

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUSTA'LIMVAZIRLIGI**

GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI

Fizika – matematika fakulteti

Fizika kafedrası

5140200 – Fizika yo'nalishi bo'yicha bakalavr darajasini olish uchun

**RO'ZIBOYEVPIRNAZARSHONAZAROVICHNING
QATTIQJISMLARSIRTIVA SIRTIGA YAQINBO'LGAN
SOHALARGA ARALASHMALARNING KIRIB BORISHINI O'RGANISH
mavzusida tayyorlagan**

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Rahbar : Dotsent R.U. Elmurodov

**BMI "Fizika" kafedrasining 2017 yil _____ № _____ sonli yig'ilishda ko'rib chiqildi
va DAK da himoya qilishga tavsiya etildi.**

Kafedra mudiri _____ O'. T. Davlatov, fizika – matematika fanlari nomzodi.

BMI fizika – matematika fakulteti dekanati tomonidan himoyaga ruxsat berildi.

Fakultet dekani _____ SH. A. Ashirov. Pedagogika fanlari nomzodi.

Guliston – 2017

MUNDARIJA.

Kirish.....	3
I BOB. Qattiq jismlar sirti va sirtiga yaqin bo'lgan sohalarda ro'y beradigan jarayonlar.....	8
§ 1.1 Qattiq jismlar gaz molekulalarining diffuziyasi.....	8
§ 1.2 Qattiq jismlar sirtiga yaqin sohalarga ionlar implantatsiyasi va ionli bombardirovkasining ta'siri	11
§ 1.3 Qattiq jismlar sirtiga metall plyonkava qoplamalar o'stirishda ionli bombardirovning ta'siri.....	17
II BOB. Tajribalar o'tkazish qurilmasining tuzilishi va ishlash prinsiplari.....	26
§ 2.1 Tajribalar o'tkazish qurilmasining qismlarivavazifalari.....	26
§ 2.2 Qattiq jismlar sirtiga metall plyonkava qoplamalar o'stirish usullari....	32
§ 2.3 Qattiq jismlar sirti va sirtiga yaqin bo'lgan sohalarni tadqiqot qilish usullari.....	37
§ 2.4 O'lchash xatoliklari.....	41
III BOB. Qattiq jismlar sirti va sirtiga yaqin bo'lgan sohalarga aralashmalarining kirib borishi natijasidaxossalarini o'zgarishi.....	43
§ 3.1 Ionli bombardirov katta sirida qattiq jismlarning fizikaviy-kimyoviy xossalarini o'zgarishi.....	43
Xulosa.....	49
Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati	51

K I R I SH.

Mavzuning dolzarbligi:

Qattiq jismlar , xususan metallar, kristall panjarada atomlarning joylashishga qarab , monakristall va polikristall tuzilishlarga(strukturalarga)ega bo'ladi.

Bukristallarda atomlarning joylashishi tartibini va zich bo'lishiga qaramasdan, ularga hamma vaqt ma'lum bir ichki buzilishlar(deffektlar)mavjud bo'ladi. Har qanday mono kristalda yoki polikristallarda defektlarning 5 ta turi mavjud bo'lib , bu defektlar turli jarayonlarda turlicha xususiyatlarini namoyon qiladi, ya'ni qattiq jismlarning yoki metallarning fizikaviy va kimyoviy xususiyatlariga ta'sir ko'rsatadi.

Qattiq jismlarning kristall panjarasida mavjud bo'ladigan deffektlar natijasida yuzaga keladigan jarayonlardan biri atmosferadagi gazlarning molekulalarini qattiq jismlarga diffuziyasidir.

Ma'lumki, qattiq jismlar yoki metallarning sirti va sirtiga yaqin bo'lgan sohalar har doima atrof –muhit bilan xususan atmosferadagi gaz molekulalari bilan ta'sirlashib turadi.

Qattiq jismlarning kristall panjaralaridagi deffektlar mavjud bo'lishi hisobiga , gaz molekulalari yoki turli boshqa birikmalarning molekulalari qattiq jismlarning sirtiga yaqin bo'lgan sohalariga kirib boradi, ya'ni diffuziyalanadi.Qattiq jismlarning sirtiga yaqin qatlamda(judayupqaqatlamda) gaz molekulalarining oz miqdorda bo'lsa ham kristall panjaralarga aralashishi ro'y beradi.Odatdagi sharoitlarda qattiq jismlarning kristall panjaralariga gaz molekulalarining diffuziyalanishi juda sekin ro'y beradi va kirib borayotgan gaz molekulalarining miqdori ham kam bo'ladi. Shuning uchun qattiq jismlarning fizikaviy-kimyoviy xossalari juda sekin o'zgaradi.

Qattiq jismlarning sirti va sirtiga yaqin bo'lgan sohalarga gaz molekulalarning molekulyar birikmalarning yoki atomlarning diffizuyasini su'niy ravishda oshirish yoki kuchaytirish mumkin. Bunda qisqa va ichida yetarlicha katta miqdordagi gaz molekulalarni yoki birikmalarini qattiq jismlarning kristallpanjaralariga kirib borishni amalga oshirish mumkin.

Bu jarayon yuqori va vacuum hosil qiladigan maxsus qurilmalarda , qattiq jismlar sirtiga gaz yoki boshqa moddalarning molekulalarini yoki atomlarini

ionlashtirib yo'naltirish ya'ni implantatsiya yoki bombardirovka qilish orqali amalga oshiriladi. Qattiq jismlar sirtiga yo'naltirilgan ionlar , qattiq jismlarning kristall panjaralariga ko'p sonli to'qnashuvlar natijasida kirib boradi va shu panjarada qalinlik bo'yicha taqsimlanib joylashib qoladi. Qattiq jismlar ichiga ya'ni kristall panjarasiga kirib borgan bunday begona molekular ar va atomlar aralashmalar deb ataladi. Aralashma ionlarining qattiq jismlarga kirib borishi , qattiq jismlarning ko'pgina parametrlariga (kattaliklariga) bog'liq bo'ladi. Qattiq jismlarning parametrlariga - zichligi, temperaturasi, strukturaviy xossalari , kristall panjarada joylashgan atomlar aro potentsiallarni keltirish mumkin. Implantatsiya yoki bombardirovka qilingan ionlarning parametrlariga ionl aroqimi, ionlarning zichligi , dozasi , energiya va ionlashgan atomlari yoki molekularlarining turlari ni keltirish mumkin.

Qattiq jismlar sirtidagi ionlar bilan implantatsiya yoki bombardirovka qilinganda, bu ionlar qattiq jismlar ichiga kirib borishda kristall panjaralarda joylashgan ko'psonlik o'p ketma-ket (kaskad) to'qnashuvlarga duchor bo'ldi va qattiq jismlar ichida strukturaviy - fazaviy o'zgarishlarni yuzaga keltiradi. Buo'zgarishlar implantatsiya qilingan yoki bombardirovka qilingan ionlar bilan to'qnashishi natijasida kristall panjaradagi atomlar oladigan energiya va impuls larga bog'liq bo'adi. Buto'qnashishlarning natijasida ikkita hol ro'y berish mumkin:

1) Kristall panjaradagi atomlar , ionlarni kelib urilishi (to'qnashishi) natijasida, shunday energiya va impuls lar olishi mumkin ki , natijada bunday atomlar qattiq jism sirtidan uchib chiqib ketishi (katod yemirilishi) mumkin.

2) Ionlar bilanto'qnashishi natijasida kristall panjaradagi atomlar o'z o'rinlaridan ko'chib (siljib) kristall panjaraning boshqa qismiga o'tib , yangi o'rinlarni egallash mumkin [1].

Harikkiholdaham , kristallpanjaradabo'sho'rinlarvakantdeffektlaryuzaga keladi. Budeffektlaro'znavbatidakristallpanjaradaradiatsion – stimullashgandiffuziyalanishnihosil qiladi, ya'niionlarnikiribborishiniyuzagakeltiradi. Bu esao'znavbatida , qattiq jismlarningkristallpanjarasigadiffuziyalanadiganaralashmaionlarsoninioshiradi.

Shusababliqattiqjismlarningkristallpanjaralaridaradiasiono'zgarishlarnikeltiribchiqaradi. Buo'zgarishlaresa o'znavbatida , qattiqjismlarningsirti va sirtigayaqinbo'lgansohalarinifizikaviy- kimyoviy ,mexanikaviyvboshqaxossalarinio'zgarishigaolibkeladi.

Qattiqjismlarorasidafanva texnikada,mashinasozlikda ,meditsinada, maishiyjixozlarda , radiotexnikada ,aloqavositalarida , kompuytertexnologiyasidava boshqalardaengko'pqo'llaniladiganmetallarhisoblanadi. Shuninguchunmetallargaboshqamoddalarniionlariniimplantatsiyaqilishyokiionlibombardirovkaqilishorqalimetallarningsirti va sirtiga yaqinbo'lgansohalarningxossavaxususiyatlarinio'zgarishinio'rganishdolzarbmasalahi soblanadi.

Buxususiyatfan va texnikadakengmiqyosidaqo'llanilibkelmoqa .

Ishningmaqsadi va vazifalari:Ushbubitiruvmalakaviyishda , vakuum hosil qilingansharoitda,sof metallarnigazionlaribilanbombardirofkaqilishva shu metallarni sirtida gazionlaribombardirovkaqilibo'stirilganboshqametallarningplyonkavaqoplamalarinia ralashtirishnatijasidaxossalarinio'zgarishnio'rganishmaqsadqilibqo'yilgan.

Gazionlaribilanbombardirovkaqilingansofmetallardavaionlibombardirovkaqilib , metallarsirtidaboshqametallardano'stirilganplyonkavaqoplamalarsistemasidako'plabfizikaviy-kimyoviyjarayonlaryuzberadi.

Bujarayonlargaradiasion –stimullashgan diffuziya ,ketma-ketto'qnashishlarnatijsidaenergiyaalmashunuvi, katodyemirishlar , ko'plabdeffektlarhosilbo'lishi ,sturukturaviy – fazaviyo'zgarishlaryuzagakelishi,kristallpanjaragakiribboranganaralashmaionlarningqalinlikbo'yichataqsimotivaboshqajarayonlarnikeltirishmumkin.

Ushbu ishda tajribalar o'tkazib, ionli bombardirovkaning qattiq jismlarni, xususan ba'zi birmetallarni xossalari o'zgarishi o'rganish vazifa qilib qo'yilgan.

Ishdagi ilmiy angiliklar: Ushbu bitiruv malakaviy bitiruv shida vakuum hosil qilingan sharoitda so'f metallar va ionli bombardirovka qilib, birmetall sirtida o'stirilgan boshqa metall plyonka va qoplamalarning fizikaviy – kimyoviy xossalari o'zgarishi, aralashma ionlarning metallarning kristall panjarasiga kirib borish va diffuziya sinio'rgani sh bo'yicha o'tkazilgan tajribalarning natijalari o'rganilgan.

Shu bilan birga tajriba o'tkazish qurilmasining tuzilishi, ishlash prinsipi, tajribalar o'tkazish metodlari, tajriba o'tkazish qurilmasida vakuum hosil qilish, gaz molekulalarini ionlashtirish, ionlar bilan metallar sirtini bombardirovka qilish, metall plyonka va qoplamalar o'stirish bayon etilgan.

Ishning ilmiy ahamiyati: Ushbu bitiruv malakaviy ishda bayon etilgan usullar bilan metallarning xossalari o'zgarishi o'rganishning muhim ahamiyati bor. Chunki, fan va texnika, hamda, boshqa hammasohalarda qo'llaniladigan asbob-uskunalar, qurilmalarning deyarli hammasida katta

miqdorda metallar ishlatiladi. Shuning uchun metallarning fizikaviy-kimyoviy xossalari o'zgartirish, yaxshilanishga erishish, sifatini yaxshilash, samaradorligini oshirish, ishlash muddatini uzaytirish, arzon, yengil, qulay bo'lishga erishish uchun, ularni xossalari o'zgarishni oldindan bilish va shu asosda asbob-uskunalar va qurilmalarning ehtiyoq qismlarini tayyorlash katta samara beradi.

Bitiruv malakaviy ishining tuzilishi: Ushbu bitiruv malakaviy ish kirish qismi, uchta bob, xulosava foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan tashkil topgan bo'lib, 52 bet kompuyterda lotin harflarda yozilgan, 2 tarasm, 5 ta sxemava 4 tagrafiklari o'z ichiga olgan.

Ishning birinchi bobida, qattiq jismlarga tabiiy holda gaz molekulalarining diffuziya hodisasi ga o'rakirib borishini ngnazariyasolar bilan birga, tajriba qurilmalarida, turli moddalarning ionlarini boshqa qattiq jismlarga implantatsiya qilish yoki ionli bombard

irovka qilish orqali kiritish, ya'ni qattiq jismlarda aralashmalar hosil qilish va buning natijasi daro'y beradigan fizikaviy jarayonlarga oid ma'lumotlar adabiyotlardan olingan nazariy va tajribalarning natijalarini xulosalarib bayon etilgan.

Ishning ikkinchi bobida , gazi onlari bilan bir paytda bombardirovka qilib, metall plyonka va qoplamalar olish imkonini beruvchi tajribalar o'tkazish qurilmasining tuzilishi, ishlash prinsipi , tajribalar o'tkazish metodlarini va o'lchash xatoliklari haqida gima'lumotlar keltirilgan.

Ishning uchunchi bobida , ionli bombardirovka qilib o'stirilgan metall plyonka va qoplamalarda yuz bergan aralashish natijasida hosil bo'lgan qattiq qotishmalarining xossalari, bir necha fizikaviy usullar yordamida o'rganilib , olingan natijalar xulosalarib bayon etilgan.

I – BOB. Qattiq jismlar sirtiva sirtigaya qinbo'lgan sohalardaro'y beradigan jarayonlar.

1.1 Qattiq jismlar gaz molekularining diffuziyasi.

Qattiq jismlar- metallar , dielektriklar, yarimo'tkazgichlar , keramikalar, polimerlar atomlarining ma'lum bir qonuniyatlarasosida tartibli joylashishiv atomlarning o'zaro ta'sir bog'lanish kuchlari yetarlicha kattabo'lishib bilan xarakterlanadigan kristall panjaralardan tuzilgan . Kristall panjaralarni yuzaga kelishida, atomlarning joylashishiturlite kisliklarda har xil quyuqliklarda joylashib qoladi. Natijada kristall panjaralarning turli yo'nalishlarda , turlicha xossalarga ega bo'lishga olib keladi. Anizotropiya deb ataluvchi kristall panjaralar ning bu xususiyati qattiq jismlarning ko'pgina fizikaviy- kimyoviy xossalarini belgilaydi.

Qattiq jismlarning kristall panjarasida atomlarning joylashishlarida davriylik va buzil maydigan tartib mavjud deb qaraladi. Lekin kristall panjaralarda ma'lum darajada ham mavjud buzilishlar, o'zgarishlar mavjud bo'larekan .

Bunday buzilishlarga birinchi navbatda kristall panjaradagi atomlarning issiqlik harakati da bo'lishisabab bo'ladi . Bu harakatlar atomlarning issiqlik ta'siridagi tebranma harakatidir. Temperaturaga bog'liq bo'lgan bunday tebranishlarkristall panjaralardan nuqsonlarni (defektlarni) paydo bo'lishga olib keladi.

Kristall panjaralarda issiqlik defektlaridan tashqari, ham mavjud bo'ladigan boshqa defektlar ham mavjud bo'ladi. Bunday defektlarni ng bir necha turiga mavjud bo'lib , ular Shottki defektlari , Frenkel defektlari , aralashma li defektlar , dislokatsiya viy defektlar, sirtiy defektlar deb nom olgan [2].

Qattiq jismlarning kristall panjaralardagi defektlarkristall panjaralarning tugunlarida atomlar orasida bo'sh joylar-vakansiyalar yuzga kelishiga olib keladi.

Bu bo'sh joylarga— vakansiyalarga qattiq jismlarni o'rab turgan muhitning atomiyokimolekulalarikirib borishi — diffuziya siro'y beradi.

