰C ga o‘zgarganda, sig‘im qanchaga o‘zgarishini ko‘rsatadi.

O'zgaruvchan sig'imli kondensatorlar

O'zgaruvchan sig'imli kondensatorlar ko'pincha radio uzatuvchi va qabul qiluvchi qurilmalarda tebranuvchi kontur elementi sifatida ishlatiladi.

O'zgaruvchan sig'imli kondensator ikkita parallel plastinkalar sistemasidan iborat bo'lib, ulardan biri ikkinchisiga nisbatan harakatlanishi mumkin. Harakatlanmaydigan sistema — stator, harakatlanuvchi sistema esa rotor deb ataladi. Rotor plastinkalari stator plastinkalari o'rtasadagi oraliqqa kiradi va rotorning burilish burchagiga qarab kondensatorning sig'imi o'zgaradi. O'zgaruvchan sig'imli kondensatorning konstruksiyasi 56-rasmda ko'rsatilgan. Rotor plastinkalari aylangandagi ishqalishni kamaytirish uchun uning o'qi miniatyur sharikli podshipniklar yordamida o'rnatiladi. Odatda, rotor apparaturaning korpusi bilan elektrik ulangan (yerga ulangan) bo'ladi. Bu sozlash aniqligiga operator qo'lining ta'sirini yo'qotish uchun qo'llaniladi.

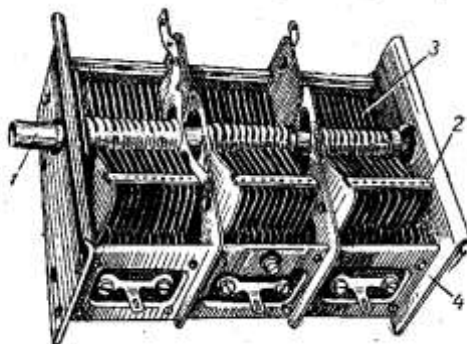
O'zgaruvchan sig'imli kondensatorlar ishlatiladigan dielektrikka qarab, qattiq yoki havo dielektrikli kondensatorlarga bo'linadi.

Havo dielektrikli kondensatorlar tebranish konturlarida ishlatiladi, chunki ular parametrlarining yuqori turg'unligi va oz energiya yo'qotishi bilan farq qiladi. Qattiq dielektrikli kondensatorlar esa sozlovchi sifatida ishlatiladi.

O'zgaruvchan sig'imli kondensator sig'imining rotor burilish burchagiga qarab o'zgarish qonuni kondensatorning muhim tavsifi hisoblanadi. Bu qonunga muvofiq kondensatorlar to'g'ri sig'imli, to'g'ri to'lqinli, to'g'ri chastotali va logarifmik kondensatorlarga bo'linadi.

To'g'ri sig'imli kondensatorda sig'im miqdori rotorning burilish burchagiga chiziqli bog'liq bo'ladi. Bunda tebranish konturining o'ziga xos chastotasi rotorning burilish burchagi bilan chiziqli bo'lmagan holda o'zgaradi, bu esa maqsadga muvofiq emas. Shuning uchun, to'g'ri sig'imli kondensatorlar faqat rostlagich sifatida ishlatiladi. To'g'ri chastotali kondensator rotorning burilish burchagi konturning resohans chastotasiga chiziqli bog'liqligi bilan tavsiflanadi. Bunday bog'liqlikka maxsus shakldagi rotor plastinkalarini ishlatish bilan erishiladi. To'g'ri chastotali kondensator chastota bo'yicha tekis sozlash shkalasini

olishga imkon beradi. Bu esa radiopriyomnik qurilmalari va uzatkichning hosil qiluvchi generatori uchun alohida ahamiyatga egadir.



**56-rasm. O'zgaruvchan sig'imli kondensator (uchlangan blok):
1-o'q; 2-rotor plastinkalari; 3- stator plastinkalari; 4- korpus**

Kondensatorning kamchiligi shundan iboratki, uning plastinkalarni shakli juda cho'ziq bo'lib, natijada mexanik jihatdan mustahkamligi pasayadi va o'lchamlari kattalashadi.

