

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

ABU RAYXON BERUNIY NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

“ELEKTRONIKA VA AVTOMATIKA” FAKULTETI
“ELEKTRONIKA VA MIKROELEKTRONIKA” KAFEDRASI

Qo'lyozma xuquqida

OMONOV RAXMATJON

MAVZU: “Qattiq jism sirt fizikasi fani bo'yicha
elektron qo'llanma yaratish”

5521700 – Elektronika va mikroelektronika
yo'nalishi bo'yicha bakalavr darajasining olish uchun

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Kafedra mudiri: prof. Iliyev X.M.

Rahbar: dos. K.S.Ayupov

Toshkent 2014

MUNDARIJA	
KIRISH	4
I BOB	6
1.1 SIRT FIZIKA VA FIZIKAVIY KIMYONING OBYEKTI SIFATIDA.	6
SIRT FIZIKASI VA ZAMONAVIY MIKROELEKTRONIKA	
1.2 KATTIK JISM SIRTIDAGI XODISALAR TERMODINAMIKASI. ADGEZIYA VA ADSORBSIYA XODISASI VA UNING TURLARI	8
1.3 YARIMO'TKAZGICHLAR SIRTIDA ELEKTRONLAR HOLATLARI TAMM SIRTIY HOLATLARI. SHOKLI TURIDAGI SIRTIY HOLATLAR. BOSHQA TURDAGI SIRTIY HOLATLAR	11
1.4 KONDENSATSIYA VA BO'LINISH	12
1.5 YARIM O'TKAZGICHLARDAGI SIRT HOLATINI UNING XAJMIY XOSSALARIGA TA'SIRI. SIRTNING ZARYAD HOLATI BILAN BOG'LIQ BO'LGAN EFFEKTLAR	14
1.6 SIRT HOLATLARINI TO'LIQ STATISTIKASI	15
II BOB	16
2.1 ADSORBATLARNI SIRT XOSSASIGA TASIRI, YARIMO'TKAZGICH VA DIELEKTRIKLARNING SIRT POTENSIALI, ADSORBAT VA SIRT POTENSIALINI METALLARNING TERMOELEKTRON EMISSIYASI VA YARIMO'TKAZGICHLARNING O'TKAZUVCHANLIGIGA TASIRI	16
2.2 TOZA SIRTNI OLISH USULLARI	18
2.3 KATALITIK REAKSIYADAN FOYDALANGAN XOLDA TOZALASH USULI	18
2.4 SINISH USULI	20
2.5 SIRT TARANGLIK VA SIRTNING ERKIN ENERGIYASI	24
2.6 KIMYOVIY NOBIRJINSLILIK	26
III BOB	
YARIMO'TKAZGICH SIRTIDA SODIR BOLADIGAN HODISALAR	39
3.1 SIRT HODISALARI TOG'RISIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR	39
3.2 SIRTIDAGI ELECTRON HOLATLAR NAZARIYASI	41
3.3 SIRTIDAGI ELECTRON HOLATLAR TURLARI	42
IV BOB	45
YARIMO'TKAZGICH SIRTIDAGI FAZOVIIY ZARYAD QATLAMI VA SIRTIDAGI ELEKTR O'TKAZUVCHANLIK	
4.1 SIRTIDAGI FAZOVIIY ZARYAD QATLAMI	45
4.2 FAZOVIIY ZARYAD SOHASINING XARAKTERISTIKALARI	49
4.3 SIRTIDAGI ELEKTR O'TKAZUVCHANLIK	51
V BOB	53
YARIMO'TKAZGICH SIRTIDAGI KINETIK HODISALAR	53
5.1 SIRTIDAGI FAZOVIIY ZARYADLAR HARAKATCHANLIQI	53
5.2 FAZOVIIY ZARYAD SOHASIDA XOLL HODISASI	56
5.3 YARIMO'TKAZGICHLAR SIRTIDAGI ADSORBLASH HODISASI. ADSORBLASH VA UNING ASOSIY QONUNIYATLARI	58

5.4 ADSORBLASH KINETIKASI	59
5.5 FIZIK VA KIMYOVIY ADSORBLASH	60
VI-BOB	63
YARIMO'TKAZGICH SIRTIDAGI HODISALARNI	63
TAJRIBALARDA O'RGANISH	
6.1 TAJRIBA O'TKAZISH QURILMASINING SXEMASI SIRTIDAGI	63
SOHADA ZARYAD TASHUVCHILAR HARAKATCHANLIGINI	
TAJRIBADA O'RGANISH	
6.2 HOLL ELEKTR YURITUVCHI KUCHI VA SIRTIDAGI	65
ZARYADLAR HARAKATCHANLIQINI O'GANISH	
6.3 QATTIQ JISM-VAKUUM SIRT BO'LINISHINING	70
XOSSALARINI O'RGANISH USULLARI. ELEKTR VA OPTIK	
O'LCHASHLARGA ASOSLANGAN TADQIQOT USULLARI. OPTIK	
MIKROSKOPIYA, OPTIK MIKROSKOPIYADA O'TA AJRATISHGA	
ERISHISH USULLARI, AKSLANISHGA ISHLOVCHI ELEKTRON	
MIKROSKOPIYA. RASTR ELEKTRON MIKROSKOP.	
EKSPRIMETAL USULNING UCHTA SINFLARI.	
6. 4 SIRT O'TKAZUVCHANLIGINI O'LCHASH	72
6.5 ELLIKSOMETRIYA	75
6.6 ION SOCHILISH USULI	78
6.7 ADSORBSION QATLAM VA SIRTIY KIMYOVIY	88
REAKSIYALARNI O'RGANISH USULI. AKSLANUVCHI	
ELLIPSOMETRIYA, USULNI AMALAGA OSHIRUVCHI QURILMA.	
AKSLANUVCHI INFRAQIZIL SPEKTROSKOPIYA, USULNI	
AMALGA OSHIRUVCHI QURILMA	
XULOSA	90
I V Bob. Hayot faoliyati xavfsizligi	92
V Bob. IQTISODIY QISM I. Loyxani texnik-iqtisodiy asoslash.	95
II. Investisiya xajmini aniqlash.	
Adabiyotlar ro'yxati	111

Kirish

Yarimo'tkazgichlar sirti fizikasiga qiziqish paydo bo'lishi sirtida yuz beradigan hodisalarning yarimo'tkazgich xajmidagi jarayonlarga shuningdek, ko'pchilik yarimo'tkazgichli asboblarning ishiga ta'siri aniqlanganligi bo'ldi. Keyingi davrda yarimo'tkazgichlar elektronikasida integral mikrosxemalar deb atalmish qiyosan kichik xajmda o'z ichiga ko'p miqdordagi tranzistorlar, sig'implar, induktivliklar va boshqa elementlarni olgan tuzilmalar keng miqyosda ishlab chiqilishi, ularning turli sohalarga (kompyuterlar, televizorlar, aloqa va energetika qurilmalariga) jadal joriy qilinishi yarimo'tkazgichlar sirti fizikasini astoydil tadqiqolanishi masalasini dolzarb qilib qo'ydi, chunki qo'llanadigan yarimo'tkazgich elementlarning xajmining tobora kichrayib borishi ular sirtining ahamiyatini oshirib bormoqda.

Yarimo'tkazgichlar sirti ta'sirini o'rganish bir necha ajoyib hodisalarni aniqlashga olib keldi. Sirtning holati ko'pincha kristall xajmida sodir bo'ladigan jarayonlarning kechishini aniqlaydi. Masalan, sirtiy sathlar rekombinatsiya markazlari bo'lib, namunada muvozanatsiz zaryad tashuvchilarning yashash davriga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Sirtiy sochilish masalalarini tadqiqolash ham muhim muammolardan biridir.

Yarimo'tkazgichlar sirti xossalarni o'rganish fizika kimyoning ba'zi masalalarini, hususan kataliz muammolarini hal qilishda ham favqulodda zarur. Sirtning holati quyosh energiyasidan foydalanishga mo'jallangan asboblarning va qurilmalar ishida aloxida ahamiyatga ega. Umuman aytganda, sirtiy holatlar yarimo'tkazgichli diodlar, tranzistorlar ishlashida muhim omillardir.

Tashqi ta'sirdan asboblarni ximoya qilish uchun ularning sirtini atrofidagi muxitdan ajratish (saqlash) muammosi ham eng zarur amaliy vazifalardanidir. Xozirgi zamonda kristallarning atomar toza sirtini xosil qilish mumkin bo'ldi, bunday holatni nazorat qilish usullari ham ishlab chiqilgan. Yarimo'tkazgichlar sirti fizikasini o'rganishda ko'p ijobiy natijalarga erishildi, ammo, bu soxada tadqiqotlar davom etmoqda, chunki texnika va texnologiyaning rivoji,

yarimo'tkazgichlar elektronikasining tez o'sishi yangidan-yangi masalalarni maydonga chiqarmoqda.

Men malakaviy bitiruv ishimda o'quv jarayoni uchun zarur bo'lgan qattiq jism sirt fizikasi fani bo'yicha elektron qo'llanma yaratilgan.

Bitiruv ishi: kirish, asosiy qism, qismi, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatini o'zida mujassamlashtirgan.

I BOB

1.1 Sirt fizika va fizikaviy kimyoning obykti sifatida.

Sirt fizikasi va zamonaviy mikroelektronika

Sirt tuwunchasi. Sirt fizikasi qachon paydo bo'ldi va uning asoschisi kim? Bu savolga turlicha javob berish mumkin. Turli xil jismlar orasidagi sirtning xossalari batafsil o'rgangan olimlardan biri mashhur amerikalik fizik va matematik Djozaya Uillard Tibbs (1839-1903).

O'zining "Geterogen Moddalar Muvozanati xaqida" nomli zamonaviy termodinamikaning asosi bo'lgan taniqli ishida birinchi marta sirtning termodinamik fazodan farqli mustaqil tizim sifatida qaradi. Bu sirtning qatlam juda katta bo'lsada, Gibbsning fikriga ko'ra ma'lum "Fazaga" ega, ya'ni o'ziga xos energiya, entropiya va boshqa termodinamik kattaliklarga ega. Bunday yondashish Tibbsga sirt xodisalarining makroskopik nazariyasini yaratishga imkon berdi va adsorbtsiyani ya'ni sirtning atrof muxitdan molekulalarini yutib olishini miqdoriy jihatdan tushuntirdi

Gap shundaki, sirt doim atmosferadagi atomlar va molekulalarning ko'p sonidagi to'qnashuvi tasirida bo'ladi ya'ni unda begona moddaning notekis qobig'i hosil bo'ladi. Qisqa qilib aytganda sirt tozalab bo'lmaydigan darajada kir bo'ladi va u sirtning xaqiqiy xossasini yashiradi. Toza sirt olish ishning yarimi, boshqa tomoni uni saqlash. Atmosfera bosimidan milliard marta kichik bo'lgan 10^{-6} mm. sim. ust. ga mos keluvchi vakumda bir sekund ichida moddaning sirti bir qatlam begona atomlar bilan qoplanadi. (yupqa qatlam monoqatlam deb xam ataladi). Sirtiy nuqtai nazardan fizikaviy masalalar qaralsa, masalan, unda elektronlar qanday xarakatlanadi yoki sirtidagi atomlar qanday joylashgan, bunda $10^{-10} \div 10^{-11}$ mm. sim. ust. dan kam bo'lmagan vakum kerak bo'ladi qayt etilgan bosimni olish va o'lchash - oson bo'lmagan vakum kerak bo'ladi. Qayt etilgan bosimni olish va o'lchash – oson bo'lmagan texnik masala va shuning uchun yuqori vakumda boshqariladigan sharoitda toza sirtlar bilan tajriba o'tkazish faqat 60-yillar oxirida mumkin bo'ldi. Bungacha Gibbsning g'oyasini rivojlantiruvchi klassik tadqiqotlar

amerikalik olim Irving Lengmyur tomonidan olib borilgan 20-yillardagi izlanishlar fizikaviy kimyoning bir bo'limi bo'ldi.

Bunda qo'yilgan masala sirtning umumiy jixatlarini o'rganishga qaratilgan edi va mikroskopik xossalari inobatga olinmagan. Bu termodinamik yondashuv edi – sirtning erkinlik energiyasi, xullas burchagi va adsorbtsiya izotermasi – termodinamikaning mikroskopik fizik mexanizmi aniq emas.

Fizik-kimyoviy tadqiqodlar natijasida sirt o'zini qanday tutishi aniqlandi, Biroq tadqiqotchilarga xam sirtni qanday yopishtirish, kimyoviy reaksiyasini katalizlsim yoki elektronlar emissiyasini xosil qilish tushunarsiz edi. Xosil bo'lgan masala emperik qonuniyatlar orqali “ bartaraf ” etildi lekin kuzatiladigon xodisa oldindan aytib berilmadi, biroq ma'lumotlar tushuntirib berildi. Fizikaga bunday amaliy yondashuvni fenomenologik deb atash kelishilgan.

Sirtni fenomenologik tadqiq qilish natijasida ko'pchilik masalalar-masalan, sirdagi elektronlar energetik spektirini – amalda aniqlab bo'lmaydi. Shuning uchun ayrim xollarda sirt fizikaviy kimyosi faqatgina masalalarni xal qilish bilan bant bo'lib qoldi , aslida esa ular chuqirlashib ketishdi. Bu esa sirt xaqidagi fanni anchagina texnologiyadan ortda bo'lishga majbur qildi va texnologiya fansiz xarakatlandi .masalan , sirt xodisalari yarim o'tgazgich asboblarni tayyorlashda ancha vaqt texnologlarning dushmani bo'lib keldi sirt xodisalari diodlar ,tranzistorlar, quyosh elemntlari ishlashini yamonlashtiradi shuni aytish mumkunki sirt bilan bog'liq bo'lgan muammo tranzistorlarni 1954-yilgacha keng tarqalmasligiga sabab bo'lgan . texnologiya bu muammolarni alkimyoviy usullarni qo'llab xal etdi: sirtli bir revaktiv bilan yemirilsa , boshqasi bilan saqlab qolinadi , uchunchisi bilan yuviladi sirda bo'layotgan jarayonlarni tushunmaslik tajribalarini juda ko'p o'tgazishga olib keldi .

Anglab yetish darajasi 70-yillarda ultra yuqori vaquum – (bosim $10^{-10} \div 10^{-11}$ mm. sim. ust. tarkibida) texnologiyasini o'zlashtirilgandan keyin boshlandi afsuski bunday vakumni ushlab turish sirt xaqidagi fizikaviy malumotlarni beradi . sirtni tajribada tekshirishda adsarbsiya xalaqt beradigan omillardan biridir. Adsarbsiya

tufayli sirtning mikroskopik fizikasi 60-yillar oxirigacha ayrim nazariyotchilar tasirida bo'ldi . ulardan biri Akademik I'or Yergenevich Tamm.

Sirt xodisalari xaqidagi fan o'z ichiga juda ko'p masalalarni oladi. Xar bir modda ikki muhitni ajratib turuvchi chegaraga ega . bu chegaraning fizik kimyoviy xossalarini o'rganish juda keng soxadagi o'z ichiga oladi shuning uchun qaralayotgan masalalarni aniq yo'nalishini belgilab olish zarur ushbu qo'llanmada yarim o'tgazgixchlar fizikasi texnologiyasini keltirish bilan birga gaz va qattiq jisim orasidagi fizik jarayonlar xamda sirtli tadqit qilishning asosiy metodlari keltirilgan .

Ideal sirt tushunchasi faqat qattiq jisim yoki suyuq moddalarning ichki xossalarini o'rganishda ma'noga ega xaqiqatda esa u bunday ko'rinishda tabiatda uchraydi agar sirtning muhit bilan kantaktini qarasak, u xolda ko'pxchilik xodisa va jarayonlarga duch kelimiz .

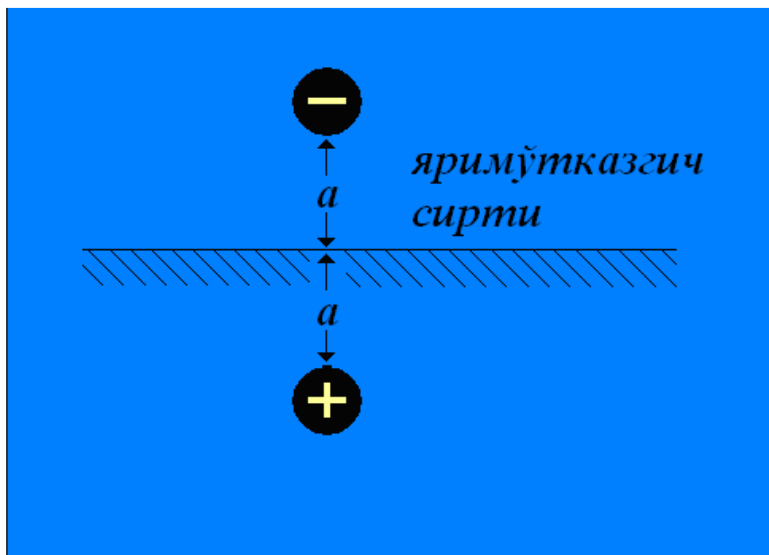
Bular adsorbsiya , kataliz ,bug'lanish , kondelsatsiya , diffuziya, va boshqa jarayon va xodisalar quidagi fazalar chegarasida ro'y beradi : Gaz-qattiq jisim, Gaz-suyuqlik, suyuqlik-suyuqlik, suyuqlik- qattiq jisim, qattiq jisim-qattiq jisim. Ushbu fizik kim'yoviy jarayonlarda sirtning ro'li juda katta . sirt qattiq jisim va suyuqlik xossalarini shakillanishida sezilarli tasir qilishi mumkun . masalan magnit singduruvchanligi, mustaxkamligi plastikligi va boshqalar.

1.2 Kattik jism sirtidagi xodisalar termodinamikasi.

Adgeziya va adsorbsiya xodisasi va uning turlari

Agar elektron yarimutkazgich sirtini tashlab chikib ketadigan bulsa, u xolda unda musbat zaryadl.angan «bush joy» paydo buladi. (1-rasm). U xolda Kulon konuniga muvofik elektron va «bush joy» urtasida tortishish *kuchi* paydo buladi, bu tortishish kuchi — kuzgu (akslanish) natijasidagi kuchidir.

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(2a)^2} = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0a^2}$$



Metall — yarimutkazgich sistemasiga Ye tashki elektr maydoni kuyilganda elektronga yana bitta qE kuch ta'sir qiladi. Yarimutkazgich sirtidan biror «a» masofada bu ikkala kuch bir — biriga teng buladi, ya'ni, $F = qE$ va

$$qE = \frac{q^2}{16 \pi \varepsilon_0 a^2}$$

Bu yerdan

$$a = \frac{1}{2} \left(\frac{q}{4 \pi \varepsilon_0 E} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ifodani olamiz.

Elektronni kuzgu akslantirish kuchlari xosil qilgan Kulon tortishish maydonidan chikarib yuborish uchun unga «a» masofani bosib utishi uchun yetarli bulgan energiya va uni cheksizlikkacha kuchirish uchun zarur bulgan kushimcha energiya berish kerak:

$$E = qEa + \int_a^{\infty} \left(-\frac{q^2}{16 \pi \varepsilon_0 y^2} \right) dy = qEa + \frac{q^2}{16 \pi \varepsilon_0 a}$$

() ifodaga «a» ning urniga (1) ifodani kuyib, elektronning elektr maydoni tufayli oladigan kushimcha energiyasining kiymatini olishimiz mumkin:

$$\left(\frac{q^3 E}{4 \pi \varepsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}}$$

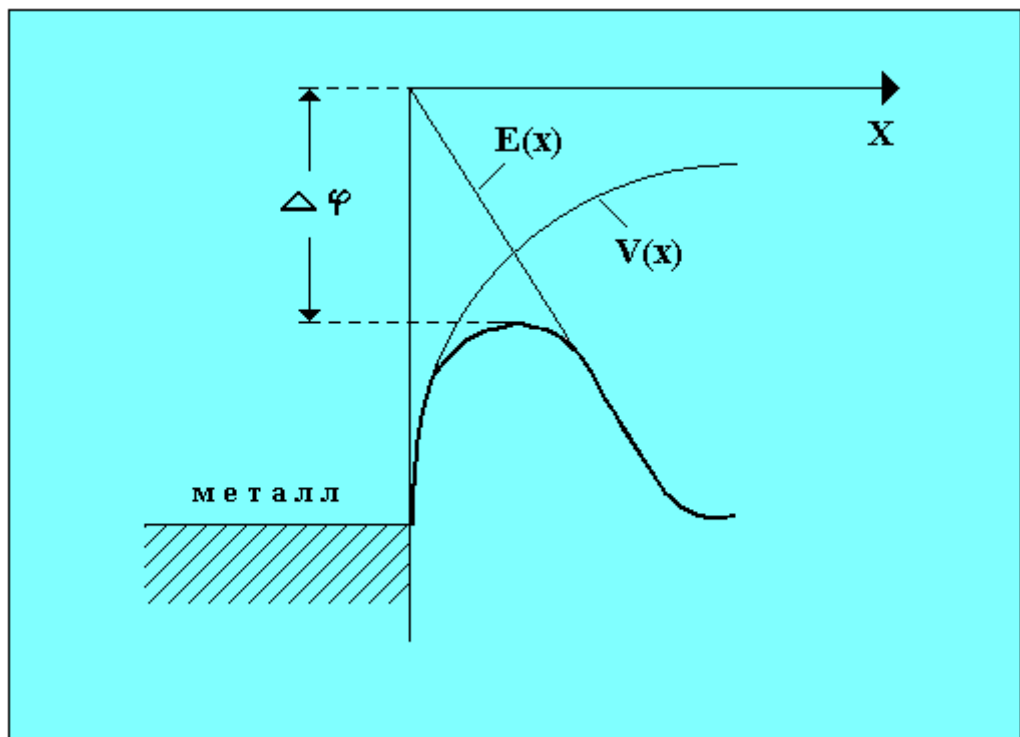
Bu kushimcha energiya yarimutkazgich chikish ishini

$$\Delta \varphi = \left(\frac{qE}{4 \pi \varepsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}}$$

kattalikka kamaytiradi.

Elektr maydonida potensial tusik balandligining pasayishiga *Shottki effekty* deyiladi.

Shottki effekti metall — yarimutkazgich kontaktida tokning utish jarayoniga sezilarli ta'sir kursatadi. (a)-rasmda metall — yarimutkazgich kontaktida potensial tusik balandligining Shottki effekti xisobi|ga kamayishi kursatilgan.



1.3 Yarimo'tkazgichlar sirtida elektronlar holatlari

Tamm sirtiy holatlari. Shokli turidagi sirtiy holatlar.

Boshqa turdagi sirtiy holatlar

Tamm sirtiy holatlari 1932 yilda I.Ye.Tamm cheksiz va chekli kristalda elektronlarning energetik spektri muhim darajada turlicha bo'lishligini ko'rsatgan. Cheksiz kristaldagi elektronlarning ruxsatlangan energiyalari zonalaridan boshqa chekli kristalda uning uzilishi oqibatida elektronlar uchun yangi ruxsatlangan diskret (uzuq-uzuq) energetik holatlar paydo bo'ladi. Elektron holatlarning bu holatlarga mos keladigan to'lqin funksiyalari kristall chegarasida eng katta (maksimal) bo'lib, kristall ichi tomonga va vakuum tomonga so'nib boradi.

Agar kristall chegaralangan va chetki elementar yacheykadagi potensial to'siq kristall ichidagisidan farqli bo'lsa, cheksiz kristall ichida taqiqlangan holatlar o'rniga chekli kristallar sirtida ruxsat etilgan energetik holatlar vujudga kelishi mumkin. Ma'lumki, har qanday kvant tizimning energetik spektrini xosil qilish uchun Shryodinger tenglamasini yechish kerak. Buning uchun to'lqin funksiya tanlashdan tashqari kristall ichidagi potensial o'zgarish ravishini bilish kerak.

Ye.I.Tamm o'zining birinchi xisobida bir o'lchovli masalani yechishda Kronig-Pennining kuchsiz bog'langan elektronlar modelini qabul qilgan, bunda eng chetki potensial ichki to'siqlardan farq qilgan. Shu taqribda Tamm sathlari energiyasini aniqlash uchun tayinli tenglama olingan.

Sirtiy elektron holatlar nazariyasining keyingi rivojida nazariya uch o'lchovli fazo holini umumlashtirish, tadqiqlash, shuningdek, kristall ichidagi davriy potensialning turli ko'rinishlari hollari qarab chiqildi.

Xulosalar:

Chekli muntazam kristalda sirtida kristall atomlarining davriy joylashishi kesilganligi oqibatida uzuq-uzuuq elektron energiyalari holatlari spektri vujudga keladi. Bu holatlarni Tamm holatlari (sathlari) deyiladi.

Tamm holatlarining zichligi (konsentrasiyasi) ni sirdagi atomlar zichligi aniqlaydi, ya'ni bu zichlik $\sim 10^{15} \text{ sm}^{-2}$ tartibda bo'ladi. Bunday zichlik mavjud bo'lganida sirtiy energetik zonalar paydo bo'lishi ham mumkin.

Shokli turidagi sirtiy sathlar

Shokli turidagi sirtiy sathlar ham, Tamm sathlari kabi, sirtida davriy potensialning chegaralanishi oqibatida vujudga keladi. Ammo, Tamm va Shokli sirtiy sathlarining kelib chiqishining bevosita sabablari turlicha. Shokli modelida 8 atomdan iborat bir o'lchamli chekli zanjirga qadalgan. Davriy potensial xar bir atomga nisbatan simmetrik bo'lgan ixtiyoriy potensial chuqurlar ko'rinishida tasavvur qilingan.

Eng muhimi potensial o'ra buzilmagan, uning shakli ichki chuqurlarnikidan farq qilmaydi. Shokli bunday zanjircha uchun elektronlar energiyalari spektrini topgan va bu spektrning panjara doimiysi cheksizidan to kichik kattalikkacha kichrayganida qanday o'zgarishini tadqiq qilgan. Zanjirchadagi atomlar orasidagi masofa katta bo'lganda tizimning energetik spektri ayrim atomlar uchun xos diskret (uzuq-uzuq) sathlar ko'rinishida bo'ladi va har bir sath sakkiz karra aynigan bo'ladi.

Panjara doimiysi kamaya borgan sari ayrim sathlarga (zonalarga) parchalanadi, bunda d_1 dan kichik bo'lgan atomlararo masofalarda sathlar kesishadi.

Bu xolda kristalning taqiqlangan zonasida ikkita sath paydo bo'ladi, ulardan biri pastki ruxsatlangan zonadan, ikkinchisi yuqorigi zonada xosil bo'ladi.

1.4 Kondensatsiya va bo'linish.

Radioelektron qurilmalar ishlab chiqarishning zamonaviy texnologiyasi materialning yupqa qatlamlarida ro'y beradigon jarayonlarni yaxshi bilishni talab qiladi. Ushbu texnologiya o'z ichiga sirtni tozalash, kondensatsiya jarayoni, bug'lanish, adsorbsiya kabi jarayonlarni o'z ichiga oladi va ular sirtida elektron elementlarning kerakli parametrdagi shakillanishiga olib keladi.

Boshqa sirtiy jarayonlar. Elektron sxemalarni yaratishda turli xil fizik-kimyoviy ishlovlardan o'tkazish uning parametrlarini o'zgarishiga olib keladi. Natijada elektronlarning metaldan chiqish ishi katta miqdorda o'zgarishi mumkin va bu o'zgarishni elektron sxemalar tayorlashda xisobga olish kerak. Zamonaviy elektron texnikada sirtiy xodisalarni xisobga olish elementlar zaxirasini ishonchli bo'lishini taminlaydi.

Sirtiy xodisalar qattiq jismlarning butun xossalarini tubdan o'zgarishiga olib keldi. Qaytarish ko'effitsenti, yorug'likni o'tkazish ko'effitsenti va boshqa optik tafsirlar qattiq jismlar sirtining adsorbsiyalangan va kondensatsiyalangan qatlamiga katta bog'liq.

Texnikadan ishqalanish muammosi, jismning tormozlanishi va issiqlik almashinuvi muammosi fazalararo tasirlashishning atomlar va molekular darajada ko'effitsentni topish masalasiga olib keladi. Ko'effitsentni sirt fizikasida aniqlash mumkin.

Sirtiy xodisalar haqidagi fan bo'yicha qilingan qisqacha shart shuni ko'rsatadiki, u juda keng soxaga masalalarni o'z ichiga oladi. Gaz-qattiq jism tizimidagi fazalararo o'zaro ta'sirlashib ko'p qirrali va murakkab bo'lganligi uchun bu obyektning tekshirish qiyin.

Sirt fizikasining dastlabki bosqichi "ideal sirt" xisoblanadi. Bunday sirt yuqorida aytib o'tilganidek qatlamda o'zgarmaydi. Biroq maxsus sharoitlarda turli xil yaqinlashishlar mavjud. Ekstrimal sharoitlardagi yondashuv boshqa tabiiy fanlarda xam qo'llaniladi. Gap shundaki, kuzatilayotkan effektning sababini aniqlashda xodisaga eng ko'p ta'sir qiladigon faktorlarni ajratish ko'zda tutiladi. Misol sifatida o'ta yuqori vakuum olinishi, o'ta past xarorat olinishi o'ta yuqori xaroratni olinishi, qirrali kristallarning olinishini keltirish mumkin. Eng kam sondagi faktorlar bilan sirdagi bo'layotgan jarayonlar dinamikasini tushinish va ularni boshqarish zamonaviy sirt fizikasining asosiy masalalaridan biri. Yarim o'tkazgichlardagi sirt xolatini uning ... xossalariga ta'siri. Sirtning zaryad xolati bilan bog'liq bo'lgan obyektlar. Yarim o'tkazgich sirtini yoki yarim o'tkazgichni qandaydir modda bilan bo'linish chegarasini tavsiflovchi prinsipidan o'ziga

xoslikdan biri sirtidagi elektron uchun yarim o'tkazgich ... dorsganda energetik sirtlarining o'zgarishidir.

1.5 Yarim o'tkazgichlardagi sirt holatini uning xajmiy xossalariga ta'siri. Sirtning zaryad holati bilan bog'liq bo'lgan effektlar

Yarimo'tkazgich sirtini yoki yarimo'tkazgichni qandaydir modda bilan bo'linish chegarasini tavsirlovchi o'ziga xosliklardan biri sirtidagi elektron uchun yarimo'tkazgich xajmiga qaraganda energetik spektrining o'zgarishidir. Bu farqlanish yarimo'tkazgich sirtida sirt holatlarining ($S'H$) mavjud bo'lishi bilan tushuntiriladi. Sirt holatlari deyilganda yarimo'tkazgichni qandaydir muhit (dielektrik, metall, gaz, elektrolit, vakuum) bilan bo'linish chegarasida fazoviy maxalliylashgan yarimo'tkazgich taqiqlangan sohasida energetik holatga ega bo'lgan va yarimo'tkazgich sirtida Fermi sathining holitiga bog'liq xolda o'zining zaryad holatini o'zgartiruvchi elektron holat tushiniladi.

$S'H$ zaryad holatlari bo'yiga xuddi yarimo'tkazgich taqiqlangan sohasidagi hajmiy holatlari kabi ikkita turda –donorli va akseptorli bo'ladi. Donor turdagi holat Fermi sathidan yuqorida joylashgan bo'lsa, musbat zaryadlangan bo'ladi. Agarda Fermi sathidan pastda joylashgan bo'lsa, neytral bo'ladi. Agarda Fermi sathidan pastda joylashgan bo'lsa, manfiy zaryadlangan bo'ladi. Ko'pincha tajribalar, yarimo'tkazgich sirtida taqiqlangan soha yarmisidan yuqorisida akseptor turdagi $S'H$, pastki yarmida donor turdagi $S'H$ joylashini ko'rsatadi. Misol tariqasida 3.9- rasmda sirt potentsiallining turli qiymatlarida (sirt holati to'lishi bilan tasvirlangan) yarimo'tkazgichning zona diagrammasi keltirilgan.