Odatdagisharoitdaqattiqjislargaatrof-muhitdagigazmolekulalaridiffuziyalnadi.Qattiqjislarningkristallpanjarasidayuzagak eladigandeffektlargaqarabdiffuziyaniquydagihollardaro'y beradi :

Kristallpanjaradaissiqlikyoki boshqata'sirlarnatijasida ,atomlaro'z o'rinlarinialmashinishiyuzagakelishioqibatida , deffektlarpaydobo'ladi, bu esao'znavbatidaatrof — muhitdagibegonaatomlarniyokimolekularnikristallpanjaraichigadiffuziyanishigaimk onyaratadi.

Tashqita'sirlargayokiboshqasabablargako'rakristallpanjaratugunidajoylashganat omlarsiljib , tugunlarorasidako'chadiya'nimigratsiyanadi,kristallpanjaradabo'shjoypaydobo'ladi. Bu esakristallpanjaradadeffektlaryuzagakelishgasababbo'ladijavujoylarga begonaatomyo kimolekulalarningdiffuziyanishgaolibkeladi.

Kristallpanjaradagiatomlar tugunlaridagibo'sho'rinlarga — vakansiyalargao'tib , deffektlarihosilqiladi.Bubo'sho'rinlarga — vakansiyalargabegonaatomyokimolekulalardiffuziyanadi.

Qattiqjislardadiffuziyako'pginakattaliklargabog'liqbo'ladi. Bu kattaliklargaqattiqjismningtemperaturasi , sirtiningholati ,diffuziyanayotganatomyoki molekulalarningo'rtachatezligi , erkinyugurishyo'lininguzunligi ,oqimzichligikabilarnikeltirish mumkin.

QattiqjislardadiffuziyaxuddigazlarvasuyuqliklardagikabiFikqonunigabo 'ysinib ,diffuziyakoeffsentivaoqimibilanxarakterlanadi.

Diffuziyakoeffsenti:

$$D = B e^{-\frac{W}{kT}} (1.1)$$

ifodabilananiqlanadi.

Bu yerdaW- atomyokimolekulaningaktivlanishenergiyasi.

k–Bolsmandoi miysi, T-

tempertura

, $B = \frac{1}{6} V^2$, V-kattalik

gazatomlari yoki molekulalarning tezligi va

o'rtacha erkini yugurish yo'li uzunligi ga bog'liq bo'lgan kattalikdir.

Diffuziya natijasida

qattiq jismlar ichiga qarab yo'nalgan atomyoki molekulalar oqimi:

$$J = -D \frac{dn}{dx} \quad (1.2)$$

ifoda bilan aniqlanadi.

Buyerda J- qattiq jismlar sirtiga atomyo'nalgan o'q dagi diffuziya oqimi,

D – diffuziya koeffitsienti, n–gaz molekulalarining konsentratsiya komponenti,

X–qattiq jismlar sirtiga atomyo'naltirilgan koordinata o'qi.

Minus ishora si diffuziya oqimi n gaz molekulalarining kamayishi tomoniga qarab yo'nalganligini bildiradi.

Diffuziya qattiq jismlarning temperaturasi ga kuchli bog'liq bo'ladi. Chunki qattiq jismlarning temperaturasi o'tish bilan, uning kristall panjaralarida atomlarning tebranma harakati intensivligi o'tadi, atomlar orasida gap o'rtacha masofa o'tadi.

Natijada begona atomyoki molekulalarining bu ikki atomlar orasida siqilib o'tishga imkon to'g'ri bo'ladi.

Siqilib o'tgan atomlari yoki molekulalar kristall panjara ning ichiga o'rnatiladi.

Bu esa kristall panjara ning ichida begona aralashmalar paydo bo'lishiga olib keladi. Bu begona atomlari yoki molekulalar kristall panjara ichida gap muvozanatni o'zgartiradi, xossalari ni o'zgartiradi.

1.2. Qattiq jismlar sirtiga sirtiga yaqin

sohalarga ionlar implantatsiya va ion bombardirov kasining ta'siri .

Qattiq jismlar sirtiga sirtiga yaqin sohalarga , gaz molekulalarining tabiiy diffuziyasida tashqari , sun'iy ravishda ham , qattiq

jismlarning kristall panjaralariga ma'lum bir qalinliklarga boshqabegonamoddalarning ionlashgan atom va molekularini kiritish orqali aralashtirishni amalga oshirish va qattiq qotishmalarini hosil qilish mumkin [7].

Bunday sun'iy ravishda aralashtirish yuqori vakuum hosil qilingan qurilmalarda ikki xil usulda amalga oshiriladi:

1) Ixtiyoriy qattiq

jism materialidan tayyorlangan nishonga (taglikga) moddalarning ionlashgan holdagi atomlari yoki molekulari katta energiya ostida yo'naltiriladi, ya'ni implantatsiya qilinadi.

2)

Qattiq jism dan tayyorlangan nishon ionlashgan gaz molekulari bilan bombardirov qilinadi.

Birinchida , nishonlari yaxlit qattiq jismlar dan tayyorlanishi yoki bu yaxlit nishon sirtiga bug'latish yo'libilani , boshqa qattiq jism materialidan plyonka va qoplamalarni o'stirilgan , plyonka – taglik sistemasini o'rnatish mumkin . Bunday plyonka – taglik sistemasini avvaldan tayyorlab olinadi.

Bunday plyonka – taglik sistemasini qo'llashdan maqsad shuki , bu sistemaga ionlar implantatsiya qilinayotganda , to'qnashishlarni tajribasida ionlar bilan birga plyonka materialining atomlari ham nishon (taglik) materialiga kirib borishi ro'y beradi, ya'ni katta energiya ionlar zarbi bilan plyonka materialining atomlari nishon materialiga qarab harakatlanadivako'chib o'tadi. Buning uchun nishon materialining kristall panjarasiga ikki xil begonamoddalarning atomlarini aralashuviga olib keladi [8].

Ikkinchi holda ham , ionlar bombardirov kasi yaxlit nishonlarga yoki nishonlari sirtiga bug'latish yo'libilani o'stirilgan plyonka – taglik sistemasida amalga oshiriladi. Biroq ionlar energiyasi kichik bo'lgani uchun aralashmalar miqdori kam bo'ladi, ya'ni yetarli chakatta miqdorda aralashmalar ni amalga oshirib bo'lmaydi.

Shuning uchun uchunchi bir usul kashf qilindi. Bu usul qattiq jismlar dan tayyorlangan nishonlarga ionli bombardirov qat qilish bilan birga , bir

paytda bug'latish orqali nishonlarni sirtiga boshqa moddalardan plyonka va qoplamalar o'stirishdan iboratdir [9].

Har uchchal holda ham , birmoddali materialning kristall panjaralariga boshqa moddalarning ionlashgan holdagi atomlarini yoki molekullarini kirib borish va qattiq holda aralashish yuz berishi, ya'ni qattiq qotishmalar hosil bo'lishi kuzatiladi [10].

Qattiq jismlarga ionlar implantatsiyasi yoki bombardirov kasi amalga oshirayotganda , ionlar qattiq jismlarning kristall panjaralaridagi atomlar bilan to'xtavsiz to'qnashishlarga duchor bo'ladi. Natijada bu ionlarning energiyasi to'qnashishlarga kristall panjaralaridagi atomlarga uzatiladi ionlarning energiyasi kamayib harakatdani to'xtatib qo'yadi ionlarning kristall panjaralarning tugunlaridagi vakant (bo'sh) joylarga yoki panjaralar oralig'laridagi joylarga (defektlarga) o'tib qoladi ya'ni aralashmalar hosil qilinadi. Bular aralashmalar hajim birlikdagi nisbatni konsentratsiya va kristall panjaralaridagi taqsimotni ionlarning energiyasiga , ionlar dozasiga , ionlarning turiga, ionlarning tok zichligiga hamda qattiq jismlarning sirti va sirtiga yaqin bo'lgan sohalarining fizikaviy- kimyoviy xususiyatlariga bog'liq bo'ladi.

Boshqa moddalarning atomlari yoki molekullari aralashish natijasida nishon (taglik) materialining kristall panjaralarida ko'plab turli tipdagi defektlar , stimullashganda diffuziya vakansiyalar , migratsiyalar (ko'chishlar) , dislokatsiyalar yuzaga keladi.

Bu sirt taglik materialida ko'plab o'zgarishlarni keltirib chiqaradi. Bu o'zgarishlarga taglik materialining mexanikaviy xossalariidan, mikroqattiqlik , mustahkamligini , ishqalanishga chidamliligini, adgeziyasini (yopishqoqligini), elektr o'tkazuvchanligini , kimyoviy xususiyatlaridan, korroziyaga chidamliligini o'zgarishini , issiqlik bardoshliligini va boshqa xususiyatlarini o'zgarishiga olib keladi [10].

Bundan ionli implantatsiya qilish yoki ionli bombardirov kani natijasida taglik materialining fizikaviy –kimyoviy , mexanik, elektr xossalari o'zgartirish orqali xususiyatlarini yaxshilagan, yangi materiallar olish mumkinligi keltirib chiqadi.

implantatsiya qilingan dayokii ion bombardirovka qilingan dabo ionlar

qattiq jismlarning sirti va sirtigayaqin bo'lgan sohalarda kristall panjaraga ko'p martaketma – ket (kaskad) to'qnashishlarga duchor bo'ladi.

Kaskad to'qnashishlar jarayonining rivojlanish sifatijihatdan 3 bosqichga bo'linadi:

Birinchibosqich

: Bu ionlashgan atomlarni

yoki molekullarni qattiq jismlardan tayyorlangan taglik sirtiga borib urilish bilan boshlanib taglik ichiga kirib borish bosqichida, $t \sim 10^{-13}$ sekund vaqt davom etadi. Bu

bosqichda kaskad to'qnashishlarda ishtiroke tayotgan zarrachalarning kinetik energiyasi harakatning boshlanish chegaraviy energiyasidan pastroq (taxminan 10 eV) bo'ladi. Bu bosqich to'qnashishlar bosqichi debyuriladi.

To'qnashishlar bosqichi tugagandan so'ng kaskad kuchli tartibsiz holatdabo'lib, kristall panjaradagi (taglikdagi) mexanik kuchlanganlik (zo'riqish) juda qisqa taxminan $t \sim 10^{-12}$ sekund vaqtda spontan ravishda avval yuzaga kelgan effekt larni rekombinatsiya laydi (qoplaydi, tugatadi), ya'ni aralshmazarralar kristall panjaralardataqsimlanib joylashib bo'ladi. Kaskad hududini bunday rivojlanish relaksiya bosqichi deb ataladi.

Ikkinchibosqich: Bu

bosqich

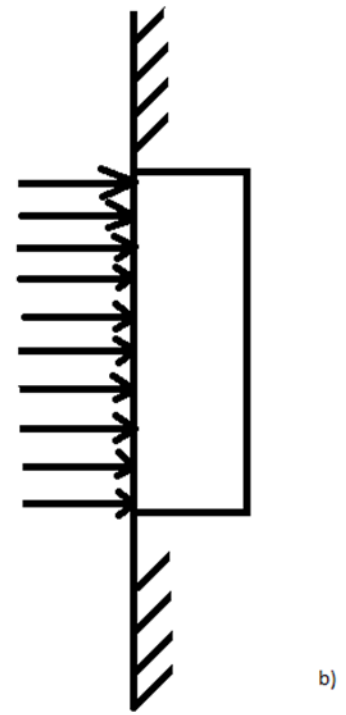
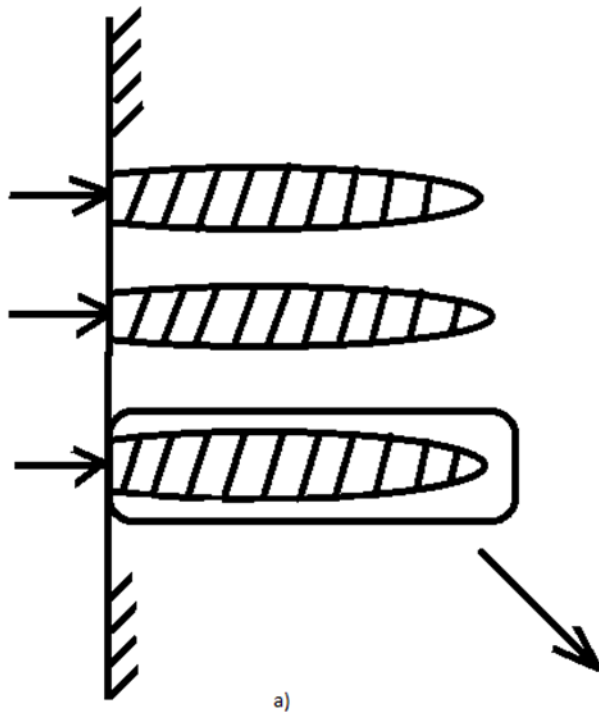
taxminan $t \sim 10^{-11}$

sekund vaqtda amalga oshadi. Kaskad (to'qnashishlar) xuddi kristall panjaraning hududlariga qaraganda yuqoriroq temperaturalar ga egabo'ladi, bu esao'z navbatida kaskad hududidagi nuqtaviy effekt larning harakatlanishigava qisman qo'shib ketishiga, juftlashishiga (anniglasialanishiga) olib keladi. Bu bosqich termolizaksiya

(temperaturaning tenglashishi) bosqichi debyuriladi. Termolizasiya bosqichi kaskad

hududi va bu hudud unio'rab turgan boshqa kristall panjara iardagi temperaturaning tenglashishi bilan tugaydi [11].

Ionli implantatsiya yoki ionli bombardirovkanatijasidataglik materiallarida yuzaga keladigan kaskad to'qnashishlar sxemasi 1.2 – rasmda keltirilgan.



(1.2-rasm) Kaskad to'qnashishlarro'yberishining sxematik ko'rinishi.

a)

Alohidakaskadlar rejim

i ionlar dozasi $< 10^{13} \text{ sm}^{-2}$, $R = 20^0 \text{ A}$, $t = 10^{-12} \text{ sek}$

b)

Qoplash kaskadlar

rejimi ionlar dozasi $< 10^{13} \text{ sm}^{-2}$, $t = 5 \cdot 10^{-14} \text{ s}$ [11].

Bunda alohidabittazarracha (ionlashgan atom yoki molekulalar) yuzaga keltirgan kaskad to'qnashishlar (1.2-rasm, b) ko'rsatilgan.

Ionlarning tokining zichligi $j = 1 \frac{\text{mkA}}{\text{sm}}$ bo'lganda taglik sirti yo'nalishida 1 sekundli intervallar orasida $R = 20 \text{ A}^0$ bo'lgan kaskad yuzaga keladi. Tok zichligining nihoyatda katta qiymatlarida ham alohid kaskad vaqt berkitish (qoplash) vaqtiga qaraganda bir necha tartibga yo'qori bo'ladi. Shuning uchun kaskad yuz berishi momentida taglikning kichik hajmi da to'plangan energiya zichligi, kaskadlar o'lchamidan yetarlicha katta

bo'lgan hajmga sochiladi. Kaskad sohasida termik (temperaturaviy) muvozanat yuzaga kela boshlaydi.

Bu vaqtgacha kelib, kaskad hududidagi nuqtaviy deffektlarning konsentratsiyasi termik (issiqlik) muvozanatdagi qiymatlaridan ancha kattaroq bo'lishi mumkin. Shu sababli kaskad to'qnashishlar natijasida yuzaga keladigan radiatsion deffektlar hisobiga kristall panjaralardan ancha ko'chishlarga sabab bo'ladigan sharoitlari yuzaga keladi.

Kristall panjarada yuzaga kelgan turli deffektlar, zarralarning aktivlik energiyasi kattaligiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Bu energiya kristall panjaralarda zarralarning ko'chishlarida asosiy ro'l o'ynaydi. Shu sababli, radiatsion deffektlar ko'efficientlari kristall panjaralardagi termik (temperaturaviy) diffuziya ko'efficientlaridan yetarlicha kattaroq bo'ladi [12].

Nazariy hisoblashlar shuni ko'rsatadiki kaskadli jarayonlarda diffuziya prosesiz zarralarning to'qnashishlari jarayonlaridan deffektli roqbo'ladi, ya'ni diffuziya hisobiga ro'y beradigan aralashish jarayonini zarralarning to'qnashishlari tufayli amalga oshadigan aralashishlaridan kattaroq bo'ladi.

Bu asosan ionli bombardirovkalar jarayonida ro'y beradi. Bunga sabab ionli bombardirov kada ionlar energiyasi past bo'ladi, ular to'qnashishlarda o'z energiyalarini juda tezyo'qotadi va taglik kristall panjarasining ichki qismiga diffuziya lanish hisobiga kirib boradi. Bu jarayonda zarralarning siljish bir necha yuz angstromga yetishini aniqlagan [13].

