

TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRIGI

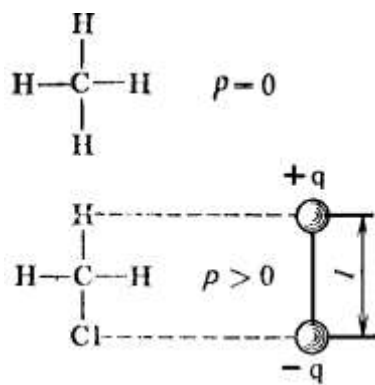
TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

ŞADURDY SAPAROW

ELEKTRON TEHNIKASYNYŇ MATERIALLARY

Okuw kitaby

Maglumatlary işläp taýýarlamagyň we dolandyrmagyň awtomatlaşdyrylan
ulgamlary; Mikroelektronika we ýarymgeçiriji enjamlar
hünärleri üçin



Aşgabat – 2010ý

Giriş

Garaşsyz, Baky bitarap Watanymyz häzirki wagtda hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň parasatly syýasaty we ýadawsyz tagallalary netijesinde ylym-bilim ulgamynda we beýleki ähli ugurlarda täze galkynyş döwrüni başdan geçirýär. Muňa hormatly Prezidentimiziň “Türkmenistanda ýokary derejeli hünärmenleri we ylmy işgärleri taýýarlamagy üpjün etmek hem-de ylmy taslamalara döwlet maliýe goldawyny bermek hakynda” 2008-nji ýylyň ýanwar aýynyň 14-indäki 9378 belgili karary doly şaýatlyk edýär. Hormatly Prezidentimiziň watanyň gullap ösmeginiň hatyrasyna jan aýaman zähmet çekmäge, ýurduň maddy baýlyklaryny halkyň eşretine gulluk etdirmäge gönükdirilen parasatly we öňdengörüjilikli syýasaty netijesinde halk hojalygynyň ähli pudaklarynda ägirt uly üstünlikler gazanylýar.

Şeýle bolanson, Garaşsyzlyk ýyllarynda ýerli mineral çig mallary öndürýän we gaýtadan işleýän köp sanly önümçilikler döredildi we döredilýär. Muňa “Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry” Milli Maksatnamasynda we nebit-gaz senagatyny ösdürmegiň Türkmenistanyň XVII Halk Maslahatynda kabul edilen 2030-nji ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasynda öňde goýlan ägirt uly wezipeler doly şaýatlyk edýär. Bu resminamalara laýyklykda, halk hojalygynyň köp senagat önümlerine we materiallara bolan islegi öz ýerli baýlyklarymyzyň hasabyna kanagatlandyrylýar we daşary ýurtlara satylýar. Olardan eýýäm üstünlikli işe girizilen Türkmenbaşynyň nebiti gaýtadan işleýän zawodlar toplumyny, Tejeniniň karbamid, Baharlynyň sement zawodlaryny, Ýaşlyk şäherçesindeki kagyz önümçilik toplumyny, Ruhabadyň turba zawodyny görkezmek bolar. Ýokary derejede awtomatlaşdyrylan we kompýuterleşdirilen bu önümçilikler in öňdebaryjy häzirki zaman tilsimatlary we enjamlary bilen abzallaşdyrylan.

XXI asyrdaky üstünlikli öňe gitmegiň möhüm şertleriniň biri hem, tehnika ösdürmek we öňdebaryjy tehnologiýalary ornaşdyrmakdan ybaratdyr. Garaşsyz we Baky Bitarap ýurdumyzyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň bu ugurdaky syýasaty ýokary halkara derejesindäki tehnologiýalaryň gazananlarynyň önümçilige ornaşdyrylmagyny we öz tehnologiýalarymyzyň ösdürilmegini talap edýär.

Bilim pudagyndaky özgertmeler Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedowyň ilatynyň bilim we medeni derejsini mundan beýläk-de ýokarlandyrmaga, terbiýäniň we okatmagyň hilini gowulandyrmaga, ilatynyň intellektual ukybyny we hünär ussatlygyny artdyrmaga, jemgyýetiň ruhy däplerini

saklamaga we ösdürmäge gönükdirilen “Bilim” döwlet Maksatnamasyna laýyklykda amala aşyrylýar.

Döwlet Baştutanymyzyň ilkinji işe geçen gününden başlap, ylma-bilime uly üns berip, birnäçe Permanlary Kararlary kabul etdi. Milli Liderimiz: «Güýçli döwletde ylym esasy orny eýeleýär, diýmek, biz ylmyň iň täze gazananlary bilen aýakdaş gitmelidiris» diýip belläp geçýär.

Elektronika ylmy (pudagy) gaty giň bolup, esasan üç sany uly ylmy-tehniki ugra bölünýär:

1. Wakuum elektronikasy.
2. Gaty jisimleriň elektronikasy.
3. Kwant elektronikasy.

Bu ugurlaryň içinde iň bir çalt depgin bilen ösýäni gaty jisimleriň elektronikasydyr. Munda ýarym geçirijileriň elektronikasy aýratyn orna eýedir. Soňky 30-40 ýylyň içinde ýarym geçirijileriň elektronikasy görülip-eşidilmedik derejede ösdi. 1960-njy ýyllarda ýarym geçirijileriň elektronikasynyň esasyňy ýönekeý bipolar tranzistorlar, diodlar düzen bolsa, şu gün ýarym geçirijileriň elektronikasynyň esasynda çylşyrymly uly integral shemalary, çylşyrymly optoelektron gurluşlary, olaryň taýýarlanylş tehnologiýalary duryär.

Ýarym geçiriji elektronikanyň ösýändigine aýa kuwwatly sinhronizatorlaryň we tizlendirijileriň, dürli aýa çalt işleýji elektron hasaplaýyş enjamlaryň, önümçilik prosesleriň we materiallaryň ýokary hilli gaýtadan işlenilişiniň awtomatikasynyň enjamlarynyň, radioteleskoplaryň, molekulýar güýçlendirijileriň we kwant generatorlaryň döredilmegi şaýatlyk edýär.

Häzirki zamanda ylmy progresi täze materiallary işläp taýýarlamak we olary özleşdirmek bilen üznüksiz baglanaşykdadyr.

Hut şol materiallar işener çözgilerini çözmekde we elektron aparratlaryny döretmekde wajyp zweni bolup gulluk edýär. Şonuň üçin bu dersi okamaga uly ünüs berilýär.

Iş ýüzünde ulanylýan materiallaryň hemmesine dürli talaplar edilýär. Netijede materiallaryň sany we nomenklaturasy gitdigiçe ösýär. Häzirki wagtda materiallaryň sanynyň ady we olaryň dürli ugurlarda ulanyňýan maksatlar we görnüşler binäçe müňe çenli ýetýär. Köp wagtarda diňe bu häsiýeti boýunça

saýlap almak kanagatlandyryjy netijeleri berilýär. Adaty boluşy ýaly, inžener meseleleri çözülen-de şo toplumly häsiýetleriň içinden oňat warýantlary saýlanyp alynýar. Meselem, ýarymgeçiriji materiallar ýokary elektrik geçirijikigi we şol bir wagtyda mehaniki taýdan pugta, yagtybarly, poslama garşy durnukly we ş.m bolmaly. Şonuň üçin materiallaryň dürli şertlerde özüni alyp baryşy konstruktor we inžener çözümlerdäki aýratynlyklaryny hasaba almaly bolar. Materiallaryň umumylaşdyrylan häsiýetleri boýunça elektron tehnika-synda olar dört sany klasa bölünýär:

Geçirijiler, ýarymgeçirijiler dielektrikler (geçirmeýjiler) magnit materýallary; elektron tehnika-synyň materýallary ýörite dersler üçin baza bolup gullyk edýär, onuň ylmy – usuly mazmuny geljekgi hünärmenlerde fiziki we inžener çözümlerinde baha bermek mümkinçiliklerini, olary takyk elementlerde ýa-da gurnamalarda ulanmak barada giňişleýin materýallar berilýär. Bu okuw kitabynda umumy ähmiýetli elektrodio materýallary barada giňişleýin maglumatlar berilýär, meselem ýarymgeçirijiler, kremniý, germani ýarymgeçiriji himiki birleşmeleri we olaryş esasynda taýýarlanan gaty erginler aşa geçirijili materýallar, splawlar, suwuk kristallar, kwant elektronik materýallar we şuna meňzeşler barada okamak üçin ýeterlikli materýallar berilýär.

Kitap özünde çylşyrymly tehniki düşüňjeleri saklamak bilen birlikde, sada dilde ýazylan, bu bolsa dersi talyplara öwretmegi aňsatlaşdyrar.

Ýokarda agzalanlara esaslanyp, hem – de häzirki wagtda bilim ulgamynda Hormatly Prezidentimiziň ýolbaşçylygynda alnyp barylýan düýpli özgertmeleri esasynda türkmen dilinde tehniki edebiýatlaryň sanyny artdyrmak maksady bilen teklip edilýän okuw kitabyňy çap etmekligi maksada laýyk hasap edýärim.

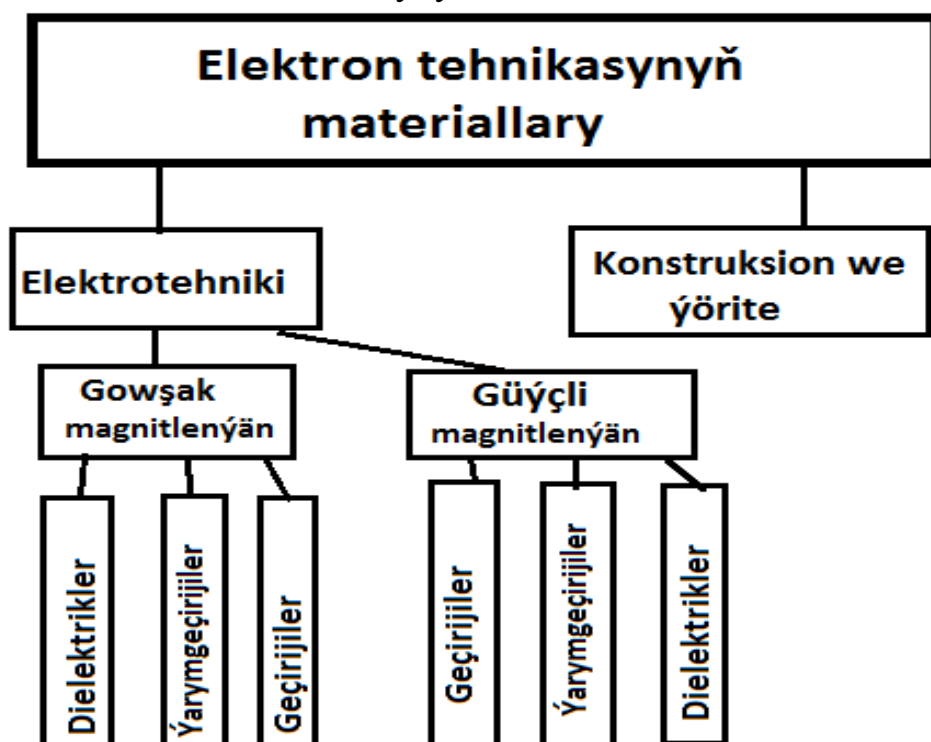
BÖLİM I

ELEKTRON TEHNIKASYNYŇ MAETERIALLARY BOÝUNÇA ESASY MAGLUMATLAR

§1.1 Materiallaryň toparlara bölünişi.

Elektron tehnikasynda ulanylýan materiallar elektroniki konstruksiýaly we ýörite bellemeli toparlara bölünýärler.

Elektromagnit meýdanynyň häsiýetine görä belli bir häsiýetler bilen häsiýetlendirilýän we şol häsiýeti sebäpli hem tehnikada ulanylýan materiallara elektrotehniki materiallar diýilýär.



Surat 1.1 Elektron tehnikasynyň materiallarynyň klaslara bölünilşi

Tejribe taýdan dürli häsiýetleri bolan materiallar aýratynlykda, şeýle hem bilelikde elektrik ýa-da magnit meýdanynyň täsirine sezewar bolýar. Elektrotehniki materiallar magnit meýdanynda özüni alyp baryşyna görä güýçli magnitlenen we gowşak magnitlenen toparlara bölünýärler. Birinjiler özüleriniň magnit häsiýeti sebäpli tehnikada aýratyn giňden ulanylýar. Elektrik meýdanynyda özüni alyp baryşyna görä materiallar geçirijiler, ýarym geçirijiler we dielektrikler toparlara bölünýärler.

Geçirijiler. Elektrotehniki materiallaryň köpüsi gowşak magnitlenendir ýa-da düýpden magnitlenen däldir. Ýöne magnetikleriniň arasynda hem geçiriji, ýarym geçiriji we düýpden geçirmeýänleri tapawutlandyrmak bolýar. Bu bolsa olaryň ulanylşynyň ýygylýk derejesini kesgitleýär. Elektrik häsiýeti güýçli ýüze çykyan elektrik geçirijilik bolan materiallara esasy geçirijiler diýilýär. Olaryň tehni-kada

ulanylyşy esasan kadaly temperaturada ýokary udel elektrik geçirijiligni kesgitleýän şu häsiýet bilen şertlendirilendir.

Ýarym geçirijiler diýip-udel geçirijiligi boýunça geçirijileriň we dielektrik materiallaryň arasynda aralyk bolan we tapawutlandyryjy häsiýeti –udel geçirijiliginiň garyndynyň konsentrasýasyna we görnüşine, şeýle-de köp halatda daşky energiýanyň (temperatura, ýagtylyk we ş.m) täsirine bagly bolan materiallara aýdylýar.

Dielektrikler. Esasy elektrik häsiýeti-polýarlaşma ukyply bolup, elektrostatiki meýdanda düzümini üýtgetme-ýän materiallara dielektrikler diýilýär. Hakyky (tehniki) dielektrik onuň udel geçirijiligi näçe bol-sa we onda polýarlaşmanyň haýalladylan mehanizimleri näçe gowşak ýüze çyksa, ideala şonçada golaýlaşýar.

Elektrotehniki materiallaryň has uly toparynyň biri bolan dielektrikler ulanylanda bu material-laryň hem passiw hem aktiw häsiýetlerini peýdalanmagyň zerurlygy kesgitlenildi.

Haçanda dielektrik materiallar elektroizalýasiýaly material we adaty görnüşdäki kondensatoryň dielektrigi hökmünde ulanylanda, olaryň passiw häsiýetlerinden peýdalanylýar. Elektrik zarýatlarynyň ýaýramagyna ýol bermeýän dielektriklere elektroizalýasiýaly materiallar diýil-ýärler. Ýagny olaryň kömegi bilen elektrik zynjyry bir-birinden ýa-da gurluşlaryň, abzallaryň we apparaturalaryň tok geçirýän bölegini geçiriji, ýöne tok geçirmeýän böleginden (korpusdan, ýer-den) bölüp aýyrýarlar. Bu halda materialyň dielektrik syzyjylygy aýratyn rol oýnamaýar. Eger material belli bir sygymly we kiçi kondensatoryň dielektrigi hökmünde peýdalanylýan bolsa, onda beýleki meňzeş şertlerde bu materialyň uly dielektrik geçirijiliginiň bolmagy zerurdyr.

Aktiw dielektrikler (dolandyrylýan)-segnetoelektirler, pýezoelektrikler, piroelektrikler, elek-trolýununoforlar, lazer tehnikaşynda şöhlelendirijiler üçin materiallar, elektrikler we başgalar-dyr.

Udel elektrik garşylygy $\rho < 10^{-2}$ Om m bolan materiallar şertli geçirijilere degişli edilýär, emma $\rho > 10^8$ Om m bolan materiallary dielektriklere degişli edilýär. Munda gowy geçirijileriň udel garşylygynyň bary-ýogy 10^{-8} Om m-ne, emma örän oňat dielektriklerde 10^{16} Om m-dan geçýän-digine üns bermek gerek. Materialyň düzümine we gurluşyna, şeýle hem olaryň ekspluatasiýa şertine baglylykda ýarym geçirijileriň udel garşylygy 10^{-5} - 10^8 Om m çäginde üýtgäp bilýär. Me-tallar elektrik togy gowy geçirijilerdir. 105 sany himiki elementleriň diňe 25-si metal däl, şeýlede 12 element ýarym geçiriji häsiýetini ýüze çykaryp bilýär. Elementar maddalardan başgada geçiriji, ýarym geçiriji ýa-da dielektrik häsiýeti bolan münlerçe himiki birleşmeler, splawlar bardyr.

Materiallaryň dürli toparlaryň udel garşylyk alamatynyň arasyndan aýdyň araçäk geçirmek ýeterlik çylşyrymlydyr. Meselem: köp ýarym geçirijiler pes

temperaturada özlerini dielektrikler ýaly alyp barýarlar. Şol bir wagtda dielektrikler güýçli gyzdyrlanda ýarym geçiriji häsiýetini ýüze çykarýar. Hil taýdan tapawudy şondan ybarat, ýagny materiallar üçin geçiriji ýagdaý esasydyr, emma ýarym geçirijiler we dielektrikler üçin göçgünlidir.

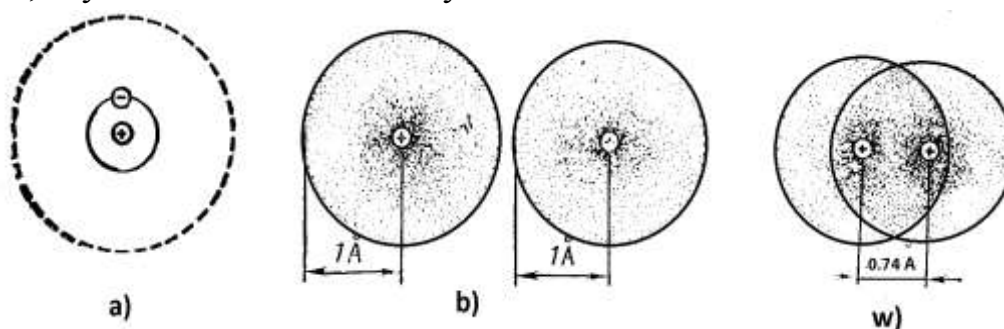
Radiotehnikaň ösmegi ýörite ýokary ýygyllykly häsiýetleri zerur bolan fiziko-mehaniki pa-rametrleri bilen utgaşyp gelýän materiallaryň döremegini talap edýär. Şonuň ýaly materiallar *ýokary ýygyllykly* diýip atlandyrylýar.

Materialyň elektrik, magnit we mehaniki häsiýetlerine, şeýle hem könelmeginiň sebäbine düşünmek üçin olaryň himiki we faza düzümini, atom gurluşyny we gurluş deffektlerini bilmek gerekdir.

Dürli materiallaryň fiziko-himiki tebigaty, barlanyş we taýýarlanyş usullary baradaky ylmy- tehniki bilimleriniň jemi materiallary öwrenmegiň esasy düzýär. Materiallary öwrenmegiň üstünlikleri eýýäm mälum bolan materiallary ulanmakdan täze önümleri berlen häsiýeti bolan materiallary döretmäge ýardam berdi.

§1.2 Himiki baglanyşygyň görnüşleri.

Bize mälum bolan ähli materiallary düzýän esasy elementar bölejikler- bular protonlar, neýtronlar we elektronlardyr.

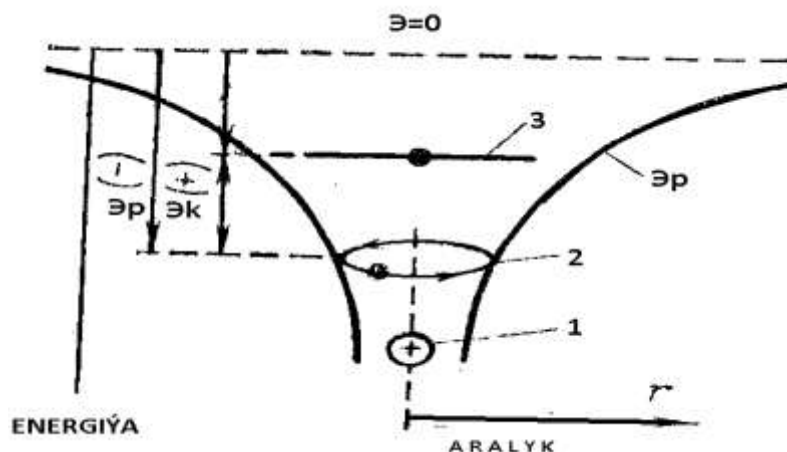


Surat 1.2 Atom we wadarod malekulalarynyň strukturasy

Protonlardan we neýtronlardan atomyň ýadrosy düzülýär, elektronlar ýadronyň polajitel zarýadyny kompensirlemek bilen, atomyň gabygyny doldurýar.

Wadarodyň atomy bir protondan we bir elektrondan ybaratdyr. Atomyň ýönekeýje planetar görnüşinde bu elektron atomyň ýadrosynyň töwereginde ok boýunça aýlanýar. Kwant mehanikasynda elektronyň hereketi izolirlenen wadarot atomynda şaý görnüşli simmetiriýa eýe bolan tolkun funksiýasy gürnüşinde ýazylýar, diýmek elektronyň zarýady oýulan bulut emele getirip, diffuz ýaýrandyr.

Wadarot atomynyň modelinden peýdalanýarys. Elektron ýerleşen orbitanyň radiusyna baglylykda energiýanyň grafigi 1.3-suratda görkezilendir.



Surat 1.3 Ýönekeý görnüşli atom wadarod üçin energetiki gatnaşygy

Elektron belli bir arbitada ýerleşende otrisatel potensial energiýa E_p grafiki taýdan dikligine ýokarky gorizonta punktirlenen ($E=0$) aşak orbita çenli aralyk bilen suratlandyrylýar. Elektronyň polažitel kinetik energiýasy E_k orbitadan ýokarlygna gönükdirilen çyzyk bilen görkezilendir. Güýji radiusyň kwadratyna ters proporsional bolan ulgamda durnukly töwerekleýin orbitadaky bölejikleriň polažitel kinetik energiýasynyň alamaty hemişe otrisatel potensial energiýanyň ýarysyna deňdir. Ulgamyň doly energiýasy E ($E=0$) derejesinden aşaklygna gönükdirilen çyzyk bilen şekillendirilen.

Atomda elektronlar üçin rugsat edilen orbita, bu ýagny uzynlygyna ($2\pi r$) De Broýlyň tolkunlarynyň uzynlygynyň tutuş sany ýerleşdirilýän orbitadyr:

$$2\pi r = n\lambda = n \frac{h}{mv}, \quad n = 1, 2, 3...$$

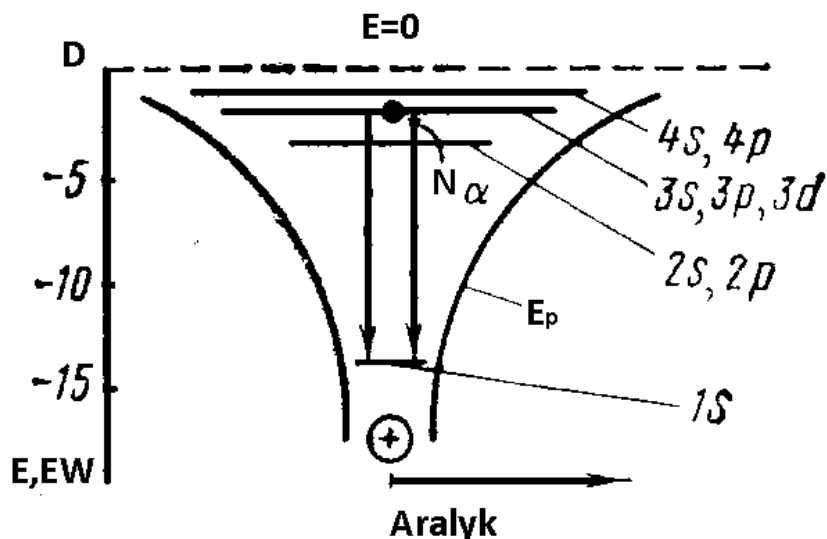
Bu postulatdan ugur alyp, stasionar orbitanyň radiusyny we oňa laýyk gelýän elektronlaryň energetik derejesini kesgitleýäris:

$$r_n = \frac{\epsilon_0^2 h^2 n^2}{\pi m Z e^2} \quad (1.1) \quad E_p = - \frac{m Z^2 e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2 n^2} \quad (1.2)$$

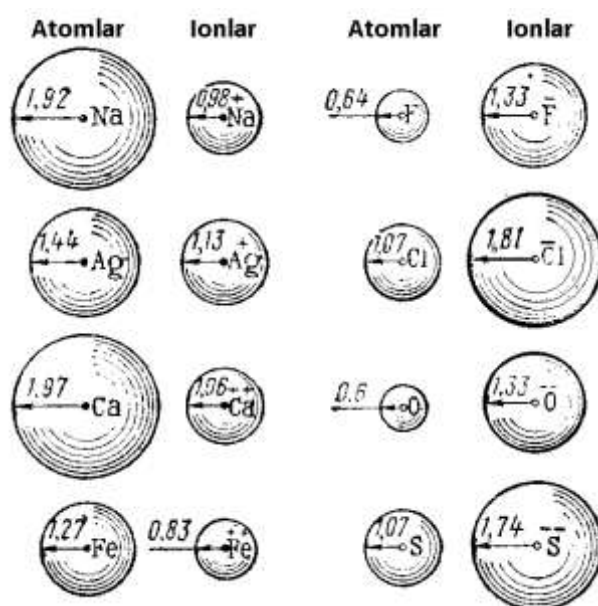
Buýerde ϵ_0 -elektrik hemişelik ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m); Z - ýadronyň zarýady.

Wadarot atomynyň rugsat edilen orbitasynyň islendik birinde elektronyň energiýasy, ýagny bu elementiň rugsat edilen energetiki derejesiniň spektri 1.4 suratda görkezilendir. Sistemanyň potensial energiýasynyň minimumy baradaky kanuna laýyklykda elektron ýa-ha bir ädimde, ýa-da yzgiderli her aralyk derejede saklanmak bilen has pes energiýa ýagdaýyna geçýär. (iki ýagdaý hem 1.4 suratda şekillendirilendir); geçilende gabat gelýän derejäniň energiýalarynyň tapawudyna deň energiýa kwandy şöhlelenýär. Çetleşdirilen atomlaryň spektrleri kesgitli çyzyklar bilen häsiýetlendirilýär weçyzykly diýip atlandyrylýar

Izolirlenen atomlaryň energetik spektri dskret (çyzykly) tebigaty dürli maddalaryň buglaryny şöhlendirmek we siňdirmek boýunça geçirilen köpsanly tejribeler bilen tassyklanylýar.



Surat1.4 Atom wadarodyň energetik derejesi.



Surat 1.5 Käbir angstremlerde, položitel we otrisatel ionlaryň atomlardaky ölçeleri.

Atomlar, ionlar, malekulalar. Gazlar, suwuklyk we gaty jisimler atomlardan, malekulalardan ýa-da ionžlardan ybarat bolup bilýär. Birnäçe elementleriň bir ýa-da birnäçe angstrom tertibindäki atomlaryň ölçeegleri ($1\text{A}=10^{-10}\text{ m}$), elektron bölejiginden mahrum edilen atomlaryň položitel ionlarynyň ölçeegleri (atoma görä kiçi), wegoşmaça elektronlary birleşdiren otrisatel ionlaryň ölçeegleri (laýyk gelýän atomyň ölçeginden uly) 1.5 suratda görkezilendir.

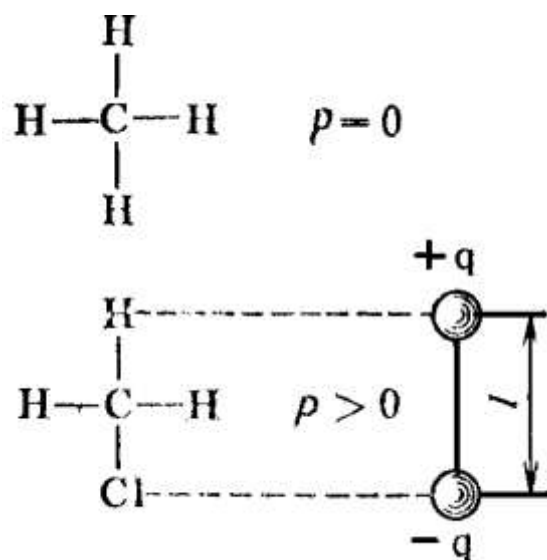
Birnäçe angstrom tertipdäki aralyga çenli golaýlaşdyrylan atomlaryň arasynda özara täsir güýji döreýär. Goňşy atomlardaky elektronlaryň hereketiniň häsiýetine baglylykda bu güýçler iteriş ýa-da dartýş güýji bolup bilýär. Soňky ýagdaýda atomlar energiýanyň bölünip çykmagy bilen birleşip, durnukly himiki birleşmäni emele getirýär. Doly doldurylan içki gatlagyň elektronlary ýadro bilen berk baglanşan we himiki baglanşyklaryň emele gelmegine gatnaşmaýar. Atomyň himiki häsiýeti elektronlar bilen doly doldurylmadyk daşky gabygyň gurluşyna baglydyr. Daşky gabygyň elektronlary walentli diýip atlandyrylýasr.

Himiki baglanşyklaryň birnäçe görnüşleri tapawutlandyrylýar. Gomepolýar (kwalent) baglanşyk. Bu baglanşykda maddalarda atomlaryň malekula birleşdirilmegi elektronlaryň hasabyna gazanylýar. Bu elektronlar atomlaryň ikisi üçin umumy bolup durýar. Polažitel zarýatlanan ýadrolaryň arasyndaky otrisatel zarýatlanan elektrton buludynyň dykzlygy has ulurak bolar.

Mysal üçin H_2 malekulasy 1.2 suratda. Şonuň ýaly baglanyşygagomepolýar ýa-da kawelent baglanşyk diýilýär. Elektronlaryň umumylaşmagyna getirýän elektron bulutlarynyň üstüniň örtülmeginiň iki elektron orbitalarynyň bir-biriniň üstüne goýulmagyna alyp barmaýar-da, elektron dykzlygynyň gaýtadan paýlanmagyna we ulgamyň energiýasynyň üýtgemegine getirýär. Elektronlar umumylaşanda elektron bulutlarynyň ýadrolaryň arasyndaky giňişlige dartylmasy bolup geçýäer. Ýadrolaryň arasyndaky giňişlikde elektron zarýadynyň ýokary dykzlykly ýagdaýynyň döremegi dartýş güýjiniň ýüze çykmagyna getirýär.

Gomepolýar (kawalentli) baglanşygyň esasynda arassa kwant tebigatly we atomlaryň elektronlaryny çalyşmagy bilen şertlendirilen çalyşyk özara täsir ýa-da çalyşyk effekti ýatyr. Şonuň ýaly özara täsir güýji çalyşyk güýji diýip atlandyrylýar, olaryň energiýasy bolsa çalyşyk energiýasy diýilip atlandyrylýar.

Çalyşyk güýçleriniň möhüm aýratynlygy olaryň özara täsir edişýän atomlaryň arasyndaky baglanyşygy amala aşyrşan elektronlaryň ýagyrnysynyň ugruna güýçli baglylygydyr. Diňe, egerde ýagyrnylar antiparallel bolan halatynda baglanşyk güýçli bolýar. Gomepolýar baglanşykly malekulalar gurluşynyň simmetrikligine ýa-da asimmetrikligine baglylykda polýar däl ýa-da polýar bolýar. Polažitel weotrisatel zarýatlaryň merkezi gabat gelýän malekulalara polýar däl diýilýär. Egerde malekulada zarýadyň alamaty boýunça garşylykly merkezler gawatlaşmasa we bir-birinden belli bir aralykda ýerleşse onda şonuň ýaly molekulalar polýar ýa-da dipol diýip atlandyrylýar. Polýar däl wepolýar malekulalaryň mysaly 1.6 suratda görkezilendir.



Surat 1.6 Poýardäl (simmetriçnoý) we polýar (simmetriçni däl) molekulalaryň mysaly

Dipol malekula polañitel we otrisatel zarýatlaryň merkezleriniň arasyndaky aralyga zarýadyň geçirilmegi bilen kesgitleňýän dipol pursat bilen häsiýetlendirilýär:

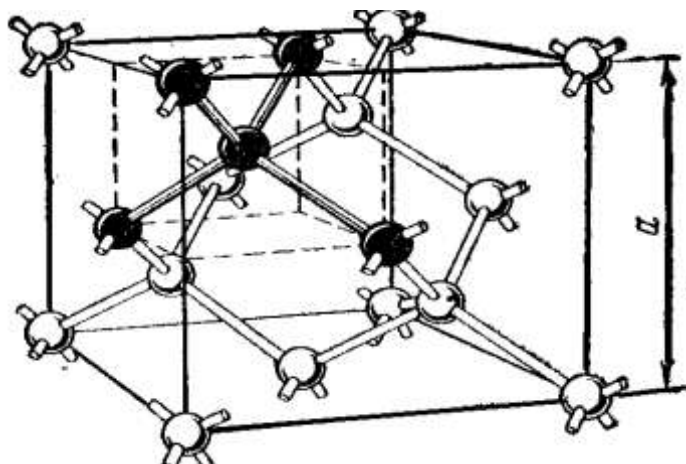
$$P = ql.$$

Zarýat $q \approx 2 \cdot 10^{-19}$ kl, aralyk $l = (1-3) \cdot 10^{-10}$ m.

Şonuň üçin adatça dipol moment $P = 5 \cdot 10^{-29} - 10^{-30}$ SI birlik.

Gomeopolýar baglanşyk organiki molekulalar üçin häsiýetli. Şonuň bilen birlikde ol kiriditallik gözenegi atomlardan ybarat bolan organiki däl gelip çykyşly gaty maddalardan hem bolýar. Şoňa meňzeş maddalaryň mysaly almaz, kremniý, germaniý, kremniý karbidi (SiC) we başgalar.

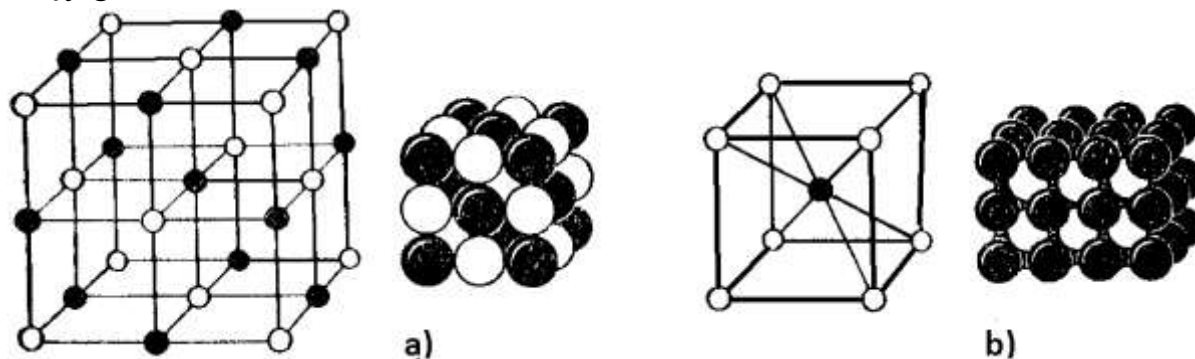
Almazyň gurluşy 1.7 suratda görkezilendir. Suratdan görnüşi ýaly her bir atom özüniň golaýyndaky goňşy atomlar bilen dört sany baglanşyk emele getirýär.



Surat 1.7. Almazyň (germaniýanyň, kremniniň) strukturasy.

Kwalent baglanyşyk ýokary berkligi bilen häsiýetlendirilýär. Almaz, kremniý karbidi ýaly gaty we ýokary ereme temperaturasy bolan maddalar munuň tassyklamasydyr.

Geteropolýar (ion) baglanyşyk walentli elektronlaryň metal atomdan metala meňzeş atoma geçmegi we dürli atly zaryatlanan ionlaryň bir-birine elektrostatik dartylmasy netijesinde ýüze çykýar. Himiki baglanyşygyň bu görnüşli ionly kristallarda amala aşyrylýar. Ion kristalynyň mahsus mysaly aşgar metallarynyň galloid duzlarydyr 1.8 suratda hlorly natriniň we hlorly seziniň kristallarynyň gurluşy görkezilendir.



Surat 1.8. a) Hlorositli natriniň ionynyň doly gaplanan görnüşini we strukturasy.

b) Hlorositli natriniň ionynyň doly däl gaplanan görnüşini we strukturasy.

Ionly gözenek golaýdaky garýylykly alamatly ionlaryň mukdaryny görkezýän ýokary koordinasion sanlar bilen häsiýetlendirilýär 1 Meselem NaCl kristallary üçin koordinasion san 6 deň, CsCl kristallary üçin bolsa 8 deň.

Ion kristalynda garşylykly zaryadlanan ionlaryň yzgider gezekleşip gelmegi netijesindeki indiividual malekula bilen deň hasaplamak bolmaýar. Her bir ionly goňşy bölejikler tarapyndan güýçli täsir geçýän ion birleşmesiniň tutuş monokristalyny bir äpet uly molekula hasaplamak has dogrydyr.

