

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi

Al-Xorazmiy nomidagi Urganch davlat universiteti

Qo'lyozma huquqida

UDK 662.997.537.22

Qilicheva Sayyora Rustamovna

***Mavzu: Yangi qattiq qotishmalar asosidagi yarim
o'tkazgich materiallar va ularning xossalari***

Magistr akademik darajasini olish uchun yozilgan dissertatsiya

Ilmiy rahbar: _____

f.-m.f.n.dots. Ismoilov Sh. Q.

Urganch-2012

Mundareja

Kirish

I. Bob. Kristall o'stirish suyuq fazali usulida o'sish ehtimolligini nazariy baholash usullari.

1.1. Qattiq qotishmalar hosil bo'lish ehtimolini ko'p kamponentali sistemalar eruvchanligi asosida baholash.....

1.2. Qattiq qotishmalar hosil bo'lish ehtimolini kamponentalar umumlashgan momentlari farqi asosida baholash usuli.....

1.3. Muzda eruvchanlik nazariyasi.....

II. Bob. Eruvchanlikni eksperimental o'rganish va natijalari tahlili.

2.1. A^3B^5 birikmalarining suyuq metallarda eruvchanligini o'rganish

2.2. Turli materiallarning indiyda eruvchanligini eksperimental o'rganish

2.3. Turli moddalarning muzda eruvchanligi va tajriba natijalari tahlili.....

III. Bob. Suyuq fazali epitaksiya usulida olingan yangi qattiq qotishmalar asosidagi yarimo'tkazgich materiallar va ularning xossalari

3.1. $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qattiq qotishmasining olinishi va bazi xossalari.....

3.2. $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ va $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$ qotishmasining olinishi va xossalari.....

3.3. $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ qattiq qotishmalarining olinishi va strukturaviy, optik, elektrofizik xossalari.....

3.4. $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ qattiq qotishmasining epitaksial qatlamlarini o'stirish va ba'zi elektrofizik va optik xossalari.....

Xulosalar.....

Adabiyotlar.....

Kirish

Mavzuning dolzarbligi: Ma'lumki zamonaviy mikro va nanoelektronika asosini yarim o'tkazgich materiallar tashkil qiladi. Shuning uchun yangi xossalarga ega bo'lgan yarim o'tkazgich materiallarini olish dolzarb hisoblanadi. Bu jihatdan yangi qattiq qotishmalar asosidagi yarim o'tkazgich moddalarning ahamiyati ham beqiyosdir. Ushbu magistrlik dissertatsiyasida yangi yarim o'tkazgich qattiq qotishmalarini olishda zarur bo'lgan materiallarning eruvchanligi, o'stirish usullari va ularning ba'zi xossalari o'rganilgan.

Ilmiy yangiligi: Ishda yangi olingan $(Ge_2)_{1-x}(In)_xP$, $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$, $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$, $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ qattiq qotishmalarining o'rganilmagan ba'zi xossalari qaralgan.

O'zining ajoyib fizik kimyoviy xususiyatlari tufayli qattiq qotishmalar hozirda zamonaviy mikro va optoelektronikada keng qo'llanilmoqda shu sababdan klassik yarim o'tkazgich birikmalar A^3B^5 va ularning qattiq qotishmalarining epitaksial qatlamlarini kristall o'stirish juda istiqbollidir. Shuni alohida ta'kidlash kerakki bunday qotishmalarni nisbatan arzon mono va polikristall kremniy kabi tagliklarga olish masalasi hozirda ham o'z dolzarbligini yo'qotgan emas [1- 4]. Ma'lumki A^3B^5 yarim o'tkazgich birikmalar yarim o'tkazgich asbobsozligida eng ko'p ishlatiladigan materiallar olishda qo'llanilmoqda Bu birikmalar quyosh elementlari, injeksion lazerlar va yuqori foydali ish ko'effitsiyentiga ega fotoelementlar olishda qo'llanilmoqda [5-6].

Bu tipdagi yarim o'tkazgichlarning qo'llanilish sohasini to'rtinchi guruh elementlar va A^3B^5 birikmalarining qattiq qotishmalarini olish natijasida yanada kengaytirish mumkin. Bular $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ tipdagi qattiq qotishmalar ham bo'lishi mumkin. Bu holda shuni alohida ta'kidlash kerakki $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ tipdagi qotishmalarda shunday imkoniyatlar borki bu materialning tarkibi x ni o'zgartirish yo'li bilan uning asosiy parametrik taqiqlangan zonasi kengligini o'zgartirish

mumkin, bu esa eng muhim imkoniyatlardan biri hisoblanadi [7, 8].

Hozirda 4-guruh elementlari bilan A^3B^5 birikmalar asosidagi qattiq qotishmalarning amaliy imkoniyatlari to'la o'rganilmagan. Bu yo'nalishda materialning soflik darajasini oshirish ularga kirishmalarning ta'siri kristall mukammalligini oshirish yo'nalishlarida izlanishlar bilan keng zonali $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ qattiq qotishmalar epitaksial qatlamlarini o'stirish sharoitlarini tizimli ravishda nazariy va eksperimental o'rganish masalasi dolzarbdir [9-12]. Laboratoriya tadqiqotlari InP asosidagi fotoo'tkazgichlar ananaviy yarim o'tkazgichlarga (Ge, Si va hakozo) nisbatan elektron va proton ta'siriga chidamli ekanligini ko'rsatdi. Bundan tashqari bunday fotoo'tkazgichlar yana bir qator afzalliklarga ham ega ekanliklarini ta'kidlash kerak bo'ladi. Bulardan quyidagilarni keltirish mumkin InP birikmasidagi radiatsion defektlar 100^0C haroratlarda ham kuyib ketadi. To'g'ri kuchlanishda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar injeksiyasida p-bazada legirlangan kirishmalar konsentratsiyasi oshishi bilan radiatsion defektlar kamayar ekan [2].

Ma'lumki suyuq fazali epitaksiya usuli ya'ni yarim o'tkazgich materiallar olish maqsadida bugungi kunda ham ancha keng qo'llanilmoqda. Bu metod o'zining soda va qulayligi bilan boshqa metodlardan ajralib turadi. Yangi materiallar o'z navbatida optoelektron asboblari yaratishda zarur hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan A^3B^5 , A^2B^6 birikmalarning qattiq qotishmalarini olish, ularning xossalari o'rganish dolzarb masaladir. Ayniqsa A^3B^5 , A^2B^6 kristallarini arzon tagliklarga o'tqazish iqtisodiy jihatdan ahamiyatlidir. Shuning uchun keyingi yillarda A^3B^5 , va A^2B^6 birikmalarini Si, Ge va GaAs kabi nisbatan arzon tagliklarga o'tqazish masalasi hal qilinmoqda. Ayniqsa A^3B^5 birikmalar va ularning qotishmalari asbobsozlikda lazerlar, svetadiodlar va boshqa qurilmalar yasashda keng qo'llanilishi mumkin. Ayniqsa $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ tipidagi birikmalar taqiqlangan zonasi kengligini boshqarish mumkin ekanligi bilan ajralib turadi. Hozirgacha A^3B^5 , A^2B^6 birikmalarning to'rtinchi guruh elementlari bilan hosil qilgan qotishmalari va ularning imkoniyatlari yetarlicha o'rganilmagan.

Ma'lumki turli A^3B^5 birikmalar Si va Ge moddalari bilan barcha hollarda ham qattiq qotishmalar hosil qilavermaydi [13]. Buning uchun ma'lum bir shartlar bajarilishi kerak bo'ladi.

Agar har bir A^3B^5 , A^2B^6 larni Si va Ge bilan birikmalar hosil qilishi mumkin yoki mumkin emasligini tajriba o'tkazish yo'li bilan aniqlab chiqilsa bu juda katta iqtisodiy sarf harajatlarni talab qiladi. Shuning uchun bunday qotishmalar o'stirishdan oldin ularning hosil bo'lish shartlarini va o'stirish sharoitlarini, hamda xossalari oldindan nazariy baholash zarur bo'ladi.

Ayonki barcha olinishi mumkin bo'lgan qattiq qotishmalar tajribalarda o'stirib ko'rib ularning o'sish o'smasligini baholash juda ko'p moddiy va energetik harajatlarni talab qiladi. Shuning uchun ularni tajribada o'stirib ko'rishdan oldin olinishi mumkin bo'lgan qattiq qotishmalar doirasini nazariy baholab ko'rish zarur bo'ladi. Bunda shunga e'tibor qilish kerakki olinadigan yarim o'tkazgich qattiq qotishmalar yetarli darajada kristall mukammallikka ega bo'lsin [6, 14].

Men ushbu bitiruv magistrlik dissertatsiyamda ko'p kamponentali sistemalarda qattiq qotishmalar hosil bo'lish shartlarini turli hil nazariy usullar bilan baholash metodikasini adabiyotlar asosida tahlil qildim. Ishning uchinchi bobida ayrim yangi yarim o'tkazgich qattoq qotishmalarning o'stirish sharoitlari va olingan materiallarning optik va elektrofizik xossalari bayon qilingan.

I. Bob. Kristall o'stirish suyuq fazali usulida o'sish ehtimolligini nazariy baholash usullari.

1.1. Qattiq qotishmalar hosil bo'lish ehtimolini ko'p kamponentali sistemalar eruvchanligi asosida baholash.

Klassik yarim o'tkazgichlar kremniy va germaniy bilan A^3B^5 va A^2B^6 birikmalarning hosil qilgan qotishmalari modda tarkibini boshqarish yo'li bilan barcha fizik kimyoviy parametrlarni boshqarishga imkoniyat mavjudligi bilan o'ziga jalb qiladi. Lekin bunday qotishmalarni amalda olish masalasi ancha murakkab masala. Bunday qotishmalar hosil bo'lishi uchun ma'lum shartlar bajarilishi kerak.

Har bir A^3B^5 va A^2B^6 birikmasining Si va Ge yoki boshqa elementlar bilan qotishma hosil qilishi mumkinligini bevosita o'stirib ko'rish yo'li bilan aniqlab berish juda ko'p iqtisodiy sarf harajatlarni talab qiladi. Shuning uchun bunday qotishmalarni o'stirishdan oldin ularning hosil bo'lish va o'sish sharoitlarini oldindan nazariy yo'l bilan baholash zarur bo'ladi [2, 4]. Bundan tashqari olinadigan qotishmaning qanday fizik kimyoviy parametrlarga ega bo'lishini bilish ham muhim.

Qotishmalarning hosil bo'lish ehtimolligini oldindan baholashning bir necha metodlari bo'lib bulardan:

- 1) Kamponentalarning umumlashgan momentlari farqi asosida.
- 2) Kamponentalar kovalent radiuslari va valentliklari asosida baholash metodlariga to'xtalib o'tamiz.

Bu metodlarning ikkalasi ham olinajak qotishma kamponentalarining issiqlik, elektr va kristallokimyoviy parametrlarining bir biriga mos kelishi bilan belgilangandir. Shuningdek kamponentalarning kristallik strukturasi va electron zonalari tuzilishi ham bir biriga yaqin bo'lishi kerak [15-18].

Shu ma'noda [16] ish avtorlari tomonidan taklif etilgan ko'p kamponentali

sistemalarda eruvchanlik qoidalari yangi qattiq qotishmalar o'sish imkonini baholash uchun juda yaxshi asos bo'lishi mumkin. [16] ishda avtorlar ko'p kamponentali sistemalarda eruvchanlik uchun ushbu formulani taklif qilishgan

$$C'_{N_i} = \frac{C''_{N_i} \exp[-(1/kT)(a\Delta Z_i + b\Delta r_i)]}{1 + \sum_{i=1} \{\exp[-(1/kT)(a\Delta Z_i + b\Delta r_i)] - 1\} C''_{N_i}} \quad (1.1)$$

Bu formula ikki kamponentali sistema ucun (i=1) quyidagicha ko'rinishga keladi

$$C'_{N_1} = \frac{C''_{N_1} \exp[-(1/kT)(aZ_1 + b\Delta r_1)]}{1 + \{\exp[-(1/kT)(aZ_1 + b\Delta r_1)] - 1\} C''_{N_1}} \quad (1.2)$$

Bunda
$$\Delta Z_i = Z_i - Z_j, \Delta r_i = r_i - r_j \quad (1.3)$$

(1.1) va (1.3) ifodalarda C'_N , C''_N - (') va (") fazalarning molyar xossalari Z_i - valentliklar r_i - i kamponentali atomning kovalent radiusi k - Bolsman doimiysi, T - absolyut temperature a va b lar tajribadan aniqlangan doimiy kattaliklar j - indeks bunda erituvchiga mos keladi.

(1.2) ga asosan $|\Delta Z_i|$ va $|\Delta r_i|$ ayirmalar qanchalik kichik bo'lsa i-kamponentaning eruvchanligi shunchalik yuqori bo'lar ekan. Agar sistemaning kamponentalari A_2, AB, CD (A,B-4-guruh elementlari $CD - III - V, II - VI$ va $I - VII$) kabi ikki atomli birikmalar bo'lsa unda

$$\Delta Z_i = (Z_A + Z_B) - (Z_C + Z_D) \quad (1.4)$$

$$\Delta r_i = (r_A + r_B) - (r_C + r_D) \quad (1.5)$$

Bu baholashlarning oldingi ifodalarda qaralgan elementar metallar nazariyasi asosidagi [19] va ikki kamponentali yarimo'tkazgich birikmalar nazaryasiga [20] asoslangan metodlari ham mavjud.

Yuqoridagi nazariy metodlardan foydalangan holda hamda tajriba natijalarini umumlashtirgan holda shuni aytish mumkinki qattiq qotishmalarning uzliksiz qatori hosil bo'lishi uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak;

- kristall panjarasi tipi bir xil bo'lishi kerak;

- kristall panjarada kimyoviy bog'lanish turi bir xil bo'lishi kerak;
- kamponentalar atom yoki molekulari kovalent radiuslari farqi 15% dan oshmasligi kerak

(1.4) va (1.5) formulalarga asoslanib [21] ish avtorlari qattiq qotishmalar uzliksiz qatorining hosil bo'lishi uchun (ikki kamponentali o'rin almashuvchi birikmalar uchun) ushbu shartlar bajarilishi zarurligini keltiradilar:

$$\Delta Z = 0 \quad (1.6)$$

$$\Delta r = (r_A + r_B) - (r_C + r_D) < 0,1(r_A + r_B) \quad (1.7)$$

Yuqorida keltirilganidek kovalent radiuslar farqi qanchalik kichik bo'lsa ushbu juftlik qotishma hosil qilishi shunchalik istiqbolli bo'lar ekan. Bu shart bajarilganda $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ qattiq qotishmalarning kristall mukammalligi yuqori bo'lgan birikmalarning qatorini butun konsentratsiya intervalida olish mumkin.

Men ushbu ishimda (1.1)-(1.7) formulalar asosida $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ qotishmalar sinfini olish ehtimolligini baholash uchun 1-jadvalni keltirib o'tdim.

1- jadvalda III-V, II-VI va germaniy qatori uchun ba'zi ma'lumotlar ya'ni taqiqlangan zonasi kengligi (E_g), element atomlari radiuslari yig'indisi $(R_A + R_B, R_C + R_D)$ hamda (1.7) shartni qanoatlantiruvchi Δr , larning qiymatlari keltirilgan

1-jadvaldan ko'rinadiki kristallik jihatidan mukammal qattiq qotishmalarni olish mumkin bo'lgan holatlar mavjud. Bularga germaniy bilan fosfidlar (AlP, GaP, InP) germaniy bilan arsenidlar (GaAs, AlAs) larni keltirish mumkin bo'ladi. Jadvaldan yana shunday xulosaga kelish mumkinki surma (Sb) ning birikmalari (AlSb, GaSb, InSb) ning kremniy (Si) bilan qotishma hosil qilish ehtimoli yuqoridagi baholash mezonlari bo'yicha unchalik yuqori emas. Shuningdek CdSe, CdTe larning ham kremniy bilan va SiGe bilan qotishma hosil qilish ehtimolliklari juda past ekan.

Bu baholashlarning tajriba natijalari bilan tekshirishlar ham shu fikrlarning to'g'ri ekanligini tasdiqlaydi albatta, Men bu birikmalarning olinishiga oid adabiyotlar

tahlili asosida shunday xulosaga keldim masalan shuni aniqladimki InSb ning Ge, Si li qotishmalari olish juda murakkab bo'lib ularni suyuq fazadan olingan qotishmalari kristall mukammalligi yuqori emas, hamda bu qotishmalarda defektlar konsentratsiyasi ham yuqori darajada, Shuning uchun bu namunalarni asbobsozlikda ishlatish muammodir.

1.1- Jadval. Tarkibida $Ge_2, Si_{1-x}Ge_x$ va Si_2 kamponentalari mavjud bo'lgan gipotetik qattiq qotishmalar kamponentalarining asosiy parametrlari

A_2, AB			Ge_2	Si_2	$SiGe$
CD	E_G, EV		0,67	1,08	<1,08
	E_G, EV	$R_A+R_B, \text{\AA}$	2,44	2,34	2,39
		$R_C+R_D, \text{\AA}$			
AlP	2,42	2,36	0,08	-0,02	0,03
GaP	2,25	2,36	0,08	-0,02	0,03
InP	1,34	2,54	-0,10	-0,20	-0,15
$AlAs$	2,16	2,44	0,0	-0,10	0,05
$GaAs$	1,45	2,44	0,0	-0,10	-0,05
$AlSb$	1,60	2,62	-0,18	-	0,23
$GaSb$	0,79	2,62	-0,18	-	0,23
$InSb$	0,18	2,80	-	-	-
ZnS	3,54	2,35	0,09	-0,01	0,04
$ZnSe$	2,80	2,45	-0,01	-0,11	-0,06
$ZnTe$	2,30	2,63	-0,19	-	-
CdS	2,48	2,52	-0,08	-0,18	-0,13
$CdSe$	1,85	2,62	-0,18	-	-
$CdTe$	1,47	2,80	-	-	-

1.2-§. Qattiq qotishmalar hosil bo'lish ehtimolini kamponentalar umumlashgan momentlari farqi asosida baholash usuli.

Kristallokimyoning termodinamik prinsplariga asosan har qanday fizik kimyoviy sistemada atomlar miqdoriy nisbatlari qanday bo'lishidan qat'iy nazar atomlari (ionlari) orasida kimyoviy ta'sir mavjud bo'ladi. Past haroratlarda atomlar shunday joylashishga harakat qiladiki mavjud atomlar o'lchami va zaryadlariga bog'liq holda iloji boricha energiyadan ko'p yutuq mavjud bo'lsin, ya'ni berilgan holat uchun atomning energiyasi eng minimal qiymatga erishsin (tabiat fundamental qonunlaridan biri). Lekin atomlarning bunday joylashuviga kamponentalarning kristall strukturalari tuzilishi halaqit beradi. Yuqori haroratlarda esa yana issiqlik harakati ham bunga to'sqinlik qiladi.

Shuni ta'kidlash kerakki agar kamponentalarning strukturaviy tuzilishi yo'l qo'ymasa ham energetik va termik sharoitlar yo'l qo'yadigan bo'lsa qotishmalar hosil bo'lishi mumkin, chunki bunga siljish entropiyasi ΔS_{sil} hisobiga sistema potentsial energiyasi kamayadi.

Traditsion holat diagrammalarida hosil bo'lmaydigan kimyoviy birikmalarni o'rganish natijasida konsentrlangan va uzliksiz qattiq qotishmalar hosil bo'lish nazariyasi yaratilgan [22].