Shokli aniq o'lchamdagi atomlar zanjirining energetik spektirini hisoblagan xolda chegaralarning mavjud bo'lishi ruhsat berilgan zonadan bittadan xajmiy holatlar bo'yicha bo'linishiga va taqiqlangan zonada chegaraga yaqinida maxalliylashgan holatlarni paydo bo'lishini ko'rsatadi. Shokli holatlari konsentrasiyasi xuddi Tamm holatlar konsentrasiyasi kabi sirt atomlari konsentrasiyasiga tengdir. Shokli $S'H$ larini sirtidagi atomlarning to'yinmagan kimyoviy bog' sifatida talqin qilish mumkin. Kristall panjaraning sirtidagi

nuqsonlar (vakansiya, tugunlararo, dislokasiya) hisobiga sirt holatlari, mazkur nuqsonlar xajmda bo'lishi hisobiga hosil bo'lgan maxalliy sathlarga o'xshash sathga ega bo'ladi. Sirtidagi maxalliylik holatlar kristall panjaradagi kirishmalarning sirtga yaqin joylashishishi, atom va molekulalarning yarimo'tkazgich sirtiga absorbsiyalanishi tufayli hosil bo'lishi mumkin.

1.6 Sirt holatlarini to'lish statistikasi

Sirt holati zaryadiki sirt potentsiali kattaligi o'zgarganda qanday o'zgarishini ko'rib chiqamiz. S'H to'lish funksiyasi Fermi-Dirak funksiyasi ko'rinishida olamiz. Yarimo'tkazgich sirtida Fermi energiyasining kattaligi F quyidagiga teng bo'ladi:

Fermi-Direk funksiyasiga kiruvchi sirtidagi Fermi sathidan S'Hlarining energetik sathigicha bo'lgan masofa quyidagiga teng:

bu yerda E_x – taqiqlangan zona o'rtasidan hisoblangan S'H energiyasi. Taqiqlangan zonaning yuqori yarmidagi S'H uchun $E_x > 0$, pastki yarmi uchun $-E_t < 0$ / S'H uchun to'lish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

Monoenergetik akseptorli S'H uchun Q_a zaryad manfiy bo'ladi va kattaligi bo'yicha quyidagiga teng bo'ladi:

bu yerda N_{ss} – monoenergetik holatlar zichligi, yani ularning birlik yuzasidagi soni. Sirtidagi F_s Fermi sathi S'H sathidan $(2 \div 3)kT/q$ ga yuqori bo'lsa, u holda () ifodaga ko'ra $f = 1$ va $Q_s = -qN_{ss}$ bo'ladi. Fermi sathi F_s CH sathi bilan mos tushsa, $f = \frac{1}{2}$ va $Q_s = -\frac{1}{2}qN_{ss}$ bo'ladi. Nihoyat Fermi sathi S'H sathidan $(2 \div 3)kT/q$ ga pastda bo'lsa, u holda $f = 0$ va $Q_s = 0$ bo'ladi.

II BOB

2.1 Adsorbatlarni sirt xossasiga tasiri, yarimo'tkazgich va dielektriklarning sirt potentsiali, adsorbat va sirt potentsialini metallarning termoelektron emissiyasi va yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanligiga tasiri

Maruzaning bu qimida adsorbsiya – desorbsiya jarayonlarini tasvirlash asosida yotuvchi modellar va gaz – qattiq jism tizimida molekulalarning energiya va impulsini ko'chishini ko'rib chiqiladi.

Gaz molekulalarni qattiq jism sirti bilan to'qnashganda yuz beradigan jarayonlarni 1 – rasmda tasvirlangan sxema ko'rinishida tasvirlash mumkin. Bu yerda va keyinchalik gaz fazada mavjud bo'luvchi barcha zarralarni, shu jumladan atomlarni xam nazarda tutgan xolda “molekula” iborasidan foydalanamiz.

1-rasm. Gaz zarralarini qattiq jism bilan o'zaro tasirlashuv jarayonining sxemasi.

1. Molekulalar qayishqoq sochilishga uchrab, gaz fazasiga qaytadi. Elektronlarning qayishqoq sochilishi kabi bu jarayon difraksiya effektiga olib kelishi mumkin.

2. Molekula qattiq jismga o'zining kinetik energiyasining bir qismini beradi va kuchsiz adsorbsiya markazi tomonidan ulanib qolgan bo'ladi. Bu holat (A) eng kichik potentsial o'raga mos keladi va fizik adsorbsiya deb ataladi. Bunda qattiq jism va unga urilayotgan molekula orasida energiya almashuv jarayoni yuz beradi. Bu jarayonni akkomodasiya deb atashadi.

3. Molekula dastlab qattiq jism tomonidan A holatda ushlab qolinadi. Molekula va sirt orasidagi bog'lanish tebranishli g'alayonlangan bo'lib, qattiq jism bilan keyingi energiya almashuvi natijasida molekula potentsial o'ranining pastki sathida bo'lib qolishi mumkin.

4. Potensial o'raning A pastki sathiga molekula, 3 holatdagi kabi sirt bilan dastlabki to'qnashishida emas, balki qo'shni markazga sakrab o'tib, bunda g'alayonlashish energiyasini yo'qotgan xolda o'tishi mumkin.

5. Potensial o'raning A pastki sathida molekula, kristall panjaradan Y_{em} energetik to'siqni yengib o'tish uchun yetarli bo'lgan energiyani olib qo'shni A markazga o'tishi mumkin.

6. Agarda sirtida xemosorbsiyaga mos keluvchi V holat mavjud bo'lsa, u xolda qo'shni A markazning molekulasi AVE faollashuv energiyasini olib, V holatga o'tishi mumkin, mazkur holatda A holat V holat uchun xarakatlanadigan oraliq holat bo'lib qoladi.

7. A va V holatlar sirtning bitta nuqtasida yotishi mumkin. Molekula gazli fazadan A holatga tushib, V holatga sirt bo'ylab xarakatlanmasdan to'g'ridan to'g'ri o'tishi mumkin. Bu holatda A holat V holat uchun xarakatsiz oraliq vazifasini o'tab beradi.

8. Adsorbat molekulasini sirt bilan mustaxkam xemosorbsion bog'i hosil bo'lganda katta miqdordagi energiya ajraladi. Bu energiya yuqorida yoritilgan 4 bosqichdagidek, dastlabki xemosorbsiya yuz bergan V markazi tomonidan to'laligicha yutilmaydi. U xolda molekula bitta V holatdan boshqasiga, toki kristall panjaraga malum bir markazda ushlab qolishi uchun yetarli bo'lgan energiya miqdorini bermagunicha diffuziyalanadi.

9. Molekula desorbsiyalanishi mumkin. Bu holatda diffuziya (yoki migrasiya) vaqtida desorbsiya bo'lishi mumkin. Bunda molekulaga Edm faollashuv energiyasi talab etiladi.

10. EdA faollashuv energiyali A holatdan desorbsiya.

11. EdB faollashuv energiyali V holatdan desorbsiya.

12. Molekulalarni A holatda qattiq jism hajmida adsorbent bilan uch o'lchamli birikmani hosil qilish bilan ko'chishi.

13. Xuddi shu V holatdan.

Yuqorida sinab o'tilgan bosqichlarga bir biriga bog'liq emas deb hisoblangan adsorbsiyalangan zarralar orasidagi o'zaro tasirlashuv tasir qilishi mumkin .

Yuqorida sanab o'tilagan bosqichlarning nazariy talqini hozirgi kunda mavjud emas. Biroq birlamchi to'qnashishlarning yetarlicha rivojlangan modellari mavjuddir.

2.2 Toza sirtini olish usullari.

Changlatish yo'li bilan toza sirtini olish usuli. Changlatish jarayonining eng sodda ko'rinishi qiyin eriydigan materialdan tayyorlanagn tasma yoki simga joylshtirilgan changlatiladigan moddani qizdirishdir. Modda atomlari bug'lanadi va kinetik energiya hisobiga teglik sirtiga boradi. U yerda ular parda hosil qilgan xolda o'tiradi. Changlatish jarayonini amalga oshirishdan oldin 10^{-7} Pa vakumda taglik material tozalash maqsadida uzoq vaqt kuydirishadi. Mukammal variantda bo'lishi mumkin bo'lgan kimyoviy bir jinslimasliklarni bartaraf qilish uchun changlatilayotgan moddani vakuumli eritib olish maqsadga muvofiqdir. Zn, Ag, Ni, Pt, Au turdagi yengil eruvchi metallar va Al_2O_3 hamda SiO_2 turdagi oksidlar changlatish uchun qulay hisoblanadi. Toza sirtini olish va uni yetarlicha uzoq vaqt davomida saqlash uchun changlatish jarayonida vakuumni 10^{-6} Pa ushlab turish kerak bo'ladi. Bu usul va uning turli ko'rinishlari (masalan, ion- plazmali changlatish usuli) texnologik jarayonlarda keng qo'llanilishiga ega bo'ladi.

2.3 Katalitik reaksiyadan foydalangan xolda tozalash usuli

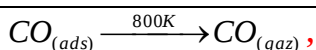
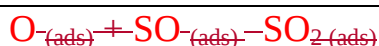
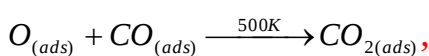
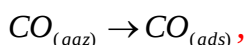
Mazkur usul tozalashlarning boshqa usullaridan foydalanish mumkin bo'lmaganda yoki termin tozalashda sirtini qizdirish haroratini sezilarli pasaytirish talab etilganda qo'llaniladi. Masalan, taglikka changlatiladigann nikel qatlamini kisloroddan tozalash uchun namunani 2600 K (1-jadval) haroratgacha qizdirishni amalga oshirish kerak bo'ladi. Bu harorat nikelni erishish (1726 K) haroratdan yuqoridir.

Mazkur holatda ionli bombardirovkasidan foydalanish nikel qatlamini qisman yoki to'laligicha buzilishiga olib kelar edi. Agarda qatlamning elektr parametrlarini saqlab qolishni talab etilsa, u xolda qayta changlatishni amalga oshirish maqsadga to'g'ri kelmaydi. Bunga o'xshash holatlarda tozalanayotgan sirtida adsorbsiyalangan qatlamda kechadigan katalitik kimyoviy reaksiyadan

foydalanishadi. Bu reaksiyada mustaxkam metall oksidlari va nitridlarining buzilishi yuz beradi, tiklanuvchi reaksiyaning yakuniy maxsuloti sifatida adsorbusiyalangan holatda kichik bog'lanish energiyali modda qoladi. Bu esa tozalanayotgan sirtni qizdirish haroratini sezilarli darajada pasaytirishga imkon beradi.

Pt sirtidan xemosorbsiyalangan O_2 ni CO atmosferasida kuchsiz qizdirish yo'li bilan olib tashlashni ko'rib chiqamiz.

Mazkur holatda sirtida quyidagi reaksiyalar yuz beradi.



$$Q_{CO-Pt} = 201 \frac{kJ}{mol},$$

$$Q_{CO_2-Pt} = 126 \frac{kJ}{mol}.$$

Mazkur reaksiyada CO_2 molekulasida atomlarning bog' energiyasi 490 kJ/mol atrofida bo'ladi. Rt – atomar kislorod va $Rt - CO$ tizimlarning bog' energiyasi birgalikda 591 kJ/mol (390+201) ga tengdir.

Shunday qilib 101kJ/mol tashkil qiladigan farqni to'ldirish uchun Rt 500K gacha qizdirish kerak bo'lsa, sirtidan reaksiya maxsulotini va ortiqcha SO ni olib tashlash uchun 168kJ/mol bog'ni uzish kerak bo'ladi, ya'ni sirtni 800K haroratgacha qizdirish kerak bo'ladi. Sirtni bunday tozalash usulining afzalliklari yaqqol ko'rinib turibdi. Kislorodni Rt sirtidan desorbsiya harorati 1860 K tashkil qilganligi uchun Rt erish harorati 2042 K tashkil qiladi. Ko'rsatilgan harorat qiymatlarining yaqinligi mazkur tizimlar bilan termik desorbsiya usulidan foydalanishdan voz kechishga olib keladi.

2.4 Sinish usuli

vakuumda sirtni tayyorlashning tarqalgan usullaridan biridir. Mo'rt monokristall materiallarni, ayniqsa, yarimo'tkazgichlarni maxsus qurilma yordamida malum bir kristallografik yo'nalishida onson singdirish mumkin. Sinish natijasida o'ta yuqori vakuum sharoitida bir necha kvadrat millimetr yuzaga ega bo'lgan atomer toza holatdagi silliq sirtni tayyorlash mumkin. Monokristalni sindirish usuli asosan strukturaviy va elektr o'lchashlarda ishlatiladi. Vakuum kameradagi ushlagichga namuna joylashtiriladi. U yerda u dastlab degazasiya qilinadi. So'ngra esa vakuum kameraning tashqarisidan xarakatga keltiriladigan bolg'acha yoki lezviya ko'rinishidagi zarblagich yordamida sindiriladi. Sindirish uchun katta kuchni talab etadigan kristallarda sindirish rejalashtirilgan joylashlarda dastlab kesishlar amlga oshiriladi. O'ta yuqori vakuumda kristallarni sinishidan gaz ajrab chiqishi mumkin. Buning natijasida kameradagi bosimni qisqa vaqtli oshishi yuz bnradi. Masalan, germaniy kristalli sindirilganda bosim 10^{-6} dan 10^{-3} Pa gacha ko'tarilsa, kremniy kristalli sindirilganda 10^{-6} dan 10^{-5} Pa gacha ko'tariladi. Mazkur effekt pasayganda kristallar vakuumda dastlab qizdiriladi. Kristalning singan yuzasida atomlarning turg'un munosabati buziladi. Bunga sabab sinish vaqtida sirt yaqinda maxalliy nuqsonlarga olib keladigan plastik deformasiya yuzaga keladi.

Namunani keyinchalik kuydirish bilan metastabil strukturani muvozanat holatga olib kelishadi. Sinishlarning yangi sirti ko'pincha zaryadlangan bo'ladi va uzoq vaqt davomida elektronlar va kvantlarni chiqarib turadi. Bu jarayon toza sirt kimyoviy faolligini tasir qilishi mumkin. Shuning uchun sindirish yo'li bilan olingan sirdagi fizik kimyoviy jarayonlarni o'rganganda bunday sirt holatlarini paydo bo'lishiga va sirtni kristallik qayta tashkil qilish mumkinligini hisobga olish kerak bo'ladi.

Yarimo'tkazgichlarning elektr parametrlari, shuningdek uzoq vaqt davomida ularning ishlay olish qobiliyati ko'proq yarimo'tkazgichlar sirtining holati va tozalik darajasiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun yarimo'tkazgichli asaboblarni germetizasiya qilishdan oldin maxsulot sirtini tozalash kerak bo'ladi.

Yarimo'tkazgich sirtining elektr xossalari, uning xajmidagi elektr xossalaridan farq qiladi. Bunga sabab sirt atomlari, kristall panjarani uzilishi natijasida hosil bo'ladigan erkin valent bog'lariga ega bo'ladi. Yarimo'tkazgichning sirt holati mexanik, fizik va kiyoviy qayta ishlash usullariga, shuningdek atrof muhitning sharoitiga bog'liq bo'ladi. Mexanik va fizik qayta ishlov berilganda buzilgan kristall panjarali qatlam hosil bo'ladi va sirt g'adir budir bo'lib qoladi, ifloslanadi. Kimyoviy ishlov berilganda u oksid parda bilan qoplanadi. Parda qalinligi qo'lanilayotgan reaktivlar va ishlov berish rejimlariga bog'liq bo'ladi xamda reaktivlarda mavjud bo'lgan kirishmalar bilan ifloslanadi. Atrof muhitning tasirida himoyaqilinmagan yarimo'tkazgich sirtining elektr xossalari o'zgaradi, oksid parda qalinligi oshadi va u qo'shimcha ifloslanadi.

Atrof muhitdan yarimo'tkazgich sirtiga tushuvchi kirlar xam texnologik muhit va kimyoviy reaktivlar bilan o'zaro tasirlashganda yarimo'tkazgichli asboblarning tavsirlarinni yomonlashishiga va siljishiga olib keladi. Ayniqsa birlik yuzada katta miqdorda yarimo'tkazgichli elementlar joylashgan integral sxema sirtining ifloslanishi xavflidir. Xattoki bitta mikrosohaning ifloslanishi butun mikrosxemani ishdan chiqarishi mumkin.

Yarimo'tkazgichli sirtni tozalash va uni tashqi atmosfera tasiridan himoya qilish murakkab texnologik jarayon hisoblanadi.

Sirtlarni ifloslangan, toza va atomar toza sirtga ajratishadi. Ifloslangan sirtni tozalash talab etiladi. Ruxsat berilgan miqdordagi iflosliklar qolgan sirt toza deb hisoblanadi. Xar fanday begona modda mavjud bo'lmagan sirtni atomar toza sirt deb hisoblashadi. Yarimo'tkazgichli asboblari va mikrosxemalarni tayyorlashning turli bosqichlarda sirt tozaligiga qo'yiladigan talab bir xil bo'lmaydi. Bir operatsiya uchun toza deb hisoblangan sirt, boshqasi uchun iflos hisoblanishi mumkin. Yarimo'tkazgichli plastina, kristall sirtni ifloslanishiga olib keluvchi manbalar: mexanik ishlov berishda ishlatiladigan abraziv, moylovchi va yelimlovchi materiallar; ishlab chiqaruvchi bino atmosferasidan tushuvchi chang, suv bug'i, yog' bug'i, yarimo'tkazgichga ishlov beriladigan texnologik muhit (gazlar, suv, kimyoviy reaktiv), shuningdek ular tutashuvda bo'ladigan uskunalari, ko'chirish va

saqlash uchun mo'lajallangan idishlar: yarimo'tkazgichli asboblarning germitizatsiyasini himoyalash uchun ishlatiladigan qoplama materialli. Nafas olish maxsulotlari, barmoq izlari, kremlar, upa, aerezollar xam sirtni ifloslantiradi. Sirt ifloslanishlarini molekular, ionli va atomlarga bo'lish mumkin. Molekulalarga organik (tabiiy va sintetik mum, yelim, yog', moy, fotorezist qoldiqlari, erituvchi qoldiqlari va boshqalar) va mexanik (chang, abraziv zarralar, metall, yarimo'tkazgich, kvars va boshqa texnologik materiallarning zarralari) iflosliklarni, yarimo'tkazgichli plastinaga kimyoviy va termik ishlov berishda va ularni saqlashda hosil bo'ladigan kimyoviy birikmalar pardalarini (oksidlar, sulfadlar, nitridlar va boshqalar), shuningdek gazlar va bug'larni kiritish mumkin. Molekular iflosliklar yarimo'tkazgich sirtiga statik yopishadi. Yarimo'tkazgich sirti bilan mustaxkam kimyoviy bog'ga ega bo'lgan kimyoviy birikma pardalari bundan bundan istisnodir, molekular iflosliklar yaroqsizliklarni keltirib chiqaradi. Epitaksial qatlamlarni o'stirishda mikroskopik molekular iflosliklar tufayli kristall panjara nuqonlari paydo bo'ladi. Molekulyar iflosliklarning qoldiqlari fotolitografik ishlov berishning sifatini pasaytiradi va fotoshablonning tezda yemirilishiga olib keladi.

Suvda erimaydigan organik iflosliklar sirtni suvyuqtirmaydigan qiladi. Bu esa ularning ion va atomar kirishmalardan tozalashga to'sqinlik qiladi. Shuning uchun ularni olib tozalash, tozalashning birinchi bosqichi bo'lishi kerak. Ionli iflosliklarga suvda eriydigan tuzlar, kislotalar va yemiruvchi va yuvuchi eritmalaridan plastina sirtiga o'tiruvchi asoslar kiradi. Ishqoriy metallarning ionlari ayniqsa salbiy tasir ko'rsatadi. Ular harorat oshganda yoki elektr maydoni tasiri ostida sirt bo'ylab xarakatlanishi mumkin. Bu esa yarimo'tkazgichli asboblarning elektr tavsiflarini o'zgarishiga, ayrim xollarda ularni ishdan chiqishiga olib keladi. Ionli iflosliklar fizik va kimyoviy bog' hosil qilgan xolda sirtga desorbsiyalanadi.

Atomar iflosliklarga, kimyoviy reaktivlardan metall mikromurtagi ko'rinishida yarimo'tkazgich sirtiga o'turuvchi og'ir metall atomlarini (oltin, kumush, mis, temir) kiritish mumkin. Atomar iflosliklar yarimo'tkazgichdagi noasosiy zaryad

tashuvchilarning yashish vaqtiga, sirt o'tkazuvchanligiga va yarimo'tkazgich materiallarning boshqa elektr fizik parametrlariga tasir qiladi.

Zanglamaydigan po'lat po'lat maxsulotini yupqa mis qatlami bilan qoplash materialni chig'irlanishini yaxshilaydi. Mashinalar detallarini qattiq material yupqa qatlami bilan qoplash ularning yemirilishga chidamliligini ancha oshiradi.

Eng ko'p ta'sir etadigan jarayonlarga adsorbsiya kiradi. Adsorbsiya fazalar chegarasida kuzatiladi. Bu hodisaning ma'nosi shundan iboratki, bir faza hajmidagi molekulalar yoki atomlar fazaning sirtki qismi bilan o'zaro ta'sirlashadi va unda bir qancha vaqt qolib ketadi hamda hajmdagiga nisbatan sirtidagi atomlar yoki molekulalar konsentrasiyasi oshib ketadi.

Agarda gaz fazasini misol sifatida oladigan bo'lsak, u holda gaz molekulalarini sirt bilan o'zaro ta'sirlashishining ikki xil holati kuzatilishi mumkin: birinchisi – elastik qaytish, ikkinchisi – ushlab qolinishi va sirtida ma'lum bir τ vaqt qolib ketish. Bu vaqtni molekulalarni adsorbsiyalangan holatda o'rtacha yashash vaqti deb nomlanishi qabul qilingan. Agarda τ kichik bo'lsa, adsorbsiyalangan molekulalarni aniqlash qiyin. Biroq bu vaqtda energiya almashinishning sodir bo'lishi uning isboti bo'ladi.

Agarda τ katta bo'lsa, uni nafaqat aniqlash, balki adsorbsiyani amalda qo'llash ham mumkin. Bunday texnologik usullar yaxshi ma'lum: gaz va aralashmalardan keraksiz kirishmalarni chiqarib tashlash, yog'ni yog'ochi ko'miri yoki oqartiruvchi gil bilan tindirish, havo va yog'ni quritish va tozalash, organik erituvchilarni regenerasiyalash, gaz aralashmalarni past haroratda fraksion haydash yo'li bilan ajratish va h.k.

Adsorbsiyadan foydalanishning yana boshqa holatlari ham mavjudki, adsorbsiyalangan molekulalar o'ziga xos xossaga ega bo'lishsin. Masalan, fotokatodlar va termoion katodlar tayyorlashda ishqoriy va ishqoriy-yer metallarining sirtida adsorbsiya usuli bilan bu metallarning atomlari o'tqiziladi. Bu texnologiyaning mazmuni – elektronlar yutilishi va chiqarilishi berilgan xossa bo'yicha o'zgaradigan katodalar olishdir.

Shu bilan bir qatorda ma'lum bir turdagi molekulalarni yutadigan va ularni boshqa turdagi molekulalar bilan reaksiyasini tezlashtiradigan maxsus sirtlar ham ishlatiladi. Bu jarayon kataliz nomi bilan ataladi. Bunday turdagi hodisalar nafaqat kimyoviy texnologiyada, balki jonli tabiatda ham muhim rol o'ynaydi. Fermentlarning ta'siri, oqsillardagi kimyoviy jarayonlar, yashil o'simliklardagi assimilyasiya – kabi barcha jarayonlar sirtidagi katalitik reaksiyalar bilan tavsiflanadi.

2.5 Sirt taranglik va sirtning erkin energiyasi

Suyuqliklar uchun sirt taranglik va sirtning erkin energiyasi tushunchalari kiritilgan. Bunda suyuqliklar uchun sirt taranglik sirtiy kuchlanishga teng, sirtning erkin energiyasi esa suyuqlik hajmidagi molekulani sirtiga chiqarish uchun sarflanadigan ish bilan aniqlanadi. Qattiq jismlarda esa (Gibbs nazariyasiga ko'ra) sirt taranglik sirtning birlik yuzasini hosil qilish uchun ketadigan ishga teng (boshqacha qilib aytganda sirtning erkin energiyasi). Sirtiy kuchlanish esa sirt cho'zilishidagi bajariladigan ishni anglatadi.

Faraz qilamiz bir atomli modda toza sirti hosil bo'lish jarayoni ikki bosqichdan iborat bo'lsin:

I yangi sirt hosil qilgan qattiq jism yoki suyuqlik, sirtidagi atomlar hajmiy fazada qanday holatda bo'lsa sirtida ham shunday vaziyatda bo'ladi;

II atomlar so'nggi muvozanat holatiga qayta guruhlanib va ko'chib joylashadi.

Suyuqliklarda ikkala bosqich ham bir vaqtda ro'y beradi, qattiq jismlarda esa II bosqich sirtki qatlamda atomlar harakatchanligi kichikligi tufayli sekin kuzatilishi mumkin. Qattiq jism sirtki qatlami undagi atomlar sonini o'zgartirmasdan faqatgina ular orasidagi masofani uzaytirib yoki toraytirib cho'zilishi yoki siqilishi mumkin.

Agar sirtni tekisligiga nisbatan tik kesishda, ikkala tomon kesimida ham dastlabki muvozanatdagi holat qolishi uchun unga tashqaridan kerakli kuch ta'sir ettirishi kerak. Bu kuchning birlik uzunlikka to'g'ri keladigan umumiy qiymati sirtiy kuchlanishdir, o'zaro perpendikulyar ikkita sirtiy kuchlanish yig'indisining

yarimi o'rtacha sirtiy kuchlanishga teng. (Suyuqlik hajmida uchta asosiy kuchlanishning $1/3$ qismi gidrostatik bosimga teng). Suyuqliklar yoki izotrop qattiq jismlarda sirtiy kuchlanish o'zaro perpendikulyar yo'nalish bo'yicha bir biriga teng. Biroq bu kristallarda o'rinli emas.

Haqiqiy kristallarda sirt energiyasi va sirt tarangligi ko'pgina faktorlarni o'zgartiradi. Masalan, bunday faktorlardan biri kristallning maydalanishidir. Maydalanish bilan solishtirma sirt oshadi va sirt energiyasi oshadi. O'zgarish 1 mkm dan keyin, solishtirma sirt bir necha m^2 ortadi (solishtirma sirt sifatida bu yerda 1 sm^2 yuzaga to'g'ri keladigan haqiqiy yuza tushuniladi). Sirt energiyasi va sirt tarangligi boshqa fizik nobirjinsliliklarga, masalan, nuqsonlar va dislokasiyalarga kuchli bog'liq.

Bir jinsli bo'lmagan sirtlar.

Haqiqiy qattiq jism sirtini tavsiflash uchun fizik, kimyoviy va indusirlangan nobirjinslilik tushunchalari kiritilgan.

Fizik nobirjinslilik o'ziga Brave panjarasi bilan tavsiflanadigan real kristall sirtidan farq qiladigan mikronuqsonli sirtni oladi. Fizik nobirjinslilikni tushuntirish uchun nuqsonlar va dislokasiyalar degan tushunchalar ishlatiladi.

Nuqsonlarning oddiy turlari: ortiqcha yoki kiritilgan atomlardan hosil bo'lgan nuqsonlar (Frenkel nuqsonlari), atomlari kam yoki vakansiya natijasida hosil bo'ladigan nuqsonlar (Shottki nuqsonlari). Bunday nuqsonlar qattiq jismlardagi diffuziya jarayonlarida va elektr o'tkazuvchanligida muhim rol o'ynaydi.

Nuqsonlarni tavsiflashda odatda kristall elementar yachekalari bir-biriga qat'iy parallel deb olinadi, aks holda esa tuzilish boshqacha bo'lishi mumkin. Bu chetlanishlar kristallning boshqasiga nisbatan kichik qiyalikda joylashuvi, siqilish yoki cho'zilish (siljishlar) ko'rinishlarida bo'lishi dislokasiyalar deb nomlanadi. Dislokasiyalarning asosiy turlaridan biri chegaraviy yoki chiziqli dislokasiyalar. Boshqa turi – vintli dislokasiya.

Atomlar o'lchamida haqiqiy kristallning sirti hyech qachon silliq bo'lmaydi: ularda atomlarning issiqlik harakati tufayli pog'onalar hosil bo'ladi. Kub panjara

sirtida atomlar joylashishining quyidagi mumkin bo'lgan holatlari mavjud (2-rasm).

- 1- cheti to'liq qoplangan.
- 2- burchak uchlarida.
- 3- sirti to'liq qoplangan.
- 4- qoplanmagan chetda.
- 5- qoplanmagan burchak uchlarida.
- 6- pog'onada.
- 7- sirtida.
- 8- vakansiyada.
- 9- yarim kristall holat.

2-rasm. Kub panjarada atomlar joylashishining mumkin bo'lgan holatlari.

Berilgan zarraga uning qo'shnisi tomonidan ko'rsatiladigan bog'lanish kuchi uning joylashishiga kuchli bog'liq. Bog'lanish energiyasining qiymati xos vaziyatlarga ko'ra qo'yidagi tartibda kamayib boradi: $E(3) > E(1) > E(9) > E(2) > E(6) > E(7) > E(4) > E(5)$.

Sirtning fizik nobirjinslilik qattiq jismning sirtida atom va molekulalarning adsorbsiyasida katta rol o'ynaydi. Avtoelektron va termoion emissiya, gazlarning termik akkomodasiyasi, fizik va kimyoviy adsorbsiyalar bo'yicha ko'pgina tajriba ishlari shuni ko'rsatadiki begona atomlar qatlamlari orasidagi o'zaro ta'sir turlicha. Misol uchun volfram va molebden (hajmi markazlashgan panjara hosil qiluvchi elementlar) da inert gazlarning adsorbsiyasini tajribada tahlil qilish adsorbsiyaning (120), (130) va (116) tekisliklarda yaxshi kuzatilishi aniqlangan.

Elektronlarning metallardan chiqish ishini tekshirish sirtida kristall teksiliklarning joylashuvi haqida ma'lumot beradi.

2.6 Kimyoviy nobirjinslilik

sirtida bo'ladigan jarayonlarda muhim ahamiyatga ega. Bunda nuqsonlar panjarada begona atomlar bor bo'lishi bilan tavsiflanadi. Begona atomlarning qo'shilishi oldindan rejalashtirilgan bo'lishi yoki tasoddiy bo'lishi mumkin.

Hattoki juda kam miqdorda kiritilgan begona atomlar «aktiv markaz» sifatida adsorbsiya va kataliz jarayonlariga katta ta'sir ko'rsatishi mumkin

Har kanday suyuqlik sirt tarangligiga ega. Suyuqliklarda sirt taranglik kuchining kelib chiqishiga sabab shuki, suyuqlikning sirt qavatidagi molekulalarni uning ichki qavatidagi va yon tomonlaridagi molekulalar tortib turishi natijasida suyuqlikning sirt qavati uning ichki qavatlariga qaraganda ortiqcha erkin energiya zapasiga ega bo'ladi. Sirt qavatidagi ortiqcha erkin energiya miqdorini hisoblash uchun:

$$A = \sigma \cdot S$$

formuladan foydalaniladi; bu formulada σ - suyuqlikning sirt tarangligi, ya'ni sirtini 1 m² kattalashtirish uchun sarf qilinadigan ish miqdoriga teng erkin energiya; S -suyuqlik sirti. Yuqoridagi formuladan ko'rinib turibdiki, fazalar chegarasidagi sirt qanchalik katta bo'lsa, shu fazalar chegarasida erkin energiya zapasi shunchalik katta bo'ladi. Demak, barcha dispers sistemalarda, ayniqsa, kolloid eritmalarda dispers faza zarrachalari sirtida erkin energiya zapasi katta bo'lishi kerak. Sirt energiya o'z tabiati jihatidan potentsial energiya bo'lganligi uchun termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq har qanday jism o'zinig sirt energiyasini kamaytirishga intiladi; jism sirtida erkin energiyani kamaytiradigan jarayonlar sodir bo'ladi. Shuning uchun ham kolloid sistemalar termodinamik jihatidan beqaror sistemalaridir: ularda doimo dispers faza zarrachalari sirtini kamaytiradigan jarayonlar sodir bo'lib turadi.