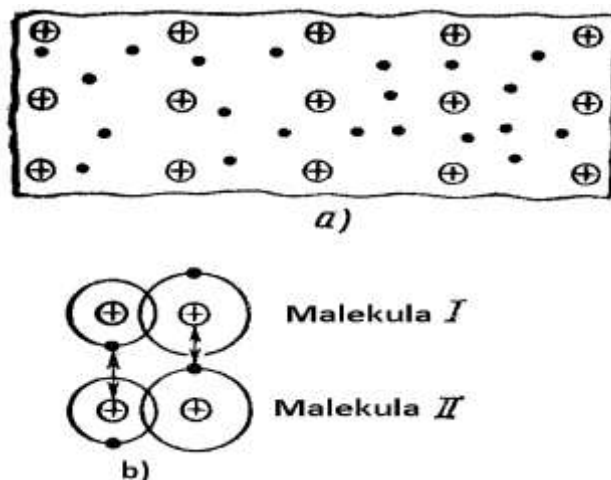
Himiki baglanyşygyň emele gelmeginde atomlaryň elektrony tutyp almak ukyby onuň elektrotrissatelligi bilen häsiýetlendirilýär.

Ionlaşma energiýasynyň E , ýarym jemi we elektrona meňzeşligi E_s atomyň elektrotrissatelliginiň x golaýlaşan ölcegi hökmünde kabul edilýär, ýagny

$$x=0,5(E_i+E_s).$$

Aşgar metallarynyň atomlarynyň elektrotrissatelligi has kiçi bolup, elektrony aňsat berýär we meňzeşlik energiýasynyň kiçiligi bilen tapawutlanýar. Tersine galogenleriň atomlarynyň elektrotrissatelligi uly bolup, daşky elektron gabygyny gutarmak üçin elektronlary aňsat kabul edýär. Himiki baglanyşygyň emele gelmegine gatnaşýan atomlaryň elektrotrissatelliginiň tapawudy näçe uly bolsa, birleşmäniň ionlaşygy derejesi şonça ýokarydyr.

Metalliki baglanşyk erkin toparlanan elektronlaryň sredasynda ýerleşýän polažitel atom esaslaryndan gurulan sistemalarda bolýar. Polažitel atom esaslarynyň arasyndaky dartýşma metalyň bitewiligini şertlendirýär.



Surat 1.9. a) metal geçirijiniň gurluşynyň çatgysy. b) molekularyň arasyndaky emele gelýän Wan-der-Waalsyň ara baglanşygy

Metallik baglanşyga käbir derejä çenli kowalent baglanyşyk ýaly garamak bolýar, sebäbi olaryňesasynda daşky walentli elektronlaryň umumlaşmasy ýatyr. Metaliki baglanşygyň mahsus häsiýeti şundan ybarat, ýagny elektronlaryň umumlaşmagyna kiristalyň ähli atomlary gatnaşýar we umumlaşan elektronlar öz atomlaryna golaý ýerleşmän, бүтін gözenegiň içinde erkin gaýmalaşýan we “elektron gaz” emele getirýärler . Metal kristallar (ionlardan tapawudy) ýerli baglanşygy ýoklugy sebäpli atomlaryň ýagdaýynyň üýtgemegi bilen bozulmaýarlar, ýagny olara deformasiýalarda çeyelik eýedir .Erkin elektronlaryň barlygy sebäpli metallar ýokary elektro ýylylyk geçirijidir.

Molekulýar baglanşyk, ýa-da Wan-derwalsyň baglanşygy birnäçe maddalaryň içki molekulýar täsirli kowalent häsiýetli molekulalarynyň arasynda görünýär. Bu halatda goňşy molekulalaryň walentli elektronlarynyň ylalaşygy hereketinde molekulýar ara dartýşmanyň bolmagy mümkin. Wagtyň islendik pursatynda elektronlar bir-birinden maksimal aýrylmagy we položitel zarýada (atoma)maksimal golaýlaşmaly.Şonda goňşy molekulanyň ýadrosy tarapyndan walentli elektronlary dartýş güýji şu molekulanyň gabygynyň elektronlarynyň itekleme güýjünden güýçlidir.

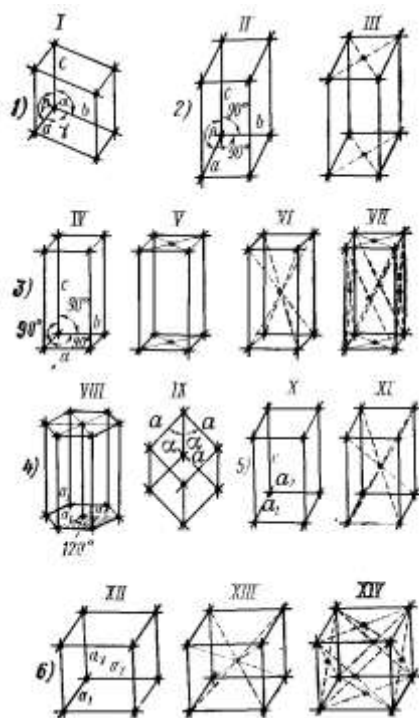
Fluktirleýji elektrik dipollaryň arasyndaky şoňa meňzeş dartýşma dispersion özara täsir diýen ady aldy. Wan-der wals baglanşygy has köp taraply bolup,ol islendik bölejikleriň arasynda ýüze çykýar, ýöne bu has gowşak baglanşykdyr.Onuň energiýasy ion we kowalent baglanşyklaryň energiýasyndan iki esse kiçidir. Dispersion özara täsiriň örän gowşaklygy zerarly molekulýar baglanşyk diňe şol halatda, ýagny haçanda olar atomlaryň ýa-da molekulalaryň arasynda dörände aýdyň ýüze çykýar.

Molekulýar baglanşyk ýylylyk hereketi bilen aňsat bozulýar. Şonuň üçin molekulýar kristallaryň ereme temperaturasy pesdir (meselem parafini içki $T_{er}=50\div 52^{\circ}\text{C}$).

§1.3 Gaty bedenleriň gurluşynyň aýratynlyklary.

Elektrotehniki materiallaryň köpüsi gaty bedenlerdir. Şonuň üçin hem indi şu haldaky maddalaryň gurluşyna aýratyn üns berilýär.

Kristallar. Dünýäde atomlaryň tertibi baradaky düşüňjä kristallik gözenek jogap berýär. Gurluşynyň periodikligi kristallaryň has häsiýetli alamaty bolup durýar. Periodiki gözenekde elmydama elementar öýjük görmek bolýar. Bu öýjügi alyp görkezmek bilen giňişlikde tutuş kristalyň gurluşy baradaky düşüňjani almak ýeňildir. Haýsydyr bir elementden ýa-da birleşmeden belli bir giňişlikde gözenegiň emele gelmegi esasan atomyň ölçegine we onuň daşky gabygynyň elekton konfigurasiýasyna (şekiline) baglydyr. Rus alymy Ý.S. Týodorow rentgengurluşyk barlag usulary tapylmazdan 40 ýyl öň dürli madalaryň kristaliki gözeneginde bölejikleriň mümkin bolan ýerleşmesini hasaplap çykarypdyr. Geometiriki taýdan diňe 14 dürli giňişlikleýin gözenekler mümkindir we ol altý kristalik ulgamyň esasy bolup durýar.



Surat 1.10.

Käwagtlar ramboedriki ýa-da trigonal ulgamy ($a=b=c$; $\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$) özbaşdak ýedinji ulgam diýip hasaplanylýar.

Kristallaryň geometiriki taýdan toparlara bölünmegi gurluşyny bölmek üçin ýeterliksizdir. Olar iki gat şöhle döwijiligi boýunça, pýezo we piroelektirik häsiýeti we ş. M. Boýunça toparlanýarlar. Bu 32 topary hasaplaýan

simmetiriýanyň dürli görnüşleri bilenşertlendirilen, emma bary-ýogy 230 sany mümkin bolan giňişlikdäki toparlar bardyr.

Kristaliki bedenler aýratyn iri kristallar monakristallar görnüşinde bolup bilýär ýa-da ownuk kristallaryň (dänejikleriň) uly sanynyň jeminden ybarat bolup bilýär.

Polikristat ýagdaýda her bir dänejigiň çäginde atomlar periodiki ýerleşýär, ýöne bir dänejikden başga dänejige geçende bölejikleriň yzygiderli ýerleşişini bozulýar. Monokristallar häsiýetiniň belli bir ugra görä baglylygy (anizotropiýasy) bilen häsiýetlendirilýär. Polikristaliki bedenlerde köplenç anizotropiýa bolmaýar, ýöne ýörite täzedan işläp, kristallaryň ýerleşişini kesgitlenen gurluş aýratynlykly materiallary almak mümkin. Gaty bedeniň blokly gurluşy aralyk bolýar. Ýagny monokristallar anizotropdygy zerarly elektriki, mehaniki we beýleki häsiýetleri kesgitlenilende kristallografiki tekizlikleriň ýerleşişini we kristallaryň ugruny görkezmek zerurdyr. Munuň üçin Milleriň indeksinden peýdalanylýar.

Milleriň indekislere. Goý kristalda A,B,C nokatlarda üç oky X, Y, Z kesýän tekizlik berkitmeli bolsun. OA,OB, we OC aralyklary (gözenegiň period birliginde ölçenen) H, K we L bilen belleýäris, emma olara ters ululyklary H' , K' , we L' bilen belleýäris. Iň kiçi бүтін sanlar hem edil H' , K' , we L' ýaly gatnaşykda, h , k , l belgiler bilen bellenilýär we Milleriň indekislere diýilip atlandyrylýar. Gözenegiň periodynyň birlik hökmünde kabul edilenligi sebäpli, ähli atom tekizlikleri бүтін sanlar ýa-da nullar ýally düşünilýär. Goý, meselem H, K, L aňlatmalar deňişlilikde 1.4 we 2 deň bolsun, onda H' , K' , L' sanlary 1, $1/4$ we $1/2$ we berlen tekizligiň Miller indeksleri (412) bolýar

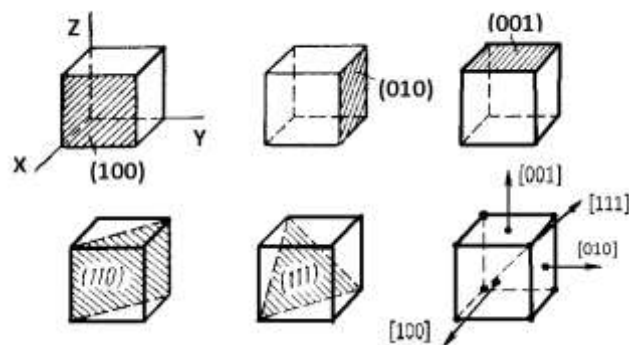
Kubiki kristallarda (100) indeksler Y we Z oklaryna parallel tekizlige; (010) indeksler X we Z oklaryna parallel tekizlige we (001)- X we Y oklaryna parallel tekizlige deňişlidir.

Göniburçly okly kristallarda bu tekizlikler deňişlilikde X, Y we Z oklaryna perpindikulýardyr. Kristalda ugry aňlatmak üçin indekislere iň kiçi бүтін sanlar görnüşinde Kabul edilýär we olar öz aralarynda berilen ugra parallel wektoryň kamponenti ýaly gatnaşýarlar.

Tekizligiň ol aňlatmasyndan tapawutlylykda olar kwadrat ýaýyň içinde ýazylýarlar.

Kubiki kristallarda bu ugur şol indekislilikde tekizlige perpindikulýardyr. X okuň položitel tarapy [100], Y okuň položitel tarapy [010], Z okuň otrisatel tarapy-[001], kubuň diogonaly-[111] we ş.m bilen bellenilýär.

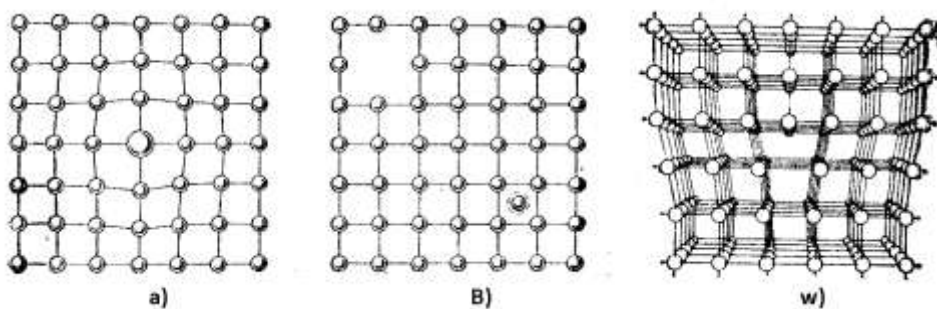
Kristallografiki tekizlikleriň we ugurlaryň bellenilişi (aňladylyşy) 1.11 suratda berilendir.



Surat 1.11.

Kristaliki bedenleriň gurluşyndaky näsazlyklar (kemçilikler). Ideal dogry gurlan kristallar tebigatda ýokdur. Real şertlerde hemişe bölejikleriň yzygiderli ýerleşişinden ol ýa-da beýleki gyşarmalar bolýar. Şonuň ýaly gyşarmalar gurluş nogsanlyklary diýilip atlandyrmak Kabul edilen. Olary şertli ýagdaýda dinamiki (wagtlaýyn) we statiki (hemişelik) toparlara bölýärler. Dinamiki nogsanlyklar kristala mehaniki, ýylylyk ya-da elektromagnit täsir ýetende, onuň içinden ýokary energiýa bölejikleriniň akymy geçende we ş.m döredýär. Dinamiki nogsanlyklaryň has giň ýayran görnüşi fononlar – gözenegiň yzygiderlilikiniň atomlaryň ýylylyk hereketi zerarly wagtlaýyn ýoýulmagydyr

Statiki nogsanlyklaryň arasynda gurluşyň atomly (nokatlaýyn) we inli kämilsizligini tapawutlandyrýarlar. Atomly nogsanlyklar gözenegiň düwünleriniň boş bolmagy – wakansiýa, atomyň düwünden düwünara süýşmegi, gözenege del atomyň ýa-da ioniň goşulmagy görnüşinde bolýar. Inli nogsanlyklara dislokasiýalar, deşikler, jaýryklar, başga fazanyň kiçi goşulmalary degişlidir. Dislokasiýa sözi „süýşmek” manyny aňladýar. Dislokasiýanyň ýönekeýje görnüşleri: gyraky we hyrly dislokasiýalardyr. Nogsanlyklaryň käbir görnüşleri 1.12 suratda görkezilendir. Hatda atom nogsanlyklaryň konsentrasiýasy ujypsyzja bolsada, olar tarapyndan döredulýän kristalyň fiziki häsiýetiniň üýtgemesi ägirt uly bolup bilýär. Meselem, käbir garyndylaryň atom prosendiniň müňden bir bölegi arassa ýarymgeçiriji kristallaryň elektrik garşylygyny $10^5 - 10^6$ esse üýtgedip bilýär. Gurluşyň inli nogsanlyklary kristallaryň mehaniki häsiýetine güçli täsir edýär.



Surat 1.12 Kristaliki gözenegiň ýetmezçiligi

Polimorfizm (bir maddanyň iki ýa-da birnäçe kristal görnüşinde kristallaşma häsiýeti)

Käbir gaty maddalar bir däl-de, eýsem iki we ondan köp dürli temperaturalara we basyşlara durnukly kristaliki gurluşlary emele getirmäge ukyplydyr. Materiallaryň bu häsiýetine polomorfizm diýilýär, oňa jogap berýän kristallik gurluşlara maddanyň polimorf görnüşi ýa-da allotrop modifikasiýa hili diýilýär. Kadaly we has pes temperaturalara durnukly hili- λ harpy bilen aňlatmak kabul edilendir; ýokary temperaturalara durnukly hiller deňişlilikde β , γ we δ harplar bilen aňladylýar.

Polimorfizm tehniki materiallaryň arasynda giňden ýaýran we olaryň gaýtadan işlenilmegi we ekspluatasiýasy üçin wajyp ähmiýeti bardyr.

Tehnikada „galaýy mergisi” ýaly belli bolan ak galaýynyň (β - S_n) pes temperaturada çal galaýa (λ - S_n) öwürilmegi polimorfizmiň klasiki mysalydyr.

Uglerodyň polimorfizmi –onuň almaz ýa-da grafit görnüşinde bolmagy amaly taýdan gyzyklanma döredýär. Adaty şertlerde grafit almaza seredende hil üýtgetmä durnuklydyr. Emma basyşyň ýokarlanmagy bilen durnuklylygy ösýär, grafitiňki bolsa düşýär we ýeterlik ýokary basyşda almaz has durnukly bolýar. Egerde şunda atomlaryň hereketlilikini ulaltmak üçin temperatura hem ýokarlandyrylsa, onda grafiti almaza öwürip bolýar. Emeli almazlaryň alnyşy şu prinsipe esaslanýar. Olaryň senagatda öndürilişi 1961ý. başlady. Sintez 10^{10} Pa basyşda, 2000°C temperaturada geçirilýär. Şu ýol bilen almaz tebigy kristallaryna garanda has berk we gaty bolýar.

Aýna we beýleki amorf bedenler. Hatda köp gaty bedenler üçin kristaliki ýagdaý tebigy bolsa-da, hemme gaty bedenleriň kristaliki gurluşy ýokdur, sebäbi energiýa atomlaryň tertipli ýerleşmesinde olaryň yzygidersiz ýerleşmegi ýagdaýyndakydan pesdir. Islendik ulgam (sistema) bolsa minimal erkin energiýaly ýagdaýa geçmäge ymtylýar. Ýöne gatama hadysasynda atomlaryň hemişe tertipli ýerleşip bilmek mümkinçiligi ýokdur. Sredanyň sowamagy netijesinde atomlaryň diffuziýa tizliginiň birden peselmegi muňa päsgel berýär. Bölejikleriň tötänleýin bulam-bujar (haotik) ýerleşmegi bilen häsiýetlendirilýän gaty maddalara amorf maddalar diýilýär. Kristallardan tapawutlylykda amorf maddalar häsiýeti boýunça izotrop bolup, olaryň belli bir ereme temperaturasy ýokdur. Aýna we köp plastikalar amorf maddanyň mysalydyr. Aýnada gurluşynyň periodikliginiň ýoklugy sebäpli belli bir ýakyn tertip görmek bolýar, ýagny golaýdaky goňşynyň her bir atoma otnositellilikde kanunalaýyk ýerleşmesidir. Aýna görnüşli ýagdaýa

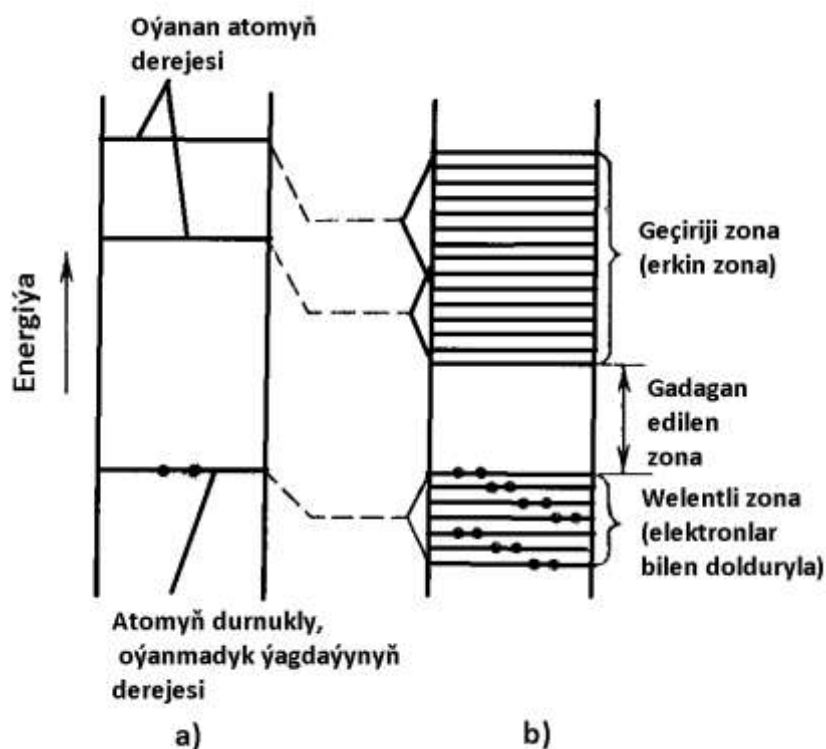
suwuklygyň çenden aşa güçli so wadylan ýagdaýy hökmünde garamak bolýar, ýagny örän uly şepbeşikli suwuklyk ýaly garamak bolýar. Şol ýokary şepbeşiklik hem atomyň diffuz aktiwligini çäklendirýär we kristalliki fazanyň emele gelmegine päsgel berýär. Emma şunuň ýaly ýagdaý termodinamiki durnuksyzdyr. Şonuň üçin gyzdyrylyp toplananda material has durnukly kristaliki ýagdaýa geçýär.

§ 1.4 Gaty maddalaryň zolakly teoriýasynyň elementleri.

Žolakly teoriýa gaty kristalliki maddada oňa elektromagnit meýdanynyň täsir etmeginde bolup geçýän dürli fiziki hadysalaryň mehanizmi baradaky häzirkizaman düşüňjeleriň esasy bolup durýar. Gaty maddalaryň zolakly teoriýasy-bu kristalliki gözenegiň periodiki potensial meýdanynda hereket edýän walentli elektronlaryň teoriýasydyr.

Bellenip geçilişi ýaly aýry-aýry atomlaryň üzňe-üzňe energetiki spektri bar, ýagny elektronlar diňe belli energetiki derejäni tutýarlar.

Atomyň kadaly, oýandyrylmadyk ýagdaýynda bu derejäniň bir bölegi doldurylandyr; beýleki derejelerde elektronlar diňe haçanda atom daşky energetiki täsire sezewar edilende, ýagny ol oýandyrylan halatynda ýerleşip bilýärler. Durnukly ýagdaýa ymtylmak bilen atom elektronlaryň oýandyrylan derejeden onuň energiýasynyň minimal bolan derejesine geçýän pursadynda energiýanyň artygyny şöhlelendirýär. Aýdylanlar atomyň energetiki diagrammasy bilen häsiýetlendirilýär we 1.13,(a) suratda görkezilendir.



Surat 1.13. Energetiki derederejaniň erleşişiniň çatgysy. a)-atomyň derejesi
b)-metalikdäl gaty gatlak

Egerde biri-birinden ýeterlik derejede uzaklaşdyrylan birmeňzeş N atomlardan ybarat sistema (meselem, gaz görnüşli madda) bar bolsa, onda atomlaryň arasynda özaratäsir düýbünden bolmaýar we elektronlaryň energetiki derejesi üýtgemän galýar.

Çalyşyk özaratäsir. Gaz görnüşli maddanyň suwuklyga goýalmasynda we soňra gaty maddanyň kristaliki gözeneginiň emele gelmeginde berilen hildäki atomlarda bar bolan ähli elektron derejeler (elektronlar bilen doldurylanlar, şeýle hem doldurylmadyklar) goňşy atomlaryň bir-birine täsiri netijesinde biraz üýtgeýärler. Bir atomyň elektronlarynyň goňşy atomyň ýadrosy tarapyndan dartylmagy çetleşdirilen atomlaryň elektronlaryny bölüp aýyrýan potensial barýeriň beýikligini peseldýär. Esasy zat –atomlar golaýlaşanda elektron gabygyň beklenýär, bu bolsa öz gezeginde elektronlaryň hereket häsiýetini üýtgedýär. Elektron gabygyň beklenmegi zerarly elektronlar energiýanyň üýtgemezinden çalyşyk arkaly bir atomdan beýlekä giçip bilýär, ýagny kristal boýunça ýerini üýtgedýär. Çalyşyk özara täsiriň arassa kwant tebigaty bardyr we ol elektronlary tapawutlandyrmazlygyň netijesi bolup durýar. Bu halatda ol ýa-da beýleki elektronyň belli bir atoma degişlidigini aýdyp bolmaýar – her bir walentli elektron şol bir wagtda kristalliki gözenegiň ähli atomlaryna degişlidir. Başgaça aýdylanda electron gabyklaryň beklenmesinde elektronlaryň umumylaşmasy bolup geçýär.

Energetiki zona. Çalyşyk özara täsiriň netijesinde izolirlenen atomyň bölek-bölek energetiki derejeleri 1.13(b) suratda metal däl gaty madda üçin görkezilişi ýaly energetiki zolaklara bölünýär. Ygtyýar berilen energetiki zolak energiýanyň gadagan edilen interwaly bilen bölünýär. Ygtyýar berilen energetiki zolagyň ini kristalyň ölçegine bagly däl, gaty maddany emele getirýän atomyň tebigaty we kristaliki gözenegiň simmetriýasy bilen kesgitlenýär. Iki sany goňşy atomyň arasyndaky çalyşyk özara täsiriň energiýasyny ϵ_A bilen belgileýäris. Onda her atomyň 6 sany golaý goňşusy bolan ýönekeý kubiki gözenekli kristallar üçin derejaniň zolaklara bölünmesi $12 \epsilon_A$ düzýär; granly merkezleşen gözenek (birinji kordinasiýaly sfera 12 atomdan durýar) üçin ygtyýar berilen energetiki zolagyň ini $24 \epsilon_A$ düzýär, ýöne göwürümlü merkezleşen gözenek (her atomyň 8 goňşusy) ini- $16 \epsilon_A$ deň. Çalyşyk energiýasynyň elektron gabygynyň beklenme derejesine baglylygy zerarly ýadronyň has golaýynda ýerleşen içki gabygyň energiýa derejesini walentli elektronlaryň derejesine garanda az bölünýärler. Zolaklara bölünmeklige diňe bir kadaly (stasionar) däl, eýsem oýandyrylan energetiki derejeler hem sezewar edilen. Energetiki şkala boýunça ýokary süýşende ygtyýar

berilen zolagyň ini ulalýar, gadagan edilen energetiki jaýrygyň ululygy bolsa degişlilikde kiçelýär.

Her bir zolak energetiki derejeleriň toplumyndan ybarat. Olaryň mukdary gaty maddany düzýän atomyň sany bilen kesgitlenilýär. Diýmek kristalda derejeleriň arasyndaky aralyk atamlaryň sanyna ters proporsionaldyr. 1sm^3 göwrümlü kristalda 10^{22} - 10^{23} atom saklanýar walentli elektronlaryň zolagynyň energetiki aralygynyň electron wolt birliginden geçmeýändigini tejribeleriň maglumatlary görkezýär. Bu ýerden netije çykarmak bolýar, ýagny zolakda derejeler energiýa boýunça biri- birinden 10^{-22} - 10^{-23}eV aralykda durýar, ýagny energetiki zolak galan üzüňsiz spektr bilen häsiýetlendirilýär. Egerde ol ýerde boşluk bar bolsa elektronlaryň bir derejeden beýleki derejä geçmegini döretmek üçin ujypsyzja energetiki täsir ýeterlikdir.

Elektronlaryň paýlanyşy. Pauliniň prinsipine laýyklykda her bir energetiki derejede ikiden köp elektron ýerleşmeýär. Şonuň üçin zolakda elektron ýagdaýynyň sany ahyrky bolýar we degişli atom ýagdaýynyň sanyna deňdir. Şol energetiki zolagy doldurýan elektronlaryň sany hem ahyrky bolýar we kristalyň energetiki spektriniň formirlenmeginde wajyp rol oýnaýar. Izolirlenen atomlarda energetiki derejeler ýaly energetiki zolakdan hem doldurylan, bölekleyin doldurylan we boş bolup bilýär. Izolirlenen atamlaryň içki gabygy doldurylandyr, şonuň üçin hem oňa laýyklykda zolaklar hem doldurylandyr.

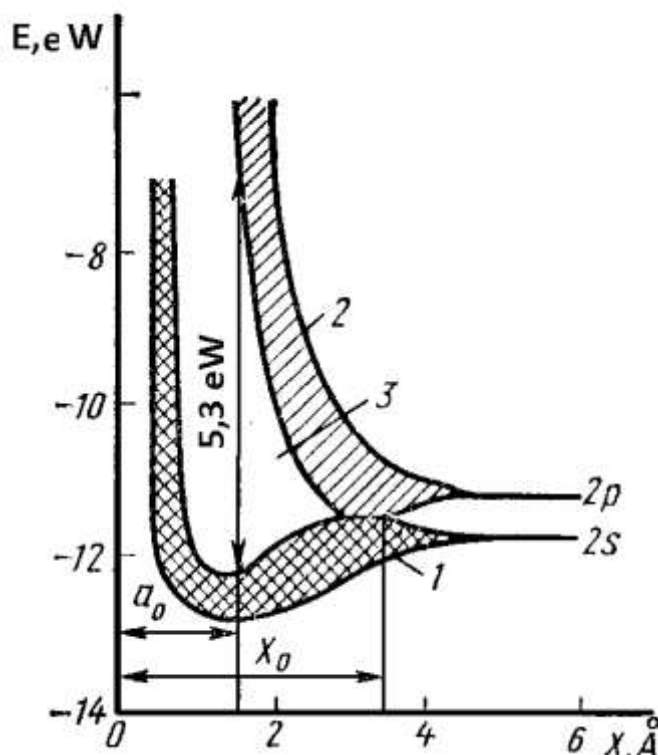
Elektronlar bilen doldurylan in ýokarky zolaga walentli zolak diýilýär. Bu zolak izolirlenen atomlarda daşky gabygyň elektronlaryň energetiki derejesine laýyk gelýär. Oňa golaý elektronlar bilen doldurylmadyk baş zolaga geçiriji zolak diýilýär. Bu iki zolagyň iki taraplaýyn bolmagy gaty maddada bolup geçýän hadysalaryň köpüsini kesgitleýär.

Uglerodyň energetiki diagammasy. 1.14. syratda arassa uglerodyň bir modifikasiýsy atomlar ýakynlaşandaky energetiki zonanyň döryşiniň shemasy görkezilýär. Uglerody brleşdirilen atomlarda dört walentli elektronlar 2s we 2p derejede ikiden ýerleşýärler. Atomlar ýakylaşanda derejeler aýratyn zonalarda, ýagny 2 we 6 elektron sygýan zona dargaýarlar. Mundan beýläk X_0 aralygyna çenli golaýlaşanda bolsa, bir birleşen bir atoma 8 elektron bolup sygýan adoly däl zona döreýär. Şeýle gary jisim (meselem, grafit) elektrik togyny görkezýär. Atamlaryň arasynda almazyň gözeneginiň döwgine a_0 -laryň gelýän ugryna çenli azalanda, olaryň her bir zonasynda bir atomyna 4 elektron ýerleşýär.

Bu iki zonanyň uly gadagan zonasy bilen bölünýänligi sebäpli ($\sim 5,3\text{eV}$) we uglerodyň 4 walentli elektronlary peski zonada ýeleşýär we ony doldyrýar, emma

ýokarkysy bolsa boş galýar, onda alamazyň kristalynda erkin elektronlar bolmaýar we ol dielektrik bolup gulluk edýär.

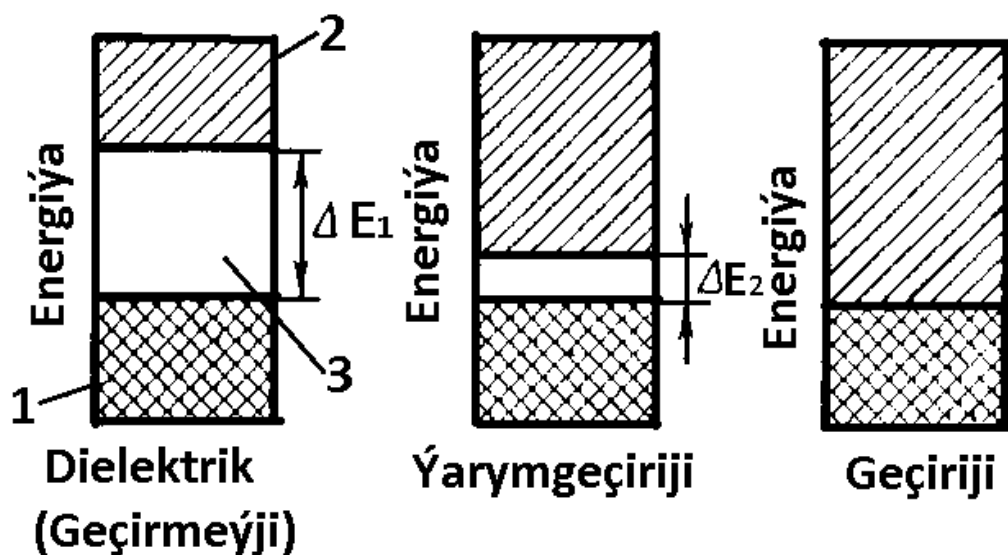
Edil şonuň ýaly zonanyň döremegi kremniniň we germaniniň ýarm geçirijilerinde hem bolup geçýär. Olarň arasndaky tapawut gadagan zonanyňinindedir: bu zona kremnide we germanide almazdanydan nas azdyr.



Surat 1.14. Uglerodyň atamrarynyň golaýlaşanda energetiki zonanayň döremegi. 1-walentli zonanyň birleşmegi. 2- geçiriji zonanyň birleşmegi; 3- gadagan zona; a_0 – almazy gözenegi bilen atomyň ýakynlaşmagy; x_0 - zonanyň deň gelen wagtyndaky atomlaryň aralygy;

Zolakly teoriýanyň netijesi. Metal geçirijilerde, ýarym geçirijilerde we dielektriklerde energetiki spektriň häsiýeti dürlidir. Metal geçirijilerde walentli zolak doly doldurylandyr ýa-da geçiriji zolak bilen örtülýär. Ýarymgeçirijilerde we dielektriklerde geçiriji zolak we walentli zolak käbir energetiki deşik bilen bölünendir we gadagan edilen zolak diýilip atlandyrylýar. Ýarymgeçirijilere gadagan edilen zolagy 3eV pes bolan maddalar degişlidir. Gadagan edilen zolagy has giňräk bolan maddalar dielektriklere degişlidir. Hakyky dielektriklerde gadagan edilen zolagyň ini 10eV çenli ýetip bilýär. Dielektriklerde, ýarymgeçirijilerde we metal geçirijilerde energetiki zolagyň tapawudy 1.15 suratda görkezilen. Zolakly teoriýa laýyklykda metal ýa-da dielektrikligine garamazdan ähli gaty maddalarda walentli zolagyň elektronlarynyň birmeňzeş hereket erkinligi

bardyr. Hereket elektronlaryň bir atomdan beýleki atoma tunnel görnüşli geçmegi arkaly amala aşyrylýar. Materiallaryň elektrik häsiýetiniň tapawudyny düşündirmek üçin doldurylan we doldurylmadyk zolaklaryň elektronlarynyň daşky elektrik meýdanyna dürli jogabynyň bardygyny üns bermegi kabul etmek gerekdir. Daşky elektrik meýdany elektronlaryň tizlik boýunça paýlanyşynyň simmetriýasyny bozmaklygy ymtylýar we hereket edýän elektrik güýjüniň ugry tarapa hereketlenýän elektronlary tizleşdirýän, garşylyklaýyn ugrukdyrylan bölejikleri haýalladýar. Emma şuna meňzeş tizleşdirmе we haýallatma elektronlaryň energiýasynyň üýtgemegi bilen baglanyşyklydyr, ýagny olaryň täze kwant ýagdaýa geçmegi bilen alnyp gidilmeli. Munuň ýaly öwrülişik diňe energetiki zolakda erkin baş dereje bar bolan halatynda amala aşyrylýar. Şonuň ýaly halatda elektrik meýdanynyň täsiri astynda erkin aralygyň uzynlygyndaky elektronlarda bar bolan goşmaça energiýa 10^{-9} - 10^{-4} eW düzýär, ýagny zolakda dereje asty aralykdan öňe geçýär.



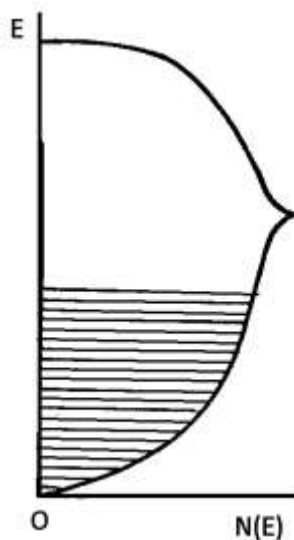
Surat. 1.15. Gaty jisim teoriýasynda, dielektrikler bilen ýarymgeçiriji we metalik geçirijileriň energetiki aratapawudy.

- 1- Elektronlar bilen doldyrylan zolak; 2- Erkin energetiki zologyň derejesi;
- 3- gadagan zona giňligi ΔE

Metallarda, nirede zolak elektronlar bilen doly üsti ýetirilmedik bolsa, hat-da gowşak meýdan hem elektronlaryň golaýdaky boş derejä geçmegini gazanmak üçin elektronlara ýeterlik impuls ýetirmäge ukyply. Şu sebäpli hem metallar elektrik toguny gowy geçiriji bolup durýar.