Bu nazariyaga asosan uzliksiz qotishmalar hosil bo'lishi va olinishining termodinamik sharti quyidagicha beriladi:

$$1. \quad \varepsilon \ll T\Delta S_{sil} \quad (1.8)$$

Bunda ε - panjaraning yot atomlar kirishi natijasida elastic siljishi energiyasi, T - absolyut harorat, ΔS_{sil} - siljish entropiyasi.

2. Birikma molekulasi hosil bo'lishining chegaraviy harorati $T_{\max}$ quyidagicha aniqlanadi:

$$E_{bog'} > \gamma/N \sim kT_{\max} \quad (1.9)$$

Bunda $E_{bog'}$ - kristallda molekula atomlarining bog'lanish energiyasi, γ - $T_{\max}$

haroratdagi panjara atomlari tebranish energiyasi, N-qotishmadagi atomlar soni, k-Bolsman doimiysi.

3. O'sishning minimal temperaturasi $T_{\min}$ o'sayotgan kristall sirtida molekula va atomlar diffuziyasi tezligi bilan belgilanadi.

Moddalarning bir birida eruvchanligini va bu eruvchanlikka uchinchi kamponentaning tasirini o'rganish asosida Semenchenko [23] nazariyasiga asoslanib [4] ishda avtorlar qotishmalar hosil bo'lishi ehtimolligini baholash uchun umumlashgan momentlarga asoslangan nazariyani yaratdilar. Bu nazariyaga asosan: Kamponentaning eruvchanligi uchun ushbu umumiy formula keltirilgan:

$$C'_{N_i} = \frac{C''_{N_i} \exp\left\{-\frac{1}{kT}[(m'_i - m'_j)\varphi' - (m''_i - m''_j)\varphi'']\right\}}{1 + \sum_i \left\{\exp\left\{-\frac{1}{kT}[(m'_i - m'_j)\varphi' - (m''_i - m''_j)\varphi'']\right\} - 1\right\} C''_{N_i}} \quad (1.10)$$

Bunda m'_i m'_j va m''_i m''_j lar mos ravishda i va j- kamponentaning (φ') va (φ'') fazalardagi umumlashgan momentlari.

Bu umumlashgan momentlar uchun [4] ish avtorlari tomonidan ushbu formula taklif etildi:

$$m^* = \frac{(N - \gamma_e)e}{r_n} - \frac{1}{2}a_0e \frac{n^*(n^* - 1)}{r_n^2} \quad (1.11)$$

Bunda r_k -ion yoki atomning kristollagrafik radiusi; N-element tartib raqami; γ_e -Sletr qoidasi bilan aniqlanuvchi ekranirovka koeffitsienti; a_0 -birinchi bor radiusi; n^* -effektiv bosh kvant son. Avtorlar fikricha ushbu shaklda keltirilgan umumlashgan moment almashinuvi kamponenta atomlari zaryad holati o'lchami elektromanfiyligi va elektrik strukturasini eng to'g'ri ifodalab beradi.

Agar almashuvchi kamponentalar atomlarining (1.11) formula bo'yicha aniqlangan umumlashgan momentlari farqi qanchalik kichik bo'lsa ularning kristallanish ehtimolligi shuncha yuqori bo'ladi.

Quyidagi jadvalda $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ tipidagi birikmalar hosil bo'lish ehtimoli baholangan.

1. 2-jadval $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ tipidagi birikmalar hosil bo'lishini umumlashgan momentlar farqi asosida baholash.

A^3B^5	$m_{A^3B^5} - m_{Si}$	$m_{A^3B^5} - m_{Ge}$	$m_{A^3B^5} - m_{In}$	E_g 77 K temperaturada
AlN	11	37	66	3,8
AlP	7	19	48	2,45
AlAs	12	14	43	2,16
GaP	13	13	42	2,25
GaAs	18	8	37	1,43
GaSb	47	21	8	0,68
InN	4	22	51	2,4
InP	23	3	32	1,35
InAs	28	2	27	0,36
InSb	57	31	2	0,2

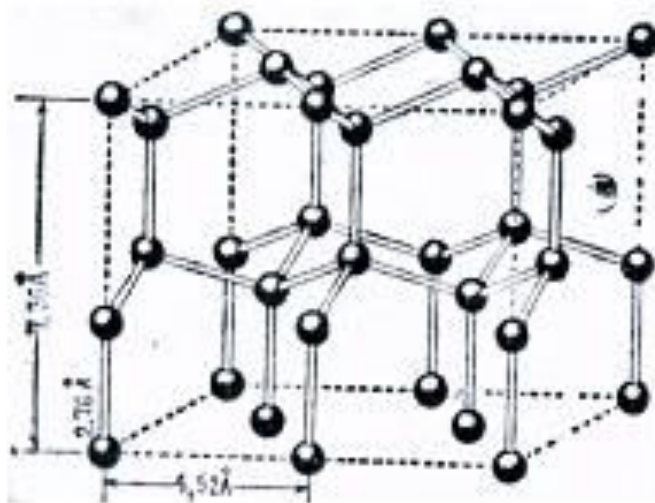
1.3. Muzda eruvchanlik nazariyasi

Oldingi paragrafda ko'rilgan eruvchanlik nazariyasi asosida nafaqat yarimo'tkazgichlarda balki boshqa moddalarda eruvchanligini ham o'rganish mumkin. Masalan muzli kirishmalarning muzda eruvchanligini ham.

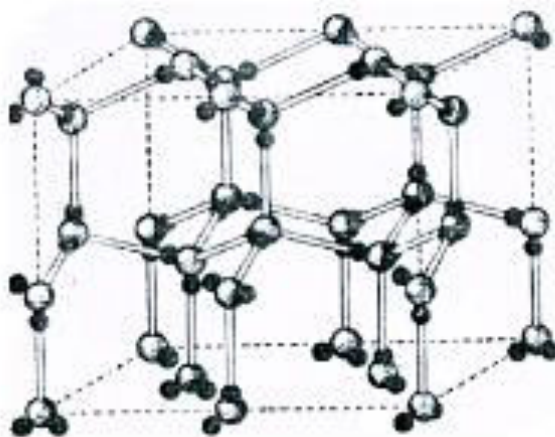
Kirishmalarning kristallik muzda eruvchanlik masalasi hozirgi kunda hali deyarli o'rganilmagan masala hisoblanadi [24]. Vaholanki, bunday tadqiqotlar suvni muzlatish usuli bilan tozalash va chuchuklashtirish texnologiyasini mukammallashtirish imkonini berar edi. Shuni ham ta'kidlash lozimki, suvni muzlatish usulida tozalash hozirgi kunda istiqbolli va arzon usullardan hisoblanadi [25, 26, 27]. Bundan tashqari, har xil begona kirishmalarning muz kristall panjarasida eruvchanligini va o'zaro ta'sirini tadqiq qilish muzning ba'zi bir noyob xususiyatlarini o'rganish hamda boshqarish imkonini beradi [24,28,29].

Ushbu ishda begona kirishmalarning muzda eruvchanligi masalasi V.K. Semenchenkning malekulyar statistik nazariyasi [30] asosida o'rganilgan bo'lib, ushbu nazariya ilgari ko'p komponentli hamda ikki fazali metall, dielektrik, yarimo'tkazgichli tizimlar uchun qo'llanilgan [14, 30]. SHu bilan bir qatorda, suvli eritma-muz tizimida ba'zi bir kirishmalar uchun ularning effektiv va muvozanatli taqsimot koeffitsientlari o'rganildi. Muzning kristall panjarasi to'g'risida hozirgi kungacha quyidagilarni qat'iy aniq deb hisoblash mumkin [24, 29].

- a) Muz fazoviy kristall panjarasi tugunlarida kislorod atomlari joylashgan, ulardan $2,76\text{\AA}$ masofada to'rtta qo'shni kislorod atomlari uning atrofida tetraedr hosil qilib o'rnashgan;
- b) Odatdagi shart-sharoitlarda muz qat'iy muvozanatli geksoanal kristall tuzilishga ega (rasm 1);
- v) Vodorod atomi yadrolarining joylashuviga ko'ra hozirgi kunda Polingning statistik modeli tan olingan (rasm 2). Bu modelda protonlar joylashuv o'rnini to'liq ravishda dinamik kattalikdir, muz kristalida protonlar o'z o'rnini bir sekund ichida 10^4 marta Bernar-Fauler shartlariga bo'ysunadigan holatlarga o'zgartiradilar.



1.1-rasm. Muzning muvozanatli geksogonal kristall tuzilishi.



1.2-rasm. Muzning Polning tomonidan kiritilgan statistik modeli

Muz kristall panjarasini, yuqoridagi o'ziga xos xususiyatlaridan kelib chiqqan holda, aytish mumkinki, begona kirishma atom yoki ioni muz kristall panjarasi tugunida kislorod atomi o'rnini egallashi zarur bo'ladi. Ularning tugunlar orasidagi fazoda joylashishi esa ehtimoldan uzoq, chunki bunday joylashgan har bir begona atom yuztalab kislorod atomlarini o'rnidan siljishga majbur qiladi bu esa energetik nuqtai nazardan befoydadir.

Shu sababli, begona atomlarning kristall strukturadagi eruvchanligi ularning asosan kislorod atomlari bilan yaqinligi, o'xshashligi, "qarindoshligi" bilan belgilanadi. Umumlashgan momentlar nazariyasini muz kristall strukturasi qo'llab tahlil qilish quyidagi xulosalarga olib keldi:

a) Begona kirishma (x) ning muz kristall panjarasida kislorod atomi o'rnini egallashi ehtimoli ularning umumlashgan momentlari qanchalik yaqin bo'lsa, shunchalik oson kechadi;

b) Uchinchi komponent sifatida kiritilgan kichik miqdordagi begona kirishma (y) muz kristall panjarasiga kiritilganda, u erituvchi hisoblanmish kislorod kuchlar maydonini eruvchi kuchlar maydoniga yaqinlashtirsa eruvchanlikni oshiradi, aks holda esa kamaytiradi.

Biz umumlashgan momentlar sifatida uning modifikatsiyalashgan variantini qabul qildik [14]. Chunki uning ushbu varianti har bir komponentaning o'lcham faktorini, effektiv zaryadini, elektronga moyilligini va komponentaning ichki elektron strukturasi, yani deyarli barcha individual xususiyatlarini o'zida aks ettiradi (1.11). Elementlarning (1.11) formula asosida hisoblangan effektiv umumlashgan moment qiymatlari kislorodning umumlashgan effektiv momentiga $m^* = 7,3$ yaqin bo'lsa, ular kislorod bilan shunchalik yaqin va demak kristall panjara tugunida uning o'rnini egallashi shunchalik engil bo'ladi va bunday kristallarning muz kristallarida eruvchanligi shunchalik yuqori bo'ladi demakdir. 1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, xlor, fluor, natriy, kaliy, azot, uglerod, oltingugurt elementlari nazariyaga ko'ra muz kristall panjarasida yaxshi erishi kerak. Yaponiyada rangli

muz monokristalini hosil qilish maqsadida [24] unga har xil kirishmalar kiritib ko'rib, ma'lum bir miqdorda faqatgina fluor, xlor va amiaknigina kiritish mumkinligini tajribada ko'rsatdilar. Bu esa nazariya natijalarini tasdiqlaydi.

1.3- Jadval. Kislorod va eruvchi kirishmalar umumlashgan momentlari farqlarining o'zgarishi

Begona kirishma element	Kislorod va begona kirishma umumlashgan momentlari farqi	Begona kirishma element	Kislorod va begona kirishma umumlashgan momentlari farqi
Natriy	1,1	Fosfor	5,13
Kalsiy	10,5	Oltingugurt	3,25
Azot	5,2	Xlor	2,92
Litiy	14,7	Kaliy	3,08
Berilliy	5,53	Temir	6,92
Oltin	14,53	Kumush	10,25
Platina	26,7	Fransiy	22,48
Bor	18,3	Radiy	24,89
Magniy	5,32	Ftor	2,7
Uglerod	2,3	Alyuminiy	0,97
		Kislorod	0

II- BOB Eruvchanlikni ekspremental o'rganish metodikasi.

2.1. A^3B^5 birikmalarining suyuq metallarda eruvchanligini o'rganish

Yarim o'tkazgichli qattiq qotishmalar o'stirishda suyuq fazali epitaksiya usuli keng qo'llaniladi. Ayniqsa A^3B^5 binar birikmalar asosidagi yarim o'tkazgichli qattiq qotishmalar amaliy ahamiyatga ega. Bunday qotishmalar o'stirishda ularning turli metallarda eruvchanligini o'rganish juda muhim. Shuning uchun A^3B^5 binar sistemalar likvidus holat diagrammalarinig ayniqsa metal burchagi juda ko'p avtorlar tomonidan o'rganilgan [31] Masalan GaAs va GaP larning turli suyuq metallarda (galley, qalay, vismut, qo'rg'oshin va h.k) gi eruvchanligi keng temperaturalar diapazonida o'rganilgan. Izlanishlar shuni ko'rsatadiki 3 kamponentali sistemalar likvidus egri chiziqlari (3 va 5 guruh elementlari saqlagan) alyuminiy-galliy-mishyak va galliy-indiy-fosfor sistemalari uchun juda yaxshi o'rganilgan. Alyuminiy-galliy-fosfor sistemasi nisbatan kamroq o'rganilgan.

Eruvchanlik egri chiziqlari (likvidus) ni olish va chizishning asosan 2 ta metodi mavjud.

1. Termik tahlil metodi - bunda ma'lum tarkibli suyuq eritmada qattiq faza paydo bo'ladigan dastlabki harorat aniqlanadi. (yoki qattiq faza butunlay yo'qoladigan harorat)
 2. Eruvchanlikka asoslangan metodika - bunda suyuq fazaning qattiq fazaga nisbatan to'yinadigan tarkibi aniqlanadi (yani bunda qattiq faza og'irligining yo'qolishi aniqlanadi). Bu har bir harorat uchun alohida alohida aniqlanadi
- Masalan [13] ishda kremniyning qalayda eruvchanligiga alyuminiy, mis, kumush, galley, oltin va indiyning ta'sirlari o'rganilgan. Izlanishlar shuni ko'rsatdiki alyuminiy, mis, galliy, kumush, oltin kabi kirishmalar eritmaga 0,05 at. hissasida kiritilganda 850°C da kremniyning qalayda eruvchanligini 1,5 barobarga oshirgan. Ag, In, Pb kirishmalari bu miqdorni kamaytirar ekan.

O'lchashlar 10^{-5} mm. sim. ust. bosimli vakuum sharoitida olib borilib va eruvchanlik kremniy namunalarining og'irlik yo'qotishini aniqlash usulida olib borildi. Izlanishlar shuni ko'rsatdiki eritmaning to'yinishi uchun qattiq fazani eritmada 60 min. atrofida ushlab turishning o'zi kifoya qilar ekan. Bunda suyuq eritma aralashtirib turilmaydi.

[13] ishda kremniyning kalayda eruvchanligida GaAs GaP GaSb kabi birikmalarning ta'sirlari o'rganilgan. Eruvchanlikning haroratga bog'lanishi shuni ko'rsatdiki 0,01 atom hisobidagi holatida arsenid galliyning sezilarli parchalanishi 100°C dan yuqori haroratlarda sodir bo'lar ekan.

Shu ishda GaP ning qalay va qo'rg'oshinda eruvchanligida 3 kamponentaning ta'siri o'rganilgan. O'lchash ishlari (2.1-rasm) da ko'rsatilgan eruvchanlikni o'rganish qurilmasida amalga oshirildi. Eksperimentlar shudring nuqtasi $t_p=60-65^{\circ}\text{C}$ bo'lgan tozalangan vadorod atmosferasida o'tkazildi. Bunda dastlabki material sifatida GaP, Sn, Ga va 3-kamponenta materiallari qo'llanildi. Bu materiallarning tozalik darajasi 99,999 % dan kam bo'lmagan. Legirlanmagan GaP kristallari n tip bo'lib $n=10^6\text{sm}^{-3}$ ni tashkil qilgan. Har bir namunalar jarayondan oldin qaynagan taluolda yog'sizlantirilib vakuum shkafda quritildi. Galliy yoki qalayning uchinchi kamponenta bilan umumiy og'irligi 10 gramni tashkil qilib ular tigelga joylashtirildi.

Eruvchanlikni o'rganish ushbu bosqichlardan iborat bo'ladi:

1. Ma'lum haroratgacha qizdirish.
2. Erituvchi va uchinchi kamponentadan tashkil topgan suyuq eritmani gomogenlash, bunda harorat o'zgarishsiz ushlab turiladi.
3. Kristalni eritmaga botirish
4. Fosfid galliyni eritma to'la to'yinguncha eritmada ushlab turish (bunda eritma tigelni aylantirib turish bilan aralashtirib turiladi).
5. Kristalni suyuq eritmada chiqarib olish.

GaP va GaAs kristallari eritishdan oldin va eritishdan keyin BJIP-200 tipidagi laboratoriya tarozisida 0,05 milli gramm aniqlikda tortilgan. Shuni takidlash

kerakki 40 minut ushlab turilgandagi massa yo'qotish 1 soat va undan ko'p ushlab turilgan holdagi massa yo'qotishdan farq qilmagan. Bu esa eritmaning to'la to'yinganligidan dalolat bergan. O'lchashlar harorat aniqligi $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ni tashkil qilgan. O'lchashlar ko'rsatishlari indiy, qalay, atomonid galley va germaniyni erish haroratlari bilan nazorat qilib borilgan. Galliy eritmaga 0,01 at. % miqdorida kiritilgan xrom GaP ning eruvchanligini 800, 900, 1000 $^{\circ}\text{C}$ larda mos ravishda 5, 2 va 1,7 marta oshirishga olib kelgan uning ta'siri harorat ortishi bilan kamaya brogan. 0,07 va 0,05 at.% miqdorida eritmaga kiritilgan galliy oksidi, galliy, galliy nitritlari ham GaP ning eruvchanligini sezilarli oshirgan. Lekin shuni aytish kerakki galliy oksidini eruvchanlikka ta'siri harorat ortishi bilan o'zgarmay qolgan. Indiy va kremniy GaP ning eruvchanligiga ta'sir qilmas ekan. Qolgan kirishmalar esa (Ge, Zn, Au, Ag, Al lar) GaP eruvchanligi kamayishiga olib kelgan.

Agar eritmalar ideal bo'lsa likvidus egri chizig'i Shreder-Vant Goff tenglamasiga bo'y sunadi va

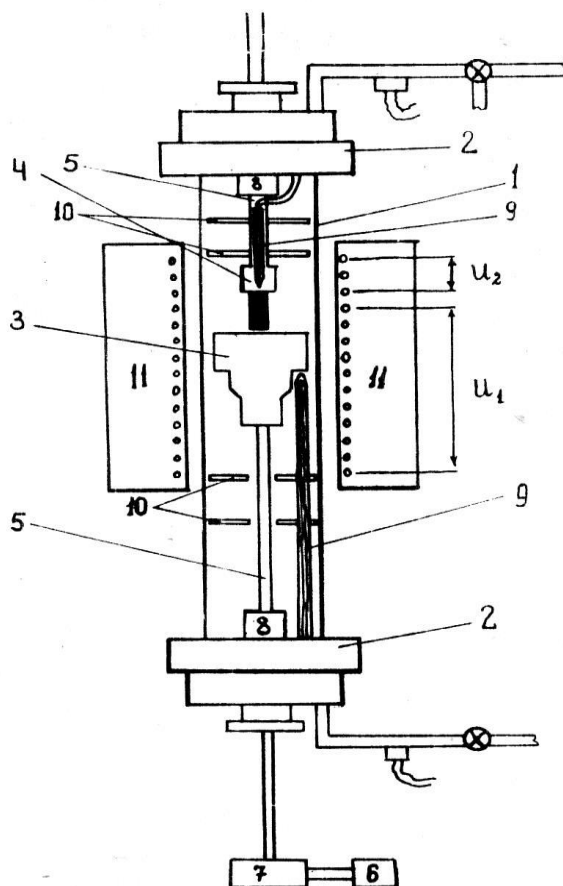
$$\lg C = f(T) \quad (2.1)$$

To'g'ri chiziq bilan aniqlanadi va eriyotgan element erish haroratini aniqlaydi. Agar issiqlik effekti erish haroratini bermasa eritmani regulyar eritma(muntazam) deb hisoblash zarur.