Qattiq jismlar sirtida o'stirilgan yoki o'stirilayotgan plyonka va qoplamalar bo'lgan holda ionli bombardirov taglik sirtiga yaqin bo'lgan sohalarda zarralarning diffuziya jarayonini kuchaytiradi.

Ionli bombardirov natijasida qattiq jismlarda (tagliklarda) yuzaga keladigan deffektlar zarralarining kristall panjaralarga diffuziya lanishi bo'lishi aktivligi imkoniyatlarini oshiradi.

Kristall panjaralardagi deffektlar kompleks (klaster) formasida kombinatsiya lanishi mumkin, bu kombinatsiya aralashma –defekt-klaster formasida bo'lib juda aktiv bo'lishi va deffektlar konsentratsiyasi gradienti yoki

aralashma zarralargradyenti mavjud bo'lganxolda , yangijarayonni , radiatsionaktivlashgandiffuziyajarayoniniyuzga keltiradi. Budiffuziyaninguzunligi, ya'nizarralarningtaglikichigato'qnashishlarsizkiribborish uzunligibombardirovkaqilayotgan

ionlarningto'qnashishlarorqalikiribborishichuqurligidanuzun bo'lishmumkin.

Radiasion –aktivlashgandiffuziyaninguzunligidefektlarzichligiva bo'sh o'rinlar (vakansiyalar)bilan aniqlanadi.

Ionliimplantatsiyayokiionli

bombardirovkaqilinayotgandaqattiqjismmlarningsirtigatushayotganyokiuchibboriburila yotganzarralarningkinetikenergiyasiikki turdasarf bo'lishimumkin :birinchisi, taglikmaterialningatomiyadrosigasarflanadiganenergiya

(yadroviytormozlanishgasarflanadiganenergiya) ,ikkinchisi,taglik materialiningatomlaridagielektronlarig'alayonlantirishgasarflanadiganenergiyahisobl anadi.

Busarflanadiganenergiyalarnie'tiborgaolgan holdakaskad to'qnashishlarniasosiyo'lchamnikaskaddaaralashgan zarralarningtaqsimotini vakaskad to'qnashishlarnatijasida taglikningichidakristallpanjaralardaatomlarningsiljish sonini taqribananiqlash mumkin [14].

Qattiqjismmlarningkristall

panjaralaridagiatomlarnio'zlariegallabturganjoylaridansiljishlarinatijasidako'p sonlideffektlarnikeltirib chiqaradi. Bu deffektlardanbiribo'sho'rinlar – vakansiyalarbo'lib , bu vakansiyalargaimplantasiyayoki bombardirovkaqilayotganionlarningyoki plyonkava qoplamalarmateriallarningatomlari ,ketma-ketto'qnashishlar natijasidayokidiffuziyanlanishlaroqibatidakiribboradi.Buningnatijasida , kristallpanjaralargabegonaatomlaryokimolekulalarningaralashigaolibkeladi. Bu esaqattiqjismmlarningfizikaviy , kimyoviyva boshqaxususiyatlarinio'zgartiradi.

1.3.Qattiqjismmlarsirtidametallplyonkavaqoplamalaro'stirishdaionlibombardirov kaningta'siri.

Qattiqjislarning fizikaviy-

kimyoviy xususiyatlarini aniqlash maqsadida o'zlashtirish, yaxshilash borasida turli xil usullar qo'llaniladi. Tajriba qurilmalari ichida yo'qorivakuum hosil qilish texnikasi va texnologiyalaririvojlanishini ta'kidlash maqsadida vakuum sharoitida qattiqjislarning xossalari gata'sir ko'rsatishning bir qancha

yangi usullaridan foydalanishimkoniyati paydobo'ldi. Bu imkoniyatlardan birinchisi, vakuum sharoitida elektr tokio'tkazib qizdirish va bug'latish orqali, birmetall materialdan ikkinchi birmetall materialidan tayyorlangan taglik sirtiga aralashmalar sizofplyon kayoqi qoplamalar o'tirish bo'ldi.

Bunday usulda hosil qilingan plyon kayoqi qoplamalar kimyoviy reaksiyalardan, asosan oksidlanish-

qaytarilish jarayonlaridan ximoyalovchi qatlamlar sifatida hamda elektr tokini yaxshio'tkazuvchi o'tkazgichni yuzaga keltirish maqsadida ishlatiladi.

Ikkinchi imkoniyat, vakuum sharoitida istalgan moddalarning (asosan qattiq jismlar va gazlar) atomlarini yoki molekulalarini ionlashtirib, taglik materialiga yo'qori energiyali ionlarni implantatsiya qilish yoki past energiyali ionlar bilan bombardirovka qilish paydobo'ldi.

Uchunchi imkoniyat, qattiq jismlar yoki metallarga tasir ko'rsatishning bir necha usullari, bir paytda qisqavaqt ichida amalga oshirilishi bo'ldi. Bunda past energiyali gaz ionlaridan foydalanish juda samarali bo'lishi aniqlandi.

Past energiyali gaz ionlaridan foydalanish birinchidan, gaz molekulalarini ionlashtiruvchi (ionizatorlar) qurilmalarini soddaligi va ishonchli qilishlashi.

Ikkinchidan, katta energiya talab qilmasligi, uchunchidan, bombardirovka paytida taglik materialiga boriburilganda, butaglikni kamaytirishi

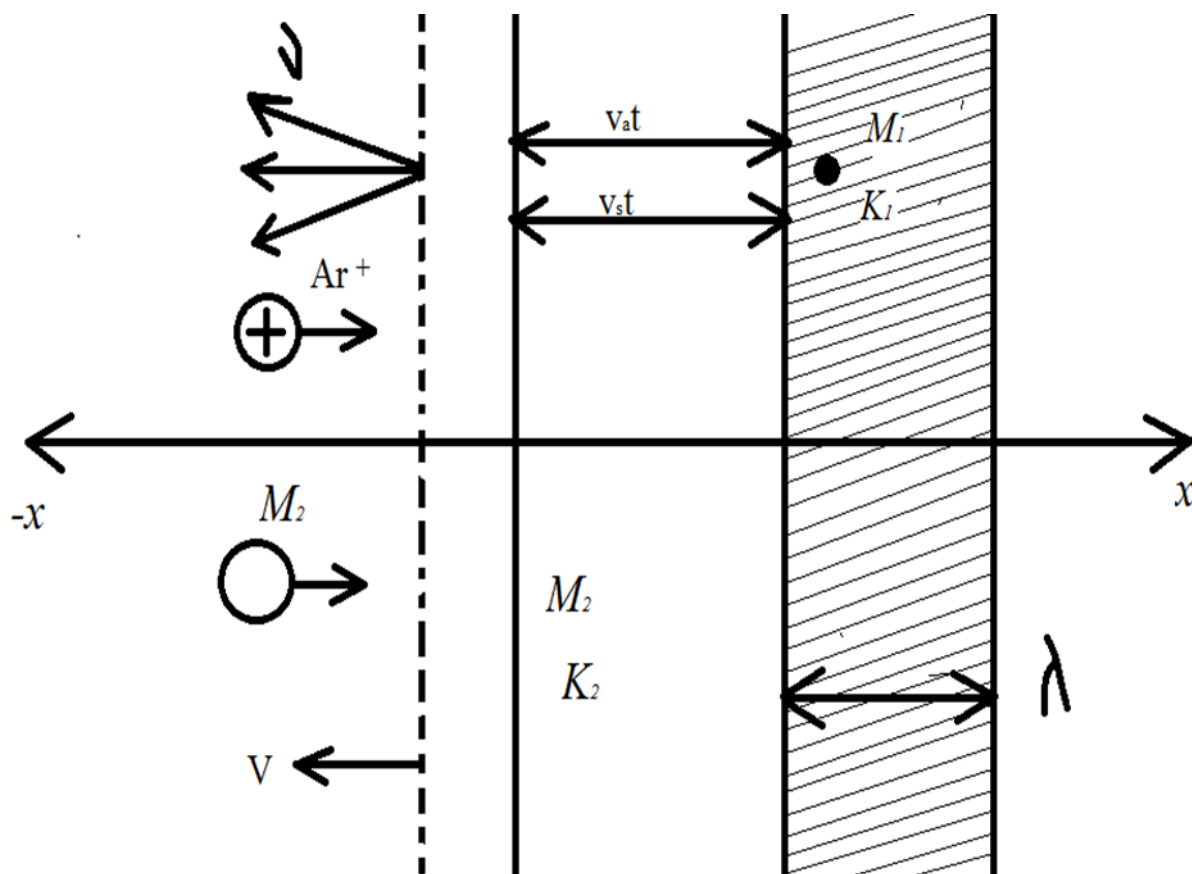
(katod yemirilish), katod yemirilishi bilan bog'liq bo'lgan jarayonlarni kamaytirish,

To'rtinchidan, ionlar energiyasini vadozasini boshqarishimkoniyati borligidir.

Shundanso'ng,

ikktajarayonnibirpaytdaamalgaoshirishtadbiqqilindi. Bundavakkumsharoitida, birmetalltaglikkaboshqametallmaterialibug'latib ,plyonkayoki qoplama o'stirishjarayonida , past energiyaligaz ionlaribilan bombardirovka qilish amalga oshirildi. Bujarayondinamik ionli aralashtirish deb nomlanadi. Bujarayon amalga oshirilganda ikki qatlamli sistemayuzagakeladi. Busistemani plyonka –taglik sistemasideb ataladi. Busistemani hosil qilishda , inert gazlarning molekularini ionlashtirib, bombardirovka qilish tajribalardayaxshinatijalar berdi. Sababi , inert gaz molekulari plyonka va taglik sistemasining ichida kimyoviy reaksiyalarga kirishmasligidir.

Vakkumsharoitda, plyonka – taglik sistemasini hosil qilishda , bir paytda argon (Ar^+) gazining ionlaribilan bombardirovka qilish modeli 1.2 – rasmda ko'rsatilgan.



1.2-rasm .Birvaqtda ionlar bilan bombardirovka qilish va plyonka o'stirishning sxemasi.

M_1 - taglik atomining massasi .

M_2 – bug'latilayotgan metall atomining massasi.

V – plyonkasirtiningo'sishtezi.

V_d -plyonkamaterialiningbug'latishtezi.

V_s -katodyemirilishishtezi.

ν -sochilishkoeffisienti.

Ar^+ -Argongaziningioni.

K_1 va K_2 – taglikva plyonkamateriallarini struktura-orientasiyafaktorlari.

λ – ionlarningmaksimalkirishchuqurligi.

Termikbug'latilganmetallmaterialining M_2 –massali atomlarivaionlashtirilganargon (Ar^+) gaziningionlari ,atommassasi M_1 -bo'lganmetall materialidantayyorlangantaglikkax-o'qi bo'yichatikyo'naladi.

Bug'latilganmetallmaterialining M_2 – atomlariyo'qoritemperaturagaegabo'lib ,temperaturasi pasttaglikmaterialigayetibkelib , ungayopishadi,ya'nikondensiyalanibqoladi. M_2 -atomlarketma-ketkelib ,ustma – ustkondensiyalanibborishi natijasida ,tagliksirtidaqalinligiortibboradiganqatlam plyonkayoki undan ham qalinqoplamao'sibboradi [16].

Bug'latilganmetallmaterialining M_2 –atomlaribilan paytdataglikisirtigauchib kelganargon(Ar^+)ionlaritaglik materialiningsirtidagi M_1 –atomlarga vabug'latilib, kondensatsiyalanayotganmetallmaterialining M_2 –atomlarga kelib uriladi, zarbaberibto'qnashadi.Bujarayonbir paytdajudako'p sonlibug'lanayotganvabombardirovkaqilinayotganatomlarva ionlarishtirokidaro'y beradi.Ko'p sonliargon (Ar^+) ionlariningberganzarblarinatijasida , metalltaglikmaterialining sirti va sirtigayaqin sohalaridagi M_1 -atomlarmalum biringimpuls vaenergiyalarnioladi.Buenergiyava impulslar yetarlichaqiymatgaerishganda , taglikmaterialining M_1 -atomlariningbir qanchasi , o'zkristallpanjaralaridanuzilibchiqibketadi, ya'niurib chiqariladi, shutaglik materialining sirti yemirilishigaya'nikatodyemirilishigasababbo'ladi [17].

Katodiyemirilish esao'znavbatidataglikmaterialiningsirti va sirtigayaqinsohalarda , kristall panjaralarningnormalstrukturasini (atomlarningjoylashishivabog'lanishini)butun hajm bo'yicha buzilishiga ,o'zgarishigaolibkeladi. Natijadataglik materialiningsirtiva sirtiga yaqinbo'lgansohalaridanuqsonlar(deffektlar)ya'niradiatsiondeffektlarhosilbo'ishigaolibkeladi [17]. Bu radiatsiondeffektlargametalltaglikmaterialiningkristall panjarasidagiatomlarinio'zjoylaridansiljishi ,o'zjoyidan boshqajoyga ko'chishiro'y beradi. Shubilan birga siljigan yoki ko'chgan atomlariningkristallpanjaradagiqo'shniboshqa atomlar bilano'zarobog'lanishlari buziladi. Buningnatijasidabirinchi holda ,metall taglikmaterialiningkristallpanjaralaridabo'sho'rinlar (vakansiyalar)yuzaga kelishiyokiikkinchiholda , bombardirovkaqilinayotganionlarninghamdaplyonkayoki qoplamalarmateriallariningatomlarinidiffuziyalanibyoki ketma-ketto'qnashishlaroqibatida,siljib ,harakatlanib, taglik materialiningkristallpanjaralarigakirib borishimkoniyatlari paydobo'ladi [17].

Radiatsiondeffektlarnatijasidayuzagakelganvakansiyalarga, o'lchamlari har xil bo'lgan , bombardirovkaqilinayotgangazionlarihamda plyonkayoki qoplamalarmateriallarningatomlarikirib boradi. Bu ionlar va atomlaro'zlariningissiqlik harakatkinetikenergiyalarigaqarab , taglik materialiningkristall panjaralarida turlichuqurliklargaqaytib boradi vajoylashibqoladi.

Taglikmaterialiningkristallpanjaralarida , begonaatomlarva molekulalararalashishiyuz beradi.O'lchamlari harxil bo'lgan bu aralashmalar taglikmaterialiningkristallpanjaralaridagidastlabki sof holdagiatolmarningbog'lanishkuchlariniva atomlar hosilpotensialmaydonni o'zgartiradi.Shusababliddeffektlarvavakansiyalarsoniortadi.

Buesataglikmaterialiningkristallpanjaralaribo'yichaichkariga (chuqurlikka) qarabyo'nalgantezlashgan diffuziyani , ya'ni radiatsion – stimullashgandiffuziyaniyuzagakeltirib chiqaradi. Natijada taglikmaterialiga begonaatomlarniva gaz ionlarinikirib borishikuchayadi, taglik

materialining kristall panjaralardagi begona aralshmalarkonsentratsiyasima'lum qiymatgaacha o'tib boradi.

Shu paytning o'zida taglik materialining jarayoni hisobiga teskari yo'nalishda o'sayotgan plyonka yoki qoplamalarning kristall

panjaralariga taglik materialining atomlarini aralashish yuz beradi.

Ionlar bilan bombardirovka qilib , plyonka –taglik sistemasi hosil qilinayotgan plyonka va taglik materiallari bir paytda katod yemirilishga

ducho'r bo'ladi. Bunda ionlar kelib urilishi natijasida taglik materiallarining sirti va sirtiga yaqin sohalaridagi atomlar , ionlar zarbasidan impuls va energiya oladi. Bu impuls

va energiyaning qiymati , atomlarning o'z

kristall panjaralar bilan bog'langan bog'lanish energiyasidan katta bo'lganda ,

taglik materialining sirti va sirtiga

yaqin bo'lgan sohalaridagi atomlarkristall panjaralardagi bog'lanishlarni uzi chiqib ,

taglik sirtida o'stirilayotgan plyonka yoki qoplamalar ichiga qarab harakatlanadi [13].

Bu esa 1.2- rasmda (-x) o'q yo'nalishida ro'y beradi. Taglik materialidan yemirilib chiqqan bu atomlarning energiyasi , o'sayotgan plyonka yoki qoplamalardan tashqari gacha chiqib ketishga yetmaydi. Shuning uchun bu

atomlar plyonka yoki qoplamalarning kristall panjaralariga joylashib qoladi.