Ýarymgeçirijilerde we dielektriklerde OR temperaturada ähli elektronlar walentli zolakda ýerleşýär, geçiriji zolak bolsa düýbünden boş galýar. Doly doldurylan gatlagyň elektronlary elektrik toguny döretmäge gatnaşyp bilmeýär.

Elektrogeçirijiligiň ýüze çykmagy üçin elektronlaryň bir bölegini walentli zolakdan geçiriji zolaga geçirmek zerurdyr. Elektrik meýdanynyň energiýasy munuň ýoly geçiş üçin ýeterliksiz bolup, has güýçli energetik täsir talap edilýär, meselem gaty maddanyň gyzdrylmagy kristalliki gözenekde atomlaryň ýylylyk yrgyldysynyň ortaça kinetiki energiýasy takmynan $(3/2) kT$ deňdir. Otag temperaturasyndabu ululyk takmynan 0.04 eV düzýär we umumy halatda gadagan edilen zolagyň ΔE ininden kiçidir. Ýöne ýylylyk energiýasynyň bölejikleriň arasynda deňölçeşsiz paýlanýandygyny göz önüne tutmak gerek wagtyň her bir pursatynda ýylylyk yrgyldysy ortaça aňlatmadan has öňe geçýän atomlaryň uly bolmadyk sany bar. Ýylylyk yrgyldysy hadysasynda atomlar diňe biri-biri bilen däl, eýsem ýylylyk energiýasynyň bir bölegini elektronlara berip, olar bilen hem özara täsir edişýär. Şonuň ýaly ýylylygyň orta bahadan tötänleýin gyşarmasynyň hasabyna elektronlar walentli zolakdan geçiriji zolaga geçip bilýär. Temperatura näçe ýokary we gadagan edilen zolak näçe kiçi bolsa, zolaklara geçişiniň intensiwligi şonçada ýokarydyr. Dielektriklerde gadagan edilen zolak şeýle uly, ýagny elektron elektrogeçirijiliginiň kesgitleýji roly hem ýokdur. Her bir oýanmada we elektronlar geçiriji zolaga geçende elektronlaryň walentli zolagyň ýagdaýy boýunça paýlanmagynda „deşikler ” diýilip atlandyrylýan energetiki boş orun döreýär. Deşikler bar bolanda walentli zolagyň elektronlary bir derejeden beýleki derejä saparly geçişi amala aşyrýar. Daşky elektrik meýdanynda deşik elektronlaryň hereketine garşy hereket edýär, ýagny özüni otrisatel effekli agramly položitel zarýad ýaly alyp barýar. Şeýlelikde deşikler walentli elektronlaryň elektrogeçirijilik hadysasyna gatnaşmagyny üpjün edýär.



Surat. 1.16. Energetiki zologyň dykzyjygynyň dargamagy

Elektronlaryň erkin hala geçmek hadysasy gaýdymly hadysa bilen bilelikde bolýar, ýagny elektronlar kadaly halyna gaýdyp gelýär. Netijede maddada islendik temperaturada dinamiki deňagramlyk ýüze çykýar, ýagny erkin zolaga geçýän

elektronlaryň mukdary kadaly hala gaýdyp gelyän elektronlaryň mukdaryna deň bolýar. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ýarym geçirijide erkin elektronlaryň sany artýar, temperaturanyň nula çenli peselmegi bilen olar hem nula çenli azalýar. Diýmek bir temperaturadaözüni dielektrik edip görkezýän madda beýleki has ýokary temperaturada geçirijilige eýe bolýar we maddanyň täze hil ýagdaýy ýüze çykýar.

Iki hildäki-metal we metal däl materiallaryň geçirijiliginiň arasyndaky tapawut apsalýut nula golaý temperaturada aýdyň görünýär; metal dälleriň- ýarymgeçiriji we dielektrikleriň arasyndaky tapawut temperaturanyň apsalýut nula golaýlaşmagy bilen ýitýär.

Geçiriji zolakda ýerleşýän elektronlaryň apsalýut erkin hasaplamak bolmaýar. Şeýle elektronlar kristallik gözenegiň potensial meýdany bilen özara täsir edişýär. Elektronlaryň geçiriji zonada özüni alyp baryşy matematiki taýdan düşindirilende netijeli (effektiw) agram düşünjesinden peýdalanylýar.

Netijeli agram elektronyň inersion alamatynada, grawitasion alamatynada kesgitlemeýär. Ýöne netijeli agram düşünjesini girizmek bilen m_0 massaly kristalda hakyky elektronyň hereketini absalýut erkin elektronyň hereketi ýaly ýazyp görkezmek mümkin bolýar; ýagny netijeli agram daşky elektrik meýdanyň güýjüniň täsiri astynda hereketlenende elektronyň kristalliki gözenek bilen özara täsiriniň çylşyrymly häsiýetini göz önünde tutýar. Netijeli agram erkin elektronyň agramyndan köp esse tapawutlanyp bilýär.

1.13b suratda şekillendirilen , ýeňilleşdirilen diagramma energetiki zolagyň içindäki ýagdaýyň deň ölçegsiz paýlanandygyny hasaba almaýar. Kwant mehanikasynyň kömegi bilen $N(E)$ ýagdaýyň dykyzlygynyň energetiki zolagyň orta arasynda has uly bolýandygyny görkezmek mümkin. (1.16. sur) Ondan başgada ýagdaýyň dykyzlygy, ýagny olaryň sany energiýanyň ýekeleýin interwalyna görä paraboliki kanun boýunça artýar:

$$N = (E) \frac{2\pi}{h^3} (2m_n^*)^{3/2} E^{3/2} , \quad (1.3)$$

niredede m_n^* -elektronyň netijeli agramy.

Temperaturanyň üýtgemegi bilen gadagan edilen zolagyň giňligi üýtgeýär. Bu esasy iki sebäbe görä gözenegiň atomlarynyň ýylylyk yrgyldysynyň amplitudasynyň üýtgemegi we atom ara aralygyň , ýagny maddanyň göwrüminiň üýtgemegi sebäpli bolup geçýär. Temperaturanyň ösmegi bilen atomlaryň ýylylyk yrgyldysynyň amplitudasy artýar, olaryň özara täsir derejesi we energetiki derejäniň bölünme derejesi ýokarlanýar. Şonuň üçin ygtyýar berilen zolak giň bolýar, gadagan edilen zolak bolsa degişlilikde dar bolýar.

Derejäniň bölünme häsiýetine baglylykda atom ara aralyk üýtgände gadagan edilen zolagyň ini ulalyp hem kiçelip bilýär (1.14sur-ser) Zolagyň ininiň şunuň ýaly üýtgemesi kristala basyş täsir edende bolýar, sebäbi munda atomlara aralyk üýtgeýär.

Elektrony erkin halyna öwürmek ýa-da emele getirmek üçin gerek bolan energiýanyň diňe bir ýylylyk hereketi däl-de, eýsem energiýanyň beýleki çeşmeleri, meselem material tarapyndan siňdirilen ýagtylyk energiýasy, elektronlaryň we ýadro bölejikleriniň toplumynyň energiýasy, elektrik we magnit maýdanynyň energiýasy, mehaniki energiýa we ş m hem berip bilýär. Erkin elektronlaryň ýa-da deşijikleriniň sanynyň energiýanyň haýsyda bolsa bir görnüşiniň täsirinde ulalmagy elektrogeçirijiligiň ýokarlanmagyna, toguň ulalmagyna, elektrohereketlendiriji güýjüň döremegine ýardam berýär. Elektriki häsiýet maddanyň atomlarynyň arasyndaky aralyk we özara täsir şertleri bilen kesgitlenýär we berlen atomyň üýtgemeýän aýratynlygy bolup durmaýar. Görkezilişi ýaly uglerod almaz görnüşinde dielektrikdir, grafit görnüşinde ol uly geçirijilige eýedir.

Gurluşynyň talap ediji periodikligini bozýan garyndylar we nokat görnüşli nogsanlyklar, üýtgeşik energetiki derejäni döredýär we bu dereje ideal kristalyň gadagan edilen zolagynda ýerleşýär. Eger-de garyndy atomlar ýa-da nogsanlyklar bir-birinden ýeterlik uzaklykda ýerleşse, onda olaryň arasynda özara täsir bolmaýar, olara degişli energetiki derejeler bolsa üzňe-üzňe bolup çykýar. Aýrylan garyndy atomlaryň arasynda elektronlaryň tunnel görnüşli geçişiniň mümkin dældigi zerarly goşmaça elektron ýagdaýlar gözenekde kesgitli bir ýerde, ýagny gurluşyň nogsanlygynda ýerleşýärler. Garyndy atomlaryň ýeterlik ýokary konsentrasiasynda olaryň arasyndaky aralyk, atomlaryň ölçegi bilen deňşdirerlidir.

Şol sebäpli hem garyndynyň ýanyndaky atomlarynyň elektron gabygynyň örtülmeşi mümkindir. Bu halatda garyndylaryň bölek-bölek energetiki derejeleri geçirijiligi üpjün edýän garyndy ýagdaýynyň energetiki zolagyna bölünýär, eger-de bu zolakda hemme derejeler elektronlar bilen doldurylmadyk bolsa. Şeýlelikde ähli gaty maddalaryň elektrik häsiýetini zarýad göterijiniň oýanma energiýasy ýa-da metallarda nula deň bolan elektrogeçirijiligiň aktiwleşme energiýasy kesgitleýär we bu energiýanyň ýokarlanmagy bilen şertli dielektrikleriniň hataryna geçýän ýarym geçirijileriň hatarynda üznüksiz ösýär; gowy geçiriji metallar we gowy izolirleýji dielektrikler şol alamaty boýunça gaty maddalary ýerleşdirip bolýan üznüksiz hataryň gyraky agzasydyr. Aýdylanlardan netije çykaryp, zolakly teoriýanyň kowalent we metaliki baglanyşykly gaty maddalar üçin ulanylýandygyny bellemek gerek.

Gaty maddalaryň ýarymgeçirijilere we dielektriklere bölünmegi şertlidir. Şonuň üçin ýarymgeçirijiler hökmünde has giň gadagan ediji zolakly materiallar ulanylyp başlaýar we maddalaryň ýarymgeçirijilere we dielektriklere bölünmegi özüniň başdaky manysyny ýitirýär.

BÖLÜM II

GEÇIRIJILERIŇ FIZIKI PROSESI WE OLARYŇ DÜZÜMI

§ 2.1 Geçirijiler barada umumy maglumat.

Elektrik togunyň geçirijileri gaty maddalar, suwuklyklar we laýyk gelýän şertlerde gazlar hem bolup bilýär.

Gaty geçirijilere metallar, eredilen metal garyndylar we uglerodyň käbir medifikasiýalary degişlidir.

Özüne mahsus ýalpyldysy bolan, elektrik toguny we ýylylygy gowy geçirýän maýyşgak maddalar metallara degişlidir. Elektron tehnikasynyň materiallarynyň arasynda metallar wajyp ornunyň birini tutýar.

Suwuk geçirijilere eredilen metallar we dürli elektrolitler degişlidir. Düzgün bolşy ýaly simapdan başga metallaryň ereme temperaturasy ýokarydyr. Simabyň ereme temperaturasy -39°C . Şonuň üçin adaty temperaturada suwuk metal geçiriji hökmünde diňe simap ulanylyp bilner. Şeýle hem galliniň ereme temperaturasy kadaly temperatura ýakýndyr ($29,8^{\circ}\text{C}$). Beýleki metallar diňe ýokarlandyrylan ýa-da ýokary temperaturalarda suwuk geçiriji bolup durýar.

Gaty we suwuk halynda metallar boýunça toguň geçiş mehanizmi erkin elektronlaryň hereketi bilen şertlendirilen. Şonuň üçin olar elektronly elektrogeçirijili geçirijiler ýa-da birinji hilli geçirijiler diýlip atlandyryýarlar.

Ikinji hiliň elektrolitleri ýa-da geçirijileri bular turşy, aşgar we duz erginleridir, şeýle hem ion birleşmeleriniň erginleridir. Şunuň ýaly geçirijileriň üstünden toguň geçmegi elektrik zaryadlaryň molekula (ion) bölejikleri bilen bile geçirilmeg ibilen baglanşyklydy. Netijede elektrolitiň düzümi üýtgeýär, elektrodarda bolsa elektroliz önümleri bölünip çykýar.

Ähli gazlar we buglar, şol sanda metallaryň buglary hem elektrik meýdanynyň dartgynlylygy pes bolanda geçiriji däl. Ýöne eger-de meýdanyň dartgynlylygy käbir kritiki aňlatmadn ýokary bolsa, onda gaz elektronly we ionly elektrogeçiriji häsiýeti bolan geçiriji bolup bilýär. Güýçli ionlaşdyrylan gaz göwrüm birliginde elektronlaryň we položitel

ionlaryň sany deň bolanda, plazma diýlip atlandyrylýan özboluşly, deňagramly geçiriji sredadyr.

§ 2.2 Metallaryň elektrogeçirijiliginiň fiziki tebigaty.

Tejribe kanunlary we elektron teoriýa Drude we Lorens tarapyndan kämilleşdirilen metallaryň klassiki elektron teoriýasynyň gaza ideal gazyň häsiýetleri, ýazylyp goşulýar, ýagny elektronlaryň hereketi klassiki statistikanyň kanunlaryna boýun bolýar. Eger-de atomlar metalda bir gezek ionlaşan diýlip hasap edilse, onda erkin elektronlaryň konsentrasiýasy deň bolýar we şu formula boýunça hasaplanýar:

$$n = \frac{d}{A} N_0,$$

Nirede d -materialyň dykzlygy; A –atomyň agramy; N -Awogadro sany.

Ideal gazlaryň atomly-kinetiki teoriýasyna laýyklykda üznüksiz haotik hereket edýän elektronlaryň ortaça kinetiki energiýasy temperatu bilen çyzykly ösýär:

$$\frac{m_0 \bar{u}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (2.1)$$

Nirede \bar{U} -ýylylyk hereketiniň ortaça tizligi; k -bolsmanyň hemişeligi.

300K temperatura 10 m/s tertipdäki orta tizlik laýyk gelýär.

Daşky güýjiň goşulmagy elektronlaryň meýdanynyň hereketlenýän güýjüniň ugruna ulalmagyna getirýär, ýagny elektronlar gönükdirilen hereketiň käbir goşmaça tizligini alýar we şol zerarly elektrik tok ýäze çykýar. Geçirijide toguň dykzlygy aşakdaky aňlatma bilen kesgitlenýär:

$$I = en\bar{v} \quad (2.2)$$

nirde \bar{v} -zarýad göterijileriň gönükdirilen hereketiniň orta tizligi (dreýfiň tizligi). Mis geçirijide toguň dykzlygy 10^6 A/m^2 10^{-4} m/s tertipdäki (hatardaky) elektronlaryň dreýf tizligine laýyk gelýär, ýagny real şertlerde $\bar{v} \ll \bar{u}$. deňsizlik ýerine ýetirilýär.

Elektrik meýdanynyň täsirinde gözenegiň düwünleri bilen çaknyşmagyň arasyndaky aralykda elektronlar $a = eE/m_0$ tizlinme bilen hereket edýär.

Erkin ylgamanyň ahyryna elektronlar tarapyndan gazanylan maksimal dreýf tizligi : $v_{\max}=a\tau_0$

nirde τ_0 -erkin ylgamanyň wagty.

Çaknyşmadan soň elektronlaryň köpüsi üçin gönükdirilen hereketiň tizligi nula çenli düşýär, ýagny ýyganan kinetiki energiýa gözenegiň atomyna geçirilýär. Şonuň üçin erkin ylgama wagty üçin dreýfiň tizliginiň orta aňlatmasy maksimalyň ýarysyna deňdir :

$$\bar{v} = \frac{eE}{2m_0} \tau_0$$

$\bar{U} \gg \bar{V}$ -dygy zerarly erkin ylgamanyň wagtyny hasaplananda tizligiň \bar{v} goşundysyny göz önünde tutmak gerek däl:

$$\tau_0 = \bar{l}/\bar{U}$$

nirde \bar{l} –elektronlaryň erkin ylgamagynyň ortaça uzynlygy. Alnan gatnaşyklary toguň dykyzlygy üçin formula goýmak indiki netijä alyp

$$J = \frac{e^2 n \bar{l}}{2m_0 \bar{U}} E = \gamma E \quad (2.3)$$

ýagny toguň dykyzlygy elektrik meýdanynyň güýjenmesine proporsionaldyr, bu hem Omun kanunynyň analitiki aňlatmasydyr. (2.3) formulanyň netijesini absolýut talap ediji diýip hasaplamak bolmaýar, sebäbi diňe bir elektronyň hereketi ünse alyndy, emma netije ähli erkin elektronlara ýaýrady. Meýdanyň täsiri astynda, şeýle hem kristallik gözenegiň düwünleri bilen urulmanyň täsiri astynda üýtgeýän impulsalaryň jemini saklaýan erkin elektronlaryň bütin jemine elektrik meýdanynyň edýän täsirine garamak has dogrurakdyr. Şunuň ýaly derňew oňa alyp barýar, ýagny elektronlaryň dreýf tizligi iki esse köp bolup çykýar. Şu düzetmäni hasaba alyp, udel geçirijilik üçin aňlatma indiki görnüşe eýe bolýar;

$$\gamma = \frac{e^2 n \bar{l}}{m_0 \bar{U}} \quad (2.4)$$

Erkin elektronlar baradaky düşünje Wideman-Fransyň tejribe kanunyna gaýdyp gelmäge ýardam berýär. Bu kanunda metalyň geçirijiligi we ýylylyk

geçirijiliginiň arasynda goýulýar. Metalda elektronlar diňe bir elektrik zarýad getirmän, eýsem onda ýokary ýylylyk geçirijiligi üpjün edip, temperaturany hem sazlaýar. Erkin elektronlaryň konsentrasiýasynyň ýokary bolmagy sebäpli elektron ýylylyk geçirijiligi ýylylyk geçirmegiň beýleki mehanizmlerinden agdyklyk edýär. Ideal gazyň atom-kinetiki teoriýasyna laýyklykda elektron ýylylyk geçirijilik şu görnüşde ýazylýar:

$$\lambda_T = \frac{1}{2} \hbar n \bar{u} \bar{l} \quad (2.5)$$

(2.5) aňlatmany (2.1) formulany hasaba alyp (2.3) formuladan

tapylan udel geçirijilige bölüp, alýarys:

$$\lambda_T / \gamma = 3k^2 e^{-2} T = L_0 T,$$

ýagny berlen temperaturada metalyň udel ýylylyk geçirijiliginiň udel geçirijiligine bolan gatnaşygy geçirijiniň tebigatyna bagly bolmazdan hemişelik ululykdyr. Bu ýerden gelip çykyşy ýaly elektrik togunyň gowy geçirijileri, ýylylygy hem gowy geçiriji bolup durýar.

$L_0 = 3k^2/e^2$ konstanta Lorensiň sany diýen ady aldy. Elektronlaryň kwant statistikasyna esaslanan has talap ediji derňew Lorensiň sany üçin biraz başgaçarak aňlatma berýär, ýöne onuň san manysy üýtgemeyär:

$$L_0 = \frac{\lambda_T}{\gamma T} = \frac{\pi^3}{3} (k/e)^2 = 2,45 \cdot 10^{-8} B^2 K^{-2}$$

Otag temperaturasynda köp metallar üçin Lorensiň sanynyň tejribe manysy teoriki manysy bilen ylalaşýar. Ýöne metallaryň elektron teoriýasynyň nukdaý nazaryndan üstünlikli çözülen soraglardan başga tejribäniň maglumatlaryna gapma-garşylyklar hem ýüze çykdy. Bu klassik teoriýa elektron gazyň ýylylyk sygymynyň pesligini düşündirip bilmedi. Islendik gaty maddanyň kristallik gözeneginiň molýar ýylylyk sygymy $3R$ düzýär (R -uniwersal gaz hemişeligi). Bu netije fizikada Dýuloug - Ptiniň kanuny ady bilen belli bolup, ýokary temperaturada gaty maddalar üçin ýerine ýetirilýär. Metallarda energiýanyň siňdirilme hadysasyna diňe bir yrgyldaýan atomlar däl, eýsem erkin elektronlar hem gatnaşmaly. Bu nukdaý nazardan metalyň ýylylyk sygymy erkin elektrtonlary saklamaýan dielektrikleriň ýylylyk sygymyndan uludyr. Metalda erkin elektronlaryň sanyny atomyň sany diýip kabul edip, elektronlaryň ideal gazyň bölejikleri ýaly ($3/2$) kT orta ýylylyk energiýasynyň bardygyny göz önünde tutup, metallaryň molýar ýylylyk sygymy üçin alýarys:

$$C_v = C_{göz} + C_e = 3R + \frac{3}{2} kN_0 = \frac{9}{2} R$$

Emma hakykatda metallaryň ýylylyk sygymy ýokary temperaturada kristalliki gyzdyrylanda elektron gazyň ýylylygy düýbünden siňdirmeyändigine şaýatlyk edýär, klassiki elektron teoriýanyň düşüňjelerine gapma-garşy bolýar. Bellenen gapma-garşylyk klassiki teoriýanyň garşysyna ýöne ýeke-täk däl garşylykdyr. Ýokary geçirijilikli metallarda elektronlaryň erkin ylgamasynyň ortaça uzynlygynyň kadaly şertlerde 10^2 - 10^3 Å düzýändigini, emma pes temperaturalarda has uludygyny tejribeler subut edýär. Bu aňlatmany gözenekde angstrum birligni düzüji atomara aralyk bilen deňeşdirende elektronlaryň gözenegiň periodynyň ýüzlerçe hatarynyň aralygyna çaknyşmazdan hereketlenýändigini boýun almaly bolýar. Sanalyp geçilen kynçylyklary metallaryň kwant teoriýasynyň kömegi bilen ýeňmek başartdy

$$F(E) = A_{\exp}[-E/(kT)] \quad (2.6)$$

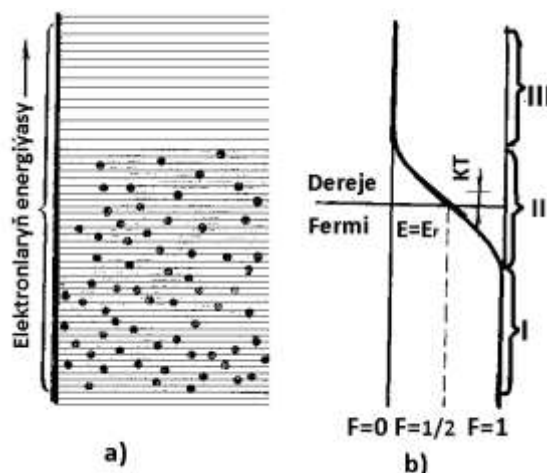
Munda her bir energetiki ýagdaýda elektronlaryň islendik sany ýerleşip bilýär. Kwant statistikasy Pauliniň prinsiplerine esaslanýar, ol bolsa her bir energetiki ýagdaýda bir elektronyň ýerleşmegi bilen ylalaşýar. Bu ýerden energiýa boýunça elektronlaryň klassiki we kwantly paýlanyşynyň tapawutlylygy görünýär. Klassiki nukdaý nazaryndan absolýut nul temperaturada ähli elektronlaryň energiýasy nula deňleşmelidir. Emma Pauliniň prinsipi boýunça hat da absolýut nulda hem her derejedäki elektronlaryň sany ikiden geçip bilmeýär. Eger-de kristalda erkin elektronlaryň sany n –e deň bolsa, onda OK-da in pes energetiki derejäniň $n/2$ tutýar. Kwant teoriýasynda energetiki ýagdaýyň elektronlar bilen doldurylmadyk mümkinçiligi Ferminiň funksiýasy bilen kesgitlenýär:

$$F(E) = [1 + \exp(\frac{E - E_F}{kT})]^{-1} \quad (2.7)$$

Nirede E – doldurylma mümkinçiligi kesgitlenilýän energiýanyň derejesi; E_F – otnositellikde mümkinçilik egri çyzygy simmetriki häsiýetli derejäniň energiýasy. $T=0K$ bolanda Ferminiň funksiýasynyň häsiýetleri : $F(E)=1$; eger $E \leq E_F$ we $F(E)=0$, eger $E > E_F$ bolsa.

Şeýlelik-de E_F ululyk absolýut nul temperaturada metalda elektronyň mümkin bolan energiýasynyň maksimal aňlatmasyny kesgitleýär. Bu kesgitli energiýa Ferminiň energiýasy ýa-da Ferminiň derejesi diýilýär. Oňa laýyk gelýän potensiala $\phi_F = E_F/e$ elektrohimiki potensial diýilýär. E_F energiýanyň kristalyň göwrümine bagly däl-de, diňe erkin elektrolaryň konsentrasiýasy bilen kesgitlenýändigini bellemek gerek. Ol gös-göni Pauliniň prinsipinden gelip çykýar.

Metalda erkin elektronlaryň konsentrasiýasynyň ululygy zerarly Ferminiň energiýasy hem uly bolýar adaty ýagdaýda 3-15 eW düzýär.



**Surat 2.1 a) elektronlaryň bölekleyin doldurylan zologynyň dagadylmagy.
b) elektron drejesi bilen doldurylan ahtimallyk funsiýasy.**

Kristal gyzdyrylanda oňa k_T tertipdäki energiýa berilýär. Şu oýanmanyň hasabynyň Ferminiň derejesine golaý ýerleşen käbir elektronlaryň has uly energiýa bilen doldurmaga başlaýarlar: paýlanma funksiýasynyň grafigi biraz ýapgyt bolýar (2.1 surat) Emma ýylylyk hereketiniň hasabyna elektronlar tarabyndan alynýan energiniň artykmaçy E_F energiýa bilen deňşdirende örän ujypsyzjadyr we elektro woltyň bary-ýogy ýüzden birnäçe bölegini düzýär. Şonuň üçin elektronlaryň energiýa boýunça paýlanyş häsiýeti hem azajyk uýtgeýär: elektronlaryň orta energivasy amaly taýdan üýtgemän galýar. Ortaça energiýanyň temperaturadan azajyk üýtgemegi elektron gazyň ýylylyk sygymynyň kiçiligini aňladýar. Onuň Fermi-Dirakyň statistikasy boýunça aňlatmasy adaty temperaturada klassiki teoriýa garaňda 50-70 esse az bolýar. Metallarda elektron gazyň ýokary geçirijiliginiň we pes ýylylyk sygymynyň arasyndaky gapma-garş ylygyň çözülmegi şuna esaslanandyr.

Islendik temperaturada $E=E_F$ energiýaly dereje üçin elektronlar bilen doldurma mümkinçiliginiň 0,5 deňligi (2.7) formuladan görünýär. Mümkinçiligi 0,5-den uly bolup, Ferminiň derejesinden aşakda ýerleşen ähli derejeler elektronlar bilen doldurylandyr. Tersine mümkinçiligi 0,5-den uly Ferminiň derejesinden ýokarda ýatan ähli derejeler elektronlardan azatdyr.

Elektronlaryň energiýa boýunça paýlanyşy diňe bir derejäniň doldurylma mümkinçiligi bilen däl, eýsem zolakda kwant ýagdaýynyň dykzlygy bilen hem kesgitleýär:

$$dn(E) = N(E) F(E) dE,$$

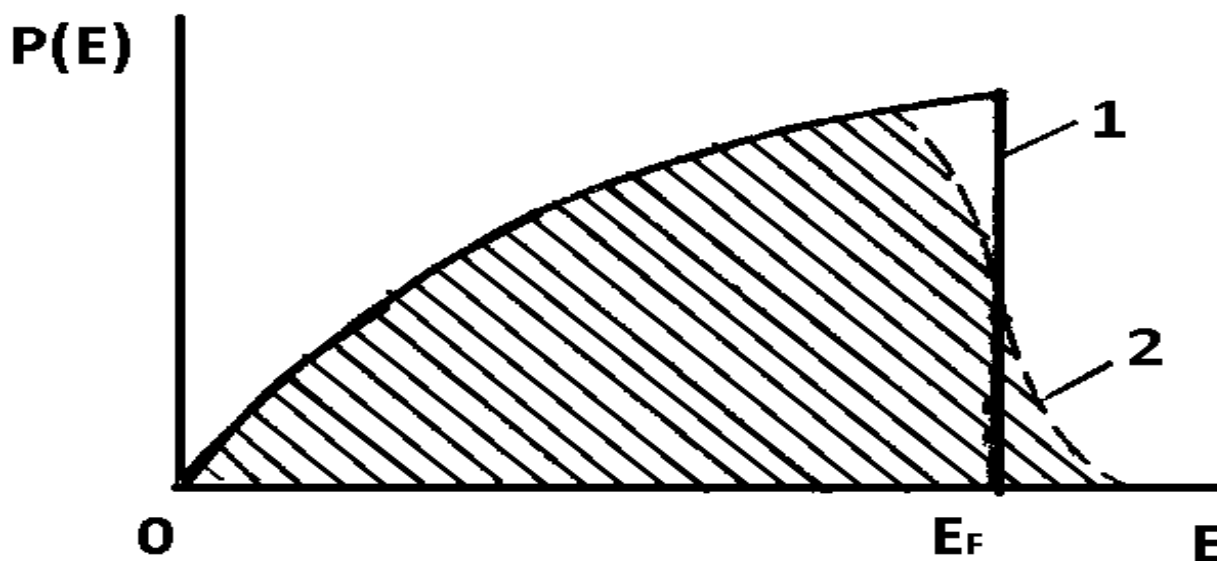
Nirde dn -E-den $E+dE$ çenli energetiki interwala düşýän elektronlaryň sany;

$N(E)$ -zolakda ygtyýar berlen ýagdaýyň dykzlygy, ýagny göwrüm birliginde energiýanyň ýeke interwalyna düşýän ýagdaýyň sany.

(1.3) formulany hasaba alyp, metalda elektronlaryň energiýa boýunça paýlanyşyny (2.2 sur) şekillendirilen paraboliki baglylyk ýaly göz öňüne getirmek bolýar. Ferminiň derejesinden çün ýerleşen elektronlar kristalliki gözenek bilen energiýa çalyşyp bilmeýär, ýa-da olar üçin golaýdaky energetiki ýagdaýlaryň hemmesi dolud. Metalda elektronlaryň umumy konsentrasiýasyny ähli doldurylan ýagdaýlar boýunça integrirleme ýoly arkaly tapmak bolýar.

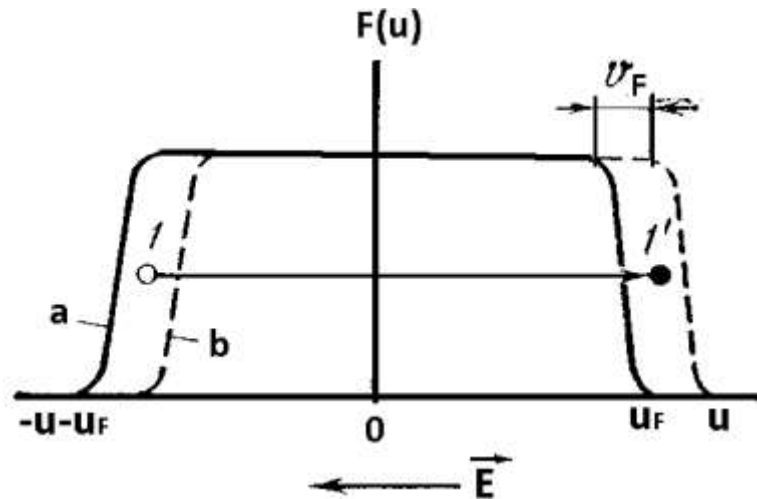
$$n = \int_0^{E_F} N(E)F(E)dE = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{2m_n^*}{h^2} \right)^{3/2} E_F^{3/2} \quad (2.8)$$

Özüni alyp barşy Fermi-Dirakanyň statistikasy tarapyndan suratlandyrylýan ownuk bölejikleriň sistemasy öwrülen diýlip atlandyrylyar. Öwrülme ýagdaýynda elektron gazyň orta energiýasy temperatura düýbünden bagly däl. Elektronlaryň islendik biri kristallik gözenek bilen energiýa çalyşýança elektron gaz metalda öwrülen bolup galýar, bu bolsa öz gezeginde ýylylyk yrgyldylarynyň ortaça energiýasy Ferminiň energiýasyna golaýlaşanda mümkindir. Metallar üçin öwrülmäni aýyrmagyň temperaturasy T_F ululyk tertibi boýunça $10^4 K$ düzýär, ýagny diňe bir ereme geçýär.



Surat 2.2. Metalda elektronlaryň egergiýasy boýunça paýlanyşy:

1- $T=0 K$; 2- $T \neq 0 K$



Surat. 2.3. Metalda elektronlaryň tizligi boýunça paýlanylşy a) elektrik meýdanynyň ýok wagty. b) elektir meýdanynyň bar wagty.

Elektrogeçirijilik hadysasynda öwrülme netijesine ähli erkin elektronlar däl-de, olaryň diňe Fermiň energiýasyna golaý energiýasy bolan uly bolmadyk bölegi gatnaşýar. Diňe şu elektronlar meýdanyň täsiri astynda öz ýagdaýyny üýtgetmäge ukyplydyr.

Potensiallaryň tapawudynyň täsiri astynda metalda döreýän elektrik tik tizligi boýunça elektronlaryň paýlanyşyndaky üýtgemäni serpikdirýär. Kwant statistikasyna laýyklykda bu paýlanma energiýa boýunça paýlanmanyň önümi bolýar (2.1 sur) we daşky meýdanyň bolmazlygyna simmetrikdir. Saýlanan ugurda tizlik boýunça paýlanmanyň proyeksiýasy (2.3 sur) üznüksiz çyzyk bilen görkezilen. Elektrik meýdanynyň täsiri bilen elektronlaryň, gözenegiň düwünleri bilen çaknyşmagy hadysasynda olaryň uly burç astynda dargamagy bolup geçýär. Munuň netijesinde meýdanyň garşysyna hereket edýän çalt elektronlaryň artykmaçy ýüze çykýar we tizlige garşylykly ugurly çalt elektronlaryň ýetmezçiligi bolýar. Elektronlaryň bir ýagdaýdan beýleki ýagdaýa şunuň ýaly taşlanmagy (2.3 sur) tizlikler boýunça paýlanmanyň diagrammasynda 1-1' çyzyk bilen görkezilendir. Erkin ylgamanyň uzynlygyna meýdan tarapyndan tizleşip, bu elektronlar gönükdirilen hereketiň goşmaça tizligini gazanýarlar:

$$v_F = \frac{eE}{m_n^*} \tau_F = \frac{eE}{m_n^*} \frac{\bar{l}}{u_F}, \quad (2.9)$$

τ_F -erkin ylgama döwri; u_F - E_F energiýa golaý energiýasy bolan çalt elektronlaryň ýylylyk tizligi. Elektronlaryň esasy bölegi meýdana goýlanda özüniň energetiki ýagdaýyny üýtgetmeýär. Emma tizligiň paýlanmasynyň bütewi tutuş suraty meýdanyň garşysyna (sebäbi elektronlaryň otrisatel zarýady bar) dreýfiň tizliginiň v_F aňlatmasyna süýşýär. Aýry-aýry elektronlar bir-birinden

tapawutlanmaýarlar. Şonuň üçin meýdanyň täsiri astynda metaldaky n konsentrasiýaly erkin elektronlaryň (hem çalt, hem haýal) toplumy gönükdirilen hereketiň v_F deň bolan goşmaça tizligini gazanýar diýip ahyrky netijä gelmek bolýar. Şuny göz önünde tutunda toguň dykzylygy (2.2) we udel geçirijiligi (2.4) üçin aňlatma şu görnüşde bolýar:

$$J = env_F$$

$$\gamma = \frac{e^2 n l}{m_n^* U_F} \quad (2.10)$$

(2.8) formuladan tapýarys :

$$\frac{m_n^* U_F^2}{2} = E_F = \left(\frac{3}{8\pi}\right)^{2/3} \frac{n^{2/3} h^2}{m_n^*}$$

Elektronlaryň konsentrasiýasyny $m_n^* U_F$ arkaly aňladyp we alnan netijäni (2.10) goýup alarys:

$$\gamma = \frac{e^2 n^{2/3} l}{h} \left(\frac{8\pi}{3}\right)^{1/3}. \quad (2.11)$$

Temperaturanyň üýtgemeginde Ferminiň energiýasy azajyk üýtgeýär we elektron gazyň öwrülen ýagdaýynyň mahsuslygy bolup durýar.

Meselem: Kümüş 0-dan 1000 K-ge çenli gyzdyrylanda Ferminiň energiýasy bary-ýogy 0.2% azalýar. Temperaturanyň şeýle giň diapazonynda az üýtgemäni hasaba almasada bolýar. Bu (2.11) formulanyň islendik temperaturada adalatlydygyny takykklamaga esas döredýär.

Arassa metallarda erkin elektronlaryň konsentrasiýasy azajyk tapawutlanýarlar. Temperaturanyň üýtgemegi bilen n hem örän azalýar. Şonuň üçin geçirijilik esasan elektronlaryň erkin ylgamanyň ortaça uzynlygy bilen kesgitlenýär. Ol öz gezeginde geçirijiniň gurluşyna, ýagny atomyň himiki tebigatyna we kristalliki gözeneginiň görnüşine baglydyr. Geçirijiligiň temperatura baglylygyny elektronlaryň tolkun häsiýetli hereketi bilen düşündirmek bolýar.