To'g'ri to'lqinli kondensator rotorning burilish burchagi bilan tebranish konturining o'ziga xos to'lqin uzunligi o'rtasidagi chiziqli bog'liqlikka ega.

Konturning o'ziga xos to'lqin uzunligi sig'im miqdori bilan quyidagicha bog'langan:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}} = 2\pi c\sqrt{LC} \quad (64)$$

bunda : λ -to'lqin uzunligi

f-chastota, s-yorug'lik tezligi, S –sig'im

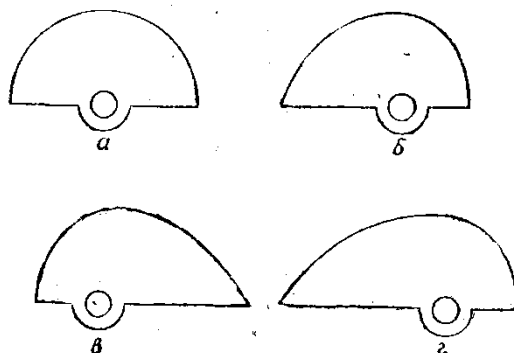
L-induktivlik

To'lqin uzunligi (λ) bilan sig'im (S) o'rtasidagi chiziqli bog'liqlikni olish uchun sig'im miqdori kvadrat qonuni bo'yicha o'zgarishi zarur.

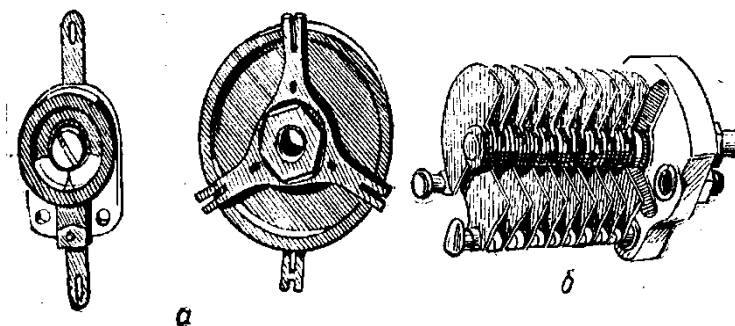
Konturning o'ziga xos chastotasi rotorning burilish burchagiga bog'liq holda notekis o'zgarishi sababli, to'g'ri to'lqinli kondensatorlar kam ishlatiladi.

Logarifmik kondensatorlar butun shkala oralig'ida rotor 1° ga burilganda sig'im nisbiy o'zgarishining doimiyliti bilan tafsiflanadi. Bu hol bir necha kondensatorlarni bir o'qqa ulashni, ya'ni o'zgaruvchan kondensatorlar blokini

tuzishni engillashtiradi. Logarifmik kondensatorlar radiopriyomniklarda keng qoʻllaniladi.



57-rasm. Oʻzgaruvchan sigʻimli kondensatorlar rotori plastinkalarining shakli; a - toʻgʻri sigʻimli; b -toʻgʻri toʻlqinli; v -tugʻri chastotali; g- logarifmik



58-rasm. Sozlovchi kondensatorlarning tashqi koʻrinishi:

A- KPK turdagi sopolli; b- koʻp plastinkali

Oʻzgaruvchan sigʻimli kondensatorlar rotori plastinkalarining shakllari 46-rasmda koʻrsatilgan.

Kondensator sigʻimining oʻzgarish oraligʻi har xil boʻlishi mumkin. Qabul qiluvchi va uzatuvchi apparaturalarda eng kam sigʻimi 10—15 pf va eng koʻp sigʻimi 120 dan 500 pf gacha boʻlgan kondensatorlar ishlatiladi.

Yarim oʻzgaruvchan kondensatorlar radioapparaturada tutashgan kontur sigʻimlarni toʻgʻrilashda sozlovchi sifatida keng ishlatiladi.

Koʻp plastinkali va keramakali Yarim oʻzgaruvchan kondensatorlar koʻp tarqalgan boʻlib, elektron asboblarning deyarli hammasida qoʻllaniladi.