Bundan tashqari plyonka yoki qoplamalarning kristall panjaralaridagi atomlar bilan to'qnashishlarda o'z energiya va impulsini sarflagan gaz ionlari ham plyonka yoki

qoplamalarining kristall panjaralarida to'xtab qolib , o'rnatilib

qoladi. Natijada o'sayotgan plyonka yoki qoplamalarning kristall panjaralarida,

bombardirovka qilinayotgan gaz ionlarining hamda taglik materialining atomlarini aralshishi yuz beradi [18].

Bu jarayonlardan ko'rinadiki gaz ionlari bilan bir

paytda bombardirovka qilib metall tagliklar sirtida plyonka yoki

qoplamalar o'stirilayotganda ikki xil tartibdagi aralashish yuz berishi mumkin

ekan. Bu jarayonlardan birinchisi, taglik materialining katod yemirilishi

juda kam bo'lganda , ya'ni taglik materialining katod yemirilish juda kam bo'lganda ,

ya'ni

taglik materialining katod yemirilish koeffitsientikichik bo'lganda plyonka yoki qoplamalarning kristall panjaralariga asosan bombardirovka qilinayotgan gaz ionlari aralashadi.

Gaz ionlari hamda plyonka yoki qoplamalar materiallarining atomlari taglik materiallarining kristall panjaralariga kirib boradi va plyonka – taglik sistemasida bog'lanishlarni yuzaga keltiradi. Bu holda taglik materialining sirtidano'stirilayotgan plyonka yoki qoplamalarning kristall panjaralari, bug'latilayotgan o'z materiallarining kristall panjaralariga aynan o'xshash tipda, gaz ionlari aralashgan holda o'sar ekan.

Ikkinchi holda, taglik materialining katod yemirilish koeffitsientikatta bo'lganda ionlar bombardirovka sita'sirida, taglik materialining sirtidan yemirilib uchib chiqqan atomlarni sayotgan plyonka yoki qoplamalarning kristall

panjaralariga joylashib qoladi. Bu holda o'sayotgan plyonka yoki qoplamalarining kristall panjaralari, taglik materialining kristall panjaralarining tipiga o'xshash yoki ungayaqin tipdagi kristall panjalar shaklida o'sar ekan.

Plyonka yoki qoplamalarning taglik materialining sirtidano'sis tezligi (1.3-rasm) – V , umumiy (plyonka – taglik sistemasining) katod yemirishlar v_s - tezligi bilan, v_d – plyonka yoki qoplamalar materiallarining bug'latish tezliklarini farqigateng bo'ladi:

$$V = V_D - V_S (1.3)$$

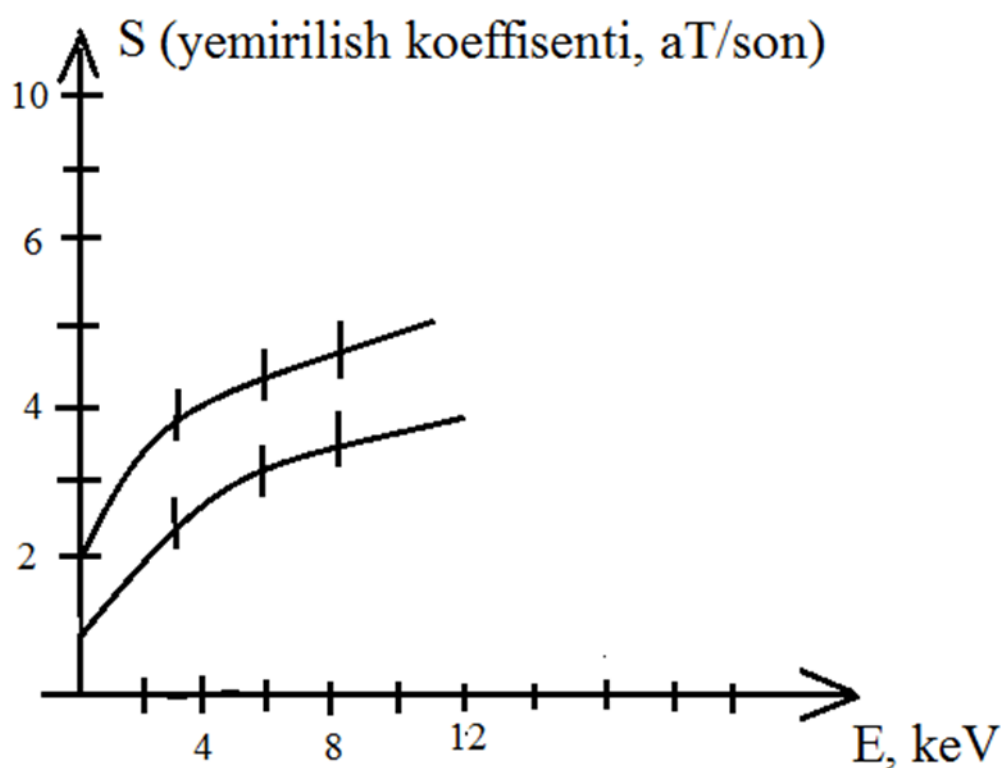
Bu ifoda dano'rinadiki, uzluksiz ion bombardirovka sharoitida, plyonka yoki qoplamalarni o'stirish uchun, v_d -plyonka yoki qoplamalarning o'sish tezligi, V_s - umumiy katod yemirilishlar doimo kattabo'lishi kelib chiqadi.

Demak, ion bombardirovka qilib xosil qilinayotgan plyonka – taglik sistemasining xossalari, plyonka – taglik materiallarining o'z xossalari bilan birga, tashqi kattaliklarga ionlarning turlariga, ionlarning energiyasiga, ionlar oqimining zichligiga plyonka yoki qoplamalarni o'stirish vaqtigahambog'liq bo'ladi.

Ion bombardirovka qilib hosil qilinayotgan plyonka – taglik sistemasining xossalari, plyonka materialining va taglik materialining katod yemirilish koeffitsientlarining kattaliklari hamda plyonka – taglik sistemasidano'y beradigan aralashma

atomlarningvagazionlariningtaqsimlanishi, joylashish tartibikabi faktorlarham muhimrolo'ynaydi.

Katodyemirilishnio'rganishmaqsadida o'tkazilgan tajribalarda qattiq jismlarning sirti hamda ionlibombardirovka qilib o'stirilgan plyonka yoki qoplamalarning katodyemirilishkoeffisientlari o'rganilgan. 1.3- rasmda , ba'zi birmetallarning materiallaridan tayyorlangan tagliklar ,sof holdaturli xil energiyali gaz ionlari bilan bombardirovka qilinib (1.3-rasm, 1 – chiziq), bu tagliklarsirtining yemirilishkoeffisientlari aniqlangan.



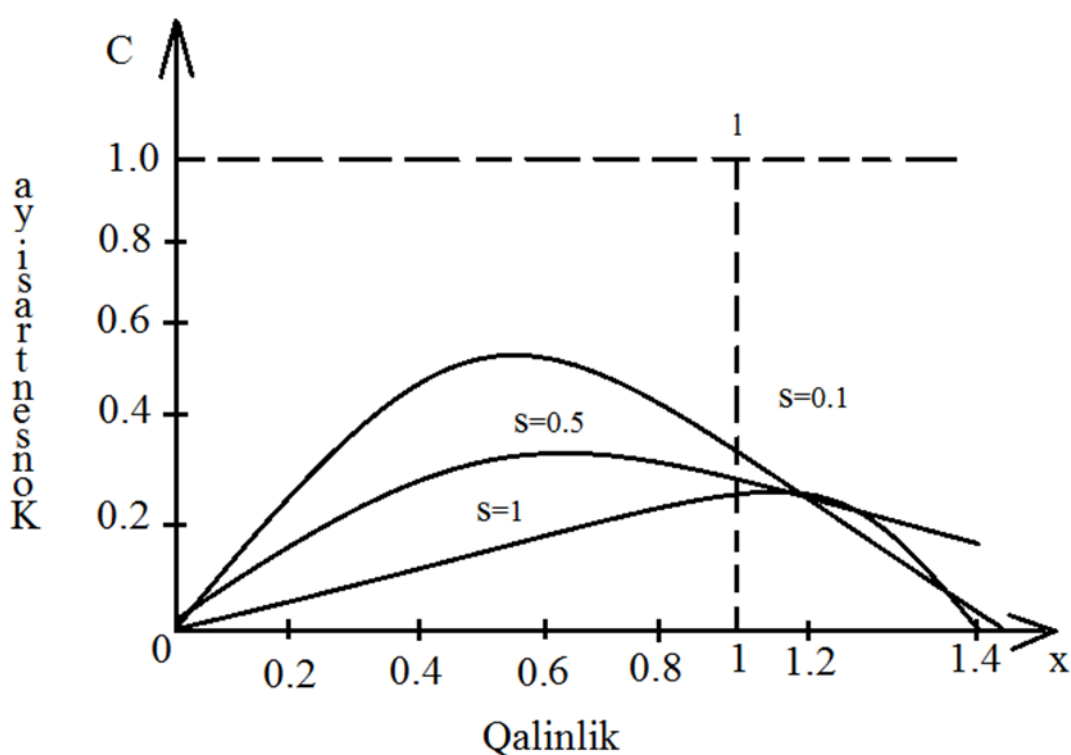
1.3 –rasm. Katodyemirilishining ionlar energiyasigabog'liqligi.

- | | |
|------------------------------|--|
| 1- | Sof holdagi |
| Ag materiallari bo'lgan hol. | |
| 2- | Ionlibombardirovka qilib o'stirilgan kumush plyonka bo'lgan hol. |

Ikkinchi holda (1.3-rasm, 2 –chiziq) ,ba'zi bir tagliklarga bir paytda turli energiyali gaz ionlari bilan bombardirovka qilib o'stirilgan kumush (Ag

)plyonkalariningkatodyemirilishkoeffisientlariningo'zgarishi keltirilgan. Rasmdan ko'rinadiki gaz ionlari bilan bir paytdabombardirovkaqilibhosil qilinganplyonka-taglik sistemasiningkatodyemirilishkoeffisientlari , bombardirovka qilinayotganionlarningenergiyasi oshishibilanortar ekan [19]. Bu esa ,ionli bombardirovka qilibhosil qilinganplyonka – taglik sistemasida aralashishro'y berishining ta'sdiqlaydi.

Ionli bombardirovkaqilib hosil qilinganplyonka – tagliksistemasida aralashmalarningtaqsimlanishini o'zgarishi1.4 –rasmdakeltirilgan



1.4 –rasm .Plyonkavataqlikda $S = \frac{D}{\lambda} * \vartheta$ –parametrning turliqiymatlaridahisoblanganaralashmalartaqsimotiningchiziqlari, l - plyonkavataqlikningajratishchegarasi.

Aralashmalarningplyonkayoki taglik materiallaridagikonsentratsiyasi , D -diffuziya kattaligi, λ_o' - ionlarningerkin yugurish yo'li uzunligivavsochilishkoeffisientlari et'iborgaolgan holda :

$$S = \frac{D}{\lambda_{ort}} * \nu(1.4)$$

kattalik bilan aniqlanadi. Bu kattalik diffuziya koeffitsientiga proporsional bo'lib, plyonka yoki qoplamalarning o'sish tezligiga teskari proporsionaldir. Rasmdan ko'rinadiki, diffuziya jarayoni kamayishi bilan, taglik materialigakirib boradigan aralashmalarning konsentratsiyasi ham kamayib boradi.

Bundan ko'rinadiki, plyonka va taglik materiallariturligahabo'lganda, aralashish jarayoniplyonka va taglik materiallarining diffuziya koeffitsientlarigakuchli bog'liq bo'ladi.

II-BOB.Tajribalaro'tkazishqurilmasiningtuzilishivaishlashprinsiplari.

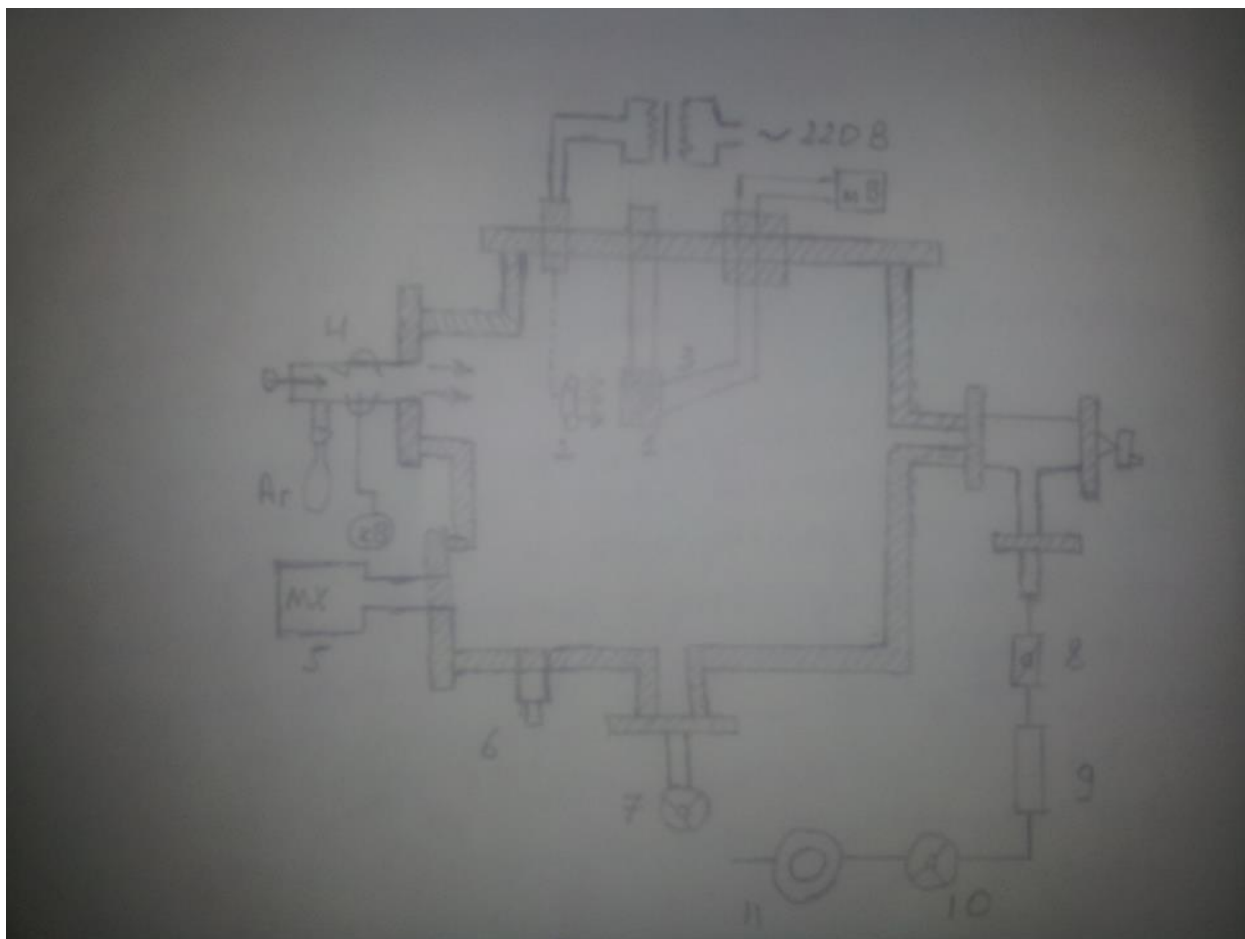
2.1 .Tajribalaro'tkazishqurilmasiningqismlarivavazifalari.

