

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI
URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI



Fizika-matematika fakulteti 401-fizika guruhi talabasi Boboyeva
Mashhura Otabekovnaning 5140200-fizika ta'lim yo'nalishi bo'yicha
bakalavr darajasini olish uchun

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Mavzu: Yarimo'tkargich moddalarni strukturaviy tadqiq qilish usullarini
tahlil qilish.

Ilmiy rahbar:

Aziz

katta o'qituvchi. Asatova. U.P



Urganch – 2015

1-ilova. Bitiruv malakaviy ishining titul varag`i

**O`ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O`RTA MAXSUS
TA`LIM VAZIRLIGI
URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI
Fizika-matematika fakulteti
Fizika kafedrası**

**Yarimo`tkazgich moddalarni strukturaviy tadqiq qilish usullarini
tahlil qilish**

Bajaruvchi: _____ Boboyeva. Mashhura
Rahbar: _____ katta o`q. Asatova. U.P

Urganch shahri – 2015 yil

URGANCH DAVLAT UNIVERSITETI

Fizika-matematika fakulteti

Fizika kafedrası

BITIRUV MALAKAVIY ISHNI BAJARISH BO`YICHA

TOPSHIRIQLAR REJASI:

Talaba Boboyeva Mashhura Otabekovnaga Universitet rektorining 2014 yil 19-dekabrda chiqarilgan 216-T va 1-sonli buyrug`i bilan bitiruv malakaviy ish bajarish uchun

1. Yarimo`tkazgich moddalarni strukturaviy tadqiq qilish usullarini tahlil qilish mavzusi tasdiqlangan.

2. Kafedra majlisining qaroriga binoan **katta o`qit. Asatova. U.P bitiruv malakaviy ishini bajarishga rahbar qilib tayinlangan.**

3. Bitiruv malakaviy ishining tarkibiy tuzilmasi: **kirish qismi, uch bob, birinchi bob ikki rejadan, ikkinchi bob uch rejadan, uchunchi bob uch rejadan iborat.**

4. Bitiruv malakaviy ish uchun ma`lumotlar: **ilmiy jurnallar, kitoblar va internet ma`lumotlaridan olinadi.**

5. Bitiruv malakaviy ishga _____
_____ ilova qilinadi.

Bitiruv malakaviy ishni bajarish jadvali

№	Loyixa bosqichlarining nomi	Nazorat vaqti
1	Mavzuni kafedrada tasdiqlash	11.11.2014
2	Malakaviy bitiruv ishi topshirig'i mavzusini va hajmini aniqlash.	10.12.2014
3	Internetdan fizikaga oid saytlardan modda strukturasi tadqiq qilish usullari to'g'risida materiallar to'plash	24.02.2015 gacha
4	Mavzu bo'yicha malakaviy bitiruv ishi mazmuni, hajmi va tartibini aniqlashtirish	04.03.2015
5	Malakaviy bitiruv ishi loyihasining dastlabki eskizlarini tasdiqlash	25.03.2015
6	Barcha eskizlarni, malakaviy bitiruv ishi loyihasi nazariy va amaliy qismlarini tasdiqlash.	08.04.2015
7	Yarimo'tkazgich materiallar va ular asosidagi strukturalarni tadqiq qilishni ikkilamchi ionlarni mass-spektrometriyasi (BIMC), rentgen difraktometriya (RD) va rentgen nurlarini kichik burchakli reflektometriyasi (MYP) usullarini o'rganish	24.04.2015
8	Malakaviy bitiruv ishi loyihasini bajarishning borishi nazorati va uning nazariy qismining kafedradagi muhokamasi	06.05.2015
9	Kafedra mudiri va rahbar tomonidan tugallangan BMI ni ko'rikdan o'tkazish	03.06.2015
10	Tugallangan ishni malakaviy bitiruv ishi loyihasi rahbar xulosasi va uni himoyaga tavsiya bilan birgalikda kafedraga taqdim qilish	15.06.2015

Bitiruv malakaviy ish rahbari: _____ katta o'q. Asatova.U.P

Bajaruvchi talaba: _____ Boboyeva. M.O

2014 yil "3" dekabr

Topshiriqlar rejasi va jadvali kafedra majlisida 2014 yil 3 dekabrda tasdiqlandi.

(6 - sonli bayonnoma)

Kafedra mudiri: _____ dots. Aminov U.A.

(imzo)

Urganch davlat universiteti
Fizika-matematika fakulteti
Fizika kafedrası

Bitiruv malakaviy ish **2014-01-06**-sonli tartib raqam bilan qayd qilindi.

Bitiruv malakaviy ishni bajaruvchining ismi-sharifi: Boboyeva Mashhura

Bitiruv malakaviy ishning mavzusi: Yarimo`tkazgich moddalarni strukturaviy tadqiq qilish usullarini tahlil qilish.

Ilmiy rahbar (maslahatchi) ning ismi-sharifi: katta o`q.Asatova. U.P

Bitiruv malakaviy ish kafedraning 2015 yil 17 iyunda o`tkazilgan majlisi qaroriga muvofiq DAK majlisida himoya qildi.

Bitiruv malakaviy ishga taqrizchi qilib: TATU Urganch filiali f. m. f. n.
Saidov. D.SH tayinlandi.

Kafedra mudiri: _____ dots. Aminov U.A.

Kafedra majlisining qaroriga binoan bitiruv malakaviy ishni DAK majlisida himoya qilish bo`yicha tavsiyasiga roziman.

Fakultet dekani: _____ dots. Abdullayev B.I.

Urganch Davlat Universiteti Fizika-matematika fakulteti
Fizika kafedrasi 5140200-Fizika bakalavr ta'lim yo'nalishi

Tasdiqlayman
fakultet dekani
dots. Abdullayev B.I.
“ ____ ” _____ 2014y

BITIRUV MALAKAVIY ISH BO'YICHA TOPSHIRIQ

Talaba Boboyeva Mashhura

1. Ishning mavzusi: Yarimo'tkazgich moddalarni strukturaviy tadqiq qilish usullarini tahlil qilish mavzusini

Universitet rektorining 2014 yil 19-dekabrda chiqarilgan 216-T & 1-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan.

2. Ishni topshirish muddati: 17 iyun 2015 y.

3. Mavzu bo'yicha dastlabki ma'lumotlar beruvchi adabiyotlar ro'yxati

1. Azizov M.A. Yarimo'tkazgichlar fizikasi . T. "O'qituvchi", 1974.
2. A. Teshaboyev, S. Zaynabiddinov , SH. Ermatov "Qatiq jism fizikasi". Toshkent-"Moliya"-2001.
3. S.Zaynabiddinov, A. Teshaboyev. Yarimo'tkazgichlar fizikasi. Toshkent"O'qituvchi"1999.
4. П.А. Юнин, Ю.Н. Дроздов, М.Н. Дроздов, С.А. Королев, Д.Н. Лобанов
Исследование многослойных полупроводниковых SiGe-структур методами рентгеновской дифрактометрии, малоугловой рефлектометрии и масс-спектрометрии вторичных ионов. *Физика и техника полупроводников*, 2013, том 47, вып. 12

4. Ishning maqsadi: Yarimo'tkazgich moddalarda turli xil metodlar bilan strukturaviy tekshirganda olingan natijalarini taxlil qilish. Buning uchun, shu ishga tegishli ilmiy adabiyotlar va maqolalarni o'rganish va tahlil qilish vazifasi qo'yildi.

5. Chizma materiallar ro'yxati: _____

6. Maslahatchilar: _____

Bo'limlar	Maslahatchi F.I.SH.	Imzo, sana	
		Topshiriq berdi	Topshiriq qabul qildi
Kirish	katta o`q. Asatova. U.P		
1.1.	katta o`q. Asatova. U.P		
1.2.	katta o`q. Asatova. U.P		
2.1.	katta o`q. Asatova. U.P		
2.2.	katta o`q. Asatova. U.P		
2.3.	katta o`q. Asatova. U.P		
3.1.	katta o`q. Asatova. U.P		
3.2.	katta o`q. Asatova. U.P		
3.3.	katta o`q. Asatova. U.P		
Xulosa	katta o`q. Asatova. U.P		

Ishga taqriz yozuvchining F.I.Sh, ilmiy darajasi, unvoni: TATU Urganch filiali
f. m. f. n: Saidov.D.Sh.

7. Ilmiy rahbar: katta o`qituvchi. Asatova. U.P _____
(F.I.SH.) (imzo)

BMI bajaruvchi talaba: Boboyeva Mashhura _____
(F.I.SH.) (imzo)

Kafedra mudiri: dots. Aminov U.A. _____
(F.I.SH.) (imzo)

Mundarija

Kirish.....	10
I .BOB. Yarimo`tkazgichlar va ular asosidagi strukturalar.....	13
1.1. Yarimo`tkazgichlarni kristall tuzilishi	13
1.2. Yarimo`tkazgichli geterostrukturalar.....	18
II.BOB. Modda strukturasini tadqiq qilish usullari.....	29
2.1. Rentgenostrukturaviy analiz.....	29
2.2.1. Kristallda rentgen nurlarini sochilishi va Laue sharti.....	30
2.2.2. Rentgenostrukturaviy analizni eksperimental usullari.....	32
2.2. Ikkilamchi ionlarni mass spektroskopiyasi (IIMC).....	37
2.3. Oje –spektrometriya.....	39
III.BOB. Yarimo`tkazgich materiallar va ular asosidagi strukturalarni rentgen difraktometriya, kichik burchakli reflektometriya va ikkilamchi ionlarni mass spektrometriyasi usullari bilan tadqiq qilish.....	47
3.1. Ko`p qatlamli yarimo`tkazgichli SiGe strukturalarni rentgen difraktometriya kichik burchakli reflektometriya va ikkilamchi ionlarni mass-spektrometriyasi usullari bilan tadqiq qilish.....	47
3.2. Rentgen difraktometriya va ikkilamchi ionlar mass spektrometriya usullari bilan (Al, Ga)As qattiq qotishmalarini tarkibini tahlil qilish.....	51
3.3. Geterostrukturalarni rentgen bir kristalli difraktometriya usuli bilan tadqiq qilish.....	54
Xulosa.....	64
Adabiyotlar.....	66

Kirish

Tadqiqot mavzusining dolzarbligi. Yarimo`tkazgich moddalar va ular asosida tayyorlanayotgan asboblari va qurilmalar tobora keng ko`lamda qo`llanilmoqda. Buning asosiy sabablari yarim o`tkazgich moddalarning ajoyib xossaligidir: yarimo`tkazgichlar turli tashqi ta`sirlarga juda sezgir, ular asosida ishlab chiqarilayotgan asboblarning o`lchamlari, hajmi kichik, ishlash muddati katta va bajaradigan xizmatlari doirasi juda keng. Shu bilan bir vaqtda ular turli zarblarga chidamlidir.

Yarimo`tkazgichlar fizikasi bilan asosan 1930 yildan boshlab shug`illana boshlandi. Bu ishga akademik A.I. Ioffe boshchilik qilib, yarimo`tkazgichlar xossalari ham nazariy, ham tajriba yo`nalishi bilan o`rganish keng ko`lamda boshlab yuborildi[1];

Yarimo`tkazgichli asboblarni tayorlashni texnologik jarayonlari uchun qatlamlar qalinligi, zichligi, qatlam tarkibini, kirishmalar mavjudligini, qatlamlararo interfeyslar kengligini aniqlash juda muximdir. Ko`p qatlamli strukturalarni diagnostikasi uchun ikkilamchi ionlar mass spektroskopiyasi (IIMS) [1], rentgen difraktometriyasi (RD) va rentgen nurlanishni kichik burchakli reflektometriyasi (RKBR) [2] metodlari keng tarqalgan usullar qatoriga kiradi.

Ikkilamchi ionlar mass spektroskopiyasi (IIMS) metodi namunani ionlar dastasi bilan qatlamlar bo`yicha changlatishga va mass-analizatorida changlangan ikkilamchi ionlarni qayd qilishga asoslangan. Bu metod tadqiq qilinayotgan strukturalarda kimyoviy elementlarni chuqurlik bo`yicha taqsimlanishi bo`yicha malumot beradi.

RD (Rentgen Difraktometriyasi) va rentgen nurlanishni kichik burchakli reflektometriyasi (RKBR) usullarida elastik sochilgan rentgen nurlanishini intensivligini burchakka bog`lanishi qayd qilinadi. RD metodida kristall strukturalarda rentgen nurlarini difraktsiyasi xodisalaridan foydalaniladi.

RKBR metodida turli xil dielektrik singdiruvchanlikka ega bo'lgan muxitlar chegarasida elektromagnit nurlanishni qaytishiga asoslangan.

Bu metodlarni xammasining kuchli va zaif tomonlari mavjud. Qattiq jismlarni tarkibi va strukturasi aniqlaydigan IIMS va RD metodlar yarimo'tkazgichli qattiq qotishmalarni miqdoriy taxlil qilishda bir birini to'ldiradi [3,4,5]. IIMS metodi namunani ionlar dastasi bilan qatlamlar bo'yicha changlatishga va mass-analizatorida changlangan ikkilamchi ionlarni qayd qilishga asoslangan. Bu metod tadqiq qilinayotgan strukturada kimyoviy elementlarni chuqurlik bo'yicha taqsimlanishi bo'yicha malumot beradi, lekin qatlamlararo taxlil, o'lchash natijalariga, eksperimental profilni xaqiqiysiga nisbatan siljishida va kengayishiga namoyon bo'ladigan, xatolikni kiritadi [6].

RD va RKBR usullarida elastik sochilgan rentgen nurlanishini intensivligini burchakka bog'lanishi qayd qilinadi. RD metodida kristall strukturalarda rentgen nurlarini difraktsiyasi xodidasidan foydalaniladi. RKBR metodida turli xil dielektrik singdiruvchanlikka ega bo'lgan muxitlar chegarasida elektromagnit nurlanishni qaytishiga asoslangan. Birinchi usul qattiq qotishma xosil bo'lishida atomlarni o'rin almashtirishlari natijasida yuzaga keladigan kristall strukturani buzilishlariga nisbatan sezgirdir. RKBR metodida eksperimental chiziq ko'rinishi strukturada elektron zichlik profili, ya'ni, qatlamlar tarkibi va qalinligi bilan aniqlanadi. Rentgenodifraktsion eksperimentlar ma'lumotlarini taxlil qilishdagi asosiy muammo, difragirlangan to'lqinlarni qayd qilishda, ularning fazalari xaqidagi ma'lumotni yo'qalishi tufayli teskari masalani trivial yechich mumkin emasligidir.

Ilmiy izlanishning maqsad va vazifalari. Yarimo'tkazgich moddalarda turli xil metodlar bilan strukturaviy tekshirganda olingan natijalarini taxlil qilish. Buning uchun, shu ishga tegishli ilmiy adabiyotlar va maqolalarni o'rganish va tahlil qilish vazifasi qo'yildi.

Tadqiqot predmeti va ob'ekti. Bitiruv malakaviy ishda strukturaviy tadqiqot usullarini o'rganish bo'yicha qilingan ilmiy maqolalar taxlili tadqiqot predmeti va ob'ekti bo'lib xizmat qiladi.

Tadqiqotning ilmiy ahamiyati. Yarimo'tkazgich materiallarning tarkibini, kristall tuzilishini, kirishmalar mavjudligini aniqlash uchun strukturaviy tekshirish usullarni o'rganish va taxlil qilish, ularni kamchilik va afzallik tomonlarini o'rganish muxim ahamiyatga ega.

Ishning tuzilishi va qisqacha mazmuni: Bitiruv malakaviy ishi kirish, uchta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Bitiruv malakaviy ish hajmi 24 ta rasm, 24 ta adabiyotlar ro'yxati bilan birgalikda _ sahifani tashkil qiladi. Kirish qismida mavzuning dolzarbligi, ishning maqsadi shakllantirilgan, asosiy qo'yilgan vazifalar yoritilib, boblar bo'yicha ishning qisqacha annotatsiyalari berilgan, uning ilmiy-amaliy ahamiyati va ilmiy yangiligi nimadan iborat ekanligi ko'rsatilgan.

Birinchi bobda, yarimo'tkazgichlar va ular asosidagi strukturalar xaqida ma'lumotlar berilgan

Ikkinchi bobda, modda strukturasini tadqiq qilish usullari yoritilgan.

Uchinchi bobda, yarimo'tkazgich materiallar va ular asosidagi strukturalarni rentgen difraktometriya, kichik burchakli reflektometriya va ikkilamchi ionlarni mass spektrometriyasi usullari bilan tadqiq qilish natijalari keltirilgan.

Bitiruv malakaviy ishning xulosa qismida ishning natijalari bo'yicha asosiy xulosalar keltirilgan. Ishning yakunida adabiyotlar ro'yxati kiritilgan.

I.BOB. Yarimo`tkazgichlar va ular asosidagi strukturalar

1.1. Yarimo`tkazgichlarni kristall tuzilishi

Yarimo o`tkazgichlar — elektr tokini yaxshi o`tkazuvchi moddalar (o`tkazgichlar, asosan, metallar) va elektr tokini o`tkazmaydigan moddalar (dielektriklar) orasidagi oraliq vaziyatni egallaydigan moddalar. Mendeleyev davriy sistemasida II, III, IV, V va VI guruhlarda joylashgan ko`pchilik elementlar, ularning bir qator birikmalari yarimo`tkazgichlar jumlasiga kiradi. Yarimo`tkazgich quyidagi asosiy xususiyatlarga ega: Yarimo`tkazgichning elektr o`tkazuvchanligi temperatura ko`tarilishi bilan ortib boradi (masalan, temperatura 1 K ga ortganda yarimo`tkazgichning solishtirma o`tkazuvchanligi 16—17 marta ortadi); Yarimo`tkazgichning elektr o`tkazuvchanligida erkin elektronlardan tashqari atom bilan bog`langan elektronlar ham ishtirok etadi (ba`zi hollarda bog`langan elektronlar asosiy ro`l o`ynaydi); sof yarimo`tkazgichga oz miqdorda kiritma kiritib, uning o`tkazuvchanligini keskin o`zgartirish mumkin (masalan, 0,01% qo`shilma kiritilganda yarimo`tkazgichning o`tkazuvchanligi 10000 marta ortib ketadi).

Yarimo`tkazgichlar kristall yoki suyuq xolatlarda bo`lishi mumkin. Yarimo`tkazgichlarni kristall tuzilishini ko`ramiz.

Kristall qattiq jisimlarning atom va molekulalari davriy takrorlanib turuvchi tartibda joylashgan bo`lib, ular muntazam geometrik shakl hosil qiladi. Atomlarning tartibli joylashishi natijasida bir-birlariga yaqin turgan atomlar kristall panjarani hosil qiladi. Mana shu eng kichik kristall panjara shakli elementar yacheyka deb yuritiladi.

Elementar yacheyka, berilgan kristall uchun eng kichik parallelepiped bo`lib, uni uch yo`nalish bo`ylab ko`chirish bilan to`liq kristall hosil qilish mumkun. Elementar yacheykani to`liq xarakterlash uchun kristall panjaraning parametrlari bo`lgan oltita kattalikni bilish kerak. Bulardan uchta ( $a, b, c$ ) uning qirralari bo`lib, qolgan uchta (α, β, γ) ular orasidagi burchaklardir (1.1-

rasm).