Yarim o‘zgaruvchan sopolli kondensatorlar sopol asos va aylanuvchi sopol diskdan iborat.

Rotor va statorning metallangan qismlari kondensatorning qoplamalari bo‘lib xizmat qiladi.

58-a rasmda shaybali keramikali sozlovchi kondensatorning har xil turlari ko‘rsatilgan. Bu kondensatorlar tuzilishiga qarab, quyidagi turlarga bo‘linadi: KPK-1; KPK-2 va KGK-3 (keramikali sozlovchi kondensatorlar). Ular 500 V gacha ishlash kuchlanishiga mo‘ljallangan.

Bu kondensatorlarning sig‘imi quyidagi oraliqda o‘zgaradi:

| Turi | Sig‘imi, <i>pf</i> da |
|-------------|--|
| KPK-1 | 2—7; 4—15; 6—25; 8—30 |
| KPK-2 | 6—60; 10-100; 25—150 |
| KPK-3 | 75—200; 125-250; 200-325; 275-375; 350-450 |

Shaybali kondensatorlardan tashqari naysimon sozlovchi kondensatorlar ham mavjud. Ularning afzalligi shuki, ular radioqurilma shassisida ko‘p joy olmaydi. Shuning uchun naysimon kondensatorlar kichik o‘lchamli elektron qurilmalarida eng ko‘p qo‘llaniladi.

Ko‘p plastinkali kondensator tuzilishi bo‘yicha oddiy to‘g‘ri sig‘imli o‘zgaruvchan kondensatordan farq qilmaydi, lekin kichik gabaritli bo‘ladi. Bu kondensatorning afzalligi yuqori elektr ko‘rsatkichlarga egaligi bo‘lib, tuzilishi jihatdan murakkabligi esa kamchiligi hisoblanadi.

Ko‘p plastinkali kondensatorning tashqi ko‘rinishi 58-b rasmda ko‘rsatilgan.

7.4. Transformatorlar va ularning qo‘llanishi

Elektron qurilmalarda kuchlanish, tok yoki qarshiliklar miqdorini o‘zgartirish uchun transformatorlar keng ishlatiladi. Po‘lat o‘zakli ikkita chulg‘am mavjud bo‘lsa (23-rasm) va ularning biriga kuchlanish manbai ulansa, ikkinchi chulg‘amda paydo bo‘lgan kuchlanish miqdori o‘ramlar sonlarining nisbatga bog‘liq bo‘ladi:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (65)$$

bunda: U_2 — ikkilamchi chulgʻamdagi kuchlanish;

U_1 —birlamchi chulgʻamdagi kuchlanish;

ω_1 — birlamchi chulgʻamdagi oʻramlar soni;

ω_2 — ikkilamchi chulgʻamdagi oʻramlar soni.

Kuchlanish manbai ulangan choʻlgʻam — birlamchi. Nagruzka ulangan choʻlgʻam ikkilamchi choʻlgʻam deyiladi.

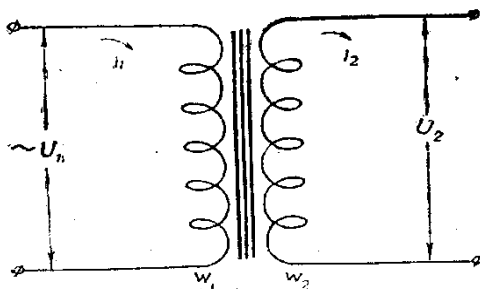
Quyidagi nisbat transformatsiyalash koeffitsienti deb ataladi:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = n \quad (66)$$

Agar birlamchi chulgʻamdagi oʻramlar soni ikkilamchi choʻlgʻamdagi oʻramlar sonidan koʻp, yaʼni $n > 1$ boʻlsa, pasaytiruvchi transformator; agar $p < 1$ boʻlsa, kuchaytiruvchi transformator boʻladi.