§ 2.3 Metal geçirijileriň udel garşylygynyň temperatura baglylygy.

Fizikadan belli bolşy ýaly elementar bölejikleriň (şol sanda elektronlar hem) korpuskala-tolkunly ikili häsiýeti bar. Şonuň üçin metalda erkin elektronlaryň hereketine uzynlygy de Broýlyň gatnaşygy :

$$\lambda = h/(m_o u) = h/\sqrt{2m_o E} \quad (2.12)$$

bilen kesgitlenýän ýasy elektron tolkunlarynyň ýaýramasy hökmünde garamak bolýar. Şunň ýaly ýasy elektron tolkun periodiki-potensial meýdanda energiýanyň dargamazyndan ýaýraýar, ýagny gaty maddanyň iýilmedik ideal kristalliki gözenegi elektronlaryň akymyna pytradyjy täsir etmeýär. Bu bolsa ideal kristalda elektronlaryň erkin ylgamagynyň uzynlygynyň tükeniksizlige deňdigini, emma elektrik togyň garşylygynyň nula deňdigini aňladýar. Haçanda temperatura absolýut nula ýakynlaşanda arassa metallaryň garşylygynyň nula ymtylmasy bu ýagdaýyň tassyknamasydyr. Ideal kristalliki gözenekde elektronlaryň erkin hereketlenmek häsiýetiniň klassiki mehanikada analogy (meňzemesi) ýokdur. Haçanda gözenekde onuň dogry gurluşynyň dürli görnüşli bozulmalary bolan halatynda pytratma garşylygyň döremegine getirýär. Bellenilip geçilşi ýaly gurluş nogsanlyklary dinamiki we statiki, atom (nokatly) we uzyn bolup bilýär.

Fizikadan belli bolşy ýaly haçanda dargadyjy merkezleriň (nogsanlyklaryň) ölçeği tolkunynyň netijeli dargamasy bolýär. Metalda geçirijilik elektronlaryň energiýasy 3-15 eW düzýär. Bu energiýa 3-7 Å [2.12 formula seret] deň tolkun uzynlygy laýyk gelýär. Şonuň üçin gurluşyň islendik bir jynssyzlygy elektron tolkunlarynyň ýaýramagyna päsgel berýär we materialyň udel garşylygynyň ösmegine getirýär.

Kadaly gurluşly arassa metllarda elektronlaryň erkin dargamasynyň uzynlygy çäklendirýän ýeke-täk sebäp kristalliki gözenegiň düwünlerinde atomlaryň ýylylykly yrgyldysy bolup durýar. Metalyň ýylylyk faktor bilen şertlendirilenelektrik garşylygyny \propto bilen belleýäris. Temperaturanyň ösmegi bilen atomlaryň ýylylyk yrgyldysynyň amplitudasynyň we gözenegiň periodiki meýdanynyň olar bilen baglanyşykly orta bahadan tötänleýin gyşarmasy ulalýar. Bu bolsa öz gezeginde elektronlaryň dargamasyny güýçlendirýär we udel garşylygyň temperatura baglylyk häsiýetini gowy ornaşdyrmak üçin indiki – aňsatlaşdyrylan nusgadan peýdalanýarys. Dargamagyň intensiwligi yrgyldaýan atomyň ýerleşýän şar görnüşli göwrüminiň kese kesimine göni proporsionaldyr, emma kese kesimiň meýdany ýylylyk yrgyldylarynyň Δ -a amplitudasynyň kwadradynda proporsionaldyr. Şonuň üçin elektronlaryň erkin ylgamasynyň uzynlygy üçin ýazýarys

$$\bar{l}_T = [\pi(\Delta a)^2 N]^{-1} \quad (2.13)$$

Nirde N-materialyň göwrüm birliginde atomlaryň sany.

Atomyň gözenegiň düwüminden Δa tarapa gyşaran potensial energiýasy aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär:

$$E_{may} = \frac{1}{2} K_{may} (\Delta a)^2$$

nirde K_{may} – atomy deňagramlylyk ýagdaýyna dolandyrmaga ymtylýan maýyşgak baglanyşyk koefisiýenti.

Klassiki statistikasyna laýyklykda meňzeş ölçegli garmonikli ossilýatoryň (yrgyldaýan atomyň) orta energiýasy kT deňdir. Bu esasyda şu deňligi alarys:

$$\frac{1}{2} K_{may} (\Delta a)^2 = kT \quad (2.14)$$

(2.13) we (2.14) formulalaryň kömegi bilen elektronlaryň erkin ylgamagynyň uzynlygynyň temperatura ters proporsionaldygyny subut edip bolýar:

$$\bar{l}_T = \frac{K_{may}}{2\pi N k T} \quad (2.15)$$

Alnan gatnaşygyň pes temperaturalarda ýerine ýetirilmeyändigini bellemek zerurdyr. Sebäbi temperaturanyň peselmegi bilen diňe bir atomlaryň ýylylyk yrgyldysynyň amplitudasy kiçelmän yrgyldy ýylylygy azalýar. Şonuň üçin pes elektronlaryň dargadylmagy netijesizdir.

Elektronyň yrgyldaýan atom bilen özara täsiri özara täsiri elektronyň impulsyny biraz üýtgetýär. Gözenegiň atomlarynyň yrgyldy teoriýasynda temperaturany käbir häsiýetli temperatura Debaýyň temperaturasyna oňositellikde bahalandyryrlar. Bu häsiýetli temperaturany \bar{O}_D belgi bilen belleýäris. Debaýyň temperaturasy kristalda oýanyp biljek ýylylyk yrgyldylarynyň maksimal ýylylygyny kesgitleýär:

$$\bar{O}_D = h\nu_{\max}/k$$

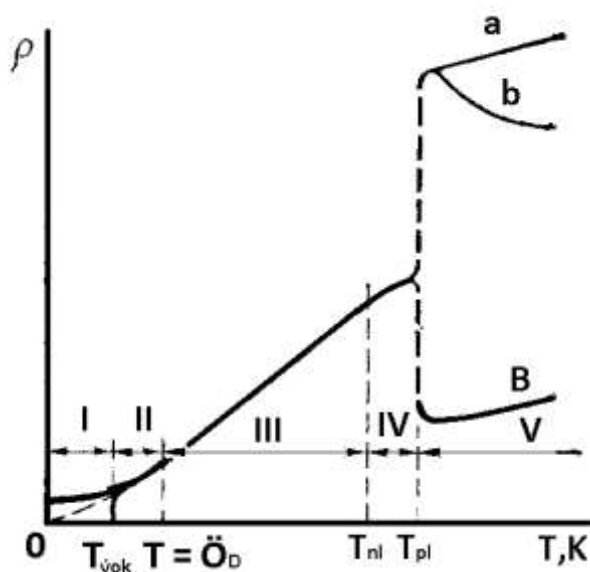
Bu temperatura kristalliki gözenegiň düwünleriniň arasyndaky baglanyşygyň güýjüne bagly bolyp gaty maddanyň wajyp parametri bolup durýar.

(2.15) aňlatmany (2.10) aňlatma çalşyryp şu netijä gelmek bolýar. Ýagny $T > \bar{O}_D$ bolanda metalyň udel garşylygy temperatura bilen çyzykly üýtgeýär:

$$S_T = \frac{1}{\gamma} = \frac{2\pi m_n^* k U_F}{e^2 k_{may}} T = WT \quad (2.16)$$

Tejribäniň görkezişine görä temperatura baglylygyň $\rho_T(T)$ çyzykly approksimasiýasy $(2/3)\bar{O}_D$ tertipli temperatura çenli adalatlydyr. Onda ýalňyşlyk 10% geçmeýär. Metallaryň köpüsi üçin *Debaýyň häsiýetli* temperaturasy 400-450K geçmeýär. Şonuň üçin çyzykly golaýlaşma adaty otag temperaturasynda we ondan ýokary temperaturada adalatlydyr. Pes temperaturaly çäkde ($T \ll \bar{O}_D$) nirde udel garşylygyň düşmegi ýylylyk yrgyldylarynyň täze-täze ýygylýklarynyň aýrylmagy bilen şertlendirilen ýerde teoriýa derejeli baglylygy $\rho_T \sim T^5$ duýdurýar. Fizikada bu gatnaşyk *Blok-Grýunaýzeniň kanuny* hökmünde belledir. Derejeli

baglylyk $\rho_T(T)$ birden ýüze çykýan temperatura interwaly adaty bolmaýar, derejani görkezijiniň tejribe aňlatmasy 4 –den 6-a çenli aralykda ýatýar.



Surat 2.4. metal geçirijiniň udel garşylygynyň giň diapozonynyň temperaturasyňa baglylygy. a) b) B) dürli metallaryň udel garşylygynyň ýtgemeginiň görnüşleri

Metal geçirijiniň udel garşylygynyň temperatura baglylygynyň mahsus egri çyzygy (2.4 suratda) görkezilendir. Metallaryň bir toparynyň birnäçe kelwin düzýän dar aralygynda ýokary geçirijilik ýüze çykyp bilýär we suratda $T_{ýokary}$ temperaturada udel garşylygyň bökmegi görünýär. Kadaly gurluşly arassa metallarda temperaturanyň (OK) ymtylmasynda udel garşylyk hem 0-a ymtylýar (üzňükli çyzyk) emma erkin ylgamanyň uzynlygy bolsa tükeniksizlige ymtylýar. Hatda adaty temperaturada hem metalda elektronlaryň erkin ylgamagynyň uzynlygy atomlaryň arasyndaky aralykdan ýüzlerçe esse geçýär.

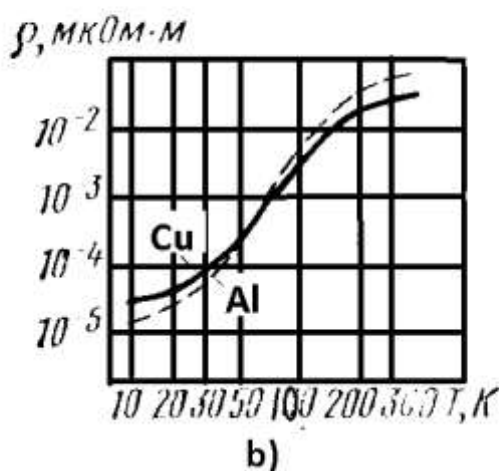
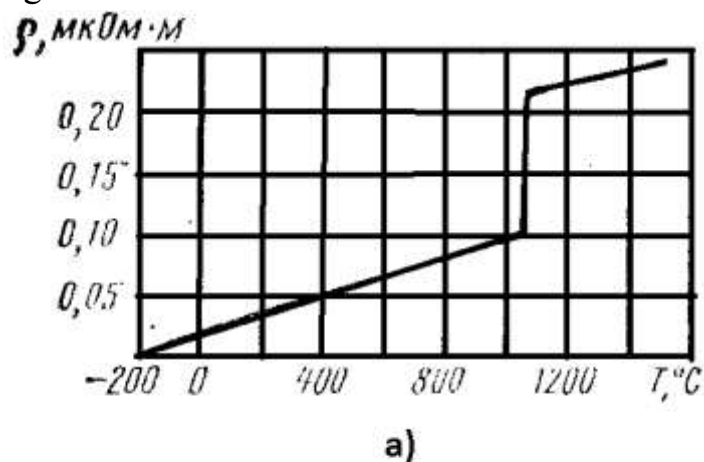
0°C-da metallaryň birnäçesi üçin elektronlaryň erkin ylgamagynyň ortaça uzynlygy (\bar{l} 10^{10} m) .

Li 110	Cu 420
Na 350	Ag 570
K 370	Fe 220
Ni 133	Au 410

Geçiş oblastynyň II çäginde udel garşylyk $\rho \sim T^n$ çalt ösýär nirde n 5-e çenli ýetip bilýär we $T = T_D$ bolanda temperaturanyň ~ 1 çenli ösmegi bilen kem-kemden kemelýär.

Çyzykly bölek (III oblast) köp metallarda $\rho(T)$ temperatura baglylygynda ereme nokadyna ýakyn temperatura çenli uzalyp bilýär. Nogsanlyklarynda elektronlaryň goşmaça dargamasynyň orny bolan ferromagnit metallar bu düzgüniň kadasyndan çykýar. Ereme nokadynyň golaýynda IV oblastda adaty metallarda hem çyzykly baglylykdan birneme yza galma görünýär. Gaty haldan suwuk hala geçende köp metallarda udel garşylygyň takmynan 1,5-2 esse ýokarlanýandygyny görünýär. Ýöne käbir adaty däl halatda: wismuta we galliýe meňzeş çylşyrymly kristalliki gurluşly maddalarda eremeklik ρ kiçelmegi bilen geçýär.

Tejribe indiki kakunalaýyklygy ýüze çykarýar: eger metalyň eremegi göwrüminiň ulalmagy bilen geçse, onda udel garşylyk bökme görnüşinde ösýär; göwrümi garşylykly üýtgeýän metallarda ρ pese gaçýar. Ereme hadysasynda erkin elektronlardada, olara özara täsiriniň häsiýetindede aýdyň üýtgeме bolup geçmeýär. ρ üýtgemegine çözgütli täsiri atomlaryň ýerleşiş tertibiniň bozulmagy ýetirýär. Käbir metallaryň (Ga, Bi) özüni alyp barşyndaky kadadan çykma bu maddalaryň eremeginde



Surat 2.5

gysylyk görnüşiniň ulalmagy bilen düşündirilýär we atomlaryň ýylylyk yrgyldysynyň amplitudasynyň kiçelmegi bilen geçmelidir.

(2.5 a suratda) temperaturanyň uly interwalynda miss geçirijiniň udel garşylygynyň temperatura real baglylygy görkezilen, 2.5 b suratda bolsa goşmaça pes temperaturada. Hatda belli bolşy ýaly 10-20 temperaturada misiň ýokary geçirijiligi ýüze çykarylmaýdyk hem bolsa, misiň udel garşylygy kiçidir we 20⁰ C-da ρ-dan has diýen ýaly üç tertibe tapawutlanýar.

Temperaturanyň bir Kelwin(gradus) üýtgemeginde udel garşylygyň otnositel üýtgemegi udel garşylygyň temperaturaly üýtgemegi diýlip atlandyrylýar:

$$\alpha_p = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} \quad (2.17)$$

Položitel α_p belgi temperatura ýokarlandynylanda berlen nokadyň daş-töwereginde udel garşylygyň ösmegine laýyk gelýär. Şeýle hem α_p ululyk temperaturanyň funksiýasy bolup durýar. Çyzykly baglylyk oblastynda $\rho(T)$ şu deňleme adalatlydyr.

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha_p (T - T_0)].$$

Nirde ρ_0 we α_p –temperatura diapazonynyň başyna degişli edilen udel garşylygyň temperatura koeffisiýenti we udel garşylykdyr, ýagny T_0 temperatura; ρ -T temperaturada udel garşylyk .

(2.16) we (2.17) formulalardan görüňýär, ýagny arassa metallaryň α_p aňlatmasy $1/T$ ýakyn bolmaly. Tejribeleriň maglumatlary bilen ylalaşyklylykda köp metallarda otag temperaturasynda $\alpha_p \approx 0,004 K^{-1}$ bolýar. *Ferromagnit metallarda* α_p birnäçe uly häsiýetlendirilýär.

Praktikada α_p ölçemekde indiki formuladan peýdalydyr:

$$\alpha_p = \alpha_R + \alpha_l.$$

nirde α_R -şu rezistoryň (aktiw garşylygyň) garşylygynyň temperatura koeffisiýenti: α_l - materialyň çyzykly giňelmeginiň temperatura koeffisiýenti.

Arassa metallarda $\alpha_p \gg \alpha_l$, şonuň üçin olarda $\alpha_p \approx \alpha_R$. Emma gyzgyna durnukly metal erginlerda şunuň ýaly ýakynlaşma adalatsyzdyr.

§ 2.4. Garyndylaryň we beýleki gurluş nogsanlyklaryň metalyň udel garşylygyna täsiri.

Bellenip geçilişi ýaly metalda elektron tolkunlarynyň dargamagynyň sebäbi diňe bir gözenegiň düwünleriniň ýylylyk yrgyldysy bolma, eýsm gurluşuň statiki

nogsanlyklary hem bolup durýr. Ýagny olar kristalyň potensial meýdanynyň periodikligini bozýar. Gurluşyň statiki nogsanlyklaryndaky dargama temperatura bagly däl. Şonuň üçin temperaturanyň absolýut nula ýakynlaşmagy bilen real metallaryň garşylygy käbir hemişelik aňlatma ymtylýar. Oňa galyndy garşylyk diýilýär. (2.4 sur.ser). Bu ýerde *Mattissen*niň düzgüni gelip çykýar.

$$\rho = \rho_T + \rho_{\text{Oct}},$$

ýagny metalyň doly garşylygy – kristalliki gözenegiň düwünleriniň ýylylyk yrgyldysynda elektronlaryň dargamagy bilen şertlendirilen garşylygyň we gurluşyň statiki nogsanlyklarynda elektronlaryň dargamagy bilen şertlendirilen garşylygyň jemidir.

Käbir kritiki temperaturadan aşakda garşylygyny ýitirýän ýokary geçiriji metallar bu düzgüniň kadasyndan çykýar.

Real geçirijide elmydama ýa hapalanma görnüşinde, ýa-da legirleýji (ýagny bilkaslaýyn girizilen) element görnüşinde bolýan garyndylarda dargama galyndy garşylyga has wajyp goşant goşýar. Islendik garyndyly goşundy ρ ýokarlanmagyna getirýändigine üns bermek gerek; hatda onuň esasy metal bilen deňeşdirilende geçirijiligi ýokary bolsada, mis geçirijä kümüşiň 0,01 bölek garyndysy goşulanda misiň udel garşylygy 0,002 mk Om.m ýokarlanýar.

Garyndynyň mukdary az bolanda udel garşylygyň garyndy atomlaryň kousentrasiýasyna proporsionallykda artýandygy tejribede anyklanylýan. Bu tejribeli kanunalaýyklyk indiki düşündirmäni berýär. Garyndyly dargama real geçirijide.

$$1/T = 1/L_T + 1/L_n \quad (2.18)$$

gatnaşyk bilen kesgitlenýän elektronlaryň erkin ylgamasynyň uzynlygyny çäklendirýär, nirde L_T we L_n – ýylylyk yrgyldylarynda we garyndyda dargamany häsiýetlendirýär. Garyndynyň atomyna dargamanyň S_n käbir kese kesimli şary görnüşinde garap, (2.13) analagy boýunça diňe garyndylardaky dargama bilen çäklenen erkin ylgamanyň uzynlygy L_n üçin ýazýarys.

$$1/L_n \approx N_n S_n$$

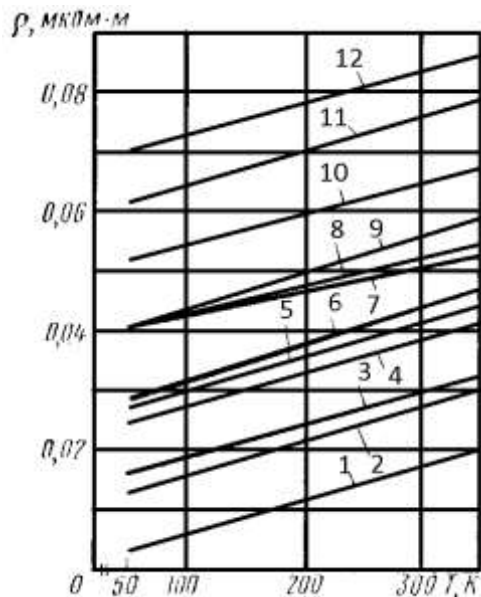
Nirde N_n - göwrüm birliginde garyndy atomlarynyň sany.

Dargamanyň iki mehanizminiň hem goşandyny göz önünde tutup, geçirijiniň doly udel garşylygy üçin alýarys.

$$\rho = \frac{m_n * U_F}{e^2 n l} = \rho_T + \frac{m_n * U_F S_n}{e^2 n} N_n \quad (2.19).$$

Mattiseniň düzgüniniň illýustrasiýasy 2.6 suratdyr. Ondan görnüşi ýaly arassa misiň we onuň düzüminde az mukdarda (takmynan 4 at %) indiý, sürme, galaýy we

myşýak saklaýan erginiň udel garşylygynyň temperatura baglylygy özara paralleldir;geçiş metally erginler üçin bu düzgünden birneme gyşarma görünýär. Mattiseniň düzgüninden gyşarmalaryň sebäbiniň biri metalyň maýyşgak häsiýetine garyndynyň täsiri bilen baglanyşyklydyr we ol kristalliki gözenegiň yrgyldyly spektriniň üýtgemegi bilen bolýar.



Surat 2.6.

Dürli garyndylar metal geçirijiniň galyndy garşylygyna dürli täsir edýär. Garyndyly dargama-nyň netijeliligi gözenekde täsirlenme potensial bilen kesgitlenýär. Onuň ähmiýeti metal erediji bilen garyndy atamlarynyň walentliligi birnäçe güýçli tapawutlansa, şonçada ýokarydyr.

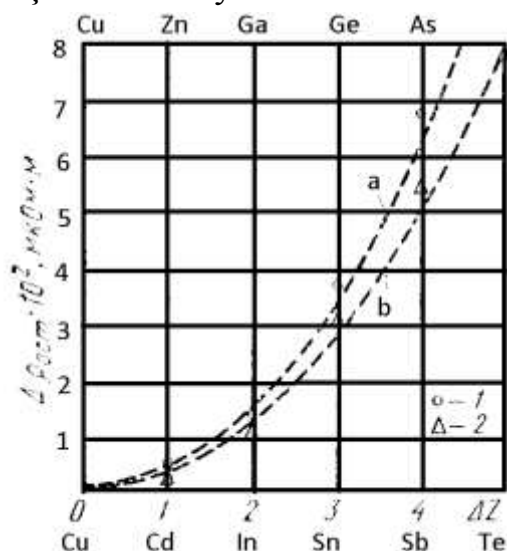
Bir walentli metallar üçin galyndy garşylygyň 1 at % garynda üýtgemegi indiki kanuna laýyklyga boýun bolýar:

$$d\rho_{gal} = a + b (dZ)^2, \quad (2.20).$$

nirde a we b- metalyň tebigatyna we elementleriň Periodiki sistemasynda garyndy atomyň tutýan periodyna bagly konstanda ; dZ –metal-erediji we garyndy atonyň walentliliginiň tapawudy.

(2.20) gatnaşyk fizikada Lindeniň düzgüni hökmünde bellidir. Ondan gelip çykyşy ýaly geçirijiligiň peselmegine metalloid garyndylaryň täsiri metal elementleriň garyndysynyň täsirine seredende güýçlidir. Bu kanuna laýyklygyň tassyknamasy 2.7 suratda berlen tejribe maglumatlarydyr. Garyndylarda başdaça galyndy garşylyga gurluşyň hususy nogsanlyklary –wakansiýalar(boş ýerler) atomyň goşulmagy, dislokasiýalar, dänejik araçägi hem käbir goşant goşýar. Nokat görnüşli nogsanlyklaryň konsentrasiýasy temperatura bilen eksponensial artýar we

ereme nokadyna golaýlaşanda ýokary bahasyna ýetip bilýär. Ondan başgada ýokary energi-ýanyň bölejikleri bilen şöhlendirilende materialda boş ýerler we düwünara atomlar aňsat döreyär; meselem reaktordan neýtronlar ýa-da tizlendirijiden ionlar bilen şöhlendirilýär.



Sutar 2.7.

Garşylygyň ölçenilen bahasy boýynça gözenegiň radiasion zeperlenme derejesi barada aýtmak bolýar. Şeýlelikde şöhlendirilen nusganyň gaýtadan dikeldilmegine gözegçilik etmek bolýar.

Misiň galyndy garşylygynyň nokatly nogsanlygynyň 1 at %-e üýtgemegi : boş ýer bolan halatynda 0,010-0,015 mK·Om·m; atom goşulan halatynda 0,005-0,010 mK·Om·m düzýär.

Galyndy garşylyk metalyň himiki arassalygynyň we gurluş kämilliginiň duýgur häsiýetnamasy bolup durýar. Praktikada aýratyn ýokary arassalykly metallar bilen işlenende garyndynyň mukdaryny bahalandyrmak üçin otag temperaturasynda we suwuk geliniň temperaturasynda udel garşylygyň gatnaşygyny ölçeyärler:

$$\beta = \rho_{\text{zod}} \rho_{4.2}.$$

Metal näçe arassa bolsa, β bahasy hem şonça ulydyr. Häzirki zamanda alynýan has arassa metallarda (arassalyk derejesi 99,99999%) β parametriň bahasy 10^5 tertipedir.

Metallaryň we erginleriniň udel garşylygyna dartgynly ýagdaý tarapyndan döredilýän typma uly täsir edýär. Bu täsiriň derejesi güýjiň häsiýeti bilen kesgitlenilýär. Meselem, hemme tarapyndan gysylanda metallaryň köpüsiniň udel garşylygy peselýär. Bu atomlaryň ýakynlaşmagy we gözenegiň ýylylyk yrgyldysynyň amplitudasynyň kiçelmegi bilen düşündirilýär.

Maýyşgak süýndirilmede we towlanylmada atomara aralyklar ulalýar. Bu elektronlaryň dargamagynyň güýçlenmegi we ρ ösmegi bilen geçýär. Hereket

edýän güýjüň içinden tok goýberilýän şertinde maýyşgak süýndirmäniň we gysmanyň täsiri şu formula bilen kesgitlenýär:

$$\rho = \rho_0 (1 \pm \varphi \sigma), \quad (2.21).$$

nirde $\varphi = \frac{1}{\rho} \frac{\delta \rho}{\delta \sigma}$ – basyş boýunça udel garşylygyň koeffisiýenti; δ - nusganyň kesiginde mehaniki güýç (2.21) aňlatmada plýus belgisi süýndirilmedäki deformasiýa degişli, minus belgi bolsa- gysylmadaky deformasiýa laýyk gelýär. Adatça φ koeffisiýenti $(1 \div 5) 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$

Plastiki deformasiýa (formasyny üýtgetme) we berçin hemişe metallaryň we metal erginleriň udel garşylygyny ýokarlandyrýar. Bu ýokarlanma arassa metallarda hatda köp berçin bolandada prosent birligini düzýär. Ýylylyk bilen berkeme ρ ýokarlanmagyna getirýär,

ýagny gözenegiň typmagy bilen içki güýjiň döremegi bilen baglanyşykly. Ýylylyk bilen gaýtadan işlemek ýoly bilen rekristallaşmada udel garşylyk ilki başky bahasyna çenli peselip bilýär, sebäbi nogsanlyklaryň bejerilmegi bolup geçýär.

§ 2.5. Metal erginleriniň elektrk häsiýeti.

Tehnikada tertipleşdirilende gaty ergin gurluşy bolan metal erginler giňden ulanylýar. Gaty ergin emle gelende metal–eredijiniň kristalliki gözenegi saklanýar, diňe onuň peridy üýtgeýär

Birmeňzeş hilli kristalliki gurluşy bolan köp metallar islendik gatnaşykda garyşýarlar, ýagny gaty erginleriň üznüksiz hataryny emele getirýärler. Şonuň bilen bir hatarda komponentleriniň özara ereýjiligi çäkli bolan ýa-da gaty fazada düýbünden eremeýän metal sistemalar hem bar.

Dürli hilli atomlaryň kristalliki gözenegiň düwünleri boýunça statistiki paýlanmagy kristalyň periodiki potensial meýdanynyň uly şluktuasiýasyny ýüze çykarýar. Ol hem öz gezeginde elektronlaryň güýçli dargamagyna getirýär. Metallaryň halatyndaky ýaly metal erginleriniň hem doly garşylygyny iki goşulyşmanyň jemi

$$P_{\text{ergin}} = \rho_T + \rho_{\text{gal}} \quad (2.22).$$

nirde ρ_T gözenegiň ýylylyk yrgyldylaryna elektronlaryň dargamagy bilen şertlendirilen garşylyk; ρ_{gal} – galyndy garşylyk – metal erginiň gurluşynyň birjynsly dældigine elektronlaryň dargamagy bilen baglanyşykly.

Gaty erginleriň mahsuslygy şundan durýar, ýagny ρ_{gal} – galyndy garşylyk ýylylyk düzüjiden birnäçe esse geçýär.

Köpsanly iki komponentli metal erginleri üçin ρ_{gal} -ň düzüme baglylykda üýtgemegi.

$$P_{gal}=C_{x_A}x_B=C_{x_B}(1-x_B) \quad (2.23)$$

görnüşli paraboliki baglylyk bilen gowy ýazylýar, Nirde C-metal erginiň tebigatyndan bagly konstanta; x_A we x_B -metal erginde komponentleriň atom bölegi.

(2,23) gatnaşyk *Nordgeýmiň kanuny* diýen ady aldy. Ondan gelip çykýar, ýagny ikili gaty erginlerde A-B galyndy garşylyk B atomy A metala goşanda-da, A atomlary B metala goşanda-da ýokarlanýar we üýtgame simmetriki egri çyzyk bilen häsiýetlendirilýär. Gaty ergileriň yzygider hatarynda öz düzümi boýunça metal ergin arassa komponentlerinden näçe daş bolsa, şonçada udel garşylyk uly bolýar. Galyndy garşylyk komponentleriň mukdary deň bolanda ($x_A = x_B = 0,5$). özüniň maksimal bahasyna ýetýär.

Nordgeýmiň kanuny yzygider gaty erginlerde udel garşylygyň üýtgemegini şu halatda, egerde düzümiň üýtgemeginde fazalaýyn geçiş ýüze çykmasa we komponentleriň hiç biri geçýän ýa-da çäýrek ýerli elementlere degişli bolmasa takyk suratlandyrylar. Oňa meňzeş sistemalaryň mysaly Au-Ag, Cu-Ag, Cu-Au, W-Mo we beýleki metal erginlerdir.

Komponentleri geçiş toparyň metallary bolan gaty erginler özlerini birneme başgaça alyp barýar. Bu ýagdaýda komponentleriň ýokary konsentrasiýasynda galyndy garşylygyň ululy-gynyň uludygy görünýär, ol bolsa walentli elektronlaryň bir böleginiň geçiş metallaryň atomynyň içki doldurylmadyk d-gabygyna geçmegi bilen baglanyşyklydyr. Ondan başgada şuna meňzeş metal erginlerde maksimal ρ köplenç 50 %-den tapawutly konsentrasiýa laýyk gelýär.

Metal erginiň udel garşylygy näçe uly bolsa, x_p şonça kiçidir. Bu gaty erginlerde ρ_{gal} -ň düzgün bolşy ýaly ρ_T - den geçýändiginden gelip çykýar we temperatura bagly däl. Temperatura koeffisiýentiniň kesgitlenişi bilen ylalaşyklykda

$$\alpha_{\rho}^{er} = \frac{1}{\rho_{er}} \frac{d\rho_{er}}{dT} = \frac{1}{\rho_{gal} + \rho_T} \frac{d\rho_T}{dT} \quad (2.24).$$

Arassa metallaryň α_p bir-birinden ujypsyzja tapawutlanýandygyny göz önünde tutup, (2.24) aňlatmany indiki görnüşde geçirmek bolýar.

$$\alpha_{\rho}^{er} = \frac{1}{1 + \rho_{gal} / \rho_T} \frac{1}{\rho_T} \frac{d\rho_T}{dT} \approx \frac{\alpha_{\rho}^{met}}{1 + \rho_{gal} / \rho_T} \quad (2.25).$$

Konsentirlenen gaty erginlerde ρ_{gal} adatça ρ_T bir we ondan köp tertip geçýär. Şonuň üçin α_p^{er} arassa metalyň α_p has pes bolup bilýär. Ýylylyga durnukly geçirijili materiallaryň alnyşy şuna esaslanandyr. Köp halatlarda metal erginiň udel garşylygynyň temperatura baglylygy (2.22) additiw kanunalaýyklykdan gelip çykýandakydan has çylşyrymlydyr. Metal erginleriň udel garşylygyň temperatura koeffisiýenti (2.25) gatnaşygyň görkezýäninden aýdyň kiçi bolup bilýär. Bellenen anomaliýalar (kadadan çykma) mis-nikel erginlerinde aýdyň ýüze çykýar.

Käbir metal erginlerde komponentleriň belli bir gatnaşygynda otrisatel x_p görmek bolýar.

Metal erginleriň komponentleriniň prosent mukdaryndan ρ we α_p – nyň şunuň ýaly üýtgame-sini şeýle düşündirmek bolýar, ýagny arassa metallar bilen deňeşdirmek has çylşyrymly düzümlü we gurluşly metal erginlerine klassiki metallar ýaly seretmek bolmaýar, ýagny olaryň geçirijiliginiň üýtgemegi diňe elektronlaryň erkin ylgamagynyň uzynlygynyň üýtgemegi bilen dälde, eýsem ýokary temperaturalarda kähalatlarda zarýad göterijiniň konsentrasiýasynyň bölekleyin ýokarlanmagy bilen hem şertlendirilýär.

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen erkin ulgamynyň uzynlygynyň kiçelmegi zarýad göterijileriň konsentrasiýasynyň ösmegi bilen kompensirlenýän metal erginleriň udel garşylygynyň temperatura koeffisiýenti nuldyr.

Suwuklandyrylýan erginlerde, haçanda komponentleriniň biri (meselem B komponent) örän pes konsentrasiýasy bilen häsiýetlendirilse we oňa (2.23) formulada ýitgisiz garyndy hökmünde goramak mümkin bolsa takyklyk üçin $(1-x_B) \approx 1$ goýmak bolýar. Onda galyndy garşylyk bilen metaldaky garyndy atomlaryň arasyndaky çyzykly baglylyga gelýäris:

$$\rho_{gal} = Cx_w,$$

nirde konstanta C 1 at % garyndyda galyndy garşylygyň $\Delta\rho_{gal}$ üýtgemegini häsiýetlendirýär.

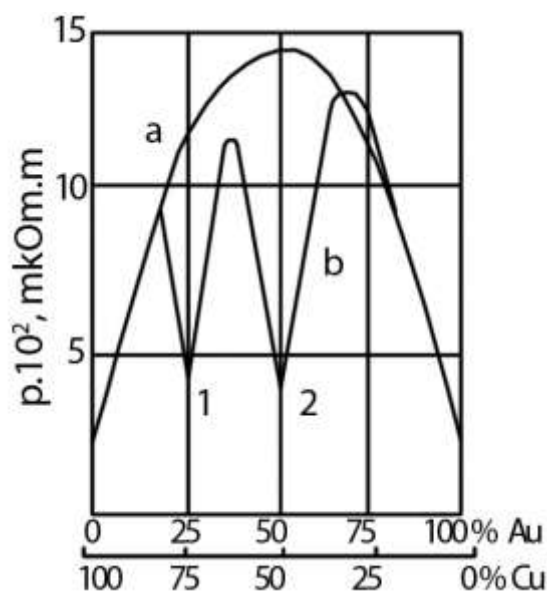
Käbir metal erginler egerde olar taýýarlanylanda düzüminiň belli bir proporsióany saklanan bolsa, tertipleşdirilen gurluşy emele getirmäge ýylgynlyk edýär. Tertipleşdirilmäniň sebäbi bir hilli atomlar bilen deňeşdirende dürli jynsly atomlaryň himiki özara täsiriniň has güýçlüligin

-de jemlenýär. Gurluşlaryň tertipleşmegi kritiki (ýa-da Kurnakowyň temperaturasy) diýlip atlandyrylýan käbir häsiýetli T_{kr} temperaturadan aşakda geçýär. Meselem 50 at % Cu we 50 at% Zu (β -latun) saklaýan metal ergininiň göwrüme merkezleşen kubiki gurluşy bar.

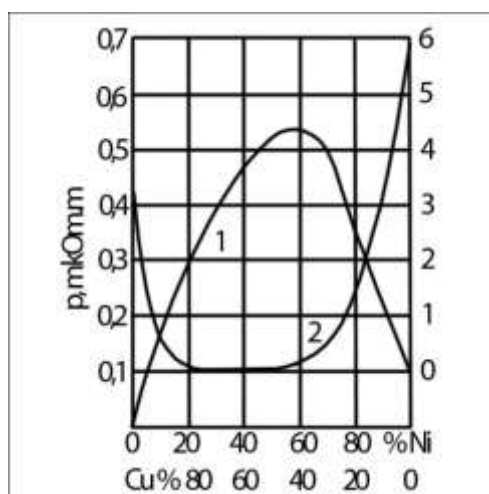
$T > 360^\circ\text{C}$ -da mis we siňk atomlary gözenegiň düwünleri boýunça statistiki tötänleýin paýlanan. Bu kritiki temperaturadan aşakda metal ergini şeýle

tertipleşýär, ýagny onuň gurluşy CsCl kristalyň (1.8 b sur.ser) gurluşyna meňzeş bolýar, ýagny misiň atomlary kubyň depesinde, siňk atomlary bolsa, kub görnüşli öýjükleriň merkezinde ýerleşýär.