Eng oddiy kristall panjara kub shaklida bo`lib, unda  $a=b=c$ ,  $\alpha=\beta=\gamma=90^0$  bo`ladi (1.2-a rasim).

Bunga NaCl kristall panjarasi misol bo`la oladi. Kristall panjaraning hammasi bo`lib 14 xil elementar yacheykasi mavjud. Bu elementar yacheykalar fransuz kristallografi Ogyust Brave nomi bilan yuritilib, Brave panjaralari deb ataladi.

Rus olimi E.C.Federov ko`rsatadiki, simmetriya elementlarining 230 ta kombinatsiyasi bo`lishi mumkin, bular fazoviy gruppalar deb atalgan. Bu 230 ta fazoviy gruppaga simmetriya alomatlariga qarab 32 sinifga bo`linadi.

Kristall panjaralar elementar yacheykalarining shakliga qarab yettita kristallografik sistemaga (singoniyaga) ajraladi. Bular quyidagilardir.

1. Triklin sistema:

$$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma; \gamma = 90^0.$$

2. Monoklin sistema:

$$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^0; \beta \neq 90^0.$$

3. Rombik sistema:

$$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^0.$$

4. Romboedrik (trigonal) sistema:

$$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^0.$$

5. Geksagonal sistema:

$$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^0; \gamma = 120^0.$$

6. Kubik sistema:

$$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^0.$$

7. Tetragonal sistema:

$$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^0.$$

Kremniy va germaniy elementlari olmossimon kristall tuzilishga ega. Olmossimon kristall tuzilish yoqlari markazlashgan (1.3-rasm) ikkita kubik panjaraning qo`shilishidan hosil bo`ladi. (1.2-b rasm). Agar bitta kubik panjaraning bir uchi koordinata boshida turibdi desak, ikkinchisining bir uchi

kubikning diagonali bo'ylab, kristall panjra doimiysining to'rtidan biriga siljigan bo'ladi. Olmosning kubik tuzilishi zich joylashmagan tuzilish bo'lib, har bir atom eng yaqin 4 ta atom bilan o'ralgan bo'ladi. Ular o'z navbatida 12 ta qo'shni atomga ega. Olmosning har bir atomini to'g'ri tetraedrning markazida turibdi desak, uning eng yaqin qo'shni 4 ta atomi shu tetraedrning uchlarida turibdi. Olmosning elementar yacheykasi 8 ta atom turadi. Olmosning kristall tuzilishi ma'lum yo'nalish bo'ylab, boshqa elementlarning atomlari bemalol harakat qila oladigan "kanallarga" ega. Shuning uchun ham olmossimon kristall tuzilishga ega bo'lgan germaniydan (Ge) va kremniyda (Si) ba'zi, bir elementlarning (masalan, mis va litiy) atomlari yuqori temperaturalarda oson siljiy oladi. Kristall jismlarda atomlar ma'lum tartibda joylashib, kristall panjarani hosil qilganligi sababli, atomlar ba'zi yo'nalishda zichroq, ba'zi yo'nalishda esa siyrak joylashgan bo'ladi va natijada turli yo'nalishlar bo'yicha birlik uzunlikdagi atomlar soni teng bo'lmaydi. Qattiq jismlarning ko'p xossalari berilgan yo'nalish bo'ylab, atomlarning zich yoki siyrak joylashishiga bog'liq. Shu sababli ularning mexanikaviy, optikaviy, elektr va boshqa xossalari turli yo'nalishlarda turlicha bo'ladi. Qattiq jismlarning har xil holatlarda turli xossalarga ega bo'lishi anizotropiya deyiladi.

Monokristall va polikristall qattiq jismlar.

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

Agar eritmada kristallanish markazlari ko'p bo'lsa, bu markazlar atrofida juda ko'p kristallitlar o'sadi. Natijada hosil bo'lgan kristall qattiq jismning tashqi ko'rinishi uning ichki tuzilishini ifodalay olmaydi, chunki bu kristallitlar ixtiyoriy ravishda orientatsiyalanganligi uchun bir-birlariga yaqinlashganlarida chegaralaridagi atomlarning joylashishi ma'lum tartibga ega bo'lmaydi. Binobarin har bir markazdan o'sgan kristall berilgan qattiq jism

kristall tuzilishining biror xiliga to'g'ri keladigan shaklni ololmaydi. Ular ixtiyoriy shaklga ega bo'lib, ular ixtiyoriy tartibda joylashadilar. Bunday kristallitlar to'plamidan iborat bo'lgan modda polikristall bo'ladi. Shu sababdan ham polikristallarning barcha yo'nalishlar bo'yicha xossalari deyarli bir xil bo'ladi. Qattiq jismlarning turli yo'nalishlarda bir xil xossalarga ega bo'lishi izotropiya deyiladi.

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

Kristallografik belgilar.

Yuqorda aytganimizdek, kristallar ma'lum simmetryaga ega bo'lib, ularning xossalari barcha yo'nalishlar bo'ylab bir xil bo'lmaydi. Shu sababli kristallarning xossalarini aniqlashda ularning qaysi yo'nalish bo'ylab tekshirilishi katta ahamiyatga ega. Bu esa kristallarning fazoviy yo'nalishlarini bir-biridan farq etish zaruriyatini tug'diradi.

Kristallar panjaraning tugunlaridan birida koordinata boshi joylashgan va x, y, z o'qlar esa tugunlar qatori bo'ylab yo'nalgan bo'lsin. Koordinata boshidan biror tomonga qarab yo'nalgan vektorni olaylik. Bu vektorning o'qlardagi proeksiyalari $x_0 = m'a$, $y_0 = -n'b$, $z_0 = p'c$ bo'lsin. Bunda a, b va c o'qlardagi tugunlar orasidagi masofa, m', n', p' esa ixtiyoriy sonlar. Endi shunday r son topamizki, bunda

$$\frac{m^3}{r}, \frac{n^3}{r} \text{ va } \frac{p^3}{r}$$

Nisbatlar eng kichik m, n va p butun sonlarni hosil qilsin. U holda m, n va p- yo'nalish indeksleri deb atalib, [m n p] bilan belgilanadi. Masalan kubik kristall panjaraning +x o'qi yo'nalishi indeksi [100], +y o'qi yo'nalishi indeksi [010], +z o'qi yo'nalishi indeksi esa [001] bo'lad. Kub diagonalining musbat

kvadratidagi yo`nalishi [111] indeks bilan belgilanadi (1.4-rasm). Manfiy yo`nalish indeksleri tepasiga chiziqcha qo`yiladi, masalan, -x yo`nalishi indeksi [100] bo`ladi.

Kristallarda atomlar joylashgan parallal tekisliklarni uchta son –Miller indeksleri orqali xarakterlash mumkin. Koordinata boshidan o`tgan ixtiyoriy tekislik olib, unga parallel tekislik o`tkazaylik. Bu tekislik x, y, z larni x_0, y_0, z_0 nuqtalarda kesib o`tsin. Bu nuqtalarning koordinatalari panjara doimiysi birliklarda o`lchanadi, masalan, kubik panjara uchun $x = 0,5 a, y = 1,5 a, z = 1 a$ bo`lishi mumkin. U holda shunday s soni topaylikki,  $h = \frac{s}{x}, k = \frac{s}{y}, l = \frac{s}{z}$  sonlar eng kichik butun sonlar qatorini hosil qilsin. Biz ko`rgan misol uchun $s = 3a$ bo`lib,  $\frac{s}{x_1} = 6, \frac{s}{y_1} = 2, \frac{s}{z_1} = 3$  bo`ladi. Mana shu hosil bo`lgan h, k, va l butun sonlar qatori **Miller indeksleri** deyiladi va [hkl] bilan belgilanadi. 1.5-rasmda tekisliklar va ularning indeksleri ko`rsatilgan. Agar tekislik biror o`q bilan cheksizlikda kesishsa, tegishli Miller indeksi nolga teng boladi. Masalan, x0y tekisligiga perpendikulyar tekislik z o`q bilan cheksizlikda kesishganda Miller indeksleri (hk0) bo`ladi[7].

1.2. Yarimo'tkazgichli geterostrukturalar.

Taqiqlangan zonalarini kengligi har xil bo'lgan ikki yarimo'tkazgich chegarasida vujudaga keladigan o'tish qatlami **geteroo'tish** deyiladi. Masalan, Ge-GaAs, GaAs-GaP kontaktlari getroo'tishlar bo'ladi. Geteroo'tishlarni olish usullari yaxshi ishlab chiqilgan. Geteroo'tishlar keskin chegarali yoki silliq o'zgaruvchan chegarali, simmetrik yoki nosimmetrik bo'lishi mumkin. Keskin chegarali geteroo'tishlarni tashkil etgan moddalar chegarasida taqiqlangan zona kengligi sakrash bilan (keskin) o'zgaradi, silliq o'zgaruvchan chegarali geteroo'tishlarda qandaydir qatlam davomida taqiqlangan zona kengligi o'zgarib boradi (**varizon** geteroo'tishlar) 1.6.a-rasmda **p-n -izotip geteroo'tish**, 1.6.b-rasmda **p-n-anizotip getroo'tish** tasvirlangan. Ularning ikkalasi ham keskin o'tishlar turiga mansub bo'lib, chegarasida o'tkazuvchanlik zonalarini ΔE_c , valent zonalarini ΔE_v uzilishlariga ega.

Geteroo'tishlarning qo'llanishi, gomoo'tishlardan farqli ravishda, turli amaliy maqsadlarda foydalaniladigan bir qator hodisalarning yuz berishiga olib keladi. Masalan, galliy, arsenid va alyuminiy elementlari birikmasi asosida geterolazerlar ishlab chiqilgan, bunda bir xil, ammo *n*-va *p*-tur o'tkazuvchanlikli ikki kristall orasidagi boshqa tor taqiqlangan zonali yarimo'tkazgich qatlami hosil qilingan. O'rtadagi qatlamda zaryad tashuvchilar zichligini katta qilish oson bo'ladi va bu ajoyib lazer xossasi namoyon bo'lishiga imkon beradi.

Geteroo'tishlargagina xos yana bir muhim xususyatini aytib o'tish zarur. Geteroo'tishning ikki modda chegarasida kristall tuzilishi o'zgaradi, oqibatda uzilgan kimyoviy bog'lanishlar paydo bo'ladi, bu esa shu chegarada elektronlar uchun **energiya holatlari** hosil qiladi. Ushbu sirtiy holatlarning geteroo'tishlarda yuz beradigan jarayonlarda tutgan o'rni muhimdir. Geteroo'tish sohasidagi maydonning shakllanishida, binobarin, bu tizimning elektr sig'imi aniqlashda sirtiy holatlardagi zaryad miqdori sezilarli hissa

qo'shishi mumkun. Mazkur sathlar orqali rekombinatsiya jarayonlar amalga oshadi. Ba'zi hollarda ularning ko'p bo'lishi maqsadga muvofiq emas. Xullas, geteroo'tish chegarasidagi sirtiy sathlar uning xususiyatlarini belgilaydigan muhim omillardan biri bo'lib hisoblanadi[8].

Erish temperaturasi va kristall panjaraning davri, shuningdek, chiziqli termik kengayish koeffitsienti geterostrukturalarni yashashida asosiy rol o'ynaydi. Geterostrukturalarni yaratish uchun bir xil tipdagi kristall panjaraga panjara davridagi va termik koeffitsientlardagi farq juda kichik bo'lgan yarimo'tkazgich materiallar qo'llaniladi.

Geteroo'tishning Anderson modeliga Shoklining diod nazariyasi asos qilib olingan bo'lib, bunda yarimo'tkazgichlarning taqiqlangan zonalar kengligi, elektronning tashqi chiqish ishlari, ya'ni elektron yaqinlik energiyalari (χ_{01} va χ_{02}), elektronlarning termodinamik ishlari (χ_1 va χ_2), dielektrik singdiruvchanlik (ε_1 va ε_2) har xil deb qaraladi.

Yarimo'tkazgichlarda taqiqlangan zonalar kengligi hamda elektron yaqinlik energiyalarining har xil bo'lishi o'tkazuvchanlik zonolari tubining va valent zonolari shipining chegara sohasida uzilishiga olib keladi. Uzilish keskin pog'ona shaklida bo'lib, ularning kattaligi quyidagicha aniqlanadi.

$$\Delta E_c = \chi_{01} - \chi_{02}; \quad \Delta E_v = \chi_{02} - \chi_{01} + E_{g2} - E_{g1} \quad (1.1)$$

Sohalar chegarasida zonalarining uzilish kattaligi ayrim holda ko'rilgan yarimo'tkazgichlarda qanday bo'lsa, geteroo'tishlarda ham shunday saqlanadi. 1.7-rasmda alohida-alohida ikki yarimo'tkazgichning hamda ideal $p-n$ geteroo'tishning energetik diogrammalari keltirilgan. Bu yarimo'tkazgichlar kontaktlashtirilgandan so'ng elektronlar almashinuvi natijasida muvozanat o'rnatiladi va o'tish chegarasida sohalarining ikki tomonidan Fermi sathlari tenglashadi. Elektronlar uchun hosil bo'lgan patensial to'siq balandligi, ya'ni chegara sohasida energiyalarining vakuum sathida uzilishi elektronning kontaktdagi potensial energiyalar ayirmasini belgilaydi hamda quyidagicha ifodalanadi:

$$\Phi = eV_d = x_1 - x_2 \quad (1.2)$$

Elektr maydon kuchlanganligi E bo'lgan sohani hosil qilgan hajmiy zaryad hajmiy dipol ko'rinishida mavjud bo'ladi.

Elektron n -tipli yarimo'tkazgichdan p -tipli materialga o'tish sohasida balandligi

$$\Phi_n = eV_{dn} \quad (1.3)$$

bo'lgan, kovak p –sohadan n -sohaga o'tishda esa balandligi

$$\Phi_p = eV_{dp} + eV_{dn} + \Delta E_V \quad (1.4)$$

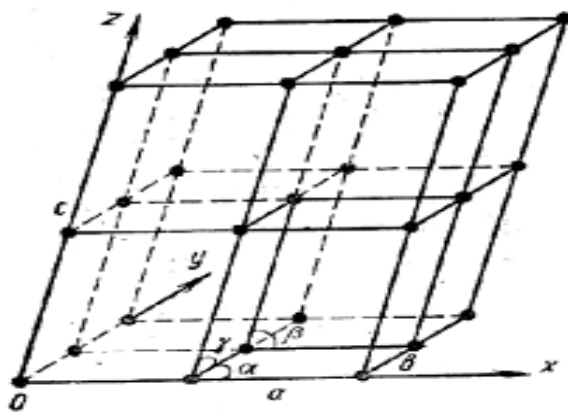
bo'lgan potensial to'siqni yengib o'tadi. Bundan ko'rinadiki, $\Phi_p > \Phi_n$ bo'lgan holat amalga oshirilishi mumkin. Geteroo'tishga to'g'ri tokning injeksion tashkil etuvchisi keng zonali yarimo'tkazgichning muvozanat holatdagi elektronlari bilan aniqlanadi. Bunday hol odatdagi p - n gomoo'tishda kuzatilmaydi. 1.8-rasmda turli geteroo'tishlarning energetik diagrammalari keltirilgan. Shuni ta'kidlash kerakki, real (haqiqiy) geteroo'tishlarning energetik diagrammalari Anderson modeli bo'yicha olingan diagrammalardan katta farqlanishi mumkin. Bu farq chegara sohasida katta zichlikka ega bo'lgan holatlar, sirt dipollari hosil bo'lishi bilan bog'langan. Bu o'zgarishlarni va zaryad tashuvchilarning yo'nalishlarini hisobga olish VAXni nazariy hamda amaliy tekshirish natijalarining o'zaro mos kelishiga olib keladi.

Haqiqiy va ideal geteroo'tish xossalari hamda energetik diagrammalarining farqlarini tushuntiradigan bir necha omillarni ko'rsatish mumkin. Masalan, qatlamli sohasida atom masshtabi bilan o'lchanadigan dipolning hosil bo'lishi bunday dipollar ximiyaviy reaksiyalar va elementlarning o'zaro diffuziyasi paydo bo'lishi mumkin.

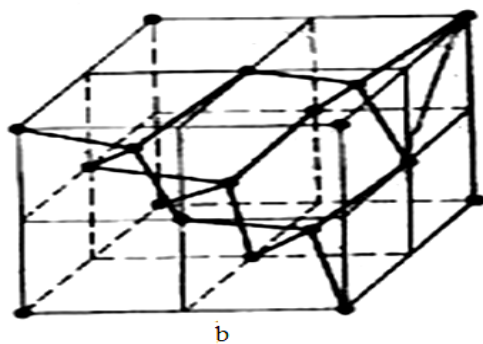
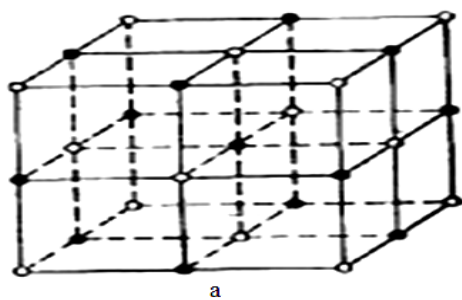
Ma'lumki, geteroo'tishlarni hosil qilishda ataylab yoki tasodifan chegara sohasida oraliq qatlamda I yarimo'tkazgichdan II yarimo'tkazgichga o'tish materiallar xossalari ohista o'zgarishi bilan bo'ladi. Sirt dipoli elektr maydon kuchlanganligi bilan bog'liq bo'lgan zonalar to'la egriligi quyidagicha aniqlanadi:

$$V_{di} = \frac{1}{e}(\chi_{01} - \chi_{02}) - \frac{\Delta}{e} = V_{dn} + V_{dp} - \frac{\Delta}{e}; \quad (1.5)$$

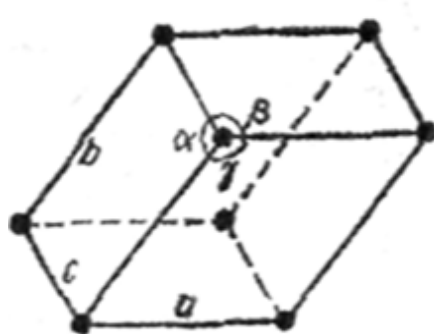
bu yerda $\frac{\Delta}{e}$ -potensialning sirt dipoli ta'sirida elektrostatik o'zgarishi[9].



1.1-rasm. Kristall panjara



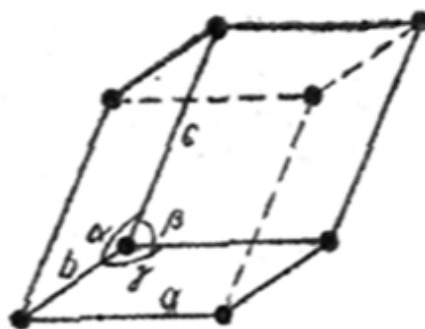
1.2-rasm. Olmos va osh tuzi krstallarining tuzilishi:
a) osh tuzi: Cl⁻ ion, O Na⁺ ion; b) olmos.