Elektr energiyasini uzatishda boʻladigan yoʻqotilishlarni nazarga olmasak, u vaqtda birlamchi chulgʻamdagi quvvat ikkilamchi chulgʻamdagi quvvatga teng boʻlishi kerak. Birlamchi chulgʻamdan oʻtadigan elektr tokining quvvati:

$$P_1 = U_1 I_1 \quad (67)$$



59-rasm. Transformatorning sxemasi

Ikkilamchi choʻlgʻamdagi quvvat:

$$P_2 = U_2 I_2 \quad (68)$$

bunda I_1 va I_2 — birlamchi va ikkilamchi choʻlgʻamdagi toklar. Bu quvvatlar bir-biriga teng boʻlgani uchun:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad (69)$$

bundan muhim nisbatni olamiz:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (70)$$

Bu formuladan ko‘rinib turibdiki, agar transformator kuchaytiruvchi bo‘lsa, ya’ni $U_2 > U_1$ bo‘lsa, ikkilamchi cho‘lg‘amdagi kuchlanish qancha ko‘paysa, undagi tok shuncha kamayadi va aksincha, pasaytiruvchi transformatorlarda ikkilamchi cho‘lg‘amdagi tok ko‘payadi. Shunday qilib, kuchlanishni ko‘paytirish kerak bo‘lsa — kuchaytiruvchi transformator, tokni ko‘paytirish kerak bo‘lsa — pasaytiruvchi transformatorlar ishlatiladi. Transformator elektr manbaiga nisbatan ikkilamchi cho‘lg‘amga ulangan qarshilik miqdorini ham o‘zgartirishga imkon beradi.

Bundan elektronqurilmalarda qarshiliklarni moslash lozim bo‘lgan holda keng qo‘laniladi.

Bu mulohazalar yo‘qotilishi bo‘lmagan transformatorga oiddir. Haqiqatda esa har qanday transformatorlarda elektr quvvatini uzatishda qisman bo‘lsada yo‘qotilishlar bo‘ladi.

Transformatoridagi yo‘qotishlar miqdori uning foydali ish koeffitsienti (F.I.K) bilan tavsiflanadi:

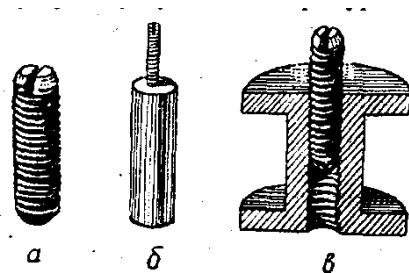
$$\eta_t = \frac{P_2}{P_1} \quad (71)$$

Transformatoridagi umumiy yo‘qotishlar cho‘lg‘am simlarini qizishiga, o‘zakni uyurma toklar hisobiga qizishiga va qayta magnitlanishga bo‘lgan yo‘qotilishlarning yig‘indisidan iborat.

Hozirgi zamon transformatorlarida simlarning kesimini to‘g‘ri tanlash va to‘g‘ri konstruksiyalash bilan yuqori foydali ish koeffitsienti (0,8 dan 0,95 gacha) ni olishga erishilmoqda.

Transformatorlar bajaradigan vazifasiga qarab kuch transformatoriga va past chastota (OVOZ chastota) transformatoriga bo‘linadi.

Magnit o‘zakli yuqori chastota g‘altaklari



60-rasm. Yuqori chastota g'altaklarida ishlatiladigan magnitli o'zaklarning shakllari

G'altakda magnit o'zaklar ishlatish berilgan induktivlikni olish uchun o'ramlar sonini kamaytirishga hamda induktivlik miqdorini oz oraliqda tekis o'zgartirishga, ya'ni sozlashga imkon beradi.

Tarkibida temir bo'lgan moddaning mayda zarrachalarini dielektrik bilan qo'shib presslangan birikma (magnit-dielektrik) o'zak sifatida keng ishlatiladi.

Metall zarrachalari bir-biridan izolyasiyalanganligi uchun o'zakdagi uyurma toklar hisobiga bo'ladigan yo'qotilishlar keskin kamayadi. Radio qabul qiluvchi apparaturada magnitli o'zaklar sifatida magnetit, alsifer va karbonil temirlari keng qo'llaniladi. Magnetit maydalangan temir rudasni bakelit loki bilan presslab olinadi. Alsifer maydalangan alyuminiy, kremniy va temirning bog'lovchi dielektrik, masalan, bakelit yoki stirol bilan qotishmasidan iborat. Karbonil temir maydalangan temir kukunini bog'lovchi dielektrik bilan presslab olinadi.