Tertipleşdirilen gurluş diňe ekwiatom düzümlü metal erginlerde bolmaýar. Meselem, Cu-Au tertipleşme AuCu we Cu_3Au düzümlerde görünýär. Tertipleşdirilen gurluşlar gaty erginiň udel garşylygynyň peselmeginden emele gelýär. (2.8 sur.ser).



Surat 2.8.



Surat 2.9.

Şoňa meňzeş tejribe maglumatlary elektrogeçirijiligiň kwant teoriýasynyň ynandyryjy tassyknamasy bolýar. Muňa laýyklykda gaty maddalaryň elektrik garşylygynyň sebäbi erkin elektronlaryň gözenegiň atomlary bilen çaknyşmagy däl-de, olaryň göni simmetriýanyň bozulmagyna jogapkär gurluş nogsanlyklarynda

dargamagydyr. Gaty ergin tertipleşdirilende gözenegiň atomlaryň elektrostatiki meýdanynyň periodikligi dikeldilýär. Şol sebäpli elektronlaryň erkin ylgamasynyň uzynlygy ulalýar we goşmaça garşylyk düýbinden doly ýitýär.

Haçanda ikili sistemanyň komponentleri gaty halda özara ereýjiligi ýüze çykarmasa, kris-tallaşmadan soň gatan metal ergin iki fazaly garyndy görnüşde bolýar. Şunuň ýaly geterofaz metal erginleriň udel garşylygy ilkinji golaýlaşmada düzümiň üýtgemegi bilen çyzykly üýtgeýär, ýagny uly ρ bahaly metalyň düzümine proporsionallykda ösýär. Emma bir jynsly däl materiallaryň elektrik häsiýetiniň uly gurluş duýgurlygynyň güýjinde ýönekeý additiwlilikden göze görünýän gyşarmalar bolup bilýär. Meselem, eger fazalaryň biri üznüksiz baglanyşykly enelik esasy emele getirse, onda garyndynyň udel geçirijiligini indiki formula boýunça hasaplamaly.

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \gamma_0 \left[1 + \frac{\theta \nu}{(1 - \theta \nu) / 3 + \gamma_0 / (\gamma_1 - \gamma_0)} \right],$$

nirde γ_0, γ_1 - enelik esasyň we ikinji fazanyň goşulmasynyň geçirijiligi; θ_0 – goşulmanyň göwrüm bölegi.

§ 2.6. Uly ýygylklarda geçirijileriň garşylygy .

Uly ýygylklarda geçirijiniň kesimi boýunça elektrik tok deňölçegsiz paýlanýar: toguň dykzlygy üst ýüzünde maksimal bolup, geçirijiniň içine girdigiçe peselýär. Bu hadysa ýüzleý netije (içkin effekt) diýilýär.

Toguň deňölçegsiz paýlanmagy şol geçirijiniň magnit meýdanynyň täsiri bilen düşündirilýär.

Geçiriji sim (prowod) bilen ileşen magnit akymy toga proporsionaldyr:

$$\Phi = Li,$$

nirde L-geçirijiniň induktiwliligi.

Magnit akymynyň üýtgemegi e.d.s öz induksiýasynyň ýüze çykmagyna getirýär.

$$e_L = - L \frac{di}{dt}$$

Egerde tok sinusoidal kanun boýunça üýtgesse, onda indusirlenýän e.d.s ýygylgy proporsionaldyr:

$$i = I_m \sin \omega t; \quad e_L = - \omega L I_m \cos \omega t.$$

E.d.s öz induksiýasynyň ugry geçiriji simdäki toguň garşysynadyr we onuň üýtgemegini Lensiň kanunyna laýyklykda togtadýar. Üýtgeýän tok geçende üýtgeýän magnit meýdany hem geçirijiniň içinde, hem daşynda döreýär, hem-de bu meýdana gatnaşygy boýunça geçiriji simiň kesiminiň dürli bölekleri birmeňzeş däl şertlerde ýerleşýärler. Hakykatdanda, akym ilişmesi içki merkezi sim üçin maksimaldyr we geçirijiniň ýüzleý gatlaklary üçin minimaldyr.

Şonuň üçin e.d.s öz induksiýasy geçirijiniň merkezinde maksimaldyr we daş ýüzüne gitdigiçe ösýär. Degişlilikde toguň dykzlygy hem geçirijiniň merkezi böleginde güýçli gowşaýar, üst ýüzünde bolsa az derejede üýtgeýär. Ýygylgyň ösmegi bilen toguň geçirijiniň üst ýüzüne gysylp çykarylmasý güýçli ýüze çykýar, sebäbi e.d.s öz induksiýany ýygylgyga proporsional

-dyr. Egerde geçirijiniň üst ýüzüniň egrilik radiusy toguň esasy bölegini saklaýan çuňlugy bilen deňşdirende uly bolsa, onda oňa madda bilen doldurylan tükeniksiz ýarym giňişlik hökmünde goramak bolýar.

Geçiriji ýarymgiňişlik üçin toguň ugruny x ok diýip, üst ýüzi $-Z$ ok diýip kabul edip we paýlanmany x okuň ugrunda üýtgemän galýar diýip hasap edip, geçirijiniň kesimi boýunça toguň paýlanyşynyň indiki deňlemesini alýarys:

$$J_x(z) = J_0 \exp(-z/\Delta),$$

Nirde J_0 - üst ýüzde toguň dykzlygy; Δ - meýdanyň geçirijä girmeginiň çuňlugy.

Toguň dykzlygy hem elektrik meýdanyň dartgynlylygyndaky kanun boýunça üýtgeýär, diýmek $J = \gamma E$.

Meýdanyň dartgynlylygynyň amplitudasynyň yzygiderlilikde toguň dykzlygynyň geçiri-jiniň üst ýüzünde öz bahasyna gatnaşygy boýunça e esse kiçelýän aralyga meýdanyň çuňluga girişi deňdir. Üst ýüzünden aýryldygyça diňe bir meýdanyň amplitudasy däl-de, eýsem $-z/\Delta$ elektromagnit yrgyldylarynyň fazany hem üýtgeýär, ýagny geçiriji sredanyň içinde yrgyldylar üst ýüzündäki yrgyldylara bolan gatnaşygy faza boýunça gijä galýar.

Ýüzleý netijeliligiň ýüze çykyşynyň gaty ýitiligi diňe bir ýygylgy ulalanda güýçlenmän,

eýsem materialyň magnit geçirijiligi μ we udel geçirijili γ ulalanda hem güýçlenýär. Bu magnit geçirijiniň μ ulalmagynyň geçiriji simiň içinde akymyň ulalmagyna getirýändigini bilen düşündirilýär, ýagny geçirijiniň induktiwliginiň L ösmegine getirýär, emma udel geçirijiligiň γ ulal-magy e.d.s öz induksiýasynyň

täsirini güýçlendirýär. Meýdanyň içine geçmeginiň çuňlugynyň maddanyň fiziki häsiýetleri bilen baglanyşygy şu aňlatma bilen kesgitlenýär.,

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega y \mu_0 \mu}} = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_0 \mu y}}, \quad (2.26)$$

nirde $\mu_0 = 4 \pi 10^7$ Gn/m –magnit hemişeligi .

Ýüzleý netijelilik güýçli ýüze çykan halatynda toguň bahasy şu formula boýunça hasaplanylýar:

$$I = P \int_0^{\infty} J_0 e^{-z/\Delta} dz = J_0 P \Delta \quad (2.27)$$

Nirde P – geçirijiniň kesiminiň perimetri; tegelek görnüşli kesimli geçiriji sim üçi $P = \pi \Delta$.

Ýokary ýygylýklarda toguň dykzlygy uly bolmadyk ýüzleý gatlakdan başga kesimiň hemme böleklerinde nula deňdir. Şonuň üçin integrirlenme çäginin (2.27)-de ∞ -çenli giňelmegi hasaplamanýň netijesine täsir ýetirmeýär. (2.27) formula real geçirijiniň kesimi boýunça üýtgeýän toguň dykzlygynyň eksponensial paýlanmagy Δ galyňlykly inçe gatlagyň çäginde J_0 dykzlygy bilen bir jynsly dargamagyna ekwiwalentdir. Şonuň esasynda ýokary ýygylýkly meýdanyň täsir etmeginde tok bilen doly geçirijiniň kesiminiň ekwiwalent meýdany diýen düşüňjani girizýäris:

$$S_e = P \Delta = \pi d \Delta.$$

Geçirijiniň kesiminiň merkezi bölegi bas diýen ýaly ulanylmaýar, R geçiriji simiň aktiw garşylygynyň R_0 hemişelik tokdakysyna garanda onuň aktiw gaşylygy onuň üstünden üýtgeýän tok geçende uludyr. Tegelek S_0 silindriki rowodyň garşylygynyň k_R ulalma koeffisiýentini şu formula boýunça hasaplaýarys:

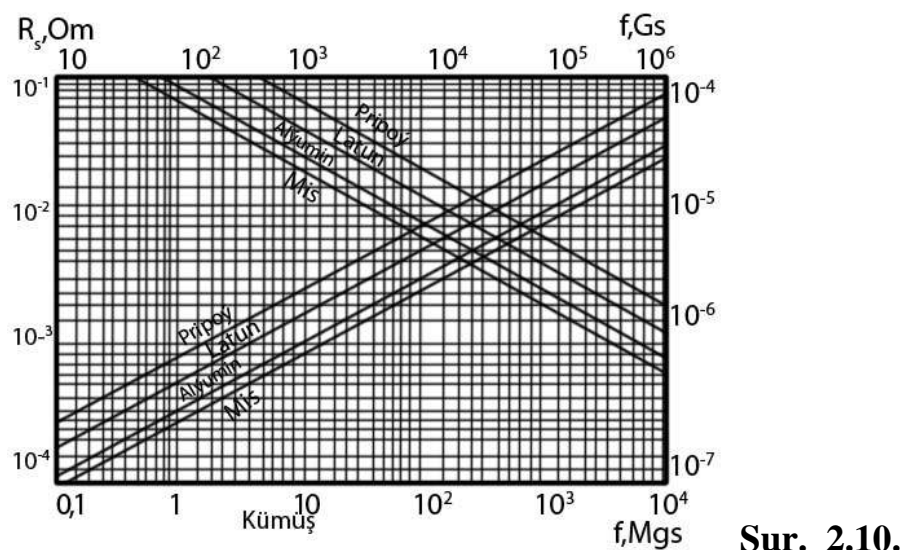
$$k_R = \frac{R_{\sim}}{R_0} = \frac{S_0}{S_e} = \frac{\pi d^2/4}{\pi d \Delta_0} = \frac{d}{4\Delta} \quad (2.28)$$

(2.28) formula $\Delta \ll d$ bolanda adalatlydyr. Radioteknikada ýasy geçirijiler üçin ýörite häsiýet-nama ulanylýar- R_s üst ýüzüň kwadratynyň (OM -da) kesgitlenýän garşylygy we

$$R_s = \rho / \Delta \quad (2.29)$$

aňlatmadan görkezilişi ýaly, ýagny tükeniksiz galyňlygy bolan ýasy geçirijiniň R_s aktiw garşylygy ýüzleý netijelilik halatynda hemişelik tok üçin Δ galyňlykly ýasy geçirijiniň garşylygyna deňdir.

Käbir wajyp metallar we metal erginler üçin R_s bahasy we Δ geçiş çuňlугy ýygylga baglylykda 2.10 suratda görkezilendir.



Sur. 2.10.

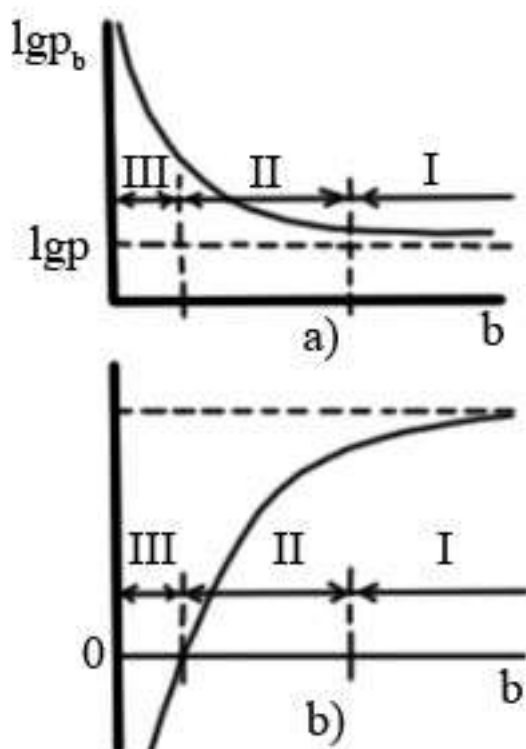
§ 2.7. Ýuka metal örtükleriň garşylygy. Ölçeg netijeliligi.

Mtal örtükler mikroelektronikada element ara birleşmeler, galtaşýan meýdançalar,

kondensatorlaryň gaty, integral shemalaryň mgnit we rezistiw elementleri hökmünde giňden ulanylýar. Metallaryň we metal erginleriň ýuka örtükleriniň elektrik häsiýetli ilki başky geçiriji materialyň göwrüm nusgasynyň häsiýetlerinden kän tapawutlanyp bilýär. Şunuň ýaly tapawutlaryň sebäpleriň biri ýokary wakuumda molekulýar dessejikleriň kondensasiýany usuly arkaly alynýan ýuka örtükleriň gurluşynyň dürliligi bolup durýar. Kondensasiýa şertleriniň özgermeğinde örtük emele getirýän gurluş tertipsiz ownuk dispers halyndan (amorf kondensat) kämilleşen monokristalliki gatlagyň (epitaksial örtük) gurluşyna çenli üýtgäp bilýär.

Örtük ýagdaýynda materialyň häsiýetiniň üýtgemeginiň beýleki bir sebäbi ölçeg netijeliligiň

ýüze çykmagy bilen baglanyşyklydyr. Köplenç elektro geçirijilikde ölçeg netijeliligi haçanda örtügiň galyňlygyny elektronlaryň erkin ylgamasynyň orta uzynlygyndan ölçenip bolýan halatynda ýüze çykýar. Bu halatda materialyň udel garşylygynyň nusganyň geometriki ölçeglerine garaşsyzlygy baradaky ýol berilme adalatsyz bolýar. Örtükleriň gurluşy olaryň



2.11 surat.

kondensasiýasynyň dürli stadiýalarynda üýtgemäni 2.11 suratda udel garşylygyň ρ_s we udel garşylygyň temperatura koeffisiýentiniň $\alpha_{\rho s}$ örtügiň galyňlygyna mahsus baglylygy görkezilendir. Üznükli çyzyk bilen geçirijiniň göwrüm nusgasy üçin ρ we α_ρ bahalary görkezilendir. Örtükleriň köpüsinde funksional baglylykda $\rho(s)$ üç sany dürli oblast görünýär. **I oblast** 0,1 mkm we ýokary golaý galyňlyga gabat gelýär. Bu oblastda udel garşylyk köpçülikleýin nusgalaryň garşylygyna golaýdyr.

II oblast $S \cdot 10^{-1}$ –den 10^{-2} mkm çenli üýtgemne aralygyny öz içine alýar. Bu meýdançada örtügiň udel garşylygy köpçülikleýin nusganyň garşylygyndan uludyr, emma $\alpha_{\rho s}$ nula golaýlaşýar. **III oblast** 10^{-3} mkm tertipli galyňlyga degişli bolup örän ýokary udel garşylygy we udel garşylygyň ortisatel temperatura koeffisiýenti bilen häsiýetlendirilýär.

Görkezilen baglylyklary düşündirmek üçin kondensasiýanyň irki stadiýalarynda ýuka örtükleriň ada görnüşli gurluşynyň bardygyna üns bermeli, ýagny ygallaşdyrylan metalyň az mukdarynda onuň bölejikleri dielektrik ýatakda aýry-aýry dürli dänejikler- adajyklar görnüşinde ýerleşýärler. Örtügiň elektrogeçirijiligi metal käbir minimal mukdarda ygallaşdyrylanda ýüze çykýar, ýöne metalyň adajyklarynyň arasynda entäk birleşdiriji köpri emele gelmänke ýüze çykýar. Elektrik meýdany goýlanda (örtügiň tekizliginde) goňşy böle-jikleriň arasyndaky darajyk dielektrik jaýryklardan elektronlaryň geçmegi bolýar. Zarýadyň geçirilişine jogapkär mehanizm- bu termoelektron emussiýa we tunnelirlemedir;

köplenç Ferminiň derejesinden ýokarda ýerleşen elektronlar tunnelirlemäge ukyplydyr. Elektronlaryň geçişi ýokary temperaturada ýeňilleşdirilýär. Ondan başgada adajykly gurluşly örtügiň garşylygy köplenç metal dänejiklerini saklamaýan bölejikleriň ýüzleý garşylygy bilen kesgitlenýär. Emma dielektrikleriň garşylygy temperaturanyň ýokarlanmagy bilen pese gaçýar. Bu sebäpler bolsa kiçi galyňlykdaky örtügiň ortisatel α_p şertlendirilýärler.

Ygallaşdyrylan metalyň mukdary ýokarlananda adajyklaryň arasyndaky jaýryklaryň ululugy kiçelýär, örtügiň geçirijiligi ösýär, otrisatel α_p moduly boýunça kiçi bolýar, emma soňra belgisini üýtgedýär. Örtügiň α_p belgi çalşygynyň bolup geçýän galyňlygynyň bahasy metalyň jynsyna, örtügiň emele gelmeginiň şertine, garyndynyň konsentrasiýasyna, galybyň üst ýüzüniň ýagdaýyna baglydyr we real ýagdaýlarda birnäçe monometri düzýär.

Maddanyň dowam edýän kondensasiýa hadysasynda galynda bölejikleriň-adajyklaryň birleşmesi we ilki başda geçiriji zynjyrlaryň we kanallaryň, soňra bolsa yzygider bir jynsly gatlagyň emele gelmegi bolup geçýär. Ýöne üznüksiz örtükde hem udel garsylyk başky geçirijiniň udel garşylygyndan uludyr. Ol nogsanlyklaryň - boş ýerleriň dislokasiýalaryň, dänejik çäkleriniň köp bolmagynyň netijesidir. Örtügiň häsiýetine galyndy gazlardan siňdirilen galyndylar uly täsir edýär. Örtügiň çökdürilýän wagtynda garyndy atomlarynyň ol tarapyndan gabalyp alynmagy dänejikleriň çägene göçmekliginiň netijesinde bolup bilýär. Dänejikleriň araçägi boýunça diffuziýa örtügiň göwrümi boýunçadaka seredeňde çalt geçýär. Dänejikleriniň araçäginde okislenme sezewar edilen örtük elektriki taýdan üznüksiz däl, hatda fiziki taýdan olar üznüksiz bolsada. Dänejikleriň okislenen araçäkleri garşylygyň otrisatel temperatura koeffisiýentini ýokarlandyrýar. Ol adajykly örtüklerdäki ýaly bolup geçýär.

Örtügiň udel garşylygynyň ýokarlanmagyna ölçegli netijelilik hem, ýagny elektronlaryň erkin ylgamagynyň uzynlygynyň olaryň nusganyň üst ýüzünden serpikdirilmegi netijesinde gysgalmagyna ýardam berýär. Maltiseniň düzgünine esaslanyp, ýagny elektronlaryň göwrümde we üst ýüzünde dargama hadysasy statistiki taýdan örtükde elektronlaryň erkin ylgamasynyň uzynlygy \bar{l}_δ üçin garaşsyzdyr, additiwdir diýip, ýazýarys.

$$1/\bar{l}_\delta = 1/\bar{l} = 1/\bar{l}_s,$$

Nirde \bar{l} we \bar{l}_s -göwrümde we üst ýüzünde darganda elektronlaryň erkin ylgamasynyň uzynlygy (2.19) hasaba alyp, $\bar{l}_s \approx \delta$, gödek golaýlaşmasyna esaslanyp alýarys.

$$\rho = \frac{m_n^* u_F}{ne^2 \bar{l}_\delta} = \rho \left(1 + \frac{\bar{l}}{\delta} \right), \quad (2.30)$$

nirde ρ - materialyň udel göwrüm garşylygy. Elektronlaryň otag tempereturasynda ýüzleý dargamagy arassa metallaryň örtükleriniň uly bölegini, egerde olaryň galyňlygy 200-300 Ampr - dan kiçi bolsa uly täsir edýär. Ýöne pes temperaturaly, haçanda materialyň göwrümünde elektronlaryň erkin ylgamagynyň uzynlygy artsa, ölçegi netijeleriniň täsiri örtügiň has uly galyňlygynda ýüze çykýar. Örtügiň üst ýüzi bilen diňe maýyşgak däl galtaşma erkin ulgamynyň uzynlygy çäklendirýär. Elektronynyň çaknyşmadan soň hereket edýän ugrunyň şunuň ýaly çerpikdirilmegi onuň ilki başky trayektoriasyna bagly dälendir.

Ölçegli netijeliligi hasaba alýan udel garşylyk üçin (2.30) formula seredende elektroeçirijiliik teoriýasy has takyk aňlatma berýär.

$$\rho_{\delta} = \rho \left[1 + \frac{3}{8} (1 - F_0) \frac{\bar{l}}{\delta} \right] \text{ üçin } \delta/\bar{l} > 1,$$

$$\rho_{\delta} = \rho \left[\frac{4}{3} \frac{\bar{l}}{\delta} \frac{1 - F_0}{1 + F_0} \left(\ln \frac{\bar{l}}{\delta} \right)^{-1} \right] \text{ üçin } \delta/\bar{l} \ll 1,$$

Nirde F_0 -üst ýüzden maýyşgak serpikdirilen elektronlaryň bölegini häsiýetlendirýän ýylpyldawuklyk parametri.

Örtügiň emele gelmeginiň we ösmeginiň häsiýetiniň köpsanly faktorlara baglydygy sebäpli, praktikada birmeňzeş galyňlykly örtükler üçin P_{ϕ} bahasynyň takyk gawatlaşmasyny almak kyndyr. Şonuň üçin ýuka örtükleriň geçiriji häsiýetini deňeşdirip bahalandyrmak üçin kwadratyň garşylygy parametrinden R (ýa ölçegsiz kwadrata düşýän garşylyk ýada ýüzleý udel garşylyk) peýdalanylýar. Ol örtügiň iki garşylykly gapyrgasyndan tok geçende uzynlygy inine deň bolan böljigiň garşylygyna deňdir.

$$= \rho_{\delta}/\sigma. \quad (2.31)$$

Örtügiň galyňlygyny saýlap, udel garşylyga garşylyga bagly bolmazdan R üýtgetmek bolýar. Şonuň bilen birlikde R kesgitlemek üçin örtügiň galyňlygyny ölçemek talap edilýär. R_{\square} -yň kwadratyň ululygyna bagly dældigini göz önünde tutup, ýuka örtükli rezisteriň garşylygyny şu formula boýunça hasaplamak bolýar.

$$R = R_{\square} \frac{l_0}{a_0},$$

Nirde l_0 -toguň geçiş ugruna rezistoryň uzynlygy d_0 -örtügiň ini. Ýuka örtükli rezistorlary taýýarlamak üçin adatyça ýüzleý garşylygy 500-1000 Om /kwadrat bolan örtük gerekdir. Rezistor material hökmünde kyn ereýän metallar(wolfram, molibden, tantal, reniý, hrom) we nikelli hromly ergin has ýygý ulanylýar. Adatça

metallaryň örtük rezistorlarynyň artykmaçlygy –olaryň düzgüniniň hemişeligidir. Şonuň üçin hem olaryň gurluşynyň birjynslylygy yeňil üpjün edilýär. Bu bolsa, öz gezeginde elektrikde parametrleriniň ýokary durnuklylygyna getirýär. Kyn ereýän metallardan alnan käbir rezistiw örtükleriniň häsiýetnamany 2.12 suratda berlendir. Surat 2.12

§ 2.8. Galtaşma hadysalary we termo elektro hereketlendiriji güýç.

Iki sany dürli metallar galtaşanda olaryň arasynda potensiallaryň galtaşma tapawudy ýüze çykýar. Bu hadysany 1797-nji ýylda Italian fizigi A. Wolt açdy. Kwant teoriýasyna laýyklykda galtaşmada potensiallaryň tapawudynyň döremeginiň esasy sebäbi galtaşýan metallaryň Fermi energiýasynyň dürli bolmagydyr. Goý izolirlenen ýagdaýda elektron gaz A we B metallarda geçiriji zonanyň düýbinden başlap hasaplanan E_F^A we E_F^B , Ferminiň energiýalary bilen häsiýetlendirilsin (sur 2.13a)

Surat 2.13

Elektronlaryň çykyşynyň termodinamiki işi laýyklykda x_A we x_B deňdir. Ferni derejesinde ýerleşen elektronlaryň kinetiki energiýasy dürli metallarda dürlidir. Şonuň üçin metallaryň galtaşmasynda elektronlar E_F energiýanyň bahasynyň uly bolan çäginde, bu energiýanyň kiçi ýerine intensine geçmegi ýüze çykýar, ýagny B metaldan A metala. Hakykatdan hem elektronlar pes energiýaly ýagdaýy eýelemäge ymtylýarlar. Metallaryň birinde pes energiýaly ýagdaýyň boş galmagy, şol bir wagtda hem beýleki metalda has ýokary energiýaly ýagdaýyň doly bolmagy mümkin däl. Hakykat ýüzünde elektronlaryň B metaldan A metala geçmegi bu berilen sistemada elektronlaryň has pes energetiki derejä geçmegidir. Şunuň ýaly hadysanyň netijesinde B metal polozitel zarýatlanýar, A metal bolsa otrisatel zarýatlanýar. Olaryň arasynda zarýat göterijileriň soňdaky geçmegine päsgel berýän potensiallaryň tapawudy döreýär. Haçanda ýüze çykan meýdanyň güýjüni ýeňip geçmek boýunça elektronlaryň işi galtaşma arkaly geçýän elektronlaryň energiýasynyň tapawudyna deň bolanda deňagramlylyk döreýär (sur 2.13b)

$$eU_k = E_F^B - E_F^A.$$

Şeýlelikde potensiallaryň içki galtaşma tapawudy Ferminiň energiýasynyň tapawudy ýaly kesgitlenýär. Ol bolsa izolirlenen A we B metallar üçin geçiriji zonanyň düýbünden hasaplanyp başlanýar.

Galtaşma meýdanynyň bolmagy deňagramlylyk ýagdaýynda bir metaldan beýleki metala elektronlaryň akymynyň deňligini üpjün edýär. Ýagny

elektronlaryň bitertip hereketiniň tizligi örän beýik, deňagramlylyk $\sim 10^{-16}$ s dowamynda örän çalt amala aşyrylýar. Şol deňagramlylygyň şertlerinde Ferniniň derejesi iki metalda hem birmeňzeş bolmalydyr otrisatel zarýatlanan metalda energetiki dereje ýokaryk galyar, polozitel zarýatlanan metalda bolsa aşak düşýär. Oblastlaryň zarýady sebäpli derejeleriň deňleşmegi sebäpli elektronlaryň uly bolmadyk mukdary geçendede mümkindir. Galtaşma oblastyndaky ikileýin elektrik gatlagy **d**, örän ýuka(gözenegiň periodynyň tertibi) we galtaşma arkaly elektrik toguň geçmegine täsir etmeýär. Metallarda Ferniniň energiýasynyň bahany bir näçe elektron woltdyr, onda iki metalyň arasyndaky potensiallaryň galtaşma tapawudy ondan bir bölekden wolta çenli ýetýär. Yapyk zynjyry emele getirýän iki sany dürli geçirijiden düzülen termoelementa termojübit diýilýär. (sur 2.14) Yapyk kontaktlaryň dürli temperaturalarynda termoelektriki tok diýilip atlandyrylýan potensiallaryň tapawudy döreýär. Ilkinji gezek açandygy sebäpli onuň adyna bu hadysa Zeýebekiň efekti diýen ady aldy. Tejribeleriň görkezişi ýaly otnositel uly bolmadyk temperatura interwalynda termoelektrohereketlendiriji güýç kontaktlaryň temperaturalarynyň tapawudyna proporsionaldyr.

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

Bu ýerde α_T proporsionallyk koeffisientine otnositel defferensial ýada udel termoelektrik hereketlendiriji güýç diýilýär. α_T bahasy galtaşýan geçirijileriň tebigatyna we tempraturasyna baglydyr. Termo e.h.g. geçirijileriň ýapyk zyjyrlarynda gurnaýjydan düzülýär. Onuň birinjisi potensiallaryň kontakly tapawudynyň tempratura baglylygy bilen şertlendirilen. Metallarda tempraturanyň ýokarlanmagy bilen ferminiň derejesi hatda gowşak hem bolsa, energetiki şkala boýunça aşaga süşürilýär. Şonuň üçin gyzygyň ahyryna garanda, sowuk ahyry ýokarda ýerleşmelidir. Fermo e.h.g. kontaktky düzüjiniň ýüze çykmagy hem Ferminiň, derejesiniň süýşmeginiň netijesidir.

Termo e.h.g ikinji düzüjisi zarýat göterijileriň gyzgyn kontaktdan sowuk kontakta diffuziýasy bilen şertlendirilen. Metalda elektronlaryň orta energiýasy, hatda az hem bolsa, temperature bilen üýtgeýär. Gyzgyn ahyrda (ujunda) ýerleşen-elektronlaryň kinetiki energiýasy we hereket tizligi sowuk ahyryň göterijileriňki bilen deňşdirende birneme ulurakdyr. Şonuň üçin olar köp mukdarda temperature gradiýentiniň ugruna diffundirlenýärler. Diffusion akym gyzgyn ahyrdan sowuk tarapa otrisatel zarýad äkitmek bilen, olaryň olaryň arasynda potensiallaryň tapawudyny döredýär.

Termo e.h.g üçünji düzüjisi geçirijileriň ýapyk zynjyrynda elektronlaryň ýylylyk energiýasynyň kwantlary bilen gyzykmasy netijesinde döreýär. Olaryň akymy hem şonluk tarapa ýaýraýar. Termo e.h.g ähli düzüjileri Ferminiň

derejesine golaý we ondan kT tertipdäki ululyga daşda duran energetiki derejelerde ýerleşen elektronlaryň uly bolmadyk konsentrasiýasy bilen kesgitlenýär. Şonuň üçin metallar üçin udel termo e.h.g uly däldir. Kwant teoriýasy bir walentli metallaryň udel termo e.h.g üçin aşakdaky aňlatmany berýär:

$$\alpha_T \approx \pi^2 \frac{R}{e} \frac{RT}{E_F}.$$

otag temperaturasynda RT/E_F gatnaşygyň bahasy 10^{-3} şonuň üçin α_T birnäçe mk B/K düzmeli. Çylşyrymly zolakly gurluşy bolan metal erginlerini ulanmak bilen udel termo-e.h.g uly bahasyny almak bolýar.

Metal termo jübütler temperaturany takykyk ölçemek üçin giňden ulanylýar. Ölçeme hadysasynda kontaktlaryň biriniň temperaturasyny durnuklaşdyrmak zerurdyr.

Real şertlerde temperaturanyň aşak düşmegini aýyrmak mümkin däldir. Şonuň üçin elektrik zynjyrdä parazit termo-e.h.g ýüze çykýar. Elektro ölçeýji abzallaryň zynjyrynda olaryň täsirini peseltmek üçin λ_T bahasy pes bolan birigiji materiallary saýlamak gerek. Bir jynsly geçirijide, ýagny bir metaldan taýýarlanan geçirijide hem temperature gradiýentiniň bolmagyndan onuň ahyrlarynda ýokardaky agzalan sebäplere görä potensiallaryň tapawudy döreýär. Onuň geçirijiniň ahyrlarynda temperaturanyň ýekeleýin tapawudyna deňişli edilen bahasy absalýut termo-e.h.g diýlip atlandyrylýar. Termojübüt konturda otnositel udel termo-e.h.g geçirijini düzüjileriň absalýut udel termo-e.h.g tapawutlydygyny subut etmek bolýar:

$$\alpha_T = \alpha_T^A - \alpha_T^B \quad (2.32)$$

nirde α_T^A we α_T^B -birigiji A we B metallaryň absalýut udel termo-e.h.g.

(2.32) gatnaşykdan gelip çykyşy ýaly, egerde nudge höhkmünde kabul edilen bir materialyň udel termo e.h.g absalýut bahasy belli bolsa, onda islendik beýleki material üçin bu parametric bu etalona otnositellilikdäki ölçegleriň kömegi bilen alyp bolýar. Woltmetriň kömegi bilen simiň ugurlarynda potensiallaryň tapawudyny ölçände woltmetriň geçirijisini simiň iki ujy bilen çalt termiki deňagramlylyga gelyändigini göz önünde tutmaly. Şonuň üçin ölçemegiň netijesi otnositel termo e.h.s bolýar, sebäbi birikdiriji simleriň garşydaş e.h.g ýüze çykýar.

Etalon höhkmünde absalýut termo-e.h.g kesgitlemek üçin köplenç gurşun ulanylýar. Onuň termoelektrik häsiýeti örän gowşak ýüze çykandyr. Pes temperaturalarda has gowy etalon-aşa geçirijilerdir. Olaryň absalýut termo- e.h.g hemişe nula deňdir. Eger geçirijiniň gyzygyn ujy položitel zaryadlanan bolsa,

termo-e.h.g belgisi otrisatel hasaplanýar. Bu ýönekeý metallaryň köpüsi üçin häsiýetlidir. Umumy ýagdaýda absalýut termo-e.h.g temperaturada güýçli baglydyr we hatda gyzdyrylan halatynda belgisini üýtgedip bilýär. Dürli metallar üçin otag temperaturasyna golaý temperaturada absalýut udel termo-e.h.g san taýdan bahasy goşulmada getirilendir.

BÖLÜM III

GEÇIRIJI MATERIALLAR

§.31. Geçiriji materiallaryň toparlara bölünişi.

Häzirki wagtda geçiriji materiallaryň umumy kabul edilen klassifikasiýasy ýok. Fizikada, himiýada we tehnikada geçiriji materiallar dürli alamatlary boýunça toparlara bölünýärler. Geçirijileriň düzümi, häsiýetleri we tehnikada ulanylyşy boýunça klassifikasiýasynyň mümkin bolan shemalaryň biri 3.1 suratda berilendir.

§.3.2 Ýokary geçirijilikli materiallar.

Materiallaryň bu toparyna kadaly şertlerde udel elektrik garşylygy 0.1mk Om.m-den uly bolmadyk geçirijileri degişli etmek kabul edilendir. Bu materiallaryň arasynda boş giň ýaýrany mis we alýuminiýdir

Mis Misiň geçiriji material hökmünde ulanylmagyna mümkinçilik berýän artykmaçlygy aşakdakylardyr:

- 1.kiçi udel garşylygy (ähli metallaryň arasyndan diňe kümüşiň udel garşylygy misiňkiden birneme pesiräkdir);
- 2.ýeterlik ýokary mehaniki berkligi;
- 3.köp halatlarda kanagatlandyryjy poslama durnuklylygy (hatda ýokary çygly şertlerde hem mis howada haýal okislenýär, meselem demire seredende; misiň güýji okislenmegi diňe ýokary temperaturalarda geçýär (surat3.2)
- 4.gowy işlenip bejerijiligi- mis list , lenta görnüşinde ýazylýar we sim görnüşinde uzalýar. Onuň galyňlygy millimetriň müňden birine çenli eltilip bilinýär;
- 5.otnositel ýeňil galaýylanyşy we kebşirlenişi.

Sur 3.1 sur 3.2

Misiň alnyşy. Mis tebigatda köp duş gelyän suljit magdanlary gaýtadan işlemek arkaly alynýar. Magdan birnäçe gezek eredilenden we intensiw ýol berilip bişirilenden soň elektrotehniki maksatlar üçin ulanyljakmis hökman elektrolitik arassalama sezewar edilýär. Misiň elektrolizden soň alynan katod plastinalary 80-90 kg bolmanka (eredilip galyba guýulan metal) täzeden eredilenden soň talap edilýän kese kesimi bolan önüm görnüşinde ýazylýar we uzaldylýar.

Sowuk süýüp ýasamak arkaly alnan gaty misiň (MG markaly), (gaty we çekdirilen) berçiniň täsiri zerarly çözdurylanda ýokary berklik çägi we pes

otnositel uzalmaklygy bar, şeýle hem epilende gaty we maýyşgak; gaty misden alnan sim biraz çeýe bolýar.

Egerde mis gyzdyrylyp toplansa, ýagny birnäçe ýüzlerçe gradusa çenli gyzdyrylyp, soň sowadylsa, onda ýumşak (MM markaly) mis alynýar. Onuň gatylygy we berkligi pes, ýöne uzalmaklygy otnositel uly (seredilen umumy kanunalaýyklyklara laýyklykda) we udel geçirijiligi has ýokarydyr.