Ga-GaP kirishma tizimining tahlili shuni ko'rsatdiki Cr va GaSb kirishma sifatida kiritilsa bu holda Shreyder-Vant Goff qonuni buzilar ekan, yani eritma ideal emas ekan. Cr holiday

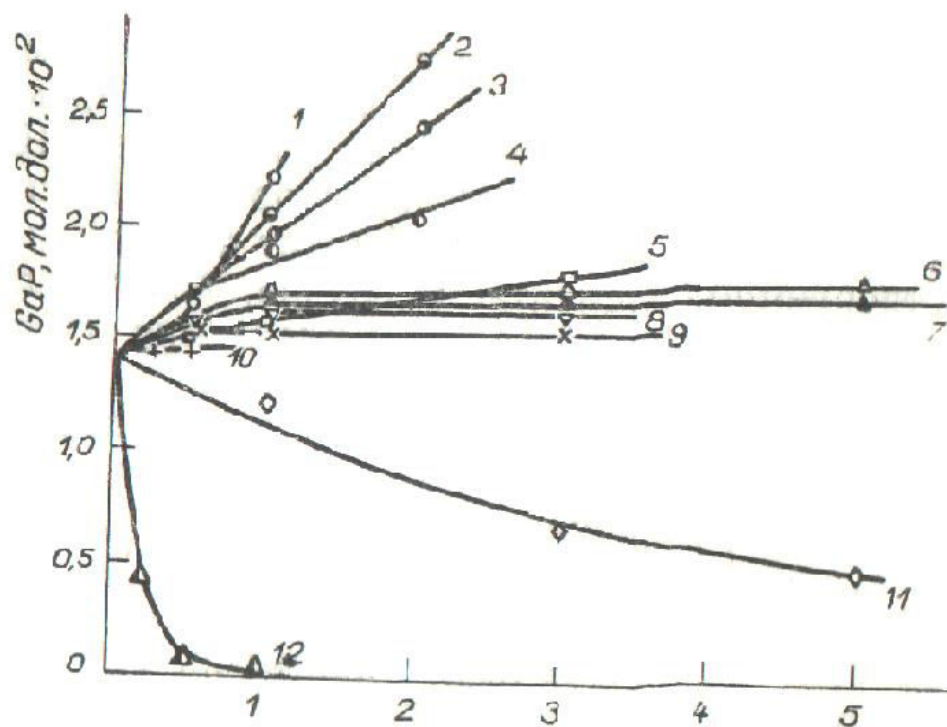
$$\lg C \sim f\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2.2)$$

kabi bog'lanish kuzatilgan.



2.1- rasm Eruvchanlik va epitaksial qatlamlar o'stirishni amalga oshiruvchi qurilmaning sxemasi.

1-kvarts reaktor, 2-kristall ushlab turgich, 3-kristall, 4-tigel, 5-
termojuftlik, 6-ekran



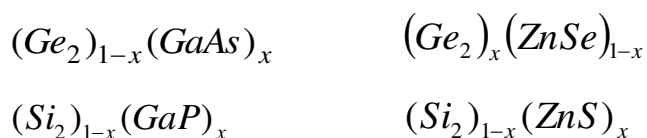
2.2-rasm. GaP ning In da eruvchanligiga uchinchi kamponentaning ta'siri keltirilgan. Bunda harorat 800°C bo'lgan.

1- kumush, 2-temir, 3- nikel, 4- xrom, 5-indiy, 6-qo'rg'oshin, 7-germaniy, 8-ruh, 9-kadmiy, 10-kremniy, 11-alyuminiy.

2.2 Turli materiallarning indiyda eruvchanligini eksperimental o'rganish.

[2] ishda umumlashgan momentlar nazaryasi va kamponentalar kavalent radiuslar farqi asosida baholashlar shuni ko'rsatdiki Ge-InP sistemasi ham qattiq qotishma o'stirish nuqtai nazaridan istiqbolli sistemalardan biri hisoblanadi. Bu sistema $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ tipidagi kristalligi mukammal bo'lgan qotishma o'stirish masalasi qo'yilgan. Lekin bunda shuni takidlash kerakki o'sish jarayonida "alohida" sharoitlar zarur bo'ladi. Bunday o'ziga xos "alohida" sharoitlarni suyuq fazali epitaksiya usulida olish juda qulaydir. Bunday alohida sharoitlardan biri kristallanish frontida qattiq qotishma barcha kompanentlari yetarlicha mavjud bo'lishi kerak. Faqat shu sharoitdagina ushbu kamponentaning sistemada paydo bo'lish ehtimoli yetarlicha yuqori bo'ladi. Bu sharoitning boshqarilishi uchun esa suyuq eritmaning zarur tarkibi va o'stirish intervali to'g'ri tanlangan bo'lishi zarur.

Shuni ta'kidlash kerakki O'z FA fizika texnika instituti "Yarimo'tkazgich kristallar o'stirish" laboratoriyasida A. S. Saidov rahbarligida suyuq fazali epitaksiya metodi bilan



Qotishmalarning yuqori kristall mukammallikka ega namunalari o'stirilgan [2, 13].

[2] ishda $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qotishmasini o'sishdan oldin Si, Ge, InP larning turli xil eruvchilardagi eruvchanligi o'rganildi. Ko'rinib turganidek sistema ko'p kamponentali bo'lgani uchun bunda eruvchanlikka boshqa kamponentalarning ta'sirini o'rganish ham zarur. Bunday izlanishlar oldin olib borilmaganligi sababli avtorlar In-Si-Ge-InP ko'p kamponentali sistemaning eruvchanligini o'rgandilar.

2.1 paragrafda ko'rilganidek likvidus egri chizig'ini olishning ikki xil usuli mavjud: eruvchanlik metodi va termik tahlil metodlaridir. Yuqorida keltirilgan loyabotariyada 2.2 - rasmdagidek qurilma yordamida eruvchanlik birinchi metod yordamida o'rganilgan. Qurilma vertikal joylashgan kvarts trubka (1) dan iborat.

Uning ikki tomoni vakuumli flotsuolar bilan (qopqoq) zich berkitilgan (2). Ular suv yordamida sovitib turiladi. Unda molibdendan yasalgan ushlagich (5) mavjud. Bu ushlagichlar ftoroplastli zichlagichlar bilan markazga mahkamlangan. Yuqorigi ushlagich vertikal harakatlanishi mumkin bo'lib pastkisi esa (6) motorga (7) reduktor yordamida ulangan bo'lib, aylana olish imkoniga ega. Uning aylanish chastotasi 5-10 ayl/min ni tashkil qiladi. Pastki shtok yuqorisiga (13) tigel o'rnatilgan bo'lib unda eritma joylashgan bo'ladi. Yuqorigi shtokga kristall ushlagich (4) o'rnatilgan. Xromel-alyumel termojuftliklar (9) kvars niqob ichiga joylashtirilgan va uning pastki qismi tigelga tegib turadi. Qizdirish pechi (11) ikkita alohida o'ramlardan tashkil topgan va har xil sohalarni qizdirish imkoniyatini beradi.

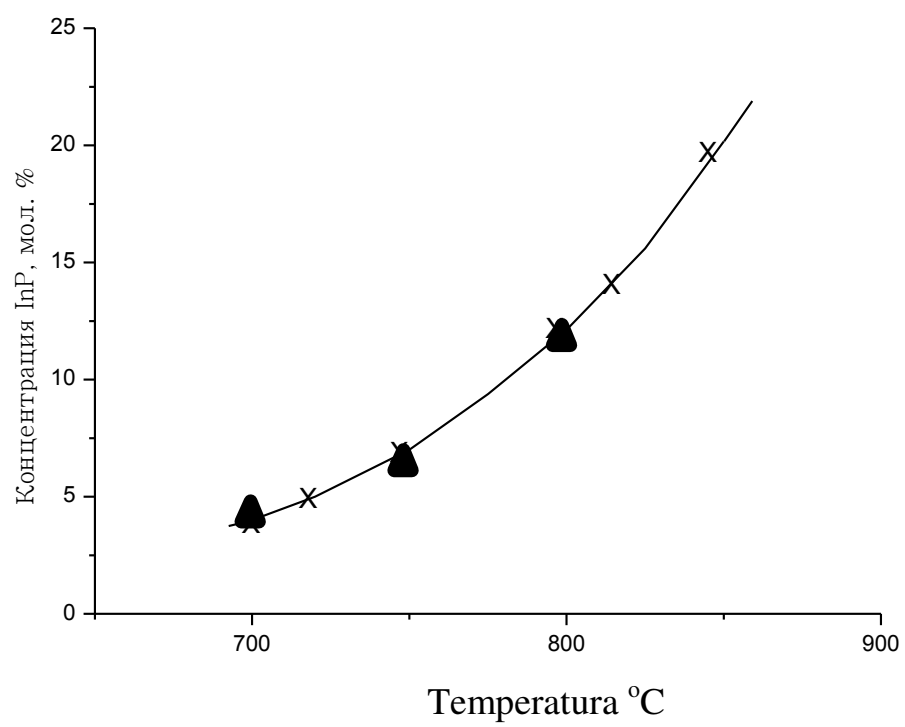
Tajribalar “palladiy-2 ” filtrlarida tozalangan vodorod atmosferasida o'tkaziladi. Bunda foydalanilgan InP kristallari p-tip o'tkazuvchanlikka ega. Ulangandan keyin indiyli qotishma tigelga solinadi.

Tajriba ushbu bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- Reaktorda vakuum olish ;
- 5-10 minut davomida vodorod bilan haydash;
- ma'lum haroratgacha qizdirish;
- suyuq eritmani gologenlash;
- InP kristalini eritmaga botirish;
- to'la to'yingan kristalni ushlab turish (bunda tigel aylantirib turiladi)
- kristallni eritmadan chiqarish;
- InP kristalini qoldiqlarini tozalash;
- Erimay qolgan kristall qismini o'lchab yo'qotilgan og'irlikni aniqlash.

Bunda kristall eritmada 45, 60 va 70 minut davomida ushlab turiladi va uning to'la to'yinganligiga ishonch hosil qilinadi.

O'lchashlar natijasida turli haroratlarda InP ning In da eruvchanligi aniqlandi (2.3-rasm) O'lchashlar natijasida yana $T=750^{\circ}\text{C}$ da InP ning In da eruvchanligiga eritmada mavjud turli kamponentalar ta'siri ham o'rganildi.



2.3-rasm. InP ning In da eruvchanligi.

O'lchashlar shuni ko'rsatdiki indiyli eritmaga juda kam miqdorda kremniy va germaniy kiritilsa yani 2,5 at % InP ning In da eruvchanligiga ta'sir qilar ekan. Rasmdan ko'rinadiki eritmaga kremniy kiritilsa u InP ning In da eruvchanligini ozroq oshirar ekan. Ge elementi esa InP ning In da eruvchanligini oz miqdorda kamaytirar ekan.

Shu yo'l bilan $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qotishmasini olish uchun eritmaning mos tarkibini va harorat intervalini tanlash mumkin bo'ldi.

2.3. Turli moddalarning muzda eruvchanligi va tajriba natijalari tahlili

Kirishmalarning muz-eritma ikki fazali tizimida o'zaro taqsimoti koeffitsienti va muvozanatli taksimot koeffitsientining tashqi faktorlarga bog'liqligi [32] ishdagi metodikaga asosan o'rganildi. Suvli eritmalarining kristallanish jarayoni penoplastdan tayyorlangan maxsus idishda, muzlatish kamerasida amalga oshirildi. Idish konstruktsiyasi shunday tanlanganki muzlash, ya'ni kristallanish jarayoni ma'lum bir yo'nalishda amalga oshsin, xamda jarayon oxirida tozalangan muzni ifloslangan suyuq fazadan osongina ajratib olish mumkin bo'lsin. Natriy, kaliy, kaltsiy ionlarining muvozanatli taksimot koeffitsientlarini topish maqsadida har bir ayrim olingan elementlarning mos suvli eritmaları tayyorlandi. Muzlatish tezligi muzlatgich regulatori yordamida 4 mm/soat – 8 mm/soat oralikda hamda muzning yo'nalganligi, qalinligi suyuq va qattiq faza chegarasi bir tekis o'zgarishi idish issiqlik izolatsiyasini o'zgartirish yordamida boshqarib turildi.

Begona kirishmalarning kristallangan muzdagi miqdorlari uni erigandan keyin kimyoviy tahlil, titrlash hamda fotokalarimetriya usullari bilan aniqlandi. Bir xil shart-sharoitlarda muzlatilgan kristallarda begona kirishmalar kontsentratsiyasining eritmadagi kontsentratsiyasiga bog'liqligi o'rganildi va bu bog'lanishlarda suyuq fazadagi ma'lum bir kontsentratsiyalardan boshlab to'yinish platosi kuzatildi. Fotometrik kuzatishlar shuni ko'rsatdiki to'yinish sohasiga mos kelgan eritmadan o'stirilgan muz kristallari shaffofligi keskin pasayadi. Bu esa qattiq fazada ikkinchi faza ajralib chiqqanidan darak beradi. SHunday usul bilan muzdagi natriy, kaliy, kaltsiy begona kirishmalarning aniqlangan eruvchanligi mos ravishda 1.1 g/l, 0.9 g/l, 0.8 g/l ni tashkil etdi. Tekshirishlar shuni ko'rsatadiki, kristallanish tezligi osha borishi bilan begona kirishmalarning effektiv taqsimot koeffitsientlari ham monoton osha boradi. Olingan bog'lanishlarni kichik tezliklar tomon aproksimatsiyalash bilan ushbu natriy, kaliy, kaltsiy ionlari uchun ikki fazali eritma tizimida muvozanatli taqsimot koeffitsientini topish mumkin.

Aproksimatsiya natijalari 2-jadvalda keltirilgan

2.1-Jadval. Kirishmalar muvozanatli koeffitsiyentining begona kirishma konsentratsiyasiga bog'liqligi.

Kirishmalarning muvozanatli koeffitsiyenti	Begona kirishmaning suyuq fazadagi konsentratsiyasi g/l		
	0,5	1	1,5
K_{Na}	0,02	0,04	0,06
K_K	0,02	0,03	0,03
K_{Ca}	0,01	0,02	0,03

Ko'rinib turgandek (jadval 2), kirishmaning suyuq fazadagi kontsentratsiyasi oshishi bilan uning muvozanatli taqsimot koeffitsienti ham oshib boradi.

Effektiv taqsimot koeffitsientining esa o'sish tezligi o'sishi bilan oshishiga quyidagi sabablar mavjud. Malumki [33], muvozanatli, effektiv taqsimot koeffitsientlari o'sish tezligiga quyidagicha bog'liq:

$$K_{\phi} = \frac{K_0}{K_0 + (1 - K_0) \exp(-\nu \delta_0 / D)} \quad (2.3)$$

bunda: K_0 - kirishmaning muvozanatli taqsimot koeffitsienti;

δ_0 - chegaraviy diffuzion qatlam qalinligi; D - kirishmaning suyuq fazadagi diffuziya koeffitsienti; ν - qattiq fazaning kristallanish tezligi;

Agar $\delta_0 = const$; $D = const$ desak, u holda $\frac{\delta_0}{D} = b = const$ ham o'zgarmas bo'ladi. U

holda

$$K_{\phi} = \frac{K_0}{K_0 + \frac{1 - K_0}{e^{\nu b}}} \quad (2.4)$$

Modomiki biz ko'rayotgan begona kirishmalar uchun $K < 1$ bo'lar ekan, u holda

$0 < 1 - K < 1$ tengsizlik o'rinli bo'ladi. SHu sababli boshqa shart-sharoitlar bir xil bo'lib qolgan paytda, o'sish tezligi oshishi bilan (2.4) ifodaning maxraji kamaya borib K_{ef} esa orta boradi.

K_{ef} -ning oshishiga ikkinchi sabab esa quyidagicha: kristallanish tezligi oshishi bilan muzning monokristall bo'lakchalari maydalasha va ular oralig'idagi bo'sh fazo ham osha boradi. Bu esa begona kirishmalarning shu bo'sh oraliqlarga kirib qolishini va demak begona kirishmaning muzdagi kontsentratsiyasini ko'paytiradi, lekin bunday muz o'zining monokristall muz ega bo'ladigan noyob xususiyatlarini butunlay yo'qotadi, begona kirishma bilan mexanik aralashgan qorga o'xshab qoladi.

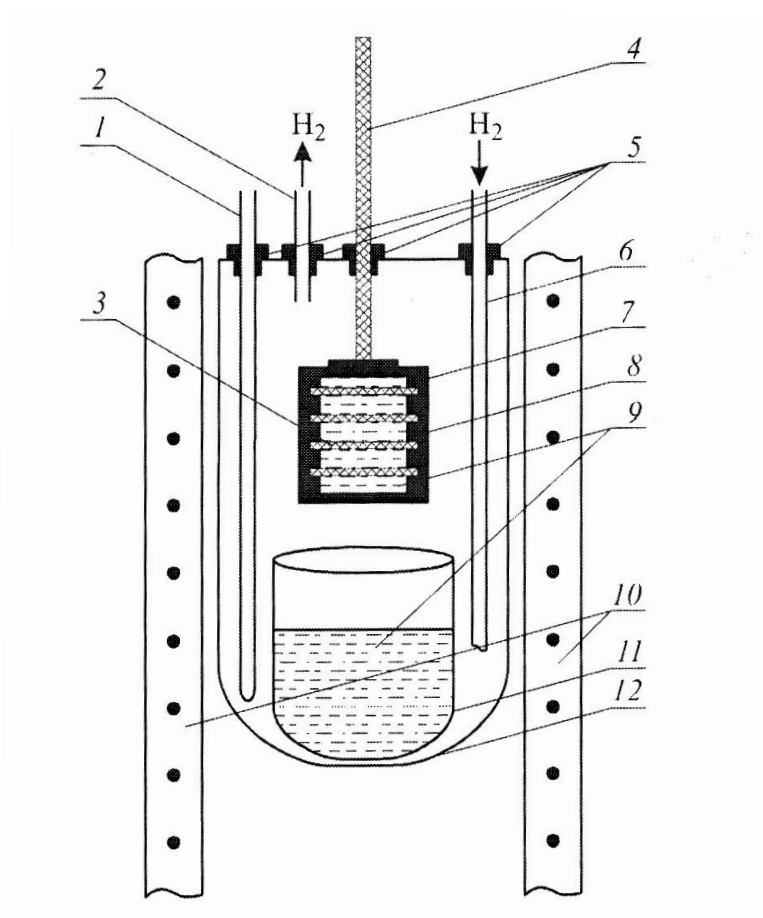
III Bob. Yangi qattiq qotishmalar asosidagi yarimo'tkazgich materiallar va ularning xossalari

3.1. $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qattiq qotishmasining olinishi va ba'zi xossalari

$(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qattiq qotishmasini o'stirish oldin ko'rilganidek $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qotishmasi uch komponentali bo'lib shu guruhga kiruvchi $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ kabi moddalar qatori yarim o'tkazgich materialshunosligi uchun istiqbolli bo'lishi mumkin [1, 2]. Keyingi yillarda bu guruhga kiruvchi $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$, $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ singari bir qancha materiallar o'stirildiki bularning xossalarini o'rganish shu kunlarda ham dolzarb bo'lmoqda. Bu materiallar O'zFa Fizika texnika institutining "Yarim o'tkazgich materiallar o'stirish laboratoriyasida suyuq fazali epitaksiya usulida o'stirib kelinmoqda.