Sirt energiyaning kamayishiga olib boruvchi jarayonlardan biri suyuqlik yoki qattiq jism sirtida boshqa moddalarning yig'ilish hodisasidir. Suyuqlik yoki qattiq jism sirtida boshqa modda molekulalari, atomlari yoki ionlarining yig'ilishi adsorbtsiya deyiladi.

O'z sirtiga boshqa modda zarrachalarini yutgan modda adsorbent deb, yutilgan modda esa adsorbktiv deb ataladi. Masalan, ammiakli idishga qizdirilib, so'ngra sovutilgan ko'mir solinsa, ko'mir ammiakni yutib olib, uning bosimini kamaytiradi. Ko'mir boshqa gazlarni ham yuta oladi. Buning natijasida ko'mirning og'irligi ortadi. Agar gazning konsentratsiyasi kam bo'lsa, ko'mir idishdagi

gazning hammasini yutib olishi mumkin.

Akademik N.D.Zelinskiy aktivlangan ko'mirning adsorbilash xossasiga asoslanib, birinchi jahon urushi davrida gazga qarshi (protivogaz) asbobini ixtiro qilgan.

Rossiya olimi M.S.Tsvet adsorbtsiya qonunlaridan foydaladib, 1906 yili moddalarning sifat analizi va sof holda ajratib olishda qo'llaniladigan xromatografiya usulini birinchi bo'lib kashf ztdi.

CHet ellik olimlardan Gibbs, Freyndlix, Lengmyur, Brunauer kabi olimlar adsorbtsiya ta'limotini rivojlanishida katta hissa qo'shdilar. Adsorbtsiya hodisasi faqat ko'mirgagina emas, balki boshqa barcha g'ovak moddalarga ham xosdir. Masalan, turli gellar o'z sirtiga har xil buyoqlarni yutadi.

Adsorbtsiya hodisasini, dastlab, rus olimi T.Ye.Lovits 1785 yilda kashf qilgan.

Yutilgan modda zarrachalari hamma vaqt modda sirtida qolavermaydi, ba'zan yutuvchi jismning ichki tomoniga ham diffuziyalanishi mumkin. Umuman, qattiq jismga tashqi-muhitdan moddalarning yutilishi sorbtsiya deyiladi. Agar modda qattiq jism sirtiga yutilsa, bu hodisa adsorbtsiya (yoki o'zaro kimyoviy ta'sir ro'y bermasa, fizikaviy adsorbtsiya) deb, uning ichki qismiga yutilganda esa absorbtsiya deb ataladi. Agar modda geterogen sistemada (masalan, gaz bilan adsorbent orasida) bo'ladigan kimyoviy reaksiya tufayli yutilsa, bu hodisa xemosorbtsiya (yoki faollangan adsorbtsiya) deyiladi. Xemosorbtsiya vaqtida yangi faza vujudga keladi. Xemosorbtsiya ko'pincha qattiq jismning barcha hajmiga tarqaladi. Patron ohak bilan sulfit angidrid orasidagi xemosorbtsiya bunga misol bo'la oladi. Xemosorbtsiya odatda qaytmas jarayonlar jumlasiga kiradi. Bu holda adsorbtsiyaning issiqlik effekti kimyoviy birikmalarning hosil bo'lish issiqliklariga yaqin bo'ladi.

Ba'zan, o'z kritik haroratidan past haroratdagi gaz sorbtsiya, vaqtida qattiq jism g'ovaklarida kondensatlanib, suyuqlikka o'tadi. Bu hodisa kapilyar kondensatsiya deyiladi.

Adsorbilangan gaz bir yoki bir necha qatlam molekulalardan iborat bo'lishi

mumkin. Shunga qarab, adsorбилanish monomolekulyar yoki polimo-leyaulyar deb nomlanadi.

Jismning sirtiga yutilgan moddalarni qaytadan chiqarish jarayoni desorbtsiya deyiladi. Yutilgan moddalarni erituvchilar yordamida adsorb-entlardan ajratib olish elyutsiya deyiladi.

Adsorbtsiya xodisasi qattiq jism bilan suyuq jism o'rtasida, qattiq jism bilan gaz o'rtasida, suyuqlik bilan gaz o'rtasida va bir-birida kam eriydigan ikki suyuqlik o'rtasida sodir bo'lishi mumkin.

Agar biror suyuqlikka boshqa bir modda qo'shsak, suyuqlikning sirt tarangligi o'zgaradi, chunki potentsial energiyaning minimumga intilish qoidasiga muvofiq, suyuqlik o'zining sirt energiyasini kamaytirishga intiladi. Shu sababli, suyuqlikning sirt tarangligini kamaytiradigan moddalar suyuqlik sirtiga yig'ila boshlaydi. Natijada, suyuqlikka solingan moddaning sirtqi qavatdagi kontsentratsiyasi uning suyuqlik ichidagi kontsentratsiyasidan farq qiladi. Buning natijasida eritma ichidagi osmotik kuchlar ham o'zgaradi, chunki eritma sirtqi qavatda ham, ichki qavatlarda ham o'z kontsentratsiyasini baravar qilishga intiladi. Demak, bu yerda ham dinamik muvozanat qaror topadi: bir tomondan, adsorbtsiya jarayoni erkin energiyaning minimumga intilish printsiipiga muvofiq erigan moddani suyuqlik sirtiga yig'adi; ikkinchi tomondan, osmotik kuchlar tufayli desorbtsiya jarayoni bo'ladi, eritma kontsentratsiyasi barcha hajm ichida baravarlashishga intiladi. Natijada adsorbtsiyaviy muvozanat vujudga keladi.

Suyuqlik sirtida moddalarning yig'ilish miqdoriga qarab musbat va manfiy adsorbtsiya bo'ladi.

Musbat adsorbtsiyada moddalar suyuqlik sirtida to'planishi bilan birga yutiladi va suyuqlikning sirt tarangligini kamaytiradi. Musbat adsorбилanadigan moddalar (murakkab efirlar, ketonlar, yuqori molekulali kislotalar, xolesterin, oqsillar va boshqalar) sirt-aktiv moddalar deb yuritiladi.

Manfiy adsorbtsiyada moddalar suyuqlik sirtidan siqib chiqariladi, diffuziya yordamida butun suyuqlik hajmiga tarqalib, suyuqlikning sirt tarangligini oshiradi. Manfiy adsorbtsiyalanadigan moddalar (anorgaiik tuzlar, uglevodlar va boshqalar)

sirt-noaktiv moddalar deb yuritiladi

Musbat va manfiy adsorbtsiyani etil spirtning suvdagi adsorbtsiyasi misolida ko'rish mumkin. Etil spirtning sirt tarangligi suvnikiga qaraganda kam.

Moddalarning musbat va manfiy adsorbtsiyasi moddalarning tirik organizmlarning hujayra membranalari orqali o'tishini osonlashtiradi. Moddalarning musbat va manfiy adsorbtsiyasi modda almashinuv jarayonida va o'simliklarda fotosintez jarayonlarida katta rol o'ynaydi.

Masalan, steroid, murakkab efirlar va boshqa gidrofob (qutblanmagan) moddalar tirik organizmning hujayra membranalarida to'planadi, ammo ularni membranalaridan o'tishiga adsorbtsiya jarayoni yordam beradi.

Ba'zi moddalar molekulasida ham gidrofil (qutbli), ham gidrofob (qutblanmagan) guruh atomlarining bo'lishi ularni suvli eritmalaridagi adsorbtsiyalarning xususiyatini o'zgartiradi va bu molekulalar difil molekulalar deb ataladi. Masalan, sirka kislota CH_3COOH molekulasida SN_3 - guruh gidrofob, -SOON guruh esa gidrofil hisoblanadi. Bu moddaning gidrofil xossasi yuqori bo'lmagani uchun, molekulalar adsorbilanib, suvda yaxshi eriydi. Kislotalarning keyingi vakillarida ($\text{C}_2\text{H}_5 - \text{COOH}$, $\text{C}_3\text{H}_7 - \text{COOH}$, $\text{C}_4\text{H}_9 \text{COOH}$ va x.k.) molekulaning gidrofob xossasi ortib borishi hisobiga suvda eruvchanligi kamayadi va sirt tarangligi ancha pasayadi. Moddalarning bu xususiyatiga qarab suvda yaxshi va yomon erishini aniqlash mumkin.

Suyuqlik sirtidagi adsorbtsiya bilan suyuquqlikning sirt tarangligi orasida miqdoriy bog'lanish borligini 1876 yilda V.Gibbs topdi. Gibbs tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \frac{d\sigma}{dC}$$

bu yerda G - erigan moddaning suyuqlik sirt birligida yig'ilgan miqdori, S - eritma konsentratsiyasi, R - gaz konstantasi, T - absolyut harorat, $\frac{d\sigma}{dC}$ konsentratsiya o'zgarganda sirt tarangligining o'zgarishi.

$\frac{d\sigma}{dC}$ ni P.A.Rebinder sirt aktivlik deb atadi. Eritma konsentratsiyasi (S)

o'zgarganda, sirt taranglik σ kamaysa, $\frac{d\sigma}{dC}$ manfiy bo'ladi, lekin adsorbtsiya (G) bu hol uchun musbat qiymatga ega bo'ladi, boshqacha qilib aytganda, modda suyuqlik sirtida adsorbilanadi. Agar eritma kontsentratsiyasining ortishi bilan suyuqlikning sirt tarangligi ko'paysa, $\frac{d\sigma}{dC}$ musbat qiymatga ega bo'ladi, ya'ni adsorbtsiya bo'lmaydi; bunday eritmada erigan moddaning kontsentratsiyasi suyuqlikning sirt qavatida uning ichki qavatlaridagiga qaraganda kam bo'ladi. C ni ΔS ga teng deb faraz qilish mumkin bo'lgan suyuq eritmalar uchun Gibbs tenglamasi $\Delta\sigma = - RTG$ shaklida yoziladi. Sirt - aktiv moddalar uchun minus ishorani tashlab yuborish mumkin; agar G o'rniga $\frac{I}{S}$ ni qo'ysak:

$$S \Delta\sigma = RT$$

tenglama kelib chiqali. Bu tenglama xuddi ideal gazning holat tenglamaiga o'xshaydi. Lekgmyur bu tenglamadan foydalanib, turli sirt-aktiv moddalarning eritmaları bilan o'tkazgan tajribalari asosida gaz konstantasi R ni aniq hisoblay oldi. Demak, eritma kontsentratsiyasi nihoyatda kichik bo'lganida sirt-aktiv moddaning molekullari eritmaning sirt qavatida «gaz» holatida bo'ladi, deyish mumkin.

Suyuqlikka sirt-aktiv moddalar adsorbilanganda suyuqlikning sirt tarangligi ko'pgina kamayadi. Suvga organik kislota masalan, NSOON, SN₃SOON va xokazo) qo'shilganda suvning sirt tarangligi kamayadi. Suvga turli kislotalarning ta'sirini ko'rsatuvchi ikkita diagramma tasvirlangan; ulardan biri A) suvning sirt tarangligi kislota kontsentratsiyasining ortishi bilan kamayishi ko'rsatadi; ikkinchisi B) kislota kontsentratsiyasining ortishi bilan G ning o'zgarishini ko'rsatadi. Diagrammadan ko'rinishicha. chumoli kislota boshqa organik kislotalarga qaraganda suvning sirt tarangligini eng kam pasaytiradi. Chumoli kislota hamma kislotalarga qaraganda kam adsorbilanadi, lekin valerian kislota, aksincha, suvning sirt tarangligini eng ko'p pasaytiradi, demak, u eng ko'p adsorbilanadi. Sirka kislota, pronion kislota, yog' kislotalar, adsorbtsiya jihatidan olganda, bu ikkala kislota orasida turadi.

Traube qoidasiga muvofiq kislota tarkibida bitta SN_2 guruhning ortishi bilan kislotaning suv sirtidagi adsorbiylanishi taxminan 3,4 marta ortadi, Traube qoidasi kislotalar, aldehidlar, aminlar, murakkab efirlar va boshqa organik moddalar uchun ham tatbiq qilinishi mumkin.

Traube qoidasi organik kislotalarning faqat suyultirilgan eritmaları uchunгина. qo'llaniladi, chunki suyultirilgan eritmaların sirtida kislota molekullari uzunasiga yotadi. Shuning uchun turli organik kislotalar suvga oz miqdorda qo'shilsa, suvning sirt tarangligini turlicha pasaytiradi, lekin tuyingan eritma sirtida kislota molekullari qutbli qismlarini eritma tomoniga qaratib, kundalangiga yotadi; shuning uchun to'yingan eritma sirtida molekullar egallagan hajm eritma tarkibidagi uglevodород radikal kattaligiga bog'liq emas. Boshqacha aytganda, suvga organik kislotadan ko'p qo'shilsa, suvning sirt tarangligi, qaysi kislota bo'lishidan qat'i nazar, bir xil darajada kamayadi.

Bir-biri bilan o'zaro aralashmaydigan ikki suyuqlik (biri muhit-erituvchi, ikkinchisi faza - eruvchi modda) chayqatilsa u holda ozrok, suyuqlik tomchilar holatida ko'proq, suyuqlikda tarqaladi. Bu hodisaga emulsiya deb ataladi, Masalan, suv+benzol, suv+xloroform, suv+efir, suv+paxta moyi va boshqalar. Suvga bir qism benzol solib chayqatilsa va bu ikki suyuqlikda moy kislota eritilsa, u holda moy kislotaning gidrofil qismi (qutbli guruhi – $SOON$ suv tomon, gidrofob qismi SN_3 - SN_2 - SN_2 - benzol tomon tarqalgan bo'ladi. Natijada ikki suyuqlik chegarasida moy kislota molekullaridan tashkil topgan qavat hosil bo'ladi.

Ikki suyuqlik chegarasidagi moddalar adsorbtsiyasi xossasidan foydalanib, farmatsevtika va kimyo sanoatlarida har xil emulsiyalar tayyorlanadi, masalan, tibbiyot uchun streptotsid, sintomitsin, oltingugurt, rux oksid va boshqa emulsiyalar. Qiloq xo'jaligi uchun insektitsid, gerbitsid va defoliant preparatlari, emulsiyalar tayyorlanadi.

Modda hadeb maydalanaversa, uning sirti kattalashaveradi. Masalan, hajmi 1 sm^2 bo'lgan kubning sirti 6 sm^2 ga teng; agar bu kubni o'n bo'lakka (1- ta kubga) bo'linsa, uning sirti 60 sm^2 bo'lib qoladi. 1-jadvalda 1 sm^3 jism maydalanganda umumiy sirtining qancha ortishi ko'rsatilgan.

1-jadval

1sm³ jism maydalanganda umumiy sirtining ortishi

Kubning qirrasi	Donasi	Umumiy sirti
1 sm	1 dona	6 sm ²
10 ⁻¹	10 ³ - “ -	6 . 10 ⁻¹ - “ -
10 ⁻²	10 ⁶ - “ -	6 . 10 ² - “ -
10 ⁻³	10 ⁹ - “ -	6 . 10 ³ - “ -
10 ⁻⁴	10 ¹² - “ -	6 . 10 ⁴ - “ -
10 ⁻⁷	10 ²¹ - “ -	6 . 10 ⁷ 6000 m ²

Fazalar o'rtasidagi sirtni harakterlash uchun solishtirma sirt degan tushuncha kiritilgan. 1 kg modda sirti shu moddaning solishtirma sirti deyiladi. Moddaning solishtirma sirti uning maydalanish (yoki disperslik) darajasiga bog'liq bo'ladi. Modda maydalangan sari uning solishtirma sirti kattalashaveradi.

Adsorbtsiya hodasasi ham xuddi suyuliqning bug'lanishi, moddaning suvda erishi kabi, qaytar jarayondir. Bu yerda bir-biriga qarama-qarshi ikki jarayon bo'ladi: biri moddaning yutilishi bo'lsa, ikkinchisi yutilgan modtsaning adsorbent sirtidan chiqib ketishi (ya'ni desorbtsiya) dir.

Har qanday qaytar jarayondagi kabi, bu yerda ham yutilish jarayoni avval tez boradi, so'ngra yutilish va ajralish chiqish jarayonlarining tezliklari baravarlashib, sistema adsorbtsion muvozanat holatiga keladi. Odatda, adsorbtsiyaviy muvozanat juda tez (sekundlar va ba'zan, minutlar davomida) qaror topadi. Agar adsorbtsiyaviy muvozanat uzoq vaqt davomida qaror topmasa, adsorbtsiya boshqa xil jarayonlar bilan murakkablashgan deyish mumkin.

Adsorbtsiyaviy muvozanat ham dinamik muvozanatdir. Bunday muvozanat holati harorat o'zgarganda o'zgaradi.

Adsorbtsiya jarayoni issiqlik chiqarish bilan boradi. Adsorbtsiya vaqtida ajralib chiqadigan issiqlik adsorbtsiya issiklkgi deyiladi. Adsorbtsiyaviy muvozanatning siljishi ham Le-SHatele tamoiligi bo'yso'nganligi uchun harorat ko'tarilganida muvozanat modda kam yutiladigan tomonga qarab siljiydi.

Desorbtsiya jarayoni aksincha issiqlik yutish bilan boradi. Shu sababli haroratni oshirish orqali adsorbentga yutilgan moddani ko'proq qaytadan chiqarish mumkin. Agar adsorbent bilan adsorbktiv o'rtasida kimyoviy reaksiya sodir bo'lsa, adsorbtsiyaviy muvozanat qaror topmaydi; bu holda adsorbtsiya qaytmas jarayon harakteriga ega bo'ladi.

Qattiq, jismlar ham suyuqliklar kabi sirt energiyasiga ya'ni sirt tarangligiga ega bo'ladi. Ammo xaligacha qattiq jismning sirt tarangligini aniq o'lchash u sudi ma'lum emas.

Qattiq jism sirtida gazning adsorbilanishini miqdor jihatdan xa-rakterlash uchun yo gaz bosimining kamayishi yoki adsorbent massasining ortishi o'lchanadi, chunki adsorbtsiya vaqtida adsorbentning massasi ortadi.

Adsorbentning sirt birligiga (1 m^2 ga) yutilgan moddaning gramm-molekula hisobidagi miqdori solishtirma adsorbtsiya deyiladi. Solishtirma adsorbtsiyani topish uchun adsorbtsiyaviy muvozanat vaqtida yutilgan modda miqdorini (mol hisobida) adsorbent sirtiga bo'lish kerak:

$$\Gamma = \frac{x}{S}$$

bu yerda G - solishtirma adsorbtsiya; x - yutilgan modda miqdori; S - adsorbent sirti.

Lekin g'ovak-g'ovak tuzilgan qattiq adsorbentlarning (ko'mir, silikageli va lokazolarning) sirtini o'lchash juda qiyin bo'lgani uchun amalda solishtirma adsorbtsiyani topishda yutilgan modda miqdori adsorbent og'irligiga bo'linadi;

$$\frac{x}{m}$$

bu yerda x - yutilgan moddaning gramm hisobidagi og'irligi; m - adsorbentniig gramm hisobida olingan og'irligi. Har qanday adsorbent ma'lum miqdordan ortiq moddani yuta olmaydi. Moddaning sirt birligiga (1 m^2 ga) yutilishi mumkin bo'lgan eng ko'p miqdori maksimal solishtirma adsorbtsiya deyiladi va G_{∞} bilan belgilanadi.

Qattiq jismlarda bo'ladigan adsorbtsiya hodisasini tikshirish nati-jasida qutbli adsorbentlar qutbli moddalarni va ionlarni yaxshi ad-sorbilashi, qutbsiz

adsorbentlar esa qutbsiz moddalarni adsorbilashi aniqlangan.

Agar qutbsiz adsorbent sirtida $-SOON$, $-ON$, NH_2 - qutb guruhi bo'lgan organik moddalar eritmalaridan adsorbilansa, bu molekularning qutbsiz radikallari qutbsiz adsorbentga yo'nalgani holda molekulaning qutbdi guruhlari qutbli suyuqlikka tomon yo'naladi. Agar yutiluvchi moddada adsorbent tarkibidagi atom yoki atomlar guruhi bo'lsa, u modda yaxshi adsorbilanadi. Qutbli va geterogen adsorbentlarning sirti suvni yaxshi, lekin benzolni yomon adsor-bilaydi; bular gidrofil adsorbentlar deyiladi. Qutbsiz adsorbent suvni yomon, lekin benzolni yaxshi adsorbilaydi; bular gidrofob (yoki liofob) adsorbentlar deyiladi. Masalan, ko'mir gidrofob adsorbentlarning Tipik vakili, silikagel esa gidrofil adsorbentlarnikg vakili hisobladi.

Adsorbilanish maqsadlari uchun aktivlangan ko'mir juda ko'p ishlatiladi. Aktivlangan ko'mir g'ovak modda bo'lib, asosan, ugleroddan iborat. Turli organik moddalarning havo kirmaydigan joyda qizdirilishidan hosil bo'lgan ko'mirda har xil smolalar bo'lib, ular ko'mirning teshiklarini bekitib qo'yadi. Bu smolalarni yo'qotib, ko'mirning g'ovakligini oshirish maqsadida ko'mir maxsus ishlanadi, ya'ni aktivlashtiriladi. Ko'mir qanday sharoitda aktivlanganiga qarab, yo kislotalarni yoki asoslarni ko'proq adsorbilaydi. Masalan, 900° da aktivlangan toza ko'mir kislotalarni adsorbilaydi; $400-450^{\circ}$ da aktivlangan ko'mir asoslarni yaxshi adsorbilab, kislotalarni adsorbilamaydi. I.A.Shilov aktivlangan ko'mir o'z sirtida yo kislotalarni yoki asoslarni adsorbilash sababini ko'mirga ishlov berilayotganda uning sirtida birikmalar, ya'ni asos yoki kislota harakteriga ega bo'lgan oksidlar hosil bo'lishidandir deb tushuntirdi.

Adsorbtsiya bilan borliq ishlarda, ko'mirdan tashqari, boshqa bir adsorbent - silikagel ham ko'p ishlatiladi. Silikagel silikat kislotaning suvsizlantirilgan gelidir. Silikagel kislota harakteriga ega bo'lgan adsorbentlar qatoriga kiradi; u asosan, asoslarni adsorbilaydi.

Aktivlangan ko'mir gidrofob adsorbentlar, shuning uchun u qutbsiz moddalarni yaxshi adsorbilaydi. Silikagel esa gidrofil adsorbent bo'lgani uchun qutbli moddalarni yaxshi adsorbilaydi.

Eritmalarda bo'ladigan adsorbtsiya vaqtida, erigan modda bilan bir qatorda, erituvchi ham adsorbidanishi sababli, erituvchi sifatida suv olinsa, adsorbent sifatida ko'mir ishlatiladi, aksincha, suvsiz eritmalar uchun adsorbent sifatida silikagel ishlatiladi.

Adsorbtsiya jarayoni kimyoviy texnologiyada katta rol o'ynaydi. Masalan, gaz aralashmalarini ajratib tozalashda faol ko'mir, silikagel, kolloid moddalar kabi adsorbentlar ishlatiladi. Adsorbtsiyadan koks gazlaridan benzol olishda foydalaniladi. Buning uchun faol ko'mir bilan to'latilgan adsorberga adsorbent to'yinguncha gaz aralashmasi yuboriladi. Sungra adsorberga 100°S li suv bug'i beriladi; suv bug'i ko'mirga yutilgan benzolni siqib chiqaradi. Natijada, benzol va suvdan iborat sistema hosil bo'ladi; benzol suvda erimasligi uchun endi benzolni ajratib olish qiyin bo'lmaydi. Gazlar aralashmasini ajratishda ketma-ket adsorbtsiya o'tkaziladi. Avval past haroratda gazlar aralashmasi adsorbentga yuttiriladi. Keyin asta-sekin qizdirganda gazlar o'zining qaynash haroratiga muvofiq adsorbentdan chiqib boradi. Shu tariqa geliy va boshqa inert gazlar olinadi.

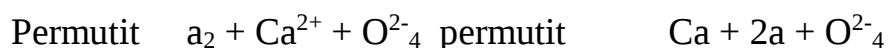
Kuchli elektrolitlarning suvli eritmasidagi elektrolitlar erituvchida to'latilgan ionlarga dissotsiyalangan holatning qattiq jism sirtida yutilishiga ion almashinish adsorbtsiyasi deyiladi. Yutilish asosan adsorbent sirtidagi kuch bilan ionlar yutilishi vaqtida hosil bo'lgan elektr kuchi asosida sodir bo'ladi.

Elektrolitlarning adsorbtsiyasi uch xil bo'ladi: ekvivalent, almashinish va spetsifik adsorbtsiyalar. Ekvivalent adsorbtsiyada elektrodning kation va anionlari bir xil miqdorda adsorbent sirtida yutiladi. Almashinish adsorbtsiyasida elektrolitning ionlari adsorbent sirtida yutilgan ionlarni siqib chiqarib, ular o'rniga yutiladi. Agar adsorbent yutilgan tuz ionlari o'rniga eritmaga vodorod yoki gidroksil ionlarini chiqarsa, gidrolitik adsorbtsiya bo'ladi. Masalan, NaCl , KCl tuzlarining yutilishi natijasida eritmada OH^- ionlari ko'payadi.

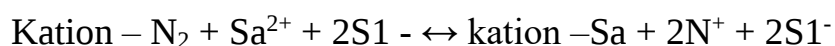
K.K.Gedroytsning aniqlashicha, tuproq, adsorbent sifatida qancha miqdorda ionlar qabul qilsa, shuncha ya'ni ekvivalent miqdorda boshqa ionlarni eritmaga chiqaradi. K.K.Gedroyts o'zining ko'p yillik ishlari natijasida tuproqdagi ionlar

ion almashinuv adsorbtsiyada faqatgina kationlargina o'rin almashishini aniqladi. Shuning uchun har qanday tuproqning adsorbtsiya xossasini mukammal o'rganish uning unumdorligini oshirishdagi omillardan biridir.

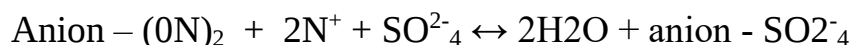
Suvning qattiqligi undagi Ca va Mg tuzlarini ion almashinish adsorbtsiyasi yordamida kamaytiradi. Bu jarayon uchun adsorbent sifatida tabiiy silikat (tseolit, glaukonit) lar va sun'iy ishqoriy metallarning alyumosilikatlari ishlatiladi. Ular permutitlar deyiladi.



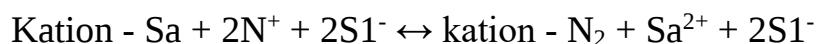
Permutitlar yordamida suvning qattiqligi kamaytiriladi, ammo suvni kation va anionlardan to'liq tozalab bo'lmaydi. Suvni kation va anionlardan to'liq tozalash maqsadida keyingi yillarda ion almashinuv smolalaridan foydalaniladi. Smolalar o'z xususiyatiga ko'ra ikkiga bo'linadi: kationitlar va anionitlar. Kationitlarning sirt qismi manfiy zaryadga ega bo'lib, o'ziga faqat kationlarni qabul qilib, eritmaga vodorod kationlarini chiqaradi:



Anionitlar eritmadan o'ziga faqat anionlarni qabul qilib, gidroksil ionlarini chiqaradi:



Kationitni qaytadan tiklash (regeneratsiya qilish) maqsadida sulfat yoki xlorid kislotalarning 5% li eritmasi bilan yuviladi.



Anionitlarni qaytadan tiklash maqsadida KOH yoki NaOH ning 5% li eritmasi bilan yuviladi.



Suvni ion almashinuvchi smolalar yordamida tozalash xalq ho'jaligining ko'p tarmoqlari (qand, ichimliklar, kimyoviy reaktivlar, dori preparatlari ishlab chiqarish) da, ayniqsa, yuqori bosimda ishlaydigan suv qozonlari uchun katta

ahamiyatga ega.

Adsorbtsiya hoodisasi hozirgi zamon xromatografiyasining asosini tashkil etadi. Xromatografik uslub keyingi yillarda xalq xo'jaligining turli tarmoqlarida - qishloq xo'jaligida, kimyoda, tibbiyotda, biologiyada, gaz, neft va boshqa soxararda keng qo'llanilmoqda.

Moddalarni tozalash va ajratishning xromatografik usulidi 1903 yilda Rossiya olimi M.S.Tsvet kashf etgan. Bu usul o'simlik va tirik organizm tarkibida uchraydigan murakkab tabiiy birikmalar vitaminlar, ibiotiklar, oqsillar, uglevodlar, alkaloidlar, glyukozidlar, fosfolipidlar va boshqalarni ajratib olishda, tozalashda keng ishlatilmoqda.

Xromatografik tahlil asosan uch turga: ion almashinish, adsorbtsiyaviy va taqsimlanish xromatografiyalariga bo'linadi.

III BOB

YARIMO'TKAZGICH SIRTIDA SODIR BOLADIGAN HODISALAR.

3.1 Sirt hodisalari tog'risida umumiy tushunchalar.

Hozirgi kunda yarimo'tkazgichlar sirti fizikasi fan va texnikaning eng jadal rivojlanayotgan sohasi hisoblanadi. Ushbu hoi yarimo'tkazgichlar sirtlari va yarimo'tkazgichlarning boshqa muhitlardan ajralish chegaralari xossalarining yarimo'tkazgich hajmida kuzatiladigan xossalardan sezilarli ravishda farqlanishi bilan bog'liqdir. Ushbu farqlar bir qator omillarga bog'liq bo'lib, ularning asosiylari yarimo'tkazgich panjarasi davriy strukturasiining uzilishi va sirt oldi soliadagi kristall strukturaning qayta qurilishidan iborat. Yarimo'tkazgich sirtida uzilgan valent aloqalar bog'lanishlarining mavjudligi, shuningdek, ajralish chegarasining boshqa tomonida g'alayonlanuvchi potensialning mavjudligi yarimo'tkazgich sirt oldi sohasidagi potensial relyefning o'zgarishiga olib keladi. Bundan ajralish chegaralarining mavjudligi yarimo'tkazgichning optik, elektrik, mexanik va boshqa xossalariga ta'sir ko'rsatishini bilib olish mumkin.

Ajralish chegaralarining yarimo'tkazgichlarning fizik xossalariga ta'siri qattiq jismlar elektronikasida yorqin kuzatiladi, chunki bu yerdagi turlicha ajralish chegaralari (yarimo'tkazgich-metall, yarim-o'tkazgich-dielektrik va yarimo'tkazgich-yarimo'tkazgich turdagi) yarimo'tkazgich asboblari va integral sxemalarning strukturaviy elementlarining ajralmas elementlaridir. Yarimo'tkazgichlar sirti va yarimo'tkazgich-dielektrik ajralish chegarasi xarakteristikalarini, shuningdek, ushbu xarakteristikalariga turlicha (temperatura, nurlanish, bosim va h.k.) omillar ta'sirini tadqiqlash zamonaviy yarimo'tkazgichlar fizikasining dolzarb masalasidir.