Misiň gyzdyrylyp toplanmasy howa barmaýan ýörite peçlerde geçirilýär, ýagny okislenmesinden gaça durulýar. Gyzdyrylyp toplanmanyň misiň häsiýetine täsiri (3.3 suratda) şekellendirilýär. Ondan görnüşi ýaly gyzdyrylyp toplananda misiň mehaniki häsiýetleri has birden üýtgeýä, udel garşylygy bolsa az üýtgeýär.

Surat 3.3

20°C temperaturada gyzdyrylyp toplanan ýagdaýda metallaryň we metal erginleriň prosentdäki aňlatmasyna görä standart misiň udel geçirijiligi 58 Mom/m, ýagny $\rho=0.017241\text{mk Om.m}$

Misiň markalary. Standart misiň göýberilýän markalarynyň arasyndan geçiriji material hökmünde M_1 we M_0 mis ulanylýar. Markaloma esasan metalda garyndylaryň mukdary boýunça geçirilendir. M_1 mis 99.90% Cu saklaýar, emma garyndylaryň umumy mukdarynda (0.10%) kislorod 0.08% den geçmeli däl. Kislorod misiň iň bir zyýanly garyndysy bolup durýar. Onuň mukdary artanda, misiň mehaniki we tehnalogiki häsiýetleri ýaramazlaşýar, şeýle hem galaýylama kynlaşýar. 0.1%-den köp kislorod saklaýan mis gyzgyn gaýtadan işlenilende ýeňil bozulýar, ýagny gyzył portluga eýe bolýar.

Mo mis (99.95%Cu) gowy mehaniki häsiýetlere eýedir. Onuň düzüminde 0.05%-den köp bolmadyk garyndy, şol sanda 0.02%-den ýokary bolmadyk kislorod bar. Şunuň ýaly mis eremäniň ýöriteleşdirilen düzgüni arkaly alýarlar. Mo misden has inçe sim taýýarlamak bolýar.

Misiň ýöriteleşdirilen görnüşleri. Elektrowakuum tehnikasynda misiň kislorod saklamaýan görnüşleri ulanylýar. Olary dikeldiji gazyň CO goraýjy atmosferasynda gaýtadan eredilen elektrolitik misden alýarlar. Mis gyzdyrylanda bölünip çykýan kislorod uglerodyň zakisi bilen reaksiýa geçýär we kömürturşy gazy görnüşinde aýrylyp gidýär. Gowy kislorotsyz mis 99.97% Cu saklaýar. Ýene-de has arassa metal wakuum misidir. Ol gazyň galyndy basyşy 10^{-3} Pa bolan wakuum induksion peçlerde grafit gaplarda eredilip alynýar. Ol 99.99% Cu saklap bilýär. Kisloroddan azat bolan mis mehaniki berkligi we elektrik geçirijiligi boýunça adaty usulda gaýtadan eredilen elektrolitik misden az tapawutlanýar. Onuň bar bolan aýratynlygy ýokary çeýeligidir.

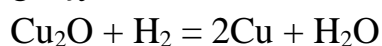
Misiň häsiýetleri. Misiň udel geçirijiligi garyndynyň bolmagyna duýgurdyr (ser §2.4 sur.2.7). Diýmek, misden 0.5% Zn, Cd ýa-da Ag garyndysy bolsa, onuň udel geçirijiligi 5% peselýär. Şol mukdarda Ni, Sn ýa-da Al bolsa, misiň udel

geçirijiligi 25-40% peselýär. Be, As, Pe, Si ýa-da P misiň udel geçirijiligi 55% we ondan hem köp peseltmek bilen has uly täsir edýär. Şol bir wagtda köp metallaryň goşulmagy misiň mehaniki berkligini we gatylygyny sowukda çekdirilen, şeýle hem gyzdyrylyp toplanan ýagdaýlarynda ýokarlandyrýar (sur 3.4)

Misiň ýetmezçiligi onuň okis we sulfid örtükleri emele getirmek bilen atmosfera poslamasyna duçar bolujylygydyr. Okislenme tizligi gyzdyrylanda çalt ösýär (sur 3.2 ser), ýöne okis örtügiň metal bilen birikme uly däl. Okislenme netijesinde mis gowşak akymly kontaktlar üçin ýaramsyzdyr. Ýokary temperaturada elektrik ýaýynda mis okisi metal üst ýüzüni ýalaňçalamak bilen dissosirleýär. Okis örtügiň metal gatlaklaýyn gapmasy we termiki dargamagy güýçli tokda mis kontaktlarynyň iýilmegine getirýä.

Wodorod misiň mehaniki häsiýetlerine uly täsir edýär. Wodorodly gyzdyrylyp toplanandan soň misiň gatylygy birnäçe esse peselip bilýär.

Wodorod tehniki misde Cu_2O zakis görnüşinde bolýan kislorod gatnaşanda has güýçli zaýalaýjy täsir edýär. Wodorod ýokary temperaturalarda metalyň içine aňsatlyk bilen girip, reaksiýa girişýär.



Metalda suw bugundan emele gelýän basyş onuň diffuziýa tizliginiň pesligi sebäpli birnäçe münlerçe atmosfera ýetip bilýär. Bu materialyň wakuum dykzlygyny bozýan we oňa döwürlegenlik we portluk berýän kiçi-ownuk jaýryklaryň emele gelmegine getirýär. Önümçilikde bu hadysa wodorod keseli diýilýär. Kislorodyň 0.001% den az mukdaryny saklaýan misde wodorod keseli düýbünden bolmaýar. Emma kislorodsyz misde hem wodorodda ýylylyk bilen toplanandan soň ýokary temperaturalarda (300-800°C) maýyşgaklygyň ýaramazlaşmagyny görmek bolýar. Ýagny gyzdyrylanda misde wodorodyň gaty ergininiň dargamagy bolup geçýär. Bölünip çykýan gaz uly basyş astynda bolmak bilen metaly ýarýar we esasan dänejikleriň araçägi boýunça toplanýar. Sordurylanda bu ýerler gowşak uçastoklar bolýar.

Misiň ulanylyşy. Mis elektrotehnika paýlaýjy gurluşlaryň simlerini, kabellerini maşynlaryň sargysyny, abzallaryň we gurallaryň tok getiriji detallaryny, galwanostegiýada we golwanoplastikada anodlary taýýarlamak üçin ulanylýar. Mis lentalary kabelleriň ekraný hökmünde ulanylýar. Gaty mis haçanda aýratyn ýokary mehaniki berklik, gatylyk we iýilmä garşylyk zerur bolan halatynda ulanylýar. Meselem izolirlenmedik simleri taýýarlamak üçin. Egerde gowy maýyşgaklyk we çeýelik talap edilýän bolsa, çözülmaklyga bolan berkliginiň ähmiýeti ýok bolsa, onda ýumşak mis ulanmak maksada laýykdyr (meselem montaj simleri we şnurlary üçin). Misiň ýöriteleşdirilen elektrowakuum görnüşinden klistronlaryň, magnetronlaryň şaýlary, kuwwatly generator lampalaryň anodlary, SWÇ abzallaryň energiýa çykaryjylary, tolkun ugrukdyryjylar we rezonatorlaryň käbir

görnüşleri taýýarlanylýar (ýasalýar). Ondan başgada mis folga örtülen genitaks (sintetiki mum siňdirilen kagyz gatlamasy) taýýarlamakda ulanylýarlar we mikroelektronikada galyba çökdürilen örtük görnüşinde ulanylýar. Bu örtük shemanyň funksional elementleriniň arasynda geçiriji birleşmäniň roluny oýnaýar.

Aýnanyň giňelme koeffisiýenti bilen deňeşdirende çyzykly giňelmäniň koeffisiýentiniň uludygyna garamazdan, mis aýnalar bilen kontaktlar üçin ulanylýar. Sebäbi onuň birnäçe ajaýyp häsiýetleri: pes akaganlyk häsiýetleri bar. Aýnada galaýylap goýmak üçin mis elektroda ýuka rantik görnüşli ýöreteleşdirilen görnüş berilýär.

Alýuminiý.

Aiýumininiň we misiň häsiýetleriniň deňeşdirmesi. Ähmiýeti boýunça ikinji (misdan soň geçiriji material alýuminidir. Alýuminiý-kümüşsow ak reňkli metal bolup, ýeňil metallaryň wajyp biridir. Alýumininiň udel garşylygy misiň udel garşylygyndan 1.6 esse uludyr, ýöne alýuminiý misdən 3.5 esse ýeňildir. Dykzlygynyň kiçiligi sebäpli agram birliginde uly geçirijilik üpjün edilýär, ýagny birmeňzeş garşylykda we birmeňzeş uzynlykda alýuminiý simleri mis simlerden iki esse ýeňildir. Mis bilen deňeşdirilende alýuminiý tebigatda has giň ýaýran we arzanlygy bilen häsiýetlendirilýär. Bellenilen ýagdaýlar alýumininiň elektrotehnikada giňden ulanylmagyny şertlendirýärler. Alýumininiň ýetmezçiligi onuň mehaniki berkliginiň pesligidir. Gyzdyrylyp toplanan alýumininiň döwürlemeklige berkligi gyzdyrylyp toplanan mise seredende üç esse kiçidir.

Alýuminiý glinozemi Al_2O_3 kriolitiň Na_3AlF_6 ergininde 950°C temperaturada elektroliz edip alynýar.

Alýumininiň markalary. Elektrotehniki maksatlar üçin 0.5%-den köp bolmadyk garyndy saklaýan, tehniki taýdan arassa alýuminiýAЭ ulanylýar. AЭ aýuminiden ýasalan we $350 \pm 20^\circ\text{C}$ temperaturada gyzdyrylyp toplanan simleriň udel garşylygy 20°C -da 0.0280mkOm.m-den uly däl. Ýokary derejede arassa A97 (0.03%-den köp bolmadyk garyndy) alýuminiý folgasyny, elektrolitik kondensatorlaryň korpuslaryny we elektrodalaryny ýasamak üçin ulanylýar. Aýratyn arassalykda A999 alýuminide garyndylar 0.001%-den geçmeýär. Onuň arassalygyna suwuk geliniň temperaturasynda galyndy udel garşylygynyň bahasy, ýagny $4 \cdot 10^{-6}$ mkOm.m-den geçmeli däl boýunça gözegçilik etýärler. Dürli derejedäki dürli garyndylar alýumininiň udel geçirijiligini peseldýärler (sur 3.5) Nikel, kremniý, sink, demir, myşýak, sürme, gurşun we wismut ýaly garyndylaryň 0.5% mukdarda goşulmagy gyzdyrylyp toplanan ýagdaýda alýumininiň udel

geçirijiligini 3-3%-e çenli peseldip bilýär. Misiň, kümüşiň we magniniň garyndylary has aýdyň täsir etýär.

Surat . 3.5 .

Olar agramy boýunça şol bir mukdarda alýumininiň udel garşylygyny 5-10% peseldýärler. Wanadiniň, titanyň, marganensiň goşulmagy alýumininiň udel garşylygyny örän güýçli peseldýär. Alýuminiý bilen gaty erginleri emele getirmeýän garyndylar onuň elektrik geçirijiligine az täsir edýär, gaty ergin emele getirýän garyndylar bolsa, ony aýdyň peseldýär:(siňkden başgasy). Gyzdyrylanda öz ereýjiligini ýokarlandyrýan garyndylaryň gatnaşmagynda toplama alýumininiň garşylygyny ýokarlandyrýar. Tehniki alýuminide esasy garyndylar kremniý we demirdir.

Alýuminini ýazmak (tekizlemek), süýndürmek we gyzdyryp toplamak mis üçin laýyk gelýän operasiýalara meňzeş geçirilýär. Alýuminiden ýazdyrmak arkaly ýuka (69-7mkm) folga almak bolýar. Ol kagyz kondensatorlaryň örtügi hökmünde ýa-da üýtgeýän sygymly kondensatorlaryň plastinasy hökmünde ulanylýar.

Alýumininiň käbir fiziki häsiýetleriniň temperature baglylygy (3.6. suratda) görkezilendir, 0°C-dan pes temperaturada udel garşylygynyň temperature baglylygy bolsa -2.5, b suratda görkezilendir. Suwuk azotyň temperaturasynda udel garşylygyň bahasy boýunça alýuminiý tas diýen ýaly mise deňeşýär, ýene-de has pes temperaturalarda bolsa hatda ondan hem gowy bolýar. Şonuň üçin alýuminini krio geçiriji hökmünde ulanmaklyk has maksada laýykdyr.

Surat 3.5.

Alýumininiň üst ýüzi . Alýuminiý aktiw okislenýär we uly elektrik garşylykly ýuka okis örtügi bilen örtülýär. Şonuň ýaly örtük alýuminini poslamadan goraýar, emma alýuminiý simleriň galtaşma ýerlerinde uly geçiş garşylygyny döredýär. Şol sebäpli alýuminini adaty ýol bilen galaýylamak mümkin däl. Şonuň üçin alýuminini galaýylamak üçin ýöriteleşdirilen pripoý-postalar ulanylýar ýa-da ultroses galaýy çekijiler ulanylýar. Ygtybarly elektrik izolýasiýany döredýän has

Galyň dus gatlagyny alýuminiý elektrohimiği işläp alýarlar.

Oksid izolýasiýasy mehaniki taýdan berk we gyzgynadurnukly; ol örän inçe bolup bilýär.(galyňlygy 0.03mm bolan okis gatlagynyň deşiş güýji 100W, galyňlygy 0.04 mm bolsa, -250W golaý)

Oksidirlenen alýuminiden goşmaça towlam ara we gatlak ara izolýasiýasyz tegekleriň dürli görnüşini ýasaýarlar. Simleriň desid izolýasiýasynyň ýetmezçiligi onuň çäkli maýyşgaklygydyr (aýratyn hem okis gatlagy galyň bolanda) we aýdyň çyglylyk siňdirijiligidir (haçanda oksid izolýasiýasynyň ýokary gyzgyna durnuklylygy talap edilmese, onda ony lak bilen örtýärler).

Oksid izolýasiýasy elektrolitik kondensatorlarda has giňden ulanylýar; şeýle hem göneldijileriň we zarýadsyzlandyryjylaryň käbir görnüşinde ulanylýarlar.

Praktikada mis bilen alýuminiň galtaýan ýerini galwaniki poslamadan goramak barada goragyň wajyp ähmiýeti bardyr. Egerde galtaşýan ýeri çygyň täsirine sezewar edilse, onda e.h.g. bahasy ýeterlik derejede uly bolan ýerli galwaniki jübüt ýüze çykýar. Bu jübütiň polýarlylygy şeýle, ýagny galtaşmanyň daş ýüzünde tok alýuminiden mise gönükdirilen we şonuň netijesinde alýumin geçiriji pos bilen güýçli zaýalanyp bilýär. Şonuň üçin mis geçirijileriň alýuminiý geçirijiler bilen birleşýän ýeri çyglandyrmadan gowy goralan bolmalydyr(olary lak we ş.m. bilen örtýärler).

Alýuminiý örtügi integral mikroshemalarda kontaktlar we birleşmearalar shemanyň aýry-aýry elementleriniň arasyndaky baglanyşygy üpjün edýär. Kremniý plastinkalaryna örtügiň örtülmegi adaty wokuumda bugartma we kondensasiýa usuly arkaly amala aşyrylýar. Birleşme aralaryň talap edilýän suraty fotolitografiýanyň kömegi bilen döredilýär. Kontaktly material hökmünde alýuminiň artykmaçlygy şundan durýar, ýagny material ýeňil tozanlanýar, kremnä we SiO_2 -niň örtükli izolýasiýasyna gowy ýapyşylygy (adgeziýasy) bar. Ol ýarym geçiriji integral shemalarda giňden ulanylmak bilen fotolitografiýada gowy aýdyňlaşdyrmany üpjün edýär. Şeýle hem alýuminiý kremniý bilen gowy om kontakty emele getirýär.

Alýuminiň ýetmezçiligi-ol elektromigrasiýa köp dugar bolýar, ol bolsa garşylygyň ulalmagyna ýa-da hatda birleşmearalaryň üzülmeginde getirýär.

§ 33. Aşa geçiriji metallar we metal erginleri.

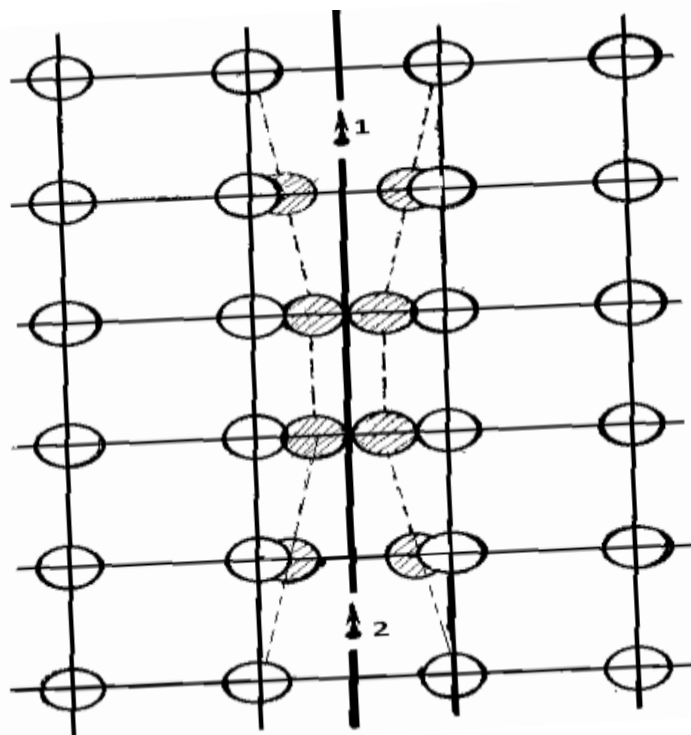
Aşageçirijilik hadysasy köp metallarda we metal erginlerde absolýut nula golaý temperaturada udel garşylygyň birden kiçelmegi ýüze çykýar. Bu hadysa *aşageçirijilik diýilýär*, aşageçiriji ýagdaýa geçmegiň bolup geçýän temperaturasy $T_{\text{aşa}}$ bolsa, geçmegiň *kritiki temperaturasy* diýilýär. Aşageçirijilik ilkinji gezek simapda ($T_{\text{aşa}} = 4,2 \text{ K}$) golland fizigi H. Kammerling-Onnesom tarapyndan ýüze çykarylypdyr.

Eger-de aşageçirijilerden düzülen halkada tok indusirlense (meselem, magnit meýdanynyň kömegi bilen) onda ol uzak wagta çenli sönmeýär. Halkada tutulan toguň magnit meýdanynyň kiçeliş tizligi boýunça aşageçiriji ýagdaýdaky

materialyň udel garşylygynyň bahasy işläp çykarylan. Onuň bahasy 10^{-25} Om·m golaý, ýagny ottag temperaturasynda misiň garsylygyndan 10^{17} esse kiçidir.

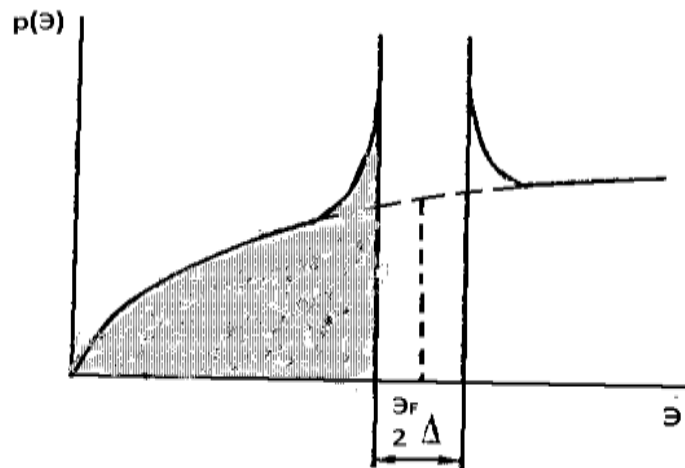
Aşageçirijiligiň fiziki tebigaty. Aşageçirijilik hadysasyny diňe kwant düşüňjesiniň kömegi bilen düşünmek we esaslandyrmak bolýar. Bu hadysa açylandan soň ýarym asyra çenli bu hadysanyň düýp esasy çözülmän galdy, sebäbi kwant mehanikasynyň usullary entäk gaty bedenleriň fizikasynda doly derejede ulanylanokdy. Aşageçirijiligiň ähli tejribe maglumatlaryny düşündirýän mikroskopiki teoriýasy 1957-nji ýylda amerikan alymlary Bardin, Kuper we Şuffer (BKŞ teoriýasy) tarapyndan hödürlenen. Sowet akademigi N.N. Bogolýubowyň işleri aşageçirijiligiň tepriýalarynyň ösmegine uly goşant goşdy.

Çözülen düşüňjelere laýyklykda aşageçirijilik haçanda metalda elektronlar bir-birine çekişen ýagdaýynda ýüze çykýar. Elektronlaryň çekillmesi diňe položitel zarýadlanan ionlary saklaýan sredada mümkindir. Diňe elektrogeçirijilige gatnaşýan elektronlar, ýagny Ferminiň derejesine golaý ýerleşen elektronlar çekilip bilýär. Egerde şunuň ýaly çekişmäniň orny bar bolsa, onda impulsyň garşylykly ugurly elektronlary jübütlere baglanylýar we kuperowyňky diýlip atlandyrylýar. Kuperowyň jübütleriniň emele gelmeginde elektronlaryň gözenegiň ýylylyk yrgyldylary bilen özara täsiri çözüji rol oýnaýar. Gaty bedende elektronlar fononlary hem siňdirip bilýär hem döredip bilýär. Indiki hadysany öz hyýalymyza getirýäris: elektronlaryň biri gözenek bilen özara täsir edişip ony oýanan ýagdaýa getirýär we öz impulsyny üýtgedýär; beýleki electron hem gözenek bilen özara täsirleşip, ony kadaly ýagdaýa getirýär, öz impulsyny-da üýtgedýär. Netijede gözenegiň ýagdaýy üýtgemeyär. Elektronlar bolsa ýylylyk energiýasynyň kwantlary fononlar bilen çalyşýarlar. Alyş-çalyş fonon özara täsiri elektronlaryň arasynda dartylma güýjüni ýüze çykarýar. Ol bolsa kulonowyň iberme güýjünden uludyr. Fononlar bilen alyş-çalyş gözenegiň gatnaşmagynda üznüksiz geçýär. Alyş-çalyş fonon özara täsiri ýönekeýleşdirilen görnüşde 3.7. suratda shema ýaly şekillendirilen.



Surat 3.7.

Položitel zarýatlananan ionlaryň arasynda hereket edýän electron gözenegi polýarlaşdyrýar, ýagny elektrostatiği güýç bilen golaýdaky ionlary ozone çekýär. Elektronyň traýektoryýasynyň daş-töwereginde ionlaryň şunyň ýaly süýşmegi zerarly položitel zarýadyň dykzyzlygy artýar. Birinji elektronyň yzyndan hereket edýän ikinji elektronyň artykmaç položitel zarýatlananan oblast tarapyndan çekilmegi tebigydyr. Netijede gözenek bilen özara täsirini hasabyna 1 we 2 elektronlaryň arasynda dartyлма güýji döreýär. Ikinji electron birinjiniň jübüdi bolýar-kupora jübüti emele gelýär. Dartyлма güýjüni uly dældigi sebäpli goşalanan elektronlar giňşlikde gowşak ornaşandyr. Kuperow jübütleriniň netijeli diametric 10^{-7}m deň, ýagny münlerçe elementar öýjükleri öz içine alýar. Bu jübüt emele gelmeler biri-birini örtýär, hemişe dargaýar we ýene täzeden döreýär, emma bütewilikde ähli jübütler electron kondensatyny emele getirýär. Onuň energiýasy kadaly elektronlaryň jeminiňkä garaňda içki özara täsiriň hasabyna kiçidir. Munuň netijesinde aşı geçirjiniň energetiki spektorynda energetiki $yş\ 2\Delta$ -energetik ýagdaýlaryň gadagan edilen oblasty ýüze çykýar. (Sur3.8)



Surar. 3.8

Jübütleşen elektronlar energetiki yşyň düýbünde ýerleşýärler. Şunuň ýaly elektronlaryň mukdary olaryň umumy sanyndan 10^{-4} töweregi düzýändigini görkezýär. Energetiki yşyň ölçegi temperature baglydyr. Absolýut nul temperaturada maksimal baha ýetýär we $T=T_{aşa}$ bolanda, doly ýitýär. BKŞ teoryýasy yşyň ini bilen geçişň kritiki temperaturasynyň indiki baglanşygyny (aragatnaşygyny) berýar:

$$2 \Delta_{ok} = 3,52 kT_{aşa} \quad (3.1)$$

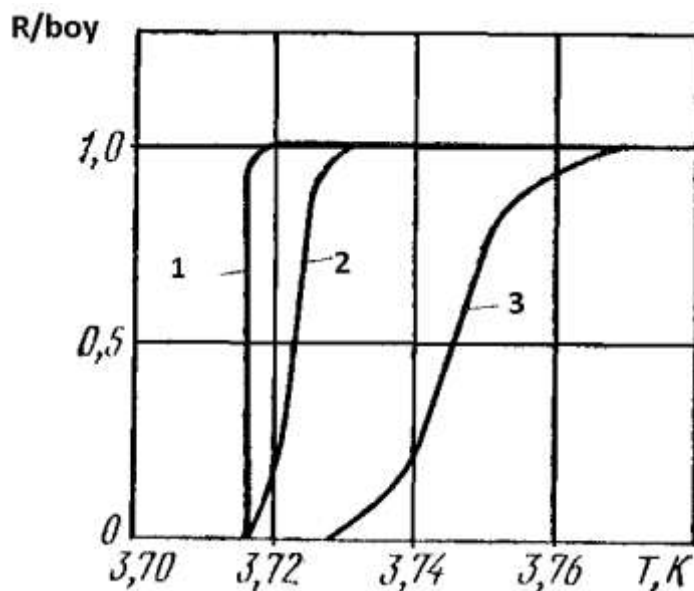
(3.1) formula tejribe arkaly ýeterlik derejede gowy tassyklanýar. Aşageçirijileriň köpüsi üçin energetiki yş 10^{-4} - 10^{-3} eW düžýär.

Görkezilişi ýaly metalyň elektrik garşylygy elektronlaryň gözenegiň ýylylyk yrgyldysyna we garynda dargamagy bilen şertlendirilendir. Ýöne energetiki yş bar bolan ýagdaýynda elektronlaryň esasy ýagdaýdan oýanan ýagdaýa geçmegi üçin ýeterlik mukdarda ýylylyk energiýasy talap edilýär. Pes temperaturada elektronlar ony gözenekden alyp bilmeýär. Sebäbi ýylylyk yrgyldysynyň energiýasy yşyň ininden kiçidir. Şonuň üçin hem goşalanan elektronlar gurluşluşyň nogsanlyklarynda dargamaýarlar. Kuperow jübütleriniň aýratynlygy olaryň impuls tertipliligidir. Ýagny ähli jübütleriň impulsy birmeňzeşdir we biri-birinden garaşsyzlykda öz ýagdaýyny üýtgedip bilmeýärler. Jübütleriň hereketini suratlandyrýan elektron tolkularynyň birmeňzeş uzynlygy we fazasy bardyr. Hakykatda elektron jübütleriniň hereketine bir electron tolkunynyň ýaýramagy ýaly garamak bolýar. Ol gözenek bilen dargadyлмаýar, gurluşyň nogsanlygyndan aýlanyp geçýar. Jübütleriň özüni alyp barşyndaky bu ylalaşyklyk electron kondensatyň ýokary çaltlygy bilen şekillendirilendir. Jübütleriň toplamasy üznüksiz çalyşýar, garşydaş hemişe çalşyrylyp durulýar.

Absolýut nulda ferminiň derejesine golaý ýerleşen ähli elektronlar jübüte baglanşandyr. Ýylylyk energiýasynyň hasabyna temperaturanyň ýokarlanmagy bilen electron jübütleriniň käbir bölegi üzülýär. Netijede yşyň ini kiçelýär. Esasy derejeden oýandyrylana geçýän jübütleşmedik elektronlaryň hereketi gözenegiň nogsanlygynda dargamagy bilen kynlaşýar.

$T=T_{\text{aşa}}$ temperaturada ähli jübütleriň doly üzülmegi bolup geçýär, yşyň ini nula öwrülýär, aş geçirijilik ýitýär.

Maddanyň sowadylanda aş geçiriji ýagdaýa geçmegi temperaturanyň örän dar interwalynda bolup geçýär (gradusyň ýüzden birleriçe) Gurluşyň garyndylar, gözenegiň typmagy, gözenegiň araçakleri, maýyşgak nogsanlyklar we ş.m. tarapyndan döredilen bir jynsly dældigi aşageçirijiliň ýok edilmegine getirmeyär, diňe bir ýagdaýdan beýleki ýagdaýa geçirýän temperaturanyň interwalynyň giňelmegini ýüze çykarýar.(sur.3.9)



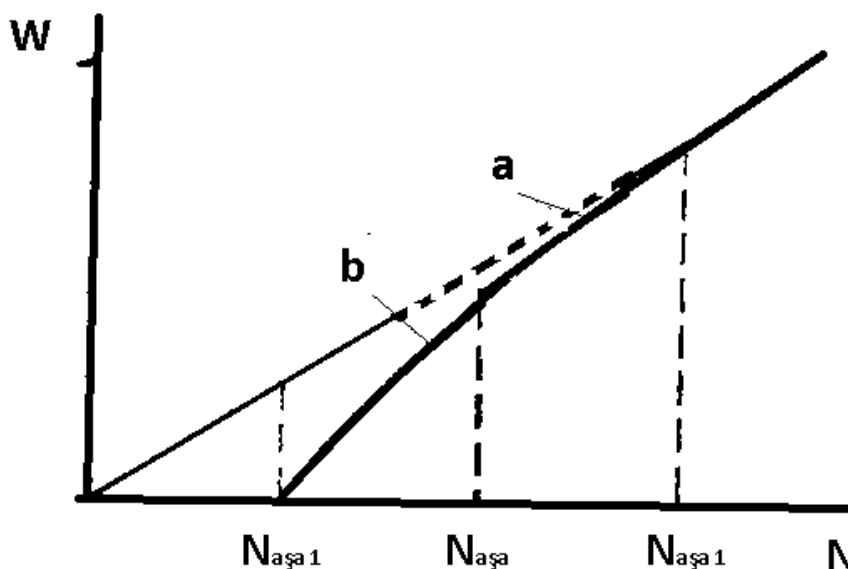
Surat 3.9.

Aşageçirijiligiň döredilmegine jogapkär elektronlar gözenek bilen energiýa çalyşmaýarlar. Şonuň üçin kristiki temperaturadan pes temperaturada metallaryň ýylylyk geçirijiliginiň kiçelmegi görünýär.

Aşageçirijileriň magnit häsiýetleri. Aşageçirijileriň wajyp aýratynlygy şundan durýar. Ýagny daşky magnit meýdany ýukarak gatlakda öçmek bilen nusganyň galyňlygyna geçmeyär. Magnit meýdanynyň güýç çyzyklary aşageçirijiniň daşyndan aýlanyp geçýär. Meýsneriň effekti diýen ady alan bu hadysa aşageçiriji magnit meýdanyna girizilende , onuň ýüzleý gatlagynda töwerekleýin sönmeýän toguň döremegi bilen şertlendirilendir. Bu tok nusganyň galyňlygynda daşky meýdany doly kompensirleýär . Magnit meýdanynyň girýän çuňlugy adatça 10^{-7} - 10^{-8} m Şeýlelikde aşageçirijiler magnit häsiýeti boýunça magnit

geçirijiligi $\mu = 0$ bolan *udel diamagnetiklerdir*. Her bir diamagnetikler ýaly aşageçirijiler magnit meýdanyndan itip çykarylýar. Munda itip çykarma güýji şeýle güýçli ýüze çykan, ýagny giňişlikde ýüki magnit meýdanynyň kömegi bilen saklamak mümkinçiligi açylýar. Meñzeş halda aşageçiriji materialyň magnit bilen indusirlenen, sönmeýän tok aýlanýan halkasynyň ýokarsynda hemişelik magnitiň asylyp durmagyny mejbur etmek bolýar. (W.K.Arkadýenliň tejribesi).

Eger-de magnit meýdanynyň dartgynlylygy $N_{aşa}$ käbir kritiki bahasyndan geçse, aşageçirijilik ýagdaýyny bozmak bolýar. Magnit meýdanynyň täsiri astynda materialyň aşageçiriji ýagdaýdanadaty elektrogeçirijilik ýagdaýyna geçmek häsiýeti boýunça I we II urugyň aşageçirijileri tapawutlandyrylýar. I urugyň aşageçirijilerinde bu geçiş bökme görnüşli bolup geçýär -meýdanyň dartgynlylygy kritiki baha ýeten soň başlaýar. Şunuň ýaly materialyň magnitlendirilmeginiň egri çyzygy da görkezilendir. II urugyň aşageçirijileri bir ýagdaýdan beýleki ýagdaýa ýuwaş-ýuwaşdan geçýär;olar üçin meýdanyň aşaky $N_{aşa1}$ we ýokarky $N_{aşa2}$ kritiki dartgynlylygyny tapawutlandyrýarlar. Olaryň arasyndaky interwalda material kadaly we aşageçirij



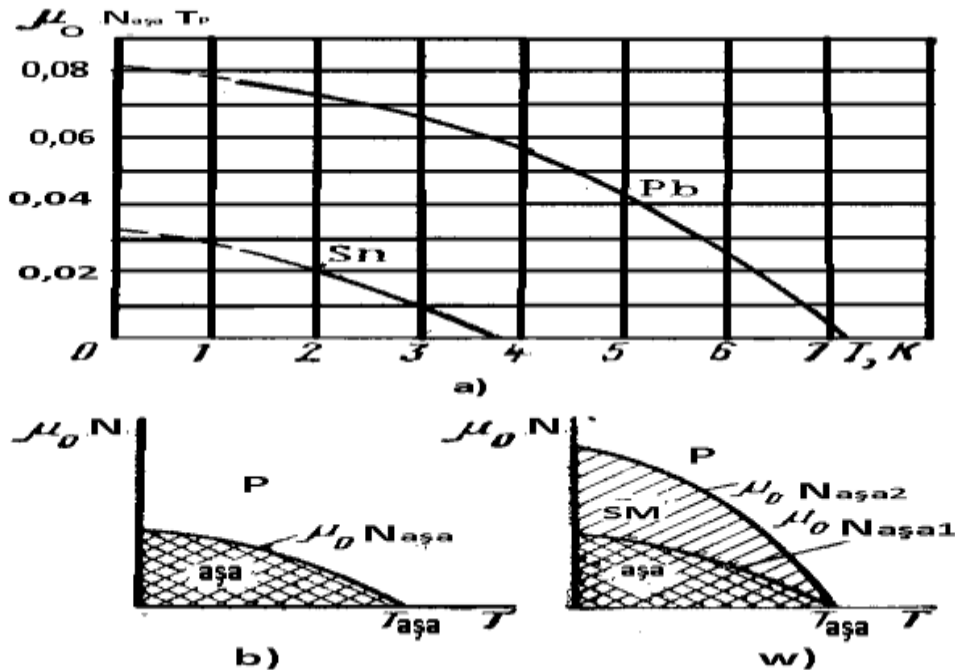
Surat 3.10.

fazalaryň ikisi hem bar bolan aralyk geterogen ýagdaýda bolýar. Olaryň göwrümleriniň arasyndaky gatnaşyk N –den baglydyr. Şeýlelikde magnit meýdany II urugyň aşageçirijilerine ýuwaş-ýuwaşdan girýär(3.10. sur.) Ýöne material meýdanyň ýokarky kritiki dartgynlylygyna çenli nul garşylygyny saklaýar.

Magnit meýdanynyň kritiki dartgynlylygy temperatura baglydyr $T=T_{aşa}$ bolanda ol nula öwrülýär, emma temperature OK ymtylanda bir tonly artýar. I urugyň aşageçirijileri üçin $N_{aşa}$ temperatur baglylygy gowy golaýlaşmada şu aňlatma bilen aňladylýar.

$$N_{a\dot{s}a}(T) = N_{a\dot{s}a}(0) [1 - (T/T_{a\dot{s}a})^2] \quad (3.2)$$

Nirde $N_{a\dot{s}a}(0)$ -absolýut nul temperaturada kritiki meýdanyň dartgynlylygy (3.2)baglylygynyň illýustrasiýasy 3.11,a suratda berlen egri çyzykdyr. I we II urugyň aşageçirijileriniň häsiýetlerinin tapawudy 3.11 b,w suratda görkezilen fazalaýyn diagrammalary aýratyn belläp geçýär.II urugyň aşageçirijilerindäki aralyk ýagdaýyň oblasty temperatura peselende giňelýär. $N_{a\dot{s}a1}$ bilen $N_{a\dot{s}a2}$ arasyndaky tapawut ýüzlerçe essedir.



Surat 3.11.

I urugyň aşageçirijileri üçin magnit meýdanynyň kritiki dartgynlylygy takmynan $10^5 A/m$, II urugyň aşageçirijilerinde ýokarky kritiki dartgynlylygynyň bahasy $10^7 A/m$ -den geçip bilýär.