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$

Triklin



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$$

Monoklin



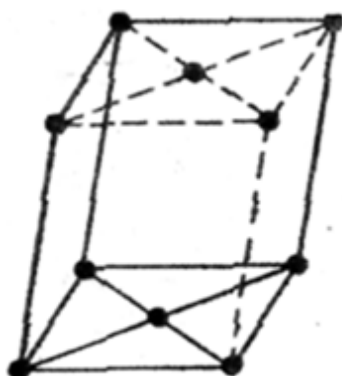
$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Rombik

a

a) Brave panjaralari;



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \gamma = 90^\circ$$

$$\beta \neq 90^\circ$$

Monoklin



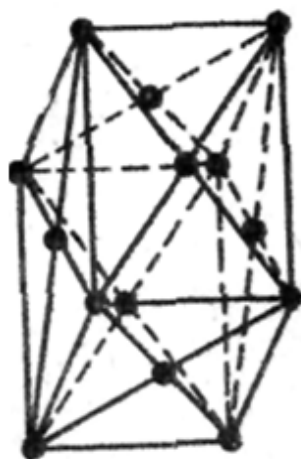
$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Rombik

b

b) asosi markazlashgan kristall panjaralar;



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Rombik



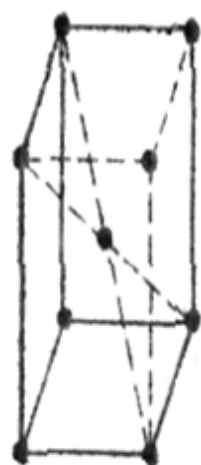
$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Kubik

v

1.3-rasm. v) yoqlari markazlashgan kristall panjaralar;



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Rombik



$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Tetragonal



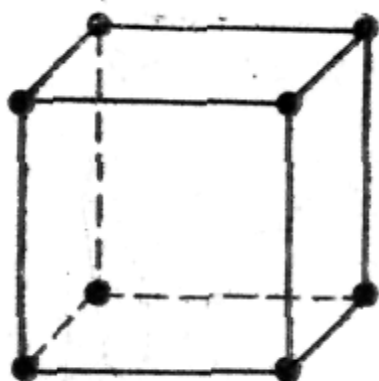
$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Kubik

g

g) hajmi markazlashgan kristall panjaralar;



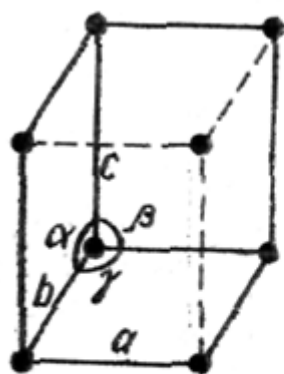
$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma$$

Kubik

d

1.3-rasm (davomi). d) oddiy kristall panjaralar.



$$a=b \neq c$$

$$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$$

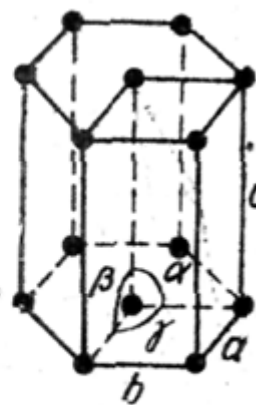
Tetragonal



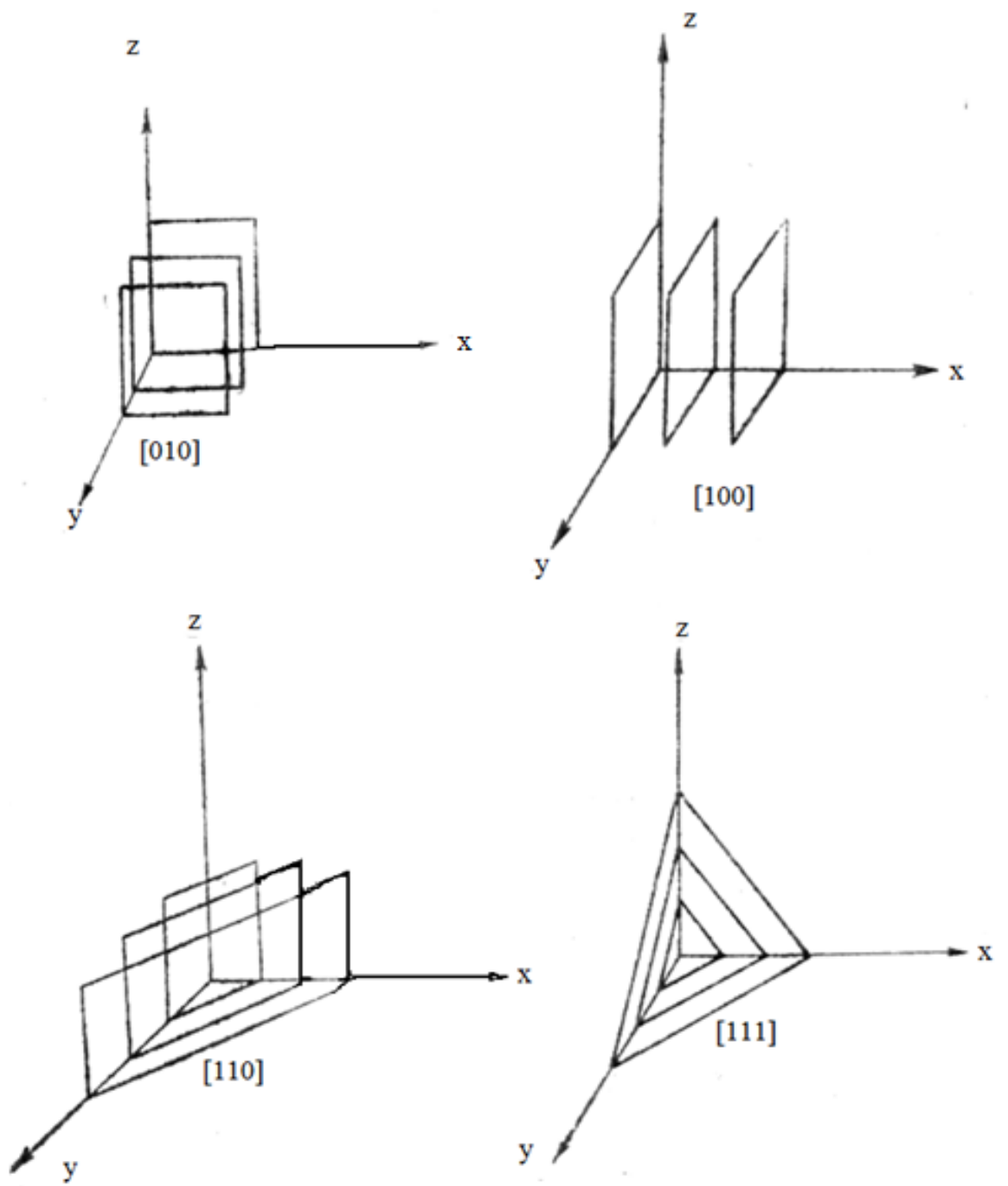
$$a=b=c$$

$$\alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$$

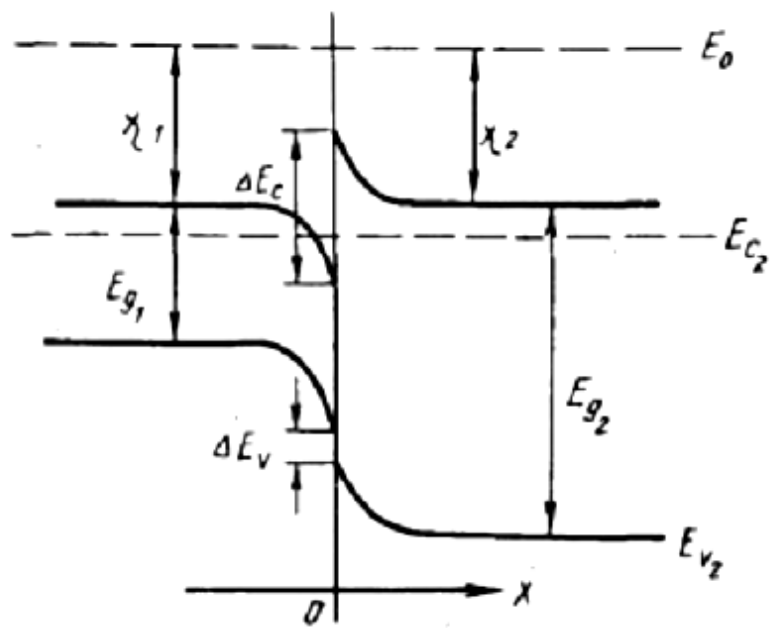
Trigonal



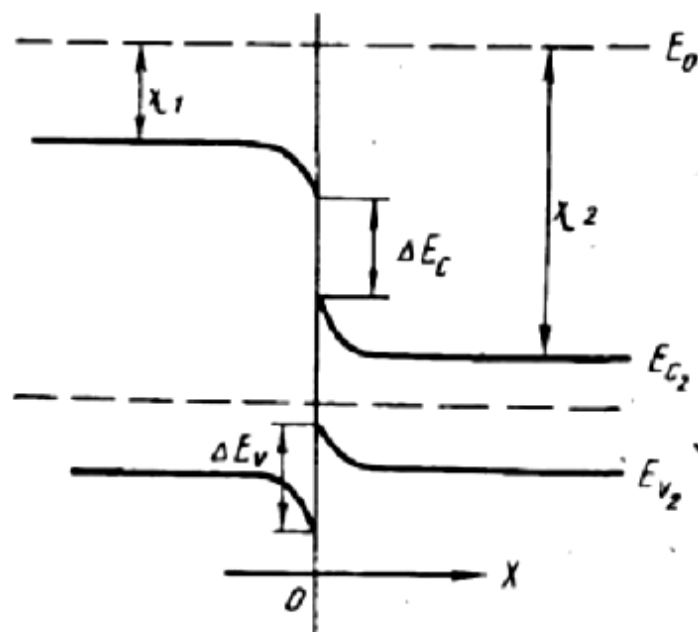
1.4. rasm.



1.5-rasm. Tekisliklar indeksi (kubik panjara).



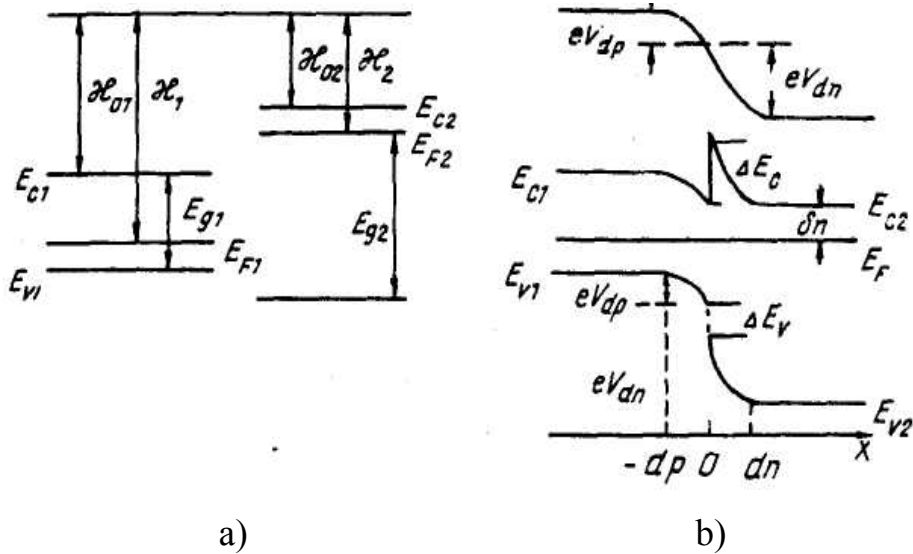
a)



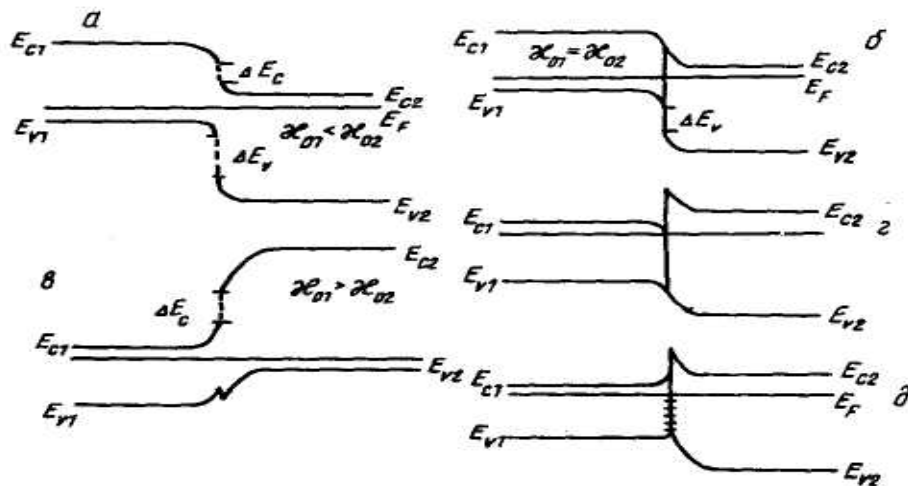
b)

1.6-rasm.

elektronning vakumdagi
energiyasi



1.7-rasm. Alohida olingan ikki yarimo`tkazgichning (a) va benuqson anizotip  $p$ - $n$  geteroo`tishning (b) Anderson zonalar diagrammasi modeli.



1.8-rasm. $x_{01} < x_{02}$ (a), $x_{01} = x_{02}$ (b), $x_{01} > x_{02}$ (v) bo`lgan hollardagi  $p$ - $n$  geteroo`tishning, benuqson (g) va akseptor chegaraviy holatlar (d) n - n geteroo`tishning energetik zonalar diogrammalari.

II.BOB. Modda strukturasini tadqiq qilish usullari

2.1. Rentgenostrukturaviy analiz.

Rentgenostrukturaviy analiz - modda strukturasini fazoda taqsimlanishini o'rganilayotgan ob'ektda sochilayotgan rentgen nurlanishini intensivligi bo'yicha tadqiq qilish usulidir. Rentgen nurlari - to'lqin uzunligi 10^{-11} m dan 10^{-7} m gacha chegarada bo'lgan, ultrabinafsha va gamma nurlanish orasidagi spektral sohani egallaydigan elektromagnit nurlanishdir.

Rentgenostrukturaviy analizda $0,5-2 \text{ \AA}$ to'lqin uzunlikdagi qattiq rentgen nurlari ishlatiladi.

Rentgenostrukturyuraviy analiz neytronografiya va elektronografiya bilan bir qatorda difraksion strukturaviy usul hisoblanadi. Bu usul asosida rentgen nurlanishini modda elektronlari bilan o'zaro tasiri, natijada rentgen nurlarining difraksiyasi sodir bo'lishi yotadi.

Rentgen nurlar difraksiyasi – rentgen nurlanishini kristall (yoki suyuqlik va gaz) molekulalari tomonidan sochilishidir, bu sochilish natijasida nurlarning dastlabki dastasida xuddi oldingidek to'lqin uzunlikdagi ikkilamchi og'gan dasta hosil bo'ladi: ikkilamchi dastani yo'nalishi va intensivligi sochuvchi ob'ektning tuzilishiga bog'liqdir .

Difraksion manzara rentgen nurlarning to'lqin uzunligiga va ob'ektning tuzilishiga bog'liqdir. Atom strukturasini tadqiq qilish uchun to'lqin uzunligi $\sim 1 \text{ \AA}$ ya'ni atom o'lchami tartibidagi nurlanish qo'llaniladi.

Rentgenostrukturyuraviy analiz usullari bilan metallar, qotishmalar, minerallar, noorganik va organik birikmalar, polimerlar, amorf materiallar va hakovzolar o'rganiladi. Kristall jisimlarni atom strukturasini o'rganishda bu usul ayniqsa muvaffaqiyatli qo'llaniladi, chunki kristallar qat'iy davriy tuzilishga ega bo'lib, rentgen nurlanishi uchun difraksion panjara vazifasini bajaradi.

2.1.1. Kristallda rentgen nurlarini sochilishi va Laue sharti

Rentgen nurlarini kristallardagi difraksiyasi 1912 yilda nemis fiziklari M.Laue, V.Fridrix va P.Knipplinglar tamonidan kashf qilingan.

Rentgen nurlanishini nozik dastasini qo'zg'almas kristallga yo'naltirib kristall orqasida joylashgan fotoplastinkada difraksion manzarani hosil qildiriladi, bunda ko'p sondagi qonuniyat asosida joylashgan dog'lar yuzaga keladi, har bir dog' kristall tomonidan sochilgan difraksion nurning izidir. Bunday usul bilan olingan rentgenogrammma lauegramma nomini olgan.(2.1-rasm)

Laue tomonidan ishlab chiqarilgan kristallardagi rentgen nurlar difraksiyasi nurlanishni λ to'lqin uzunligi, kristallni elementar yacheykasi parametrlari a , b , c tushayotgan nurlanishni burchaklari (α_0 , β_0 , γ_0) va difraksion nurlanish burchaklari (α , β , γ) larni o'zaro quyidagi munosabatlar orqali bog'lashga imkon beradi.

$$a (\cos \alpha - \cos \alpha_0) = h\lambda$$

$$b (\cos \beta - \cos \beta_0) = k\lambda$$

$$c (\cos \gamma - \cos \gamma_0) = l\lambda$$

Bu yerda h , k , l – Miller indeksleri, difraksion nurlarni hosil qilish uchun Laue tomonidan keltirilgan shartlar bajarilishi kerak. Bu shartlarga ko'ra parallel nurlardagi panjarani qo'shni tuginlarida joylashgan atomlar tomonidan sochilgan nurlar orasidagi yo'llar farqi to'lqin uzunlikni butun soniga teng bo'lishi kerak.

1923 yilda U.L.Bregg va u bilan bir vaqtda G.B.Vulf kristallda difraksion nurlarni hosil bo'lishini aniqroq ko'rinishini berdilar, ular ko'rsatadiki, istalgan difraksion nurlarni kristallografik tekisliklardan biriga tushayotgan nurning qaytishi sifatida qarash mumkun. O'sha yili U.L.Bregg birinchi marta rentgen difraksiyasi usuli yordamida sodda kristallarni atom strukturasini taqiq qildi. 1916 yilda P.Debay va nemis fizigi P.SHerrer polikristall materiallarni strukturasini tadqiq qilish uchun rentgen nurlar

difraksiyasidan foydalanishni taklif qildilar.

1938 yili fransuz kristallografi A.Gine moddada nobirjinsliliklarni shakli va o'lchamlarini o'rganish uchun rentgen nurlanishlarni kichik burchakli sochilishidan foydalanadigan metodni ishlab chiqdi.

Rentgenogramma – rentgen nurlanishini modda bilan o'zaro tasiri natijasida yuzaga keladigan ob'ekt tasvirini yorug'likka sezgir materialda qayd qilinishidir.

Ob'ektni rentgen nurlari bilan yoritganda yutilish, qaytish yoki difraksiya sodir bo'ladi. Rentgen nurlarni intensivligini fazoviy taqsimlanishi rentgenogrammada tasvirlanadi.

Rentgenogramma ob'ektni dog'li tasvirini beradi, bu tasvir rentgen nurlanishini o'rganilayotgan ob'ektni turli xil sohalarda turlicha sochilishi natijasida olinadi va biologik ob'ektlarni o'rganish, materialda turli xil nuqsonlarni aniqlash noorganik materiallar tarkibini nobirjinsliliklarni aniqlashtirish uchun qo'llaniladi.