Yarimo'tkazgichlar sirti fizikasiga qiziqishning paydo bo'lishi sirtida yuz beradigan hodisalarning yarimo'tkazgich hajmidagi jarayonlarga, shuningdek, ko'pchilik yarimo'tkazgichli asboblari ishiga ta'siri aniq- langanligi bo'ldi. Hozirda yarimo'tkazgichlar elektronikasida kichik hajmli tranzistor, sig'im, induktivlik va boshqa elementlarni ko'p miqdorda o'z ichiga olgan integral mikrosxemalardan

iborat bo'lgan tuzilmalar keng miqyosda ishlab chiqarilishi, ularning turli sohalarga (kompyuterlar, televizorlar, aloqa va energetik qurilmalar) joriy qilinishi yarimo'tkazgichlar sirti fizikasini astoydil o'rganish masalasini dolzarb qilib qo'ymoqda, chunki qo'laniladigan yarimo'tkazgich elementlar hajmining tobora kichrayib borishi ular sirtining ahamiyatini kundan kunga oshirmoqda.

Yarimo'tkazgich kristalining sirtida uzuq (diskret) va uzluksiz ravishda taqsimlangan energetik sathlar tizimi mavjud. Ularning kelib chiqish sabablari turlicha. BMIda bu masalalar ayrim-ayrim holda ko'rib chiqiladi.

Sirdagi mahalliy energetik sathlar va ulardagi sirdagi zaryadi sirt yaqinida energiya sohalarini egadi. Bu esa kristallar elektr o'tkazuvchanligini, chiqish ishini, fotoelektrik xossalarini o'zgartirib yuboradi.

Yarimo'tkazgichlar sirti ta'sirini o'rganish ko'pgina hodisalarni aniqlashga yordam beradi. Sirtning holati kristall hajmida sodir bo'ladigan jarayonlar qanday borishini ko'rsatadi. Masalan, sirdagi sathlar rekombinatsiya markazlari bo'lib, namunada muvozanatsiz zaryad tashuv- chilarning yashash davriga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Sirdagi sochilish masalalarini o'rganish ham muhim muammolardan biridir. Sirdagi hodisalarni o'rganish yarimo'tkazgichlar fizikasining muhim va dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi. Bundan tashqari, yarimo'tkazgichlar sirti xossalarini o'rganish fizik kimyoning ba'zi masalalarini, xususan, kataliz muammolarini hal qilishda ham zarur. Sirtning holati quyosh energiyasidan foydalanishga mo'ljallangan asboblarda va qurilmalar ishida alohida ahamiyatga ega. Umuman olganda, sirdagi holatlar yarimo'tkazgichli diodlar, tranzistorlar ishlashida muhim ahamiyatga ega.

Asboblarni tashqi ta'sirdan himoyalash uchun ularning sirti atrofidagi muhitdan ajratish (saqlash) muammosi ham eng zarur amaliy vazifalardandir. Hozirda kristallarning atomar toza sirtini hosil qilish mumkin. Bunday holatni nazorat qilish usullari ham ishlab chiqilgan.

3.2 Sirtidagi electron holatlar nazariyasi

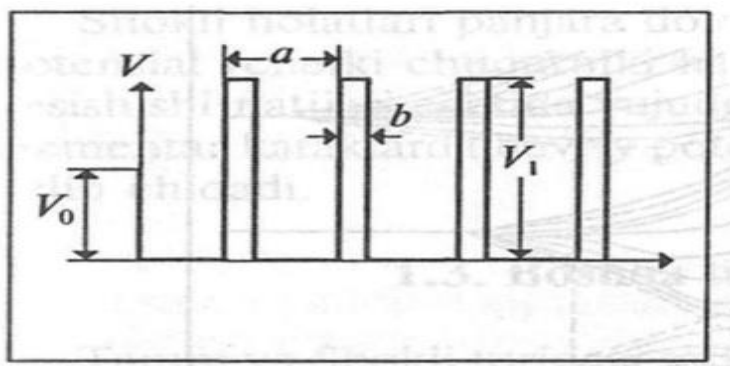
1932-yilda I.E. Tamm cheksiz va chekli kristallda elektronlarning energetik spektri muhim darajada turlicha bo'lishligini ko'rsatgan. Cheksiz kristalldagi elektronlarning ruxsat etilgan energiyalari soha- laridan boshqa chekli kristallda uning uzilishi natijasida elektronlar uchun yangi energetik holatlar paydo bo'ladi. Bu holatlarga mos keladigan to'lqin funksiyalari kristall chegarasida eng katta (maksimal) bo'lib, kristallning ichiga va vakuum tomonga o'tgan sari so'nib boradi.

Agar kristall chegaralangan va chetki elementar yacheykadagi potensial to'siq

kristall ichidagisidan farqli bo'lsa, cheksiz kristall ichida taqiqlangan holatlar o'rniga chekli kristallar sirtida ruxsat etilgan energetik holatlar vujudga kelishi mumkin. Ma'lumki, har qanday kvant tizimning energetik spektrini hosil qilish uchun Shredinger tenglamasini yechish kerak. Buning uchun to'lqin funksiya tanlashdan tashqari kristall ichidagi potensial o'zgarishini bilish kifoya (1-rasm).

E.I.Tamm o'zining birinchi hisobida bir o'lchovli masalani yechishda Kronig-Pennining kuchsiz bog'Mangan elektronlar modelini qabul qilgan. Bunda eng chetki potensialning ichki to'siqlardan farqi bo'lgan. Shu tarzda Tamm sathlar energiyasini aniqlash uchun tenglama yaratdi.

Sirt elektron holatlar nazariyasining keyingi rivojida nazariya uch olchovli fazo holini umumlashtirishi, tadqiqlashi, shuningdek, kristall ichidagi davriy potensialning turli ko'rinish hollari qarab chiqildi.



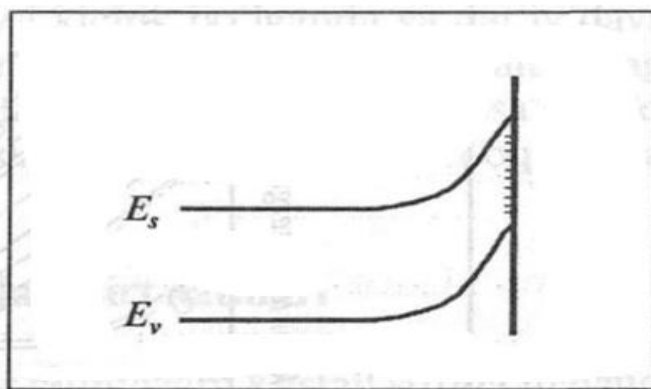
1-rasm. Kristall ichidagi potensial o'zgarishi.

Sirt elektron holatlar nazariyasining keyingi rivojida nazariya uch olchovli fazo holini umumlashtirishi, tadqiqlashi, shuningdek, kristall ichidagi davriy potensialning turli ko'rinish hollari qarab chiqildi.

3.3 Sirdagi electron holatlar turlari.

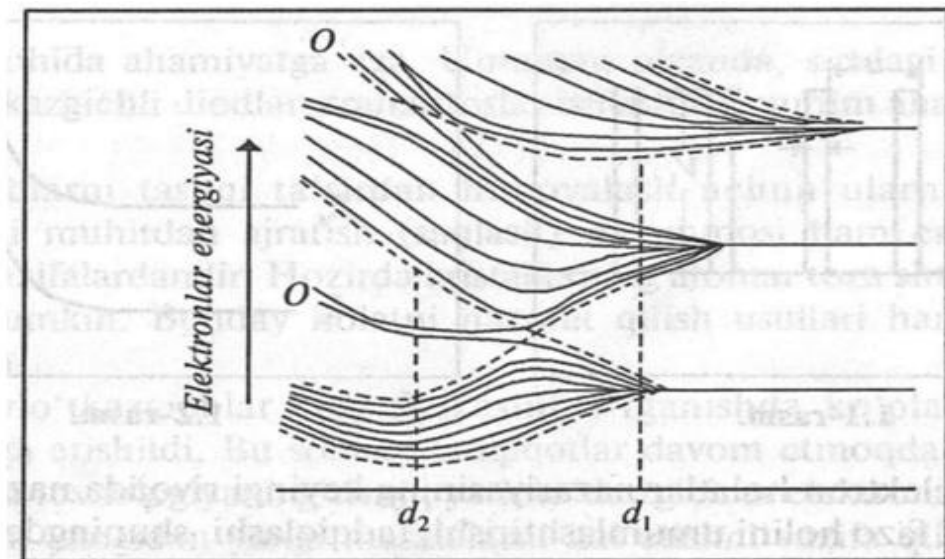
Chekli muntazam kristall sirtida kristall atomlarining davriy joylashishi kesilganligi oqibatida uzoq-uzoq elektron energiyalari holatlari spektri vujudga keladi. Bu holatlar Tamm holatlari (sathlari) deyiladi.

Tamm holatlari zichligi (konsentratsiyasi) sirdagi atomlar zichligi yordamida aniqlanadi, ya'ni bu zichlik $\sim 10^{15} \text{ sm}^{-2}$ tartibda bo'ladi. Bunday zichlik mavjud bo'lganida sirdagi energetik sohalar paydo bo'ladi (.2-rasm).



2-rasm. Sirdagi energetik holatlar.

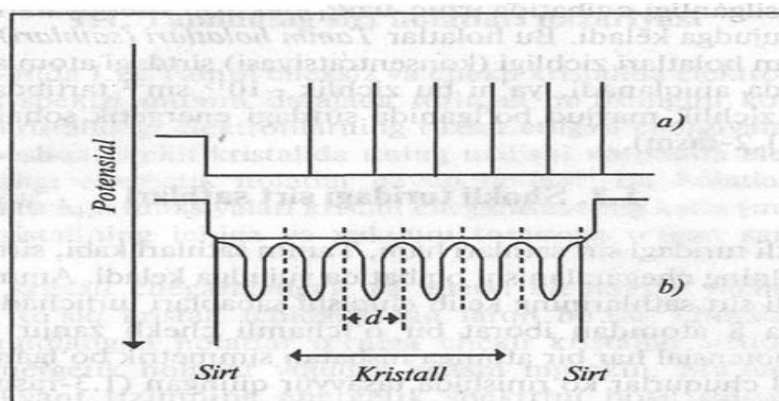
Shokli turidagi sirt sathlari ham, Tamm sathlari kabi, sirda davriy potensialning chegaralanishi oqibatida vujudga keladi. Ammo Tamm va Shokli sirt sathlarining kelib chiqishi sabablari turlichadir. Shokli modelida 8 atomdan iborat bir o'lchamli chekli zanjir qaralgan. Davriy potensial har bir atomga nisbatan simmetrik bo'lgan ixtiyoriy potensial chuqurlar ko'rinishida tasavur qilingan (3-rasm).



3-rasm. Sirdagi davriy potensial.

Eng muhimi, potensial o'ra buzilmagan, uning shakli ichki chuqurlarnikidan farq qilmaydi. Shokli bunday zanjircha uchun elektronlar energiyalari spektrini topgan va bu spektrning panjara doimiysi cheksidan to kichik kattalikkacha kichrayganda qanday o'zgarishini o'rgangan.

Zanjirchadagi atomlar orasidagi masofa kata bo'lganda tizimning energetik spektri ayrim atomlar uchun diskert (uzuq-uzuq) sathlar ko'rinishida bo'ladi va har bir sath sakkiz karra aynigan bo'ladi.



4-rasm. Taqiqlangan sohadagi sathlar.

Panjara doimiysi kamaya borgan sari ayrim sathlarga parchalanadi, bunda d_1 dan kichik bo'lgan atomlararo masofalarda sathlar kesishadi.

Bu holda kristallning taqiqlangan sohasida ikkita sath paydo bo'ladi, ulardan biri pastki ruxsatlangan sohada, ikkinchisi yuqorigi sohada hosil bo'ladi (4-rasm).

Shokli holatlari panjara doimiysi kichik bo'lganda va qat'iy davr potensial (chetki chuqurniki ham) bo'lganida energiya sohalarining kesishishi natijasi sifatida vujudga keladi. Tamm holatlari esa chetki elementar kataklarda davriy potensialning shakli o'zgarishi oqibatida kelib chiqadi.

Tamm va Shokli turidagi sathlar muntazam kristall sirtida mavjud bo'lishi mumkin. Muayyan texnologiya bo'yicha olingan yarimo'tkaz- gich kristalining haqiqiy sirtida mazkur holatlardan boshqa elektronlar uchun energetik holatlar ham vujudga kelishi mumkin. Masalan, sirtida joylashib olgan kirishma atomlari, kristall panjarasining sirt nuqsonlari, dislokatsiyalar va h.k.lar ana shularga sabab bo'ladi. Sirtidagi holatlarni keltirib chiqaradigan muhim sabablardan biri sirtga yot atomlarning adsorblanishi (yopishib olishi) bo'lib, bunda sirt sathining energetik vaziyati panjara parametrlariga, shuningdek, adsorblanuvchi modda (adsorbant) ga bog'liq bo'ladi. Tabiiyki, bu hollarda sirtidagi sathlar zichligi har xil bo'ladi. Zichligi katta bo'lganda bu sathlar ham energetik sohalar tashkil qilishi mumkin.

IV BOB

YARIMO'TKAZGICH SIRTIDAGI FAZOVIIY ZARYAD QATLAMI VA SIRTIDAGI ELEKTR O'TKAZUVCHANLIK

4.1 Sirtidagi fazoviy zaryad qatlami

Kristall sirtida energetik sathlarning borligi ularda elektr zaryad hosil bo'lishiga olib keladi. Kristallning haqiqiy sirti unda oksid qatlami hosil bo'lishi, atrof-muhit bilan o'ralganligi, ionlar adsorblanishi natijasida zaryadlanib qolishi mumkin.

Erkin zaryad tashuvchilar kristall hajmidan uning sirti sohasiga tortiladi. Shu tufayli qo'sh zaryadlangan qatlam hosil bo'ladi.

Faraz qilaylik, sirtidagi har bir atom bitta sirt sathini berradi. Bu sathlar zaryadlangan bo'lsin, bu holda ularning zichligi taxminan 10^{15} sm^{-2} bo'ladi.

Metallarda erkin elektronlar zichligi hajmi 10^{22} sm^{-3} , bir atom tekislikda 10^{14} sm^{-2} chamasida bo'ladi. Metallda sirtidagi zaryadni kamaytirish uchun 10 atom tekislikdagi, ya'ni 10^{-7} sm qatlamdagi erkin zaryadlar ishtirok etishi kifoya. Bu hajmiy zaryad qatlami metall xossalariga muhim ta'sir ko'rsatmaydi.

Yarimo'tkazgichlarda metalldagiga nisbatan erkin zaryad tashuvchilar zichligi ancha kichik. Masalan, n-tur yarimo'tkazgichda erkin elektronlar zichligi $n=10^{15} \text{ sm}^{-3}$ yoki bir atom tekislikka $N_1 = 10^7 \text{ sm}^{-2}$ to'g'ri keladi desak, sirtidagi sathlar zichligi $N_{ss} = 10^{11} \text{ sm}^{-2}$ bo'lsa, sirt zaryadini neytrallashtirish uchun 10^{-4} sm qalinlikdagi qatlamdan, ya'ni 10^4 chamasidagi atom tekislikni o'z ichiga olgan qatlamdan erkin zaryad tashuvchilar uzoqlashtirilishi kerak bo'ladi. Bu qatlam fazoviy zaryad qatlami deyiladi. Erkin zaryad tashuvchilar zichligi yana ham kam bo'lgan yarimo'tkazgichlarda fazoviy (hajmiy) zaryad qatlami ancha ichkariga kirishi mumkin.

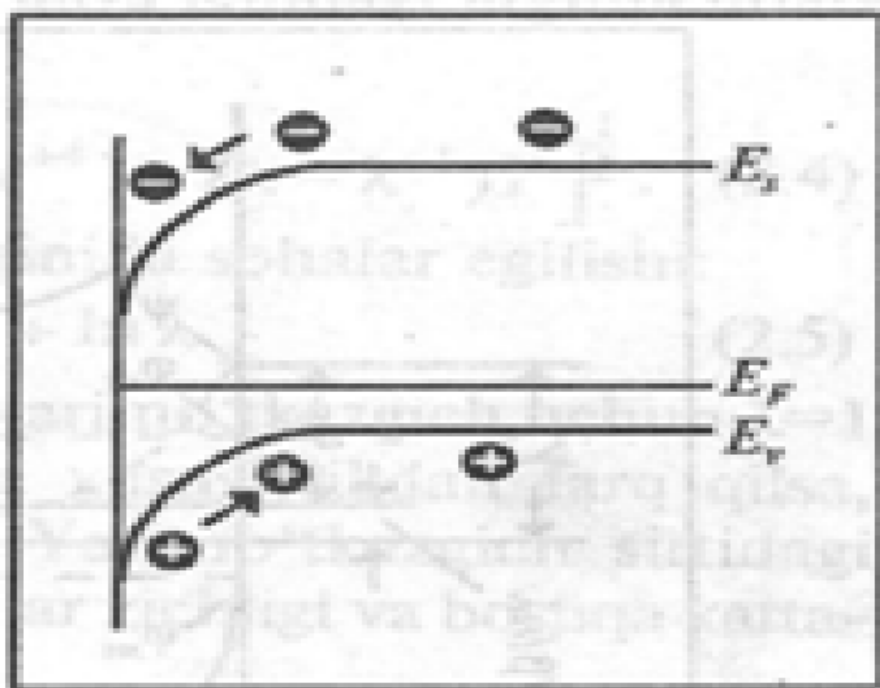
Shunday qilib, yarimo'tkazgichlarda sirt fazoviy zaryad qatlami mavjud bo'lib, u yarimo'tkazgichlar xossalariga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Bu sohada energiya sohalari egiladi. Ordinata o'qi bo'yicha kristallda elektronlarning potensial energiyasi, abssissa o'qida esa sirtidan kristall ichiga tomon masofa qo'yilgan (5-rasm).

Fazoviy zaryad sohasi chuqurligi xususiy yarimo'tkazgich uchun Debay ckranlash uzunligi L ga teng deb olinadi:

$$L = \sqrt{\frac{\varepsilon k T}{2 \pi e n_i}}, \quad (2.1)$$

bunda, ε -dielektrik doimiyligi, n_i -xususiy yarimo'tkazgichda zaryad lashuvchilar zichligi, e -elektron zaryadi.

Yarimo'tkazgich sirti yaqinida fazoviy zaryad sohasi hosil bo'lishi mumkin. Kristalldagi bu soha yarimo'tkazgichlarning ko'p xossalriga ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun yarimo'tkazgich sirtining fazoviy zaryad qatlami o'rganiladi.



5-rasm. Yarimo'tkazgich sirdagi fazoviy zaryad qatlami sxemasi.

Fazoviy zaryad sohasi umumiy nazariyasini Garret va Brattayn ishlab chiqqan. Bu nazariya asosida olib borilgan tadqiqotlar yarimo'tkazgich kristali sirti elektron tuzilishi haqida miqdoriy ma'lumotlar olish imkonini berdi. 6-rasmda n -turidagi yarimo'tkazgich sirti yaqinidagi sohaning energetik diagrammasi keltirilgan. Bu yerda, φ -elektrostatik potensial, u energiya sohalari egilishini ifodalaydi: φ_0 -hajmdagi potensial, uni taqiqlangan soha o'rtasiga mos potensialga

teng deb qabul qilingan; mazkur potensialning sirdagi qiymati φ_s ; F_0 -yarimo'tkazgich hajmdagi fermiy sathi; Y_s -sirtida energiya sohalari egilishi kattaligi. Sirdagi elektrostatik potensial sathidan Fermi sathigacha masofa F_s ni ba'zan sirt potentsiali deyiladi

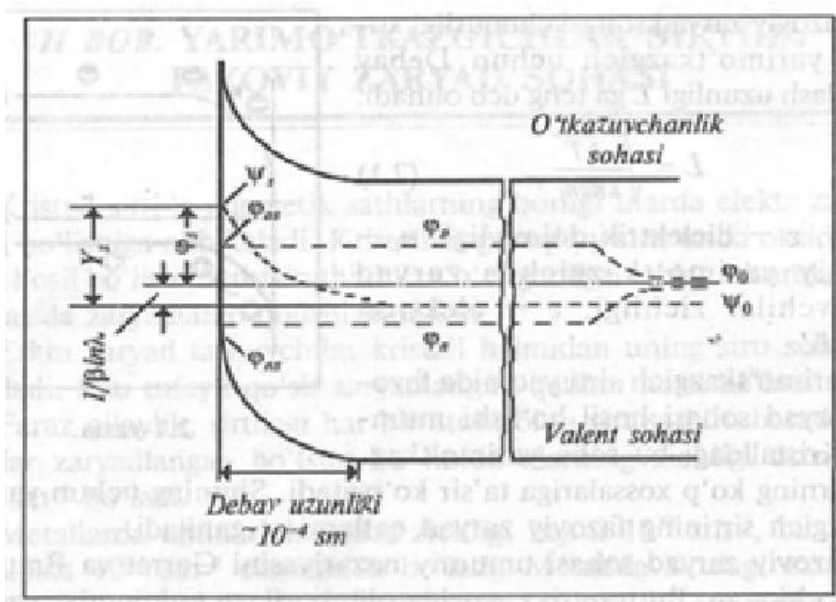
Mazkur nazariya o'z oldiga quyidagi masalalarni qo'yadi:

- a) fazoviy zaryad $\rho(x)$ potentsiali qanday o'zgarib borishini aniqlash;
- b) sirt yaqini sohasida hajmdagiga nisbatan ortiqcha zaryad lashuvchilar zichligini, hajmiy zaryad kattaligini va ular aniqlaydigan sirt $\Delta\delta_s$ o'tkazuvchanlikni topish.

Nazariyada ushbu farazlar qabul qilingan:

- a) yarimo'tkazgich hajmida kirishmalar zichligi kichik, binobarin, yarimo'tkazgich aynimagan va sohalardagi elektronlar hamda kovak- larga nisbatan klassik Boisman statistikasini qo'ilash mumkin;

- a) sirt yaqinida sohalar egriligi yetarlicha kichik, bu joyda ham yarimo'tkazgich aynimagan, sirt yaqinida sohalar chegarasi Fermi sathidan yetarlicha uzoqda;



6-rasm. n-turidagi yarimo'tkazgich sirti yaqinidagi sohaning energetic diagrammasi.

kristall hajmida kirishmalar to'la ionlashgan deb hisoblanadi. Kremniyda III va V guruh elementlar kirishmalari sathi xona temperaturasida (300 K) tola ionlashgan bo'ladi.

Sirt yaqinida elektrostatik potensial $\varphi(x)$ ning o'zgarishi qonuniyatini topish uchun Puasson tenglamasini yechish kerak:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = -\frac{4\pi}{\varepsilon}\rho(x) \quad (2.2)$$

bunda, ε – dielektrik doimiy, $\rho(x)$ -zaryadlar zichligi

O'lchamsiz kattaliklar kiritiladi:

$$Y = \frac{e}{kT}(\varphi - \varphi_0) = \beta(\varphi - \varphi_0), \lambda = \left(\frac{P_0}{n_0}\right)^{1/2},$$

$$P = \beta(F_0 - F_0), N = \beta(F_n - F_0),$$

bunda, $\beta = \frac{e}{kT}$, F_0, F_n – Fermi kvazi sathlari.

Puasson tenglamasini taqriban yechish ancha murakkab. (2.2) tenglama ba'zi hisoblashlardan keyin

$$\frac{dY}{dx} = \pm \frac{2}{L} \Phi(Y, \lambda, P, N) \quad (2.3)$$

ko'rinishga keladi. Bunda $\Phi(Y, \lambda, P, N)$ qavs ichidagi argumentlarning muayyan funksiyasi:

$$\Phi(\cdot) = \left[\lambda e^a (e^{-4} - 1) - \lambda^{-1} e^{-N} (1 - e^{+4}) + (\lambda - \lambda^{-1}) Y \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2.4)$$

Sirtning energetik sxemasidan sirt yaqinida sohalar egilishi:

$$Y_s = \beta(\varphi - \varphi_0) = \beta F_s + 1n\lambda \quad (2.5)$$

ko'rinishda ifodalanishi mumkin. Xususiylar yarimo'tkazgich uchun $\lambda = 1$ va $Y_s = \beta F_s$. Yarimo'tkazgich qay darajada xususiylardan farq qilsa, $Y_s = \beta F_s$ shuncha bir-biridan farq qiladi. Yarimo'tkazgich sirtidagi o'tkazuvchanlik, ortiqcha zaryad tashuvchilar zichligi va boshqa kattaliklar βF_s ga bog'liq ravishda qaratiladi.

4.2 Fazoviy zaryad sohasining xarakteristikalar

(2.3) tenglamadan

$$x = \frac{1}{2} L \int_0^{Y_s} \frac{1}{F(Y, \lambda, P, N)} dY \quad (2.6)$$

kelib chiqadi. ienglamadagi integrallash bajarilsa, sathiy potensial φ ning x ga bog'liqligi topilgan bo'lardi. Ammo bu hisob ancha murakkab. Buning o'rniga fazoviy zaryad qatlamini bir necha alohida sohalarida $\varphi(x)$ funksiyasini topish qulayroqdir. Odatda uch soha: siyraklashtirilgan soha, inversion qatlam va boyitilgan soha ko'rib chiqiladi.

1. Siyraklashtirilgan sohada sohalaridagi erkin zaryad tashuvchilar zichligi kompensirlanmagan kirishmalar zichligidan ancha kichik bo'ladi. Agar n -turdagi yarimo'tkazgichda sohalar yuqoriga egilgan ($Y_s < 0$) bo'lsa, p -turdagi yarimo'tkazgichda sohalar pastga ($U_s > 0$) egilgan bo'lsa, siyraklashtirilgan sohasi vujudga keladi.

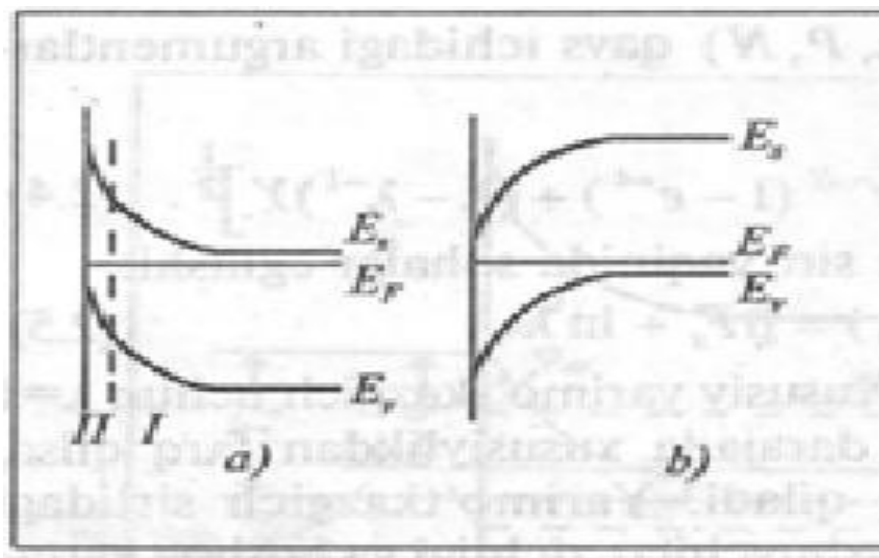
Bu sohada $F(Y, \lambda, P, N)$ funksiyada birinchi va ikkinchi hadlar uchinchi dan kichik, binobarin:

$$\frac{dY}{dx} = \pm \frac{2}{L} (Y, \lambda - \lambda^{-1}) \frac{1}{2} Y \frac{1}{2} \quad (2.7)$$

musbat ishora sohalar yuqoriga, manfiy esa sohalar pastga egilgan hollar uchun. (2.7) ifoda integrallangandan so'ng quyidagi ifoda

$$Y = Ax^2 \quad (2.8)$$

kelib chiqadi. Ammo bu qonuniyat bajariladigan soha torginadir (7- rasm, a, b).



7-rasm. Sirtdagi sohalar egrilanishi. a-tur, b-tur yarimo'tkazgich

2. Endi n-turdagi yarimo'tkazgichni ko'rib chiqamiz. Sohalarining yuqoriga katta egilgani holida valent soha o'tkazuvchanlik sohasiga nisbatan Fermi sathiga yaqinlashgan bo'lsin.

Bu qatlamda kovak o'tkazuvchanlik elektron o'tkazuvchanlikdan katta bo'lishi mumkin. Bunday qatlam inversion qatlam deyiladi.

Bu qatlamda potensial o'zgarishi qonuniyatini topish uchun

$F(Y, \lambda, P, N)$ da birgina qo'shiluvchini yo birinchi, yoki ikkinchi qo'shiluvchini hisobga olib, (2.3) tenglama yechiladi. Bu tanlash yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligi turiga bog'liq. Sohalarining egilish qiymati namunaning legirlanishi darajasiga (elektronlar beruvchi yoki kovaklar hosil qiluvchi kirishmalar zichligiga) bog'liq bo'ladi. Umuman aytganda, inversion qatlam uchun (2.3) tenglama taqriban yechiladi.

3. Agar n-tur yarimo'tkazgichda sohalar pastga, p-tur yarimo'tkazgichda sohalar yuqoriga egilgan bo'lsa, bu hollarda boyitilgan soha hosil bo'ladi, ya'ni asosiy zaryad tashuvchilar zichligi hajmdagiga nisbatan sirt yaqinida katta bo'ladi, ammo inversion qatlam holidagidek boyitilgan soha kengligi ham yetarlicha kichik. $F(Y, \lambda, P, N)$ funksiyada uchinchi hadni tashlab yuborib, (2.3) tenglamani yechib $\varphi(x)$ potensial taqsimoti topiladi. Umuman olganda, (2.3) tenglamani soniy hisoblab, butun fazoviy zaryad sohasida $\varphi(x)$ bog'lanishni olish mumkin.

4.3 Sirtagi elektr o'tkazuvchanlik

Sirtagi zaryad tashuvchilarning ortiqcha zichligi deb sirtagi haqiqiy zichlik bilan hajmdagi zichlik orasidagi farqqa aytiladi. Ortiqcha zichlikni aniqlash sirtagi o'tkazuvchanlikni aniqlash imkoniyatini beradi. Sohalar egilishi katta bo'lgan hoi uchun (yuqoriga) kovaklar va elektronlarning ortiqcha zichliklari G_r va G_n ifodalarini topilgan:

$$G_n = Ln_i e^{\frac{1}{2}\beta(F_n - \varphi_s)} \quad (2.9)$$

$$G_n = Ln_i e^{\frac{1}{2}\beta(\varphi_s - F_n)} \quad (2.10)$$

Bu ortiqcha zichliklar sirtagi o'tkazuvchanlik o'zgarishini aniqlaydi

$$\Delta\sigma_s = \varepsilon\mu_n Ln_i g \lambda^{-1/2} \quad (2.11)$$

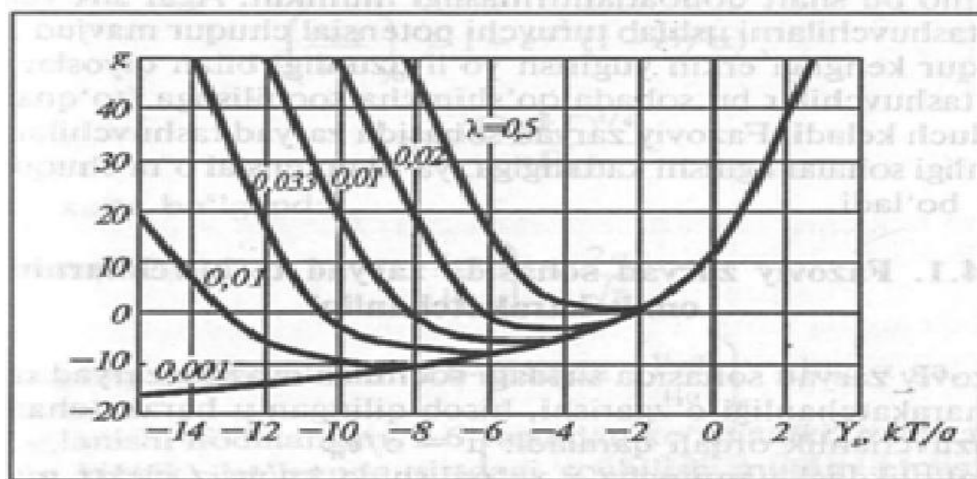
hunda $b = \mu_n / \mu_p$, μ_n va μ_p elektronlar va kovaklar harakatchanligi. Bu hisobda zaryad tashuvchilar harakatchanligi hajmda va sirtida bir xil deb olingan. Ammo sirtagi harakatchanlik hajmdagisidan kichikroq bo'ladi (sirtagi qo'shimcha sochilish hisobiga). Shuning uchun $\Delta\sigma_s$ ning qiymatlari (2.11) bo'yicha hisoblaganidan kichik bo'ladi.