Hozirgi vaqtda maxsus magnit-dielektrik — ferritdan qilingan o'zaklar ko'p ishlatilmoqda. Ferrit boshqa magnit materiallarga qaraganda juda katta solishtirma qarshilikka ega bo'lib, magnit xususiyati: ancha yuqoridir. Bu, simni bevosita karkassiz o'zakning o'ziga o'rashga imkon beradi, natijada g'altakning tuzilishi soddalashadi.

O'zaklarning shakli har xil bo'lishi mumkin. 60-a, b, v rasmda elektron qurilmalarda ishlatiladigan magnitli o'zaklarning turli xillari ko'rsatilgan.

Qisqa va ultraqisqa to'lqinli g'altaklarni sozlashda magnit bo'lmagan materiallar — mis va latundan bo'lgan o'zaklar ishlatiladi. Bu xildagi o'zaklar kiritilganda g'altakning induktivligi kamayadi.

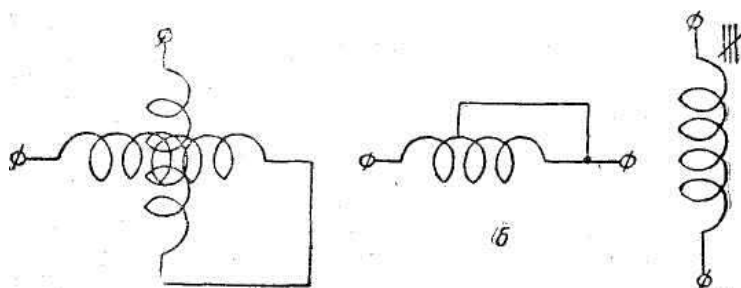
Ekranlangan g'altaklar

G'altakda tashqi elektromagnit maydonning mavjudligi sxemaning boshqa elementlari bilan o'rinsiz induktivlik ta'siriga olib kelishi mumkin. Bunday «parazit» aloqalar elektron qurilmalarning normal ishlashini buzadi. Bu ta'sirlarni yo'qotish uchun g'altaklar ekranlanadi, ya'ni ular berk metall ekran ichiga joylashtiriladi. Ekranlar misdan yoki alyuminiydan tayyorlanadi va yumaloq yoki to'g'ri to'rt burchakli stakan shaklida bo'ladi. Ekranni bo'lishi g'altakning asosiy parametrlarini o'zgarishiga olib keladi; g'altakning induktivligi kamayib, o'ziga xos sig'imi ko'payadi. Ekran g'altakka qancha yaqin joylashgan bo'lsa, g'altak parametrlarining o'zgarishi shuncha ko'p bo'ladi. Shuni esda tutish kerakki, ekranlangan g'altak tebranish konturlarini sozlashda ekran albatta kiritilgan bo'lishi kerak, chunki ekran sozlangandan keyin kiritilsa, konturning o'ziga xos chastotasi bir oz o'zgaradi.

O'zgaruvchan induktivlik g'altaklar (variometrlar)

O'zgaruvchan induktivlik g'altaklar tebranish konturlarini keng chastotalar oralig'ida tekis sozlash uchun ishlatiladi. G'altakniig induktivligini bir necha usullar bilan: bir-biriga ketma-ket ulangan g'altaklarning o'zaro induksiyasini o'zgartirish (61-a rasm), g'altakdagi o'ramlar sonini o'zgartirish (61-b rasm) va g'altakka magnit o'zagi kiritish (61-v rasm) bilan o'zgartirish mumkin. Oldingi ikki usul radiouzatuvchi qurilmalarda, uchinchi usul esa radio qabul qiluvchi qurilmalarda ishlatiladi.

O'zaro induksiyali variometr ikkita silindr g'altak tarzida yasalgan bo'lib, ulardan biri ikkinchisining ichida aylanishi mumkin. Harakatlanuvchi (aylanuvchi) g'altak — rotor, harakatlanmaydigani esa stator deyiladi.