Rentgen nurlanishini kristall namunalarda difraksion sochilishi natijasida olingan difraksion rentgenogrammasi rentgenostrukyuraviy analiz masalalarini yechish uchun foydalaniladi. Tadqiq qilinayotgan moddani tipiga (poli yoki monokristall) qo'llanilayotgan nurlanishni xarakteriga (uzluksiz yoki monoxramatik) shuningdek geometrik sharoitlarga bog'liq ravishda difraksion rentgenogramma markazlari turlicha nomlanadi.

Burilish rentgenogrammasi – tasvirga tushirish vaqtidagi kristallni burilishi yoki tebranishida qayd qilingan difraksion manzaradir, veyssenbergogramma, kforogramma, monokristallni sinxron aylantirganda va fotoplyonkani ko'chirganda olingan rentgenogrammadir, kosselogramma, rentgen topogrammalari.

2.1.2. Rentgenostrukturaviy analizni eksperimental usullari.

Difraksiya sharoitini yaratish va nurlanishini qayd qilish uchun rentgen kameralari va rentgen difraktometrlari ishlatiladi. Rentgen nurlarini sochilishi fotoplyonkada qayd qilinadi yoki yadro nurlanishlar detektorlarida o'lchanadi.

Tadqiq qilinayotgan namunani holati va xususyatiga bog'liq xolda, rentgenostrukturaviy analizni turli usullari qo'llaniladi. Atom strukturani tadqiq qilish uchun tanlangan monokristallar $\sim 0,1$ mm o'lchamda bo'lishi kerak.

Rentgen kamerasi - namunani atom strukturasi o'rganish va nazorat qilish uchun qo'llaniladigan asbob, bunda o'rganilayotgan namunada rentgen nurlarini difraksiyasi tufayli hosil bo'ladigan fotoplyonkadagi manzaradan foydalaniladi.

Rentgen kameralari rentgen strukturaviy analizda qo'llaniladi. Rentgen kameralari rentgen nurlarini difraksiyasi shartini (Bregg - Vulf sharti) va rentgenogrammani olishni ta'minlaydi.

Bregg - Vulf sharti to'lqin uzunlikni o'zgarmagan holda kristall tomonidan sochilgan rentgen nurlarni interferentsion maksimumlar holatini aniqlovchi shartdir.

Bu shart 1913 yilda ingliz olimi U.L.Bregg va rus olimi G.V.Vulf tomonidan aniqlangan Bregg-Vulf nazryasiga ko'ra rentgen nurlari parallel kristollografik tekisliklar sistemasidan qaytganda maksimumlar kuzatiladi. Bu holda turli xil tekisliklardan qaytgan nurlar to'lqin uzunlikni butun songa teng bo'lgan yo'llar farqiga ega bo'ladi. Bregg-Vulf shartini quyidagi ko'rinishda yozish mumkun.

$$2d \sin \varphi = m\lambda$$

Bu yerda d -tekisliklar orasidagi masofa, φ -tushayotgan nur va qaytaruvchi tekislik orasidagi burchak λ -rentgen nurlarini to'lqin uzunligi, m -musbat butun son bo'lib, qaytarish tartibini bildiradi.(2.2-rasm).

Rentgen kamerasi uchun nurlanish manbasi sifatida rentgen trubkalari

ishlatiladi. Rentgen kameralari konstruktiv tomonidan turlicha bolishi mumkun. Masalan: Monokristallar, polikristallarni tadqiq qilsh uchun kichik burchakli rentgenogrammlar olish uchun, rentgen fotografiyasi uchun mo'ljallangan rentgen kameralari. Rentgen kameralarni hamma tiplari kollimator namunani o'rnatish uzeli, fotoplyonkali kasseta namunani harakat mexanizimidan tashkil topadi .

Kollimotor birlamchi nurlanish ishchi dastasini shakillantiradi, u tirqishlar sistemasidan iborat bo'lib, bu tirqishlar rentgen trubkasini fokusi bilan birgalikda dastani yo'nalishini aniqlaydi. Kollimator o'rniga kamerani kirishida kristall- monoxramator o'rnatilishi mumkun . Monoxramator rentgen nurlanishini birlamchi dastasi ma'lum bir to'lqin uzunlikdagi nurlanishni tanlaydi.

Namunani o'rnatish usuli tutqichda namunani markazlashtirishni taminlaydi. Shuningdek, u namunani markazlashtirish uchun ham xizmat qiladi. Ko'pgina monokristall plastinalarni rentgen fotografiyasida namuna tutqichi plyonka siljishi bilan namunani burchak holatini saqlagan holda ilgarilanma ko'chishi mumkun. Rentgen fotografiyasi normal sharoitda, shuningdek yuqori va past temperaturalarda, vakuumda, mexnik deformatsiyalarda modda strukturasini o'rganishga yordam beradi. Namuna tutqichi kerakli temperatura va vakuum, bosim yaratish imkonyatiga ega.

Polikristallarni tadqiq qilish uchun parallel birlamchi nurlanish dastalaridan (2.3,a- rasm) va sochiluvchi nurlanish dastalaridan (2.3,b va v rasm) foydalaniladi. Monokristallarni tadqiq qiladigan rentgen kameralari vazifasiga qarab konstruktiv jihatdan turlicha bo'ladi: kristallarni oriyentirovkalash, ya'ni kristollografik o'qlarni yo'nalishini aniqlash uchun ishlatiladigan kameralar (2.4,a- rasm), kristall panjara paramretrlarini o'lchash uchun (qaytgan nurlar difraksiyasi burchakni o'lchash bo'yicha) rentgen kameralar va elementar yacheykani tipini aniqlash uchun rentgen kameralar (2.4,b va v rasm), difraktsion maksimumlarni qayd qilish uchun rentgen kameralar, ularga fotoqaydqilgichli rentgen goniometirlari deyiladi, kristall

panjarani buzilishlarni tadqiq qiladigan rentgen kameralar, amorf va shishasimon jisimlarni tekshirish uchun kichik burchaklarda difraksiyalanadigan birlamchi dastani sochilishini qayd qiladigan rentgen kameralar.

Mikro o'lchamdagi ob'ektlarni qayd qilish uchun kuchli fokusli rentgen trubkalari qo'llaniladi.

Rentgen difraktometri - rentgen nurlanishi yo'nalishini o'lchash uchun mo'ljallangan asbob.(2.5-rasm). Bu asbob berilgan yo'nalishda difragirlangan nurlanishni intensivligini 10 foiz aniqlikgacha va difraksiya burchakni minimumini 10 qismi aniqlikgacha o'lchab beradi. Rentgen difraktometri yordamida polikristall namunalarni fazoviy tahlilini va teksturalarni, monokristall bloklarni oriyentrovkasini, monokristalldan qaytgan nurlar intensivligini, turlicha tashqi sharoitda ko'pgina moddalar strukturasini tadqiq qilish imkonini beradi.

Rentgen difraktometiri rentgen nurlanish manbasidan, rentgen goniometiridan, nurlanish detektoridan va elektronli o'lchash qurlmasidan tashkil topadi.

Rentgen difraktometirida detektor rentgen kamerasidagi kabi fotoplyonka emas, balki yarimo'tkazgichli yoki Geyger – Myuller sanagichlari hisoblanadi. Rentgen difraktometirida namuna difraksion manzarasi ketma- ket olinadi: hisoblagich o'lchash jarayonida o'rnatiladi va aniq bir vaqt intrvalida tushayotgan nurlanish energiyasini qayd qiladi. Rentgen kameralari bilan taqqoslaganda rentgen difraktometiri katta aniqlikka, sezgirlikka egadir. Rentgen difraktometirida malumotni olish jarayoni to'la avtomatlashtirilgan.

Rentgenostrukturaviy analiz usullari bilan monokristallni to'la tadqiq qilish uchun faqat namuna holatini o'rnatibgina qolmay, balki iloji boricha ko'p sondagi difraksion qaytishlar intensivligini o'lchash kerak. Buning uchun difraksion manzara rentgen goniometirida fotoplyonkada qayd qilinadi va rentgenogrammada har bir dog'ni qorayish darajasi mikrofotometr yordamida o'lchanadi. Rentgen difraktometirida sintilyatsion, proporsional hisoblagichlar

yordamida difraksion qaytishlar intensivligini bevosita o'lchash mumkun .

Qaytishlarni to'la naboriga ega bo'lishi uchun rentgen ganiometirida rentgenogramma seryalari olinadi, ularni har birida difraksion qaytishlar fiksirlanadi. Rentgenoganiometrik eksperiment ko'pincha Vaysenberg usuli bo'yicha amalga oshiriladi o'rtacha murakkablikdagi (elementar yacheykada 50-100 atomda) atom strukturalarini o'rganish uchun bir qancha yuz va minglab difraksion qaytishlar intensivliklarni o'lchash zarurdir. Difraktometrik o'lchashlar sezgirliги va aniqligi bo'yicha fotoregistratsiyadan ustunlik qiladi.

Polikristallarni tadqiq qilish usuli Debay-SHerrer usuli hisoblanadi.

Metallar, qotishmalar, kristall parashoklar juda ko'p mayda monokristallardan tuzilgandir. Ularni tadqiq qilish uchun monoxromotik nurlanish qo'llaniladi.

Rentgenogramma (Debayegramma) bir qancha kontsentrik xalqalardan iboratdir, bu xalqalarni har birida turlicha oriyentirlangan monokristallarni tekisliklar sistemasidan qaytgan nurlanishlar tasvirlangan. Debayegramma har bir modda uchun individual xarakterga ega. Polikristallarni rentgenostrukturaviy analizi namunalarni fazoviy tarkibini aniqlashga, moddada teksturalarni aniqlashga namunada kuchlanishlarni boshqarishga imkon beradi .

Uchli difraksion maksimumli aniq rentgenogramma olish uchun uch o'lchamli davriylikka ega namuna ishlatiladi. Materialni atom tuzilishini tartiblanganlik darajasi qancha past bo'lsa rentgen nurlanishini diffuz xakteri aniq namoyon bo'ladi.

Kichik burchakli sochilish usuli o'lchami $5-10 \text{ \AA}^0$ dan $10000 \text{ \AA}^0$ gacha bo'lgan moddani fazoviy nobirjinsliliklarni o'rganishga imkon beradi. Bu holda rentgen nurlarining sochilishi birlamchi dastanining yaqinida – kichik burchakli sochilishlar sohasida konsentrlanadi.

Izolyatsiyalangan oqsil molekulalari va nuklein kislota molekulalari uchun bu metod ularni shaklini o'lchamini, molekular massasini aniqlashga imkon berdi. Rentgen kichik burchakli usuli sanoatda katalizatorlarni

tayyorlanish jarayoni, yuqori burchakli dispersiyasini nazorat qilish uchun ishlatiladi.

Rentgen nurlari difraksiyasi bo'yicha atom strukturasi aniqlash.

Kristallni atom strukturasi o'rganish, uni elementar yacheykasini shakli va hajmini aniqlashdan, atom strukturani bazis atomlarini koordinatalarini olishdan iboratdir.

Bu vazifalarni Laue usuli va kristallni burush va chayqatish usullari yordamida yechish mumkin.

Hozirgi zamon difraksion eksperimentlari yordamida kristalldagi atomlarni issiqlik tebranishlari miqdoriy xarakterlarini ham hisoblash mumkin. Rentgenostrukturaviy analiz kristallda valent elektronlarini taqsimlanishini aniqlashga ham imkon beradi[10].

2.2. Ikkilamchi ionlarni mass spektroskopiyasi (IIMS)

IIMS qattiq jismni sirtini tadqiq qilishni fizik metodlaridan biridir. Ikkilamchi ionlarni mass-spektrometriya usuli o'rganilayotgan materialni birlamchi zaryadlangan zarralar dastasi yordamida changlatishga va bu changlangan ionlarni massa sonini o'lchashga asoslangan.

Uning printsiptial sxemasi 2.6- rasmda tasvirlangan. Changlanish jarayoni 2.7- rasmda tasvirlangan. Namuna tekshirish yuqori vakuum sharoitida amalga oshiriladi, chunki bu holda ikkilamchi ionlar atrof muhit molekulalari bilan to'qnashmasligi, shuningdek o'lchash vaqtida atrof muhitdagi gazlar zarralarining o'rganilayotgan sirtga adsorptsiya bo'lmasligi kerak. Namuna 0,1 – 100 keV energiyali birlamchi ionlar dastasi (Xe^+ , Cs^+ , Ca^+) bilan bombardimon qilinadi. Sirt bilan to'qnashgan birlamchi ionlar ikkilamchi zarrachalarni urib chiqaradi, bu ikkilamchi ionlarni 5% dan oz qismi odatda sirtni ionlashgan holatda tark etadi. Bu ionlar fokuslanadi va mass-analizatorga tushadi, bu yerda ular massasini zaryadiga nisbatiga qarab ajraladi. Keyin ular detektorga tushadi. Detektor esa ikkilamchi ionlarni tok intensivligini qayd qiladi va EHM ga ma'lumot yuboradi.

IIMS quyidagi **imkoniyatlarga** ega:

1. hech qanday maxsus tayyorgarliksiz istalgan qattiq jismni analiz qilish mumkun.
2. vodoroddan to transuran elementlargacha bo'lgan hamma elementlar analiz qilinadi.
3. hozirgi zamonaviy asboblarda metodning sezgirliги konsentratsiya bo'yicha 1 sm^3 da 10^{12} - 10^{16} aralashma atomini tashkil qiladi.
4. materiallarni 30-100 $\text{\AA}$ chuqurlikda qatlamlar bo'yicha analiz, elementlar konsentratsiyasini profilini tadqiq qilish;
5. faqat alohida elementlar emas, kimyoviy birikmalar xam analiz qilinishi mumkun.

6. Massa sonining diapazoni 1 – 250 m.a.b.
7. Massa sonini, spektral chiziqlar intensivligini bilgan holda tekshirilayotgan ob'ektni sifatiiy va miqdoriy tarkibini aniqlash mumkun.

IIMS metodi quyidagi **kamchiliklarga** ega :

1. namunani element tarkibini aniq miqdoriy aniqlash qiyin;
2. birlamchi ionlar dastasini tekshirilayotgan namunadagi buzuvchi ta'siri, bu ta'sir natijasida atomlarning siljishi bilan bog'liq effektlar sodir bo'ladi.

Changlanish jarayonini sxemasi 2.6. rasmda ko'rsatilgan. IIMS usuli quyidagi tarkibdagi asboblardan tuzilgan:

1. Birlamchi ionlar zambaragi;
2. Birlamchi ionlarni kollimatori, bu asbob nurni tezlashtiruvchi va namunaga yo'naltiruvchi vazifani bajaradi;
3. Yuqori vakuumli kamera bo'lib, u namuna va ionli linzadan iborat;
4. Massaviy analizator bo'lib, u ionlarni ajratib beradi;
5. Ionlarni detektorlash qurilmasi.

10 keV energiyali birlamchi ionlar $\approx 100 \text{ \AA}$ chuqurlikgacha kiradi. Qattiq jism panjarasida ularni to'rmozlanishi natijasida matritsa atomlari orasida ketma ket to'qnashuvlar kaskadi kuchayadi. To'qnashuv kaskadlarini bir qismi sirtga chiqish imkoniyatiga ega bo'ladi. Agar kaskadni oxiridagi, matritsani sirt atomlarini energiyasi uni sirtdan ajralishi uchun yetarli bo'lsa, uni emissiyasi, ya'ni changlanishi sodir bo'ladi. Emissiyagacha changlangan zarrachalar joylashadigan chuqurlik **chiqish chuqurligi** deyiladi.

IIMS metodi moddalarni fazoviy analizida ham muvaffiyatli qo'llaniladi. Atomni ionlanish ehtimolligi bu atom kirgan moddani fazasiga bog'liq, shuning uchun detektordagi tok aynan qanday faza changlanayotganiga bog'liq. [23].

2.3. Oje –spektrometriya

Oje-spektroskopiya –Oje effekti natijasida hosil bo'ladigan elektronlarni energiya bo'yicha taqsimlanishini analiz qilishga asoslangan elektronli spetroskopiya usulidir.

Oje effekti atomni ichki elektronlarini rentgen yoki gamma nurlanish, elektron zarb tufayli urib chiqrilishi natijasida ichki elektron qobiqda hosil bo'ladigan vakansiyani elektronlar bilan to'ldirilish hodisasidir. Sirt haqidagi ma'lumotni olinish usuliga qarab metodlar emitsiyon va zondlovchi turlarga bo'linadi. Emitsiyon usulda sirtga turli faktorlarni (temperatura, elektrmaydon) tasiri natijasida zarralarni emitsiyasidan foydalaniladi.

Zondlovchi metod zarralar emitsiyasiga yoki tadqiq qilinayotgan sirtga tasir qiluvchi nurlanishga asoslangan. Elektron oje-spektroskopiya zondlovchi metodlarga kiradi. Bu metod birlamchi elektronlar dastasi natijasida taqiq qilinayotgan moddadan emitsiyalangan elektronlarni energiya bo'yicha taqsimotini tahlil qilishga asoslangan. Bu energiya jarayonda qatnashuvchi atom qobiqlarni energetik strukturasi bilan aniqlanadi.

Oje jarayonlar qattiq jism sirtini energiyasi 10 dan 10000 eV gacha bo'lgan sekin elektronlar bilan bombordimon qilish natijasida kuzatiladi. Qattiq jismlar sirtini bombordimon qilish ikkilamchi elektron emitsiya bilan kuzatiladi. Ikkilamchi elektronlar tarkibiga elastik va noelastik birlamchi elektronlar ham kiradi. Oje jarayon natijasida emitsiyalangan elektronlar energiyani qandaydir qiymatlari bila harakterlanadi. Agar birlamchi elektronlar dastasi tasiri natijasida emitsiyalangan elektronlarni energiyalar bo'yicha tahlil qilinsa umumiy energetik spektrdan Oje jarayon natijasida hosil bo'lgan elektronlarni ajratish va ularni energiyalarini aniqlab sirtida u yoki bu elementni mavjudligi haqida xulosa chiqarish mumkun.

Oje elektronlar emitsiyasining intensivligiga turli xil faktorlar ya'ni atom ichki satxlarini ionizatsiya kesimini birlamchi elektronlarni energiyasiga bog'lanishi, sochilgan elektronlarni teskari oqimi, faton hosil bo'lishi bilan yuz

beradigan atonmi uyg'onmagan holatga o'tish ehtimolligi sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Oje elektronlar tokiga elektronlarni namunaga tushish burchagi va Oje elektronlarni qayd qilinish burchagi ta'sir ko'rsatadi.