Aşageçirijilik diňe bir daşky magnit meýdany bilen däl, eýsemde aşageçiriji boýunça geçýän tok, egerde ol $I_{a\dot{s}a}$ käbir kritiki bahasyndan geçse, hem bozup bilýär. I urugyň aşageçirijileri üçin toguň dykzlygynyň çägi magnit meýdanynyň kritiki dartgynlylygynyň nusgasynyň üst ýüzüne ýetmegi bilen çaklenýär. r radiusyň kese kesimli uzyn gönüçzykly sim halatynda çäkli tok aşakdaky formula bilen kesgitlenýär .

$$I_{a\dot{s}a} = 2\pi r N_{a\dot{s}a}(T) \quad (3.3)$$

Aşageçiriji elementlerde toguň ýüzleý ýuka gatlakdan geçýänligi sebäpli , toguň ortaça dykzlygy simiň diametriniň ulalmagy bilen kiçelýär. IIurugyň

aşageçirijileri üçin (3.3) gatnaşyk ýerine ýetirilmeyär we $I_{aşa}$ we $N_{aşa}$ arasyndaky baglanyşygyň has çylşyrymly häsiýeti bardyr.

Aşageçiriji materiallar. Kriogen temperaturalarda aşageçirijilik hadysasy tebigatda ýeterlik derejede giňden ýaýrandyr. Aşageçirijilige 26 metalden soň eýedir. Olaryň köpüsi I urugyň aşageçirijileridir. Olaryň geçişiniň kritiki temperaturasy 4,2 K-dan pesdir. Köplenç aşageçiriji metallaryň elektrotehnika ulanylyp bolmaýandygynyň sebäpleriniň biri şunda jemleýär. Ýenede 13 element uly basyşda aşageçirijilik häsiýetini ýüze çykarýar. Olaryň arasynda kremniý, germaniý, selen, tellur sürme we başgalar ýaly ýarymgeçirinjiler bar. Adaty şertlerde has gowy geçiriji bolan metallaryň aşageçirijilik häsiýetiniň ýoklugyny bellemek gerek. Olara gyzyl, mis, kümüş dedişlidir. Bu materiallaryň kiçi garşylygy elektronlaryň gözenek bilen özara täsiriniň gowşaklygyna görkezilýär. Şunuň ýaly özara täsir absolýut nuluň golaýynda ýeterlik electron ara çekişmäni döretmeyär. Şunuň üçin hem olar aşageçiriji ýagdaýa geçmeyär. Arassa metallardan başga-da intermetal birleşmeler we splawlar aşageçirijilik häsiýeti ýüze çykarýarlar. Häzirki wagtda belli bolan aşageçirijileriň umumy mukdary 2000-e golaýlady. Olaryň arasynda niobiniň birleşmeleri splawlaryň ýokary kritiki parametrlere eýedir. (3.1 jedwel) Olaryň käbiri aşageçiriji ýagdaýa ýetmek üçin suwuk geliniň deregine has arzan hladağent-suwuk wodorodyň ulanylmagyna ygtyýar berýär.

Haryt	$T_{aşa}, K$	$\mu_0 N_{aşa}^1(0), T_L$	$\mu_0 N_{aşa}^2(0), T_L$	$J_{dos}(0), A/M^2$	Esasy aýratylygy
$V_3 Ga$	14.8	0.6	21	$1.6 \cdot 10^9$	Derejesini ýetirilen mehaniki düzimi
$V_3 Si$ $Nb_3 Sn$	17.0	0.62	23.4	$2 \cdot 10^9$	Şol togyň ýokary dykzlygynyň tehnalogiki ykjamlygy
	18.3	0.54	24.5	$2.4 \cdot 10^9$	
$Nb_3 Ga$	20.3	-	34.0	-	Geçelgäniň Ýokary tempratura tehnalogiki ykjamlygy
$Nb_3 Ga$	21 – 24.3	-	37.0	10^9	Geçelgäniň has ýokary temperaturasy

3.1 Tablisa aşageçiriji splawlaryň esasy häsiýetleri

Ähli intermetal birleşmeler we splawlar II urugyň aşageçirijilerine degişlidir. Emma maddalaryň olaryň aşageçirijilik häsiýeti boýunça iki topara bölünmegi absolýut däl. I urugyň islendik aşageçirijisini, eger-de onda kristallik gözenegiň nogsanlygynyň ýeterlik mukdary döredilse, II urugyň aşageçirijisine öwürüp bolýar. Meselem, arassa galaýyda $T_{aş}=3,7$ K, emma egerde galaýyda birden birjynssyz mehaniki nogsanlyk döredilse, onda kritiki tempertura 9K çenli artýar, magnit meýdanynyň kritiki dartgynlygy bolsa 70 esse ulalýar.

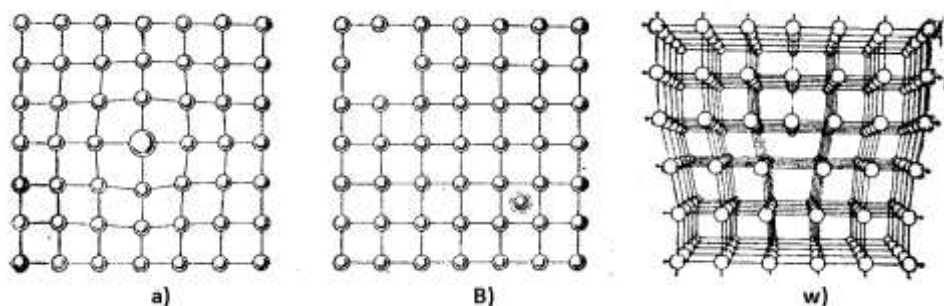
Aşageçirijilik ferro ýa-da antiferromanetizmi bolan sistemalarda hiç haçan ýüze çykmaýar. Ýarymgeçirijilerde we dielektriklerde aşageçirijilik ýagdaýynyň emele gelmegine erkin elektronlaryň mukdarynyň azlygy päsgel berýär. Emma uly dielektrik geçirijilikli materiallarda kulonoulyň elektronlaryň arasyndaky itekleme güýji köp derejede gowşandyr. Şonuň üçin olaryň käbiri hem pes tempereturada aşageçirijilik häsiýetni ýüze çykarýar. Segnetoelektrikleriň toparyna degişli stronsiý titanaty (SrTiO_3) muna mysal bolup biler. Ýarymgeçirijileriň birnäçesini egrileýän garyndylaryň ($\text{GeTe}, \text{SnTe}, \text{CuS}$ we başg.) kop mukdaryny gosup, aşageçiriji yagdaýa öwürüp bolýar.

Häzirki döwürlerde senagat dürli maksatlar üçin aşageçiriji simleriň we lentalaryň giň assortimentini goýbgerýär. Şunuň ýaly geçirijileriň taýýarlanylmagy uly tehnologiýa kynçylyklary bilen baglydyr. Olar köp aşageçirijileriň ýaramaz mehaniki häsiýetleri, olaryň pes ýylylyk geçirijiligi we simleriň çylsyrmyly gurluşy bilen şertlendirilýär. Ýokary kritiki parametrleri bolan intermetal birleşmeler aýratyn uly portlugy bilen tapawutlanýarlar. Şunuň üçin ýönekeý simleriň we lentalaryň derejine iki (adaty misli aşageçiriji) ýa-da hatda birnäçe metalyň kompazisiýasyny döretmek zerur bolýar. Port intermetallidlerden köpüpli simleri almak üçin aýratyn gönükleýin usul-bronzaly bürünçli usuldyr (ýa-da gatyfazaly diffuziýa usulydyr). Ol senagatda öleşdirilendir. Bu usul boýunça preslemek we süýndirmek arkaly galaýyly bronzadan we niobiniň inçe sapaklaryndan kompozisiýa döredilýär. Gyzdrylanda galaýy bronzadan niobiýa geçýär we onuň üst ýüzünde niobiý stannidiniň Nb_3Sn ýuka aşageçiriji örtügini emele getirýär. Şunuň ýaly tanap epilip bilýär, ýöne örtük bütewiligine galýar.

Aşageçirijileriň ulanylyşy. Aşageçiriji elementler we gurulmalar ylmyň we tehnikaýyň dürli ugurlarynda giňden ulanylýarlar. Güýçli akymly aşageçirijiligi senagatda ulanmagyň uly ölçegli uzak möhletli programmalary işlenip düzülen. Aşageçirijileriň ulanylyşynyň iň esasyalarynyň biri ýokary güýçli magnit meýdanyny almaklyk bilen bagly. Aşageçiriji solenoidler giňişligiň ýeterlik uly oblastynda dartgynlygy 10^7 A/m -den uly bolan birjynsly magnit meýdanyny almaga ýardam berýärler. Şol bir wagtda demir özenli adaty elektromagnetleriň çägi 10^{-6} A/m -e deň bolan dartgynlykdyr. Şol sebäpli aşageçiriji magnit

sistemalarynda sönmeýän tok aýlanýar, şonuň üçin iýmitlendirmäniň daşky çeşmesi talap edilmeýär. Güýçli magnit meýdanlary ylmy barlaglary geçirende zerurdyr. Aşageçiriji solenoidler sinhrofazotronlarda we elementar bölejikleriň beýleki tizlendirijilerinde energiýanyň gabaritini we harç edilşini köp derejede azaldýarlar. Aşageçirijileriň magnit sistemasynyň dolandyrylýan termoýadroly sinteziň reaktorynda plazmany saklamak üçin, ýylylyk energiýasyny elektrik energiýa magnitogidrodinamiki öwürjilerde plazmany saklamak üçin, iri energosistemalaryň masştabynda ýokary derejeli kuwwaty örtmek üçin energiýanyň induktiw ýygnaýjysy hökmünde ulanylyşy has perspektiwdir. Oýanmanyň aşageçiriji sargysy bolan elektrik maşynlaryň işlenip düzülmegi uly ösüşe eýe bolýar. Aşageçirijileriň ulanylmagy maşynlardan elektrotehniki polat özenleri aýyrmaga ýardam berýär. Şol sebäpli olaryň agramy we gabarit ölçegleri 5-7 esse kiçelýär, ýone kuwwatlylygy saklanýar. Kuwwatlylygyň ýokary derejesine (onlarça, yüzlerçe megawatt) hasaplanan-niýetlenen aşageçiriji transformatorlaryň döredilmegi tygşylylyk taýdan esaslandyrylandyr. Dürli ýurtlarda hemişelik we üýtgeýän tokda elektroperedaçalaryň aşageçiriji liniýasynyň işlenip düzülmegine uly üns berilýär. Plazmaly puşkalary we gaty bedenli Lazerleriň nasos bilen doldurýan sistemasyny iýmitlendirmek üçin impulsly aşageçiriji tegekleriň tejribeli nusgalary işlenilip düzülen. Radioteknikada ujypsyzja elektrik garşylygy sebäpli örän ýokary pugtalyga eýe bolan aşageçiriji göwürimli rezonatorlar ulanylyp başlandy. Magnit meýdanyndan aşageçirijileri mehaniki itip çykarmak prinsipi “Magnit esasynda” ýokary tizlikli demir ýol transportyny döretmegiň esasyňa goýlan.

Daşky magnit meýdany bilen materialyň aşageçirijiliginiň bozulmagy kriotron diýilip atlandyrylýan abzalyň konstruksiýasynda ulanylýar.



Surat 3.12.

Görşimiz ýaly 3.12 suratda örtükli kriotranyň gurluşy shema görnüşinde şekillendirilen. $T < T_{aşa}$ şertlerinde galaýy örtük entok gurşun aşageçirijiniň üstünden goýberilen tok tarapyndan döredilen magnit meýdany galaýy üçin kritiki bahadan geçýänça aşageçiriji bolup galýar. Kriotranly elementlerde

hasaplaýjy maqşynlaryň öýjüklerini ýerine ýetirmek bolýar. Kriotranlardan ýadyň ýa-da aýry utgaşdyrmanyň islendik shemasyny ýygnamak bolýar. Nully we ahyrky garşylykly iki ýagdaýy hasaplamanyň ikili sistemasynda 0 we 1 pozisiýalar bilen deň hasaplamak tebigydyr. Örtükli kriotranlarda öýjükleriň gymmaty ýokary çalt hereket, pes ýitgi we çandenaşa ykjamlylykdyr. Ölçeýji tehnikada aşageçirijileriň ulanyşy giň gerime eýe boldy. Ölçeýji serişdeleriň bar bolan mümkinçilikleriniň üstüni ýetirmek bilen aşageçiriji elementler örän inçe fizikieffektleri ýazmaga maglumatlaryň köp mukdaryny ýokary takyklyk bilen ölçemäge we gaýtadan işlemäge ýardam berýär.

Eýýäm häzir aşageçirijiligiň esasynda IG-şöhlelenmäni ýazmak üçin ýokary duýgur bolometrlar, gowşak magnit akymalaryny ölçemek üçin magnitometrlar, aş a pes güýjüň we toklaryň indikatlary döredildi.

§ 3.4 Ýokary garşylygyň splawlary we termojübütler üçin splawlar

Ýokary garşylygyň splawlary. Ýokary garşylygyň splawlary diýip, ρ bahasy kadaly şertlerde 0,3mkOm.m-den pes bolmadyk geçiriji materiallara aýdylýar. Olary elektroölçeýji abzallary, nusgaly rezistorlary, reostatlary we elektrogzydriýy gurluşly ýasamak üçin ulanylýarlar. Splawlar elektroölçeýji tehnikada ulanylanda, olardan diňe bir ýokary udel garşylyk däl, eýsem α_p mümkin bolan pes bahasy, şeýle hem mise otnositellikde kiçi termo-e.h.g talap edilýär. Elektrogzydriýy abzallarda geçiriji materiallar 1000°C tertipli temperaturada howada uzak wagtlap işlemelidirler. Görkezilen maksatlar üçin materiallaryň uly mukdarynyň arasynda praktikada has giň ýaýrany mis esasy splawlar-manganin we konstantan, şeýle hem hromniklli we demirhromalýuminli splawlardyr.

Manganin-elektroölçeýji abzallar we nusgaly rezistorlar üçin esasy mis esasy splawdyr, onuň düzümi we häsiýetleri 3.2 jetbelde berlendir.

Manganin sarymtyl reňki bilen tapawutlanýar, diametri 0,02 mm çenli bolan inçe sime çekilýär. Manganinden galyňlygy 0,01-1mm we ini 10-300 mm bolan lenta taýýarlaýarlar.

Kiçi α_p wegarşylyga ýokary durnuklylygy almak üçin manganin ýörite termiki gaýtadan işlemä 350-550 °C - da wakuumda gyzdryp taplama sezewar edilýär we soň haýaljadan sowadýarlarwe goşmaça otag temperaturasynda köp wagtlap saklaýarlar. Maganiniň ρ we α_p temperatura baglylygy 3.13 suratda berlendir.

Sur 3.13. sah.71

Konstantan-misiň we nikeliň splawy Splawda nikeliň mukdary Cu-Ni splaw üçin (2.9 sur.ser) ρ maksimumyna we α_p minimumyna laýyk gelýär.

Konstantan aňsat işlenilýär, ony manganindäki ýaly ölçege sime süýndürüp we lenta ýazdyryp bolýar. Konstantanyň α_p bahasy nula ýakyn we adatyça onuň otrisatel belgisi bar. Haçanda işçi temperatura 400-450°C-dan geçmeýän halatynda konstantan reostatlary we elektrgyzdyryjy elementleri taýýarlamak üçin ulanylýar. Ýeterlik ýokary temperatura çenli gyzdyrylanda konstantanyň üst ýüzünde okis örtügi emele gelýär we onuň elektroizolýasion häsiýetleri bar (oksid izolýasiýa). Şunuň ýaly izolýasiýaly konstantan simleri towlamy towlamyň üstüne edip, dykyz saramak bolýar. Eger-de goňşy towamlaryň arasyndaky güýç 1W geçmese, onda towamlaryň arasynda aýratyn izolýasiýa goýulmaýar. Şunuň ýaly edilip, meselem reostatlar taýýarlanylýar. Konstantan simleriniň ýeterlik çäýe we berk okis örtügini berýän okislenmegi üçin simleriň 900°C-a çenliçalt (3sm çenli) gyzdyrylyp, soňra howada sowadylmagy talap edilýär.

Konstantan mis bilen ýa-da demir bilen jübütde uly termo-e.h.g gazanýar. Bu konstantaly rezistorlaryň ölçeýji shemalarda ulanylmazlygynyň ýetmezçiligi bolup durýar; Konstantan geçirijileriniň mis bilen galtaşýan ýerinde temperaturalaryň tapawudynyň hasabyna termo-e.h.g ýüze çykýar. Olar aýratyn hem köprüli we patesiometriki shemalarda nully ölçemelerde ýalňyşlyklaryň çüşmesi bplup durýar.

Konstantan temperaturany ölçeýän termoparlary taýýarlamakda üstünlikli ulanylýar, ýöne temperatura birnäçe ýüz gradusdan geçmeli däl.

Hromonikelli ergini (nihromlar) (3.2 jedwel) elektrik peçleriň, plitkalaryň, galaýy çekijileriň we ş.m gyzdyryjy elementlerini taýýarlamak üçin ulanylýar. Bu splawlardan diametri 0,02mm bolan sim we kesimi 0,1x1,0 mm we ondan uly bolan lenta ýasaýarlar. Hromonikel ergin üçin udel garşylygyň temperatura baglylygy 3.19 suratda görkezilendir.

Nihormyň yssa dňurnuklylygyny (3.2 tab. ser) bu splawyň ýokary tempraturada howada ösýän okislenmä durnuklylygy bilen tapawutlanýar.

Metallaryň okislenme tizligi köp derejede emele gelýän okisliz häsiýetine baglydr. Egerde okisel uçujy bolsa, onda lo metalyň ýüzünden aýrylýar we galan metaly okislenmede gorap bilmeýär. Wolframýň we molibdeniň okisleri ýeňil uçup gidýär.

Hromonikel ergininiň howada ýokary tempraturalarda durnuklylygy splawlaryň we olaryň okislid örtikleriniň çyzykly giňelmesiniň tempratura koffisetleriniň bahasynyň ýakynlygy bilen düşündirilýär. Şonuň üçin bu örtikler sim gyzdyrylanda we giňeldilende aýrylmaýarlar we simden aýrylmaýarlar. Emma hromyň we nikeliň splawynyň we okisleriniň giňelmeginiň tempratura koffisenti ýakyn bolsada, olar bimeňzeş däl.

Munuň netijesinde temperaturanyň birden ütgemegine okis gatlagynyň aýrylmagy mümkin: ýenede gyzdyrylsa kislarord jaýryga girýär we splawy goşmaça ýenede okislendirýär. Hromonikel erginden edilen elektrogzdyryjy element yzygiderli kop gezek gyzssa wagytlaýyn goşulanda, gyzdyrylmanyň üzniksiz režimine garanynda çalt ýanyar gyzdyrylýan temperatura iki deňeşdirilýän halatynda birmeňzeş, hyzmat ediş möhleti bolsa 20-30 esse tapawutlanyp bilýär.

Egerde spiral gaty toýun ýakylan toýun tipli inert sreda berklense ondda gyzdiriji elemendleriň hyzmat ediş möhletini uzaldyp bolýar. Bu sreda spiraly mehaniki täsirden goraýar we kislarodyň baryşyny kynlaşdyrýar

Hromonikel erginiň ömrüniň dowamlylygyny 3.14 suratda häsiýetlendirýär.

Sruat 3.14

Nihromyň üst ýüzündäki örtiginiň temperaturanyň giň interwalynda kiçi we durnukly galtaşma garşylygy bar. Şonuň üçin ýuwka maýyşgak nihrom sim gowy tehniki häsiýetnamasy bolan miniaturly ýokary omly üýtgeýän rezistorlary ýasamak üçin ulanylýar

Nihromyň H20 N80 wakuumda bugartma we kondensasiýa usuly bilen alnan ýuka örtügi ýuka örtükli rezistorlary, köpräk hem integral mikroshemalaryň rezistorlaryny ýasamak üçin giňden ulanylýar. Örtügiň himiki düzýän başdaky bugaryan erginiň düzümiden tapawutlanýar. Ol bugarma temperaturasynda nikeliň we hromyň buglarynyň basyöynyň tapawutlanmagy bilen şertlendirilen. Şonuň üçin kondensatoryň düzümi köp tehnologiýa faktorlary: çöküş tizligine, howanyň moteriýalyňa we temperaturasyna, kamerada galyndy buglaryň basyşyna we beýl baglydyr.

Adatça α $-3 \cdot 10^{-4}$ -den $+2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ çäginde üýtgeýän $R_{20} = 50 \div 300 \text{ Om}$ we α_R garşylygy bolan ýuka nihrom örtükleri ulanylýar.

Şonuň ýaly örtükleriň di elektriki hanalara ýeterlik gowy adgezyýasy we häsiýetleriň ýokary durnuklylygy bar.

Termoparlar üçin erginler köp metal däl materiallaryň (birinji nobatda ýarym geçirijiler) termo lektrikler termometriýalda üstünlikli ulanylmaga uly potensialmümkinçiligi bolsada, olayň taýýarlanylş tehnologiýasy ýeterlik kämilleşmedikdir. Şonuň üçin termoparlaryň köpüsi metalkomponentlerden ýasalýar. Has ýygý ulanylýansplawlar :1) kopel (56% Cu we 44% Ni); 2) alýumel (95% Ni, galany - Al, Si we Mn); 3) hromel (90% Ni we 10% Cr); 4) platinorodiy (90% Pt we Rh).

Has köp ulanylýan termo parlar termo e.h.g gyzgyn we sowuk kontaktylaryň temperaturasyň tapawudyna baglylygy 3.15 suratda berlendir.

Splawyň düzüminiň azajyk ütgemegi termo e,h,g aýdyň ütgemegine getirýär. Emma egerde graduslara bölmezden ulanylmasa ölçemäniň takyk lygyny limitirlemeýär.

Termoparlary indiki tempraturalary ölçemek üçin ulanmak bolýar: platinorodi-platina 1600°C –a çenli, mis-konstantan, mis-kopel 350 °C -a çenli, demir-konstantan, demir-kopel, we hromel-kopel 600 °C -a çenli, hromel-alýumel 900-1000°C çenli.

Praktikada ulanylýan termojübütlerden temperaturanyň şu tapawudynda diňe hromel-köpel termojübüti iň uly termo e.h.g eýedir. 3.15 suratda görkezilen termojübütleriň termo-e.h.g belgisi şunuň ýaly, ýagny sowuk kontaktda tok jübütde hromelden-köpele, misden konstantana we başgalar, gyzgyn kontakt dabosa ters urga gönükdirlendir.

Surat 3.15

Termojübütleriň köpüsi diňe okislendirji sredada durnukly işleýär. Uzak wagytlaýyn ekspluatirlenme hadysasynada udel termo e.h.g ýuwaş-ýuwaş üýtgemegini görmek bolýar. Daşky aftosferadan garyndylar bilen hapalanmagy, kompamentleriň uçylygy, simleriň okislenmegi, sebäbidir. Olar içki güýji girizýärwe fiziki birjynssyzlygy döretýär. Platinorodiy termojübütler üçin udel termoe.h.g garamadan has ýokry takyklyga, dunuklylyga wegaýtadan işleýjilige eýedir, bu hili moterialyň himiki inertiligi we ony ýokary derejeli aroňogörnüşde almak mümkinçiligibilen düşündirilýär.

§ 3.5. Dürli bellemeli metallar we splawlar.

Bu paragrafda 3.1 surata berlen toparlanyşa laýyklykda taraplaryna metal geçirjiniň häsýetlerne seredilip geçilýär. Häsýetler köp derejede serişdäniň taýýarlanyş tehnologiýasy bilen köp ulanylmaýar materýallar bu ýere girenok.

Kyn ereýän metallar.

Kyn ereýän metallara ereme tempraturasy 1700° S-dan geçirýän tempraturalar degişlidir.

Duzgün bolşy ýaly olar pes tempraturada himiki taýdan durnukly, ýöne ýokary tempraturada aktiwleşýär. Olaryň ýokary pempraturalarda ekspluatasiýasy inert gazlaryň otmesferasynda ýada wakumda üpjün edilýär.

Dykz görnüşde bu metallary köplenç poroşokly metografiki usullary -poroşogy presleme we tutlaşyp birleşdirme arkaly alýarlar.

Elektron tehnikasynda arasda kyn ereýän metallaryň öndürlişinde elektko wakum tehnologiýasynyň usullary giňden ýaýrandyr, elektron ýada lazer şöhleleri bilen eretne, zolakly arassalama, plazmaly işleme we başgalar. Bu materiallaryň mehaniki taýdan gaýtadan işlemek kyn we köplenç birneme gyzdymaklygy talap edýär. Esasy kyn ereýän metallar : wolfram, mobilden, tantol, niobiý, hrom, wanadi, titan, sirkoni we reni.

Surat 3.16

Platindan başga hähli kyn ereýän metallar howada ýokary tempratura genli gyzgyrlanda güýçli okislenýärler we uçujy birleşmeleri emele getirýärler. Şonuň

üçin olary diňe wakumda ýa-da goraýjy sredada işleýän gyzdyrjy elementleri ýasamak üçin ulanmak bolýar. Şonuň ýaly gyzdyrjylaryň biri görnüşi ýuka metallaryň artykmaçlygy hat-da işlenilýän ýokary tempraturada-da doýdurylan buguň basyşynyň ujypsyzja bolmagydyr (surat 3.16. ser). Bu şertleri ýerine ýetirmekde esasy talap bugarmanyň materialyndan edilýär.

Wolfram - çal reňkli örän agyr, gaty metaldyr. Ähli metallaryň arasynda wolfram iň ýokary ereme tempratuta eýedir. Ol tebigatda diňe birleşme görnüşinde düşýär. Ereme tempraturasynyň ýokarylygy sebäpli wolframly kompakt tokga görnüşinde almak uly kynçylyklar bilen baglanyşyklydyr. Wolframly almak üçin başlangyç çig mal onuň minerallarydyr-wolframit ($\text{FeWO}_4 + \text{MnWO}_4$) we şeýelif (CaWO_4). Wolframly magdawlary baýlaşdyrmagyň ahyrky önümi wolframlyň arassa oksididir WO_3 . Ondan 900°s –a çenli gyzdyrlanda wodorot bilen dikeltmek ownuk paroşok görnüşli metal wolfram alynýar. Bu paroşokdan 200 Mpa çenli basyşda presläp steržen alynýar. Steržini worodyň soňra atmosferasy (oksitlenmeden goramak üçin) çylşyrymly termiki toplama serewar edýarlar, diametri 0,01 mm çenli bolan sim sündirýärler, list ýazýarlar we şm.

Wolframly beýleki metallardan tapawutlandyrýan häsiýetli aýratynlygy aýry aýry dänejikleriň arasynda örän gowşak birikdirmede ýokary kiristal içki berligidir.

Şonuň üçin ownuk dänejikli gurluşy bolan gatan önümler port we ýeňi döwürler. Çekisläp ýasamak we sündirmek arkaly mehaniki taýdan işlenilmeginiň netijesinde wolfram süýümli guluşy alýar we ony göwmek örän kyndyr.

Inçe wolfram sapaklaryň çyýeligi hem şonuň bilen düşündirilýär. Ondan başgada wolfram simleriniň galyňlygy kiçelende (çekisläp ýasalan diametri 5mm bolan steržinler üçin 500-600 Mpa-dan inçe sapaklar üçin 3000-4000 Mpa çenli) dartylmadaky – sozdurylmadaky berkligiň çägi artýar. Çekdirilen wolfram ýokary tempratura çenli gyzdyrlanda rekristallaşma hadysasy başlaýar ýagny dänejikler irilenýär. Süýümli gurluşy ýuwaş-ýuwaşdan ýitýär, aýry bölek dänejiklere simiň kese kesiginiň meýdanyna çenli ölçegde ulanyl ýar. Şonuň ýaly rekristallaşan wolfram dänejik ara birekmeleriň gowşaklygy zerarly örän port bolýarlar.

Ondan başgada ýokary tempraturada emele gelen kristallitler biri=birine otnositellikde hususy agramynyň täsiri astynda “ sallanma” typma mümkinçiligni alýarlar. Şonuň üçin arasa wolframdan ýasalan simler we spirallar örän berkdäl we görnüş durnuksyz bolýarlar.

Arassa wolframlyň häsiýetleriň gowlandymak üçin dürli goşundylar goşulýar. Rekristallaşma hadysasyny haýalladýan has efektiv goşundy törüniň oksididir Th_2O_3 ol wolframlyň dänejikleriň arasynda gatlak emele getirmek bilen onuň atomlarynyň diffuziýasyny kynlaşdyrýar we munuň netijesinde kristallaryň ösmegine päsgel berýär.

Uly görnüş durnuklylygyna ýetmek üçin kremni, kalsi oksitleriniň goşundylary goşýarlar. goşundylar uly üst ýüzi boýunça özara ilişdirýän gurluşy emele getirip, simiň okunyň ury boýunça kiristallaşmany ýüze çykarýarlar. Şonuň ýaly wolfram saklanmaýan diýilýär. Ol oturma lampalaryň sapaklaryna taýýarlamak üçin ulanylýar. Bu urda wolframa konkurent ýok. Ilkinji gezek wolframýň oturma lampalaryň sapaklaryny ýasamak üçin ulanylmagy 1890 ýylda rus oýlap tapyjysy A.N Lodigin tarapndan hödürilen.

Wolfram elektro wakum tehnikasynda wajyp moterýallaryňbiri bolup durýar. Elektronlar gyzdyrjylar, puržinler elektron lampalarda ilgişler, reňkgen turbalary we şm ýasalýar.

Elektron wakum ölçeginde WA markaly (kremni-alýuminli goundyly) we WT (toriniň oksi goşulan) markaly wolfram ulanylýar. Totiniň oksididiniň goşulmagynyň wolframýň diňe bir mehaniki berkligni ýokarlandyrmak eýsem elektronlaryň çykyş işini peseltmegiň hasabyna katetleriň imession häsýetlerine hem wolframýň çyzykly giňelmesiniň temptur koeffisiýenti iň kiçisidir. Onuň bu häsýeti wolframýň kyn ereýän aýnalar bilen termiki taýdan ylalaşykly kontaktlaryny ýasamakda gymmatly bolup durýar.

Molebden metall, daşky görnüşi boýunça, şeýle hem toplama tehnologiýasy boýunça wolframa golaý metaldyr. molebdeniň wajip senagat magdanyny molibdenitdir MoS_2 .

Bişirlen çekişlenen we sündirlen mobil deniň mikro gurluşy beňzeşdir. Emma sündirilen mobilden iň sündirlen gurluşy az ýüze çykýar.

Rekristallaşmadyl mobilden mehaniki häsýetleri boýunça wolframa golaý, emma kristallaşan ýagdaýda olaryň arasynda aýdyň tapawudy bar. Ýagny rekrostallaşan wolfram otag tempraturasyndan hemişe port bolýra, şol bir wagtyda gyzdyrlyp toplanan ownuk däneli mobilden ýaly ýuka maýyşgaklyk bilen häsýetlendirilýär. Şol sebäpden dürli detallary almakda mobilden iň önümi mehaniki taýdan toplamagyň aýratyn kynçylygy ýokdur.

Surat 1.17.

Mobilden iň gurluşunyň gowulandyrylmagy we mehaniki birligiň ýokarlandyrylmagy kremni oksi, tary oksi we başgalar ýaly ýöriteleşdirilen goşundylar bilen gazanylýar.

Otag tempraturasynda mobilden iň himiki taýdan otnositel inert taýdan metal, ýöne wolframa garynda has aktiwdir. Howada 300⁰s-da pes oksidleriň emele gelmegi bilen oksitlenip başlaýar, 600⁰s-dan ýokary tempraturada bolsa üçli okis MoO_3 emele getirýär. Ol 700⁰s-da çolt bugarýar şonuň üçin gyzyň metallar wakumda ýada dikeldiji sredada dikeltmelidir. Ähli kyn ereýän metallaryň arasynda mobilden iň kiçi udel garşylyga eýedir surat 3.17

Mobildeniň ýokary berkligi gowy maýyşgaklygy bilen bilelikde onuň ýokary tempraturalarda işleýän çylşyrymly konfigurasiýaly gowularynyň iri edýär. Mobildeniň elektron lampalaryň torlary we elektrodлары t rentgen elektrowakum gurallarynyň dürli kömekçi detallary ýasalýar. Kyn ereýän aýna balonlara wakuumdykyz termiki taýdan ylalaşykly girelgeleri ýasamak üçin mobildeniň ulanylmagy has wajypdyr.

Şeýle hem mobildeniň elektrikpeçleriň gyzdýryjy elementleri hökminde ulanylýandyr. Şunuň ýaly elementler goraýjy atmosferada 1700⁰s temperatura işlemäge durnukly.

Elektro wakuum tehnikasýnda mobildeniň MA (mobilden arassa) we MK(kremni oksadi goşulan mobilden) markalary ulanylýar. MK markaly mobilden ýokary tempraturalarda mehaniki taýdan örän berdir.

Tantal –az ýaýran magdan bolan tantalifden $\text{Fe}(\text{TaO}_3)_2$ alnýan metal. Ol wolfram we mobilden ýaly poroşokly metallurýgiýa usullary bilen alynýar. Onuň esasy tapawudy – preslenen ştabikleri berkitme hadysany wakum peçlerinde amala aşyrylýar. Bu tantalyň gazlary siňdirmegi bilen we netijede port bolýar.

Çekişlenme we sündirme mehaniki operasiýany wolframdan we mobildenden tapawutlykda otag tempraturasýndan geçirilýär. Tantal galyňlygy 10mkm çenli bolan simler, listler we folgalar görnüşinde ýasalýar. Önümçilikde T(ýokarlandyrlan arassa tantal),TA(ýokary arassa tantal) we tontallaryň niobiý bilen splawly –TN ulanylýar tantal hadysada otag tempraturasýndan hem ýokary berkligi bilen häsýetlendirilýär. Sozdurulmada onuň berkligeniň çägi 350-den 1250Mpa basyşa çenli mehaniki we termiki taýdan toplama baglylykda üýtgäp bilýär.

Howada gyzdýrlanda we anotly oksitlenmede tontallaryň üst ýüzinde dykyz okis Ta_2O_5 örtügi emele getirýär. Ol 1500⁰ s-a çenli tempraturada dargamaýar. Wolframyň we mobildeniň tersine tantal wokumda ýokary temperatura çenli gyzdýrlanda port bolmaýar.

Öňünden gazsyzlandyrlan tontalyň tempraturasynyň 600-1200⁰s-a çenli diapozmalarda gazlary siňdirmek ukyby onuň kyn ereýjiligi, gowy we tehnikasyna wajyp mater ýallarnyň hatarna goýýar. Emma tebigy ýeterlisizligi we otnositel ýokary gymmatlygy üçin tantal öňi bilen dartgynly ýylylyk režiminde işleýän önümleri öndükmek üçin ulanylýar ýada wakumda gödek talaplar edilýän halatynda ulanylýar, köplenç tontallarda generator lampalarda anotlary we talaplary we göni gytaklaýyn gyzdýrylýan katotlaryň we elektro wakum gurallarynyň dürli detallarny ýasaýarlar tantal wakum tehnologiýasýnda dürli mazdalarnyň ýuka örtüklerni çökdürmekde buwgardyjy hökminde ulanylýar.

Kondensatorlaryň önümçiliginde tontalyň aýratyn ähmiýeti bar. Anotlaşdyрма arkaly ulanylýan elektrolitek we ýuka örtüklü kondensatorlara giňden ulanylýar.

Tantal tas diýen ýaly islendik elektrolitik suwly erginde okisiň bir jynsly örtügini emele getirýän metalyň mysalydyr. Başli okisiň $Ta_2O_5(E=25)$ ýokary dilelektrik geçirijiligi sebäpli şonuň ýaly kondensatorlaryň uly sygymy bardyr.

Bu materýallardan ýuka örtükli rezistorlaryň önümçuligi “tantal tehnologiýasynyň” düzüm bolegidir. Tontalyň ýokary kyn ereýjiligi sebäpli ýuka örtükleri almak üçin kotot ýada arassa argonda ionno plazmaly tozandyrnanma usullary maksada laýykdyr. Tontalyň metal örtügide atmosfera şerlerinde elektrik güçleriň täsiri astynda udel garşylygyň aýdyň üýtgemesini görmek boýar. Ony onda azodyň we kislorodyň eremegi düşündirilýär. Tontalyň azot bilen legirlendigiçe örtügiň durnuklylygy gowlaşýar. Nibridiň Ta_2N örtükleri has gowy wagytlaýyn durnuklylyga eýedir. Ol rezistorlary ýasamak üçin giňde ulanylýar. 3.18 suratda rezistiw örtükleriň elektrik häsýetlerine tontalyň çökdürilme hadysasynda azodyň parsial basyşyna baglydygna 3.18 suratda görkezýär. Azot saklaýan tantal ortukleriniň wajyp häsýeti arassa tantal ýaly olary hem anotlashdyryp bilinmekdir.