Bu qatorda $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qotishmasi InP birikmasi tarkibida mavjudligi uchun alohida ahamiyatga moyildir.

Ma'lumki suyuq fazali epitaksiya usulida biror material o'stirishdan oldin suyuq eritmaning optimal tarkibini aniq tanlash muhimdir [4, 7, 31, 34]. Ushbu $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qotishmasini o'stirishda erituvchi sifatida indiy olindi va eritma tarkibi Si, Ge va InP moddalari bo'lishi ta'minlandi. Taglik sifatida 25 mm. li (100) yo'nalishli Si (kremniy) plastinkalar olindi. Materialni olish uchun vertikal tipli reaktor tanlanib, bunda taglik plastinkalar garizontal joylashtirildi. O'stirish jarayoni sof vodorod atmosferasida amalga oshirildi. Vodorodni tozalash "Палладий" tipidagi tozalagichdan o'tkazish yo'li bilan amalga oshirildi. Bu qurilmaning tuzilishi [2] ishda keltirilgan bo'lib, biz unga to'xtalib o'tirmaymiz. Bu jarayonda barcha o'stirilgan kristallar uchun texnologik jarayonlar ketma ketligi bir xil bo'lib asosan o'sish sharoitlari temperatura intervali, o'stirish tezligi va hokozolar bilan bir biridan farqlanadi.



3.1-rasm. Suyuq fazali epitaksiya usuli bilan qattiq qotishmalar o'zlashish qurilmasi:

1- termojuftliklar uchun kvarts trubkalar, 2- H₂ chiqishi, 3- kremniy tagliklar, 4- ushlab turgich, 5- germetiklash boltlari, 6- H₂ kirishi, 7- grafit kassetalar, 8- grafit prakladkalar, 9- suyuq eritma, 10- elektr qizdirgich, 11- kvarts stakan, 12- kvarts kamera.

[2] ishda olingan $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qotishmasining o'stirish sharoiti quyidagicha bo'lgan:

- o'stirish harorati intervali 850-600°C;
- sovitish tezligi 0,5-1,5 grad/min
- plastinkalar orasidagi optimal masofa 2-2,5 mm

Ushbu keltirilgan texnologik rejimda olingan namunalarning sirlari silliq, yaltiroq bo'lib, juda yaxshi sifatga ega bo'lgan. 3.1-rasmda vertikal tipdagi suyuq fazali epitaksial o'stirish qurilmasining tuzilishi keltirilgan.

$(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qattiq qotishmasining ba'zi elektrofizik xossalari

Si taglikka olingan $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qatlamlarining qalinligi kristallanish boshlanish temperaturasi T_k va kristallanish intervali ΔT_k ga bog'liq holda 20-40 mkm oraliqdagi qalinlikka ega bo'lgan. MIM-8M tipdagi mikroskopda o'tkazilgan. Morfologik tekshirishlar shuni ko'rsatdiki (100) yo'nalishli Si taglikka o'sgan plyonkaning radoriyenayasi ko'pgina namunalarda $0^\circ 15'$ ni tashkil qilar ekan.

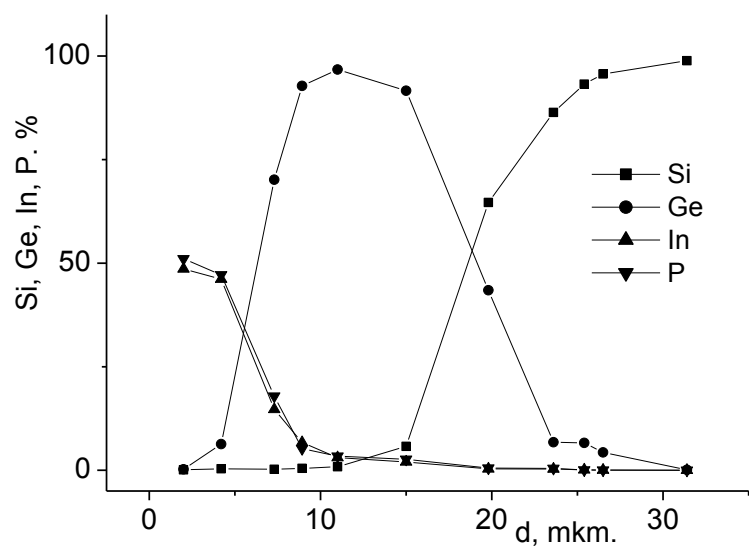
[2] ishda olingan namunalarning kimyoviy tarkibi mukammal o'rganilgan "CAMECA" tipdagi mikroanalizatorida olib borilgan o'lchashlar shuni ko'rsatdiki Si taglik bilan $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ plyonkasi orasida Si_xGe_{1-x} qotishmasi buffer qatlam sifatida o'sar ekan. Si taglik tomonida Si_xGe_{1-x} tarkibi Si dan boshlanib $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ tomonida deyarli Ge tarkibiga ortib borishi aniqlangan.

Shunday qilib bir texnologik jarayonda amalda olingan plyonkalarining strukturaviy tuzilishi $Si-Si_xGe_{1-x}-(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ kabi tuzilishga ega bo'lganligini ko'rish mumkin. Yagona jarayonda bunday qatlamning o'sishini quyidagicha tushuntirish mumkin:

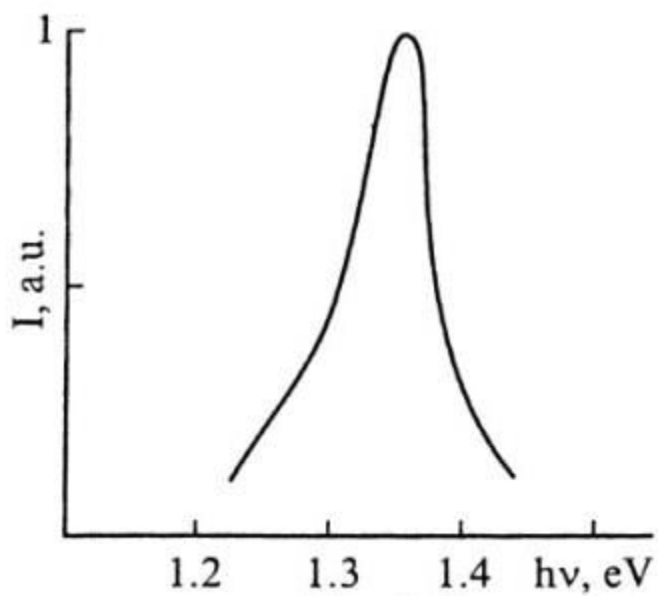
850°C li kristallanish boshlanish haroratida $In-Si-Ge-InP$ ni suyuq eritma tarkibi Si va Ge ga nisbatan to'yinganligi sababli Si taglikka dastlab Si dan boshlab Ge gacha tarkibi tekis oshib boruvchi Si_xGe_{1-x} qotishmasi o'sa boshlar ekan. Bu Si taglik bilan $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ orasidagi buffer qatlam vazifasini o'taydi. Taxminan

750°-700°C atroflarida eritma InP ga to'yingan bo'lgani sababli Si_xGe_{1-x} buffer qatlam ustiga $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qotishmasi o'sa boshlar ekan. InP ning tarkibiy xissasi deyarli barcha namunalar sirtida 100% ni tashkil qilganligi aniqlangan. Olingan namunalardagi qalinlik bo'yicha tarkibning o'zgarishi 3.2-rasmda ko'rsatilgan.

[17] ishlarda olingan namunalarning kristall mukammalligi ДРОН-УМН tipidagi rentgen qurilmasida difraksion metod bilan o'rganib chiqilgan. O'lchashlar shuni ko'rsatdiki o'stirilgan namunalar juda yaxshi monokristallikka ega va nuqsonlar, defektlar miqdori yetarlicha kam bo'lgan. Bu o'lchashlar yordamida Si_xGe_{1-x} va $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ epitaksial qatlamlarning panjara doimiylarini baholandi. Ularning qiymati mos ravishda 5,240°A va 5,653 ÷ 5,743°A intervalda ekanligi aniqlandi. Bundan tashqari olingan namunalarning sirtidan 77 K haroratda fotolyuminissensiyasi o'rganildi.(3.3-rasm) Bundan olingan spektrning chegaraviy polosasi 1,34 eV ekanligi aniqlanib bu InP ning taqiqlangan zonasi kengligiga teng ekanligi ko'rsatildi. Bu esa namuna sirti tarkibi InP dan iborat ekanligini yana bir bor ko'rsatdi.



3.2-rasm. $Si - Si_{1-x}Ge_x - (Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ epitaksial qatlamida tarkibdagi komponentalar ulishi.



3.3-rasm. Olingan $Si - Si_{1-x}Ge_x - (Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ namunalarning sirtidan 77 K haroratda fotolyuminissensiyasi

3.2. $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ va $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$ qotishmasining olinishi va xossalari.

Shu kungacha suyuq fazali epitaksiya metodi bilan ushbu kristallar o'stirilganligini ta'kidlab o'tmoqchimiz: $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$, $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$, $(Si_2)_{1-x}(ZnS)_x$, $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$, $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ va boshqalar. Ushbu paragrafda $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ qotishmasining o'stirilish jarayoniga to'xtalib o'taman.

[4] ishda $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ va $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$ kabi ikki tipdagi qotishma olingan va ularning xossalari o'rganilgan. O'stirishdan oldin dastlab massa yo'qolishi metodi bilan turli haroratlarda uchinchi kompanentaning GaP, GaAs, Si ning ruhdagi eruvchanligiga ta'siri o'rganilgan. Harorat xromel-alyumel termojuftligi yordamida nazorat qilingan.

$(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$ qotishmasi 20mm diametrli polikristall kremniy taglikka epitaksial qatlam sifatida o'stirilgan. $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ qotishmasini o'stirishda esa 20 va 40 mm diametrli monokristall kremniy taglik ishlatilgan. O'stirish jarayoni garizontal tipdagi reaktorda amalga oshirilgan. O'stirish bu qurilmada ikkita taglik orasida kichik hajmli sohadagi eritmadan amalga oshiriladi. Bu esa iqtisodiy nuqtai nazardan juda muhimdir. O'stirish palladiy yordamida tozalangan vodorod atmosferasida amalga oshirilgan. Dastlab reaktorda 10^{-2} Pa bosimgacha vakuum hosil qilinib keyin vodorod yuboriladi. 10-15 min davomida reaktorga vodorod quyiladi va shundan keyin qizdirish boshlanadi. Harorat ma'lum qiymatga erishgach avtomatik rejimga o'tkaziladi keyin 30-40 minut eritmaning gomogenizatsiyasi amalga oshiriladi. Dastlab Si taglikka holat diagrammasiga muvofiq Si kristallana boshlaydi. Pastroq haroratlarda esa $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ va $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$ qotishmasining o'sishi uchun sharoit yaratiladi. Chunki bu haroratlarda eritma GaP va GaAs ga to'yingan bo'ladi.

$(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ qotishmasini eksperimental o'stirish

Bu qotishma o'stiriladigan eritma tarkibini aniqlash uchun *Si-Ga-P*

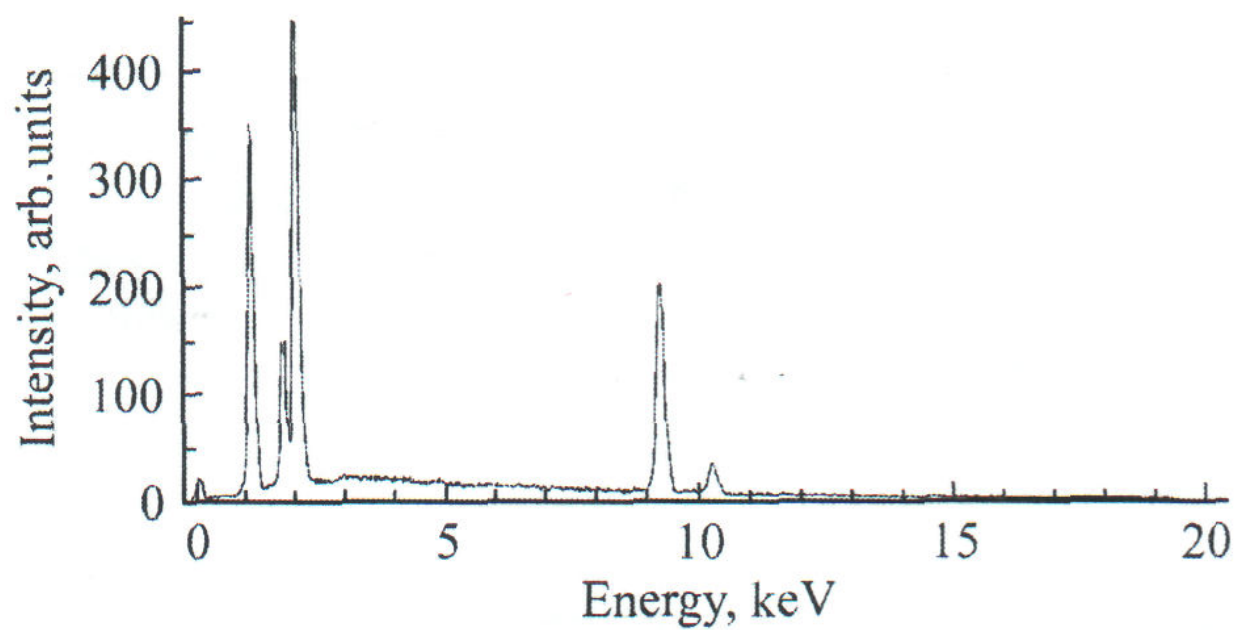
sistemasining holat diagrammasi o'rganildi. Bunda [4, 35] adabiyotlardan foydalanildi. Bunda erituvchi sifatida rux ishlatilgan. O'stirish jarayoni nisbatan past temperaturada 750-900°C intervalida amalga oshirildi. Bunda taglik sifatida 20 va 40 mmli monokristall kremniy taglik ishlatilgan. Bunda sovitish tezligi 0,5-1,1 grad/min bo'lib, bu texnologik jarayonda $Si-(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ strukturasi olindi.

Yuqorida qayd qilingan jarayonda olingan strukturada plenklar yuqori sifatli bo'lib bu namunalarda o'lchashlar amalga oshirilgan. $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ epitaksial qatlam n tipga ega bo'lib, turli namunalarda qalinligi 15-30 mkm intervalida o'zgargan. "Jeol" mikroanalizatori yordamida olingan namunalarning qalinligi bo'yicha tarkibi o'rganildi. Bu o'lchashlar shuni ko'rsatdiki $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ varizon qatlamida GaP ning miqdori o'sish yo'nalishida osha borgan va namunalar sirtida Ga-41% va P-52% miqdoriga erishgan. Epitaksial qatlamlar sirtidan xarakteristik rentgen spektri olingan (3.4-rasm). Namunalar kesimi bo'ylab olingan rastr suratlarda namunalar strukturaviy mukammalligi yaxshi ekanligi ko'rinib turibdi. Namunalarda kompanentalar bir jinsli taqsimlangan. Bu mukammallik ayniqsa sovitish tezligi 0,5-1 grad/min oraliqda va tagliklar orasidagi masofa $\delta=0,75-1$ mm bo'lganida yuqori ekanligini ko'rsatgan. Bu ishlardagi epitaksial qatlam o'stirish majburiy sovutish usulida bo'lib tezlik 0,5-5,0 grad/min chegarasida bo'lishi mumkinligi takidlangan. Sovutish tezligi qancha sekin bo'lsa, namuna mukammalligi shuncha yuqori, defektlar soni shunchalik kam bo'lgan.

[36] ishda bu defektlarning sababi qilib kompanentalar panjara doimiylaridagi farq, kengayish koeffitsiyentlaridagi farq keltirilgan. Bu ishda Si va GaP geterojuftligidagi nomuvofiqlik aniqlandi

$$f = \frac{(a_{Si} - a_{GaP})}{(1/2)(a_{Si} + a_{GaP})} 100\% \quad (3.1)$$

Bu formula bo'yicha aniqlangan qiymat juda kichik 0,36% ekanligini ko'rsatdi. Demak Si-GaP geteroo'tish chegarasida panjara doimiylari bilan bog'liq kuchlanishlar deyarli sezilmas ekan. Tarkibda ximik kompanentalar miqdori bir tekis 0 dan 1 gacha o'zgarar ekan ($0 \leq x \leq 1$).



3.4-rasm. $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ epitaksial qatlamlari sirtidan mikroanalizator yordamida olingan spektr.

Taglik bilan bog'liq defektlar ham monokristall Si olingani uchun mavjud emas deyishga asos bo'ladi.

$Si-(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ strukturasidagi asosiy defektlarni yuzaga keltiruvchi sabab bu komponentalar termik koeffitsiyentlari orasidagi farqdadir. Bu koeffitsiyentlar mos ravishda $5,8 \cdot 10^{-6}$ 1/grad va $2,44 \cdot 10^{-6}$ 1/grad ga teng ekan. Yana shuningdek o'stirish texnologiyasi nomukammalligi bilan bog'liq bo'lgan defektlar ham bo'lishi mumkin. Termik koeffitsiyentlar farqi hisobiga yuzaga kelgan defektlar [36] ishdagi ushbu formula bilan baholanadi

$$\sigma_{\Delta a} = \frac{E}{1-\gamma} \Delta a \cdot \Delta T \quad (3.2)$$

Bunda E - Yung moduli γ - Puasson koeffitsiyenti Δa - termik koeffitsiyentlar orasidagi farq, ΔT – O'stirish harorati va xona harorati orasidagi farq. X ortishi bilan a ning qiymati Si nikidan GaP nikiga yaqinlasha boradi.