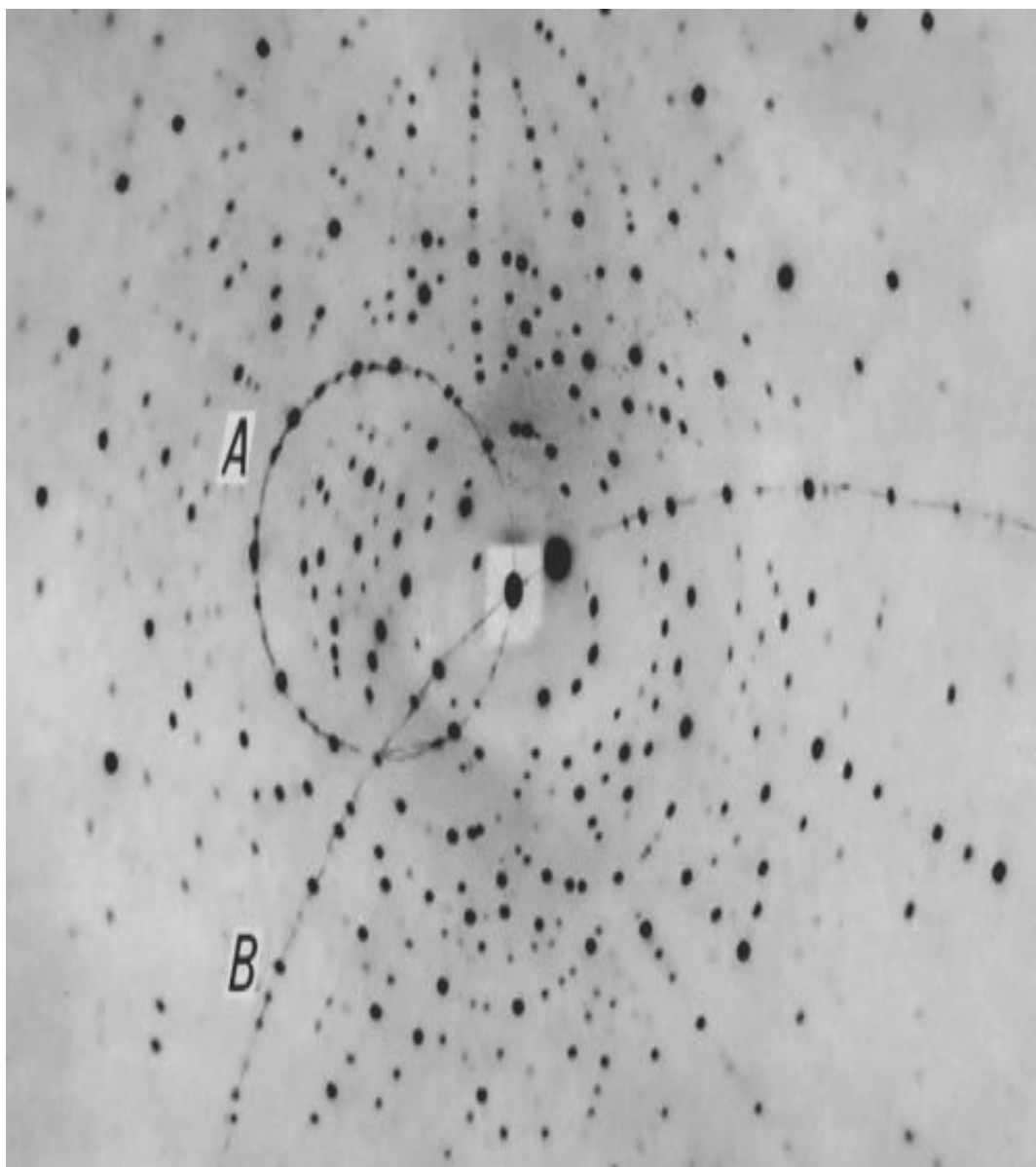
Bu metod qalinligi 1-2 nm bo'lgan yupqa sirt qatlamlarni tekshirishga imkon beradi.

Metodni avzaliklari:

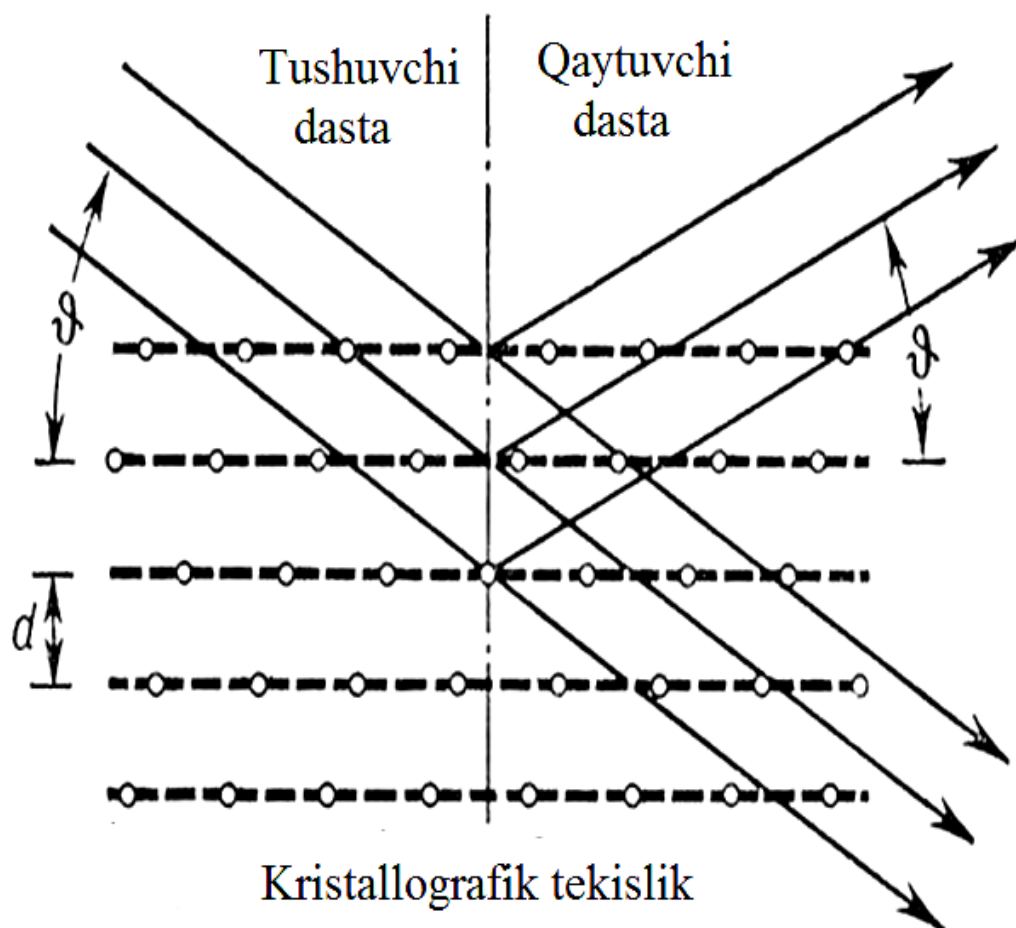
1. yuqori sirtiy sezgirlik;
2. miqdoriy ma'lumotni olish mumkunligi;
3. qo'llash usulini soddaligi;

Metodni kamchiligi:

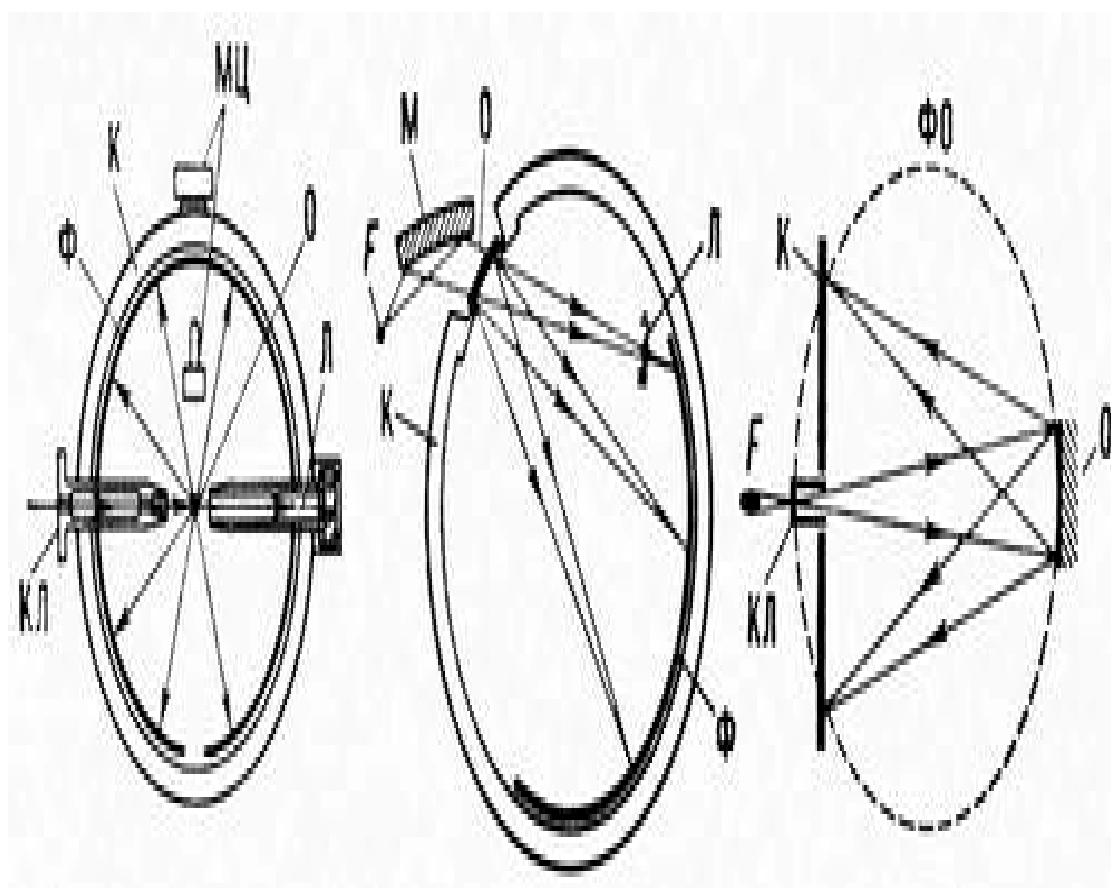
1. metodda elektron neytral atomdan emas balki iondan chiqarilishi hisobga olinmaydi.
2. atomlarni ionlanishi elektronsathlarning pastga silijishiga olib keladi bu esa chiqarilayotgan Oje elektronlar energiyasiga ta'sir ko'rsatadi [24].



2.1-rasm. Lauegramma



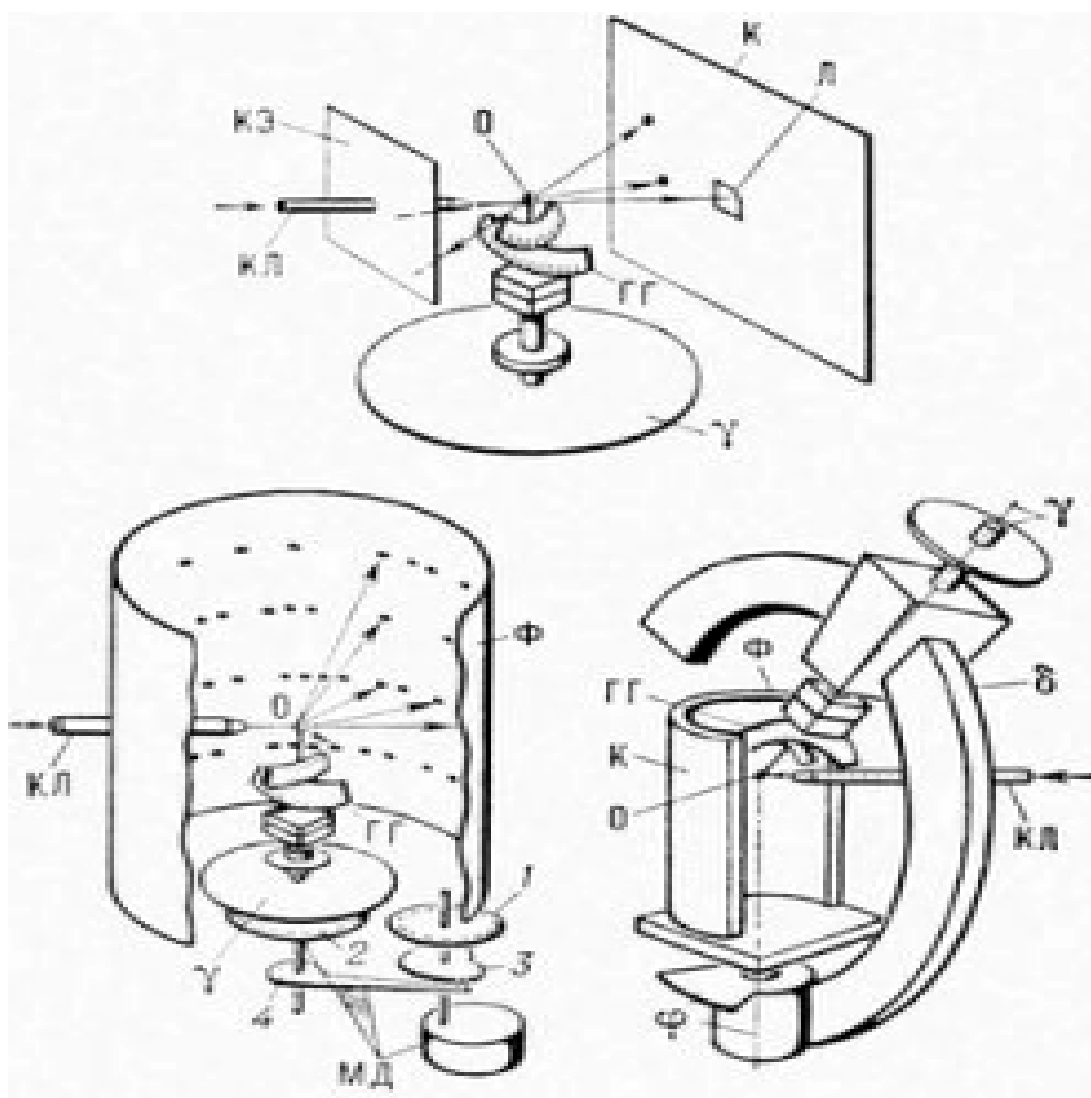
2.2-rasm. Rentgen nurlarni parallel kristallografik tekisliklar sistemasidan qaytishi.



2.3-rasm

Polikristallarni tadqiq qilish uchun rentgen kameralarini sxemalari: a-Debay kamerasi; b-monoxramatorli fokuslovchi kamera (kichik burchakli difraksiya sohasi); v-teskari fotosuratga olish uchun fokuslovchi kamera (katta difraksiyalik burchaklarda) strelkalar bilan to'g'ri va difraksialangan dastalar yo'nalishi ko'rsatilgan O-namuna, F-rentgen trubkasini fokusi, M-kristall- monoxramator;

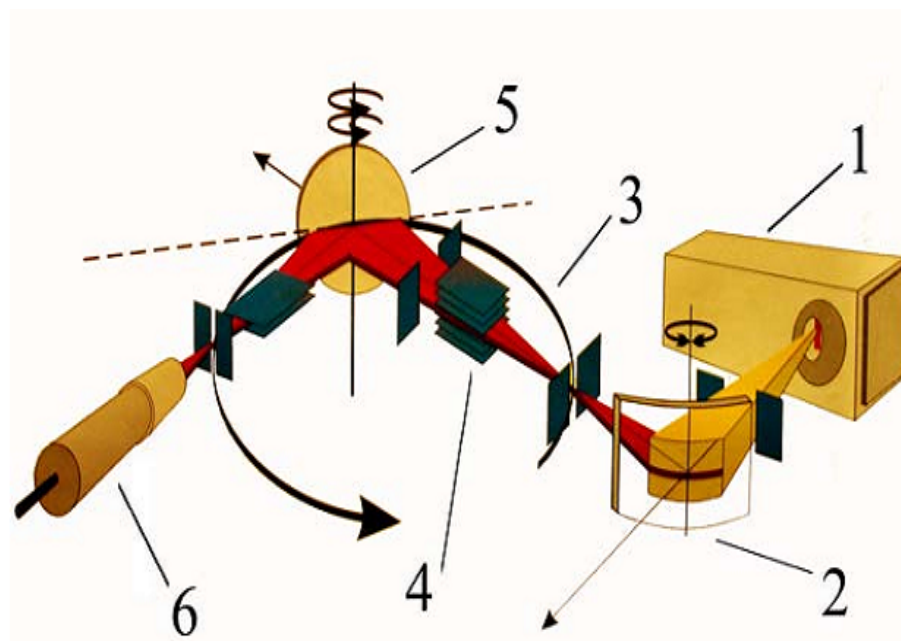
K-fotaplyonkali kasseta ФЛ-qo'llanilmagan rentgen dastasini ushlab oladigan tutqich, ФO-fokuslash aylanasi, MЦ-namunani markazlashtiruvchi mexanizm.



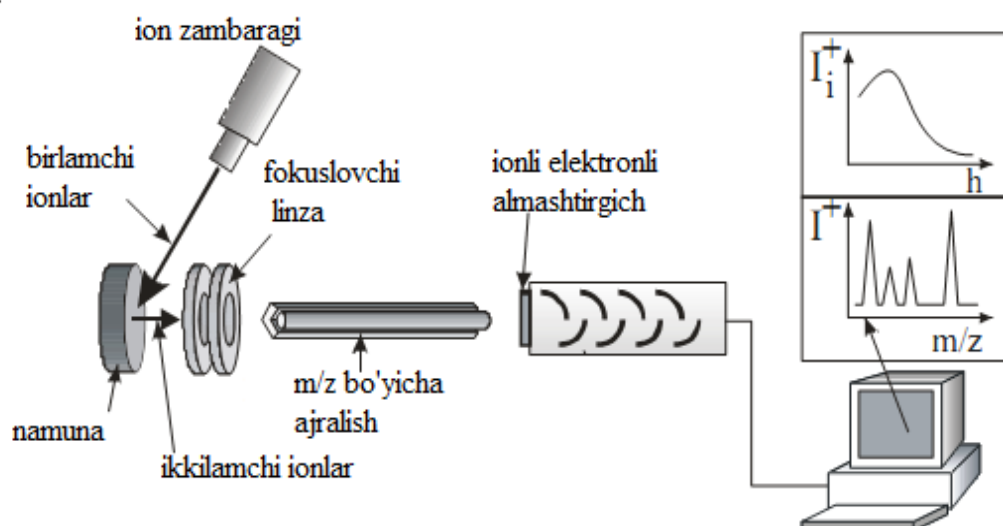
2.4-rasm

Monokristallarni tadqiq qilish uchun rentgen kameralar sxemasi:

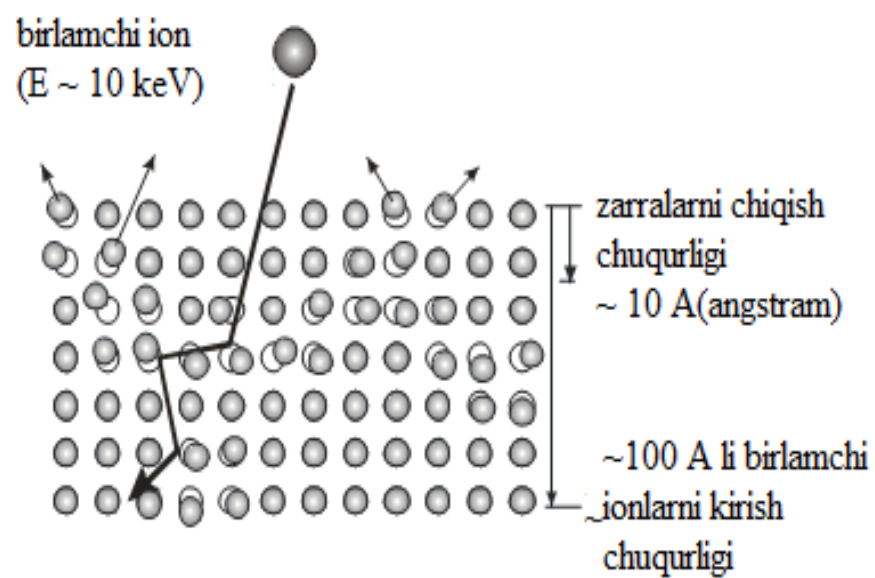
a -Laue usuli bo'yicha qo'zg'almas monokristallarni tadqiq qilish; b- aylanish kamerasi. Fotoplyonkada qatlam chiziqlari bo'yicha joylashgan difraksion maksimumlar ko'ringan. Namunani aylanishi birinchi va ikkinchi qurilmalar yordamida amalga oshiriladi. Namunani tebranishi esa uchunchi va to'rtinchi qurilmalar yordamida amalga oshiriladi. v-elementar yacheykani o'lchami va shaklini aniqlash uchun rentgen kamerasi. O-namuna, ГГ –goniometrik qurilma, КЭ-epigrammni tasvirga olish uchun kasseta, КЛ-fotoplyonkali kasseta, МД-namunani tebranishi yoki aylanishi uchun mexanizm, φ -limb va namunani tebranish o'qi orasidagi burchak.