Statsionar holda ($P=N=0$)

$$\Delta\sigma_s = \frac{1}{2} e\mu_n Ln_i g \lambda^{-1/2} \quad (2.12)$$

$$g = \lambda^{-1/2} \int_{Y_s}^0 \frac{\lambda(y^{-Y} - 1) + b\lambda^{-1}(e^Y - 1)}{F(Y, \lambda)} dY \quad (2.13)$$

g ning turli λ qiymatlariga tegishli qiymatlari hisoblanib, jadvallari tuzilgan. n -turdagi yarimo'tkazgich uchun sirtagi o'tkazuvchanlik intcgrali (2.13) ifodaning sohalar egilishi Y_s ga bog'lanishi egri chiziqlari ko'rsatilgan. Bunda $g(Y_s)$ egri chiziqda minimumlarning mavjud bolishi quyidagicha tushuntiriladi (8-rasm).



8-rasm. n-turdagi yarimo'tkazgich uchun sirdagi o'tkazuvchanlik egri chiziqlari.

Y_s ning musbat qiymati oshib borgan sari sohalar pastga egila boradi. n-turdagi yarimo'tkazgich sirdagi o'tkazuvchanligi sirt elementlar soni ortib borishi hisobiga ortadi. Sohalar yuqoriga egila borganda esa $\Delta\sigma_s$ o'tkazuvchanligi kamayadi. U inversion qatlam hosil bo'lguncha davom etadi. Y_s yana kattalasha borganda sirdagi o'tkazuvchanlik inversion qatlam o'tkazuvchanligi oshishi hisobiga ortadi.

$\Delta\sigma_s(Y_s)$ o'tkazuvchanlik egri chizig'ining minimumi

$$Y_{s,\min} = \ln \lambda^{2/b} \quad (2-14)$$

qiymatga mos tushadi. Bu ifodani tahlil qilish uncha qiyin emas. Shuni aytish kerakki, $\Delta\sigma_s(Y_s)$ kristallning xossalriga (λ va b ga) bog'liq.

Maydon effekti yordamida sirdagi potensialni o'zgartirib, sirt o'tkazuvchanlikning sohalar egilishiga bog'liq ravishda o'zgarishini tajribada o'rganish mumkin.

V BOB

YARIMO'TKAZGICH SIRTIDAGI KINETIK HODISALAR

5.1 Sirtidagi fazoviy zaryadlar harakatchanligi

Sirt hodisalari tyg avvalo sirtidagi zaryadlar harakatchanlanligiga bog'liq. Oldingi bobda hajmdagi va sirtidagi harakatchanlik birday bo'ladi, deb hisoblangan edi. Agar erkin zaryad tashuvchilarning erkin yugirish yo'li l fazoviy zaryad sohasi L kengligidan ancha kichik ($L \gg l$) bo'lganda yuqoridagi faraz to'g'ri bo'ladi.

Ammo bu shart qonoatlantirmasligi mumkin. Agar sirt yaqinida zaryad tashuvchilarni ushlab turuvchi potensial chuqur mavjud bo'lsa, bu chuqur kengligi erkin yugirish yo'li uzunligi bilan qiyoslanganda zaryad tashuvchilar bu sohada qo'shimcha sochilishga (to'qnashish- larga) duch keladi. Fazoviy zaryad sohasida zaryad tashuvchilar harakatchanligi sohalar egilishi kattaligiga, ya'ni potensial o'ra chuqurligiga bog'liq bo'ladi.

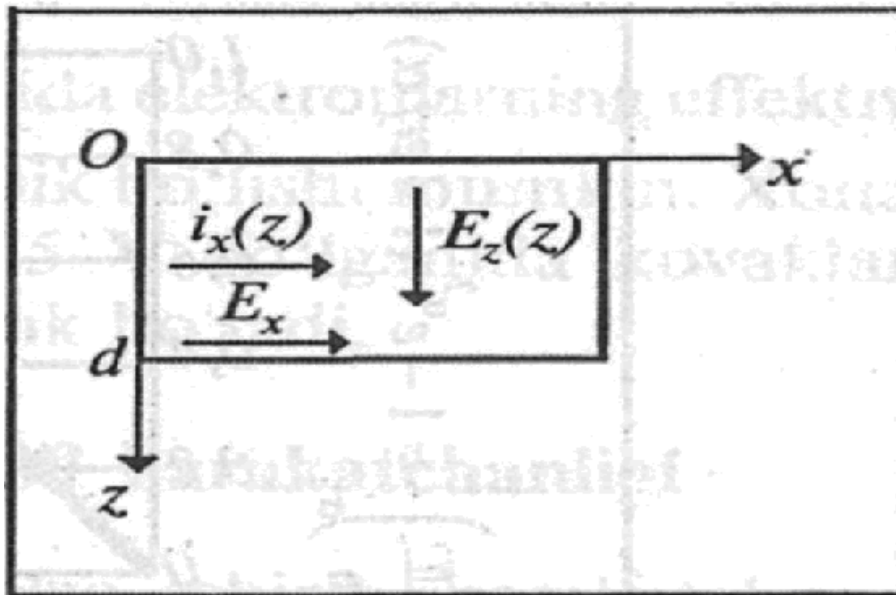
Fazoviy zaryad sohasida sirtidagi sochilish evaziga zaryad tashuvchilar harakatchanligi o'zgarishi, hisob qilingan μ harakatchanlik va σ o'tkazuvchanlik orqali qaraladi: $\mu = \sigma / e_n$

d qalinlikdagi namunaga x yo'nalishida kuchsiz elektr maydoni E_x qo'yilgan va u i_x tokini beradi (9-rasm).

Sirt yaqinidagi fazoviy zaryad E_z maydon paydo qiladi. Sirtidagi tok zichligi integral bo'yicha

$$I_x = \int_{\partial}^{\infty} i_x(z) dt \quad (3.1)$$

hisoblanadi. Bu integral ikki hol uchun hisoblangan:



9-rasm. Irtga qo'yilgan elektr maydoni.

$\varphi(t) = E_{zs}Z, E_{zs}$ -doimiy. Bunda sirdagi o'tkazuvchanlik

$$\sigma_s = \frac{I_x}{E_x} = eN_1(\mu_{eff})$$

ko'rinishida μ_{eff} harakatchanlik orqali hisoblanadi. Sirt yaqinidagi potensial o'radagi zaryad tashuvchilar soni

$$N_1 = C \left(\frac{2\pi kT}{m} \right)^{3/2} \frac{kT}{eE_{zs}} \quad (3.2)$$

I_x tok ifodasi ham aniqlangan:

$$I_x = \pi^{1/2} D_1 \alpha kT [1 - e^{-\alpha^2} (1 - \operatorname{erf} \alpha)] \quad (3.3)$$

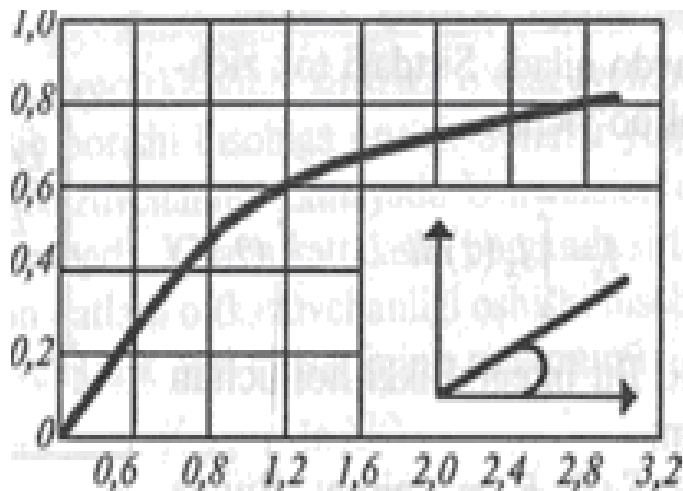
Hajmiy harakatchanlik $\mu_0 = q\tau/m$ ekanligini e'tiborga olsak, quyidagi natijani olamiz:

$$\left(\frac{\mu_{eff}}{\mu_0} \right)_\sigma = 1 - e^{-\alpha^2} (1 - \operatorname{erf} \alpha) \quad (3.4)$$

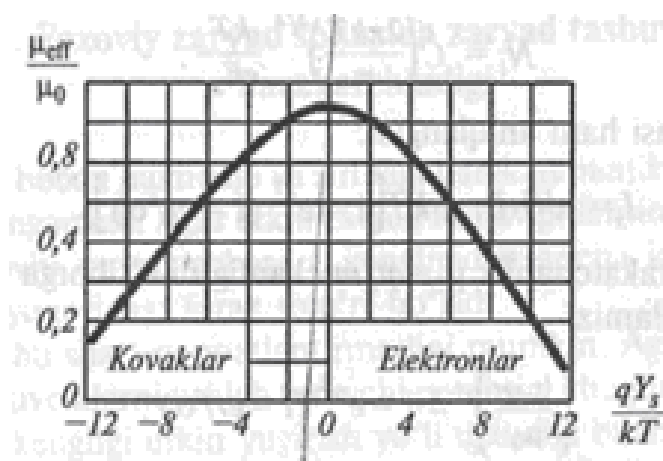
$$\alpha = \frac{(2mkT)^{1/2}}{eE_v \tau} \quad (3.5)$$

$$E_v \quad \text{katta bo'lganda} \quad \left(\frac{\mu_{eff}}{\mu_0} \right)_\sigma = \frac{2\alpha}{\sqrt{\pi}} \quad (3.6)$$

Taqribiy nisbat o'rinli. 11-rasmda $\left(\frac{\mu_{eff}}{\mu_0} \right)_\sigma$ ning α ga, ya'ni E_v ga bog'lanishi ifodalangan. 11-rasmdan ko'rinadiki, α katta (sohalar egilishi kichik) bo'lganda sirtidagi sochilish muffim emas, effektiv harakatchanlik amalda hajmiy harakatchanlikka teng ($\mu_{eff} / \mu_0 > 1$).



11-rasm. Harakatchanlikning temperaturaga bog'liqligi.



12-rasm. Harakatchanlikning xususiy germaniy sirtidagi qiymatlari.

Ammo α kichik (sohalar egilishi katta) bo'lganda effektiv harakatchanlik hajmiysidan bir necha marta kichik bo'lishi mumkin.

2) $\varphi(z)$ ni Puasson tenglamasidan topiladi. Bu holda $(\mu_{eff} / \mu_0)_\sigma$ a uchun ifoda ancha katta. 12-rasmda xususiy o'tkazuvchanlik germaniy uchun hisoblangan bog'lanish keltirilgan. $Y > 0$ (sohalar pastga egilgan) bo'lgan holda potensial o'rada (sirt qatlamida) erkin elektronlar joylashgan. Erkin chiziqlarning tomoni elektronlar harakatchanligi- ning o'zgarishini ifodalaydi. $Y_s < 0$ bo'lganda kovaklar harakatchanligi o'zgaradi.

Rasmdan ko'rinadiki, $Y_s \sim 12 \frac{kT}{e}$ bo'lganida elektronlarning effektiv harakatchanligi hajmdagidan 10 marta kichik bo'lishi mumkin. Xona lemperturasida va sirdagi potensial 0,25 V bo'lganida kovaklar harakatchanligi hajmdagidan 2 marta kichik bo'ladi.

5.2 Fazoviy zaryad sohasida Xoll hodisasi

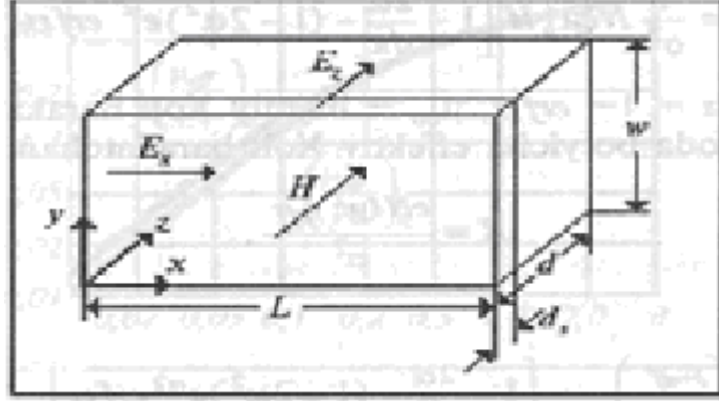
Xoll effekti bo'yicha o'lchashlarni amalga oshirib, harakatchanlikni aniqlash mumkin:

$$\mu_H = R\sigma \quad (3.7)$$

bunda, R -Xoll doimiysi, σ -o'tkazuvchanlik. μ_n – mikroskopik yoki o'tkazuvchanlik bo'yicha μ (omik) harakatchanlikdan farq qiladi: $\mu_n = \chi\mu$, bundagi χ ko'paytgich 1 dan 2 gacha o'zgaradi, uning qiymati sochilish xususiyatiga bog'liqdir. Sfera sohali aynimagan yarimo'tkazgichlarda l erkin yugurish yo'li energiyaga bog'liq bo'lmagan holda $\chi = \frac{3\pi}{8}$ bo'ladi.

Agar $l \sim v$ bo'lsa, bunday namunalarda parametr 1 ga yaqin bo'ladi. Ellipsoidal (Ge va Si da shunaqa) izoenergetik sirtli aynimagan yarimo'tkazgichlarda $l = \frac{3\pi}{8} \rightarrow \frac{3(2\chi+1)}{(\chi+2)^2}$. Bunda χ – ko'ndalang va bo'ylama effektiv massalar nisbati. χ – ning qiymati fazoviy zaryad sohasida hajmi uchun hisoblangan qiymatdan farq qilishi mumkin.

13-rasmda ko'rsatilganidek, uzunligi L , kengligi W , qalinligi d bo'lgan namunaga x yo'nalishida E_x elektr maydon, z yo'nalishida H_z magnit maydon qo'yilgan, u holda x yo'nalishida tok o'tib tursa, bu yo'nalishda E_y Xoll maydoni



13-rasm. Holl hodisasi o'rganiladigan namuna elektr va magnet maydonida.

bu yo'nalishda E_y Xoll maydoni vujudga keladi. Xoll maydoni magnit maydoni tomonidan zaryad tashuvchilarga ta'sir qiluvchi Lorens kuchini muvozanatlagani uchun ushbu yo'nalishda tok bo'lmaydi: $E_y = 0$.

Toklar ifodalari:

$$I_x = \int_0^d ix(z)dz \quad (3.8)$$

$$I_y = \int_0^d iy(z)dz = 0 \quad (3.9)$$

σ – o'tkazuvchanlik va R-Xoll doimiysi ma'lum.

$$\sigma = \frac{I_x}{E_x W d}, \quad (3.10)$$

$$R = \frac{E_y W d}{I_x H} \quad (3.11)$$

ifodalarga ega.

I_x (3.8) ifodadan va E_y (3.9) ifodadan aniqlanadi. Buni (3.10) va (3.11) ga qo'yib sirtidagi o'tkazuvchanlik σ va Xoll doimiysi R ni hisoblash mumkin.

5.3 Yarimo'tkazgichlar sirtidagi adsorblash hodisasi.

Adsorblash va uning asosiy qonuniyatlari

Endi Lengmyur nazariyasining asosiy farazlari haqida to'xtalib o'tamiz. Yarimo'tkazgich gaz muhit bilan ta'sirlashganda uning sirti gaz molekulalari bilan to'la boshlaydi. Bu jarayon adsorblash (sirtga yopishish yoki so'rilish) deyiladi. Bu jarayon muvozanat sodir bo'lguncha, ya'ni sirtga kelayotgan va undan ketayotgan gaz molekulalari sonlari tenglashguncha davom etadi. Yarimo'tkazgich sirtida adsorb- langan molekulalar paydo bo'lishi uning xossalarini o'zgartiradi.

Ba'zi hollarda adsorblash jarayoni juda tez boradi, muvozanat dcyarli bir onda sodir bo'ladi. Boshqa hollarda bu jarayon yetarlicha sckin boradi va sirt bilan gaz muhit orasida muvozanat hosil bo'lguncha ancha vaqt o'tadi. Bu holda adsorblangan zarralar soni N vaqtga bog'liq, ya'ni $N(t)$ bo'ladi. Biz bunda adsorblash kinetikasi haqida gap yuritamiz.

Adsorbsion muvozanat o'rnatilganda sirt birligida yutilgan gaz molekulalari soni bosim P va temperatura T ga bog'liq:

$$N = N(P, T). \quad (3.12).$$

(3.12) tenglama holat **tenglamasi** deyiladi.

Lengmyurning adsorblash nazariyasi quyidagi farazlarga asoslangan:

1. Adsorblash ayrim adsorbsion markazlarda yuz beradi. Har bir markaz birgina gaz molekulasini tutib tura oladi. Sirt faqat mazkur molekulalarga nisbatan birday bogianish energiyali bir xil adsorbsion markazlarga ega. Bunday sirtni **energetik bir jins** sirt deyiladi.

2. Adsorblangan molekulalar bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashmaydi, ya'ni bog'lanish mustahkamligi faqat markaz va molekula tabiatiga bog'liq.

3. Sirtidagi adsorbsion markazlar soni mazkur sirt uchun doimiy bcrilgan kattalik. U temperaturaga bog'liqmas va sirtning to'ldirilishilini o'zgartirmaydi.

4. Molekula adsorblangan holatda bo'lganda uning adsorbsion markaz bilan bog'lanish energiyasi o'zgarmaydi.

5.4 Adsorblash kinetikasi

Adsorblash jarayoni sekin borganda adsorblangan molekulalar (zarralar) soni vaqt bo'yicha o'zgaradi: $N=N(P,T)$. Sirt birligida adsorblash markazlari soni N^* bo'lsin. Bu holda adsorblash kinetikasi tenglamasi

$$\frac{dN}{dt} = \alpha P(N^* - N) - \beta N \quad (3.13)$$

bo'ladi. Bundan

$$\alpha = \chi S / \sqrt{2\pi M k T}, \quad \beta = \eta e^{-E_b / k T} \quad (3.14)$$

kelib chiqadi. (3.13) tenglamadagi birinchi had 1_s da sirtning 1 sm^2 ga keluvchi molekulalar sonini, ikkinchi had esa shu vaqtda shu sirtan ketuvchi molekulalar sonini bildiradi. M -adsorblangan molekula massasi, s -uning effektiv yuzi, χ – gaz molekulasining markazda ushlab qolish ehtimolligi, η -molekulaning desorblash (ajralib chiqish) ehtimolligi, E_b -bog'lanish energiyasi.

Jarayon boshlanishida sirtning to'ldirilishi kichik ($N \ll N^*$) bo'lgani sababli, desorblashni e'tiborga olmasa ham boladi. Adsorblash tezligi uchun

$$\frac{dN}{dt} = \alpha P N^* \quad (3.15)$$

tenglamani olamiz.

(3.13) tenglamani $t = 0$ da $N = 0$ boshlang'ich shartda yechsak,

$$N(t) = \frac{N^*}{1 + b / \alpha} (1 - e^{-at}) \quad (3.16)$$

bunda $\alpha = \alpha P + \beta$, $b = \beta / \alpha \ll 1 / \alpha$ bo'lganda (3.16) yechim (3.15) ifodaga mos tushadi. Bu Lengmyur ifodalari bo'lib, haqiqatda kuzatiladi, ba'zan esa Roginskiy-Zeldovich tenglamasi

$$\frac{dN}{dt} = Ce^{-\gamma/N} \quad (3.17)$$

va uning yechimi

$$N(t) = \frac{1}{\gamma} \ln \left(1 + \frac{t}{t_0} \right) \quad (3.18)$$

qo'laniladi, bunda $u > 0$. Dastlab bu yechim CO ning MnO_2 sirtida adsorblanish kinetikasi uchun qo'llangan va ijobiy natija olingan.

5.5 Fizik va kimyoviy adsorblash

Fizik va kimyoviy adsorblashlar orasida qanday farq bor? Bu farq adsorblangan molekulani sirtida tutib turuvchi kuchlar tabiati har xilligidan kelib chiqadi.

Haqiqatan, qattiq jism bilan molekula orasida vujudga kelib adsorblashni taqozo qiluvchi kuchlar turli tabiatli boiadi. Bu kuchlar elektrostatik, Van-der-Vaals, elektr ta'sir kuchlari boisa, bu holda adsorblashni fizik adsorblash deyiladi. Agar adsorblash uchun javobgar kuchlar kimyoviy tabiatga ega bo'lsa, bu holda kimyoviy adsorblash (xemosorblash) deyiladi. Bu holdagi adsorblash molekulaning qattiq jism bilan kimyoviy birikuvidan iborat. 17 -rasm, a da sistema W energiyasining adsorbent sirti va adsorblanuvchi zarra orasidagi r masofa funksiyasi sifatidagi adsorbsion egri chiziq tasvirlangan. Bunda E_b -adsorblash issiqligi (bog'lanish energiyasi), r_0 -muvozanat holdagi masofa.

Xemosorblash, fizik adsorblashdan farqli ravishda kichikroq r_0 va ancha katta E_b orqali ifodalanadi. Fizik adsorblashda $E_b \sim 0,01 - 0,1eV$ kimyoviy adsorblashda $E_b \sim 1eV$ chamasida. Fizik adsorblashda adsorblanuvchi (sirtga yutiluvchi) molekula va adsorbent panja- rasi ikki mustaqil sistema tariqasida

qaralishi mumkin. Kimyoviy adsorblashda molekula va panjara bitta kvantmexanik sistemani tashkil etadi.

17-rasmda ko'rsatilgan adsorbsion minimumlarni hisoblash masalasi ustida to'xtaylik. 3.1-rasm, *a* dagi $W-W(r)$ egri chiziqdagi fizik (Van-der-Vaals) adsorblash minimumini hisoblashda muvozanatdagi r_0 masofa uchun adsorblanadigan zarra va adsorbent Komi radiuslari yig'indisiga teng voki kichikroq qiymatlar olingan. Radiuslar yig'indisidan kichik ninsofalarda Van-der-Vaals kuchi o'zaro ta'siri (fizik adsorblash lushuniladi) ma'nosini yo'qotadi. Im holda almashinuv o'zaro ta'sir kuchiga kiradi. Ko'pincha adsorbsion egri chiziq $W-W(r)$ 17-rasm, *b* dagidek chiziladi, inula energetik (aktivatsion) to'siq bilan ajralgan ikkita minimum bor. Bunda birinchi chuqurmas $r = r'_0$ minimum fizik adsorblash deb ataladi va chuqurroq $r = r'_0$ minimumni kimyoviy adsorblashga

tegishli deb hisoblanadi ($r_0'' < r_0'$). Zarraning *A* nuqtadan energetik to'siq orqali *V* nuqtaga o'tishi zarraning fizik adsorblash holatiga o'tishini bildiradi. Ammo bunday adsorblash egri chizig'i bo'lmaydi. Fizik va kimyoviy adsorblashlar, sistemaning ikki turli elektron holatini ifodalaydigan ikki turli adsorbsion minimumni ajratadigan energetik to'siq, 17-rasm, *d* da ko'rsatilganidek, ikki adsorbsion egri chiziqlar kesishishi oqibatida vujudga kelishi mumkin.

Endi xemosorblashni ko'rib chiqamiz. Sistemani dastawal qo'zg'atish (faollash)dan so'ng amalga oshadigan adsorblashni faollashgan (aktivlashgan) adsorblash deyiladi. linnda muayyan energiya sarflanadi.

Odatda kimyoviy adsorblash faollashgan adsorblash bo'ladi, ammo bu zaruriy shart emas. Faollashgan adsorblash kinetikasi oddiy (faollashmagan) adsorblashnikidan farq qiladi. Oddiy adsorblash juda loz boradi, adsorbsion muvozanat amalda bir onda qaror topadi, Icmperatura qancha past bo'lsa,

shuncha tezroq yuz beradi. Faollashgan adsorblash hamda muvozanat sekin qaror topadi. Adsorblash tczligini o'lchash mumkin, temperatura qancha yuqori bo'lsa, bu Itr/lik shuncha katta bo'ladi. Isitish adsorblashni tezlashtiradi.

Adsorblash jarayoni boshida, (3.3) va (3.4) ifodaga muvofiq, adsorblash tezligi uchun

$$\frac{dN}{dt} = \chi \frac{sN^*}{\sqrt{2\pi M k T}} P \quad (3.19)$$

munosabat o'rinlidir. χ ko'paytuvchi gazdan adsorbsion markazga o'tgan molekulaning shu markazda qolishligi ehtimolini ifodalaydi. Faollashgan va oddiy adsorblashlar farqi χ ko'paytuvchi ko'rinishiga bog'liq. Oddiy adsorblash holida χ koeffitsiyent temperaturaga bog'liq emas va $\chi=1$.

Demak, oddiy adsorblash tezligi temperatura oshganda sekin kamayib boradi. Faollashgan adsorblashda

$$\chi \sim \exp(-E/kT) \quad (3.20)$$

deb faraz qilinadi; bunda E-faollash energiyasi. Demak, T ortganda faollashgan adsorblash tezligi juda tez eksponensial ortib boradi. Odatda, faollash to'sig'i tushunchasi kiritiladi va uning balandligi E ga teng bo'ladi.

Faollash to'sig'ining tabiati qanday? Faollash to'sig'i molekula adsorblanganda uning atomlarga yoki radikallarga parchalanishi holida vujudga keladi. Bu masala vodorod molekulasida H_2 ning ikkita N atomga ajralishi misolida ko'rib chiqilgan. Umumiy holda

$$N^* \sim e^{-E_1/kT}, \quad \chi \sim e^{-E_2/kT}. \quad (3.21)$$

Faollash energiyasi $E = E_1 + E_2$. Faollash to'sig'i fizik va kimyoviy adsorblash (xemosorblash) hollarida vujudga kelishi mumkin

VI-BOB

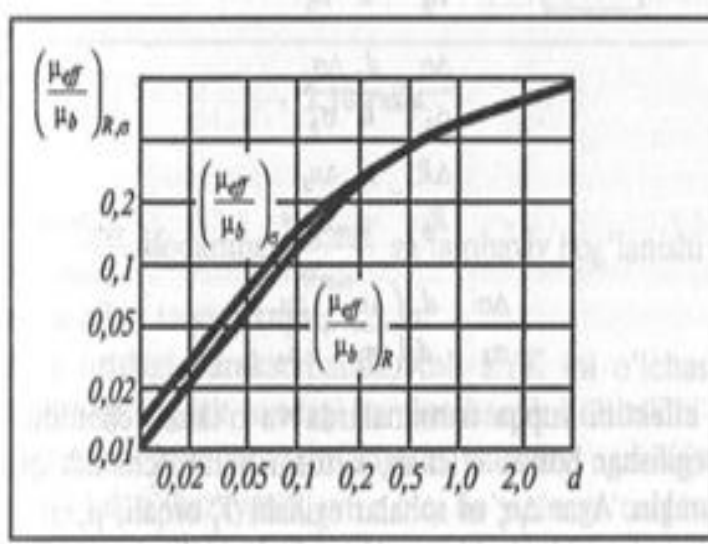
YARIMO'TKAZGICH SIRTIDAGI HODISALARNI TAJRIBALARDA O'RGANISH.

6.1 Tajriba o'tkazish qurilmasining sxemasi

Sirtidagi sohada zaryad tashuvchilar harakatchanligini tajribada o'rganish

Mumkin bo'lgan o'lchash sxemalarining eng qulay ko'rinishi 13- nismda tasvirlangan. Bunda zaryad tashuvchilar effektiv harakatchan- llgi yupqa namunalarda o'lchanadi, chunki bunday namunalarda sirtidagi sochilish muhim bo'ladi(14-rasm).

Bu holdagi ekvivalent sxemani qaraylik. Kristallni z o'qi bo'ylab Ikki sohaga — ekranlash uzunligi d_s tartibidagi sirt yaqinidagi sohaga va d_b qalinlikdagi hajmiy sohaga ajratiladi. Ikkala soha ham Xoll EYK ga hissa qo'shadi. Ular parallel ulangan. Keyinchalik s indeks sirtidagi kattaliklarga, b indeks hajmiy kattaliklarga tegishli bo'ladi.



14-rasm. Harakatchanlikning sirt qatlami qalinligiga bog'liqligi.

2.10-rasmdan ko'rinadiki, Xoll kuchlanishini

$$V = \frac{RIH}{d} = \frac{I}{G} = \frac{V_b G_b + V_s G_s}{G_b + G_s} \quad (4.1)$$

ko'rinishida yozish mumkin. Bunda I-qo'yilgan elektr maydon paydo qilgan to'la tok, G-namunaning to'la o'tkazuvchanligi, R-Xoll doimiysi. Unga quyidagi ifodalar o'rinli:

$$V_b = \frac{R_b I_b H}{d_b}; \quad G_b = \sigma_b \frac{L d_b}{W}; \quad \frac{I_b}{I} = \frac{G_b}{G} = \frac{\sigma_b d_b}{\sigma_b d_b + \sigma_s d_s}, \quad (4.2)$$

$$V_s = \frac{R_s I_s H}{d_s}; \quad G_s = \sigma_s \frac{L d_s}{W}; \quad \frac{I_s}{I} = \frac{G_s}{G} = \frac{\sigma_s d_s}{\sigma_s d_s + \sigma_b d_b}. \quad (4.3)$$

(4.2) va (4.3) ifodalarni (3.11) ga qo'ysak,

$$R = d \frac{R_b d_b \sigma_b^2 + R_s d_s \sigma_s^2}{(d_b \sigma_b + d_s \sigma_s)^2} \quad (4.4)$$

solishtirma o'tkazuvchanlik uchun $\sigma = \frac{1}{d}(d_b \sigma_b + d_s \sigma_s)$ ifodani olish qiyin emas. Zonalarning sirt yaqinida egilishi o'zgarganida σ_s va R_s kattaliklar o'zgaradi, ammo σ_b va R_b lar o'zgarmay qoladi.