$(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$ **qotishmasining epitaksial o'stirilishi.**

Bu qotishma o'stirilishida ham $(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ o'stirilgani kabi Si-GaAs uchun holat diagrammasi o'rganildi. Bu qotishma qatlami ruhli eritmada vodorod atmosferasida 3.1-rasmda keltirilgan reaktorda amalga oshirildi. Bu holda o'stirish intervali 850-700°C ni tashkil etgan, taglik sifatida 20 mm diametrli 350-400 mkm qalinlikdagi Si kristallari ishlatilgan. Strukturalar ham n ham p tipdagi Si tagliklarda o'stirib ko'rilgan bo'lib bunda solishtirma qarshiliklar mos ravishda $\rho=30$ Om·m va $\rho=0.1-3,0$ Om·m ni tashkil qilgan. Bu ishda namunalar mukammalligini oshirish uchun kristallanish boshlanish harorati T_{kr} va tagliklar orasidagi masofa δ – o'zgartirib borilgan. Olingan namunalar p - n o'tishli va n - p o'tishli ekanliklari aniqlangan. Kristallanish $T_{kr} \leq 700^\circ\text{C}$ haroratlarda boshlanganida plenka elementlari dendridlardan iborat bo'lib, ular ko'pyoq piramida shaklida bo'lgan. Dendridlar orasida 0,1-0,3 mkm qalinlikdagi nozik plenklar o'sganligi aniqlangan. $T_{kr} > 800^\circ\text{C}$ da ham dendridlar kuzatilib, ular orasidagi plenklar qalinligi ~5-10 mkm ga yetgan. $T_{kr} > 850^\circ\text{C}$ da va sovutish tezligi, hamda δ - oraliq optimal tanlanganda qotishma plenkalari silliq va yaltiroq o'sgan. Shunday qilib

o'stirishning optimal sharoitlari:

- temperatura intervali 850-700°C
- sovutish tezligi 0,75 – 1,0 grad/min

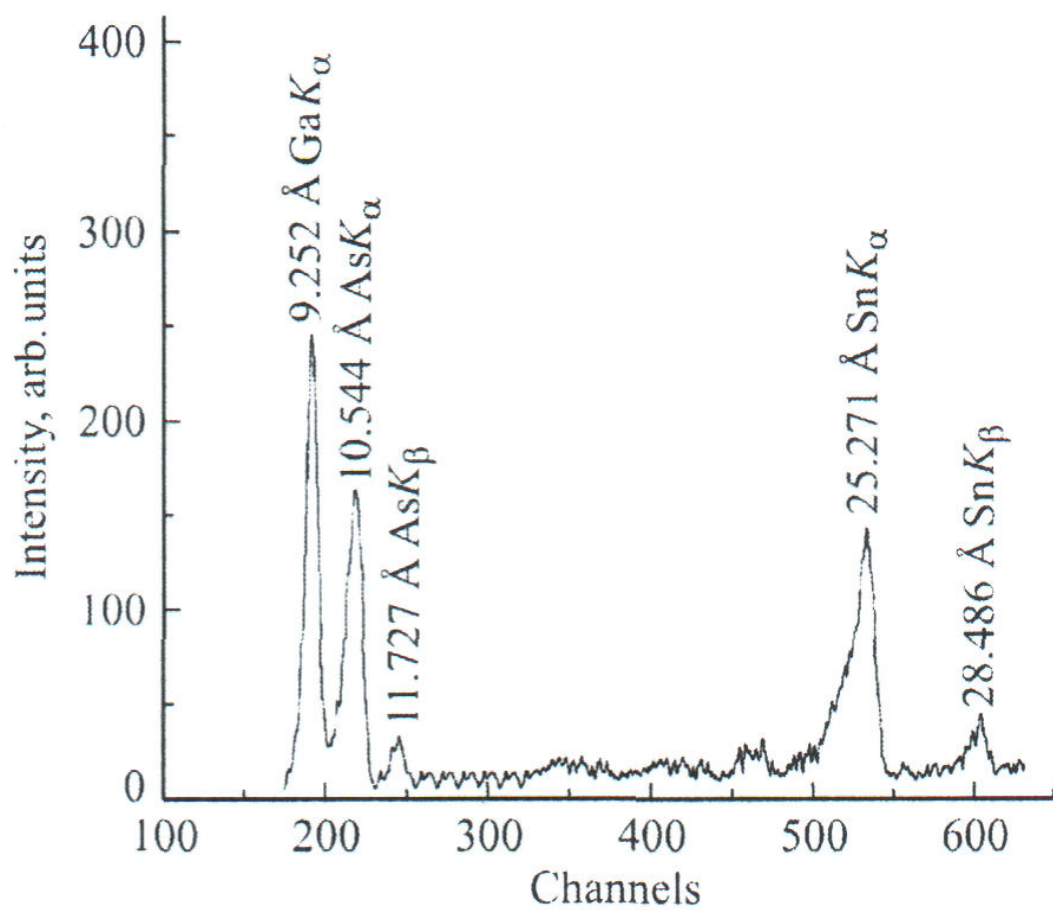
Rentgen analizi metodi bilan namunalarning komponentalari tarkibi va qalinligi o'rganilgan Ga va As larning rentgen spektri ^{109}Cd - rentgen manbai bilan, Sn ning spektri esa ^{241}Am ning γ nurlari bilan uyg'otilgan. Bu olingan spektrlarni kuzatishda AI-1024-95-02 tipidagi amplitudaviy analizator ishlatilgan. Bu spektrlar 3.5-rasmda keltirilgan [4].

Bu namunalar yana “Jeol” JSM 5910 rentgen mikroanalizatorida ham o'rganilgan.

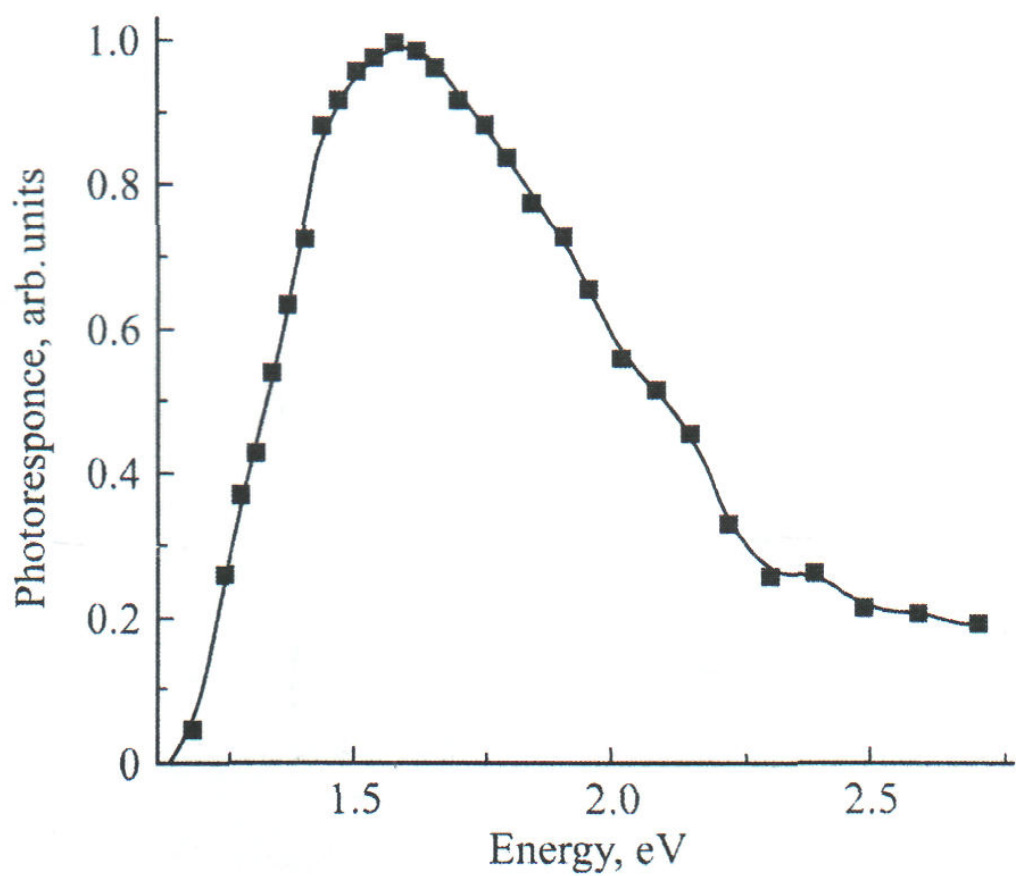
Olingan $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ epitaksial qatlamlarining ba'zi elektrofizik parametrlari ham o'rganilgan. To'rt zondli metod bilan o'tkazilgan Xoll o'lchashlari $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ qatlamlarning n tipga ega ekanligini ko'rsatdi, bunda solishtirma qarshilik $\rho \approx 0,5-1,5 \text{ Om}\cdot\text{m}$, elektronlar va teshiklar harakatchanligi mos ravishda $\mu_n=800-1200 \text{ sm}^2/\text{Vs}$ va $\mu_p=500-800 \text{ sm}^2/\text{Vs}$ ekanligi aniqlangan. Tayyorlangan $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ strukturasi $\lambda \approx 0,427-1,1 \text{ mkm}$ oraliqda fotosezgirlikka egaligi aniqlangan. (3.6-rasm)

Bu $E \approx 1,1-1,4 \text{ eV}$ intervaldagi aktivlik Si taglikdagi va $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ dagi muvozanatsiz zaryad tashuvchilar generatsiyasi bilan tushuntirilishi mumkin bo'lsa, $E \approx 1,42-1,6 \text{ eV}$ dagi fototokni esa p-n o'tishdagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar generatsiyasi bilan tushuntiriladi $E \approx 1,6-2,8 \text{ eV}$ soha esa GaAs xossalari bilan tushuntirilishi mumkin ekan.

Yuqorida keltirilgan izlanish natijalari shuni ko'rsatdiki $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ qotishmasi plenkalari qimmatbaho GaAs tagliklar sifatida bimalol ishlatilishi mumkin. Shunday qilib bu ishlarda keltirilga texnologiya $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ ni o'stirish asosida yangi material sifatida asbobsozlikda qo'llanilishi mumkin.



3.5-rasm. $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$ namunalarida Ga As va Sn elementlarining xarakteristik nurlanishlari



3.6-rasm. $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ strukturasi fotosezgirlikning spektral xarakteristikasi.

Si-(Si₂)_{1-x}(GaP)_x strukturasining ba'zi elektrofizik va fotoelektrik xossalari.

Oldingi paragraflarda olingan *p-Si-n-(Si₂)_{1-x}(GaP)_x* geterostrukturalarning VAX lari to'g'ri va teskari yo'nalishlarda xona xaroratida olindi. 3.7-rasm Ma'lumki geteroo'tishlar VAX lari to'g'ri va teskari qismlarining juda ko'plab nazariy modellari mavjud. Qanday nazariy model tanlanishidan qat'iy nazar I_{di} - to'g'ri tok eksponensial oshar ekan:

$$I_{di} \sim \exp\left(\frac{qV_b}{kT}\right) - 1 \quad (3.3)$$

Bunda V_b – siljish kuchlanishi.

Patensial to'siq balandligi V_b VAX to'g'ri sohasini ekstropolyatsiya qilish yo'li bilan topiladi va bu holda $V_b \approx 0,5 \text{ V}$ ekanligini ko'rish mumkin ekan. VAX teskari qismida uchta xarakterli sohani ajratish mumkin. $V_b = 0-0,3 \text{ V}$, $V_b = 0,3-1,25 \text{ V}$, $V_b > 1,25 \text{ V}$.

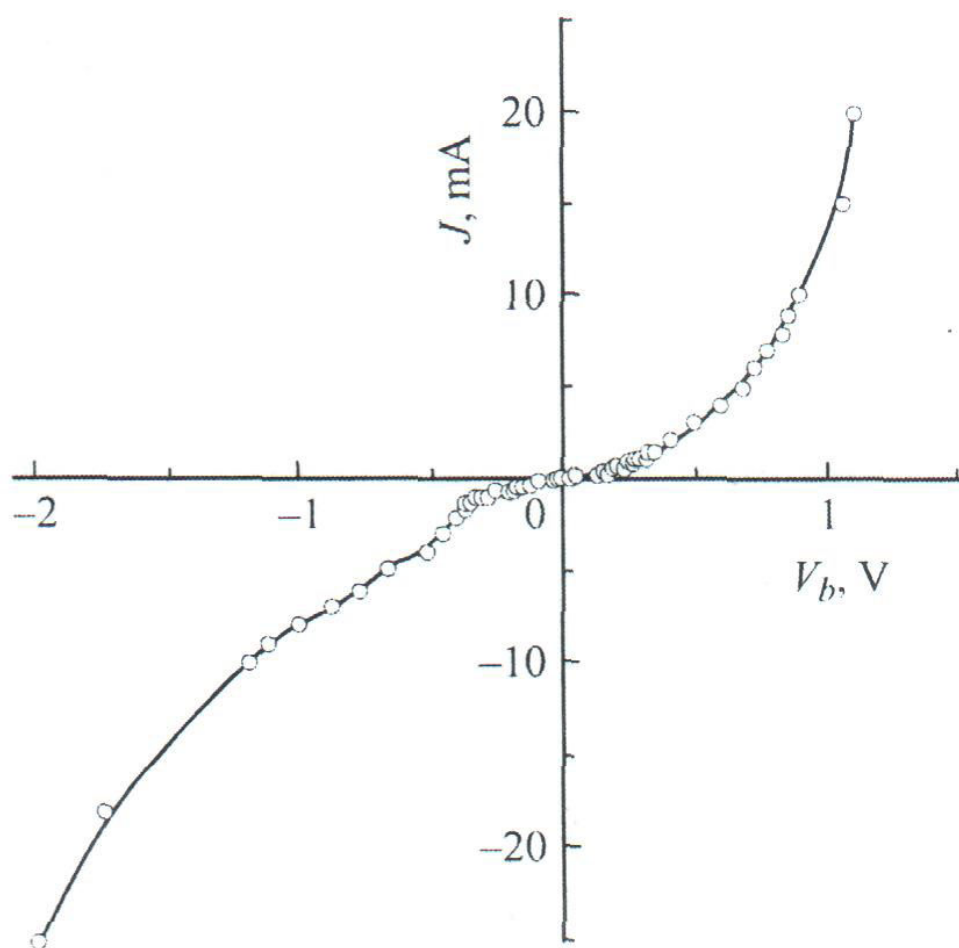
Birinchi sohada tok o'zgarish qonuni:

$$I = BV_b^n \quad (3.4)$$

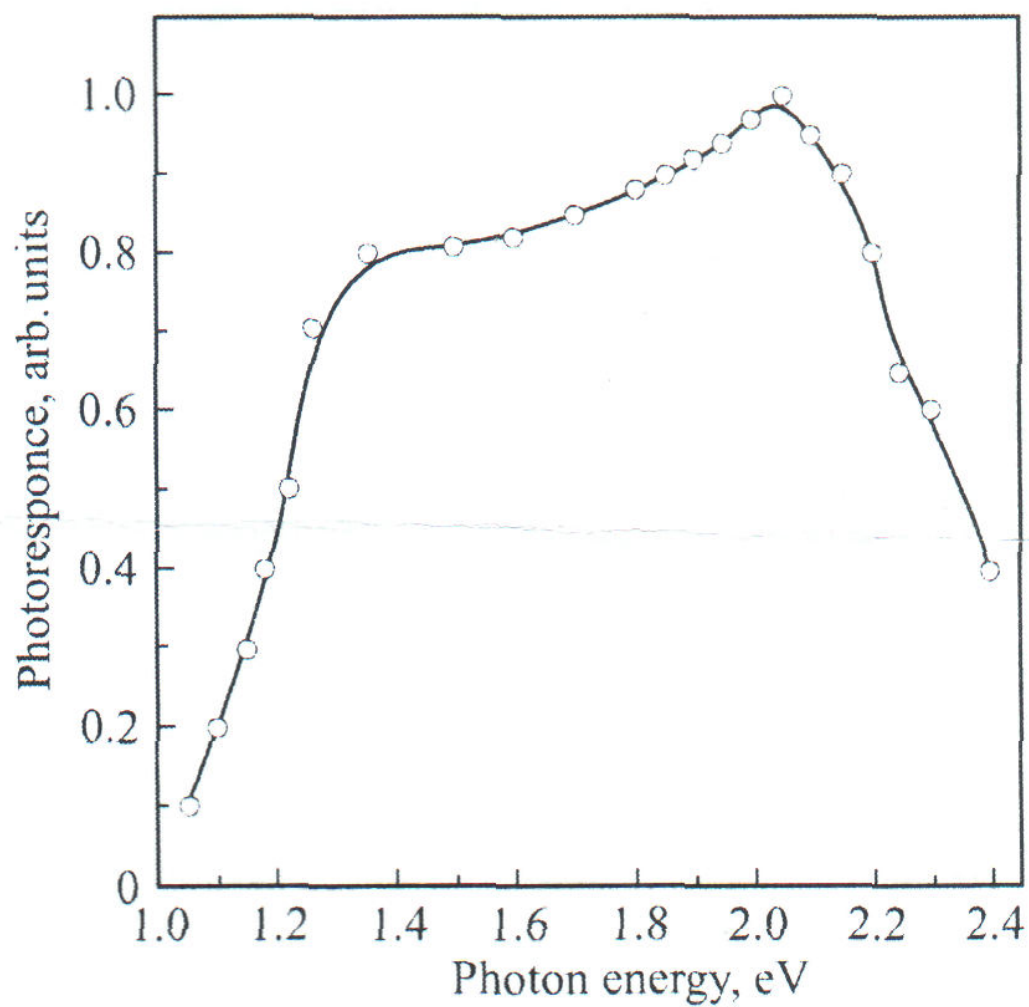
Bo'lib $n < 1$ ekanligini ko'rish mumkin. Ikkinchi sohada tokning sezilarli ortishini kuzatish mumkin. Bundan ham yuqori kuchlanishlarda p-n geteroo'tish hajmida zarbali ionizatsiya boshlanib, yengil elektr teshilshga olib kelar ekan.(3.6-rasmga qarang). Ikkinchi sohadagi tokning sezilarli ortishi p-n geteroo'tish sohasiga yaqin sohalardagi zarbli ionizatsiya sabab bo'lishi mumkinligi aytilgan.

Keyingi izlanishlarda *Si-(Si₂)_{1-x}(GaP)_x* geteroo'tishning fotoelektrik xususiyatlari o'rganilgan. O'lchash natijalari 3.8-rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinadiki $T=290 \text{ K}$ haroratda spektral sezgirlik sohasi ancha keng bo'lib $1,32 \leq h\nu \leq 2,1 \text{ eV}$ sohalarni egallaydi. Bu soha Si va GaP ning taqiqlangan zonalari kengliklari oraliqlariga mos kelar ekan.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki yuqorida keltirilgan fotosezgirlik aralashma markazlarida zaryad tashuvchilar generatsiyasi bilan bog'liq bo'lib, bu sohalar Si taglikka yaqin bo'lgan p-n o'tish sohasida bo'ladi.



3.7-rasm. $p\text{-Si-n-(Si}_2\text{)}_{1-x}\text{(GaP)}_x$ geterostrukturalarning qorong'uda olingan VAX



3.8-rasm. $pSi-n(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ geterostruktura fotojavobining spektral bog'liqligi

3.3. $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ qattiq qotishmalarining olinishi va strukturaviy, optik, elektrofizik xossalari.

Ma'lumki, GaSb tor zonali yarim o'tkazgich keyingi yillarda turli xil optoelektron asboblari ishlab chiqarishda keng qo'llanilmoqda. Ularning ishlatilishi infraqizil sohada bo'lib 1,0-2,5 mkm intervalda bo'ladi. Ular ko'pincha termofotoelementlar, svetodiodlar va fotodiodlar ishlab chiqarishda ishlatilmoqda[37].

Lekin GaSb qimmat yarim o'tkazgich material bo'lib, uning monokristallarini o'stirish qurilmasi ancha murakkab. Shu sababdan atomonid galliyning 5-10 mkm qalinlikdagi plenkalarini monokristall kremniy taglikka o'stirish GaSb aktiv element hisoblangan materiallar tannarxini arzonlashtirgan bo'lar edi. Shuning uchun GaSb plenkalarini arzon Si taglikka o'stirish, ularning elektrik va fotoelektrik xossalari o'rganish shubhasiz qiziqish uyg'otadi.

[37] ishda GaSb epitaksial qatlamlari Ga-Sb-Pb-Bi- eritmasidan GaSb taglikka suyuq fazali epitaksiya metodi bilan o'stirilgan. Shuningdek bunday qatlamlar: Si, kvarts, sapfir va polikristall CdTe tagliklarga hamda GaSb, GaAs tagliklarga gaz fazali epitaksiya usuli bilan va molekulyar nurli epitaksiya usulida ham o'stirilgan. Olingan natijalardan shu narsa aniqlandiki o'stirilgan plenkalarining sifati taglik materialiga va eritmadagi surma miqdoriga

$$X_{sb} = \frac{[Sb]}{[Sb] + [Ge]} \quad (3.5)$$

Bog'liq bo'lar ekan. O'stirilgan plenkalarining juda sifatli lari GaSb taglikka o'stirilgan namunalarda olingan, GaAs taglikka o'stirilgan namunalari sifati esa unchalik yaxshi bo'lmagan.