Qattiq jismlar sirtiga ion bombardirovka qilib plyonkavaqoplamalar o'rtirish uchun turli xil shakildagi qurilmalari yig'iladi. Bunday qurilmalarning asosiy qismi zanglamaydigan po'latdan yasalgan ishchi kamerasi hisoblanadi. Ishchi kamera ning turli tomonlaridan tuynuklar ochilib, ularga maxsus qopqoqlar (flansiyalar) o'rnatiladi. Qopqoqlardan tirqishlar ochiladi va butirqishlarga vakuum hosil qiluvchi nasoslar gaulangan rezina quvurlar, ionlar manbai, vakuum o'lchaydigan manometrlar, mass-spektrometr va boshqalar urji hozlari o'rnatiladi. Tajribalar o'tkazish qurilmasining ishchi kamerasi davaboshqa qismlaridan juda ko'p bir-bir gaulangan joylari bo'ladi. Bu ulanish joylari juda mahkam biriktirilgan bo'lishi va tajribalar o'tkazish jarayonida qurilmalar ichidagi vakuum (past bosim) bo'lishini ta'minlab turish lozim, ya'ni ulanish joylari tashqaridan qurilmalar ichiga havoni o'tkazmasligi kerak. Bunday tashqari qurilmalarning ishchi kamerasi va boshqa qismlarining ichki devorlari toza bo'lishi lozim [19].

Tajriba o'tkazish qurilmalarida past bosimlarni hosil qilish quyidagi tartibda amalga oshiriladi. Qurilmayig'ib bo'lingandan so'ng, dastlab 11-for vakuum nasos ishga tushiriladi va qurilma ichidagi bosim $P = 10^{-3}$ mm. simob ustuniga teng bosimgacha pasaytirilguncha havoso'riladi.

So'ngra, sovuqsuv bilan sovitilib turadigan 10- diffuzion nasos ishga tushiriladi. Qurilma ichidagi bosim $P = 10^{-5} - 10^{-7}$ mm .simob ustuniga chapa saytirilgach, 7-magnitorazryadli nasos ishga tushiriladi. Magnitorazryadli nasos yordamida qurilma ichidagi bosim $P = 10^{-8} - 10^{-9}$ mm.simob ustuniga teng bosimga erishish mumkin.

Qattiq jismlar sirtiga ion bombardirovka qilib plyonkavaqoplamalar olish qurilmalaridan birining ishchi kamerasining ko'rinishi 2.1 –rasmda keltirilgan .



2.1-rasm. Vakuum qurilmasining ishchi kamerasini sxematik ko'rinishi.

1-taglik, 2-metallarni bug'latgich, 3-taglikka mahkamlangan termopara, 4-ionlar manbayi, 5-mass-spektrometr, 6-manometrik lampa, 7-magnitorazryadli nasos, 8-yo'qorivakuum venteli, 9-qopqon-tutgich, 10-diffuzion nasos, 11-forvakuum nasos.

Ishchikameraning turli tomomlariga qopqoqlar o'rnatilgan bo'lib, qopqoqlarga metall yoki keramika sterjenlari mahkamlangan. Sterjenlardan biriga 1-qattiq jismlardan yoki metallardan tayyorlangan taglik qotirilgan.

Taglik ortida 3- termopara o'rnatilgan bo'lib, taglik temperaturasi va ionlarning zichligini o'lchash mumkin. Taglik oldida, 2- qattiq jismlarni bug'latgich

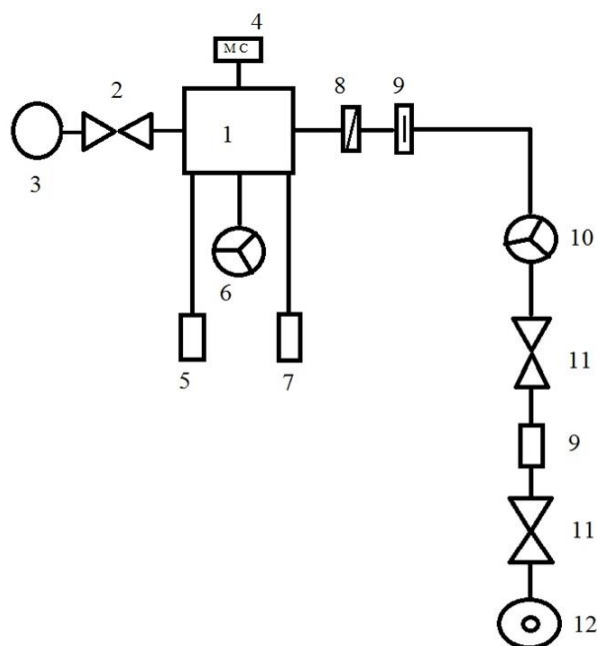
o'rnatilgan. Taglik ro'parasida gazlarni ionlashtiruvchi 4-ionlar manbayi joylashtirilgan.

Kameraladagi qoldiq gaz tarkibini nazorat qilish, 5-MX-7304 mass-spektri orqali amalga oshirilgan. Ishchikamera ichidagi bosim kamayishi, 6-manometrik lampayordamidan nazorat qilib turiladi. Sorbsion nasos sifatida 7-magnitorazryadli nasos qo'llanilgan. Ishchikameralayo'qorivakuumni ushlab turish

uchun , 8- venteli (jumrak) o'rnatilgan. Ishchi kameradagi diffuzion va forvakuum nasoslardan yog'-moy molekulari uchib kirmasligi uchun , suyuqazot bilan sovitiladigan 9-qopqon-tutkich ulangan .

Tajribalar o'tkazish qurilmasida vakuum hosil qilish uchun 10- diffuzion va 11-forvakuum nasoslari o'rnatilgan.

..Qurilmada vakuum hosil qilishning sxemasi 2.2-rasmda keltirilgan.

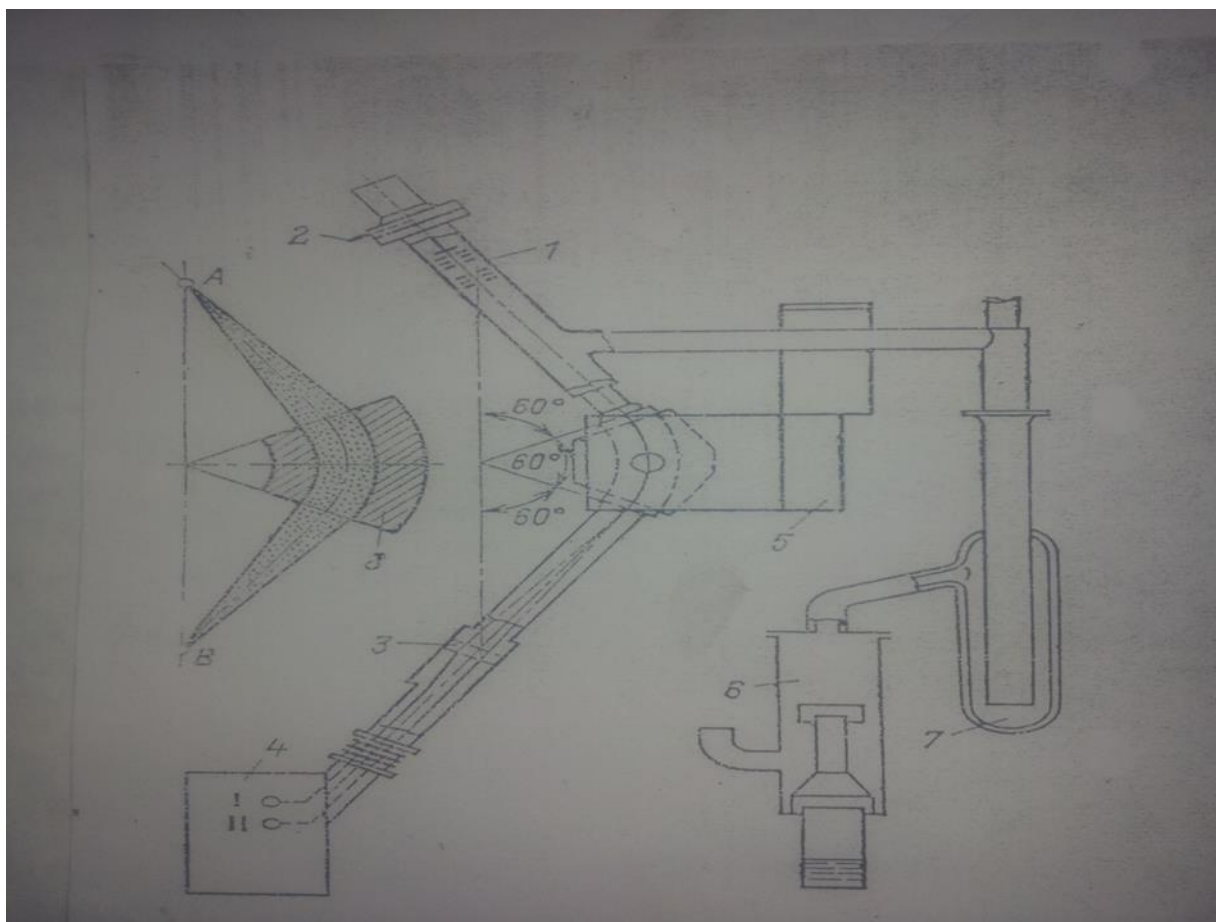


2.2-rasm. Vakuum hosil qilish sistemasining sxemasi.

1-ishchi kamera ,2- gaz o'tkazuvchi ignali moslama, 3-gaz balloni, 4- mass-spektrometr, 5-manometrik lampa, 6-magnitorazryadli nasos,7- termoparali lampa,8-yuqori vakuumventili,9-qopqon-tutkichlar,10-diffuzion nasos, 11-forvakuum ventellari, 12-forvakuum nasos.

Ishchi kamerada yuqori vakuum hosil qilingandan so'ng, mass-spektrometr ishga tushiriladi. Mass-spektrometr yordamida ishchi kamera ichidagi qoldiq gaz sostavining spektri yozib olinadi. Bu spektrlardan foydalanib, ishchi kamera ichidagi qoldiq gaz sostavi analiz qilinadi [12].

Mass-spektrometrlarning tuzilishi sxematik ko'rinishda 2.3- rasmda ko'rsatilgan.

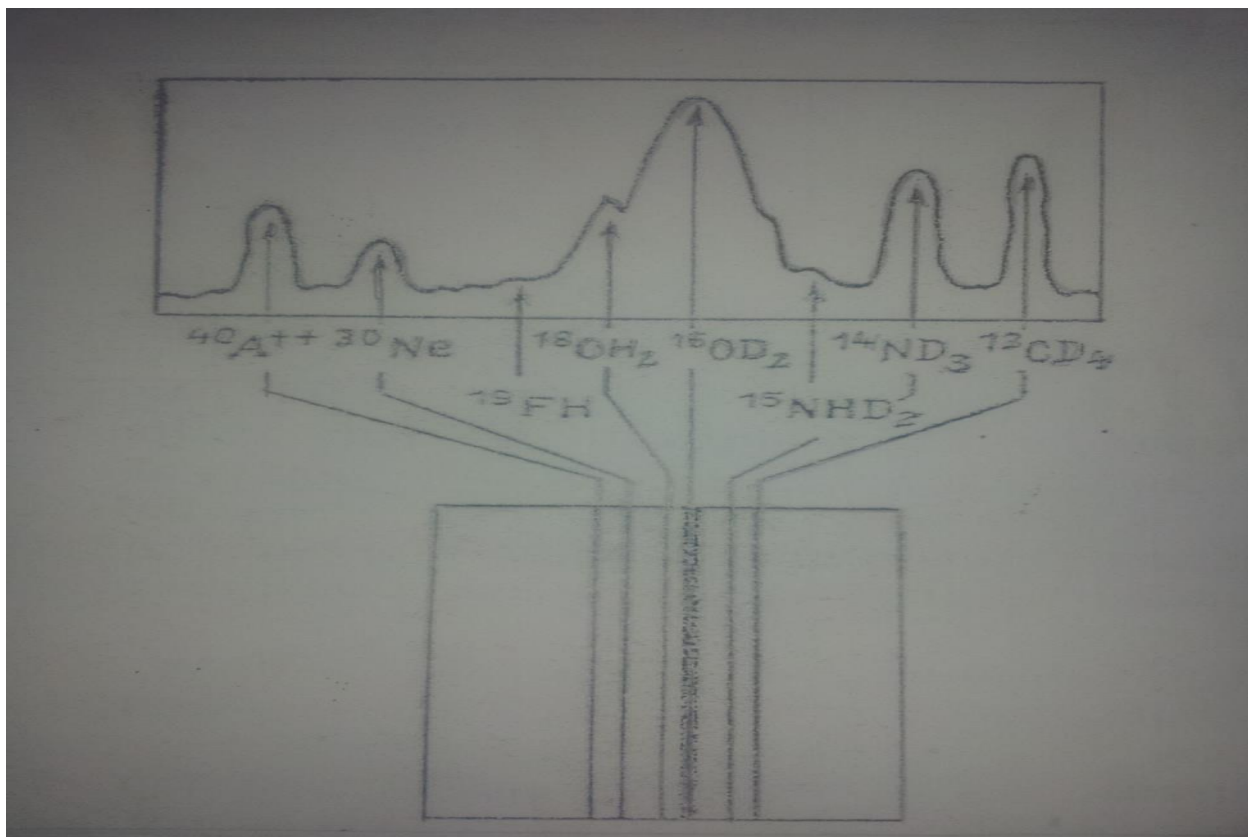


2.3-rasm. Mass-spektrometr tuzilishinisxematik ko'rinishi.

1-gaz molekulalarini ionlashtiruvchimanba, 2-gaz kiritiladigan moslama , 3-ionlar kollektori, 4-ionlarni qayd qiluvchi detektor, 5- magnit o'zak, 6-diffuzion nasos, 7- tutib qoluvchi qopqon, 8-mass-spektrometr ichida ionlarning harakat troyekttoriyasini ko'rinishi.

Mass-spektrometr quyidagicha tartibda qoldiq gazlarni, ya'ni qurilma ichidagi qoldiq gaz sostavini aniqlab beradi. Qoldiq gaz molekulalari mass-spektrometrning kirish (2) tuynigi (moslama) orqali uchib kirib, ionlashtiruvchi (1) manbaga tushadi. Ionlashgan gaz molekulalari elektr maydoni ta'sirida harakatlanib, mass-spektrometrning analizatoriga o'tib boradi. Mass-spektrometrning analizatori, magnit o'zak(5) hosil qilgan magnit maydon yordamida ionlarni massasi, zaryadi va energiyasiga qarab, bir-biridan ajralib turlicha burchaklarga og'gan holda harakatlanib, ionlar kollektoridan (3) o'tib, mass-spektrometrning detektorini turli nuqtalariga kelib tushadi. Detektor kelib tushgan bu ionlar hosil qilgan tokga mos

keladigan elektr signallarini hosil qilib, bu signallarni grafik chizuvchi potensimetrga uzatadi. Potensimetr bu signallarga mos keluvchi grafiklarni, ya'ni spektrlarni chizadi. Bunday spektrlardan biri 2.4-rasmda keltirilgan.



2.4-rasm. Mass-spektrometr yordamida olingan aralashmalar tarkibining spektri.

Spektrlarning baland cho'qqilari ishchi kamerada mavjud bo'lgan qoldiq gazlarning miqdorini aniqlash imkonini beradi. Vakuum hosil qilishda, bu qoldiq gazlar miqdori nihoyatda kamaytirilishi lozim. Chunki, qoldiq gazlar tarkibida, aktiv gazlar kislorod, uglerod, vodorod, azot va yog'lar, tuzlar, ishqorlar hamda kislotalarning molekullari mavjud bo'lishi mumkin. Bular tajribalar o'tkazishda tozalikni buzadi.

Bug'latgich materiali qiyin eriydigan metallardan vol'fram, moliden, tantal kabilardan turli ko'rinishda tayyorlanadi. Bunday bug'latgichlardan ba'zi birlarining ko'rinishi 2.5-rasmda keltirilgan.

2.2.Qattiq jismlar sirtida plyonka va qoplamalar o'stirishusullari.

Qattiq jismlar sirtida plyonka yoki qoplamalar o'stirishdan asosiy maqsad , fan va

texnikada qo'llaniladigan asbob-uskunalarda , jihozlarda fizikaviy, kimyoviy ,mexanikaviy, optikaviy,elektr va magnit xususiyatlari yaxshilangan sifatli materiallar olishdan iboratdir.

Bundantashqari ,qattiq jismlar sirtida plyonka yoki qoplamalar o'stirish shu qattiq jismlarning sirti va sirtiga yaqin sohalarfikimyoviy reaksiyalarga kirishishdan saqllovchi himoya qatlamini hosil qilish ham muhimdir.