Agar dastlabki egilish nolga teng deyilsa ($R_b = R_s$, $\sigma_b = \sigma_s$, Xoll doimiysining nisbiy o'zgarishi

$$\frac{\Delta R}{R_b} = \frac{d_s}{d} \frac{\Delta R_s}{R_b}, \quad (4.5)$$

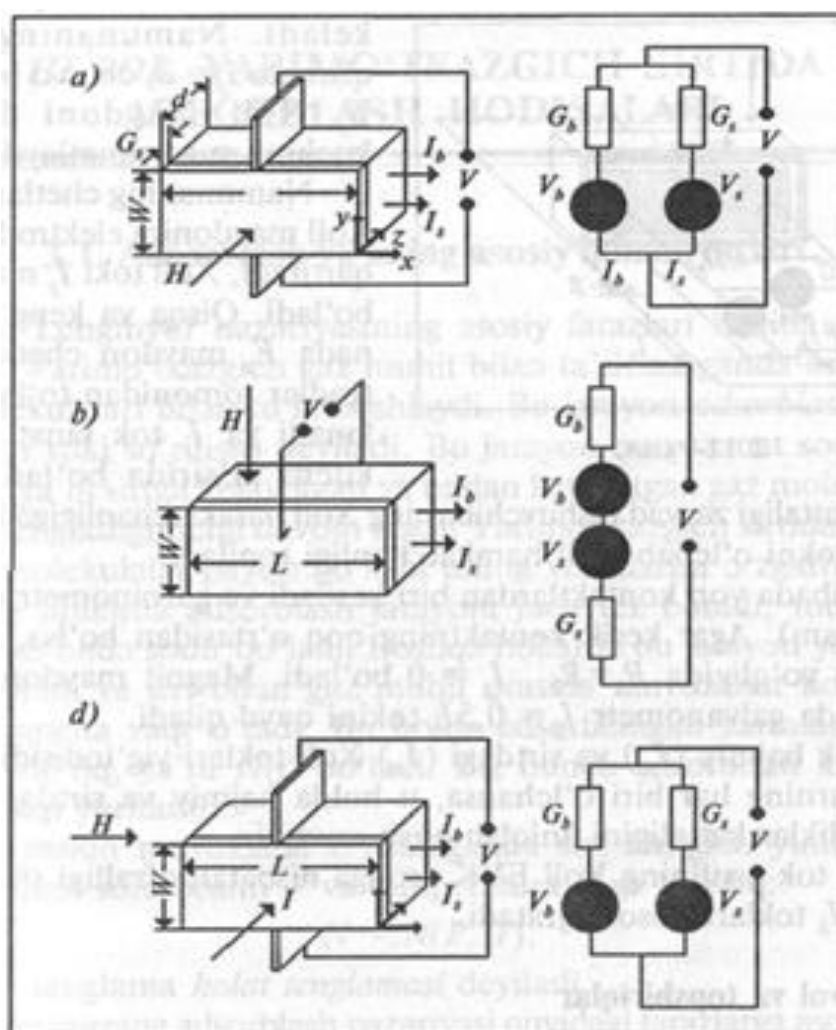
$$\frac{\Delta \sigma}{\sigma_b} = \frac{d_s}{d} \frac{\Delta \sigma_s}{\sigma_b}, \quad (4.6)$$

$$\frac{\Delta R}{R_b} = \frac{d_s}{d} \frac{\Delta n_s}{n_b}, \quad (4.7)$$

$$\frac{\Delta \sigma}{\sigma_b} \approx \frac{d_s}{d} \left(\frac{\Delta n_s}{n_b} + \frac{\Delta \mu_s}{\mu_b} \right). \quad (4.8)$$

6.2 Holl elektr yurituvchi kuchi va sirdagi zaryadlar harakatchanligini o'rganish

Xoll effektini yupqa namunalarda va o'tkazuvchanlikni turli sohaviy egilishar holida o'lchab, sirdagi harakatchanlik qiymatini olish mumkin. Agar Δn_s ni sohalar egilishi Y_s orqali, μ_s ni esa turli Y_s larda baholansa, bu holda masala soddalashadi. n_b va μ_b kattaliklar R va σ ni qalin namunalarda o'lchashdan topiladi.



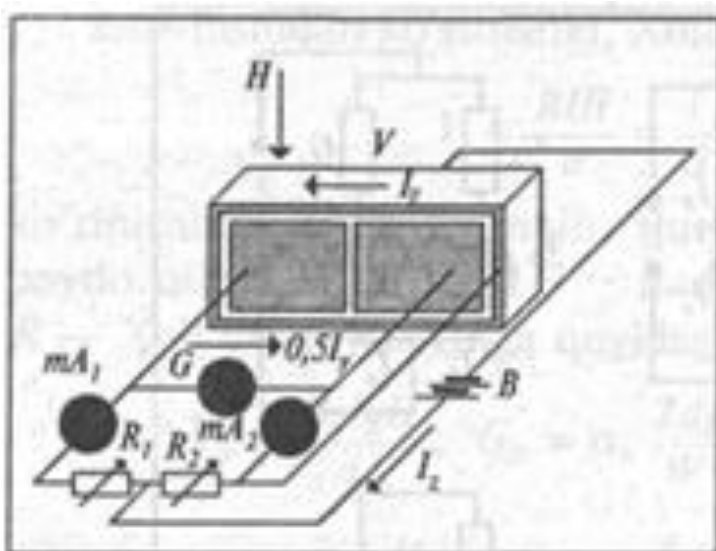
15-rasm. Holl E.Y.K. o'chash cxemalari.

$$\frac{R}{R_{\max}} \frac{\sigma - \sigma_{\min}}{\sigma_{\min}} \text{ ifodaning } \frac{\sigma - \sigma_{\min}}{\sigma_{\min}} \text{ ga tajribaviy bog'lanishi topilgan}$$

va nazariya bilan taqqoslangan.

Odatda sirtagi harakatchanlik Xoll EYK ini o'lchash orqali aniqlanadi. Shuningdek, sirtagi harakatchanlik Xoll tokini o'lchash orqali aniqlanishi ham mumkin. Bu usul shunday: agar kristalldan x yo'nalishida tok o'tkazayotib, uni z o'qi bo'yicha yo'nalgan N magnit maydonga joylansa, zaryad tashuvchilarga ta'sir etuvchi Lorens kuchi u yo'nalishda Xoll toki paydo qiladi va E_y maydon

vujudga keladi. Namunaning o'rta qismida $I_y=0$, chunki bu joyda E_y Xoll maydoni Lorens kuchini muvozanatlaydi.



16-rasm. Sirtagi harakatchanlikni Xoll tokini orqali aniqlash sxemasi

Namunaning chetlarida esa Xoll maydonini elektrodlar qisqartiradi, Xoll toki I_y maksimal bo'ladi. Qisqa va keng namunada E_y maydon chetki elektrodlar tomonidan to'la qisqalanadi va I_y tok faqat Lorens kuchi ta'sirida bo'ladi. Xoll toki I_u kattaligi zaryad tashuvchilarning Xoll harakatchanligiga bog'liq. Shu I_y tokni o'lchab Xoll harakatchanligi topiladi.

Tajribada yon kontaktlardan biri kesiladi va galvanometr ulanadi (2.11-rasm). Agar kesik kontaktning qoq o'rtasidan bo'lsa, magnit maydon yo'qligida

$R_1 = R_2$, $I_g = 0$ bo'ladi. Magnit maydon paydo qilinganda galvanometr $I_g = 0,5 I_y$ tokini qayd qiladi.

I_y tok hajmiy (I_{yb}) va sirtidagi (I_{ys}) Xoll toklari yig'indisidir. Agar bu toklarning har biri o'lchansa, u holda hajmiy va sirtidagi harakatchanliklar kattaligini aniqlab olish mumkin.

Xoll tok usulining Xoll EYK usuliga nisbatan afzalligi shundaki, u I_s va I_b toklarni oson ajratadi.

Sirt tuzilish nuqsonlarining adsorblashdagi o'rni

Biz endi yarimo'tkazgich haqiqiy real sirtining ba'zi maxsus xossalarini qarab chiqamiz. Awalo sirtning tekislik, ya'ni ikki o'lchamli davriy tuzilma deylik, unda ayrim mahalliy buzilishlar bo'lsin. Ular sirt nuqsonlari deyiladi.

Ular vakansiyalar yoki yot atomlar, o'z o'rnidan (tugunidan) sirtga chiqarib yuborilgan panjaraning xususiy (o'z) atomlari, yot atomlar guruhlar bo'lishi mumkin. Nuqsonlar sirt xossalariga ikki yo'l bilan:

birinchidan, Fermi sathi orqali ta'sir ko'rsatishi mumkin, chunki u nuqsonlar tabiati va zichligiga bog'liq;

ikkinchidan, sirt jarayonlarning o'zida sirt rekombinatsiyada, adsorblashda va katalizda nuqsonlarning bevosita qatnashishi orqali ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Bir xil muayyan nuqsonlar bor deb faraz qilaylik. Sirtida bunday nuqsonlarning ko'proq va ozroq zichlikli sohalari bor bo'lsin. U holda Fermi sathi turli joyda har xil vaziyatda bo'ladi:

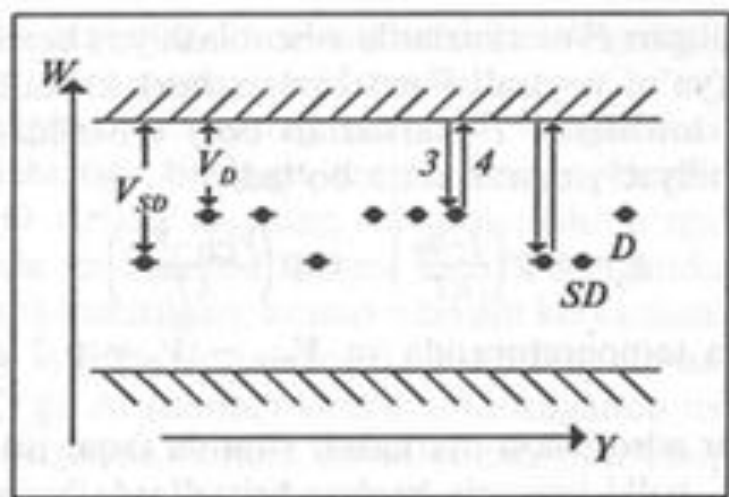
$$E_F = E_F(y, z).$$

Bu esa sirtida energiya sohalari egrilangan bo'ladi, demakdir. Haqiqatan, nuqsonlar notekis joylashgan holda Fermi sathi E_F sirtning turli joyida turlicha bo'ladi, adsorblanish qobiliyati ham har xil bo'ladi. Yana bir misol shuki, sirtning

turli joylarida xemosorbsion bog'lanish har xil bo'lishi mumkin. Bunday sirt parchalarini «akseptor» va «donor» parchalar deb nomlash mumkin.

E_F har xil joylarda katalitik faollik ko'proq yoki kamroq bo'ladi.

Biroq, nuqsonlarning notekis taqsimlanishi sababli hosil bo'lgan sirtning bir jinsli emasligi adsorblash natijasida biroz tekislanishi mumkin. Temperatura ko'tarilgan sari yuza tekislanadi. Bunda nuqsonlar ko'chadi va ularning zichligi tenglashadi.



17-rasm. Kristall sirtining enegetik sohaviy chizmasi.

Endi tuzilish nuqsonida yuz beradigan adsorblashni ko'rib chi- qaylik. Misol uchun M^+ va R^- ionlardan tuzilgan MR panjaradagi F-markazda bir valentli elektrmusbat S atom adsorblanadi, deylik. F-markaz yonida mahalliylashgan elektron bo'lgan bo'sh metalloid tugunidan iborat. Uni DL deb belgilaymiz. U mahalliy erkin valentlik bo'lib, o'ziga chet zarrani qabul qila oladi. Agar shu F-markazdan uning elektroni uzoqlashtirilgan bo'lsa, uni D_pL bilan belgilaymiz.

17-rasmda kristall sirtining enegetik sohaviy chizmasi keltirilgan. Rasmda F-markazlarni mahalliy D donor sathlar, S atomlar xemosorblangan F-markazlarni esa CD mahalliy donor sathlar bilan belgilangan.

F-markazda adsorblash yuz berganda xemosorblashning «mustahkam» shakli elektron, neytral «sust» shakl esa zaryadlangan. Haqiqatan, mazkur holda xemosorblangan zarra bo'sh metalloid tuguniga bog'lanadi, u esa elektr zaryadiga qiymati teng musbat zaryadga ega deb qaraladi.

«Mustahkam» bog'lanish holida bo'sh tugunning zaryadi bu bog'lanishga jalb qilingan elektron zaryadi bilan to'ldiriladi.

«Sust» bog'lanish holida bu zaryad to'ldirilmaydi. «Mustahkam» bog'lanish-ikki elektronli bog'lanish, «sust» bog'lanish bir elektronli bog'lanish bo'ladi.

Adsorblash sharoitida D sathlar yo'qolib, ularning o'rniga CD sathlar paydo bo'ladi. Bu esa Fermi sathi siljishiga olib keladi.

Agar D va CD sathlar o'tkazuvchanlik sohasidan pastda bo'lsa, $D_pL + eL \leftrightarrow DL$, $CD_pL + eL \leftrightarrow CDL$ o'tishlar bo'lmaydi. Bu holda neytral va ionlangan F-markazlarda adsorblash yuz beradi. Shu holda «ranglangan» (ya'ni neytral F-markazlari bor) kristallda «ranglan- magan» (ya'ni ionlangan F-markazlari bor) kristalldagiga nisbatan adsorbsion qobiliyat γ marta katta bo'ladi:

$$g = \exp\left(\frac{q - q_0}{kT}\right) = \exp\left(\frac{V_{CD} - V_D}{kT}\right) \quad (4.9)$$

(masalan, xona temperaturasida va $V_{CD} - V_D = 0,2$ eV bo'lganda $\gamma = 10^3$ bo'ladi).

F-markazlar adsorbsion markazlar sifatida faqat ishqoriy galoid- lardagina emas, balki ixtiyoriy boshqa kristallarda ham uchraydi.

F-markazlar bilan bir qatorda, adsorblanish markazlari sifatida V- markazlar ham vujudga keladi.

F-markaz MR kristallardagi yonida kovak joylashgan metallardagi bo'sh sath birlashmasidir. F- va V-markazlardan tashqari, sirtidagi boshqa nuqsonlar ham adsorblash markazlari bo'la oladi. Masalan, CO molekulalari uchun xemosorblangan O atomlari adsorblash markazlari bo'ladi.

Sirtning nuqsonlari adsorblash markazlari va sirtning erkin valentliklari uchun mahalliyliklashish (o'rnashish) markazlari bo'la turib katalizda faol markazlar vazifasini bajarishi mumkin. Shunday nuqsonlar birlashmalari («ansambllari») ham shunday vazifani o'tau oladi.

Haqiqatda sirtidagi ayrim nuqsonlar va ularning birlashmalari kristall panjarasi bilan bir butunni tashkil qiladi va ularning xossalari panjaraning xossalari bilan aniqlanadi.

6.3 Qattiq jism-vakuum sirt bo'linishining xossalarini o'rganish usullari. Elektr va optik o'lchashlarga asoslangan tadqiqot usullari. Optik mikroskopiya, optik mikroskopiya o'ta ajratishga erishish usullari, akslanishga ishlovchi elektron mikroskopiya. Rastr elektron mikroskop

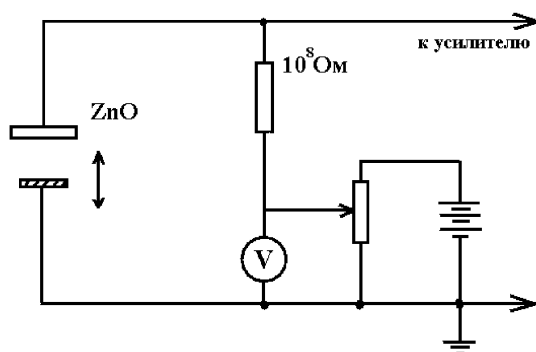
Eksprimetal usulning uchta sinflari

Birinchisiga yarimo'tkazgichlarni tadqiq qilishda ishlatiladigan elektr va optik o'lchashlar kiradi. Bu o'lchashlar qattiq jism Fermi sathi yaqinida joylashgan sirtidagi lokal sathlar xaqida axborot olishga imkon beradi.

Ikkinchi sinf tadqiqotning spektroskopli usulini o'z ichiga oladi. Bunda sirt zarralar bilan bombardimon qiladi va (yoki) ularni chiqaradi. Mazkur zarralarni yoki ular tomonidan hosil qilingan fotonlarni tadqiq etish energiyaning keng sohasida sirt holati xaqida axborot beradi. Erishiladigan ajrata olish, adsorbat molekulasini qattiq jism sirti bilan elektr yoki kimyoviy bog'i to'g'risida malumot olish uchun yetarli bo'lmaydi. Bunday turdagi o'lchashlar asosan metallarda bajariladi, yarimo'tkazgichlarda kamroq va dielektriklar bilan olingan natijalar juda ko'p bo'lmagan sonni tashkil qiladi.

Uchinchi sinfni kimyoviy usullar tashkil qiladi. Mazkur sinfga spektroskopik usulga qaraganda sirt holatlarining kichik zichliklariga katta sezgrikka ega bo'lgan tadqiqotlar kiradi. Kimyoviy usul adsorbsiya –desorbsiya jarayonlarini, bir atomli va ko'p atomli molekulalarni sirt bilan bog'ini tadqiq etish uchun qulay uskuna hisoblanadi. Kimyoviy usullar dielektrik, shuningdek qisman yarimo'tkazgichdagi sirt holatlari to'g'risidagi asosiy axborot manbasi hisoblanadi. Avvalo qattiq jism va uning sirti orasida elektronlarni ko'chish jarayoni bilan bog'liq bo'lgan va qisman yarimo'tkazgich yoki metaldagi ikkita qatlamning V_s potensialini o'lchashga asoslangan usullarga to'xtab o'tish kerak. Ikkitali qatlamning mavjud bo'lishi zaryadlarni sirt holatlari tomonidan ushlab qolinishi bilan bog'langandir. Shu sababli ularning kattaligini yoki V_s o'zgarish tezligini o'lchash sirt yaqinida elektronlarni ko'chish jarayoni to'g'risida qimmatli axborotni beradi. Sirt holatining asosiy tavsirlaridan biri elektronlarni chiqish ishidir.

Elektronlarning chiqish ishini ko'pgina zamonaviy spektroskopik usullar yordamida o'lchash mumkin. Biroq eng aniqrog'i kelvin usuli hisoblanadi. Kelvin usuli bo'yicha o'lchash sxema 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Kelvin usuli bo'yicha chiqish ishini o'lchash sxemasi.

Usulning mohiyati quyidagidan iboratdir. Chiqish ishi malum bo'lgan tebranuvchi elektrod tadqiq qilinayotgan sirtga yassi kondensatorni hosil qilgan xolda joylashtiriladi. Taqqoslovchi elektrod va namuna oarsidagi chiqish ishlari farqi ikkita sirt orasidagi sir potentsiallari farqi sirtida namoyon bo'ladi. Sodda nisbatga muvofiq:

$$q = C \cdot V_a \quad (1)$$

bu yerda V_a – kontakt potentsiallar farqi yoki chiqish ishlari farqi, q – sirt zaryadi, S – sig'im.

Elektrod tebranganligi uchun sig'im vaqt bo'yicha davriy o'zgaradi. Zaryadning vaqt bo'yicha hosilasi o'zgaruvchan tok amplitudasi sirtida o'lchanadi, yani

$$i = \frac{dq}{dt} = V_a \frac{dC}{dt} \quad (2)$$

Kuchaytirgich tebranuv elektrodga berilagn signalga joylangan. Odatda bunday sxema kompesasion kabi ishlaydi: o'zgarmas kuchlanish o'lchanayotgan tok nolga teng bo'lmaguncha o'zgaradi. Tokning nol qiymatiga mos keluvchi kuchlanish kontakt potentsiallar farqiga teng va ishora bo'yicha qarama qarshi bo'ladi.

Chiqish ishini bunday yo'l bilan o'lchash mohiyatan ikkitali qatlamning potentsialini to'g'ri o'lchashdir.

Usul sirt ifloslanishiga o'ta sezgir bo'ladi. Shuning uchun qimmatbaxo metallar va toza sirtlardan tashqari ixtiyoriy jismlarni o'lchash seztlarli daraja qiyinchilik bilan yuz beradi.

6. 4 Sirt o'tkazuvchanligini o'lchash

Yarimo'tkazgichli kristall G o'tkazuvchanligi tadqiq etayotgan sirt bo'ylab, fazoviy zaryad sohasida zaryad tashuvchilar konsentrasiyasining o'zgarishi tufayli o'zgaradi. O'lchanayotgan o'tkazuvchanlik uchun quyidagi nisbatni yozish mumkin:

$$G = G_0 + \frac{\Delta\sigma}{L}, (3)$$

bu yerda $\Delta\sigma$ – sirt solishtirma o'tkazuvchanligi, G – yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligi, L va S - namunaning uzunligi va kenligi.

Sirt solishtirma o'tkazuvchanligini $\Delta\sigma$ quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\Delta\sigma = (\mu_n \Delta N + \mu_p \Delta P) \cdot e (4)$$

bu yerda μ_n va μ_p – elektron va kovaklarning xarakatlanganligi; ΔN va ΔP – gorizantal zon holatidagi konsentrasiyasi bilan solishtirilganda, zaryad tashuvchilarning sirtidan kelishi yoki unga borishi hisobiga birlik yuzasidagi elektron va kovaklar konsentrasiyasini o'zgarishi ; ΔN va ΔP kattali ikkitali qatlam V_s potensialiga bog'liq bo'ladi.

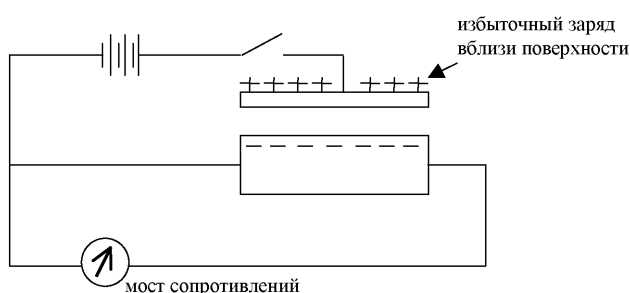
Sirt o'tkazuvchanligini o'lchagan xolda va qandaydir kalibrovkali o'tkazuvchanlikni (malum V_s dagi) bilgan xolda namalum bo'lgan V_z ni aniqlash mumkin. Biroq mutloq qiymatlarni xech qanday kolibrovkasiz xam o'tkazuvchanlikni vaqt bo'yicha o'zgarishi xam gazlarning adsorbsiyasi bilan bog'liq bo'lgan sirtidagi reaksiyalarda o'tish jarayonlari to'g'risida muxim malumotlarni olish mumkin.

Elektroakslanish

Elektroakslanish bo'yicha tajribalardan xususiy yutilish sohasidan akslanadi (yani kvant energiyasi elektronlarni valent zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga

g'alayonlantirish uchun yetarli bo'lgan nurlanish). Akslanish elektr maydonga bog'liq bo'ladi. Elektr maydoni qancha katta bo'lsa, akslanish shunchalik kuchli bo'ladi va aksincha.

Tajribada kuchsiz elektr maydoni sirtga qo'yiladi. O'zgaruvchan maydon fozoviy zaryad holatidagi elektr maydon bilan qo'shiladi va akslanish qo'yilgan potentsialga bog'liq ravishda o'zgaradi. Bunda akslangan yorug'likning o'zgaruvchan komponentlari fazasi sirt to'sig'ining ishorasiga bog'liq bo'ladi. Akslangan yorug'likning o'zgaruvchan komponentasi $V_s=0$ da nolga teng bo'ladi. O'lchash sxemasi 2 – rasmda keltirilgan.



2-rasm. Maydon effektini o'lchash sxemasi

Maydon effektini o'lchaganda namuna sirtiga normal bo'yicha elektr maydon qo'yiladi. Natijada sirtga δq zaryad keladi. Qidiriladigan kattalik $\delta(\Delta\sigma)/\delta q e \mu_n$ kompleks bo'lib, bu yerda $\delta(\Delta\sigma)$ o'lchangan sirt o'tkazuvchanligining o'zgarishi bo'lsa, $\delta q e \mu_n$ – keltirilgan barcha zaryad xarakatchanligi xajmdagi xarakatchanlikka teng o'tkazuvchanlikdagi elektron bilan hosil qilinganda yuz berishi mumkin bo'lgan o'tkazuvchanlikni o'zgarishi.

$\delta(\Delta\sigma)/\delta q e \mu_n$ ni V_s ga bog'liqligini nazariy hisoblab topish mumkin. Biroq amaliyotda keltirilgan zaryadning xammasi xam o'tkazuvchanlik zonasida qolmaydi. Ularning bir qismi sirt sathlarida ushlab qolinadi. Bunday xallarda o'tkazuvchanlikni o'zgarishi hisoblangan qiymatdan sezilarli darajada kichik bo'ladi. Shuning uchun mos tuzatishlar kiritiladi.

Sirt foto EYuKsi.

Bu usul yordamida V_s ning ishorasini olish mumkin. Yarimo'tkazgich sirti xususiy yutilish sohasidagi yorug'lik bilan nurlantirilganda elektron kovak

juftliklari paydo bo'ladi. Elektron va kovaklar fazoviy zaryadlar sohasida mavjud bo'lgan elektr maydoni tasirida xarakatlanishni boshlaydi va foto EYuK hosil bo'ladi. Nurlanishning yetarlicha katta jadalliklarda V_s nolga teng bo'lishi mumkin. Sirt – foto –EYuK sining kattaligi V_s ni o'lchovi sifatida xizmat qilishi mumkin.

Ikkitali qatlam sig'imini o'lchash. Bu usul yarimo'tkazgich – suyuqlik bo'linish chegarasini tadqiq etishda katta ahamiyatga ega bo'ladi. Yarimo'tkazgichning sirt oldi sig'imini o'lchashda yarim izolyasiyalovchi kambag'allashgan qatlam qalinligi xamda yarimo'tkazgi sirtiga yopishtirilgan ixtiyoriy boshqa tashqi izolyator qalinligi aniqlanadi. Shunday qilib, kondensator birinchi qoplamasi yarimo'tkazgichning o'tkazuvchi hajmi bo'lsa, boshqasi esa qarshisida yarimo'tkazgichdan tashqarida joylashgan elektrod bo'ladi. Tajriba jarayonida mazkur yassi kondensatorning diffeyerensial sig'imi qayd qilib boradi. U quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$C = \frac{dq}{dV_a}, \quad (5)$$

bu yerda dq –qarama qarshida turgan elektrodga oqib boradigan zaryad (albatta, namunada), V_a – qo'yilgan kuchlanish.

Qattiq jism – gaz bo'linish chegarasidagi sig'imni o'lchaganda ikkita qiyinchilik tug'iladi. Birinchisi, odatda yupqa dielektrik pardasining kerakligi bilan bog'langandir. Kambag'allashgan qatlam ~100nm qalinlikka ega bo'lganligi uchun yaxshi sezgirlikni taminlash uchun xam dielektrik qatlami juda yupqa yoki katta dielektrik singdiruvchanlikka ega bo'lishi kearak. Shuning uchun bunday tajribalarda o'lchashdagi asosiy noaniqliklar dielektrik qatlamni aniqlash bilan bog'langandir.

Boshqa qiyinchilik dq zaryadning xammasi xam o'tkazuvchanlik zonasiga tushmasdan, bir qismi sirt holatlari tomonidan ushlab qolinishidan iboratdir. Bu esa yani bitta nomalum kattalikni – sirt holati sig'imini kiritish kerakligini olib keladi. Biroq yarimo'tkazgich –suyuq elektrolit bo'linish chegarasida bu muommolar olib tashlanadi.

6.5 Elliksometriya

Usul asosida optik akslanishga tasir qiluvchi sirt xossalarini tadqiq etish yotadi. Yorug'lik to'plamini sirtidan ko'zguli akslanishida yorug'likni sirt bilan o'zaro ta'sirlashishini ikkita kattalik bilan tasvirlash mumkin: akslanishning amplitudali koeffitsiyenti r va fazoviy siljish koeffitsiyenti δ . Mazkur parametrlarning qiymatlari qutublanishning ikkita turli holatlarida turlicha bo'ladi. Bundan tashqari tushush burchagi o'zgarishi bilan o'zgaradi. Ixtiyoriy qutublanish holatidagi yorug'likni ikkita komponentaga ajratish mumkin: birinchisi tushush tekisligiga (ya'ni tushuvchi va akslangan nur hamda sirtga normal yotgan tekislik) parallel qutublangan bo'lsa, akslanish r_p va δ_p kattaliklar bilan tasvirlanadi. Boshqasi tushush tekisligiga perpendikulyar qutublangan bo'ladi. Uning akslanishi r_s va δ_s parametrlar bilan tasvirlanadi. Mazkur to'rta kattaliklar sirtga berilgan burchak ostida tushuvchi berilgan to'lqin uzunlikdagi yorug'likni ko'zguli akslanishini tasvirlovchi parametrlarning to'liq jamlamasini hosil qiladi. Bu parametr mazkur tajriba o'lchanishi mumkin. Yorug'likning optik konstantalari ma'lum bo'lgan namuna sirtidan akslanganda mazkur to'rta kattaliklarni hisoblash mumkin.

Akslanish va fazaviy siljishning natijaviy koeffitsiyentlarini massiv namuna ma'lum qalinlikdagi va ma'lum optik konstantali bir yoki bir necha qatlam bilan qoplanganda ham hisoblash mumkin. Bunda mazkur kattaliklarni o'lchash, massiv namunalarni qoplovchi qatlamning qalinligi va optik konstantalarini aniqlanishiga olib keladi deb hisoblanadi. ko'rsatilgan parametrlarni sirtida juda yupqa qatlam bo'lishiga o'ta sezgirlik usulning sirt tadqiqotida qo'llanilishining asosida yotadi.

Yassi qutublangan yorug'lik sirtidan akslangandan so'ng elliptik qutublangan bo'lib qoladi. Shuning uchun ham akslangan yorug'lik holatini tasvirlovchi parametrlarini o'lchash natijasida axborot olish jarayonini ellipsometriya deb atashadi.

Tajriba qurilmasida yassi qutublanganyorug'likni olish imkoniyati ko'zda tutilgan bo'lishi kerak. Yorug'likning qutublanish tekisligi p – va s – komponentalar amplitudalarining tengligini ta'minlash uchun tushush tekisligiga

nisbatan 45° ga o'girilgan bo'lishi kerak. Odatda fazoviy siljishning mutloq qiymati o'lchanmasdan, ikkita fazoviy siljishlar orasidagi farq o'lchanadi, ya'ni $\Delta = \delta_p - \delta_s$.

Xuddi shunday akslanish koeffitsiyentining nisbiy kattaligini o'lchash osondir. Shuning uchun ikkinchi ellipsometrik kattalik ψ quyidagi nisbat orqali topiladi:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{r_p}{r_s}.$$

Bu kattaliklarni sirtan akslanishi tufayli hosil bo'ladigan fazoviy siljishning o'rnini qoplash uchun p – va s – komponentalar orasida hosil qilish kerak bo'lgan fazoviy siljishlarni o'lchash bilan aniqlash mumkin. Bunday siljitishni kiritilishi tufayli akslangan yorug'lik yassi qutublangan bo'lib qoladi. Uning qutublanish tekisligining azimuti ψ kattalik bilan aniqlanadi.

Optik nuqtayi nazardan yupqa izotrop pardani tasvirlash uchun ikkita optik doimiylarning (n va k) qiymatlarini va uning qalinligini d ko'rsatishimiz kerak. Aniq ravshanki, ikkita o'lchanayotgandan uchta kattaliklarni aniqlashni talab qilib bo'lmaydi. Ayrim holatlarda d qalinlikni noma'lum usul bilan o'lchash mumkin bo'lganda yoki shaffofpardalarni tadqiq qilganda $k = 0$ deb qabul qilganda, ikkita qolgan noma'lum parametrlarni aniqlash mumkin. Qo'shimcha ma'lumotlar bo'lmaganda barcha uchta qidirilayotgan kattaliklarni, ikkita turli tushush burchagida o'lchangan Δ va ψ lar bo'yicha aniqlanishi mumkin. Talab etiladigan qo'shimcha axborotni olish uchun r_p / r_s nisbat o'rniga, ularning mutloq qiymatini o'lchash mumkin deb qabul qilinadi.

Sirtga adsorbsiyalangan molekula yoki atomlarning monoqatlami yoki monoqatlam ulushuni o'rganish uchun ellipsometriyadan foydalanilganimizda ellipsometriya tenglamasini chiqarishimizda model siftda ishlatilayotgan ma'lum qalinlikdagi bir jinsli, izotrop pardalar uchun to'g'ri bo'lmagan tizim bilan ishlashga to'g'ri kelamiz. Sitda molekulalarning bir jinsli bo'lmagan taqsimotini tasvirlashda n , k va d makroparametrlardan foydalanamiz. Umuman olganda esa bunday tizimni qandaydir mikroskopik model bilan tasvirlash kerak edi. Shunday

bo'lsada, ellipsometrik o'lchashlardan olingan ma'lumotlar bilan mos keluvchi hisoblangan n , k va d qiymatlarga ega bo'lgan holda bir jinsli, izotrop, qalinligi bo'yicha tekis adsorbsiyalangan qatlamning optik ekvivalenti bo'lgan pardaning optik tavsifini aniqladik deb aytish mumkin.