Surat 3.18.

Niobi- häsýetleri boýunça tantala golaý, tontalyň duş gelýän magdanlarynda hem niobi duş gelýändir. Ony hem poroşokly metallurgiýa usullary bilen alýarlar. 99.4% Nb saklaýan metal ýokary maýyşgakdyr we listler, lenteler, folgalar we simler görnüşinde goýberilýär.

Niobiý temperaturanyň 400-900⁰s interwalynda ýokary gaz siňdirijilik ukybyna eýedir. Şonuň üçin elektrowakum gurallarynda niobinden edilen konsfrektiw detallar şon bir wagtyda tozanlamaýan getter funksiýany ýerine ýetirýär. Kyn ereýän merallaryň arasynda niobide elektronlaryň iň kiçi çykyş işi bardyr. Şonuň üçin ony kuwwatly genetator lampalarynda gyzdýrylyp tutlaşdyrylan katodlar hökminde ulanylýarlar.

Ähli elementler maddalaryň arasynda niobiý aşageçirjilik ýagdaýa geçmegiň iň ýokary kritiki trmpturasy (9,2 K) bilen häsýetlendirilýär.

Emma niobide magnyt meýdanynyň kritiki dartgynlylygy onuň giňden ulanylmagy üçin ýeterliksizdir.

Hrom –ýer gabynda ýaýran element bolup, okislenmä ýokary durnuklylyga eýedir. (ser surat 3.2) şonuň üçin ol ýokary tempraturalarda hem ekispluotirlenýän önümleri garaýjy örtügi üçin ulanylýar. Hromlama elektrolitik ýa-da polat önümleri üst ýüzüni daşky sredadan diffuziýa arkaly hrom bilen doýgunlaşgyrmagyň kömegi bilen getirilýär.

Hromyň ýuka örtüklerinde rezistorlary we integral mikroshemalarda galtaşma meýdançalar we tokgeçiriji birleşmeler üçin jebisleýji gatlakastylar ýasalýar, şeýle hem fotoşablonlaryň ýagtylyk geçirmeýän gatlaklary ýasalýar. Çökdürme hadysasynda galyndy gazlary siňdirýänligi zerarly, hrom örtükleriniň elektrik

häsiýetleri çalma şertlerine örän duýgyrдыr. Ýöne hrom aýna, sifal we keramyki gaplara gowy jebisleýär. Onda başgada hrom islendik geçirji material bilen ylalaşýar. Hromyň goşmaça aýratynlygy örtükler alnanda onda ýeňil sublimasiýasydyr (gaty maddanyň suwa öwrülmän bugarmagy). Adatça bu maksatlar üçin wolfram ýa-da molibden bugardyjylar ulanylýar. Hromyň örtügini wakuumda ýylylyk bilen işlemegi garşylygyň peselmegine getirýär. Ol gyzdyryp toplama efekitiniň netijesi bolup, tontal ýaly has kyn ereýän örtüklerde bolmaýar.

Hrom gyzdyrjy gurallar üçin splawlaryň termojübütleriň, konsfruksion poslamaýan we gyzgyna çydamly polatlaryň we magnit materiallarynyň köp mukdarynyň düzümine girýär.

Reniý – seýrek örän agyr metallaryň biri bolup, ereme temperaturasy wolframýň ereme temperaturasyna golaýdyr. Renini porşokly metallurgiýa usullary bilen alýarlar. Ol elektrowakuum tehnikasyny talaplaryny kanagatlandyrýar häsiýetlerini seýrek gabat gelyändigini bilen tapawutlanýar. Wodorodyň atmosferasynda we çygly sredada ol wolfram bilen deňeşdirlende pes derejede bugarýar. Reniý we onuň wolfram bilen splawlary elektro lampalaryň we elektrowakuum gurallaryň wolfram bilen splawlary wakumda, wodorotda ýada inert sredada 2500-2800⁰c çenli tempeturalary kesgitlemek üçin termojübütleri döretmäge ýardam berýär.

Radioelektronikada reniý misden, kümüşden, wolframdan, molibdenden edilen detallary poslamakdan we iýilmekden goramak üçin ulanylýar. Reniň yokary wakumda elektron şöhleleri bilen bugartmak ýaly bilen alynan ýuka örtükleri integral sistemalarda rezistorlary döretmek üçin ulanylýar.

Kyn ereýän metallaryň splawlary. Elektrowakum tehnikasynda arassa kyn ereýän metallardan başgada gurallaryň armaturalary üçin wolframýň molibden bilen, molibdeniň reýin bilen, wolfram reýin bilen, şeýle hem tantalowakumly splawlary ulanylýar. Komponentleriň düzümini üýtgetmek bilen önümiň talap edilýän elektrik we termiki häsiýetlerinden zerur bolan mehaniki häsiýetler we maýyşgaklygy almak bolýar. Meselem, gaty erginleriň üznüksiz hataryna emele getirýän molibdeniň we wolframýň eredilmeginde kyn ereýjilik birneme peselýär, gatylygy saklanýar we udel garşylygy ýokarlanýar. Wolframýň azajyk mukdarda reýin goşulan splaw arassa wolfram bilen deňeşdirlende has yokary rekristallaşma temperatura bilen häsiýetlenýär.

Gymmat bahaly metallar .

Gymmat baha metallar himiki taýdan has durnukly metallar gyzyl, kümüş, platina, palladiý degişlidir. Olar teligatda özbaşdak görnüşde we dürli magdaularda duwuşýarlar. Metallurgiki himiki we elektrolitiki gaýtadan işlemegiň netijesinde has yokary derejede arassa metallary alyp bolýar.

Gyzyl-99,998%; kümüş-99,999%;

Platina-99,9998%; palladiý-99,94%;

Altyn-sary reňkli ýalpyldaýan metal bolup, uly maýyşgaklyga eýedir. Gyzyly simleriň sozdyrylandaky berliginiň çägi 150 Mpa düzýär, üzülen-de otnositeluzalmasy 40%.

Elektron tehnikasynda gyzyly galtaşyýy-birigiji material hökmünde, s we ç rezonatlaryň poslama durnukly örtügi, tolkungetirijileriň iç ýüze üçin matirial hökmünde ulanylýar. Birigiji material hökmünde gyzylyň artykmaçlygy gyzdyrylanda we otag temperaturasynda atmosfera şertlerinde onuň kükürtli we okisli örtükleriň emele gelmegine garşy durnuklylygydyr. Gyzylyň ýuka örtügi fotorezistorlarda we ýarymgeçirijili fotoelementlerde ýarym dury elektrod hökmünde ulanylýar, şeýle hem örtüklmikroshemalarda birleşmeara we birigiji meýdançalar hökmünde ulanylýar. Soňky halatda dielektrik hanalara ýaramaz jebislendigi sebäpli gyzyly örtügi adaty jebis birleşiji gatlak astyna örtülýär. Gyzyly alýumini bilen galtaşanda ýokary udel garşylyga we portluga eýe bolan birnäçe intermetal birleşmeleri ýuwaş-ýuwaşdan emele gelmegi bolup geçýär. Şonuň üçin gyzylyň we alýuminiň ýukaörtükleriň kontakty pugta däl-dir.

Kümüş –ak reňkli ýalpyldaýan metal bolup, kadaly temperaturada okislenmä durnuklydyr. Beýleki metallardan kiçi udel garşylygy bilen tapawutlanýarlar.

Kümüş simleri üçin sozdurylmaklyga berkligiň çägi 200Mpa töweregidir, üzülmä çenli otnositel uzalmany 50%.

Kümüş dürli kuwwatly apparaturalaryň komaktlarynyň giň nomenklaturasynda ulanylýar. kümüşüň udel ýylylyk sygymynyň, ýylylyk geçirijiliginiň we elektrik geçirijiliginiň uly bahalary beýleki metallar bilen deňeşdirilende kontaktlaryň iň azgyzmagyny we galtaşma nokatlardan ýylylygyň çalt äkidilmegi ni üpjün etýär.

Kümüşüň şeýle hem dielektriklere gös-göni çalmak üçin, elektron hökmünde, kondensatorlaryň keramiki we slýudaly önümçiliginde ulanylýar. Munuň üçin wakumda bugartma usuly ulanylýar. Ýokary geçirijikli gatlak almak üçin tolkun getirijili iç ýüze kümü bilen örtülýär. Şu maksat bilen ýokary ýyglylykly tegekleriň geçirijileri hem kümüşlemä sezewar edilýär.

Kümüşüň ýetmezçiligini dielektrigiň içine migrasiýa ýykgylygydyr. Oňa kümüş ýokary çygly şertlerde şeýle hem daşky sredanyň ýokary temperaturada himiki durnuklylygy pesdir. Köplenç kümüş kükürtwodorody bilen özara täsir netijesinde Ag_2S sulfidiň geçirmeýän goýy örtüginine emele getirmäge ýykgylyk edýär. Kükürtwodorodyň yzy atmosferada hemişe bardyr. Çyglygyň bolmagy hadysanyň geçişini çaltlandyrýar. Şonuň üçin kümüş kontaktlarynyň rezin, ebonit we beýleki kükürt saklanýan materýallar bilen goňşyçylykda golaýda ulanmak bolmaýar. Kümüş adaty galaýylar bileb gowy galaýylanýar. Kümüşüň tebigatda ýeterliksizligi zerarlyol giň gerimde ulanmakda saklaýar.

Platina- ak metal, kislarod bilen düýbinden diýen ýaly birleşmeýär we himiki reagentlere durnukly. Platinany mehaniki taýdan gaýtadan işlemek aňsat, örän ýuka sapaga we lentä çekilýär. Kümüden tapawutlykda platina atmosfera özara täsirleşende kükürtli örtük emele getirmeýär. Bu bolsa platina kontaktytlarynyň durnukly deňiş garşylygyny üpjün edýär. Ol wodorody gyzdýrylan halta öz üstünden goýberip, ony düýbünden eretmeýär. Wodorodda gyzdýrylyp toplanan soň platina öz häsiýetlerini saklaýar. Ýöne kömür saklaýan seredada toplananda platina kömürleşýär we port bolýar.

Platina 1600⁰s çenli rempraturada işlemäge niýetlenen termojübütleri taýýarlamak üçin ulanylýar. (platina splawy bilen jübüte ser surat 3.15) diametri 0.001mm töweregi bolan aýratyn ýuka platin splawlary plarina-kümüş bimetal simlerisüýümleşdirmek bilen alynýar we son küküşin daşk garlagy azot turşysynda eredilýär.(azot turşy platina täsir etmeýär) Ol elektrometrlerde we beýleki duýujy abzallar hereketlendirji sistemalaryň çeňňegi üçin ulanylýar.

Gatylygy pes zerarly platina konaktkontaktly splawlar üçin esas bolup hyzmat edýär. Platinanyň iridiý bilen splawy has giň ýaýran; olar okislenýär has gaty mehaniki iýilmesi pes goşundylaryň köpösini goýberýär ýöne gymmat we kontaktlaryň pudgtalygyny üpjün etmek gerek bolan halatda ulanylýar,

Palladiý-häsiýetleriň birnäçesi boýunça platina golaý we onuň 4-5- esse arzanlygy zerarly onuň ornuny tutujy hökmünde ulanylýar. Palladiniň elektrowakuum tehnikasynda ulanylmagy onuň wodorydy güýçli siňdirmek ukyby bilen şertlendirilýän wodorod beýleki gazlarda tapawutlylykda pes tempraturada (150-300⁰s) we artykmaç basyşda 0.015-0.1 Mpa palladiýa diffundirlenýän, soňra ýenede palladiý wakumda 350-500⁰s temperaturada gyzdýrylanda arassa görnüşde bölünip çykýar. Gaty palladiý hususy göwrümine garnaşygy boýunça wodorodyň göwrüminiň 850 esseden köprägin siňdirýär. Palladiýden bölünip çykan arassa wodorot bilen gaz zaryadsyzlandyryjy gurallaryň birnäçe görnüşine doldurýarlar. Palladiý we onuň kümüş we mis bilen splawlary galtaşyjy üzelmeclipse otnositel uzalmagy -40%-e çenli.

Ereme temperaturasynyň bahasy orta bolan metallar.

Ereme temperaturasynyň bahasy onda bolan metallaryň arasynda elektron tehnikasynda has ýygy ulanýan-demir nikel we kobalta seredip geçýäris. Olaryň abzallarda we gurallarda islendik ulanylşy olaryň ferromagnitligi üçindir. Ondan başgada olarda udel garşylygyny

temperatur koeffisienti uludyr (α_p misden we beýleki elektrotehniki metallaryň köpüsinden 1,5 esse uly). Seredilip geçirilýän metallaryň splawlarynyň örän wajyp praktiki ähmiýeti bardyr.

Demir (polat) has arzan we elýeter metal hökmünde, şeýle hem mehaniki

berkliginiň ýokarylygy üçin geçiriji material hökmünde uly gyzyklanma eýedir. Hatda arassa demiriň hem mis we alýuminiý bilen deňeşdirende udel garşylygy has uludyr (0,1 mk Om m golaý). Demiriň we beýleki ferromagnit metallaryň we splawlaryň häsiýetli aýratynlygy udel garşylygyň temperature çyzyksyz baglylykdyr (çer. 3.19 we 3.22 sur).

Bu aýratynlyk kýuriniň (Tk) temperaturasynda golaýlaşdygyça magnitliligiň öz-özünden üýtgemegi bilen şertlendirilen, bu temperaturadan ýokarda ferromagnit häsiýetleri ýokdyr. Örän pes temperaturalarda ferromagnit metallarda atomlaryň ähli magnitli pursatlary çen bilen paralleldir. Şunuň ýaly tertipli, periodiki ýerleşenligi sebäpli olar elektrik meýdanyň täsiri astynda hereketlenýän elektronlaryň dargamagyny ýüze çykarmaýarlar. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ýagyrynly tertiplilik bozulýar, geçiriji elektronlaryň goşmaça dargamagyny ýüze çykarýar. Mattiseniň düzgünine laýyklykda dargamanyň dürli mehanizmleri doly garşylyga additiw goşant berýär:

$$\rho = \rho_T + \rho_{gal} + \rho_m$$

nirde P_T we P_{ost} -elektrolaryň gözenegy ýyly-130.lyk ysgyldysyna we garynda dargamagy bilen şertlendirilen garşylyk ; P_m -ýagyşnylar sistemasynda bitertiplik bilen şertlendirilen elektrogarşylyga magnit goşundy.

Ferromagnit metalyň udel garşylygyny aýry-aýry düzüjiler 3.20-nji suratda shemo görnüşinde görkezilen. T_k –dan ýokary tempraturada magnit düzüjisi P_m hemişelik bolýar, şol sebäpli garşylygyň tempratura baglylygy çyzykly häsýete eýe bolýar.

Demiriň udel garşylygy beýleki metallarda bolşy ýaly garyndynyň düzümine baglydyr. 3.21 suratdan görnişi ýaly demiriň elektrik häsýetine keremniniň garyndaşy has güýçli täsir edýär. Bu ýagdaý arassa demir bilen deňeşdirende ýokarlanan udel garşylygy sebäpli çarh görnüşli toklara ýetgisi az bolan elektrotektiki polat eredilende ulanylýar.

Ýokary magnit geçirijiligi zerarly demirde we polatda skin effekt áydyň ýüze çykýar.

Demir 500 °C-a çenli tempraturalarda işleýän elektrowakuum we ýarym geçiriji gurallaryň korpusyny ýasamak üçin ulanylýar. Munda demirden gazyň bölüp çykaryşy pes we guralyň kadaly işledilmegini bozmaýar.

Nikel-dykyzlygy misiň dykyzlygyna deňbolan kümüş söw-ak metal. Ol elektrowakuum tehnikasynda elektron lampalaryň armaturlary üçin material hökmünde, kadatlaryň käbir görnişleri üçin material hökmünde ulanylýar.

Ony arassa görnüşde ýeňil almak bolýar (99,99%Ni) we oňa kremeniň, marganesiň we beýkeki ýörite legirleýji goşundylaryny goşmak bolýar. Nikel onuň kükürtli ýa-

da kislorodly birleşmelerinden metallurgiýa ýoly arkaly alynýar we elektrolitik sifonirleme-durulama sezewar edilýär. Örän arassa poroşok görnüşli nikeli nikeliň karbonilini 220⁰ C temperaturada dargatmak arkaly alynýar.

Nikeliň položitel häsýetlerine uly otnositel uzaldylmada gyzdyrylyp talanan sas onuň mehaniki berkliginiň ýeterlikdigine degişli etmek bolýar ($\sigma_p = 400 \div 600$ MPa, $\Delta l/l = 35 \div 50\%$). Ony hatda sonluk halda hem mehaniki taplanmanyň ähli görnişlerine sezenlar edip bolýar: çekileme, presleme, tekizleme, süýdime we ş.m. nikelden ölçegi boýunça dürli we konsigursiýasy boýunça çyrşyrmly önümleri (taýýarlamak) ýasamak bolýar. Ähli galyndylardan has zyýanlysy kükürtdir. Ol materialyň berkligini birden peseldýär.

Nikeliň gymmatly häsýeti aýratyn hem esginlesine himiki durnuklylygydyr. Ol nikelde katdo gyzgyn halda täsir etmeýär. 3.22 suratda nikeliň udel garşylygynyň temperatur üýgemegi görkezilendir. Kýusiniň nokadynyň ($T_k=357^0C$) daş-töweregine baglylykda çyzygynyň dönlülenegi aýdyň görünýär. Elektrowakuum tehnikada ulanylmakdan başga-da nikel birnäçe magnit we geçiriji spalawlaryň komponenti hökmünde, şeýle hem demir önümleriniň gorag we bezeg örtügi hökmünde ulanylýar. Örän ýakyn mehaniki we elektriki häsýetleri kobaltda bardyr. Ony köpsanly magnit wegyzgyna çydamly spalawlaryň, şeýle hem çyzykly giňelmesiniň temperatur koeffisiýenti kişi bolan spalawlaryň düzümi bölegi hökmünde ulanylýar.

Elektrowakuum enjamlary üçin spalawlar. Ereme temperaturasynyň bahasy orta bolan metallaryň esasynda elektrowakum önümçiliginde giňden ulanylýan spalawlar döredilýär. Olaryň çyzykly giňelmesiniň temperatur koeffisiýentiniň belli bir bahasy bar. Ol baglanşykly metal kanstruksiýalary weaýna bilen birleşdirmeleri almaga ýardam berýär. Şunuň ýaly spalawlaryň arasynda has giň ýaýrany kowardyr. Ol 29%Ni, 17% Co we 54% Fe saklaýar. Onuň çyzykly giňelmesiniň temperatur koeffisiýenti $(4,4 \div 5,7) \cdot 10^{-6} K^{-1}$ we wolframama we molibdene derek aýna galaýylamak üçin niýetlenen. Gyzdyrylanda howanyň üst ýüzünde emele gelýän ýuka, dykyz we berk okis örtügi aýnada gowy ereýär we pugta galaýylamany üpjün edýär.

Pripoýlar.

Pripoýlar – bular galaýylamada ulanylýan ýorite splawlardyr. Pripoýlamany ýa-da birleşmelerde mehaniki taýdan berklik döretmek maksady bilen, ýa-da kiçi geçiş garşylykly elektrik kontaktlary almak üçin amala aşyrylýar. Pripoýlamada birikdirilýän ýer we pripoý gyzdyrylýar. Pripoýyň ereme temperaturasy birleşdirilýan metalyňkydan köp derejede pes, onda ol ereýär, şol bir wagtda ol esasy metal hökmünde gaty hem bolup galýar. Erän galaýy bilen gaty metalyň galtaşýan araçäginde dürli fiziko-himiki hadysalar bolup geçýär. Pripoý metaly ölleýär, onuň üsti boýunça akýar we birleşýän detallaryň arasyndaky deşijekleri

doldurýar. Munda galaýynyň komponentleri esasy metala diffundirlenýär, esasy metal pripoýda ereýär, netijede aralyk gatlak emele gelýär. Ol sowandan soň detallary bir bütewilige birleşdirýär.

Pripoýlary iki tarapa – ýumşak we gaty taraplara bermek kabul edilen. Ýumşak galaýylara ereme temperaturasy 300°C -a çenli bolan pripoýlar, gaty pripoýlara 300°C -den ýokary bolanlar degişlidir. Ondan başgada galaýylar mehaniki taýdan berkligi boýunça tapawutlanýarlar. Ýumşak galaýylaryň çekdirilende berkliginiň çägi 16-100 MPa, gaty pripoýlaryňky -100-500 MPa.

Pripoýlamanyň mehaniki berkligini, onuň poslama durnuklylygyny we bahasyny talap edýän birleşýän metallaryň fiziko-himiki häsiýetine görä pripoýyny saýlaýarlar. Tok geçiriji bölekleri galaýylamada galaýynyň udel geçirijiligini hasaba almak zerurdyr.

Radioelektronikanyň dürli ugurlarynda ýumşak we gaty pripoýlar ulanylýar. Ýumşak pripoýlar galaýyly-gurşun splawlardyr (POS-10). Onuň düzüminde g 10%-den (POS-10) 90% -de çenli (POS-90), galany gurşun. Bu galaýylaryň geçirijiligi arassa misiň geçirijiliginiň 9-15%-i tutýar, $\alpha_1 = (26 \div 27) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Galaýyly-gurşun galaýlaryň köp mukdary sürmäniň birneme prosentini (meselem, POS 61-05-den POS-8-3, galany gurşun) saklaýarlar.

Has giň ýaýran gaty galaýylar misli-sink (MSG) we dürli garyndyly kümüş (KG) galaýylardyr.

Pugta galaýylamany almak üçin kömekçi materiallara flýuslar (maddanyň eremegini çaltlandyrmak üçin goşulýan maddalar) diýilýär.

Olar: 1) galaýylanýan metalaryň üst ýüzündäki hapalary we okisleri eretmäge we aýyrmaga; 2) galaýylama hadysasynda üst ýüzi goramaga, şeýle hem erän galaýyny okislenmekden goramaga; 3) erän galaýynyň ýüzleý dartýşmasyny kiçeltmäge; 4) galaýynyň akyjylygyny we onuň bilen birleşýän metallaryň üstüni öllemecligini gowulandyrmaga borçludyr.

Galaýylanýan metala edýän täsiri boýunça flýuslar birnäçe toparlara bölünýärler.

Aktiw ýa-da turşuly flýuslar aktiw maddalaryň – duz turşusy, hlorly we ftorly metallar we ş.m. esasynda taýýarlanylýar. Bu flýuslar metalyň üstündäki okis örtüklerini güýçli eredýärler. Şol sebäpli hem gowy adgeziýa üpün edilýär; yzygiderlilikde birleşmäniň ýokary mehaniki berkligi üpjün edilýär. Galaýylamadan soň flýusyň galyndysy birleşmäniň we esasy metalyň güýçli depginde poslamagyna getirýär. Bu flýuslar diňe haçanda olaryň galyndysyny doly ýuwup aýyrmak mümkinçiligi bolan halatynda ulanylýar.

Elektro-radio abzallaryň montažly golaýylanmasynda aktiw flýuslaryň ulanylmagy düýbünden gadagandyr.

Turşusyz flýuslar - Kanifol we onuň esasynda aktiw däl maddalary (spirt, gliserin) goşup taýýarlanylýan flýuslara turşusyz flýuslar diýilýär.

Aktiwleşdirilen flýuslar aktiwizatorlary-köp bolmadyk mukdarda duzturşy ýa-da fosforturşy anilini, salizil turşusyny, duzturşy dietilamini we ş.m. goşup, kanifolyň esasynda taýýarlaýarlar. Käbir aktiwleşdirilen flýuslaryň ýokary aktiwligi ýagsyzlandyrmadan soň öňünden okisleri aýyrmazdan galaýylama geçirmäge ýardam berýär.

Antikarrozni flýus Poslama garşy flýuslary dürli organiki birleşmeleri we eredijileri goşmak bilen fosfor turşusynyň esasynda, şeýle hem organiki turşularyň esasynda taýýarlaýarlar. Flýuslaryň galyndysy poslama döretmeýär.

§3.6. Metal däl geçiriji materiallar.

Metallar we metal splawlar bilen bir hatarda rezistiw, kontaktly we tok geçiriji elementler hökmünde ýeterlik giň derejede dürli kompozision materiallar, käbir okisler ulanylýar. Düzgün bolşy ýaly bu materiallaryň ulanylyşy çäklidir.

Uglerodly materiallar. Gaty metal däl geçirijileriň arasynda elektrotehnikada has giňden ulanylýany grafit-allotrop görnüşiniň biri arassa ugleroddyr. Udel garşylygynyň kiçiligi bilen bir hatarda grafitiň gymmatly häsiýetli – uly ýylylyk geçirijiligi, köp sanly himiki agressiw sredalarda durnuklylygy, ýokary gyzgyna çydamlylygy, ýeňil mehaniki işlenijiligidir. Elektrokömürli önümleri öndürmek üçin tebigy grafit, antrasit we pirolitiki uglerod ulanylýar.

Tebigy grafit – örän ýokary ereme temperaturaly (3900°C) iri kristallik materialdyr. Kislorod erkin baranda we ýokary temperaturada ol gaz görnüşli okisleri Co we Co_2 emele getirip, okislenýär.

Pirolitik uglerody uglewodorodlaryň buglaryny wakuumda ýa-da inert gazyň sredasynda (piroliz) tehniki dargatmak ýaly arkaly alýarlar. Pirolize sezewar edilýän madda hökmünde adatça metan hatarynyň birleşmelerini çaýlaýarlar. Dykyz gurluşy almak üçin piroliziň 900°C -dan pes bolmadyk temperaturasy talap edilýär. Pirolitik uglerodyň örtügi ýüzleý görnüşli çyzykly rezistorlary almak üçin giňden ulanylýar.

Uglerodyň ownuk dispersli görnüşleriniň biri gurum. Ony doly ýanmadyk önüm ýaly ýa-da uglerod saklaýan maddalary tehniki dargatmak arkaly alýarlar. Baglaşdyryjy madda goşulan gurum gurluş emele getirmesine ýykgyňlygy ýüze çykarýar.

Kömürli önümleriň köpüsiniň önümçiligi uglerodly çig mallary poroşok görnüşine üwemekden, ony baglaýjy maddalar bilen garyşdyrmakdan, görnüş bermekden we ýakmakdan durýar. Şundan soň önüm ýeterlik mehaniki berklige we gatylyga eýe bolýar, mehaniki taplama göýberilýär.

Grafit ýarym geçiriji materiallaryň tehnologiýasynda dürli görnüşli gyzdyryjylary we ekranlary, kassetalary, tigelleri ýasamak üçin giňden ulanylýar. Wakuuumda ýa-da goraýjy gazly sredalarda grafit önümlerini 2500⁰C-a çenli temperaturlarda ekspluatirläp bolýar. Bakelit tipli organiki polimerli smolalary polimerleşdirip alynýan aýna uglerod grafitiň aýratyn modifikasiýasydyr (sur §7.4). polimerleşdirme neýtral gazlaryň atmosferasynda uzak wagtyň dowamynda geçirilýär. Taýýarlanylýan önümleriň üst ýüzi ýalpyldaulyk we aýna meňzeş görnüşli bardyr. Aýnauglerod adaty grafitden himiki durnuklylygy bilen tapawutlanýar.

Kompozitli geçiriji materiallar. Kompozitli materiallar dielektrik bagyjkly dolduryjyny geçirýän mehaniki garyndydyr. Komponentleriň düzümini we paýlanyş häsiýetini üýtgetmek arkaly bu materiallaryň elektrik hasiýetini giň çäklerde dolandyrmak bolýar. Ähli kompozitli materiallaryň aýratynlygy geçirijiligiň ýygyllykly baglylygy we dowamly agram düşende könelmegidir. Birnäçe ýagdaýlarda elektrik häsiýetleriň çyzyksyzlygy aýdyň ýüze çykýar.

Geçiriji fazanyň komponenty hökmünde metallar, grafit, gürüm, birnäçe okisler we karbidler ulanylýar. Organiki, şeýle hem organiki däl dielektrikler baglanyşdyryjy maddalaryň funksiýasyny ýerine ýetirýär.

Kombinirlenen geçiriji materiallar. Kombinirlenen geçiriji materiallaryň arasynda kontaktollar we kermetler has uly ünse mynasypdyr. Tok geçiriji ýelimler, reňkler, örtükler we amallar hökmünde ulanylýan kontaktollar pes şepbeşikli ýa-da pasta görnüşli polimer kompozisiýalardyr. Olarda baglaşdyryjy madda hökmünde dürli sintetiki smolalar (epoksidli, fenol-gormaldegidli, kremniýorganiki we başg) (çer §7.4) ulanylýar, tok geçirýän dolduryjylar bolsa metallaryň ownuk dispersli poroşoklarydyr (kümüş, nikel, palladiý). Kontaktolyň zerur bolan şepbeşikligini almak üçin üst ýüze çalynmazdan öňürti oňa eredijiler (aseton, spirt we ş.m.) goşulýar.

Kompozisiýada metal bölejikleriniň arasynda kontaktlary formirlemekde içki güýç uly rol oýnaýar. Ol eredilip gatadylmada eredijiniň uçujylygy we baglaşdyryjy maddanyň polimerleşmegi zerarly ýygrylmagy netijesinde ýüze çykýar. Içki güýç dolduryjynyň bölejikleriniň arasynda kontaktly basyşyň ýüze çykmagyna getirýär, kontaktly garşylyklaryň birden peselmegini şertlendirýär. Kontaktollar metallaryň, metal we ýarymgeçirijileriň arasynda kontaktlary almak üçin, dielektiklerde elektrodлары döretmek üçin, jaýy we abzallary daşky täsirden goramak üçin, dielektrik galyplarda tok geçiriji kommunikasiýalar üçin, maýyşgak tolkun getirijilerde we elektron senagatynyň beýleki önümlerinde ulanylýar.

Kermetat. Organiki däl baglaşdyryjyly metallodielektrik kompozisiýalara kermetler diýilýär. Olar ýuka örtükli rezistorlary ýasamak üçin niýetlenendir. Kermet örtükleriniň görünýän artykmaçlygy giň çäklerde olaryň udel garşylygyny üýtgetme mümkinçiligidir. Has giň ýaýran mikrokompozisiýa Cr-SiO. Onuň ýuka örtükleri wakuumda terniki bugartma we kondensasiýa usullary arkaly taýýarlanylýar we soň häsiýetlerini durnuklaşdyrmak üçin ýylylyk bilen taplaýarlar. Ýylylyk bilen taplanda komponentleriň özara täsiriniň hasabyna Cr₃ Si fazanyň emele gelmegi bilen dänejikleriň arasyndan okis gatlagyny gysyp çykarýarlar. Netijede dänejikleriň arasyndaky izolýasion gatlaklaryň garşylygy galtaşma garşylyk bilen çalyşýar. Galyň örtükli mikroshemalarda aýnanyň palladiý we kümüş bilen kompozisiýasynyň esasynda alynan rezistorlar ulanylýar. Bu maksat bilen aýna 3-5 mkm ölçegli poroşok görnüşde ownadylýar, kümüşüň we palladiniň, kömekçi baglaýjy we erediji bilen garyşdyrylýar. Alnan pastany keramiki galyba (podložka) çalýarlar we adaty atmosferada gyzdryp tutluşdyrýarlar. Örtükleriň udel garşylygy geçiriji komponentleriň present düzümine we gyzdryp tutluşdyrma düzgünine baglydyr.

Okisleriň esasynda geçiriji materiallar. Metallaryň arassa okisleriniň aglaba köpüsi kadaly şertlerde gowy dielektriklerdir. Ýöne doly däl okislenmede (kislородly boş ýerleriň emele gelmeginiň hasabyna stehiometriki düzüminiň bozulmagynda), şeýle hem käbir garyndylar goşulanda okisleriň geçirijiligi

birden ýokarlanýarlar. Şunuň ýaly materiallary kontakt we rezistiw gatlaklar hökmünde ulanmak bolýar. Bu meýilnamada galaýynyň ikili okisi has uly gyzyklanma döredýär. Radioelektronikada ol ýuka örtükler görnüşinde ulanylýar. Şunuň ýaly örtükler dürli usullar: termiki wakuumly bugartmak we kondensasiýa soňundan howada bugartmak bilen, metal galaýynyň örtüklerini okislendirmek, reaktiw katodly ýa-da ion –plazmaly tozanlandyрма we başg. ulanylýar. Sn O₂ okis örtükleri keramiki ýa-da aýna galyp bilen örän güýçli birigmesi bilen tapawutlanýar. Birigişme berkligi 20MPa ýetýär, ýagny metal örtükleriňkiden köp uly. Örtükleriň udel garşylygy stehiometriki düzümiň bozulma derejesine bagly we 10⁻⁵ Om*m düzüp bilýär. SnO₂ örtükleriniň 240°C-dan ýokary gyzdyrylmagy has doly okislenme netijesinde garşylygyň gaýdymсыz üýtgemegine getirýär. Şonuň bilen birlikde örtükler himiki sredalaryň köpüsine durukly, diňe gaýnaýan aşgarlar we ereýän turşular bilen dargadylýar. Galaýynyň ikili okisiniň ýuka örtükleriniň gymatly optiki häsiýetleri – ýagtylygyň görünýän we infragyzyň böleklerinde ýokary durulygy bardyr. (sur 3.23).

Surat 3.23.

Ýagtylygyň görünýän böleginde galyňlygy 2mkm çenli bolan SnO₂ örtükleriniň hususy siňdirilmesi 3%-den geçmeýär. Galaýynyň ikili okisiniň örtükleriniň ýokary optiki durulygynyň we ýokary elektrik geçirijiliginiň utgaşmasy olaryň elektrowakuum abzallarynyň aýna ballonlarynyň, elektrolýuminessent kondensatorlaryň we telewizion turbalaryny geçirýän çunluk kristalliki indikatorlaryň elektrodларыnyň, şekili emele getirijileriň we güýçlendirijileriň we başg. içki diwarynda geçiriji örtükler hökmünde ulanylmagyny şertlendirýär. Galaýynyň ikili okisinden başgada indiniň In₂O₃ okisiniň örtükleriniň ýagtylygyň görünýän böleginde ýokary elektrik geçirijiligi we durulygy bar.

Edebiýatlar

1. Türkmenistanyň Konstitusíasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetini, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников: Изд. «Наука» - М., 1978.
11. Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б. М. Электротехнические материалы. —Л.: Энергоатомиздат, 1985.
12. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников.—М.: Наука, 1977.
13. Вай-Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение/Пер. с англ. О. А. Алексеева.—М.: Атомиздат, 1975.
14. Горелик С. С, Дашевскии М. Я. Материаловедение полупроводников и металловедение. —М.: Металлургия, 1973.
15. Епифанов Г. И. Физика твердого тела. —М.: Высшая школа, 1977.
16. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела/Пер. с англ. под ред. А. А. Гусева. —М.: Наука, 1978.
17. Ормоит Б. Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников/Под ред. В. М. Глазова. —М.: Высшая

школа, 1982.

- 18.Преображенский А. А. Магнитные материалы и элементы. — М.: Высшая школа, 1976.
- 19.Справочник по электротехническим материалам/Под ред. Ю. В. Коричко, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. —М.: Энергия, 1974, т. 1 и 2; 1976, т. 3.
- 20.Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов.—М.: Энергоиздат, 1982.
- 21.Электрорадиоматериалы/Под ред. Б. М. Тареева. —М.: Высшая школа, 1978.

Mazmuny

Giriş.....	1
Bölüm 1. Elektron tenikasynyň materiallary barada esasy maglumatlar.....	4
1.1. Materiallaryň toparlara bölünşi	4
1.2. Himmiki baglanşygyň görnişleri.....	6
1.3. Gaty bedenleriň gurluşynyň aýratynlyklary.....	13
1.4. Gaty maddalaryň zolakly teoriýasynyň elementleri.....	17
Bölüm 2. Geçirijileriň fiziki prosesi we olaryň düzümi.....	25
2.1. Geçirijiler barada umumy maglumat.....	25
2.2. Metallaryň elektrogecirijiliginiň fiziki tebigaty.....	26
2.3. Metal geçirijileriň udel garşylygynyň temperatura baglylygy.....	33
2.4. Garyndylaryň we beýleki gurluş nogsanlyklaryň metalyň udel garşylygyna täsiri.....	38
2.5. Metal erginleriniň elektrk häsiýeti.....	42
2.6. Uly ýygýlyklarda geçirijileriň garşylygy	46
2.7. Ýuka metal örtükleriň garşylygy. Ölçeg netijeliligi.....	49
2.8. Galtaşma hadysalary we termo elektro hereketlendiriji güýç.....	53
Bölüm. 3. Geçiriji materiallar.....	56
3.1. Geçiriji materiallaryň toparlara bölünşi.	56
3.2. Ýokary geçirijilikli materiallar.....	56
3.3. Aşa geçiriji metallar we metal erginleri.....	61
3.4. Ýokary garşylygyň splawlary we termojübütler üçin splawlar.....	71
3.5. Dürli bellemeli metallar we splawlar.....	74
3.6. Metal däl geçiriji materiallar.....	85
Edebiýat.....	89