O'stirish metodikasi. GaSb ning qatlamlari [38] ishdagi texnologiya bo'yicha suyuq fazali epitaksiya usulida o'stirilgan. Taglik sifatida diametri 20 mm, qalinligi 400 mm bo'lgan kremniy disklar olingan bo'lib, ular p-va n- tipli bo'lgan. Ularning solishtirma qarshiligi mos ravishda 0,5 Om sm va 0,01 Om sm

bo'lib, (111) yo'nalishga ega bo'lgan. Ishda oldingi paragraflarda ko'rilgan vertikal tipli kvarts reaktor ishlatilgan. Bunda surmali eritmadan foydalanib, ikkita taglik orasiga tozalangan vadarod atmosferasida o'stirish jarayoni olib borilgan. Bunda o'stirish jarayoni ketma-ketligi oldingi paragrafdagilardan deyarli farq qilmaydi. Eritmaning optimal tarkibi Sn- GaSb-GaAs-Si-Al li bo'lib, u adabiyotlar tahlili va dastlabki tajribalar asosida tanlangan.

O'sish jarayoni boshida taglikka dastlab Si kristallana boshlaydi, chunki harorat intervali shunday tanlanganki bunda eritma Si bilan to'yingan bo'ladi. Keyingi nisbatan kichik haroratlarda $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ qattiq qotishmasi kristallana boshlaydi, chunki bu intervalda eritma GaSb va Si bilan to'yingan bo'ladi. Tagliklar orasini o'zgartirib turib, ham o'stirishlar o'tkazilgan. Bunda eng yaxshi namunalar tagliklar orasidagi masofa 1,5 mm bo'lganda kristallanish jarayoni 650°C dan boshlanganida va sovitish tezligi 1 grad/min bo'lganda olingan. Olingan namunada plenka n-tip o'tkazuvchanlikka ega (solishtirma qarshiligi ~0.01 Om sm) bo'lib, qalinligi 8-10 mkm.

Ma'lumki, Si va GaSb ning kristall panjara doimiylari mos ravishda 5,41 Å^o va 6,09 Å^o bo'lib, u GaSb ning mos doimiysi qiymatidan farq qiladi. Shuning uchun Si taglikka GaSb ni bufer qatlamsiz yoki $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ varizon qatlamsiz (x=0-1) o'stirish murakkab bo'ladi.

Shu sababli [39] ishda panjara doimiylarini silliqlash (moslashtirish) maqsadida Si₂, GaAs, GaSb komponentalaridan tashkil topgan bufer qatlamlar ishlatilgan. Bu bufer qatlam komponentalari izovalentli bo'lib ular kovalent radiuslari yig'indisi mos ravishda:

$$Si - r_{Si} + r_{Si} = 2,34\text{Å}$$

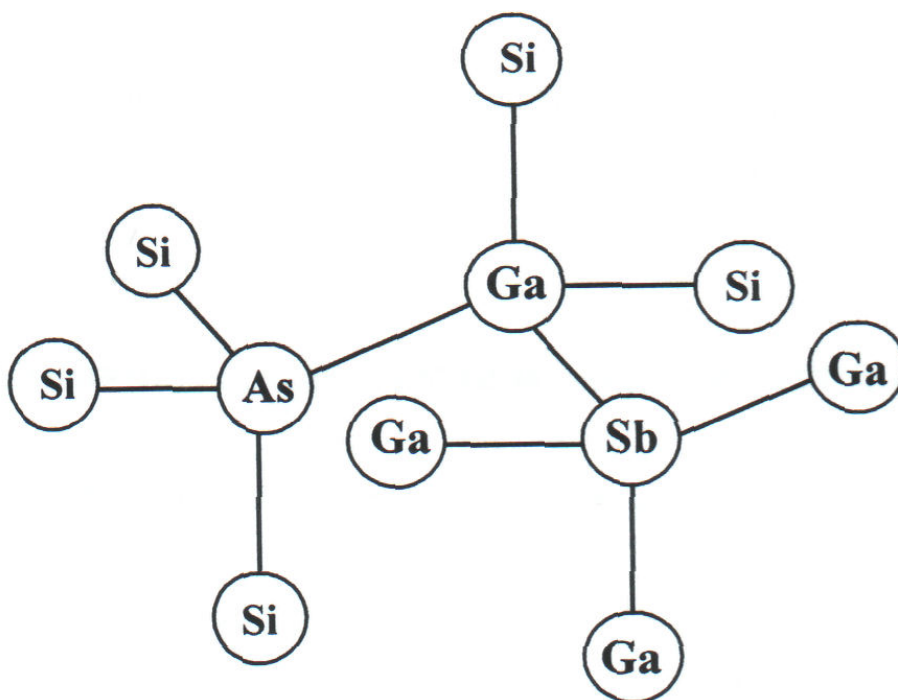
$$GaAs - r_{Ga} + r_{As} = 2,44\text{Å}$$

$$GaSb - r_{Ga} + r_{Sb} = 2,62\text{Å}$$

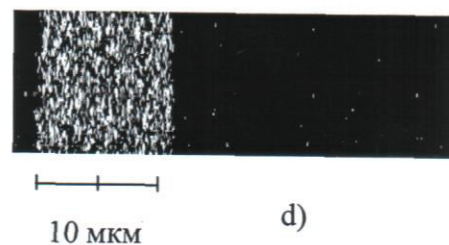
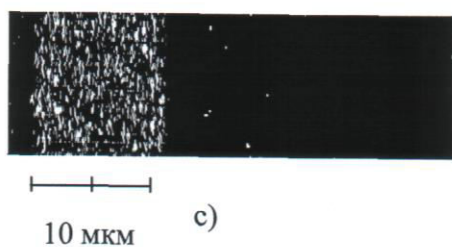
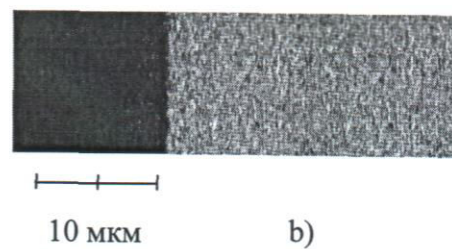
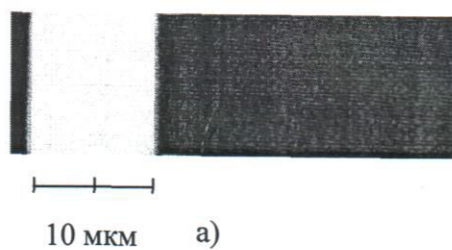
Bo'lib bir biriga juda yaqin va shu sababli kristall panjarani kuchli deformatsiyalamaydi. Bunda $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ holdagi kabi bu holda ham

$(GaSb)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaAs)_y$ tipidagi uzluksiz qattiq qotishma hosil bo'ladi va taglik plenka o'tishidagi mexanik kuchlanishlarni yo'qotadi va kristall mukammalligiga ta'sir etuvchi salbiy ta'sirlarni kamaytiradi. Shuni takidlash kerakki GaAs kristall panjarasi doimiysi Si va GaSb panjarasi oraliq qiymatiga teng ($5.67 \text{ \AA}^\circ$). O'tish sohasi tarkib miqdori kamayib boruvchi varizon qatlam hisoblanadi. 3.9-rasmda o'tish sohasidagi Si, GaAs va GaSb dan iborat panjara molekulalarining tetraedrik bog'lanish tuzilishi keltirilgan.

O'stirilgan $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ epitaksial qatlamlarining sirtidagi va hajmdagi tarkibi "Jeol" JSM 5910 LV Japan tipidagi rentgen mikroanalizatorida o'rganildi. Bu mikroanalizatorida olib borilgan izlanishlar shuni ko'rsatdiki, epitaksial qatlamlar metallik kirishmalardan holi, epitaksial qatlam kompanentalari sirtida bir jinsli taqsimlangan va $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ qattiq qotishmasi $x=0-1$ intervalda o'zgaradi. Taglikning butun sirti uni mustahkam qoplagan plenkadan iborat va namunalar sirti ko'zguday silliqdir. 3.10.a-rasmdan ko'rinadiki epitaksial qatlam uzluksiz, 3.10.b-rasm esa $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ qatlami hosil bo'lganidan dalolat beradi. 3.10.c- va 3.10.d-rasmlarda esa mos ravishda Ge va Sb lar bir tekis taqsimlanganidan dalolat beradi.



3.9-rasm. O'tish sohasidagi Si, GaAs va GaSb dan iborat panjara molekularining tetraedrik bog'lanishi.



3.10-rasm. $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ epitaksial qatlamlari rastr rasmlari a) Ikkilamchi elektron emmissiya, b) $Si_{K\alpha}$, c) $Ga_{K\alpha}$, d) $Sb_{K\alpha}$

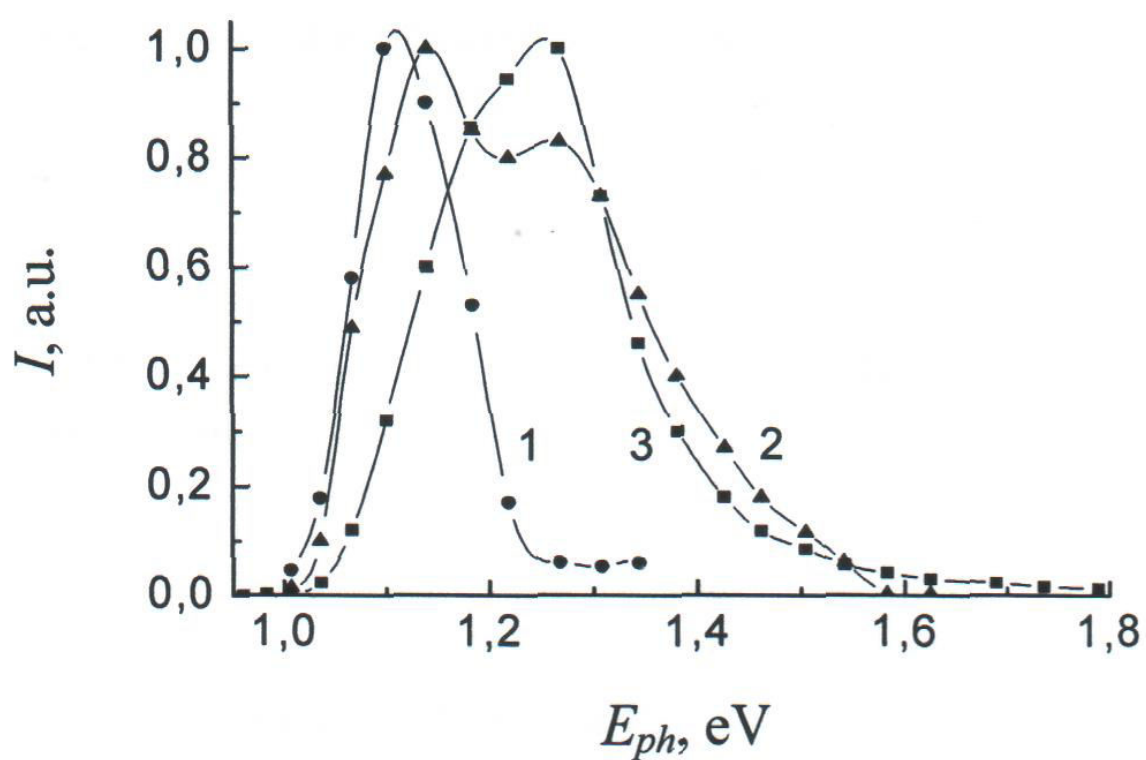
$pSi-n(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ **strukturalarining fotosezgirliigi.**

O'stirish jarayonida $pSi-n(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ noizotip o'tishlar olinib ular orasida $(GaSb)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaAs)_y$ buffer qatlami mavjud bo'lgan. Taglikka yaqin sohalarda Si miqdori yuqori bo'lib plenkaga yaqinlashgan sari GaAs, GaSb komponentalarining molekulyar ulishi ortib borgan. Bufer qatlam rolini o'rganish maqsadida $pSi-n(GaSb)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaAs)_y$ strukturalarining spektral fotosezgirliigi o'rganildi.

Tarkib qalinligi bo'yicha o'rganish uchun ishda 3° li burchak bilan egrilik shlif olingan va shu bo'yicha butun sirtga nozik yorug'lik dastasi yo'naltiriladi. Ish natijalari 3.11- rasmda keltirilgan. 1-egri chiziq bu bevosita taglikka yaqin soha spektri bo'lib, bu asosan Si komponentaga mos kelgan. 2- egri chiziq esa o'rta sohaga zond yuborilgan holga mos kelib, uning qalinligi 5 mkm atrofida va nihoyat 3-egri chiziq plenkaning yuqori qismi bo'lib u GaSb ga mos keladi. Spektral sezgirlikdan ko'rinadiki, spektrning kichik to'lqinli sohasida $E_{ph} \approx 1,3$ eV bir cho'qqi mavjud. Kimyoviy tarkibni baholash va $(GaSb)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaAs)_y$ larni roentgen mikroanalizatorida o'rganish shuni ko'rsatdiki 5 mkm qalinlikdagi qatlamda GaAs va Si ning molyar ulishi mos ravishda 0,5 va 7,4 foizni tashkil qiladi. Bu sohada GaAs izovalent kirishma sifatida bo'lib u $(GaSb)_{0,926}(Si_2)_{0,074}$ qattiq qotishmasi ichida kirishma vazifasida bo'lgan. Shuning uchun $E_{ph} \approx 1,3$ eV sohadagi sezgirlik cho'qqisi shu kirishma bilan bog'liq bo'lishi kerak.

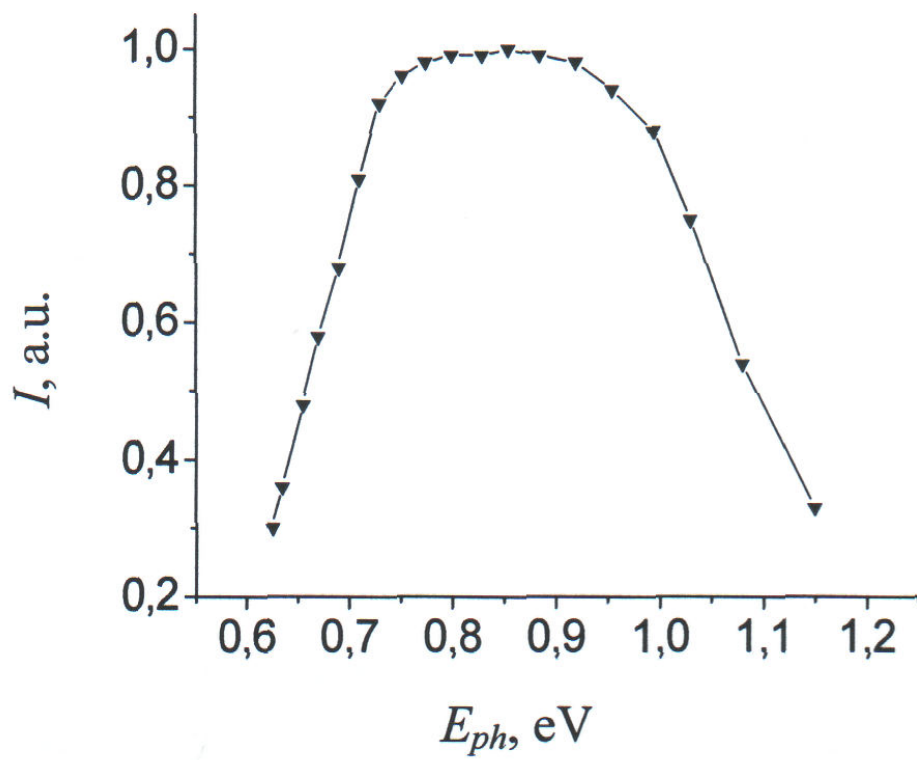
Ma'lumki GaAs uchun taqiqlangan zona kengligi $E_{g,GaAs}=1,44$ eV qiymat, $E_{g,GaSb}=0,67$ eV va $E_{g,Si}=1,1$ eV lar qiymatidan yuqori. Ga-As atomlari orasidagi bog'lanish Ga-Sb va Si-Si bog'lanishlardan kuchliroq lekin GaAs molekulasida GaSb molekulasi 3.9- rasmdagidek tetraedrik bog'lanishda almashtiradi va Ga-As bog'lanishlari uni o'rab turgan GaSb molekulalari ta'sirida susayadi va $\sim 1,3$ eV atrofida qiymatga ega bo'ladi. Bu esa $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ tarkibida GaAs ta'siri mavjudligini ko'rsatadi. Fotosezgirlikning sirtidagi qiymati GaSb ga tegishli bo'lib

u $E_{ph} \approx 1.0$ eV (3-egri chiziq) sohasida bo'ladi.



3.11-rasm. $pSi-n(GaSb)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaAs)_y$ strukturalarning 300K temperaturada turli sohalari yoritilgandagi spektral fotosezgirligi

Namunalar kristall mukammalligini oshirish, yutish imkoniyatlarini o'rganish maqsadida ba'zi jarayonlarda qo'shimcha ravishda n-tip o'tkazuvchanlikli GaSb qatlamlari ham o'stirilgan va ularning qalinligi 10 mkm bo'lgan. 3.12-rasmda $pSi - n(GaSb)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaAs)_y - nGaSb$ strukturasi 300 Kdagi spektral sezgirlik keltirilgan. Rasmdan ko'rinadiki fotosezgirlik 0,62 va 1.15 eV diapazondadir. Bu GaSb qatlamda elektron kovak juftliklarining generatsiyasini ko'rsatadi va ular p-n o'tish sohasiga yetib kelib fototok hosil qiladi. $h\nu \geq 1,2$ eV sohada fotosezgirlik mavjud emasligi sirtga yaqin sohada fotonlar tomonidan generatsiyalangan tok tashuvchilar p-n o'tish sohasiga yetib kelolmaydi, chunki p-n o'tish sohasi ~18 mkm chuqurlikda joulashgan bo'ladi.



3.12-rasm. $pSi - n(GaSb)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaAs)_y - n(GaSb)$ strukturaning 300K haroratdagi sirtining fotosezgirliigi.

$pSi-n(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ **strukturalar Volt Amper xarakteristikasi.**

$pSi-n(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ ($x=0-1$) strukturalarning VAX ni o'lchash uchun namunalarga taglik tomonidan uzluksiz, plenka tomonidan esa 4 mm^2 yuzaga ega to'rt burchakli kumush omik kontaktlar olindi. Namunalardan olingan to'g'ri yo'nalishdagi VAX 3.13-rasmda keltirilgan. VAX lar $20-200^\circ\text{C}$ temperatura intervalida olingan. Ko'rinib turibdiki VAX ning boshlanish qismi p-n strukturalar uchun V. I. Stafeyev nazariyasiga ko'ra to'la mos keladi.