61-rasm. Variometr sxemalari:

a- o‘zaro induksiyali; b - o‘ram sonlari o‘zgaruvchan; v - magnit o‘zakli

O‘ramlar soni o‘zgaruvchan variometrlarda g‘altak o‘ramlari qo‘zg‘almas sopol karkasga o‘raladi. G‘altak o‘ramlari bilan elektrik kontakt sozlash bandi bilan bog‘langan metall rolik yordamida amalga oshiriladi. Band aylantirilganda rolik o‘ramlar ustida yuradi, natijada g‘altakning induktivligi tekis o‘zgaradi.

Magnit o‘zakli variometr (ferrovariometr) silindr g‘altak va uning ichida harakatlanuvchi o‘zakdan iborat. O‘zak sifatida alsifer yoki ferrit ishlatiladi.

Variometrning ko‘rsatilgan turlari ichida o‘ramlar soni o‘zgaruvchan variometr eng yuqori sifatlilikka ega, shu bilan birga, sifatlilik miqdori to‘lqinlar oralig‘ida kam o‘zgaradi. Bunday variometrlar induktivligi keng oraliqda o‘zgarishi lozim bo‘lgan o‘zatkichlarning antenna konturlarida ishlatiladi.

Po‘lat o‘zakli past chastota g‘altaklari

Elektron qurilmalarda katta induktivlik zarur bo‘lgan hollarda po‘lat o‘zakli g‘altaklar ishlatiladi. Maxsus elektrotexnik po‘latdan yasalgan o‘zak kiritish g‘altakning induktivligini bir necha marta oshiradi va o‘lchamlarini keskin kamaytirishga imkon beradi.

Po‘lat o‘zakli g‘altak o‘ramlari sonini quyidagi formula bilan aniqlash mumkin:

$$\omega = 450 \sqrt{\frac{Ll_c}{S}} \quad (72)$$

bunda ω — o‘ramlar soni;

L — induktivlik;

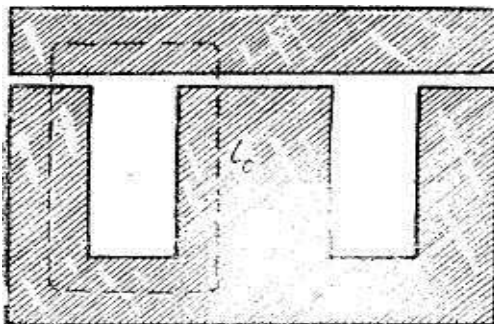
l_c — magnit yo‘lining uzunligi;

S — o‘zakning kesim yuzi.

«SH» shaklli o‘zak magnit yo‘lining uzunligi 53-rasmda ko‘rsatilgan. O‘zak kesim yuzining ortishi bilan ma’lum induktivlikni olish uchun zarur bo‘lgan o‘ramlar sonining kamayishi Yuqoridagi formuladan ko‘rinib turibdi.

Uyurma toklar tufayli bo‘ladigan yo‘qotilishlarni kamaytirish uchun o‘zaklar bir-biridan izolyasiyalangan ayrim plastinkalardan yig‘iladi.

O‘zgaruvchan tok zanjiriga ulanadigan g‘altakning o‘zaklari berk qilib tutashtiriladi. Agar g‘altak o‘zgaruvchan va o‘zgarmas qismlardan iborat pulslanuvchi tok zanjiriga ulanadigan bo‘lsa, o‘zakda magnitsiz oralik qoldiriladi. Buni shunday tushuntirish mumkin: tokning o‘zgarmas qismlari mavjud bo‘lganda (doimiy magnitlanish), g‘altakning induktivligi kamayadi va zarur bo‘lgan induktivlik miqdorini olish uchun o‘zakning kesimini kattalashtirish kerak bo‘ladi. Magnitsiz oraliqning bo‘-lishi magnit oqimiga bo‘lgan qarshilikni ko‘paytiradi, bu esa o‘zakning doimiy magnitlanish darajasini kamaytiradi. Past chastota g‘altagining tashqi ko‘rinishi 62-rasmda ko‘rsatilgan. Po‘lat o‘zakli g‘altaklar asosan ovoz chastota generatorining tebranish kontur elementida va ta‘minlash zanjirlarida filtr drosseli sifatida ishlatiladi.