Qattiq jismlar sirtida plyonka yoki qoplamalar o'stirishning asosiy usullariga :

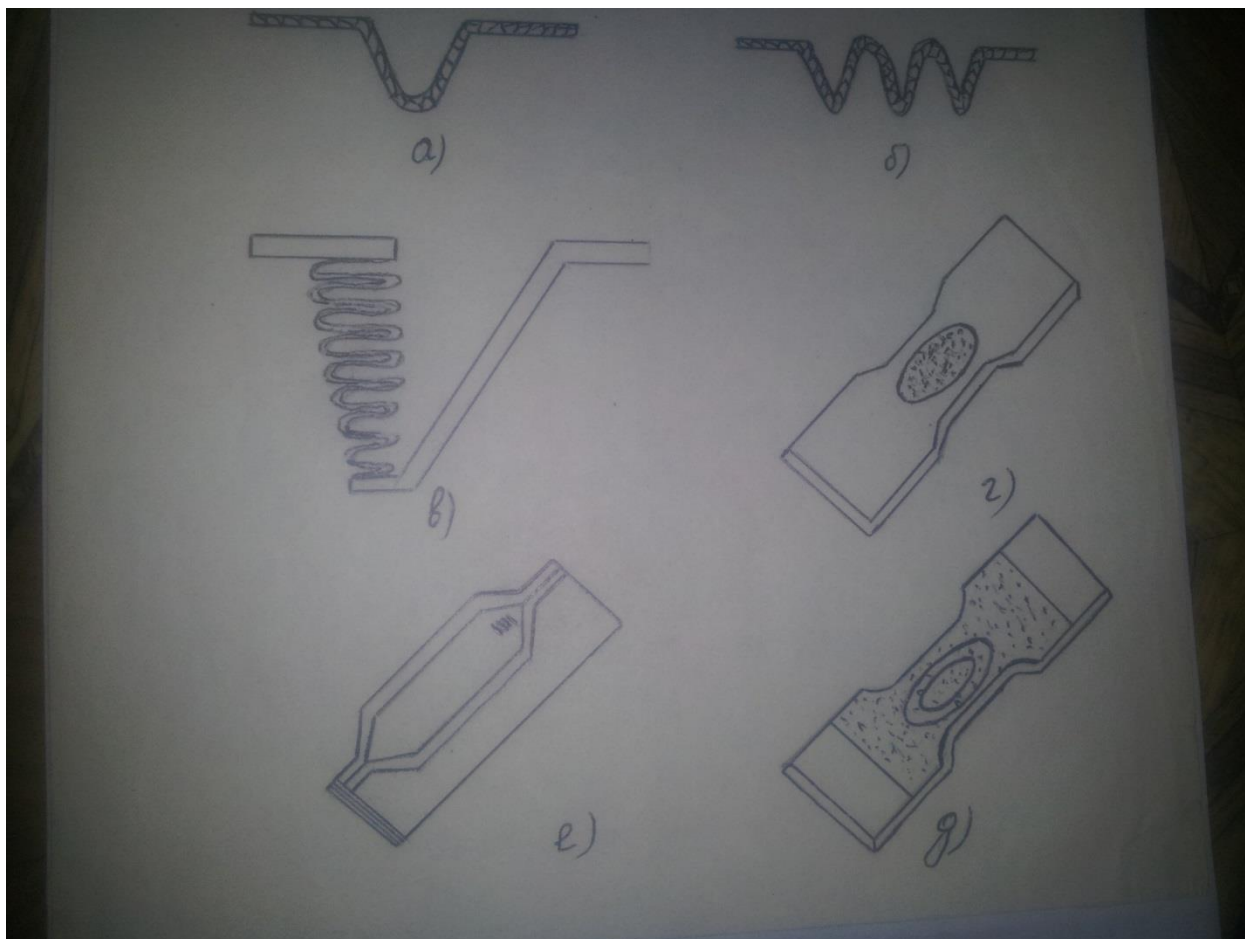
- 1)Elektroliz usuli ;
- 2)Termik (qizdirish orqali)bug'latish usuli ;
- 3)Katod yemirilish usullari kiradi.

Qattiq jismlardan tayyorlangan taglik materiali sirtida o'stirilishi kerak

bo'lgan plyonka yoki qoplamalar materiallari, ma'lum bir fizikaviy-kimyoviy xossalriga asoslangan holda tanlab olinadi. Chunki, har qanday qattiq jism sirtiga boshqa qattiq jismdan plyonka yoki qoplamalar o'stirib bo'lmaydi. Sababi, bir qattiq jism sirtiga, boshqa qattiq jism materialini plyonka yoki qoplama qilib o'stirilishida, ular bir-biri bilan yopishmaydi, mustahkam bog'lanish yuzaga kelmaydi.

Plyonka yoki qoplamalar o'stirishda, termik bug'latish va katod yemirilishusullari qo'llanilganda, havosi so'rib olingan qurilmalardan foydalanish yuqori samara beradi. Chunki, havo tarkibida aktiv gazlar kislorod, uglerod, vodorod va boshqa molekulyar birikmalar bor. Bundan tashqari, havo tarkibida yog'lar, tuzlar, ishqorlar va kislotalarning molekulalari mavjud bo'lishi mumkin. Bu molekulalar, pluyonka yoki qoplamalar o'stirish jarayonida, bug'latilgan yoki katod yemirilgan atomlarga ilakishib, birikib, plyonka yoki qoplamalar ichiga aralashishi mumkin. Natijada, plyonka-taglik sistemasida, kimyoviy reaksiyalar ro'y berish oqibatida, bu sistemaning sifati buziladi, plyonka-taglik sistemasining xususiyatlarini o'zgartirib yuboradi.

Vakuum hosil qilingan qurilmalarda, termik bug'latish orqali plyonka yoki qoplamalar o'stirishda bug'latkich materiallariga alohida e'tibor beriladi. Bug'latkich materiallari qiyin eriydigan metallardan vol'fram, molibden, tantal yoki bir necha xil qotishmalardan maqsadga qarab turli ko'rinishlarda tayyorlanadi. Bug'latkichlarning turli xil ko'rinishda tayyorlangan tasvirlari 2.5-rasmda keltirilgan.

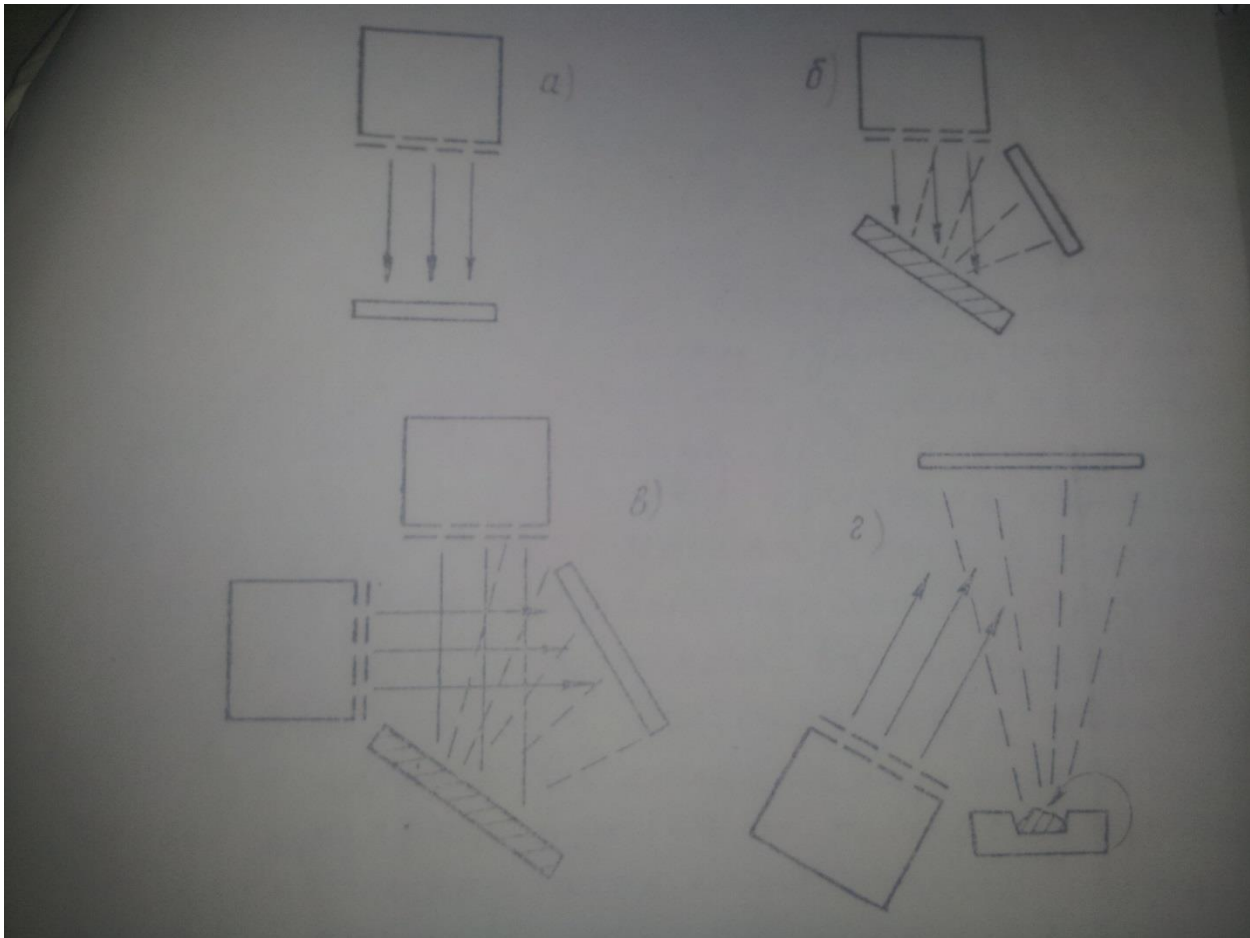


2.5-rasm. Metallardan yasalgan bug'latgichturlari.

a) xalqa ko'rinishida b) spiral ko'rinishida v) simli turba ko'rinishida g) o'yilgan folga ko'rinishida d) alyuminiy oksid ko'rinishida e) kanoye ko'rinishida.

Bug'latkichlar boshqariladigan elektr sxemasi yordamida elektr toki o'tkazish orqali qizdiriladi. Elektr tokini oshirish yoki kamaytirish natijasida bug'latgichning temperaturasi o'zgartirish mumkin. Shu sababli, plyonka yoki qoplamalarning materiallarini pastroq temperaturada sekin yoki yuqori temperaturada tez bug'lantirish imkoniyati bo'ladi. Bu esa, bug'latkich temperaturasi boshqarish orqali, yupqa plyonka yoki yetarlicha qalin qoplamalar o'stirish mumkin bo'ladi.

Qattiq jismlar sirtida plyonka yoki qoplamalar oʻstirishning yana bir qancha usullari bor. Bunday usullarda qoʻllaniladigan moslarning yana baʼzi birlari 2.6-rasmda keltirilgan.



2.6 –rasm. Metall tagliklar sirtiga bir paytda ionli bombardirovka qilib plyonka va qoplamalar oʻstirishninig sxematik tasviri.

- a) oʻstirilgan plyonka sirtini ionli bombardirovka qilish , b) katod yemirish orqali plyonka oʻstirish , v) katod yemirish va bir paytda ionli bombardirovka qilish
- g) termik bugʻlatgich orqali plyonka oʻstirish va ionli bombardirovka qilish.

Bu usullar ham, vakuum hosil qilingan qurilmalarda amalga oshiriladi.

Bu sxemaning (a) holida, metall taglik yoki shu taglikka oʻstirilgan metall plyonka va qoplamalar yuqori energiyali ionlar bilan bombardirovka qilish holi tasvirlangan. Bunday hollarda, taglik sirtiga kelib urilgan ionlar, taglik ichiga kirib boradi va kristall panjaradagi atomlar bilan toʻqnashishlar hisobiga oʻz energiyasini yoʻqotib, kristall panjara tugunlarida yoki tugunlar aro oraliqda joylashib, kristall panjaralar ichida aralashmalar hosil qiladi, yaʼni ionlar implantatsiyasi yuz beradi [].

Taglik sirtiga plyonka va qoplamalar o'stirilgan holda, bombardirofka qilinayotgan ionlar plyonka va qoplamalar sirtiga kelib uriladi. Buning natijasida, plyonka va qoplamalar atomlari taglik ichiga qarab, ionlar bilan birga kirib boradi va aralashmalarni paydo bo'lishiga olib keladi, ya'ni zarba berish orqali plyonka va qoplama atomlar implantatsiya qilinadi.

Chizmaning (b) holida, metall tagliklar sirtiga, boshqa bir metall materialini ionlar bilan bombardirofka qilib, yemirib (katod yemirilish) plyonka va qoplamalar o'stirish sxemasi keltirilgan. Bunda, ionlar metall sirtiga kelib urilib, undan atomlarni urib chiqaradi bu urib chiqarilgan atomlar taglik sirtiga kelib joylashib qoladi, ya'ni taglik sirtida plyonka qoplamalar o'sadi.

Chizmaning (v) holida, metall materialini katod yemirib, taglik sirtida plyonka va qoplamalar o'stirish jarayonida, bir paytda ionlar bilan bombardirofka qilish usulining sxemasi tasvirlangan. Bu holda ionlar bombardirofkasini qo'llashda uchta holni amalga oshirish mumkin. Birinchisi, taglik sirtiga plyonka va qoplamalar o'stirishni boshlamasdan taglik sirtini o'zini ionlar bilan bombardirofka qilish. Ikkinchisi, taglik sirtiga katod yemirilish orqali plyonka va qoplamalar o'stirish bilan bir paytda ionlar bombardirofkasini amalga oshirish. Uchinchisi, katod yemirish orqali taglik sirtiga plyonka va qoplamalar o'stirib bo'lgandan so'ng ionlar bilan bombardirofka qilish.

Bu usul juda ham universal bo'lib, plyonka va qoplamalarni ionlar bilan bombardirofka qilib olishda keng imkoniyatlar beradi.

Chizmaning (g) holida, metall materialini termik bug'latish orqali taglik sirtida plyonka va qoplamalar o'stirish va bir paytda ionlar bilan bombardirofka qilish usullarining sxemasi keltirilgan. Bunda metall materiali yuqori temperaturalargacha qizdirilib, bug'lantiriladi. Bug'lantirilgan metall atomlari taglik sirtiga kondensatsiyalanadi, ya'ni o'tirib qoladi. Metall materialini termik bug'latish boshlanishi bilan bir paytda ionlar bombardirofkasi boshlanadi. Bu usulda ham, katod yemirish yo'li bilan plyonka va qoplamalar olishda ionlar bombardirofkasining qo'llashni uchta holini amalga oshirish mumkin.

Katod yemirish yoki termik bug'latish usullari bilan plyonka va qoplamalar o'stirish va bir paytda ionlar bilan bombardirovka qilishning bir qancha afzalliklari bor. Birinchidan, ionlar energiyasini keng soxada o'zgartirib qo'llash mumkin, ya'ni ionlar energiyasini $E=100-10000$ eV oralig'ida o'zgartirish mumkin. Ikkinchisi, j-ionlar tok jichligining qiymatlarini juda katta bo'lishini talab qilinmaydi. Uchinchisi, f-ionlar dozasini ixtiyoriy qiymatlarga o'zgartirish imkoniyati bo'ladi [1].

Shuning uchun ham, so'nggi yillarda metallar sirti va sirtiga yaqin sohalarga ishlov berishda bu ikkala usul keng qo'llanilib, yaxshi natijalarga erishilmoqda.

2.3 Qattiq jismlar sirti va sirtiga yaqin bo'lgan sohalarni tadqiqot qilish usullari.

Qattiq jismlarni va metallarni asosiy xossalarini, ularning tuzilishi (strukturasi) va tarkibi (sostavi) belgilaydi.

Qattiq jismlarning yoki metallarni asosiy tuzilishini buzmasdan, faqat tarkibini o'zgartirish usullari, yo'qorida ta'kidlanganidek ionlar implantatsiyasi va bombardirovkasi hisoblanadi. Bu ikki usuldan foydalanib, har qanday qattiq jismlardan tayyorlangan tagliklarga, boshqa moddalarning atom yoki molekulalarini ionlashtirib, implantatsiya yoki bombardirovka qilish orqali kiritish mumkin. E'tiborli tomoni shundaki, bir-biri bilan keskin farq qiladigan qattiq jismlarning ionlarini ham, bir-biriga kiritish, ya'ni aralashtirish orqali, qattiq qotishmalar hosil qilish mumkin. Bu usullarni samaradorligini oshirish uchun, bir qattiq jism materiali sirtiga, boshqa qattiq jism materialidan, termik bug'latish orqali, plyonka yoki qoplamalar o'stirishdan foydalaniladi. Bir paytda ionlar bilan bombardirovka qilish va plyonka yoki qoplamalar o'stirish, bir qattiq jismni ikkinchisiga aralashtirishda va qattiq qotishmalarni hosil qilishda yanada ko'proq samara beradi [1].