2.5-rasm. Difraktometr sxemasi. 1-rentgen trubkasi, 2-monoxramator, 3-ganiometr, 4-Soller tirqishi, 5-namuna, 6-detektor.



2.6- rasm. IIMS metodini printsipl sxemasi



2.7-rasm. Changlanish jarayoni.

III.BOB. Yarimo`tkazgich materiallar va ular asosidagi strukturalarni rentgen difraktometriya, kichik burchakli reflektometriya va ikkilamchi ionlarni mass-spektrometriyasi usullari bilan tadqiq qilish.

3.1. Ko`p qatlamli yarimo`tkazgichli SiGe strukturalarni rentgen difraktometriya, kichik burchakli reflektometriya va ikkilamchi ionlarni mass-spektrometriyasi usullari bilan tadqiq qilish.

Yarim`tkazgichli asboblarni tayyorlashni texnologik jarayoni uchun qatlamlarni tarkibi, aralashmalar mavjudligi, qatlamlararo interfeyslarning kengligi qatlamlar zichligi va qalinligini aniqlash muhim ahamiyatga egadir.

Ko`p qatlamli strukturalarni diagnostikasi uchun keng tarqalgan usullardan biri ikkilamchi ionlarni mass-spektrometriyasi (IIMS) [11], rentgen difraktometriya, (RD) rentgen nurlarini kichik burchakli reflektometriyasi (RKBR) [12]. Bu usullarni o`ziga xos kuchli va kuchsiz tomonlari mavjud.

Qattiq jismni strukturasini va tarkibini tadqiq qilish usullari bo`lgan IIMS va RD yarimo`tkazgichli qattiq qotishmalarni miqdoriy tahlil qilishda bir birini to`ldiradi[13,14]. IIMS usuli o`rganilayotgan strukturada ximik elementlarni chuqirlik bo`yicha taqsimlanishi haqida aniq va to`g`ri ma`lumot berishga imkon beradi, lekin strukturani qatlamlararo tahlil qilishda ionli changlatish jarayoni o`lchash natijasiga ma`lum bir xatolik kiritadi, bu xatolik eksperimental profilni haqiqiyga nisbatan siljishida va kengayishida aniq namoyon bo`ladi[15,16] .

Shuningdek, bu metodda turli xil ikkilamchi ionlarni chiqish koeffitsiyentlari va yedirish tezligida variatsiyaga sabab bo`ladigan changlatish jarayonini nostatsionarligi bilan bog`langan effektlar ham kuzatiladi. Namunalarni IIMS usuli bilan miqdoriy tahlil qilish “matritsaviy” effekt deb ataladigan effekt tufayli ham qiyinlashadi. Bu effekt namunada element konsentratsiyasi va ikkilamchi ionlarni chiqish intensivligi orasidagi nochiziqli bog`lanishda o`z ifodasini topadi.[17].

RD va RKBR usullarida elastik sochilgan rentgen nurlanishi intensivligini burchak bog'lanishi qayd qilinadi.

RD usulida rentgen nurlanishini translatsiyon – tartiblangan kristall strukturasi difraksiyalanish xodidasidan foydalaniladi, RKBR usuli turli xil dielektrik singdiruvchanlikka ega bo'lgan muhitlar chegarasidan elektromagnitik nurlanish hodisasiga asoslanadi. RD usuli qattiq qotishma shakllanishida kuchlanishlar va nuqsonlar tufayli atomlarni siljishlari tufayli yuzaga keladigan krisatall strukturani siqilishiga nisbatan sezgirdir. RKBR usulida eksperimental chiziqning ko'rinishi o'rganilayotgan strukturadagi elektron zichlik profili, ya'ni qatlamlararo interfeys tarkibi va qalinligi bilan aniqlanadi. Rentgen difraksion eksperimentlarni malumotlarini interpretatsiya qilishdagi asosiy muammo difragirlangan to'lqinlar fazasi haqidagi ma'lumotni yo'qolishi tufayli teskari masalani yechishni mumkun emasligidir. [17] ishda SiGe/Si ko'p qatlamli struktura misolida IIMC, RD va RKBR usullari bilan chuqirlik bo'yicha tarkibni taqsimlanishi tahlil qilingan.

Namuna sifatida Si (001) taglikda molekulyar nurli epitaksiya usuli bilan o'stirilgan SiGe qattiq qotishmani va toza kremniyni o'nta navbatlashib keladigan qatlamlaridan iborat. Yarimo'tkazgichli geterostrukturada olingan toza kremniy qatlamining qalinligi 21-22 nm, qattiq qotishma qatlamining qalinligi 7-8 nm, qatlamdagi germaniy germaniy konsentratsiyasi 30-40% chegaralarda o'zgaradi. RKBR va RD metodlarda o'lchangan eksperimentar chiziqlar 3.1, a va b rasmlarda ko'rsatilgan. Eksperimentda ko'p qatlamli strukturadan qaytishda sodir bo'ladigan interferensiya natijasida hosil bo'ladigan murakkab difraksion manzara kuzatiladi. Ko'p qatlamli strukturani parametrlarini aniqlashda, ikkilamchi ionlarni mass-spektrometriya usulidan ham foydalaniladi. Eksperiment TOF.SIMS-5. Ikkilamchi ionlarni mass-spektrometrida bajariladi. Bu qurilmada ionli dastalar ishini va mass analizatorni impuls rejimi qo'llaniladi, ya'ni ikki ionli dastalarni tahlil va changlatish uchun funksiyalari ajratilagan. Changlatish 1keV Cs^+ ionlar bilan amalga oshadi. Sirtni zontlash uchun 25 keV energiyali Bi^+ ionlaridan

foydalaniladi. $^{74}\text{Ge}^-$ va $^{30}\text{Si}^-$ ikkilamchi ionlar chiqishini changlatish vaqtiga bog'lanishi 3.2 rasmda ko'rsatilgan.

RD va RKBR ma'lumotlarini tahlil qilish modellashtirish usuli bilan amalga oshiriladi. Bunda uchta parametr: qalinlik, qattiq qotishmani tarkibi va g'adir budirligi bilan xarakterlanadigan 10 ta qatlamdan iborat strukturani murakkab modeli beriladi.

RKBR usuli bilan olingan natijalar 3.1, a rasmda, RD eksperimentlari uchun olingan malumotlar 3.1, b rasmda tasvirlangan solishtirish natijalari shuni ko'rsatadiki, strukturani bir modeli ikkala eksperimentni ham yaxshi qanoatlantiradi.

O'rganilayotgan struktura davriy "psevdodavriy" likka yaqin ekanligini tahlil qilish uchun murakkablik qiladi. Bunday metodni real xatoligi bir qiymatligi va ishonchligi, olingan natijalarni boshqa usullar bilan taqqoslash natijasida ma'lum bo'ladi. Masalan: shunday usullardan biri ikkilamchi ionlarni mass-spektrometriyasidir.

3.2. rasmdan ko'rinadiki GeSi qatlamlarida $^{74}\text{Ge}^-$ ionlarni qayd qilinadigan intensivligi deyarli to'yinishga chiqmaydi. Bu holat toza Si qatlamlarida $^{30}\text{Si}^-$ ionlari uchun kuchliroq namoyon bo'ladi. IIMC usulida olingan eksperimental profil siqilishlarga ega, bu siqilishlar strukturadagi ionli changlatish jarayonlari, matritsaviy effektlar, changlatishni nostatsionar rejimlari bilan bog'liqdir.

Ionli changlatish jarayonining tasiri o'lganayotgan profilni haqiqisiga nisbatan sirtga qarab siljishi va kengayishida namoyon bo'ladi. Matritsaviy effektlar ikkilamchi ionlar chiqishini tegishli elementning konsentratsiyasiga nochizig'y bog'lanishda o'z aksini topadi. Changlanishni nostatsionar rejimini qatlamlar bo'yicha tahlilda sirt oldi qatlamini bir qancha dastlabki nm qatlamlarini tahlil qilishda yedirish tezligi va ikkilamchi ionlarni chiqish koeffisientlarini o'zgarishiga olib keladi. Shuningdek, changlaniish tezligini tekshirilayotgan strukturani tarkibiga bog'liqligini ham ta'kidlash kerak.

[17] ishda qattiq qotishmada ikkilamchi Ge ionlar chiqishini qattiq qotishmadagi Ge ni konsentratsiyasi x ga nochizig'iy bog'lanishi 3.3- rasmda tasvirlangan.

Rasmdan ko'rinadiki, qattiq qotishma qatlamlarda Ge konsentratsiyasi rentgen o'lchashdagilarga nisbatan kam sezilgan, bu shu bilan bog'liqki, IIMC usulida chuqirlik bo'yicha o'lchash imkonyati yupqa qatlamlarni miqdoriy tahlili uchun yetarli emas.

3.4- rasmda, punktir chiziq bilan RD ma'lumotlar bo'yicha olingan struktura modeli, uzliksiz chiziq bilan bu model bo'yicha IIMC profillarini hisoblash, nuqtalar bilan IIMS usulida olingan eksperimental malumotlarga ishlov berish natijasida hosil qilingan Ge konsentratsiyasi profili tasvirlangan.

Model va eksprement bo'yicha olingan hisoblashlar yetarlicha mos kelishi, ikkinchi va uchunchi qatlamlarda Ge maksimal konsentratsiyasi. o'lchashlar shuni ko'rsatadiki, RD bo'yicha olingan ma'lumotlarni tahlili strukturani haqiqatga yaqinroq modelini beradi.

GeSi qtlamlarini tarkibi, qalinligi va holatini IIMC malumotlari bo'yicha olingan tahlili noto'g'ri natijalar beradi.

3.3 rasmda kuzatilgan SiGe ni pastki qatlamlarini tarkibini turli usullar bilan baholangandagi mos kelmaslik sirt bo'yicha namunani nobirjinsliligi bilan bog'langandir. IIMC usuli lakal ya'ni mahalliy usul hisoblanadi, shu bilan birga RD usuli bilan baholash namuna parametrlari haqida o'rtachalshgan bahoni beradi.

Demak xulosa chiqarish mumkunki RD malumotlari bo'yicha olingan struktura modeli Ge ni strukturada haqiqiy taqsimlanishi haqida aniq malumot beradi. IIMC malumotlari bo'yicha profilni tiklash uchun qator siquvchi faktorlarni qat'iy hisobga olish zarurdir. RD va RKBR eksperimentlari bo'yicha malumotlar olish, eksperimentni sifati va struktura parametrlari soni tufayli chegaralangan.

3.2. Rentgen difraktometriya va ikkilamchi ionlar mass-spektrometriya usullari bilan (Al, Ga)As qattiq qotishmalarni tarkibini tahlil qilish.

AlGaAs yarimo'tkazgich qatlamlar zamonaviy optoelektronikada keng qo'llaniladi.

[18] ishda (Al, Ga)As qattiq qotishma qatlamlarida matritsaviy elementlar konsentratsiyasini qatlamlar bo'yicha tahlil qilish uchun TOF.SIMS-5 mass spektrometri yordamida grodirovka chiziqlari olingan shu bilan birga olingan natijalarni taqqoslash uchun rentgen difraktometriya (RD) usuli ham qo'llanilgan.

[19] ishdan malumki ikkilamchi ionlarni mass-spektrometriyasini (IIMS) aralashma atomlariga sezgirliги kalibrovkalangan namunalar yetarlicha oson aniqlanadi, chunki o'zgarmas matritsada kichik konsentratsiyalar sohasida qayd qilingan ionlar intensivligini matritsadagi atomlar konsentratsiyasiga chizig'iy bog'lanishi saqlanadi. Lekin konsentratsiya katta bo'lganda bog'lanish nochizig'iy xarakterda bo'ladi.

Kritall panjaraning davri o'zgarishi bo'yich qattiq qotishma konsentratsiyasini RD tahlilida ham bir qancha qiyinchiliklar mavjud. Bu qiyinchiliklar Vegard qonunidan og'ish tufayli vujudga keladi. Vegard qonuni bo'yicha qattiq qotishma panjara davrini konsentratsiyasiga bog'lanish chizig'iy xarakterga ega[20].

[18]ishda qator namunalarni strukturaviy xususiyatlarini o'rganish bo'yicha IIMS va RD usullar yordamida olingan natijalar keltirilgan.

Vegard qonunidan og'ish bilan bog'liq bo'lgan tuzatmalarni hisobga olish quyidagi yo'l bilan amalga oshirilgan. Detektor oldidagi keng tirqishdan chayqalish chizig'iga difraksion qaytishni hisoblangan chizig'i solishtiriladi. Difraksion qaytish chizig'i rentgen nurlar sochilishini dinamik nazaryasi bo'yicha hisoblanadi. Nazarya qatlamdan va taglikdan, qaytgan nurlarni interferensiyasini hisobga oladi. Bu esa rentgen difraktometriya usulini qo'llangandagi quyidagi qiyinchiliklarni bartaraf qiladi:

1. Rengenodifraksiya spektridagi qatlamni zaif pikini siljishi.

2. Qatlam va taglikni kristallografik yo'nalishlardagi har xillik chayqalish chizig'i bo'yicha qatlam pikini holatini o'lchashga imkon bermaydi.

Eksperimental chayqalish chizig'ining ko'rinishi namunalarni dislaktsion relaksatsiyalar bilan yetarlicha aniq identifikatsiya qilishiga imkon beradi.

Interferension manzarada qo'shimcha piklarning mavjudligi odatda relaksatsiya mavjud emasligini, ya'ni panjara kagorentlik uzunligini qatlam qalinligi bilan mos tushishidan darak beradi.

3.5 rasm namunalar sifatida gazafazali epitaksiya usuli bilan GaAs (100) tagliklarida o'stirilgan AlGaAs qatlamli strukturalardan foydalanilgan rentgen difraktometriya o'lchashlari DPOH-4 difraktometrida olib borilgan.

Qatlamlararo IIMC tahlil TOF.SIMS-5 asbobida bajarilgan qatlamlar bo'yicha yedirish 2 keV energiyali Cs^+ ionlar dastasi yordamida amalga oshirilgan. Krater o'lchami 200x200 mkm tahlil uchun katta energiya (25keV) li.

Bi^+ ionlar dastasidan foydalanilgan profil sohalarida turli musbat va manfiy ionlarni chiqishlari aniqlandi.

3.6 rasmda rentgen o'lchovlari bo'yicha aniqlangan ionlarni chiqish intensivliklarini tarkibiga bog'lanishi keltirilgan.

Musbat ionlar sifatida CsAs^+ va Cs_2As^+ ionlaridan foydalanilgan Cs^+ ionlarini chiqishi juda yuqori intensivlikk ega bo'lgan As intensivligi esa juda kichik intensivlikka ega va nisbiy intensivlikka juda katta xatolik kritadi. Cs^- manfiy ionlar chiqishining intensivligi juda kichik, As^- va As_2^- ionlar chiqishining intensivligi juda katta.

Tahlil qilingan ionlar tarkibiga quyidagilar kiritilgan: Al^+ , CsAl^+ , Cs_2Al^+ , AlAs^- , Al_2As^- olingan bog'lanishlarning aniqligi quyidagi faktorlar bilan chegaralangan:

-rentgenodifraktometriya o'lchashlari past x li sohalarda juda katta xatoliklarga ega;

-foydalaniladigan namunalarini miqdorini chegaralanganligi yetarli bo'lmagan statistikani beradi;

-qatlamlarning tarkibi chuqurlik bo'yicha nobirjinsli;

O'lchashlar shuni ko'rsatadiki RD o'lchashlarda ham xuddi IIMC dagi kuchli matritsaviy effektlar nomoyon bo'ladi, ya'ni ionlarning chiqishi faqat namuna tarkibi bilan aniqlanib qolmasdan balki qatlamlar bo'yicha yedirish vaqtidagi namunani sirtini xususiyatlari bilan ham aniqlanadi AlGaAs srtining xususiyatlari namuna tarkibining o'zgarishi bilan sezilarli o'zgaradi.

Bu qatlamlar bo'yicha tahlil vaqtida GaAs qatlamdan AlGaAs qatlamga o'tishda As^+ , CsAs^+ , Cs_2As^+ ionlarni chiqishlari sezilarli kamayganda ko'rinadi.

Matritsaviy effektlar shunga olib keladiki ko'pgina chiqishini x ga bog'lanishi nochizig'iydir.

Xulosa qilib shuni aytish mumkunki epitaksial qatlamlarni rentgenodifraksion tahlilida panjara davrini konsentratsiyaga chizig'iy bog'lanishidan og'ishini hisobga oluvchi sodda variant taklif qilindi. Bu usul shundan iboratki bunda tuzatma chizig'i yasaldi.

Ko'rsatildiki TOF.SIMS-5 mass-spektrometrida changlanayotgan Cs^+ ionlari va tahlil qilinotgan Bi^+ dastalaridan foydalanganda $Y(\text{CsAl}^+)/Y(\text{CsAs}^+)$ chiqishni $x(\text{AlAs})$ ga bog'lanishi va $Y(\text{Al}_2\text{As}^-)/Y(\text{As}^-)$ chiqishni $x(\text{AlAs})$ ga bog'lanishi chiziqli xarakterga yaqin ekan.