Usulning qiyinchiligi shundan iboratki, ellipsometrik o'lchashlar natijasi bo'yicha n , k va d larni hisoblashda yozish shakli bir qator ixtiyoriy tanlanadigan tushunchalarga bog'liq bo'ladigan tenglamalardan foydalanishga to'g'ri keladi. Masalan, qutublagich yoki tahlil qilgichning qaysi aylanish yo'nalishi musbat hisoblanadi, sinish kompleks ko'rsatgichi qaysi shaklda aniqlanadi, akslangan p - va s - to'lqinlar uchun koordinata tizimi qanday tanlangan va x.k.z. Bundan tashqari kompensasiya qiluvchi siljishlarni tashkil qilish bilan bog'liq bo'lgan ma'lum bir texnik qiyinchiliklar mavjuddir.

Xozirgi kunda o'zida ellipsometriya va infraqizil spektroskopiyaning birlashtirgan tadqiqotning yana bir usuli rivojlanib bormoqda. Bunday yo'nalishning asosiy afzalligi yupqa qatlamning optik konstanta qiymatlarini chastota funksiyasida olishga imkon beradi.

Yakunda yana bir bor ta'kidlash kerakki, ellipsometriya usulida eng qimmatlisi, uning kichik adsorbat qoplamalariga va ularning sit konsentrasiyasini sezilarsiz o'zgarishiga sezgirligidir. So'zsizki, sezgirlik tizimga bog'liq bo'ladi. Adabiyotlarda shunday ma'lumotlar keltiriladiki, unga ko'ra adsorbsiyalangan atomlar konsentrasiyasi bo'yicha sezgirlik monoqatlamning yuz ulushiga yetadi. Masalan, Archer va Gobellar (1965 y.) kremniyga kislorod adsorbsiyalanishida konsentrasiyaning o'zgarishini o'lchagan bo'lib, bundakislorodning sirt konsentrasiyasining qayd qilish aniqligi $\pm 0,02$ monoqatlamni tashkil qilgan. Bunday sezgirlik ellipsometriyani sirtini o'rganishda istiqbolli vositaga aylantiradi.

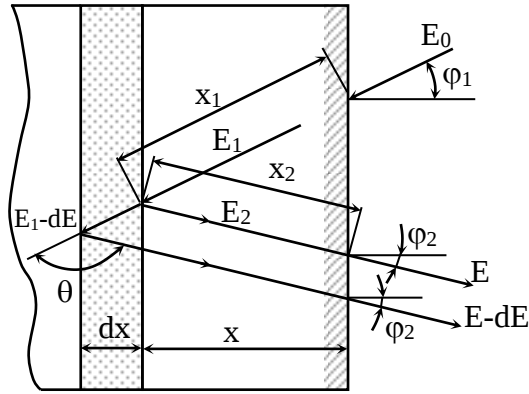
6.6 Ion sochilish usuli

Usulning fizik asosi. Usul tadqiq etilayotgan namunani yengil ionlar (He^+ , H^+) to'plami bilan nurlantirish, so'ngra katta burchakka qayshqoq sochilgan ionlarning energetik spektrini qayd qilishga asoslanadi. Sochilgan ionlar, sochuvchi atom massasi va uning yotish chuqurligi to'g'risida ma'lumotga ega bo'ladi. Sochilgan ionlar haqidagi ma'lumotlarning miqdoriy mushohadasi juda soda bo'lib, namuna tahlili maxsus tayyorgarlikni talab qilmaydi. To'qnashish kinematikasi va sochilish yuzasi kimyoviy bog'ga bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun o'lchangan orqaga sochilish xarakteristikasi nishon ichidagi kimyoviy bog' va elektron konfigurasiyasiga sezgir bo'lmaydi. Usulning afzalligi shundan iboratki, tekshirilayotgan namunaga shikast yetkazmagan holda atomlarning konsentrasion taqsimotini aniqlash imkonini beradi. Shunday bo'lsada, rezerford orqaga sochilish usulida quyidagi kamchiliklar mavjuddir:

1. Sochilgan ionlar energiyasining atom massasi va ularning yotish chuqurligiga bog'liqligi, elementlarning konsentrasion taqsimotini aniqlashda xatolik kiritadi;
2. Massa va chuqurlik bo'yicha ajrata olishning katta bo'lmasligi, tarkib bo'yicha murakkab namuna va ko'p qatlamli strukturalarning spektrini yechishda qiyinchilik tug'diradi;
3. Usulning yengil elementlarga nisbatan sezgirligining pastligi mazkur elementning og'ir matrisadagi kichik miqdorini aniqlash uchun samarali bo'lmaydi (ya'ni matrisa elementi massa bo'yicha aniqlanayotgan element massasidan yengil bo'lishi kerak).

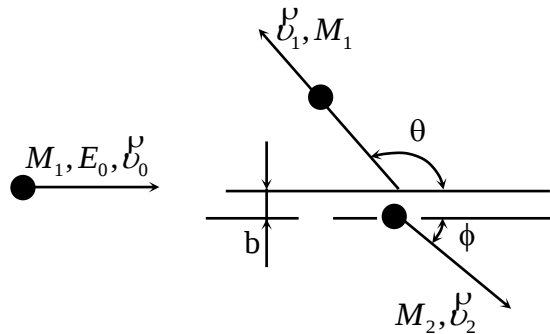
Ionlarning orqaga sochilish kinematikasi.

Ionlarning orqaga sochilish kinematikasi 1 – rasm bilan tushuntiriladi. Energiyasi Ye_0 bo'lgan ionlar to'plami namunaga, uning sirtidagi normalga nisbatan φ_1 burchak ostida yo'naltiriladi. Namunaning qandaydir x chuqurligida ionlar qayishqoq sochilishlarga uchraydi va o'zining harakat yo'nalishini θ burchakka o'zgartiradi. Burchak φ_1 ostida uchib chiqqan Ye energiyali ionlar detektor tomonidan qayd qilinadi.



1 – расм бошланғич энергияли ионларнинг орқага сочилиш геометрияси. Намунада E_0

Uchib kirayotgan ionlarning erkin atom bilan to'qnashish natijasida ion o'zining harakat yo'nalishini θ burchakka o'zgartiradi va v_1 tezlik bilan uchib chiqadi (2 – rasml).



2 – расм. Ионларнинг изоляция қилинган атом билан қайшқоқ тўқнашиш схемаси (b – мўлжал масофаси, ϕ – бериш бурчаги, θ – сочилиш бурчаги)

Nishon atomi ϕ berish burchagi bilan aniqlanuvchi yo'nalishda impuls oladi.

Energiya va impuls saqlanish qonuni

$$M_1 v_0^2 = M_1 v_1^2 + M_2 v_2^2,$$

$$M_1 v_0 = M_1 v_1 \cos \theta + M_2 v_2 \cos \phi, \quad (1)$$

$$M_1 v_1 \sin \theta - M_2 v_2 \sin \phi = 0$$

ionlarning to'qnashishdan oldingi va undan keyingi tezliklari nisbatini aniqlash imkonini beradi

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{\left[\pm (M_2^2 - M_1^2 \sin^2 \theta)^{1/2} + M_1 \cos \theta \right]}{(M_1 + M_2)} \quad (2)$$

To'qnashishdan so'ng uchib chiqayotgan ion energiyasining to'qnashishdan oldingi energiyasiga nisbati kinematik koeffitsiyent (K) deyiladi

$$K = E_1 / E_0. \quad (3)$$

$M_1 < M_2$ bo'lganda

$$K = \left[\frac{M_1 \cos \theta + (M_2^2 - M_1^2 \sin^2 \theta)^{1/2}}{(M_1 + M_2)} \right]^2 \quad (4) \text{ bo'ladi.}$$

Kinematik koeffitsiyent uchib kelayotgan ion va nishon atomlari massalari M_1 va M_2 ning nisbatiga va sochilish burchagiga bog'liq bo'ladi. Sochuvchining massasi oshishi bilan kinematik koeffitsiyentning kattaligi oshib boradi va $M_2 \rightarrow \infty$ bo'lganda birga yaqinlashadi. K ning eng kichik qiymati ion orqaga sochilganda ($\theta=180^\circ$) bo'ladi

$$K_{\min} = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1 + M_2} \right). \quad (5)$$

Ifoda (4) bilan hisoblab topilgan K ning qiymatlari ma'lumot adabiyotlarida keltiriladi. Namuna atomlaridan orqaga sochilgan ionlarning maksimal energiyasi ifoda (3) yordamida aniqlanadi. Namuna ichkarisidagi atomlardan sochilgan ionlarning energiyasi

$$E_2 = KE_1 \quad (6)$$

ga teng bo'ladi.

Y_{e0} va M_1 larning ma'lum qiymatlarida sochilgan ionlarning energiyasi va sochilish burchagini o'lchab, (3–6) ifodalardan foydalangan holda sochuvchi atomning massasini aniqlash mumkin. Namuna tarkibiga massasi M_i va M_j ($M_i > M_j$) bo'lgan ikkita kimyoviy elementning atomi kirsa, ularning chegaraviy energiya farqlari $E_i = K_i E_0$ va $E_j = K_j E_0$ yetarli darajada katta bo'lgan sharoitdagina aniqlash mumkin va energetik ajrata olish δE_0 bo'lgan detektor bilan o'lchanishi mumkin

$$\Delta E_{ij} = (K_j - K_i) E_0 > \delta E_0. \quad (7)$$

Sochilish yuzasi.

Differensial yuza $d\sigma/d\Omega$ ionlarning qayshqoq sochilish jarayonining asosiy xarakteristikasi bo'lib, u 1 birlik vaqtda 1 birlik fazoviy burchakda qayishqoq sochilgan ionlar miqdorini tushuvchi ionlar oqimiga nisbati orqali aniqlanadi. Differensensial yuzaning ko'rinishi uchib keluvchi ion va nishon atomi orasidagi

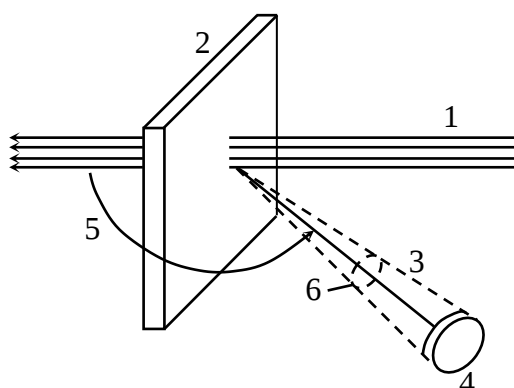
o'zaro ta'sirlashish kuchning xarakteri bilan aniqlanadi. Ion yadroga kichik masofaga yaqinlashgan paytda yuz beradigan katta sochilish burchaklarida sochuvchi maydon kulonli bo'lib, difrensial yuza Rezerford ifodasi bilan aniqlanadi

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{2E \sin^2 \theta} \right)^2 \cdot \frac{\left\{ \cos \theta + \left[1 - (M_1 / M_2 \sin \theta)^2 \right]^{1/2} \right\}^2}{\left[1 - (M_1 / M_2 \sin \theta)^2 \right]^{1/2}}. \quad (8)$$

Bu yerda $d\Omega = 2\pi \sin \theta d\theta$ fazoviy burchak elementi. Tajribada bevosita orqaga sochilgan ionlarning chiqishi o'lchanadi. Agarda namuna yetarli darajada yupqa bo'lsa, tushuvchi ionning energiyasi o'rnatilgan bo'lsa, detektor α burchakka sochilgan ionlarni qayd qiladi. Chiqish to'liq yuza σ ga proporsionaldir

$$Y = \sigma(\theta, E) D N_t d\Omega. \quad (9)$$

Bu yerda σ , D – namunaga tushuvchi ionlarning to'liq miqdori, N_t – atomlarning qatlamli konsentratsiyasi.



3 – расм. Сочилишнинг дифференциал юзаси тушунчасини тасвирловчи сочилиш бўйича тажрибанинг соддалаштирилган схемаси. Детекторнинг кириш тирқиши билан аниқланувчи фазовий бурчак $d\Omega$ оралиғида сочилган зарраларгина қайд қилинади. 1 – тушувчи зарра тўплами; 2 – нишон; 3 – сочилган зарра; 4 – детектор; 5 – сочилиш бурчаги θ ; 6 – детектор улашининг фазовий бурчаги $d\Omega$.

Qayishqoq sochilgan ionlarning yuzasi yuqorida keltirilgan ifodalar bo'yicha hisoblanadi yoki jadvaldan olinadi. Sochilish yuzasi bir qator omillarga bog'liq bo'ladi, aniqrog'i ionlarning zaryad sonining kvadratiga Z_1^2 proporsionaldir. Bundan bir xil sharoitda gely ionii uchun orqaga sochilishning chiqishi protonlarga qaraganda 4 marta ko'p degan xulosa kelib chiqadi. Sochilish yuzasi nishonning Z_2^2 ga proporsionaldir. Demakki, bir xil ionlardan foydalanganda og'ir

atomlar uchun orqaga sochilishning chiqishi yengil atomlarga qaraganda yuqoriroqdir. Sochilish yuzasi ionlarning energiyasining kvadratiga teskari proporsionaldir. Sochilish burchagiga orqaga sochilgan ionlarning chiqishi shunday bog'liqki, θ oshishi bilan chiqish kamayadi. Bundan kelib chiqadiki, tushuvchi ionlarning kam qismigina namunada katta burchakka sochiladi. Sochilish yuzasi faqatgina qutbiy sochilish burchagiga bog'liq bo'lib, azimut ϕ burchagiga bog'liq bo'lmaydi. Bu esa tushuvchi ionlar to'plami yo'nalishi orqali o'tuvchi istalgan tekislikka detektorni joylashtirish imkonini beradi.

Ionlarning to'xtatilishi

To'xtatilishining asosiy tavsifi $\varepsilon(E)$ kesim yuzasi bo'lib, 1 sm^2 namuna yuzasidagi bitta atomga hisoblangan solishtirma energiya yo'qotilishidir hamda $\text{eV}/(\text{atom} \cdot \text{sm}^{-2})$ birliklarda o'lchanadi o'z navbatida moddaning to'xtatish qobiliyati ionlarning o'rtacha solishtirma energiya yo'qotilishlari bilan tavsiflanadi va to'xtatish yuzasi orqali aniqlanadi:

$$S(E) = \varepsilon(E)N = S_{\text{yad}}(E) + S_{\text{el}}(E),$$

bu yerda $S_{\text{yad}}(E)$ va $S_{\text{el}}(E)$ – ionlarni qattiq jismda xarakatlanishidagi mos ravishda yadroviy (qayishqoq) va elektronli (noqayishqoq) to'qshishlardagi energiya yo'qotishlari.

Umumiy energiya yo'qotishlarida mazkur mexanizmlarning nisbiy ulushi tezlashgan ionning energiyasiga va atom raqamiga bog'liq bo'ladi: kichik energiyalarda va katta Z_1 larda yadroviy to'htash ustunroq bo'ladi. Katta E_0 va kichik Z_1 bo'lgan holatlarda elektronli to'xtash ustunroq bo'ladi. Orqaga sochilish spektroskopiyasida ishlatiladigan energiyalarda ($\sim 1 \text{ MeV}$) $S_{\text{yad}}(E) \ll S_{\text{el}}(E)$.

Ionlarning nisbatan katta bo'lmagan energiyadagi elektronli to'ztatilash qobiliyati Y. Lindxard formulasi bo'yicha hisoblanadi:

$$S_{\text{el}}(\varepsilon) = K(\varepsilon)^{1/2} \xi,$$

$$\varepsilon = a_{\text{tor}} M_2 E / Z_1 Z_2 e^2 (M_1 + M_2),$$

$$K = 0,0793 \cdot \frac{Z_1^1 \cdot Z_1^1}{(Z_1^{2/3} + Z_{12}^{2/3})^{3/4}},$$

bu yerda ξ kattalik 1-2 teng bo'lib, $Z_1^{1/6}$ bog'liqlikda o'zgaradi. Oxirgi ifoda $V < V_0 Z_1^{2/3}$ shartda o'rinlidir. Elektronli to'xtalishda $\varepsilon > 0$ da va ion tezligiga proporsional tezliklarning keng oralig'ida ustunlik qiladi. Energiya oshishi bilan to'xtatilish qobiliyati ma'lum bir nuqtada maksimumga erishadi, so'ngra esa $1/\varepsilon$ qonuniyat bo'yicha kamayadi. Protonlar uchun maksimum 80 – 150 keVlarda erishilsa, geliy onlari uchun 0,4 – 1,2 MeV energiyada erishiladi. Birlamchi ionlarning tezligi orbital elektronlarning tezligidan oshadigan yuqori energiyalarda to'xtalish qobiliyati Bete – Blox formulasi bo'yicha hisoblanadi:

$$S_{el}(E) = \frac{4\pi Z_1^2 e^4}{mV^2 A} NZ_2 \cdot \ln\left(\frac{2mV^2}{\bar{I}}\right),$$

bu yerda $\bar{I}$ – namuna atomlarini g'alayonlantirishning o'rtacha potentsiali.

Solishtirma energiya yo'qotilishlar uchib kelayotgan ionlarning zaryad holatiga bog'liq bo'lmaydi. Ular, shuningdek ionlarning massasiga (bir hil Z_1 larda) bog'liq bo'lmaydi va faqat ularning tezligi bilan aniqlanadi.

Element tahlilini o'tkazish uchun ko'pincha turli materiallarda ionlarning energiya yo'qotish jadvali va energiyaning 1 dan 100 MeV gacha bo'lgan oralig'ida proton va geliy ionlarining to'xtash qobiliyati hamda yugurish jadvallaridan foydalaniladi. To'xtash qobiliyatining jadvashtirilgan qiymatlari yordamida sochuvchi atomlarning yotish chuqurligi aniqlanadi. Ionlar energiyasini 1MeV dan oshirilganda energiya yo'qotilishlarning hisoblash va tajribaviy qiymatlari orasida farqlanish kuzatiladi. Shuning uchun aniqlikni oshirish uchun energiya yo'qotilishlarning tajribaviy ma'lumotlari ishlatiladi. Ko'p komponentali namunalarda ionlarning energiyasini yo'qotilishini topish uchun Bregg qoidasi ishlatiladi. Unga muvofiq A_mB_n tarkibga ega bo'lgan molekula uchun ionlarning to'xtatish yuzasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\varepsilon(E)_{AmBn} = m\varepsilon_A(E) + n\varepsilon_B(E)$$

bu yerda $\varepsilon_A(E)$ va $\varepsilon_B(E)$ – A va B kimyoviy element atomlari uchun to'xtash yuzasi. Namuna tarkibiga kiruvchi atomlar aralashmalarining to'xtatish qobiliyati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$S(E) = \sum_{i=1}^n r_i S_i(E)$$

bu yerda n – aralashmadagi komponentalar soni; r_i – i -sortdagi atomlar sonini namunadagi atomlarning umumiy soniga nisbati; $S_i(E)$ - i -sortdagi atomlarning to'xtatish qobiliyati. Murakkab moddalarning to'xtatish qobiliyatini hisoblash uchun ham Beta–Blox formulasidan foydalanish mumkin.

Ionlashish potentsiali quyidagi ko'rinishda tasvirlanadi:

$$\ln \bar{I} = \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^n N_i Z_i L_i}{\sum_{i=1}^n N_i Z_i} \right),$$

bu yerda N_i , I_i va Z_i – mos ravishda, atom zichligi, ionlashishpotentsiali va i -sortdagi atomning tatib raqami.

Tezlashtirilgan ionlarnig namuna atomlari bilan o'zaror ta'sirlashuvi statistik xarakterga egadir. Buning natijasida boshlang'ich monoenergiyali zarralar to'plami qalinligi bo'yicha bir jinsli bo'lgan moda qatlami orqali o'tganda nomonoenergiyali bo'lib qoladi. Energiyalarning fluktuasion yo'qotilishlari tufayli yuzaga kelgan energiya farqlanishlarni straggling deb atashadi. Energiya yo'qotilishlarning farqi zarralarnig yugurushini farqlanishiga olib keladi. qalinligi t bo'lgan namuna orqali o'tgandan keyin straggling tufayli ionlar energiyalarinig farqi δE_{st} dispersiyali Gauss taqsimoti bilan tavsiflanadi va u quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$(\delta E_{st})^2 = 4\pi Z_1^2 e^4 N Z_2 t.$$

Ifodadan ko'rinib turganidek, straggling elektrn zichligiga va namuna qalinligiga bog'liq bo'ladi. Hamda uchib kelayotgan zarralarning energiyasiga bog'liq bo'lmaydi. Kimyoviy birikma holatlarida straggling uchun quyidagi nisbat o'rinlidir:

$$(\delta E_{st})^2_{A_n B_n} = 4\pi Z_1^2 e^4 N_{A_n B_n} t(mZ_A + nZ_B).$$

To'xtatish qobiliyati va stragglingni aniqlash uchun zarralarning yupqa parda orqali o'tgandan so'ng energiya yo'qotilishlarini o'lchashga asoslangan tajribaviy usuldan foydalanishadi.

Ionlar energiyasi va ularning sochilish chuqurliklari orasidagi o'zaro bog'liqlik

Agarda sochuvchi muhitning to'xtatish qobiliyati ma'lum bo'lsa, namunaning x chuqurligida ionlar energiyasi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$E(x) = E_0 - \int_0^x S(E) dx.$$

To'xtatish qobiliyatining energiyaga bog'liqligidan chuqurlikka bog'liqligiga o'tish quyidagi ifoda yordamida amalga oshiriladi:

$$dx = dE / S(E).$$

Kichik chuqurliklarda to'xtatish qobiliyati sezgarsiz o'zgaradi hamda uni doimiy va $S(E_0)$ ga teng deb hisoblasa bo'ladi. U holda x chuqurlikka kiruvchi ionlarning energiya yo'qotilishi quyidagini tashkil qiladi:

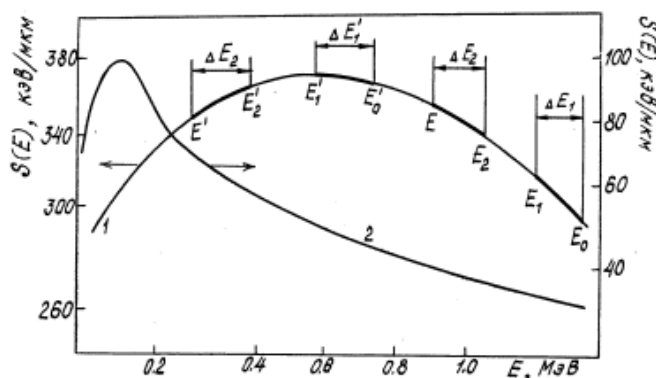
$$\Delta E_1 = x S(E_0) \cos \phi_1$$

Mos ravishda x chuqurlikdagi ionning energiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$E_1 = E_0 - S(E_0)x / \cos \phi_1.$$

Namunaning x chuqurligida E_1 energiyaga ega bo'lgan ion M_2 massali atomda θ burchakka sochilishga uchraydi. Natijada uning energiyasi $E_2 = KE_1$ ga teng bo'lib qoladi. Ionlarning x chuqurlikdagi namuna sirtiga xarakatlanishdagi energiya yo'qotilishlari quyidagini tashkil qiladi:

$$\Delta E_2 = S(KE_0)x / \cos \phi.$$



1.4 – rasm. Kremniyda He^+ (1) ionlari va protonlarning (2) to'xtash qobiliyati

Geliy ionining boshlang'ich energiyalarining ikkita qiymati uchun ΔE_1 va ΔE_2 kattaliklar 1.4 – rasmda ko'rsatilgan. Ionning namunadan uchib chiqishidagi energiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$E = KE_1 - S(KE_0)x \cos \phi_2.$$

Namuna sirti va uning x chuqurligida orqaga solishga uchrayotgan ionlar energiyasining farqi spektrning energiya kengligini aniqlaydi va quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$\Delta E(x) = KE_0 - E(x) = [S]x,$$

bu yerda $[S] = \frac{K}{\cos \phi_1} S(E_0) + \frac{1}{\cos \phi_2} S(KE_0)$ - ionning orqaga sochilishdagi uning energiya yo'qotilishlarining parametrlari.

Xuddi shunday yo'l bilan ionlarning to'xtash parametrlari keltirib chiriladi:

$$[\varepsilon] = \frac{K}{\cos \phi_1} \varepsilon(E_0) + \frac{1}{\cos \phi_2} \varepsilon(KE_0).$$

Tarkibiga massasi M_i va M_j bo'lgan ikkita turdagi atom kiradigan ikki komponentali namunalarni taxlili uchun quyidagi yondashuv ishlatiladi.

Ionlar turli massadagi atomlarda sochiladi. Shuning uchun i - va j -turdagi atomlar uchun ΔE kattaliklar xar xildir:

$$\Delta E_i = [S]_i^{ij} x,$$

$$\Delta E_j = [S]_j^{ij} x,$$

bu yerda $[S]_i^{ij}$ va $[S]_j^{ij}$ to'xtash parametrlari quyidagi formulalar bo'yicha aniqlanadi:

$$[S]_i^{ij} = \frac{K_i}{\cos \phi_1} S^{ij}(E_0) + \frac{1}{\cos \phi_2} S^{ij}(K_i E_0),$$

$$[S]_j^{ij} = \frac{K}{\cos \phi_1} S^{ij}(E_0) + \frac{1}{\cos \phi_2} S^{ij}(K_j E_0),$$

Yuqoridagi indeks ionlar tarkibiga i - va j -turdagi atomlar kiradigan muhitda to'xtayotganini bildirsa, pastki indeks ionlarning orqaga sochilishi yuz berayotgan atomni ko'rsatadi.

Ionlarning i - va j -turdagi atomlardan orqaga sochilishidagi to'xtatish yuzasi uchun ifoda quyidagicha yoziladi.

$$[E]_i^{ij} = \frac{K_i}{\cos \phi_1} E^{ij}(E_0) + \frac{1}{\cos \phi_2} E^{ij}(K_i E_0),$$

$$[E]_j^{ij} = \frac{K_j}{\cos \phi_1} E^{ij}(E_0) + \frac{1}{\cos \phi_2} E^{ij}(K_j E_0).$$

Ionlarning sochilish energiyasidan, ularning namunada sochilish chuqurligiga o'tishi quyidagi tenglamalar orqali amalga oshiriladi:

$$E(x) = K \left[E_0 - \int_0^{x/\cos \phi_1} S(E) dl \right] - \int_0^{x/\cos \phi_2} S(E) dl .$$

Ifodadagi birinchi va ikkinchi integrallar ionlarninig “namunaga” va “orqaga” yo'nalish sohalaridagi enargiya yo'qotilishlarini aniqlaydi. Mos ravishda orqaga sochilagan ionlarning energiyasi ikkita parametrga bog'liq bo'ladi: sochiltiruvchi atom massasi va sochilish yuz beradigan chuqurlik.

6.7 Adsorbsion qatlam va sirtiy kimyoviy reaksiyalarni o'rganish usuli.

Akslanuvchi ellipsometriya, usulni amalga oshiruvchi qurilma.

Akslanuvchi infraqizil spektroskopiya, usulni amalga oshiruvchi qurilma

Spektroskopiya –nurlanishni (shu jumladan, elektr magnit nurlanish, akustik to'lqin va boshqalar) moddalar bilan o'zaro tasirlashuv spektrini o'rganishga bog'langan fizika va analitik kimyoning bo'limidir. Fizikada spektroskopiya usuli mazkur o'zaro ta'sirlashuvchilarning barcha bo'lishi mumkin bo'lgan xossalari o'rganish uchun ishlatiladi. Analitik kimyoda, ular moddalarning xarakterli spektrlarini o'lchash yordamida moddalarni qayd qilish va aniqlash uchun ishlatiladi.

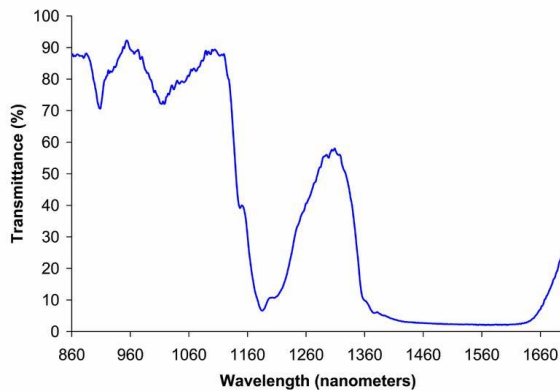
Spektraskopiyaning qo'llanish sohasini tadqiqot jismi bo'yicha ajratishadi: atomli spektroskopiya, molekular spektroskopiya, mass-spektroskopiya, yadroviy spektroskopiya, infraqizil spektroskopiya va x.k.

Infraqizil spektroskopiya usuli juda qisqa vaqt oralig'ida molekullarning nisbiy joylashuvi xaqida malumot olish, shuningdek ular orasidagi bog' xarakterini baxolashga imkon beradi. Bu esa turli moddalarning strukturaviy xossalari o'rganishda muxim hisoblanadi.

Bu usul asosida infraqizil nurlanish kabi fizik xodisa yotadi. Infraqizil nurlanishni, shuningdek "issiqlik" nurlanishi deb ataladi. Bunga sabab malum bir haroratgacha qizdirilgan barcha qattiq, suyuq jismlar infraqizil spektrdagi energiyani nurlantiradi. Mutloq qora jismning nibatan yuqori bo'lmagan haroratlardagi (bir necha ming kelvin) nurlanish spektri asosan mazkur oraliqda yotadi.

Infraqizil spektraskopiya usulining mohiyati

Infraqizil spektraskopiya – infraqizil sohada, yani to'lqin uzunligining 10^{-6} dan 10^{-3} m gacha bo'lgan oraliqdagi elektr magnit nurlanishning yutilish va ajralish spektrini o'rganuvchi molekular optik spektraskopiyaning bo'limidir. Yutilgan nurlanish jadalligi – infraqizil spektr to'lqin uzunligi koordinatasi ko'plab maksimum va minimumga ega bo'lgan murakkab egri chiziqlardir.



Suyuq etanolning yaqin IQ-spektri

Yutilish yo'lagi o'rganilayotgan tizimning asosiy elektron holatning tebranuvchi sathlar orasidagi o'tish natijasida paydo bo'ladi. Aloxida molekulaning spektral tasviri (yo'lak maksimumlarining joylashuvi, ularning yarim kengligi, jadalligi), ularni tashkil qilgan atomlarning massasi, tizilish geometriyasi, atomlar orasidagi kuchlarning o'ziga xosligi, zaryadlar taqsimoti va boshqalarga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun infraqizil spektrlar o'zining indivudialligi bilan ajralib turadi. Bu esa birikmalarning tuzilishini o'rganishda va aniqlashda ular bebaxoligini belgilab beradi.

Modda orqali o'tgan nurlanish jadalligi I , tushayotgan nurlanish jadalligi I_0 va yutuvchi moddani tavsirlovchi kattaliklar orasidagi miqdoriy aloqa Buger – Lambert – Bera qonuniga asoslanadi, yani yutilish yo'lagi jadalligini namunadagi modda konsentrasiyasiga bog'liqligidir. Bunda modda miqdori xaqida aloxida yutilish yo'lagi bo'yicha emas, balki to'lqin uzunligining keng oralig'ida butun spektral egri chiziq bo'yicha muloxaza qilinadi. Agarda komponentlar soni ko'p (4-5) bo'lmasa, ularning spektri matematik yo'l bilan ajratish mumkin. Miqdoriy taxlil hatoligi odatda foiz ulushini tashkil qiladi.