Bu usulda, plyonka- taglik sistemasi yuzaga keladi. Aralashish natijasida, bu ikki sistemada juda ko'p fizikaviy-kimyoviy o'zgarishlar ro'y beradi.

Bu o'zgarishlarga, ionlarning va bug'latilgan plyonka yoki qoplama materiali atomlarining, taglik materialining kristall panjaralaridagi atomlar bilan ketma-ket to'qnashishlari natijasida, taglik materialining kristall panjaralarida defektlar va

vokansiyalarning yuzaga kelishi; bu vakansiyalarga ionlarni va plyonka yoki qoplama materialning atomlarini difuzyalanib kirib borishi; taglik materialining kristall panjaralarida, aralashma tufayli, kuchlanishlar va zo'riqishlarni yuzaga kelishi; ionli bombardirovka natijasida plyonka yoki qoplama va taglik materiallarining katodyemirilishlari yuzaga kelishi; katod yemirilishlar tufayli, taglik materiallarining atomlarini plyonka yoki qoplamalar materiallarining, ionlar bilan birgalikda, kristall panjaralarida joylashib qolishi; plyonka yoki qoplama taglik materiallarining atomlarining aralashishi; plyonka-taglik sistemasida mikro relefining o'zgarishi; bu sistemada aralashish taqsimotini yuzaga kelishi; plyonka-taglik sistemasida atomlar tarkibining o'zgarishi; bu sistemada strukturaviy- fazaviy o'zgarishlarni misol qilib keltirish mumkin.

Bu o'zgarishlarni aniqlash va tushuntirish uchun, plyonka-taglik sistemasining kristall panjaralariga kirib borgan aralashma zarralarining taqsimotini va energetik holatlarini tadqiqot qilish kerak bo'ladi. Bunday tadqiqotlar ionli-nurli diagnostika metodlari yordamida amalga oshiriladi. []

Plyonka –taglik sistemasiga, qalinlik bo'yicha kirib borgan ionlarning, atomlari yoki molekulalarning taqsimotini o'rganishning ionli-nurli diagnostika yo'nalishida Oje-elektronlar spektrometryasi, rentgen fotoelektronlar spektrometryasi, ikkilamchi elektronlar emissiyasi, ikkilamchi ionlar mass-spektrometryasi va termodesorbsiya spektrlarini olish kabi metodlar yordamida amalga oshiriladi [].

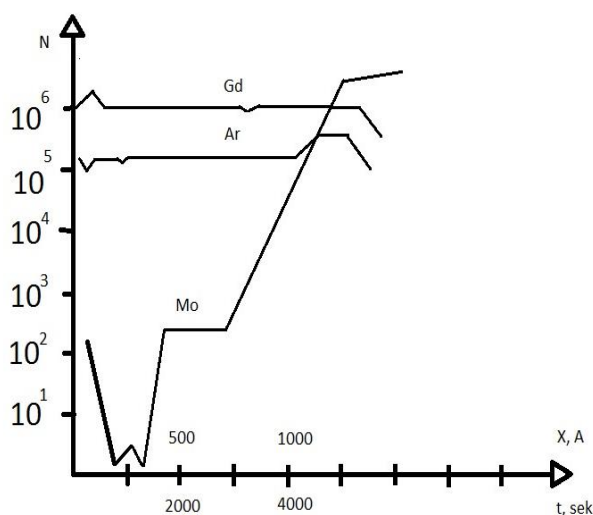
Har bir plyonka –taglik sistemasi, shu usullarda kamida 3ta usul bilan tadqiqot qilinadi. Olingan natijalar bir-biri bilan solishtiriladi. Shu asosida olingan natijalar asosida xulosalar chiqariladi.

Shunday tadqiqotlardan biri, molibden materialidan tayyorlangan tagliklarga bir paytda, inert gaz-argon gazining ionlari bilan bombardirovka qilib o'stirilgan, nodir yer metalli-gadolinii plyonkasida ikkilamchi ionlar mass-spektrometriyasi metodida o'tkazilgan [].

Tayyorlangan gadolinii-argon-molibden namunasi, maxsus qurilmaga o'rnatiladi. Bu qurilmada yuqori vakuum hosil qilinadi. So'ngra, bu

namunadanma'lum bir burchak ostida , yuqori energiyali ($E = 5 - 6\text{K eV}$) birlamchi O_2 – kislorod ionlari bilan bombardirovka qilib katod yemirilishi yuzaga keltiriladi. Bunda birlamchi ionlar , plyonka –taglik sistemasini atomlarini ionlashtirilgan holda urib chiqaradi. Bu ikklamchi ionlar bo'ladi. Bu ikklamchi ionlar magnit maydoni bilan fokusirovka qilinadi, ya'ni bu ionlar ingichka diametrli oqim ko'rinishida harakatlanib ,mass-spektrometrning qayd qilish moslamasiga qarab harakat qiladi. Harakat davomida o'zaro perpendukulyar bo'lgan elektr va magnit maydonlarda ionlarning $\frac{e}{m}$ –zaryadlarning massalariganisbati bo'yicha serparatsiya qiladi, ya'ni ajratadi. Serparatsiya qilingan ionlar qayd qilivchi detektorga o'tadi. Detektor bu ionlarni elektr signallariga ajratadi va o'zi yozuvchi potensimetrga uzatadi. Potensimetr elektr signallarini o'zgarishiga mos grafigini chizadi.

Katod yemirilish plyonka materiliadan boshlanib , taglik materialining ma'lumqalinligicha davom etadi. Bu esa plyonka –taglik sistemasidagi aralshma zarralarni qalinlik bo'yicha taqsimotini aniqlash imkonini beradi [] .



Bu natija 1-rasmda keltirilg

1-rasm. Ikkilamchi ionlar tokning vaqtga bog'liqligi [].

N-ikkilamchi ionlar intensivligi;

t-vaqt; X-ikkilamchi ionlar uchib chiqqan chuqurlik.

Bundamolibdentaglikgaargon gazi ionlari bilanbir paytda bombardirovka qilib o'stirilgan nodir metall-gadoliniy plyonkasida argon gazining taqsimoti , ikklamchi ionlar mass-spektrometriyasi metodi yordamida olingan natijalar keltirilgan. Bu grafikdan ko'rinadiki ,argon gazining gadoliniy plyonkasida qalinlik bo'yicha taqsimoti,plyonka-taglik chegarasida biroz ko'proq , qolgan qalinliklarda bir tekis bo'lib , taglikgao'tishi bilan tez kamayishi egri chiziqda kuzatiladi. Plyonka –taglik sistemasiga kiritilgan aralashmalarning bunday taqsimot shakli hisoblash yo'li bilan olingan [16] natijalarga mos tushadi. Bu natijalar plyonka o'stirish davomida ,bir paytda ionli bombardirovka qilish natijasida taglik atomlarining plyonka materialiga o'tishi,plyonka atomlarining esa taglik materialiga o'tishi, ya'ni ionli bombardirovka sababli , plyonka va taglik materiallarining aralashishi yuz berishi tasdiqlangan. Demak , ionli bombardirovka ta'sirida , plyonka va taglik materiallariningkristall panjaralarida ro'y bergan aralashish natijasida , qattiq qotishmalar hosil bo'ladi.

2.4.O'lchashxatoliklari.

Tajribalaro'tkazishdajudako'po'lchov asbob –uskunalaridan foydalanishga to'g'ri keldi.O'z-o'zidan ravshanki , bu o'lchov asboblari har bir kattalikni o'lchashda har doim ma'lum bir kamchiliklarga yo'l qo'yadi.

Fizik kattaliklarni o'lchashyoki aniqlashxatoilgi qancha kichik bo'lsa ,olingan natijalar shuncha aniq bo'ladi.Shuning uchun , o'lchash xatoliklarini aniqlash yoki oldindan bilish va hisobga olish muhim ahamiyatga ega bo'ladi.

Fizik kattaliklarni o'lchash xatoliklari ikkiga bo'linadi :

- a) Sistematik xatoliklar
- b) Tasodifiy xatoliklar[].

Agar kattaliklarni o'lchashlarda sistematik xatoliklar asosiy bo'lsa , sistematik xatoliklar kattaligi , tasodifiy xatoliklar kattaligidan ortiq bo'lsa , o'lchashlarni bir marta o'tkazsa ham bo'ladi. Aksincha bo'lsa ,o'lchashlarni bir nechamarta takrorlash kerak bo'ladi.

Bu ishda kattaliklarni o'lchashda tasodifiy xatoliklarni bartaraf qilish maqsadida , har bir tajribalar bir necha marta o'tkaziladi .Vakuum hosil qilinganda, past

bosimlarni o'lchashda 15 %-foiz xatolikka yo'l qo'yiladi. Bombardirovka qiluvchi gaz ionlarining hosil qilgan tokni o'lchashlarda ~1.5 %foiz sistematik xatoliklarga yo'l qo'yilgan.

Metall plyonka yoki qoplamalar o'stirish jarayonida , ularning qalinligini aniqlashda yo'l qo'yilgan xatoliklar 5 % - 8 % foizni tashkil qiladi. Plyonka yoki qoplamalarning korrozion sinovlarida , potensiometrning potensialini saqlab turishdagi xatoligi ~ ± 3 mV qiymatdan oshmagan.

Termodesorbsiya –qizdirish natijasida plyonka –taglik sistemasidan zarralarni ajralib chiqishni o'lchash tajribalarida , umumiy sistematik xatoliklar ~ 20 % foizga yaqin bo'ladi. Tagliklarni qizdirganda , temperaturalarini termopara yordamida o'lchashda yo'l qo'yilgan sistematik xatoliklar 2 % -foizni tashkil qiladi.

Plyonka yoki qoplamalarning tagliklarga adgeziyasini o'lchash sinovlarida yo'l qo'yilgan xatoliklar ~ 5 % foizdan oshmagan . Plyonka yoki qoplamalarni ishqalanishga chidamliligini sinashda yo'l qo'yilgan xatoliklar ~ 2 % foizni tashkil qilgan .

III- BOB.Qattiq jismlar sirti va sirtiga yaqin bo'lgan sohalarga aralashmalarning kirib borishi natijasida xossalarini o'zgarishi.

3.1.Ionli bombardirovka ta'sirida qattiq jismlarning fizikaviy-kimyoviy xossalarini o'zgarishi.

Qattiq jismlarni sirtga ,bir paytdaturli xil moddalarning ionlari bilan bombardirovka qilib, termik bug'latish orqali boshqa qattiq jismlar materiallaridan plyonka yoki qoplamalar o'stirish orqali olingan qattiq qotishmali materiallarning fizikaviy, kimyoviy, mexanikaviy va boshqa xossalarini o'zgarishi keng ko'lamda o'rganilmoqda [] . Bunday o'zgarishlarni o'rganish , metallarda, dielektrlarda, yarim o'tkazgichlarda , polimerlardava keramikalarda turli xil usullar bilan tadqiqot qilinmoqda.Ionli bombardirovka natijasida , plyonka –taglik sistemasining fizikaviy xossalaridan ,ishqalanishga chidamliligi , mikroqattiqligi, plyonka materiallining taglik materialiga yopishqoqligi (adgeziyasi) , kimyoviy xossalaridan zanglashga (korroziyaga) va boshqa reaksiyalarga chidamliligi o'zgarar ekan. Bundan tashqari plyonka –taglik sistemasitok o'tkazib yoki boshqa usulda qizdirilganda bu sistemadan ajralib chiquvchi zarralarning ushlanib qolish va ajralib chiqish temperaturasining chegaraviy qiymatlari ham o'zgarar ekan [].

Ushbu bitiruv malakaviy ishda , mis (Cu) va molibden (Mo) materiallaridan tayyorlangan tagliklarga , argongazi (Ar) ionlari bilan bir paytda bombardirovka qilib, termik bug'latish yo'li bilan o'stirilgankumush(Ag) materialining plyonka va qoplamalariniadgezion (yopishqoqlik) mustahkamligini o'zgarishi o'rganilgan . Bunda adgezion mustahkamliknio'zgarishi, taqqoslash orqali olib borilgan.Taqqoslashda ionlar bilan bombardirovka qilib o'stirilgan va bombardirovka qilib o'stirilgan va bombardirovka qilmasdan o'stirilgan plyonka yoki qoplamalarning adgeziyasinig o'zgarishi o'lchangan. Plyonkayoki qoplamalar o'stirishning har ikki holida ham , ishchi kameradagi vakuum darajasi bir xil bo'lgan . Bundan tashqari,har ikki holda ham, plyonka yoki qoplamalarning taglik sirtida o'sish tezligi bir xil bo'lgan.

Adgezion mustahkamlikni sinash bo'yicha o'tkazilgan tajribalar ko'rsatadiki,argon gazi ionlari bilan bombardirovka qilib o'stirilgan kumush (Ag)

materialining mis (Cu) hamda molibden(Mo) materialidan tayyorlangan tagliklarga adgeziyasi , bombardirovka qilmasdan o'stirilgan plyonka yoki qoplamalarning adgeziyasiga qaraganda , keskin ortgan.

Bombardirovka qilinayotgan ionlarning energiyasi $E = 600$ ev , dozasi $\Phi = 4.1 \cdot 10^{15} - 1.2 \cdot 10^{16}$ ion / sm^2 bo'lganda , mis (Cu) va molibden (Mo) materiallaridan tayyorlangan tagliklarda o'stirilgan kumush(Ag) plyonkasi va qoplamasining adgeziyasi o'n baravar ortgan.

Plyonka va qoplamalarning mexanikaviy xossalaridan biri ishqalanishga chidamliligi hisoblanadi. Ishqalanishda yemirilish real jarayonlarda ro'y beradigan, amaliy jihatdan qo'llaniladigan har bir asbob –uskunalar yoki ehtiyot qismlar duchor bo'ladigan kundalik prosess hisoblanadi. Ishqalanishda yemirilishni kamaytrish , asbob-uskunalarni, ehtiyot qismlarni ishlash muddatini oshiradi, sifat jihatidan buzilishni kamaytiradi. Amaliy jihatdan qo'llaniladigan hamma asbob –uskunalarni va ulardagi ehtoyot qismlarni yemirilishini kamaytirish yoki ishqalanishda yemirilishga qarshi xususiyatlarni oshirish muhim masala hisoblanadi.

Shuning uchun, ushbu ishda mis (Cu) va molibden (Mo) materiallaridan tayyorlangan tagliklarga argon gazi ionlari bilan bir paytda bombardirovka qilib o'stirilgan kumush (Ag) plyonka va qoplamalarining ishqalanishga chidamliligi o'rganilgan.

Ishqalanishga chidamlilikni xarakterlovchi kattaliklardan asosiysi ishqalanish koeffisienti hisoblanadi. Ishqalanish koeffisientini o'zgarishni o'rganish maqsadida mis va molibden materialidan tayyorlangan tagliklarga energiyasi $E = 100 - 600$ ev, dozasi $\Phi = 1 \cdot 10^{16}$ ion/ sm^2 bo'lgan argon gazi ionlari bilan bir paytda bombardirovka qilib , termik bug'latish yo'li bilan kumush plyonka va qoplamalar o'stiriladi. Bu plyoka va qoplamalarning ishqalanish koeffisientini o'zgarishni solishtirish maqsadida , bir xil vakuum sharoitida bir xil tezlikda va bir xil qalinlikda ionlar bilan bombardirovka qilmasdan plyonka va qoplamalar tayyorlandi. Tajribalar ishqalanishga chidamlilikni sinash qurilmasida amalga oshirildi. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, argon gazi ionlari bilan bombardirovka qilib o'stirilgan plyonka va qoplamalarning ishqalanishga chidamliligi, ionlar bilan bombardirovka qilmasdan

o'stirilgan plyonka va qoplamalarning ishqalanishga chidamliligiga qaragandabir necha marta oshar ekan. Shuni takidlash lozimki, molibden materialidan tayyorlangan tagliklarda ionlar bilan bombardirovka qilib o'stirilgan kumush materialining plyonkava qoplamalarini ishqalanishga chidamliligi mis materialidan tayyorlangan tagliklarda o'stirilgan kumush plyonka va qoplamalarining ishqalanishga chidamliligidan yuqori bo'lar ekan.