62-rasm. “SH” shaklli o‘zak magnit yo‘lining uzunligi

IZOHLAR RO'YXATI:

- HMK – hajmiy markazlashgan kubsimon;
QMK – qirralari markazlashgan kubsimon;
GZJ – geksoqonal zich joylashgan;
 W_i va W_t – itarish va tortishish kuchlari bilan bog‘liq bo‘lgan potensial energiyalar;
 E_d – panjara relaksatsiyasi energiyasi;
 E_0 – termik ionizatsiya energiyasi;
DX – donor markazi;
U – manfiy kuchlanish;
HZ – holatlar zichligi;
G – Grin funksiyasining rezolventi;
C3 – kristallanish markazining tug‘ilish tezligi;
CP – kristallanish markazlarida kristallarning o‘shishi;
 B_r – qoldiq induksiya;
 B_s – to‘yinish induksiyasi;
 H_c – koersitiv (kechiktiruvchi) kuch;
 H_s – to‘yinish induksiyasi;
AMM – amorf magnit materiallar;
TGS – to‘g‘ri burchakli gisterezis sirtmog‘i;
NYE – nodir yer elementlari;
E.Yu.K. – elektr yurituvchi kuch;
GMQ – gigant magnit qarshilik;
EHM – elektron hisoblash mashinasi;
PVDF – polivinilidenftorid;
TGS – triglitsinsulfat;
KE — elektrolitli kondensator;
KEG — germetiklangan, elektrolitli kondensator;
EGS — silindr shaklli, germetiklangan, elektrolitli kondensator;
EM — kichik, gabaritli, elektrolitli kondensator;
ETO — tantaldan bo‘lgan, hajmli, elektrolitli kondensator.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

RO'YXATI:

1. Yunusov M.S., Vlasov S.I., Nazirov D.E. Elektron asboblari. Darslik.- Toshkent: O'zMU. 2003.
2. Plotyanskaya M.A., Kirshina I.A., Filonov O.M. Materialovedeniye I materiali elektronnoy texniki. Sankt-Peterburg. 2004.
3. Krotova G.D., Dubrovin V.Yu., Titov V.A., Shikova T.G. Texnologiya materialov i izdeliy elektronnoy texniki: Laboratorniy praktik. – GOU VPO Ivan. Gos. xim. – texnol. un-t. –Ivanovo, 2007. 156 s.
4. Qurbonova O'.H., Raxmonov B.R. Elektron texnika materiallari va elementlari fanidan uslubiy qo'llanma. – Toshkent: TDTU, 2008.
5. Peter Stallinga. Electrical characterization of organic electronic materials and devices / Chennai, India. 2009, p. 299.
6. Peter YU Manuel Cardona. Fundamentals of Semiconductors, Physics and Materials Properties // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 4th ed. 2010. P.778.
7. Smith, W. F., and J. Hashemi, Foundations of Materials Science and Engineering, 5th edition, McGraw-Hill, New York, 2010.
8. Askeland, D.R., P. P. Fulay, and W. J. Wright, The Science and Engineering of Materials, 6th edition, Cengage Learning, Stamford, CT, 2011.
9. William D. Callister, Jr. David G. Rethwisch. Fundamentals of Materials Science and Engineering -4th ed. TA403.C227 2012. USA.
10. Qurbonova O'.H., Abdurahmanov B.A., Raxmonov B.R. Elektronika element bazasi va mikroelektronika. Kasb-hunar kollejlari uchun darslik. Toshkent. Noshir. 2013. 208b.
11. M. S. Baxodirxonov, S. Z. Zaynobidinov, X. M. Madaminov. Elektron texnikasi moddalari. Darslik. Toshkent sh. 2016y. 350.
12. Bakhodirkhanov M.K., Iliyev X.M., Sattorov O.E., Xolmatov A.A. Yarim o'tkazgichlar fizikasiga doir masalalar to'plami. 2016. Toshkent: Tipografiya. TGTU.