3.3. Geterostrukturalarni rentgen bir kristalli difraktometriya usuli bilan tadqiq qilish.

Yarimo`tkazgichli materiallarni va ko`p qatlamli yarimo`tkazgichli getrostrukturalarni o`rganish, shuningdek kristall strukturalarni transformatsiya analizi uchun rentgen difraktometriya usuli keng qo`llaniladi. Bunday eksperimental masalalarni yechish uchun asosiy shart tadqiq qilish instrumentini to`g`ri tanlashdir. Rentgen difraktometrik tadqiqotlar uchun bunday instrument rentgen nurlarini dastlabki dastasidir. Monokristall materiallarni va qatlamlarni tadqiq qilish uchun odatda juda yaxshi monoxramatlashgan dastlabki dastalardan foydalanishga intilishadi, bu dastalarni yassi va parallel qilishga harakat qilishadi. Bunday sxema ikki va uch kristalli difraktometrlarda amalga oshiriladi[21]

Lekin bu qurilmalarda ishlaganda quvvat yo`qolishi rentgen trubkasini quvvatini 5-10 keV, gacha oshirish zarurligini va difraktometrda ishlash uchun maxsus jihozlangan xonani talab qiladi. Undan tashqari difraktometr bir qator afzalliklarga ega. Xususan qurilmani konstruksiyasi uni alohida qisimlarini bir biriga nisbatan siljishini taminlaydi, bu esa difraktometrni burchakni katta diapazonida ko`p informatsiya olishga imkon beruvchi ko`p aperatsiyali sistemaga aylantiradi. Difraktometrni dasturiy taminoti difraktogrammani trupka - detektor sistemi o`qini ixtiyoriy burchakka burgan holda olishga imkon beradi. Zarurat bo`lganda vertikal o`qni 0,01 interval bilan  $45^0$  gacha predmet stolini  $\pm 180^0$  gacha og`dirish mumkun. Difraktometrning asosiy kamchiligi monokristall materiallarni tadqiq qilishda rentgen nurlari dastalarini monoxramatligini kamligidir. Bu esa diframetrik tadqiqotlarda “to`rmizli” pikni hosil bo`lishiga olib keladi undan tashqari rentgen nurlarining paralleligida ham kamchilik mavjuddir.

[16] ishda quyidagi turli xil strukturalar tadqiq qilindi.

- Kremniy-sapfir standart epitaksial qalinliklari mavjud;
- 0.1 mkm qalinlikdagi qatlamli kremniy-sapfir strukturalar, ularni

strukturalari;

- Kremniy –izalyator strukturalar ularni ishchi qatlamining qalinligi 0.3-12 mkm gacha;

Ionli legirlangan kremniy qatlamlari qalinligi 25 dan 500 nm gacha bo'lgan kremniyda o'stirilgan AlGaIn/GaN getrastrukturalar .

Tadqiqot uchun rentgen difraktometryani bir necha usullari qo'llaniladi:

- sirtga parallel bo'lgan kristallografik tekislikdan infarmatsiya olish uchun qo'llaniladigan θ -2 θ simmetrik qaytish usuli:

Sirtga burchak ostida joylashgan tekislikdan informatsiya olish uchun assimmetrik qaytish usuli.

Ko'p qatlamli yarimo'tkazgichli getrostrukturalarni taglik va ishchi qatlamni materialni turlicha bo'lganda θ -2 θ simmetrik qaytish usuli bilan analiz qilishda tadqiqot ob'ekti sifatida Si (111) da o'stirilgan AlGaIn/GaN epitaksial qatlamli ko'p qatlamli yarimo'tkazgichli getrostruktura tanlandi (3.7rasm).

O'lchashlar epitaksial qatlamni sirti bilan mos keladigan kristallografik tekislikdan simmetrik Bregg difraksiyasi sodir bo'lganda o'tkazildi. θ -2 θ geometriyasida kapilyarlar chetidan difraksiya sochilgan nurlanishda rasmga olish va bir biriga yaqin panjara parametriga ega bo'lgan getrostrukturalarni bir qancha qatlamlarini kristall tekisliklar sistemasidan bir vaqtning o'zida sodir bo'ladigan difraksiya manzarasini olishga imkon beradi.

3.7.rasmda ko'p qatlamli strukturani difraktogrammasi tasvirlangan. Rasmdan ko'rinadiki, bunday interferension manzara Ga va Al ning miqdori turlicha bo'lgan GaN, AlN va AlGaIn qatlamlarini bir vaqtning o'zida identifikatsiyalashga imkon beradi. Rasmdagi har bir alohida qatlam uchun maksimal intensivlikni interferension piklari getrostrukturani malum bir qatlamidan qaytayotgan xarakteristik nurlanish uchun Bregg difraksiyasini sharti aniq bajarilganda olinishi mumkun. Aniq Bregg difraksiyasi sodir bo'lganda difraktogrammani olish bilan getrostrukturani har bir qatlamidan interferension maksimumlarni olish mumkun. 3.7-rasm, v da GaN qatlamiga tegishli difraktogramma ko'rsatilgan bo'lib, unda to'rmizli nurlanishni piki

tasvirlangan rasmdan ko`rinib turibdiki GaN ga tegishli pikni intensivligi Bregg difraksiyasi shartini aniq kuzatganda sochilgan nurlanishda olinadigan manzaraga ikki tartibga kattadir. Shunday qilib θ -2 θ sxema bo'yicha rasmni ikkita ko'rinishdan foydalanib umumiy manzarani olish mumkun. Bu manzara murakkab getrostrukturada alohida qatlamlar mavjudligini aniqlaydi va alohida ravishda ko'p qatlamli getrostruktura uchun har bir qatlam uchun interferension maksimumlarni tahlil qilishga imkon beradi. Bu ishda supmikronli ajratuvchi qatlamli epitaksial qatlam va taglik bir xil materialda bo'lganda θ -2 θ simmetrik qaytish usuli bilan epitaksial yarim o'tkazgichli getrostrukturalarni tahlil qilish uchun ob'ekt sifatida kremniy-izolyator-qalinligi 0,4 dan 1 mkm gacha bo'lgan oksidlar bilan ajratilgan strukturalardan foydalanildi. O'lchashlar (100) kristallografik tekisliklardan simmetrik Bregg difraksiyasi geometryasida o'tkazildi. Birlamchi rentgen nurlar intensivligini oshirish natijasida turli xil kremniy-izolyator strukturalardagi SiO₂ ajratuvchi qatlam strukturani madefikatsiyasi aniqlandi. SHu narsa malum bo'ldiki ajratuvchi oksid qatlami amorf strukturaga ega ekan. Strukturada kremniyni ishchi qatlamining kristall mukammalligi SiO₂ madefikatsiyasiga bog'liq ekan.

3.8.rasmda birlamchi sirpanuvchi rentgen nurlar geometryasida fotosuratga olish qilingandagi qaytish difraktogrammasi tasvirlangan, xususan sirtga nisbatan birlamchi dastani tushish burchsgi $2,87^0$, uchta sapfirdagi kremniy strukturasi uchun kremniy qatlamining qalinligi 0,1 – 0,3 va 0,6 mkm Kremniyni (113) tekisligidan qaytish Bregg burchgining hisoblangan qiymatiga eng yaqin qiymat ishchi qatlamini qalinligi 0,3 mkm bo'lgan strukturaga tegishlidir, undan tashqara 0,5 mkm qalinlikdagi qatlamli struktura uchun qaytgan nur intensivligi sezilarli darajada o'rganilayotgan qatlamni kristall strukturasi bilan bir xil sifatdagi qatlam qalinligidan qaytish intensivligiga proporsional bo'lgan holdagidan katta bo'ladi.

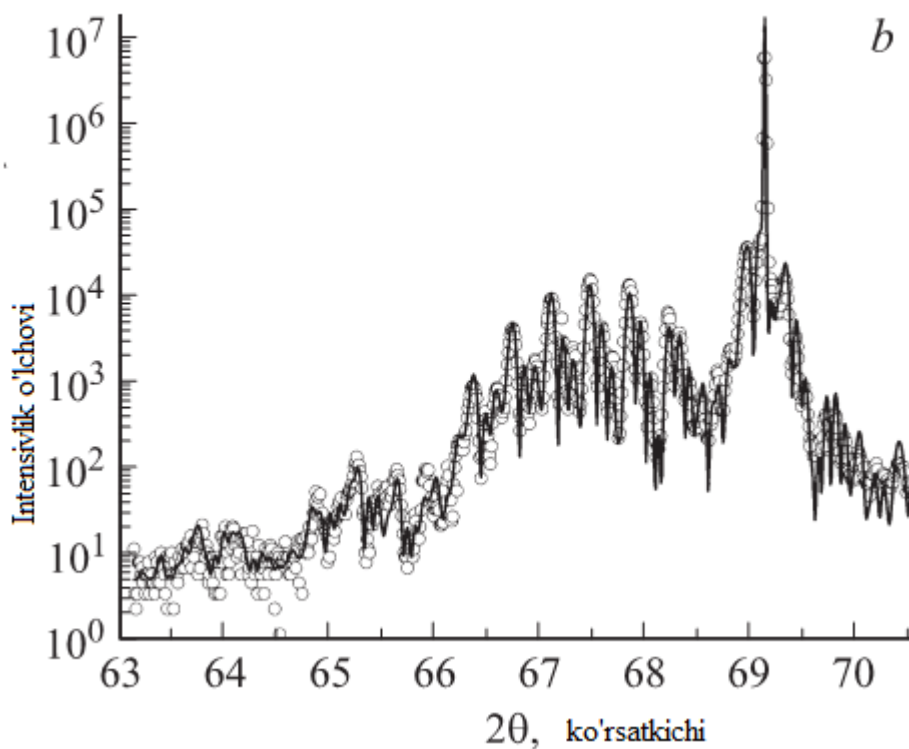
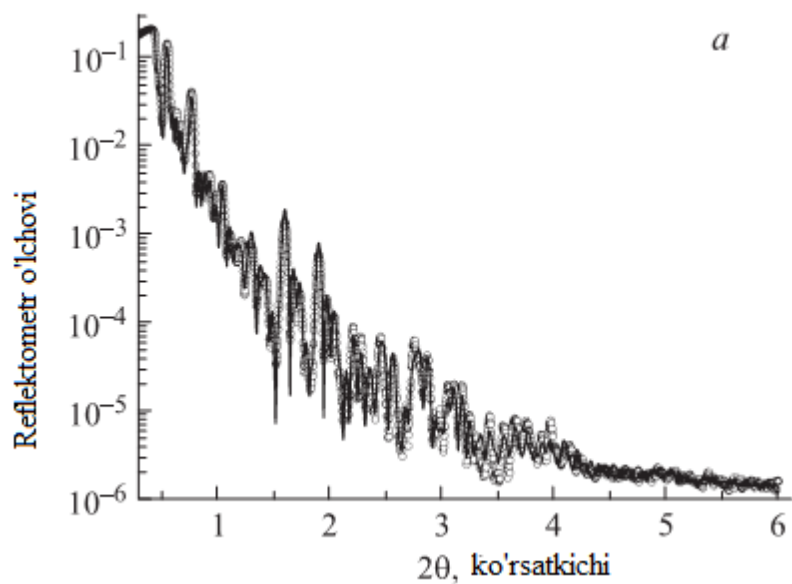
3.8-rasmdan ko`rinadiki 0,6 va 0,1 mkm qalinlikdagi qatlamli strukturadan qaytish interferension maksimumlari 0,3 mkm qalinlikdagi kremniyli struktura uchun qaytish maksimumlardan har ikkala tamonda

joylashadi. SHunday qilib bu ma'lumotlar 0,3 mkm qalinlikdagi kremniy strukturani epitaksial qatlamini yuqori strukturaviy mukammallikka ega ekanligini ko'rsatadi, undan tashqari 4-risunikdagi difraktogramma tahlili strukturani epitaksial qatlamlaridagi elastik deformatsiyalarini ishorasidagi farq mavjudligini ham ko'rsatadi.

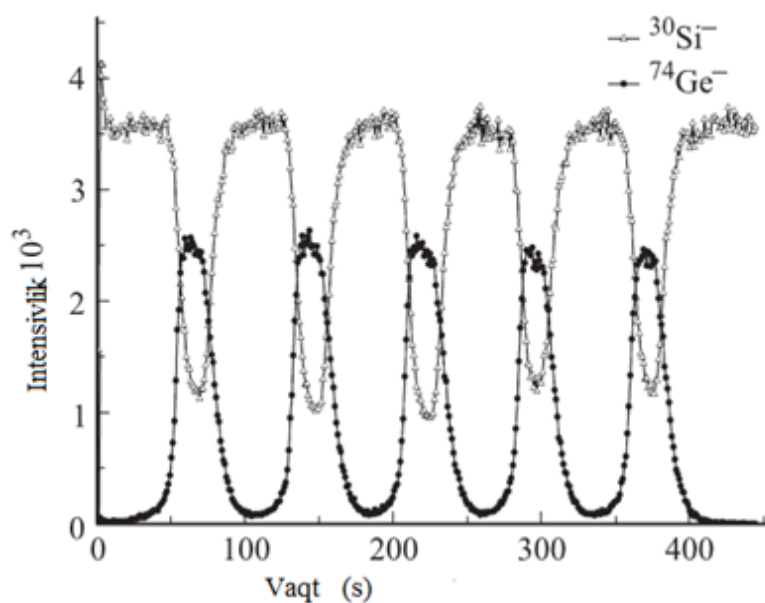
0,3 mkm qalinlikda sapfirdagi kremniy strukturasi sirpanuvchi rentgen dastalari bilan fotosuratga olishni ikki xil sxemasidan foydalanilgan holda juda aniq tahlil qilindi.

3.9.-rasmda harakatchan birlamchi dasta va harakatchan difragirlangan dasta sxemasi bo'yicha olingan interferensiyalar maksimumlar intensivligining burchakka bog'liqligi tasvirlangan .5-a sxemadan ko'rinyaptiki harakatchan birlamchi dasta sxemasi bir vaqtning o'zida kremniy (113) tekisligidan va Al_2O_3 (10 4) tekisligidan kuzatish imkonini beradi.

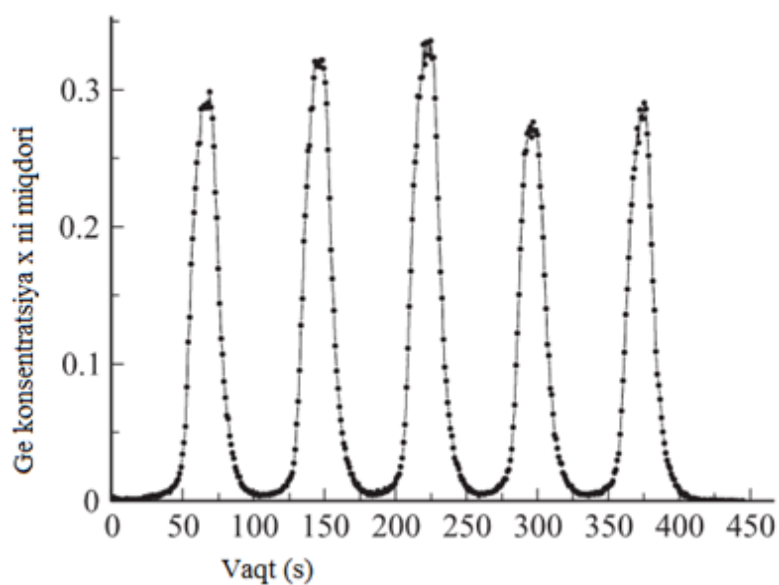
O'tazilgan tadqiqot natijalarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki harakatchan birlamchi dasta usulini qo'llash turli xil vaqtda va kremniy qatlamini turli qalinligida o'stirilgan turlicha sapfirdagi kremniy strukturasi ishchi qatlamini kristall strukturasi baholash imkonini beradi, ikki usulni taqqoslash tahlili shuni ko'rsatadiki, zarur holatda alohida qatlam yoki taglik materialini kristall strukturasi baholash uchun harakatchan difragirlangan dasta sxemasidan foydalanish qulay lekin shuni ta'kidlash kerakki, bu sxema bo'yicha o'lchash yetarlicha chuqur qatlamlarni tadqiq qilish uchun amalga oshiriladi. Buning uchun esa birlamchi difragirlangan nurni tushish burchagi katta bo'lishi kerak.



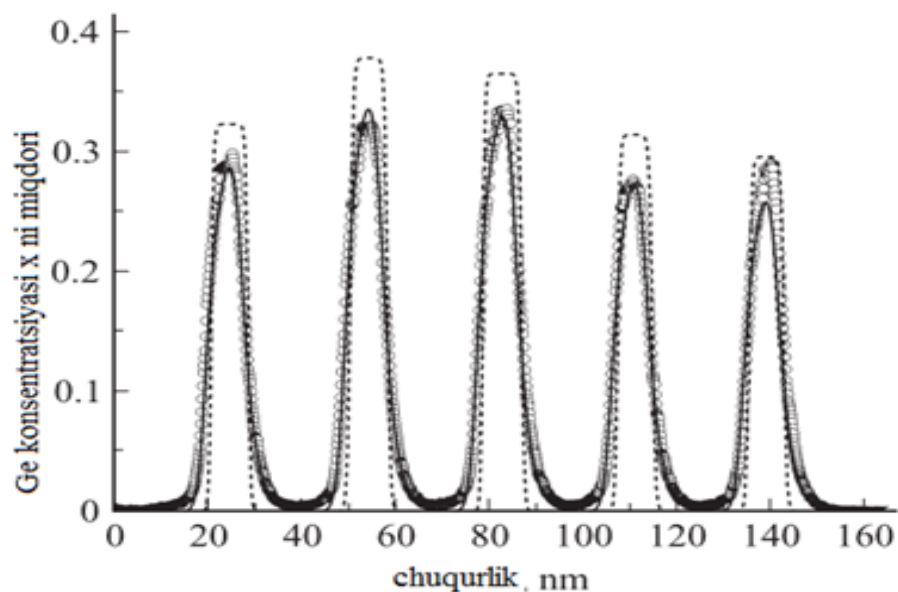
3.1-rasm. Kichik burchakli rentgen reflektometriya chiziqlari (a) va Si (004) da rentgen difraktometriya spektrlari (b). Nuqtalar – eksperiment, uzluksiz chiziq hisoblash.



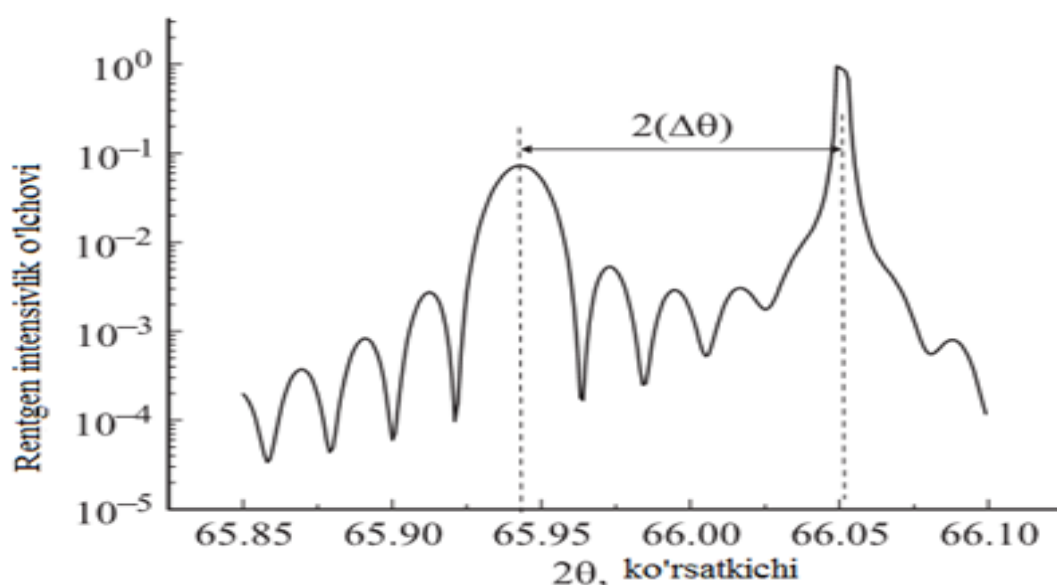
3.2-rasm. Qatlamlar bo'yicha ikkilamchi ionlarni mass-spektraskopiya tahlilida ikkilamchi ionlar ($^{74}\text{Ge}^-$ va $^{30}\text{Si}^-$) chiqish intensivligini changlanish vaqtiga bog'lanishi.