Qattiq jismlarning , xususan metallarning asosiy xossalaridan yana biri korroziyaga (zanglashga) bardoshliligi hisoblanadi. Qattiq jismlar sirti doimo atrof – muhitdagi turli xil gaz molekulalari bilan ta'sirlashib turadi. Havo tarkibda suv ,ishqor, tuz, va kislotalarning molekulalari mavjud bo'lib ,ular qattiq jismlar sirti bilan to'qnashishida diffuziya hodisasiga asosan , sirtga yaqin sohalarga kirib boradi va korroziyani keltirib chiqazadi. Natijada , qattiq jismlarning sirti va sirtiga yaqin sohalari yemirilib , o'z xossalarini yomonlashtiradi,buziladi yoki ishdan chiqadi. Korroziya jarayonini to'xtatishyoki bu jarayonni sekinlashtirish muhim masala hisoblanadi.

Shuninguchun , bu ishda ba'zi bir qattiq jismlarda korroziyani o'zgarishiga ionli bombardirovkaning ta'siri o'rganilgan. Taglik material sifatida kremniy (Si) va po'latning 3*13 va 12*18 H 10 T materiallari olingan.

Bu taglik materiallariga nodir yer metallaridan biri, disproziymaterialidan termik bug'latish va bir paytida argon gazi ionlari bilan bombardirovka qilib plyonka va qoplamalar o'stirilgan. Bunda ionlar energiyasi $E = 100 - 600 \text{ eV}$ oralig'ida , dozasi esa $\Phi = (6 - 11)10^{15} \frac{\text{Ion}}{\text{cm}^2}$ qiymatida olingan. Tajribalarda plyonka va qoplamalarning bug'latish tezligi o'zgartirib olingan. Bug'latgichga berilayotgan elektr tokining quvvati $N=18-39 \frac{\text{Vatt}}{\text{cm}^2}$ qiymatlarigacha o'zgartirib borilgan. Bug'latgichga berilayotgan elektr tokining quvvati oshirilishi bilan plyonka va qoplama materiallarining bug'lanish tezligi ortadi. Natijada, taglik sirtida o'sayotgan plyonka yoki qoplamaning o'sish tezligi ortadi. Bir xil energiya va dozadagi ionlar bilan bombardirovka qilib, har xil tezlikda o'sgan plyonka va qoplamalar hosil qilinadi. Bunda taglik sirtiga tushayotgan ionlar soni va plyonka yoki qoplamaa

materialining atomlari soni har xil bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, taglikga joylashayotgan ionlar va plyonka yoki qoplama atomlari sonining nisbati har xil bo'ladi. Plyonka va qoplamalarning korroziyaga chidamliligini o'zgarishi ionlar bilan bombardirofka qilinib o'stirilgan va ionlar bilan bombardirofka qilinmasdan o'stirilgan plyonka va qoplamalarda solishtirib ko'rildi.

Korroziyaga chidamlilik potensiodinamik va potensiostatistik usullarda amalga oshirildi.

Tajribalardan olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, argon gazi ionlari bilan bir paytda bombardirofka qilib o'stirilgan plyonka va qoplamalarning korroziyaga chidamliligi ionlar bilan bombardirofka qilmasdan o'stirilgan plyonka va qoplamalarning korroziyaga chidamliligiga qaraganda ortar ekan. Bunda tagliklarga o'stirilayotgan plyonka yoki qoplamalarning o'sish tezligi sekin bo'lganda, ya'ni bombardirofka qilinayotgan ionlar soni taglikka joylashayotgan plyonka va qoplama materialining atomlar soniga nisbati bir- biriga yaqin bo'lganda plyonka yoki qoplamalarning korroziyaga chidamlilik xarakteristikalarini yaxshilana ekan.

Ma'lumki, qattiq jismlarni chiziqli qonuniyat asosida qizdirilsa, ularning sirti va sirtiga yaqin sohalarga diffuziya natijasida kirib qolgan har xil gaz molekulalari ajralib chiqadi. Bu jarayon termoajralish yoki termodesorbsiya deb yuritiladi. Termodesorbsiya natijasida qattiq jismlarning kristall panjarasidagi aralashma gaz molekulalari chiqazib yuboriladi, ya'ni qattiq jismlar aralashma gazlardan tozalanadi. Vakuum sharoitida, qattiq jismlarni qizdirib ulardan ajralib chiqqan gazlarni mass-spektrometr yordamida ajralish spektrlarini olish mumkin. Bu spektrlar yordamida gazlarni qattiq jismlardan ajralib chiqish temperaturasini aniqlash imkoni tug'iladi. Shu bilan birga, bu spektrlardan foydalanib boshqa ma'lumotlarni ham aniqlash mumkin.

Ushbu ishda energiyasi $E=100-600$ eV , dozasi $\Phi=1,0-1,3 \cdot 10^{16} \frac{\text{ion}}{\text{sm}^2}$ bo'lgan argon gazi ionlari bilan bir paytda molibden (Mo), tantal (Ta) va vol'fram (W) materiallaridan tayyorlangan tagliklarida bombardirofka qilib o'stirilgan kumush (Ag) plyonka va qoplamalaridan vakuum sharoitida, chiziqli qizdirish orqali argon gazining ajralib chiqish jarayoni o'rganilgan.

Bu jarayonda sfoldagi taglik yoki plyonka materiallaridan gazlarning ajralib chiqish temperaturasi o'zgaradi [].

Bu tajribalarda solishtirish maqsadida sof holda olingan kumush, molibden, tantal va vol'fram materiallari argon gazi ionlar bilan plyonka yoki qoplamalar o'stirmasdan bombardirofka qilinib olingan. Bunday materiallardan qizdirish natijasida intensive ajralib chiqqan argon gazi kumushda $T=900\text{ K}$, molibdenda $T=1000\text{ K}$, tantalda $T=1200\text{ K}$, vol'framda $T=1500\text{ K}$ temperaturalarda boshlanadi. Bu natijalardan ko'rinadiki bir xil energiyali, bir-biriga yaqin dozadagi argon gazi ionlari bilan bombardirofka qilingan sof holdagi kumush, molibden, tantal va vol'fram materiallarini bir xil tezlikda qizdirilganda, ulardan argon gazining ajralib chiqish temperaturasi turlicha bo'lar ekan.

Olingan spektrlardan shu narsa aniqlandiki, materiallarning erish temperaturasi, sirtiy bog'lanish energiyasi, issiqlik sublimatsiyasi qancha yuqori bo'lsa va katod yemirilish koeffitsiyenti qancha kichik bo'lsa, bombardirofka qilib kiritilgan argon gazining ajralib chiqish temperaturasi ham shuncha yuqori bo'lar ekan. Bu jihatdan tantal va vol'fram materiallari bombardirofka qilib kiritilgan argon gazini yuqori temperaturagacha ushlab qolar ekan.

Argon gazi ionlari bilan bir paytda tantal, molibden va vol'fram tagliklarda bombardirofka qilib o'stirilgan kumush plyonka va qoplamalaridan termik qizdirish yo'li bilan argon gazining ajralib chiqishida temperaturalar chegarasi keskin o'zgarishi kuzatildi.

Tantal taglikda argon gazi ionlari bilan bombardirofka qilib o'stirilgan kumush plyonka va qoplamalardan argon gazini ajralib chiqish temperaturasi softkumushdan ajralish temperaturasidan ancha yuqori, sof tantaldan ajralish temperaturasidan ancha past bo'lishi qayt qilindi.

Molibden va vol'fram tagliklarida argon gazi ionlari bilan bombardirofka qilib o'stirilgan kumush plyonka va qoplamalaridan argon gazini ajralib chiqish temperaturaasi sof holdagi molibden va vol'fram tagliklardan argon gazini ajralib chiqish temperaturasiga yqain bo'lishi aniqlandi.

Ionli bombardirofka qilib o'stirilgan plyonka qoplamalardan hamda taglikdan argon gazining ajralib chiqish temperaturasi o'zgarishi bu plyonka-taglik sistemasida ionli bombardirofkaning ta'siri bo'lishini ko'rsatadi. Ionli bombardirofka qilib o'stirilgan qattiq jismlarning plyonka va qoplamalari ikki tipda o'sishi mumkin []. Ionli bombardirofka ta'sirida taglikning orientirlovchi (yo'naltiruvchi) tasiri mavjud bo'lib, o'stirilayotgan plyonka va qoplamalar taglik material tipida o'sishi mumkin ekan. Boshqach qilib aytganda, plyonka va qoplamalar taglik material bilan aralashib o'sadi va taglik materialining xossalari yaqin bo'lgan xususiyatlariga ega bo'lib qoladi.

Yoki aksincha, taglik-plyonka sistemasi plyonka material tipida bo'lib qolishi mumkin.

Xulosa

Ushbu bitiruv malakaviy ishda ionli bombardirovka ta'sirida qattiq jismlarning , xususan ba'zi bir metall va yarim o'tkazgich materiallarining xossalarini o'zgarishi o'rganilgan.

Bitiruv malakaviy ishni bajarishda mavzuga oid adabiyotlar bilan tanishib , tajribalarni o'tkazish usullari o'rganib chiqildi. Tajribalar o'tkazish uchun maxsus yig'ilgan qurilmalardan foydalanildi. Tajribalar o'tkazish qurilmasining qismlari – ishchi kamera, ionlar manbayi, metallarni bug'latish sistemasi, vakuum hosil qilish sistemasi va mass-spektrometrning tuzilishi hamda ishlash prinsiplari o'rganildi. Tajribalarda plyonka va qoplamalar o'stiriladigan taglik sifatida mis (Cu) , molibden (Mo) , tantal (Ta) , vol'fram (W) , kremniy (Si) , po'lat materiallari olindi. Plyonka va qoplamalar o'stirish uchun , kumush (Ag) materialidan foydalanildi.

Bombardirovka qiluvchi ionlar sifatida argon (Ar) gazining molekulari qo'llanildi. Bu ionlarning energiyasi $E = 100 - 600 \text{ eV}$, dozasi $\Phi = (6 - 15) \cdot 10^{15} \frac{\text{ion}}{\text{sm}^2}$, ionlar tokining zichligi $J = 0.8 - 1.0 \frac{\text{mA}}{\text{sm}^2}$ oralig'ida o'zgartirib olindi.

Plyonka va qoplamalar o'stirish uchun tayyorlangan tagliklar doira shaklida bo'lib , qalinligi 20-25 mkm, yuzasi $15-27 \text{ mm}^2$ tashkil qildi. Bu tagliklarga o'stirilgan plyonka va qoplamalarning qalinligi $h = 100A^0 - 4 \text{ mkm}$ oralig'idabo'ldi.

Ishni bajarish davomida , ionli bombardirovka qilib, plyonka va qoplamalar o'stirish parametrlarini o'zgartirib, namunalar tayyorlash metodlari o'rganildi.

Tajribalar o'tkazish qurilmasida , bir paytda , ionli bombardirovka qilib, metallarni bug'latish orqali , metall tagliklarga turli xil qalinliklarda , plyonka va qoplamalar olish uchun zarur bo'lgan ishchi rejimlar tanlandi.

Optimal rejimlar asosida tayyorlangan plyonka va qoplamalarni ishqalanishga chidamliligi, adgezion mustahkamligi, korroziyaga bardoshliligi hamda bombardirovka natijasida kiritilgan aralashmalarni qizdirish orqali ajralib chiqish temperaturalarini aniqlash borasida sinovlar o'tkazildi. Tajribalarda olingan natijalarni solishtirish uchun, sinovlar ionlar bilan bombardirovka qilmasdan, faqat

termik bug'latish orqali , tagliklarda o'stirilgan plyonka va qoplamalarda ham o'tkazildi.

O'tkazilgan sinovlardan shu narsa aniqlandiki, argon gazi ionlari bilan bir paytda bombardirovka qilib o'stirilgan plyonka yoki qoplamalarning ishqalanishga chidamliligi , adgezion mustahkamligi va korroziyaga bardoshliligi ionlar bilan bombardirovka qilmasdan, faqat termik bug'latish orqali o'stirilgan plyonka yoki qoplamalarga qaraganda ,ko'p marta oshar ekan. Bundan tashqari ionli bombardirovka qilib o'stirilgan plyonka yoki qoplamalardan aralashmalarning ajralib chiqish temperaturasining qiymatlari ham o'zgarar ekan.

Bu natijalardan ,ionli bombardirovka ta'sirida plyonka –taglik sistemasida ,aralashish yuz berishi oqibatida ,fizikaviy, kimyoviy va mexanikaviy xossalari yaxshilangan qattiq qotishmalar yuzaga keladi. Bu qotishmalarning xossalari ,sof holdagi plyonka va taglik materiallarining xossalaridan farq qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlarro'yxati.

1. Dins DJ, Vilyard DJ. „Radiatsionnie effekti v tverdex telax”. Moskva , Nauka , 2002 god, 309 str
2. Leyman K . „Vzaimodeystvie izlucheniya c tverdim telom i obrazivanie elementarnix deffektov,, .Moskva ,Atomizdat ,2006 god ,296 str
3. Vavilov V.S., Kiv A.E. „Mexanizmi obrazivaniya I migratsiya deffektov v metallax “.Moskva ,Energiya ,1998 god ,175 str
4. Shakayev .A.M. „Radiatsionno-stumlirovanni prosesi v tverdex telax”. Moskva ,Energoatomizdat, 2008 god , 220 str
5. Didenko A.N. „ Vozdeystvie puchkov zarjennix chastis na poverxnost metallov I splavov”. Moskva , Atomizdat, 2007 god ,184 str
6. Pranyavichyus L. I. , Dudonis Y. M. „ Modifikatsiya svoystv tverdex tel I pokritniy ionnimi puchkami “.Moskva ,Mir , 2008 god , 265 str
7. Yagodgin Y .D. „Ionno-luchevoe modifisirovanie tverdex tel I pokritiy “. Moskva ,Nauka ,2007 god , 214 str
8. Pout DJ,Foti G, Djekobson D. „ Modifisiriovanie I legirovanine poverx nosti lazernimi, ionnimi I elektronnimi puchkali” Moskva ,Mashinnostroenie, 1998 god ,422 str
9. Radjabov T . D „Modifikatsiya svoystv poverxnostimaterialov I pokritiyy ionnim oblucheniem”.Tashkent , Fan , 1993 god, 204 str
10. Pogrebnyak A.D, Chistyakov S.A „ Modifikatsiya svoystv metallov I pokritiy pod deystvim ionnix puchkov “. Moskva , Nauka , 2007 god , 214 str
11. Burenkov A, Komarov F.F, KumaxofM.A „Prostranstvennie raspredeleniya energii, videlennoy v kaskade atomnix stolknoveniy v tverdex telax “. Moskva , Energoatomizdat, 2005 god , 246 str
12. Mett N., Gerni R,,„Atomnie I elektronnie prossesi v kristalax” . Moskva . Nauka , 2007 god, 423 str
- 13.Krishtal M.A, Volkov A.I „Mnogokamponentnaya diffuziya v metallox”. Moskva , Mir, 2001 god , 367 str

14. Tomson M. „, Deffekti I radiasionnie povrejdeniya v metallax.” .Moskva , Mir, 2009 god, 367 str
15. Meysell L, Glenka R. „Texnologiya tonkix plyonk” . Moskva , Nauka, 2009 god, 604 str
16. Aboryan I.L, Andronov A.N , Titov A. I, „Fizicheskiye osnovielektronnoy I ionnoy texnologi” Moskva , Mir, 2004 god , 240 str
17. Belov N. „Struktura ionnix kristallov I metallicheskiy faz. “ . Moskva , Mir 2004 god, 237 str
18. Ptisin S ., Fizichiskifey yavleniya v tverdix telax” . Moskva , Nauka 2006 god, 480 str
19. Feldman L, Mayer D . „Osnovi analiza poverxnosti I tonkix plyonok” Moskva , Mir , 2007 god, 342 str

Internet resurslar.

1. www.ziyonet.uz
2. www.kitob.uz
3. www.fizika.ru
4. www.fizika.narod.ru
5. www.guldu.uz