Amaliyotda yutilishning infraqizil spektrini grafik tarzda chastotaga yoki yutuvchi moddani tavsirlovchi bir qator kattaliklarning bog'liqligi ko'rinishida tasvirlanadi: o'tkazish kofisengi $T(\lambda) = I(\lambda) / I_0(\lambda)$, moddaning yutilish kofisenti $A(\lambda) = [I_0(\lambda) - I(\lambda)] / I_0(\lambda) = 1 - T(\lambda)$: optik zichlik $D(\lambda) = \ln [I_0 / I(\lambda)] = A(\lambda) / \ln 10$ bu yeyerda $A(\lambda)$ - yutilish ko'rsatgichi, S - yutuvchi moddaning konsentrasiyasi, l -

yutuvchi modda qatlamining qalinligi, D () qiymat () va S ga proporsional bo'lganligi uchun ular sotilish spektri bo'yicha miqdoriy taxlil uchun qo'llaniladi.

Infraqizil spektroskopiyaning strukturasi sifatini qayd qilish va aniqlashda qo'llanilish imkoniyatlari.

Infraqizil spektroskopiya universal fizik kimyoviy usul bo'lib, turli xil organik va noorganik birikmalarning strukturaviy o'ziga xosliklarini tadqiq etishda qo'llaniladi. Usul tadqiq etilayotgan jismdagi atomlar guruxi tomonidan infraqizil oraliqdagi elektr magnit nurlanishlarni yutilishiga asoslangandir. Yutilish infraqizil yorug'lik kvantlari tomonidan molekulyar tebranishlarni g'alayonlashishi bilan bog'langandir. Molekulalarni infraqizil nurlanish bilan nurlantirilganda nafaqat chastotasi valent, molekulalarning deformasion va vibrasion tebranishlari chastotasiga mos keluvchi kvantlar yutiladi.

Qattiq jism sirti spektrini qayd qilish uchun buzilgan to'liq ichki akslanish usuli qo'llaniladi. U moddaning sirt qatlami tomonidan tadqiq etilayotgan sirt bilan optik kontakta bo'lgan to'liq ichki akslanish prizmasidan chiqayotgan elektrmagnit nurlanish energiyasini yutilishiga asoslanadi. Infraqizil spektroskopiya aralashmalarni taxlil qilishda va toza moddalarni aniqlashda keng qo'llaniladi. Moddalarning aniqlash axborot qidirish tizimi yordamida tadqiq qilinayotgan spektrini EXM xotirasida saqlanayotgan spektr bilan avtomatik taqqoslash yo'li bilan amalga oshiriladi. Yangi moddalarni (100 gacha bo'lgan atomdan iborat bo'lgan molekular) aniqlashda suniy zakovat tizimidan foydalaniladi. Mazkur tizimlarda spektr strukturaviy korreksiya asosida molekulyar struktura generasialanadi. So'ngra ularning nazariy spektri quriladi. Bu spektrlar tajriba malumotlari bilan solishtiriladi. Infraqizil spektroskopiya usuli bilan molekularlar va boshqa jimlarning tuzilishini tadqiq etish molekulyar model parametrlari xaqida malumot olishni nazarda tutadi va matematik nuqtayi nazardan teskari spektral vazifani yechib kelishga olib kelinadi. Bunday vazifalarni yechish spektral egri chiziqlarning maxsus nazariyasi yordamida hisoblangan, qidirilayotgan parametrlarni ketma ketlikda tajribaviy yaqinlashtirish bilan amalga oshiriladi.

Molekulalar model parametrlari sifatida tizimni tashkil qiluvchi atomlar massasi, bog' uzunligi, valent va torsion burchaklar, potensial sirt tasviri (kuch doimiylari va boshqa), bog'larning dipol momenti va ularning bog' uzunligi bo'yicha hosilasi va boshqlar.

Infraqizil spektroskopiya fazoviy va konformasion izomerlarni aniqlashga, molekula ichidagi va o'zaro tasirlashuvlarni, kimyoviy bog' xarakterini, molekuladagi zaryadlarning taqsimotini, fazoviy o'zgarishlarini, kimyoviy reaksiya kinetikasini taqdim eishga, qisqa yashovchi (yashash vaqti 10^{-6} S gacha bo'lgan) zarralarni qayd qilishga, aloxida geometrik parametrlarni oydinlashtirishga, termodinamik funksiyalarni hisoblash uchun malumotlarni olishga imkon beradi.

Bunday tadqiqotlarning zaruriy bosqichi – spektrlarni talqin etish, yani normal darajasi bo'yicha tebranish energiyasining taqsimoti, spektrdagi yo'laklarning joylashuvi va ularning jadalligini aniqlovchi parametrlarni aniqlash. 100 tagacha atomdan iborat bo'lgan molekulalarni, shu jumladan polimerlarning spektrini hisoblash EXM yordamida bajariladi.

Infraqizil spektrokopiya uchun qurilma

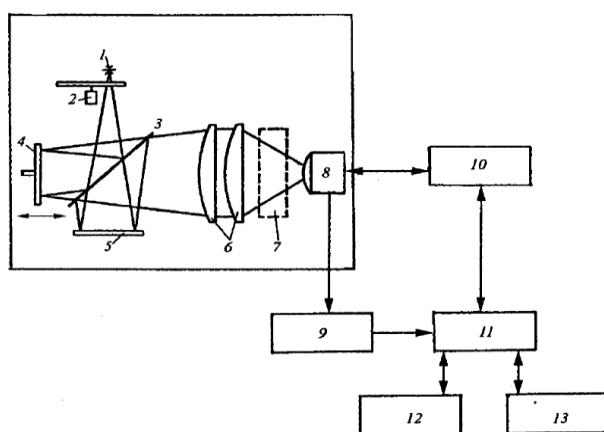
Spektrlarni qayd qilish uchun klassik spektrofotometr va furye spektrmetrlar ishlatiladi.

Klassik spektrometrlarning asosiy qismi – uzluksiz issiqlik nurlanish manbasi, monoxrolyator, nurlanishning tanlanmaydigan qabul qilgichi. Modda (ixtiyoriy alregat holatda) solingan idish (kyuvets) kirish (bazasida chiqishdan keyin) tirqishi oldida joylashtiriladi. Monoxromatorning sochuvchi qurilmasi sirtida turli materisadan (LiF, NaCl, CsF va boshqa) tayyorlangan prizma va dirraksion panjari ishlatiladi. Turli to'laqin uzunlikdagi nurlanishn chiqish tirqishiga va nurlanish qabul qilgichiga keltirish prizma yoki panjarani burish orqali amalga oshiriladi. Nurlanish manbasi- elektr toki bilan qizdirilgan turli materiallardan tayyorlangan o'zak. Qabul qilgichlar: sezgir termojuftliklar, metall va yarimo'tkazgichli termogarshiliklar (bolometrlar) va gazli termoo'zgartirgichlar. Gazli gazli termoo'zgartirgichlarda idish devorlarini

qizdirilishi gazning qizishiga va uning bosimi o'zgarishiga olib keladi. Bosimning o'zgarishi esa qayd qilinadi. Chiqish signal oddiy spektral egri chiziq ko'rinishiga ega bo'ladi.

Klassik sxemadagi asboblarning afzalliklar: konstruksiyaning soddaligi, nisbatan arzonligi. Kamchiliklari: signal: shovqin nisbatining kichikligi tufayli kuchsiz sinalni qayd qilish imkoniytining yo'qligi. Bu esa ularni uzoq infraqizil sohada ishlashini qiyinlashtiradi; nisbatan katta bo'lmagan ajrata olish qobilyati ($0,1 \text{ sm}^{-1}$ gacha), spektrni qayd qilish vaqtining kattaligi (bir necha daqiqa davomida).

Fure-spektrometrlarida kirish va chiqish tirqishlari mavjud bo'lmaydi. Asosiy element interferometr. Manbadan kelgan nurlanish oqimi ikkita nurga bo'lib, ular namuna orqali o'tadi va interferensiyalanadi. Nur yo'lining farqi to'plamlardan birini akslantiruvchi xarakatga ko'zgu orqali amalga oshiriladi.



Rasm. Fure-spektrometrining blok sxemasi: 1 – nurlanish manbasi; 2 – o'zining; 3 – yorug'lik bo'lagi; 4 – xarakatchan ko'zgu; 5 – qo'zg'almas ko'zgu; 6 – linza tizimi; 7 – kyuveta bo'limi; 8 – detektor; 9 – analog raqamli o'zgartirgich; 10 – kontroller; 11 kompyuter; 12 – raqamli bosma; 13 – diskli xotira.

Boshlang'ich signal mabasining energiyasiga va namunani yutishiga bog'liq bo'ladi va ko'p ko'p sondagi garmonik tashkil qiluvchilarning yig'indisi ko'rinishiga ega bo'ladi. Spektrni oddiy shaklda olish uchun ichki EXM yordamida mos Fure o'zgartirishlar amalga oshiriladi.

Infraqizil Fure spektroskopiyasi uchun qurilmadan samarali foydalanish, faqatgina taxlil uchun mo'ljallangan namunalar mos tayyorlangandagina mumkindir.

Fure –spektrometrining afzalliklari: signal: shovqin nisbatining kattaligi, dispersiyalovchi elementni almashtirmagan xolda to'lqin uzunligining keng orlig'ida ishlash imkoniyati, spektrlarni tez qayd etish (sekundda yoki sekund ulushlarida), yuqori ajrata olish qobiliyati ($0,001 \text{ sm}^{-1}$ gacha).

Kamchiligi: tayyorlashning qiyinligi va yuqori narx.

Barcha spektrometrlar EXM bilan taminlangan bo'lib, ular spektrni dastlabki qayta ishlashni amalga oshiradi: signallarni jamlash, ularni shovqinlardan ajratish, fon va taqqoslash spektrini (eritgich spektri) ayirib tashlash, yozish ko'lamini o'zgartirish, tajribaviy spektral parametrlarni hisoblash, spektrlarni berilgan bilan hisoblash, spektrlarni differensiyalash va boshqalar. Infraqizil spektrometr uchun kyuveta infraqizil sohada shoffof bo'lgan materiallardan tayyorlanadi. Eritgich sirtida odatda SCl_4 , CHCl_3 , tetroxloretilen, vazelin moyi ishlatiladi. Qattiq namunalarni ko'pincha maydalashadi, KVR kukuni bilan aralashtirishadi va tabletkaga jipslashtiradi. Agressiv suyuqlik va gazlar bilan ishlash uchun kyuveta darchasiga maxsus himoya changlatilishi (Ge, Si) qo'llaniladi. Xavoning xalqit qiluvchi tasirini asbobni vakuumlash yoki uni azot bilan shamollatish orqali bartaraf qilinadi.

Kuchsiz yutuvchi moddalar uchun ko'p yo'lli kyuvetadan foydalaniladi. Ularda optik yo'l uzunligi parallel ko'zgu tizimlaridan ko'p marotaba akslanishi hisobiga 100 metrlarga yetadi. Matrisali izolyasiya usuli keng tarqalgan bo'lib, ularda tadqiq qilinayotgan gaz argon bilan aralishtiriladi, so'ngra esa aralashma muzlatiladi. Natijada yutilish yo'lagining yarim kengligi keskin kamayadi va spektr kontrastroq bo'ladi. Maxsus mikroskopik texnikadan foydalanish juda kichik o'lchamdagi (mm ulushlarida) jismlar bilan ishlashga imkon beradi.

Infraqizil spektrlarini qayd qilish uchun qattiq jisimli namunalarni tayyorlash ikkita usul bilan amalga oshiriladi

1. Suspenzion usul namunani mayda dispersion holatgacha (zarralar o'lchami 2-7 mkm) surutiladi va n sindirish ko'rsatgichi namunani kiga yaqin bo'lgan immersion suyuqlikda tayyorlashdan iboratdir. Bunda matrisa sifatida odatda vazkin moyi, ftorlangan yoki xlorlangan moy ishlatiladi. Olingan yarimshaffof pasta shpatel yordamida optik materialdan tayyorlangan darchaga yupqa tekis taqsimlangan parda ko'rnishida surtiladi.

Amaliyotda immersion suyuqlik sirtida ko'pincha vazelin moyi ishlatiladi. Biroq vazelin moyi spektri 2900, 1460, 1380 va 725 sm^{-1} sohalarda yutilish yo'lagiga egadir. Mazkur yo'laklar namunaning yutilish yo'lagiga tushadi. Ularni taqqoslash kyuvetasi yordamida yoki vazelin moyi spektrini umumiy spektrdan ayirib tashlash mumkin. Amaliyotda perftoruglevofrod moyi moddalarni 4000 - 1500 sm^{-1} sohalarda tadqiq etish uchun qo'llanilsa, vazelin moyi esa 1500-400 sm^{-1} sohalarda tadqiq qilishda qo'llaniladi.

2. Ishqoriy metallarning galogenidi bilan tabletkaga jipslash namuna tayyorlashning asosiy va universal usuli hisoblanadi. U aniq xovonchada yupqa maydalangan namunani KVr kukuni bilan yaxshilab aralashtirish xamda aralashmani press shaklda jipslantirishdan iboratdir. Natijada shaffof yoki yarimo'affof tabletka olinadi. Sifatli spektrlarni olish uchun moddalarning dispersiyalash darajasi zarralarni o'lchami 2-7 mkm (infraqizil nurlanishning to'lqin uzunligi) yetishi kerak.

Surkashni yengillashtirish uchun bazida haydalgan eritgichning (to'rt xlor uglerod yoki geksan) bir nechta tomchisi qo'shiladi. Mazkur eritgich surkashdan keyin bug'lanib ketadi. Eng yaxshi natija jips-shakl vakuumda amalga oshirilganda erishish mumkin. Bunda tabletkaga xavoning kiritilishining oldi olinadi.

Iqtisodiy qism

I. Loyxani texnik-iqtisodiy asoslash.

II. Investisiya xajmini aniqlash.

- Bino, inshootlar, dastgohlarning ijara qiymati investisiya xajmi
- Material ishlab chiqarish zaxirasi qiymati investisiya xajmi
- Tez yemiradigan va arzon buyumlarning ijara qiymati investisiya xajmi

- Nazorat- o'lchov asboblarning ijara qiymati investisiya xajmi

- Loyxani ishlab chiqarishga sarflangan investisiya hajmi qiymati

III. Yillik daromad, iqtisodiy samaradorlikni aniqlang.

IV. Xarajatlarni qoplanish muddatini aniqlang.

I. Loyxani texnik-iqtisodiy asoslash.

- Loyxaning maqsadi, vazifalari, ahamiyati, xozirgi talablariga javob bera olishi

- Loyxaning iqtisodiy samaradorligi, qo'llanish sferalari

II. Investisiya xajmini aniqlash .

Bitiruv ishi bo'yicha sarflanadigan xarajatlarini quyidagi keltirilgan jadvallarda keltiramiz.

Material ishlab chikarish zaxiralarini sotib olish investisiya xajmi

Tablisa 1.

№	Materiallar nomi	birlik	baxosi	NDS 20%	Umumiy qiymati NDS bilan
1	Internetdan foydalanish	30kun	1500	9000	54000
2	Bo'yoq	1dona	10000	2000	12000
3	raspechatka	100 dona	200	4000	24000

4	Kitob chiqarish	5 dona	40000	40000	240000
5	Jami		51700	55000	330000

Inventarlar va ulchov-nazorat asboblari sotib olish investisiya xajmi

Tablisa 2.

№	Nomi	Soni	Donasining baxosi	NDS 20%	Umumiy qiymati NDS bilan
1	Kompyuter	1	650000	130000	780000
2	Printer	1	200000	40000	240000
	Jami				1020000

Amortizatsiya ajratmasi AF 20% tashkil qiladi

$$A_{otch} = 20\% * OF/12$$

$$A_{otch} = 0.2 \times 1320000/12$$

$$A_{otch} = 22000 \text{ sum}$$

Joriy tamirlash va texnik xizmat uchun xarajatlar AF kiymatining 12%

$$Rm = 12 \% * OF/12$$

$$Rt=0,12 \times 1320000/12$$

$$Rt=13200sum$$

Loyxani ishlab chikaruvchi ishchilarning ish xakini xisoblash

Tablisa 4.

Bajariladigan ishlar nomi	Lavozimi	Kunlar	Ortacha bir Kunlik ish xajmi	Bajarilgan Ishning qiymati
Loyiha mavzusini tanlash va shakllantirish	SNS	1	15000	15000
Mavzu bo'yicha ITA tanlash va o'rganish	MNS	2	7050	14100
Intrfeus dasturini ishlab chiqish	MNS	2	7050	14100
Ma'ruza matnini kiritish	MNS	3	7050	21150
Dasturni sozlash	MNS	1	7050	7050
Komplyeks dasturlarni tyestdan o'tkazish	MNS	2	7050	14100
Xatolarni topish	MNS	2	7050	14100
Xatolarni topish	MNS	2	7050	14100

Iqtisodiy qism	MNS	2	7050	14100
		1	15000	15000
Myehnatni muhofaza qilish	MNS	2	7050	14100
	SNS	1	15000	15000
Bitiruv ishi qo'l yozmasini tayorlash	MNS	1	7050	7050
Taqriz berish	SNS	1	15000	15000
Bitiruv ishini himoya	MNS	1	7050	7050
Jami		24		201000

Asosiy ish haqi – barcha ishchilarning ish xaqi va 40% miqdori mukofot pulning yeg'indisi sifatida aniqlanadi

$$Z_{osn} = SOT * 0,4 + SOT$$

$$Z_{osn} = 201000 \times 1,4$$

$$Z_{osn} = 281400 \text{ sum}$$

Qo'shimcha ish xaqi asosiy ish haqining 10% hisobida olinadi

$$Z_d = K_d * Z_{osn}$$

$$Z_d = 0,1 \times 281400$$

$$Z_d = 28140 \text{ sum}$$

Myehnatga haq to'lash fondi asosiy va qo'shimxa ish xaqi to'lash fondi asosiy va qo'shimcha ish xaqilarining yig'indisi sifatida aniqlanadi

$$FOT = Z_{osn} + Z_d$$

$$FOT = 281400 + 28140$$

$$FOT = 309540 \text{ cym}$$

Ijtimoiy ehtiyojlarga xarajatlar FOT dan 27% miqdorida hisoblanadi

$$OFSS = 25\% * FOT$$

$$OFSS = 0,25 \times 309540$$

$$OFSS = 77385 \text{ cym}$$

Transport xarajatlari asosiy ish xaqidan 20%

$$Rmr = 0,2 \times Zosn$$

$$Rmr = 0,2 \times 281400$$

$$Rmr = 56280 \text{ cym}$$

Ishlab chiqarish ehtiyojlari uchun issiqlik xarajatlari

Uzunligi -6

Eni-4

$$V = \text{Uzunligi} \times \text{Eni}$$

$$V = 6 \times 4 = 24 \text{ m}^2$$

$$V = 24 \times 663,05 = 15913,2 \text{ cym}$$

Elektr energiyasiga bo'lgan xarajatlar quyidagi formuladan aniqlanadi

$$W = N \times T \times S$$

N- o'rnatilgan quvvat, kVt

T- ishlatilgan vaqt

S- 1 kVT/ soat elektr energiya narxi

$$W = 1 \times 144 \times 112,2$$

$$W = 16156,8 \text{ cym}$$

Investisiya xajmi quyidagi formuladan aniqlanadi

$$K = MPZ + FOT + Aof + \sum R$$

$$K = 144000 + 309540 + 22000 + 101550 = 577090 \text{ cym}$$

Urganilgan ishning xarajat smetasi

Tablisa 5.

	Xarajatlarning nomi	Summa Qiymati
1	Bajarilgan ishning qiymati	827313,825
2	Ishlab chiqarish xarajatlari	636395,25
3	Ishlab chiqarish tannarxi	605441,25
4	Davr xarajatlari	30954
5	Material xarajatlari	176070
6	Xom-ashyo	144000
7	Elektroenergiya	32070
8	FOT	309540
9	Ijtimoiy sug'urta	77385
10	Amortizasiya	22000
11	Boshqa xarajatlari	20446,25
12	Asosiy ish xaqi	201000

Bajarilgan ishning iktisodiy samaradorligini aniqlash

Iqtisodiy samarani quyidagi formuladan aniqlaymiz

$$E = (S1-S2) * Q$$

$$S1 = S2 * 1,3$$

C1 i S2 – avvalgi va keyingi tannarx,

Q – ishlab chiqarish xajmi

$$E = (827313,825-636395,25) \times 1$$

$$E = 190918,575 \text{ cym}$$

Rentabellikni aniqlaymiz

$$R = E * 100\% / K$$

$$R = 190918,575 \times 100\% / 577090$$

$$R = 33\%$$

Qoplanish muddatini aniqlaymiz

$$Tok = K / E$$

E - iktisodiy samara

K- kapital

$$Tok = 577090 / 190918,575$$

$$Tok = 3$$

Material, ishlab chiqarish zahiralarini sotib olish investisiya hajmi
 Obyem investisii na pokupku materialno-proizvodstvennyx
 zapasov

Tablisa 1.

№	Naimenovaniye materialov Materiallar nomi	Kol- vo Soni	Sena materiala za yedinisy Donasining bahosi	NDS 20%	Stoimost materiala s uchetom NDS Umumiy qiymati NDS bilan
1		1	50000	10000	60000
2		1	30000	6000	36000
3		3	40000	8000	48000
	Itogo / Jami				144000

Arzon baholi innventarlar va o'lchov-nazorat asboblari sotib olish
 investisiya hajmi

Tablisa 2

№	Naimenovaniye Nomi	Kol- vo Soni	Sena za yedinisi Donasining bahosi	NDS 20%	Общая стоимость учетом НДС Умуний qiymati NDS bilan
1	Materialni yig'ish	1	650000	130000	780000
2	Bosmadan chiqarish	1	200000	40000	240000
	/ Jami				1020000

Asosiy fondlar qiymati

Tablisa3.

	Naimenovaniye osnovnykh fondov Asosiy fondlar nomi	K ol-vo Soni	Stoimost OF Asosiy fondlar qiymati
		1	300000
			1020000
	Itogo / jami		1320000

Amortizatsionniye otchisleniya sostavlyayet 20 % ot stoimosti OF

Amortizatsiya ajratmasi AF 20% tashkil qiladi

$$A_{otch} = 0,2 \times OF / 12$$

Zatraty na tekushchiy remont i texnicheskoye obslujivaniye 12% ot stoimosti OF

Joriy ta'mirlash va texnik xizmat uchun xarajatlar AF qiymatining 12%

$$P_m = 12\% \times OF / 12$$

Loyihani ishlab chiquvchi ishchilarning ish haqini hisoblash

Tablisa 4

№	Bajariladigan ishlar nomi	Lavo- zimi	Kunlar soni	O'rtacha bir kunlik ish haqi	Bajarilgan Ishning qiymati
	Loyihaa mavzusini tanlash va Shakillantirish	SNS	1	15000	15000
	Mavzu bo'yicha ITA tanlash va O'rganish	MNS	2	7050	14100
	Interfeys dasturini ishlab chiqish	MNS	2	7050	14100
	Ma'ruza matnini kiritish	MNS	3	7050	21150
	Dasturni sozlash	MNS	1	7050	7050
	Kompleks dasturlarni testdan o'tkazish	MNS	2	7050	14100
	Xatolarni topish	MNS	2	7050	14100
	Xatolarni tug'irlash	MNS	2	7050	14100
	Iktisodiy kism	MNS SNS	2 1	7050 15000	14100 15000
0	Mexnatni muxofaza qilish	MNS SNS	2 1	7050 15000	14100 15000
1	Bitiruv ishi qo'l yozmasini tayyorlash	MNS	1	7050	7050

2	Taqriz berish	SNS	1	15000	15000
3	Bitiruv ishini oformleniyasi va Himoya	MNS	1	7050	7050
	Jami		24		201000

Asosiy ish haqi - barcha ishchilarning ish haqi va 40% miqdorida mukofot pulinig yig'indisi sifatida aniqlanadi

$$3_{och} = COT * 0,4 + COT$$

Qo'shimcha ish haqi asosiy ish haqining 10% hisobida olinadi

$$3_{\partial} = K_{\partial} * 3_{och}$$

Mehnatga haq to'lash fondi asosiy va qo'shimcha ish haqilarning yig'indisi sifatida aniqlanadi

$$\Phi OT = 3_{och} + 3_{\partial}$$

Ijtimoiy ehtiyojlarga xarajatlar FOT dan 25% mikdorida hisoblanadi

$$O\phi cc = 25\% * \Phi OT$$

Transport xarajatlari asosiy ish haqidan 20%

$$P_{mp} = 0,2 * 3_{och}$$

Ishlab chiqarish ehtiyojlari uchun issiqlik xarajatlari

Elektr energiyasiga bo'lgan xarajatlar quyidagi formuladan aniqlanadi

$$W = N * T * S$$

N – o'rnatilgan quvvat, kVt

T – ishlatilgan vaqt

S- 1 kVt /soat elektr energiya narxi

Investisiya hajmi quyidagi formuladan aniqlanadi

$$K = MII3 + \Phi OT + A\phi + \Sigma P$$

O'rganilgan ishning xarajat smetasi

Jadval 5

	Xarajatlarning nomi	Kiymati
	Bajarilgan ishning qiymati	827313,825
	Ishlab chikarish xarajatlari	636395,25
	Ishlab chiqarish tannarxi	605441,25
	Davr xarajatlari	30954
	Material xarajatlari	176070
	Xom – ashyo	144000
	Elektroenergiya	32070
	FOT	309540
	Ijtimoiy sug'urta	77385
0	Amortizasiya	22000
1	Boshqa xarajatlar	20446,25
2	Asosiy ish xaqi	201000

Bajarilgan ishning iqtisodiy samaradorligini aniqlash

Tablisa 6.

No	Ko'rsatkichlar nomi	o'lcho v birligi	qiymati	Izoh
1	Bajarilgan ishning qiymati	Sum	827313,825	Tablisa
2	Ishlab chiqarish xarajatlari	Sum	636395,25	Tablisa
3	Investisii	Sum	577090	Formula
4	Iqtisodiy samara	Sum	190918,575	Formula
5	Qoplanish muddati	Oy	3	Formula
6	Rentabellik	%	33	Formula

Iqtisodiy samarani quyidagi formuladan aniqlaymiz

$$\mathfrak{J} = (C1 - C2) * Q \quad S1 = S2 * 1,3$$

S1 i S2 – avvalgi va keyingi tannarx,

Q - ishlab chiqarish hajmi,

Rentabellikni aniqlaymiz

$$R = \frac{\mathfrak{J} * 100\%}{K}$$

Qoplanish muddatini aniqlaymiz

$$T_{OK} = \frac{K}{\mathfrak{J}}$$

E - iqtisodiy samara

K - kapital

XULOSA

Yarimo'tkazgichlar sirti fizikasiga qiziqish paydo bo'lishi sirtida yuz beradigan hodisalarning yarimo'tkazgich xajmidagi jarayonlarga shuningdek, ko'pchilik yarimo'tkazgichli asboblarning ishiga ta'siri aniqlanganligi bo'ldi. Keyingi davrda yarimo'tkazgichlar elektronikasida integral mikroshemalar deb atalmish qiyosan kichik xajmda o'z ichiga ko'p miqdordagi tranzistorlar, sig'implar, induktivliklar va boshqa elementlarni olgan tuzilmalar keng miqyosda ishlab chiqilishi, ularning turli sohalarga (kompyuterlar, televizorlar, aloqa va energetika qurilmalarga) jadal joriy qilinishi yarimo'tkazgichlar sirti fizikasini astoydil tadqiqalanishi masalasini dolzarb qilib qo'ydi, chunki qo'llanadigan yarimo'tkazgich elementlarning xajmining tobora kichrayib borishi ular sirtining ahamiyatini oshirib bormoqda.

Yarimo'tkazgichlar sirti ta'sirini o'rganish bir necha ajoyib hodisalarni aniqlashga olib keldi. Sirtning holati ko'pincha kristall xajmida sodir bo'ladigan jarayonlarning kechishini aniqlaydi. Masalan, sirtiy sathlar rekombinatsiya markazlari bo'lib, namunada muvozanatsiz zaryad tashuvchilarning yashash davriga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Sirtiy sochilish masalalarini tadqiqlash ham muhim muammolardan biridir.

Yarimo'tkazgichlar sirti xossalari o'rganish fizika kimyoning ba'zi masalalarini, hususan kataliz muammolarini hal qilishda ham favqulodda zarur. Sirtning holati quyosh energiyasidan foydalanishga mo'jallangan asboblarning va qurilmalar ishida aloxida ahamiyatga ega. Umuman aytganda, sirtiy holatlar yarimo'tkazgichli diodlar, tranzistorlar ishlashida muhim omillardir.

Tashqi ta'sirdan asboblarni ximoya qilish uchun ularning sirtini atrofidagi muxitdan ajratish (saqlash) muammosi ham eng zarur amaliy vazifalardanidir. Hozirgi zamonda kristallarning atomar toza sirtini xosil qilish mumkin bo'ldi, bunday holatni nazorat qilish usullari ham ishlab chiqilgan. Yarimo'tkazgichlar

sirti fizikasini o'rganishda ko'p ijobiy natijalarga erishildi, ammo, bu soxada tadqiqotlar davom etmoqda, chunki texnika va texnologiyaning rivoji, yarimo'tkazgichlar elektronikasining tez o'sishi yangidan-yangi masalalarni maydonga chiqarmoqda.

Ushbu o'quv qo'llanma yarim o'tkazgichli kristallar sirtining tuzilishi ulardagi fizik va kimyoviy jarayonlar sirtiy xolatlarning tabiati ularga atrof muhitning ta'siri, sirtiy holatlarning elektron asboblarning ishlashiga ta'sirlari va ularni tadqiqlash usullarini o'rganishiga bag'ishlangan.

Qo'llanma Davlat ta'lim standartlarining bakalavr ta'limining 5521700 – Elektronika va mikroelektronika –magistratura mutaxassisligining 5A310801 - Elektronika va elektron texnikasi yo'nalishlarida ta'lim oluvchi talabalariga universitet, pedagogika va texnika oliy o'quv yurtlarining yarim o'tkazgichlar, mikroelektronika va avtomatiga elektron asboblarning va boshqa sohalar bo'yicha ixtisoslashayotgan talaba, magistr va doktorantlarga mo'ljallangan.

Adabiyotlar

1. Sixa M.P. «Analiz poverxnosti metodami OJE i rentgenovskoy spektroskopii» Mir.1987.
2. Vasilyev M.A., Cherepin V.G. «Fizicheskiye metody analiza poverxnosi tverдых tel» nauka. 1990 g.
3. Baxodirxonov M.K., Ortikov I.B. «Malыy ensiklopedicheskiy spravochnik po poluprovodnikovym materialam» Toshkent 2006 g.
4. Zi S.M. Fizika poluprovodnikovыx priborov. V 2 kn. M.: Mir, 1984.
Elektronnyye, kvantovыye pribory i mikroelektronika / Pod red. N.D. Fedorova. M.: Radio i svyaz, 1998.
- 5). Vikulin I.M., Stafeyev V.I. Fizika poluprovodnikovыx priborov. M.: Radio i svyaz, 1990.
- 6).Stepanenko I.P. Osnovy mikroelektroniki. M.: Radio i svyaz, 1998.
- 7). Valiyev K.A. Fizicheskiye osnovы submikronnoy fotolitografii. M.: Nauka, 1990.
- 8). Brouday I., Merey Dj. Fizicheskiye osnovы mikrotehnologii. M.: Mir, 1985.
- 9). Dragunov V.P., Neizvestnyy I.G., Gridchin V.A. Osnovy nanoelektroniki. Novosibirsk: NGTU, 2000.
- 10). Arsenid galliya v mikroelektronike / Pod red. V.N. Mordkovicha. M.: Mir, 1988.
11. Chaplygin A. «nanotehnologii v elektronike» / A. Chaplygin. - 2005 M.:texnosfera.
12. Joakim K., Plever L. «Nanonauki. Nevidimaya revolyusiya». KoLibri, 2009 – 240s.
13. Yafarov R. K. «Fizika SVCh vakuumno-plazmennыx nanotehnologiy». Fizmatlit, M. 2009. 216s.
14. Internet-resursy: <http://www.nanonewsnet.ru/>
15. <http://www.nanonewsnet.ru/news>

16. <http://www.nanonewsnet.nanorazmerye-pauki-idut-k-tseli> <http://>