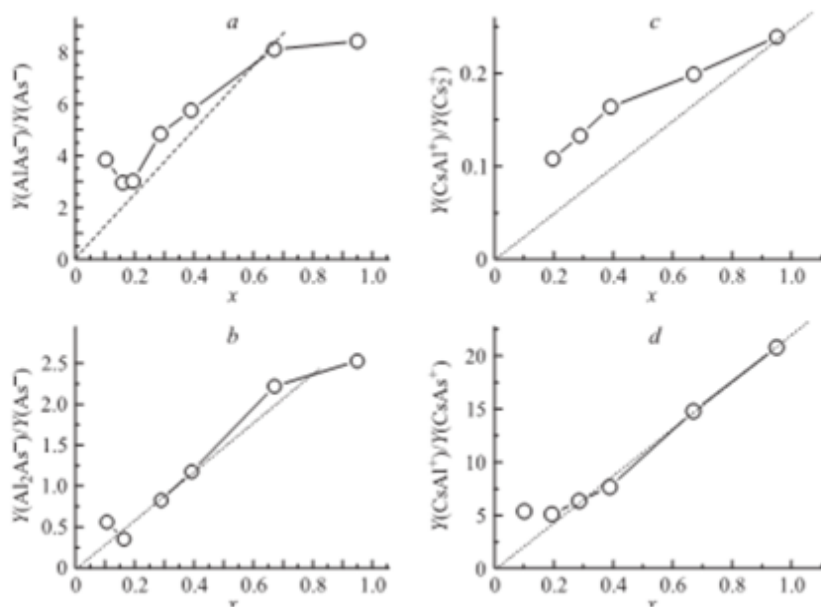
3.3-rasm. Qattiq qotishmada germaniy konsentratsiyasi x ni changlanish vaqtiga bog'lanishi.



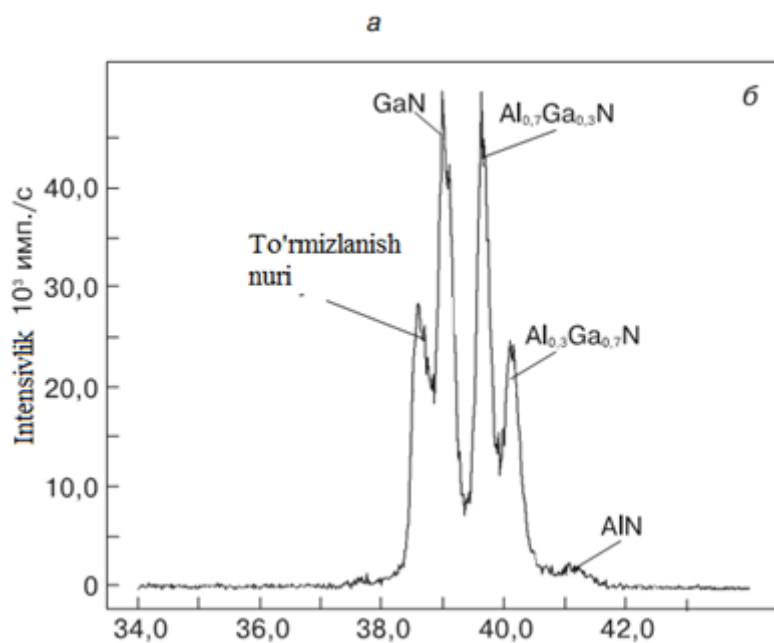
3.4-rasm. Rentgen o'lchashlar malumotlari bo'yicha o'lchangan va hisoblangan ikkilamchi ionlar mass-spektraskopiyasi profilini taqqoslash – nuqtalar qayta ishlangan o'lchangan profil, shtrix chiziqlar rentgen o'lchashlar malumotlari bo'yicha olingan dastlabki model, uzliksiz chiziq dastlabki model bo'yicha eksprementlar profilini hisoblash.



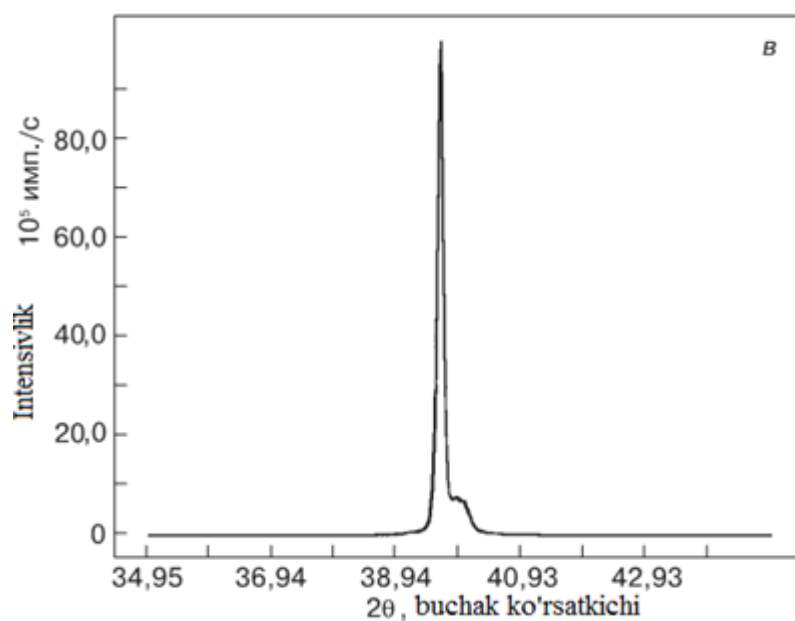
3.5-rasm. 0,5 mkm qalinligidagi $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ qatlami uchun yuqori aniqlikdagi rentgen difraktometriyasi spektrining ko'rinishi.



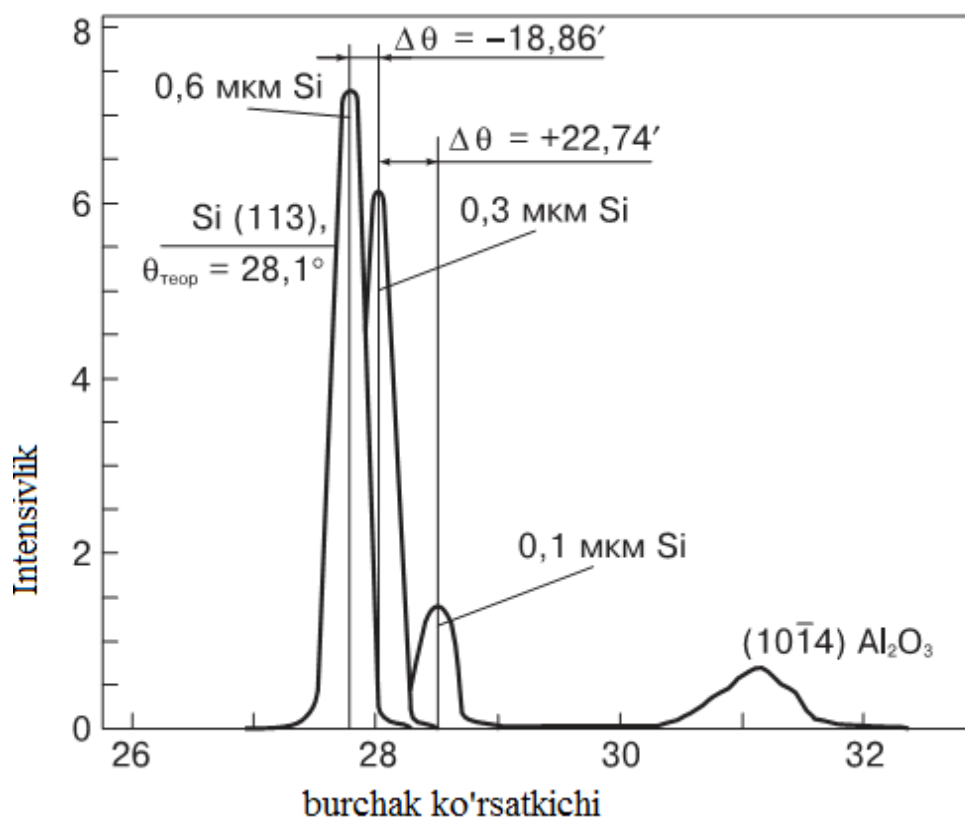
3.6-rasm. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ qatlamlarida manfiy (a,b) va musbat (c,d) ionlar chiqishi nisbatini AlAs konsentratsiyaga bog'lanishi.



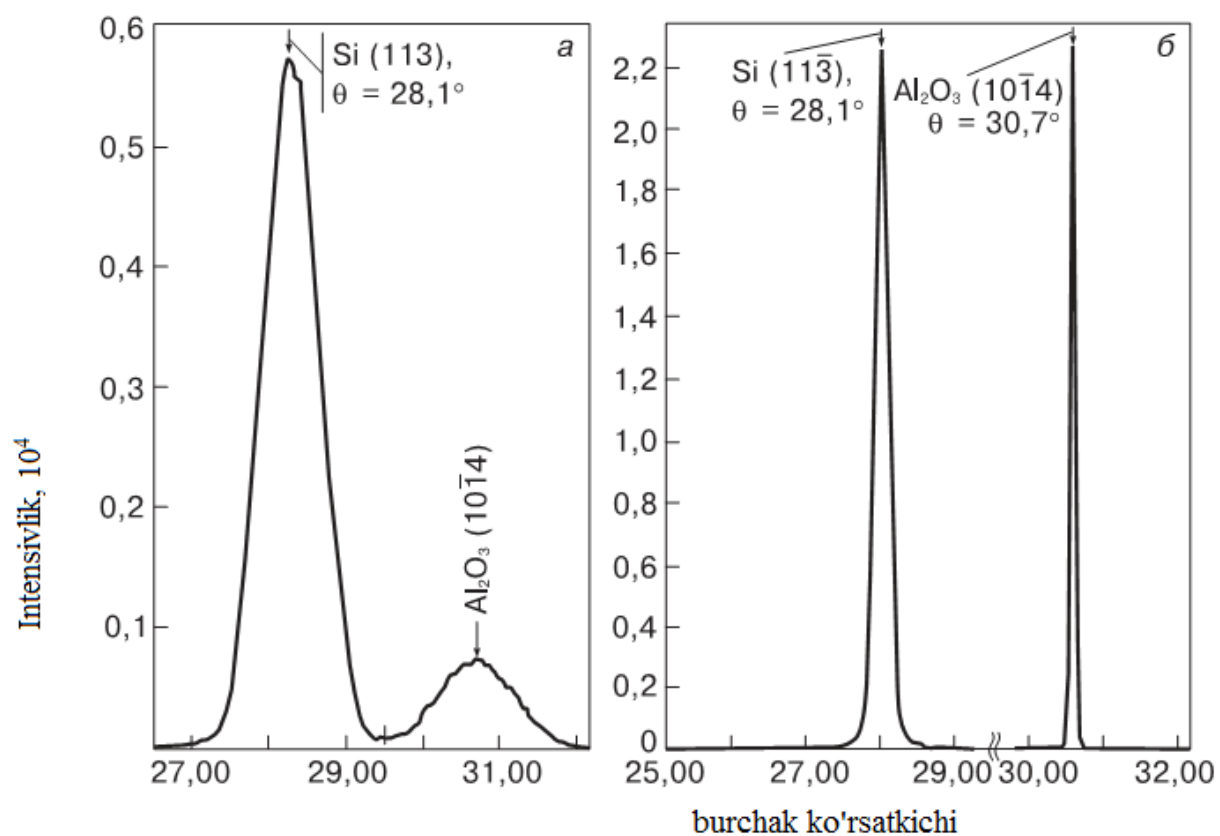
3.7-rasm.



3.7-rasm (davomi).



3.8-rasm. $2,87^{\circ}$ burchakda birlamchi rentgen nurlar dastasida olingan turli qalinlikdagi kremniyli sapfirdagi kremniy strukturasi rentgen difraktogrammasi.



3.9-rasm. Assimetrik qaytishda rasmga olingan 0,3 mkm ishchi qalinlikdagi sapfirdagi kremniy strukturasi rentgen difraktogrammasi.

Xulosa.

- 1. Rentgen difraktometri** - rentgen nurlanishi yoʻnalishini oʻlchash uchun moʻljallangan asbob boʻlib, bu asbob berilgan yoʻnalishda difragirlangan nurlanishni intensivligini 10 foiz aniqlikgacha va difraksiya burchakni minimumini 10 qismi aniqlikgacha oʻlchab beradi.

Metod quyidagi imkoniyatlarga ega:

- yuqori sirtiy sezgirlik;
- miqdoriy maʼlumotni olish mumkunligi;
- qoʻllash usulini soddaligi;

Metodni kamchiligi:

- Rentgenodifraksion eksperimentlar maʼlumotlarini taxlil qilishdagi asosiy muammo, difragirlangan toʻlqinlarni qayd qilishda, ularning fazalari xaqidagi maʼlumot yoʻqaladi.

- 2. Kichik intensivliklarda rentgen difraktogrammasini olinishi**
izolyatordagi kremniy strukturasida SiO_2 (α -kvarts) kristall fazasini aniqlashga va kremniyni ishchi qatlamini kristall strukturasini mukammalligini baholashga imkon beradi.

- 3. IIMS-** hozirgi zamonaviy asboblarda metodning sezgirligi konsentratsiya boʻyicha 1 sm^3 da 10^{12} - 10^{16} aralashma atomini tashkil qiladi.

IIMS quyidagi imkoniyatlarga ega:

- hech qanday maxsus tayyorgarliksiz istalgan qattiq jismni analiz qilish mumkun.
- vodoroddan to transuran elementlargacha boʻlgan hamma elementlar analiz qilinadi.
- materiallarni $30\text{-}100 \text{ \AA}$ chuqurlikda qatlamlar boʻyicha analiz, elementlar konsentratsiyasini profilini tadqiq qilish;
- faqat alohida elementlar emas, kimyoviy birikmalar xam analiz qilinishi mumkun.

- Massa sonini, spektral chiziqlar intensivligini bilgan holda, tekshirilayotgan ob'ektni sifatiiy va miqdoriy tarkibini aniqlash mumkun.
- changlaniish tezligi tekshirilayotgan strukturani tarkibiga ham bog'liq bo'ladi.

IIMS metodi quyidagi **kamchiliklarga** ega :

- namunani element tarkibini aniq miqdoriy aniqlash qiyin;
- birlamchi ionlar dastasini tekshirilayotgan namunadagi buzuvchi ta'siri, bu ta'sir natijasida atomlarning siljishi bilan bog'liq effektlar sodir bo'ladi.
- IIMS metodi qatlamlararo tahlil, o'lchash natijalariga, eksperimental profilni xaqiqiysiga nisbatan siljishida va kengayishida namoyon bo'ladigan, xatolikni kiritadi.

3. Oje spektroskopiya metodi

Metodni avzaliklari:

- yuqori sirtiiy sezgirlik;
- miqdoriy ma'lumotni olish mumkunligi;
- qo'llash usulini soddaligi;

Metodni kamchiligi:

- metodda elektron neytral atomdan emas, balki iondan chiqarilishi hisobga olinmaydi.
- atomlarni ionlanishi elektron sathlarning pastga silijishiga olib keladi bu esa chiqarilayotgan Oje elektronlar energiyasiga ta'sir ko'rsatadi .

Adabiyotlar.

- [1]. S. Hofmann. Rep. Progr. Phys., 61, 827 (1998).
- [2]. P.F. Fewster. *X-Ray scattering from semiconductors* (London, Imperial College Press, 2000).
- [3]. D. Marseilhan, J.P. Barnes, F. Fillot, J.M. Hartmann, P. Holliger. Appl. Surf. Sci., 255, 1412 (2008).
- [4]. M. Gavelle, E. Scheid, F. Cristiano, C. Armand, J.-M. Hartmann, Y. Campidelli, A. Halimaoui, P.-F. Fazzini, O. Marcelot. J. Appl. Phys., 102, 074904 (2007).
- [5]. K.I. Schiffmann, M. Vergöhl. Surf. Interface Anal., 45, 490, (2013).
- [6] M.G. Dowsett, R.D. Barlow, P.N. Allen. J. Vac. Sci. Technol. B, 12, 186 (1994).
- [7]. Azizov M.A. Yarimo`tkazgichlar fizikasi . T. “O`qituvchi”, 1974.
- [8]. S. Zaynabiddinov, A. Teshaboyev. Yarimo`tkazgichlar fizikasi. Toshkent”O`qituvchi”1999.
- [9] H. Akramov, S. Zaynabiddinov, A. Teshaboyev. Yarimo`tkazgichlarda fotoelektrik hodisalar. Toshkent “O`zbekiston” 1994.
- [10]. www.ibmcmask.ru/content/.../w-o/.../11.pdf
- [11]. S. Hofmann. Rep. Progr. Phys., **61**, 827 (1998).
- [12]. P.F. Fewster. *X-Ray scattering from semiconductors* (London, Imperial College Press, 2000).
- [13]. D. Marseilhan, J.P. Barnes, F. Fillot, J.M. Hartmann, P. Holliger. Appl. Surf. Sci., **255**, 1412 (2008).
- [14]. M. Gavelle, E. Scheid, F. Cristiano, C. Armand, J.-M. Hartmann, Y. Campidelli, A. Halimaoui, P.-F. Fazzini, O. Marcelot. J. Appl. Phys., **102**, 074 904 (2007).
- [15]. M.G. Dowsett, R.D. Barlow, P.N. Allen. J. Vac. Sci. Technol. B, **12**, 186 (1994).
- [16]. Y. Gao. J. Appl. Phys., **64**, 3760 (1988).

- [17]. П.А. Юнин ¶, Ю.Н. Дроздов, М.Н. Дроздов, С.А. Королев, Д.Н. Лобанов. Исследование многослойных полупроводниковых SiGe-структур методами рентгеновской дифрактометрии, малоугловой рефлектометрии и масс-спектрометрии вторичных ионов
Физика и техника полупроводников, 2013, том 47, вып. 12.
- [18]. Ю.Н. Дроздов ¶, М.Н. Дроздов, В.М. Данильцев, О.И. Хрыкин, П.А. Юнин. Анализ состава твeRDых растворов (Al,Ga)As методами вторично-ионной масс-спектрометрии и рентгеновской дифрактометрии. Физика и техника полупроводников, 2012, том 46, вып. 11
- [19]. M. Prutton. Introduction to surface physics (Oxford, Clarendon Press, 1994).
- [20]. Б.К. Вайнштейн, В.М. Фридкин, В.Л. Инденбом. Современная кристаллография. Т.: Структура кристаллов.(М., Наука, 1979).
- [21]. Кузьмин, Р. Н. Рентгеновская оптика / Р. Н. Кузьмин // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 2. – С. 1—7.
- [22]. А. В. Лютцау, М. М. Крымко, К. Л. Енишерлова, Э. М. Темпер, И. И. Разгуляев. Исследование гетероструктур методом рентгеновской однокристалльной дифрактометрии. 2012 г. материалы электронной техники. № 3. 2012
- [23]. Л. Фирменс, Дж. Веник. Электронная и ионная спектроскопия твeRDых тел. 1981. с 345-464
- [24]. Бриггс Д, Сих М. П. Анализ поверхности методами оже-рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.-Мир. 1987.-598 с.