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{CkT}\right) \quad (3.6)$$

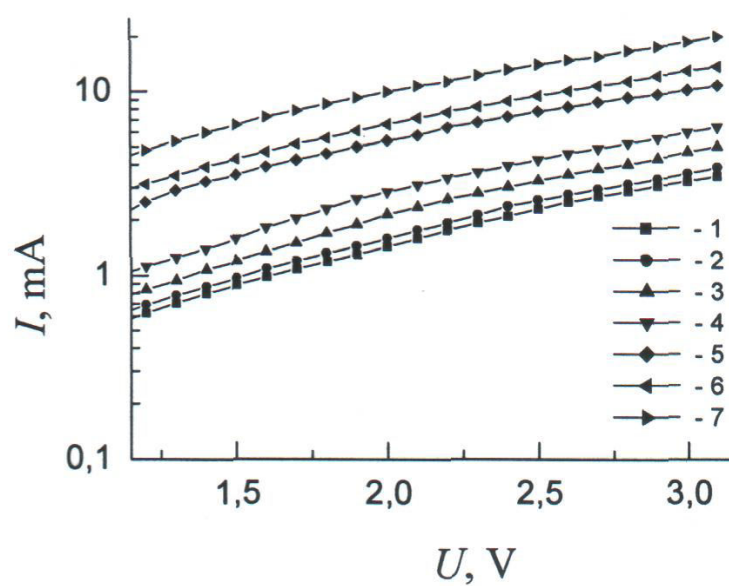
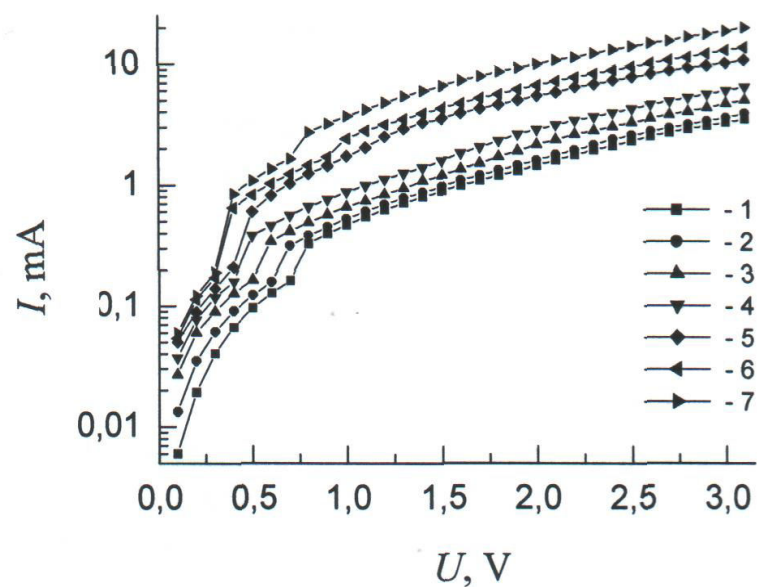
Exponenta darajasidagi C ko'rsatkich ushbu formuladan topilishi mumkin.

$$C = \frac{2b + ch\left(\frac{W}{L_p}\right) + 1}{b + 1} \quad (3.7)$$

Bunda $b = \frac{\mu_n}{\mu_p}$ elektron va kovak harakatchanliklari nisbati, W asos tomoni qalinligi, L_p - asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar diffuzion yo'l uzunligi. GaSb uchun [40] ishda $W=10\text{ mkm}$, $b=6$ ekanini bilgan holda $L_p=2,2\text{ mkm}$ ekanini aniqlaymiz. Xoll bo'yicha asosiy zaryad tashuvchilar uchun $\mu_n = 170\text{ sm}^2/(\text{Vs})$ ekanidan foydalanib asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar uchun $\mu_p = \frac{\mu_n}{b} = 28,3\text{ sm}^2/\text{Vs}$ ekanini aniqlaymiz. Bundan esa

$$\tau_p = \frac{L_p^2}{D_p} \quad (3.8)$$

Formuladan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar yashash vaqtini aniqlaymiz va u $2,7 \cdot 10^{-7}\text{ s}$ ga teng bo'ladi. Bu natija o'tkazuvchanlik relaksatsiyasi bo'yicha aniqlangan $\tau_p = 3,7 \cdot 10^{-7}\text{ s}$ qiymatiga juda yaqin ekanini ko'ramiz.



3.13-rasm. $pSi-n(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ strukturalarning to'g'ri yo'nalishda olingan VAX lari a) Turli xil temperaturalarda b) Subchiziqli qismi; 1 - 20°C, 2 - 50°C, 3 - 80°C, 4 - 110°C, 5 - 140°C, 6 - 170°C, 7 - 200°C.

VAX ning keyingi sohasi

$$V = V_0 \exp(IaW) \quad (3.9)$$

Bog'lanish bilan ifodalanadi. Bunday bog'lanish [41] ishda o'rganilgan CdSe-CdTe strukturalarda ham o'rinli ekanligi ko'rsatilgan edi. Ma'lumki bunday VAX tarkibida chuqur kirishmalarning yuqori konsentratsiyasi bor bo'lgan holda diffuziya va dreyf ambipolyar qarama qarshi yo'nalishlari mavjud holda kuzatiladi. Bunda

$$a = \frac{1}{2qD_p N} \quad (3.10)$$

bilan aniqlanadi. Bunda N chuqur kirishmalar konsentratsiyasi.

Keyinchalik injeksion kambag'allashish nomini olgan bu rejim amalga oshishi uchun $IaW > 2$ bo'lishi kerak. Bu xolda $IaW > 3,1$ bo'lib ushbu shart bajariladi.

A parametr VAX ning subchiziqli qismidan aniqlanadi (3.12-rasm)

$$a = \frac{\ln\left(\frac{V_3}{V_1}\right) \cdot S}{(I_2 - I_1) \cdot W} \quad (3.11)$$

Bunda S ko'ndalang kesim yuzasi, (I_1, V_1) va (I_2, V_2) grafikda injeksion kambag'allashish sohasida tanlangan nuqtalar.

a parametrning haroratga bog'lanishi ushbu jadvalda berilgan.

3.1-jadval.

T, °C	20	50	80	110	140	170	200
a , sm/A	$9,90 \cdot 10^4$	$9,03 \cdot 10^4$	$7,14 \cdot 10^4$	$5,11 \cdot 10^4$	$5,33 \cdot 10^4$	$2,98 \cdot 10^4$	$2,03 \cdot 10^4$

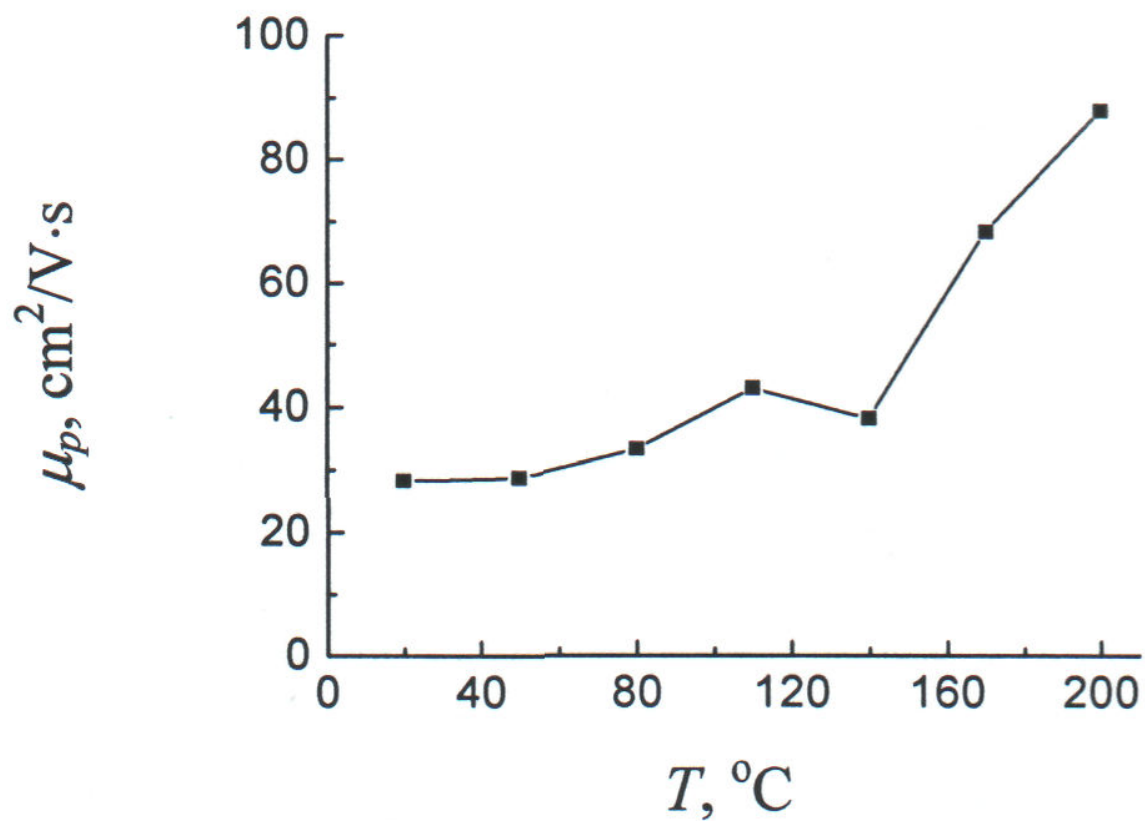
a parametrni aniqlagach (4) formula yordamida grafikning subchiziqli sohasiga javob beruvchi chuqur kirishmalar konsentratsiyasini aniqlash mumkin. Bashorat qilinishicha bu surma kiritgan akseptor sathlardir. Tekshirilayotgan temperatura intervalida konsentratsiya keskin o'zgarmaydi deb hisoblab, $a(T)$ ning o'zgarishi

noasosiy zaryad tashuvchilar harakatchanligining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lishi kerak.

3.1-jadvaldan foydalangan holda harakatchanlikning haroratga bog'lanish grafigini chizamiz(3.14-rasm). Bu grafikdan ko'rinadiki 20-110°C temperatura intervalida harakatchanlik oshishi juda sekin bo'ladi, keyin kamayish boshlanadi. Bu esa odatiy $\mu(T)$ bog'lanishning o'zidir. Keyin esa 140-200°C intervalda $\mu(T)$ ning keskinroq ortishi kuzatildi. Bunday holat $pGaSb$ uchun 100-400 °C intervalida ko'rilgan edi [43]. Bu xol zaryad tashuvchilarning ionlashgan kirishma atomlarida sochilishi bilan bog'liq bo'lishi kerak.

Shunday qilib [37] ishda Si taglikka $(GaSb)_{1-x-y}(Si_2)_x(GaAs)_y$ buffer qatlam orqali GaSb plenkalarini suyuq fazali epitaksiya metodi bilan o'stirish mumkin ekanligi ko'rsatilgan. Bunda oraliqdagi o'tish sohasi bufer qatlam juda qiziq xususiyatlarga ega ekan. O'stirilgan plenklar atomonid galliy asosidagi yangi materiallar olishda taglik sifatida ishlatilishi mumkin.

Bundan tashqari GaSb asosidagi fotoo'zgartirishlarda materialning fotofaol sohasi ~5 mkm atrofida bo'lib, qolgan 300 mkm qismi esa asos vazifasini bajaradi xolos Shu sababdan monokristall kremniy taglikka o'stirilgan 5-10 mkm qalinlikdagi GaSb plenkalari ham yuqoridagi vazifani bemalol bajara oladi, lekin Si arzon bo'lgani uchun bunday moddalar ancha arzon ekanligini e'tirof etsh mumkin. [37] ishda ko'rilganidek $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ strukturalari termofotoelektrik generatorlar sifatida ishlatilishi mumkin bo'lar ekan.



3.14-rasm. $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ uzluksiz qattiq qotishma epitaksial qatlamlarida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar harakatchanligining temperaturaga bog'liqligi.

3.4. $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ qattiq qotishmasining epitaksial qatlamlarini o'stirish va ba'zi elektrofizik va optik xossalari.

Qattiq qotishmalar nazariyasiga yangicha yondoshuv natijasida ko'plab yangi qattiq qotishmalarni olish imkoni paydo bo'ldi. Shular jumlasiga $(Sn_2)_x(InSb)_{1-x}$ qattiq qotishmasini ham kiritish mumkin. Bu qotishma taqiqlangan zonasi kengligi $0,2 \div 0,08$ eV intervalda o'zgarishi mumkin. Bu qotishma GaAs va Ge tagliklarga o'stirildi. Bu yangi qattiq qotishmaning amaliy ahamiyati shundaki u infraqizil sohada ishlovchi qimmat $Cd_{1-x}Hg_xTe$ materialining o'rnini bimalol bosa oladi. ($\lambda = 6 \div 14$ mkm)

Bu o'stirilgan qattiq qotishma $GaAs-(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ da komponentalarning panjara doimiylari farqi sezilarli darajada:

$$f = \frac{a_{(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x} - a_{GaAs}}{\frac{1}{2}(a_{(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x} + a_{GaAs})} \cdot 100 \approx 15\% \quad (3.12)$$

Bunda $x=0,05$ holi uchun hisoblash natilasi berilgan.

$(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ qattiq qotishmasini olish uchun InSb ning In dagi eruvchanligi o'rganilgan. GaAs va GaP n-tip tagliklar olinib ularning diametri $\varnothing-20$ mm va qalinligi 400 mkm va $n=10^{17} \text{ sm}^{-3}$ bo'lgan.

O'stirish oldingi paragraflarda keltirilgan qurilmada olib borilgan. Bu qattiq qotishmaning o'stirish sharoiti quyidagicha bo'lgan:

- o'stirishning temperatura intervali $240 \div 315^\circ\text{C}$
- Suyuq eritma tarkibi In-Sb-Sn li bo'lib uning tarkibi maxsus tanlangan;
- Pastki va yuqorigi tagliklar orasidagi masofa $h=1$ mm bo'lgan;
- Sovitish tezligi $1 \div 1,5^\circ\text{C/min}$ bo'lib sovitish $230-240^\circ\text{C}$ haroratlargacha davom qildirilgan.

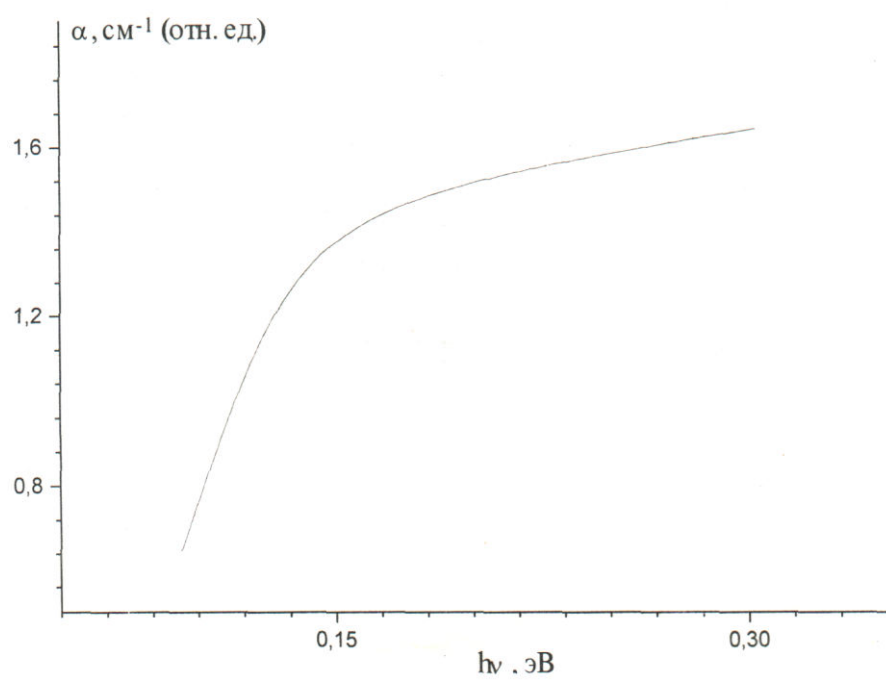
Oldin [] ishda keltirilganidek Sn atomlari suyuq eritmada Sn_2 holda mavjud bo'ladi. Olingan $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ qattiq qotishmasi 5-10 mkm qalinlikda o'sgan.

Olingan namunalar sirti МИИ-4 mikraskopida tekshirilgan. SPSS-300 tipidagi analizatorida aniqlanishicha sirtida Sn atomlari konsentratsiyasi 2,38 at. % ni tashkil qilgan. Sn ning bunday tarkibi adabiyotlarda ko'rsatilganidan bir tartibga yuqoridir.

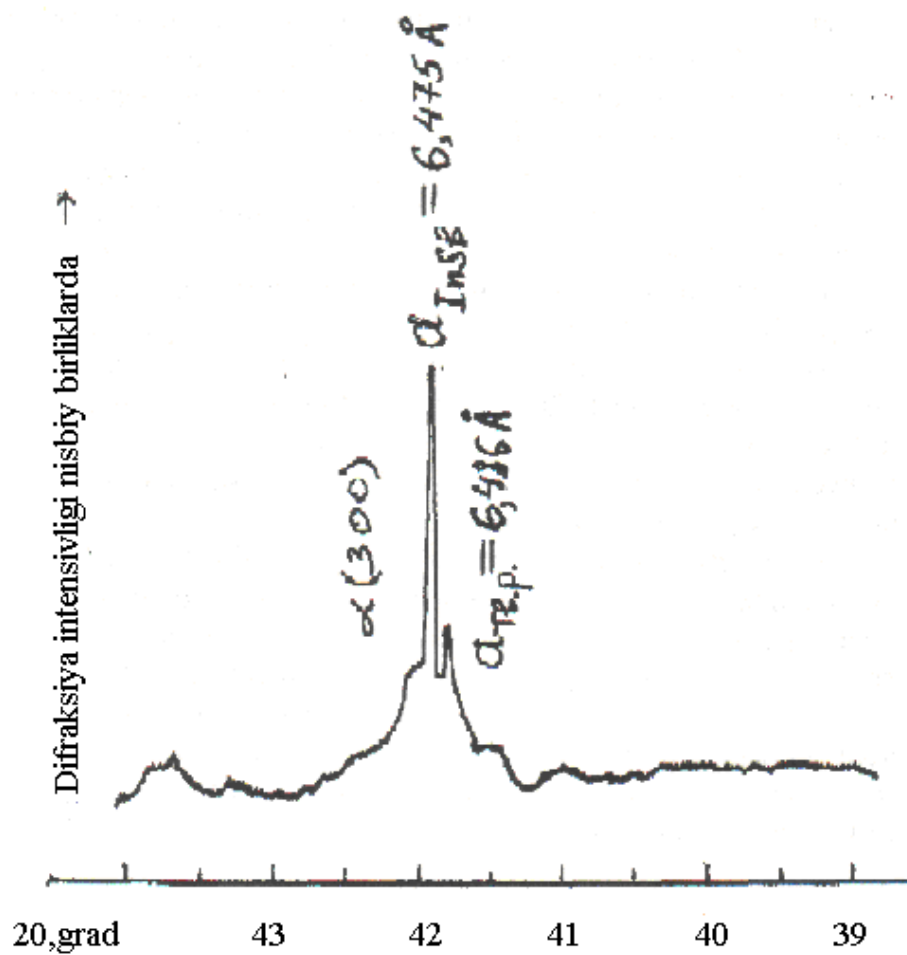
Olingan namunalarning yutilish spektri SPECORD-71 IR spektrometrida o'lchangan bo'lib, o'lchash natijalari 3.15-rasmda keltirilgan.

Spektrdan ko'rinadiki plenkaning yutish chegarasi InSb ning mos qiymatiga nisbatan qisqa to'lqin sohasiga siljigan ($E_g=0,11-0,12$ eV). Shunday qilib bu ishda $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ qattiq qotishmasining o'stirish mumkinligi ko'rsatilgan. Bu namuna tor zonali yarim o'tkazgich bo'lib uning taqiqlangan zonasi kengligi $E_g=0,11-0,12$ eV ni tashkil qilgan. Olingan namunalar sirti "Jeol" JSM 5910 LV Japan rentgen mikroanalizatorida o'rganilgan. Aniqlanishicha namunalar sirti $(Sn_2)_{0,05}(InSb)_{0,95}$ tarkibli qattiq qotishmani tashkil qilgan ekan. $K_\alpha(Sn)$, $K_\alpha(In)$, $K_\alpha(Sb)$ xarakteristik rentgen nurlarida olingan suratlar namunalarda makroskopik defektlar va metall kiritmalar yo'q ekanligini ko'rsatdi.

Plenkalarining mukammalligi yana ДРОН-УМ1 qurilmasida rentgen difraksiyasi bilan ham o'rganildi. Buning uchun maxsus o'stirilgan qalinligi $d=4-5$ mkm bo'lgan namunalar tanlab olindi. Difraksion spektr mis anod nurlanishida ($\lambda_\alpha=1,5418$ Å, $\lambda_\beta=1,0937$ Å) uzluksiz yozish yo'li bilan olib borildi. Bunda anod toki va kuchlanishi mos ravishda 30 kV va 10mA ni tashkil qildi. Ekspozitsiya vaqti 1-3 soatni tashkil qilgan. Olingan natijalar 3.16-rasmda keltirilgan. Difraktogrammadan ko'rish mumkinki unda taglikning mos maksimumi ($a_{GaAs}=5,5654$ Å) dan tashqari yana ikkita cho'qqi ko'rinadi. Bulardan biri InSb ning ($a_{InSb}=6,475$ Å) va yana biri ($a_{qq}=6,486$ Å) qattiq qotishmaga mos keladi. Difraktogrammada boshqa maksimumlar yo'qligi namunalar monokristalligidan dalolat beradi. Yana shu narsa aniqlandiki, difraksion maksimumlarning shakli va joylashuvi o'stirish sharoitlariga bog'liq holda o'zgarib borar ekan.



3.15-rasm. $(\text{Sn}_2)_{1-x}(\text{InSb})_x$ qattiq qotishmasining yutilish spektri.



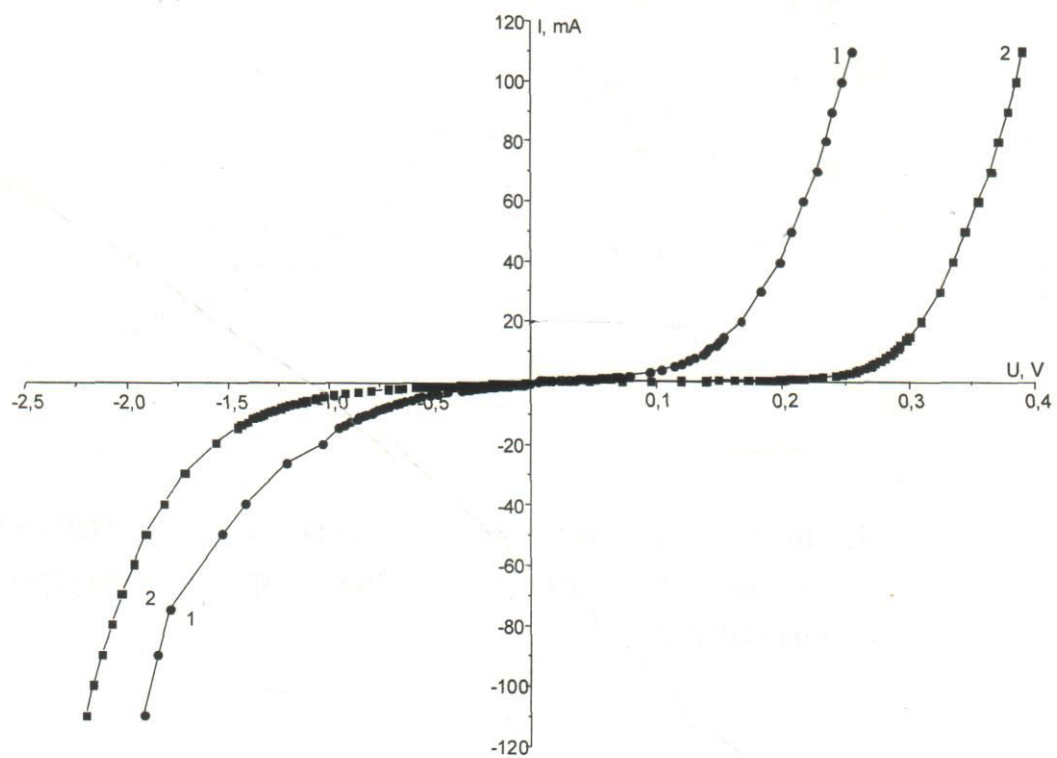
3.16-rasm. $GaAs-(Sn_2)_{0,05}(InSb)_{0,95}$ geterostrukturasiining difraktogrammasi

Simens firmasining SPS-300 tipidagi spektrofotometrida rentgen flyuressesiyasi usulida komponentalar taqsimoti o'rganilganda unda Sn miqdori 5,1 at. % ni tashkil qilgan.

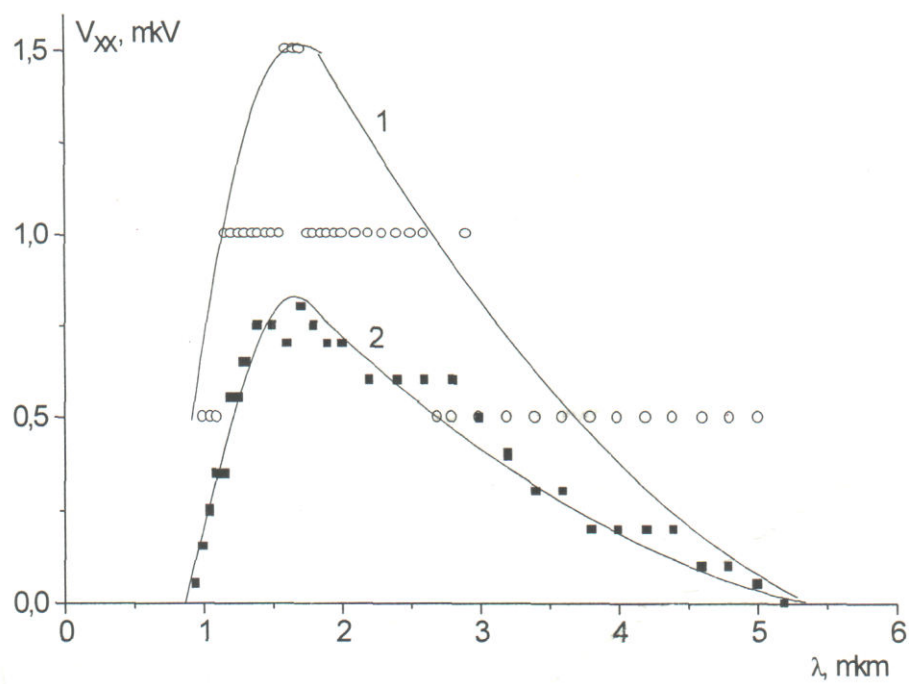
Shu ishda yana $n\text{-GaAs-p}(\text{Sn}_2)_{1-x}(\text{InSb})_x$ geterostrukturalarining VAX lari ham olindi. (3.17-rasm) O'lchashlar xona temperaturasida (1-egri chiziq) va azot haroratida (2-egri chiziq) olib borildi. Bundan ko'rinadiki taglik va plenka kichik qarshilikka ega ekan. Omik kontaktlar indiy tomchilari bilan olingan. Namunalar diametri 20 mm bo'lgan.

3.18-rasmda ИКC-21 qurilmasida olingan $n\text{GaP-p}(\text{Sn}_2)_{1-x}(\text{InSb})_x$ va $n\text{GaAs-p}(\text{Sn}_2)_{1-x}(\text{InSb})_x$ geterostrukturalarning spektral xarakteristikalari berilgan. V_{xx} sezgirligi $\lambda=5$ mkm dan 1 mkm intervalida yotibdi. Bu esa $p(\text{Sn}_2)_{1-x}(\text{InSb})_x$ epitaksial qatlamining taqiqlangan zonasi kengligi 0,2 eV dan ham kichik ya'ni tor zonali yarim o'tkazgich ekanligini bildiradi.

Qattiq qotishmaning maxsus legirlangan namunalari donor o'tkazuvchanlikka ham ega bo'lishi mumkinligi ko'rsatilgan. Shunday qilib olingan namunalar taqiqlangan zona kengligi $E_g \approx 0,11 \div 0,12$ eV bo'lgan yarim o'tkazgich material hisoblanadi. Dunyo amaliyotida hozirgacha bunday material olinganligi to'g'risida ma'lumot yo'q.



3.17-rasm. $nGaAs-p(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ geterostrukturasiyning volt-ampere xarakteristikasi xona temperaturasi (1-egri chiziqli) va azot temperaturasi (2-egri chiziqli) o'lchangan,



3.18-rasm. $nGaP-p(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ (1-egri chiziq) va $nGaAs-p(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ (2-egri chiziq) geterostrukturalarning ИКC-21 qurilmasida olingan spectral xarakteristikalar

Xulosalar

- Yangi yarim o'tkazgich qattiq qotishmalarni suyuq fazada o'stirishdan oldin moddiy energetik harajatlarni kamaytirish uchun ularning o'sish ehtimolini quyidagi metodlar bilan baholash kerak:
 - 1) Kamponentalarning umumlashgan momentlari farqi asosida.
 - 2) Kamponentalar kovalent radiuslari va valentliklari asosida baholash metodlari
- Suyuq fazadan qattiq qotishmalar olishda suyuq eritmada uchinchi komponentaning ta'sirlarini hisobga olish kerak ekan;
- Elementlarning (1.11) formula asosida hisoblangan effektiv umumlashgan moment qiymatlari kislorodning umumlashgan effektiv momentiga $m^*=7,3$ yaqin bo'lsa, ular kislorod bilan shunchalik yaqin va demak kristall panjara tugunida uning o'rnini egallashi shunchalik engil bo'ladi va bunday kristallarning muz kristallarida eruvchanligi shunchalik yuqori bo'ladi.
- Ishda olingan $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ qotishmasining o'stirish sharoiti quyidagicha bo'lgan:
 - o'stirish harorati intervali 850-600°C;
 - sovitish tezligi 0,5-1,5 grad/min
 - plastinkalar orasidagi optimal masofa 2-2,5 mm
- $Si-(Si_2)_{1-x}(GaP)_x$ strukturasi olishda erituvchi sifatida rux ishlatilgan. O'stirish jarayoni nisbatan past temperaturada 750-900°C intervalida amalga oshirildi. Bunda taglik sifatida 20 va 40 mmli monokristall kremniy taglik ishlatilgan. Bunda sovitish tezligi 0,5-1,1 grad/min bo'lgan.
- $(Si_2)_{1-x}(GaAs)_x$ o'stirish intervali 850-700°C ni tashkil etgan, taglik sifatida 20 mm diametrli 350-400 mkm qalinlikdagi Si kristallari ishlatilgan, Sovutish tezligi 0,75 – 1,0 grad/min. Strukturalar ham n ham p tipdagi Si tagliklarda o'stirib

ko'rilgan bo'lib bunda solishtirma qarshiliklar mos ravishda $\rho=30 \text{ Om}\cdot\text{m}$ va $\rho=0.1-3,0 \text{ Om}\cdot\text{m}$ ni tashkil qilgan.

- $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ o'stirishda eng yaxshi namunalar tagliklar orasidagi masofa 1,5 mm bo'lganda kristallanish jarayoni 650°C dan boshlanganida va sovitish tezligi 1 grad/min bo'lganda olingan. Olingan namunada plenka n-tip o'tkazuvchanlikka ega (solishtirma qarshiligi $\sim 0.01 \text{ Om sm}$) bo'lib, qalinligi 8-10 mkm.

- $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ qattiq qotishmaning o'stirish sharoiti quyidagicha bo'lgan:

- o'stirishning temperatura intervali $240\div 315^\circ\text{C}$
- Suyuq eritma tarkibi In-Sb-Sn li bo'lib uning tarkibi maxsus tanlangan;
- Pastki va yuqorigi tagliklar orasidagi masofa $h=1 \text{ mm}$ bo'lgan;
- Sovitish tezligi $1\div 1,5^\circ\text{C/min}$ bo'lib sovitish $230-240^\circ\text{C}$ haroratlargacha davom qildirilgan.

Adabiyotlar

1. Саидов А.С.// Жидкостная эпитаксия метастабильных твердых растворов $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ на подложках кремния ДАН РУ 1991. №1. стр. 17-19.
2. Исмаилов Ш. К. Автореферат диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Ташкент 2007.
3. Саидов А.С., Кошчанов Э. А., Сапаев Б., Ковардакова Г.Н. Жидкостная эпитаксия метастабильных твердых растворов $(Ge_2)_{1-x}(GaAs)_x$. ДАН Уз ССР 1988. №2. стр. 26-27.
4. Б. Сапаев, М.С.Саидов и др.// Твердые растворы $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ полученные из ограниченного объема оловянного раствора – расплава. ФТП. 2004, Т. 38, вып. 11.
5. Каражанов С.Ж., Исмаилов Ш.К, Саидов А.С., Кошчанов Э. А., Юсупов А. Зонная структура твердых растворов $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$. // Материалы IV-республиканской конференции “Рост, свойства и применение кристаллов” Нукус, 2005, стр. 48-49
6. Ю. Питер, М. Кардона. Основы физики полупроводников. Москва. Наука. 2003г. стр.71.
7. А. С. Саидов, К. А. Ахматова, Д. В. Сапаров //” Рост эпитаксионных слоев $(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ на инородных подложках $GaAs$ “ Тезисы докладов 2-национальной конференции «Рост кристаллов» 3-4-ноябрь Ургенч.
8. А. С. Саидов, Ш. Н. Усмонов, Б. Т. Элтазаров, К. А. Ахматова Изучение спектральной зависимости пропускания $GaAs-(Sn_2)_{1-x}(InSb)_x$ - структуру Тезисы докладов международной конференции «Фото-, тензо- и термо- электрические явления в полупроводниковых пленках. » Фергана, 1999, с.37»

9. Сирота Н. Н. Физико-химическая природа фаз переменного состава. Минск: Наука и техника, 1970.
10. Хансен М. Андерко К. Структура двойных сплавов. Т. I. П., М., 1962.
11. А.И. Губанов, А.М. Полубатко // Зонная структура твердого раствора $(Ge_2)_{1-x}(GaAs)_x$. ФТП, 1982, Т. 16, N5, с. 840-843.
12. Исмаилов Ш.К, Саидов А.С., Каражанов С.Ж., Раззаков А.Ш. Оптические свойства твердого раствора $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$. // Материалы научно-методической конференции “ Фундаментальные и прикладные проблемы физики полупроводников” Андижан, 2005, стр. 164-166.
13. А.Ш. Раззаков // Диссерт. на соиск. уч. ст. канд. физ-мат. наук. Ташкент, ФТИ, 1998.
14. Саидов М. С. Кошчанов Э. А. Саидов А. С. Учет электронной структуры ионов и атомов при оценке обобщенного момента элементов. Изв. АН Рес. Узбекистан, серия физ.-мат. Наук, 1981, №3, 47-50.
15. В.Гавриленко, А.Грехов, Оптические свойства полупроводников. Справочник, Киев, 1987г. стр. 243-250.
16. М.С. Саидов. Гелиотехника, 5-6, 57 (1997).
17. Саидов А.С., Исмаилов Ш.К, Кошчанов Э. А., Раззаков А.Ш. Выращивание кристаллически совершенных Si – SiGe – $(Ge)_{1-x}(InP)_x$ структур из жидкой фазы. // Письма в ЖТФ, 1999, том 25, вып. 24. стр 37-40.
18. Sh.K. Ismailov, A.S.Saidov, K. Durshimbetov end B. Zholibekov. Optical Properties of $(Ge_2)_{1-x}(InP)_x$ Solid Solution. // Technical Physics Letters, 2006, Vol. 32, № 6. pp. 538-541.
19. Я. С. Уманский, Б. Н. Финкельштейн и др. Физическое металловедение (М., Metallurgizdat, 1955) с. 122
20. Л. И. Марина, А. Я. Нашельский, Л. И. Колесник. Полупроводниковые

- фосфиды A^3B^5 и твердые растворы на их основе (М., Металлургия, 1974) с. 45
21. В.М. Андреев, Л.М. Долгинов, Д.Н. Третьяков. *Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов* (М., Сов. Радио, 1975).
 22. А.С.Саидов, и др. Пособ по получению $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ потент отпрвлен. Заявка на изобретение IDP 20010790 от 15.10.2001.
 23. Семенченко В. К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. Москва, 1957г.
 24. Маэно Н. Наука о льде. Москва, Мир, 1988 г.
 25. Колодин М. В. Экономика опреснения воды. Москва, 1988 г.
 26. Кошчанов Э. А., Юсупов А., Распределение примесей при направленной кристаллизаций льда 14 th “International Conference of Crystal Growth” Grenoble, France 2004, 9-13, avgust 2004г.
 27. Кошчанов Э. А., Юсупов А., Уринов Д., Ражабов З. Очистка и опреснение воды с использованием энергии естественного холода. Четвёртая Всероссийская Конференция “Физические проблемы экологии”, Москва, 22-24 июня, 2004 г.
 28. Мезенцев В. Энциклопедия чудес. Москва, «Знания», 1988г.
 29. Синюков В.В. Вода известная и неизвестная. Москва, «Знания», 1987г
 30. Семенченко В. К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. Москва, 1957г.
 31. Саидов А. С., Саидов М. С., Кошчанов Э. А. Жидкостная эпитаксия компенсированных слоев арсенида галлия и твердых растворов на его основе. Ташкент, Фан, 1986г., 129 с.
 32. Кошчанов Э. А., Юсупов А., Уринов Д. Очищения воды от примесей методом направленной кристаллизации. Писма в ЖТФ, 1996, том 22, вып. 14, с. 27-31.
 33. Пфанн В. Д. Зонная плавка. Москва 1966г

34. Саидов А.С., Сапаров Д.В., Рысаева В.А. // Условие синтеза полупроводниковых твердых растворов $(Ge_2)_{1-x}(CdTe)_x$ ДАН РУз. 1996. № 6. стр. 28-30.
35. Б. Сапаев, А. С. Саидов У. Т. Давлатов. Вести. Гулистанского гос. Ун-та, № 1, 50 (2001)
36. М. Г. Мильвидский, В. Б. Овенский. Структурные дефекты в эпитаксиальных слоях полупроводников (М., Металлургия, 1985)
37. Ш. Н. Усманов, А. С. Саидов, А. Ю. Лейдерман, Д. Сапаров, К. Т. Холиков «Возможность получение пленок $(GaSb)_{1-x}(Si_2)_x$ на кремниевых подложках методом жидкофазной эпитаксии »
38. Saidov A.S., Razzakov A.Sh., Risaeva V.A., Koschanov E.A. Materials chemistry and physics. 68, 1(2001).
39. А.С.Саидов, Ш.Н.Усмонов, КТ.Холиков, Д.Сапаров. Письма в ЖТФ, 33(20), 5 (2007).
40. А. С. Саидов, В. М. Тучкевич, Ю. М. Шмарцев, ФТП, 2(6), 891(1968).
41. А. С. Саидов, В. М. Тучкевич, Ю. М. Шмарцев, ФТП, 2(6), 891(1968).
42. О. Моделунгю Физика полупроводниковых соединений элементов III и V групп. (М., «мир», 1967) [пер. с англ.; под ред. Б. И. Болтакса, Physics of III-V Compounds. (N. Y. London-Sydney, 1964)]