



KO'PKOMPONENTLI EPITAKSIAL YUPQA UZLUKSIZ QATTIQ QORISHMALAR VA GETEROTUZILMALARNING TUZILMAVIY XUSUSIYATLARI.

Dexqonoyeb Odilbek Rasuljon o'g'li .

Assistant Andijon davlat texnika instituti, O'zbekiston, Andijon

E-mail: Odilbekdexqonboyev97@gmail.com

Valiyev Botirjon Yuldashali o'g'li.

*Assistant Andijon qishloqxo'jaligi va agrotexnologiyalar institute, qoshidagi
akademik litsey fizika fan o'qituvchisi*

Anatatsiya: Ushbu maqolada, birikmani kvazimolekulyar almashtirishga mos keluvchi qattiq qorishma hosil qilish usullari ko'rilgan. Bunday qattiq qorishmalarni tartiblanish darajasi asosan texnologik parametrlar (harorat va o'sish tezligi, ikkilamchi issiqlik bilan ishlov berish va uning davomiyligi) taxlili ko'zrib chiqilgan Virtual potentsial yaqinlashishida taqiqlangan zona kengligining "x" ga bog'liqligi baholanadi. Unda ko'rsatilishicha, qattiq qorishmaning taqiqlangan zona kengligi $x = 0,43$ gacha $0,8$ eV qiymatida doimiy bo'lib qoladi va keyin esa uning o'sishi kuzatiladi.

Kalit so'zlar: Sfalerit-olmos, AsH_3 , epitaksial qatlamlar, lyuminestsentsiya spektri.

Gomogen Ge-GaSb qotishmalari 1960 yilda stexiometrik aralashma-eritmalarini toblash natijasida olingan [4; 1500-1512 bb.]. Keyinchalik, [5; 29-37 bb.] ish mualliflari tomonidan qattiq qorishmalar Ge-GaAs va Ge-GaSb tizimlarida tarkibiy qismlar konsentratsiyasining barcha qiymatlarida diffuziyasiz kristallanish usuli bilan olingan. Xuddi shu ishda hosil bo'lgan eritmalarining panjara davrining



tarkibiy qismlar turiga bog'liqligi ko'rsatilgan. Biroq, bunday materiallar haqiqiy o'rnini almashuvchi qattiq qorishmalar emas, chunki bunday gomogen qotishmalar suyuq fazaning yaqin tartib tuzilishi elementlarini o'zida saqlaydi [6; 29-37 bb.]. Shuningdek, adabiyotlarda cheklangan Si-GaAs qattiq qorishmalarini olish bo'yicha ma'lumotlar [7; 25-32bb.], jumladan katodli changlatish usuli bilan Ge-GaSb uzluksiz qattiq qorishmalarni va $(\text{Ge}_2)_x(\text{GaAs})_{1-x}$, $(\text{Ge}_2)_x(\text{GaSb})_{1-x}$ $0 < x < 1$ oralig'idagi qattiq qorishmalarni gaz fazasidan olish usullari keltirilgan; [8; 443-446 bb., 9; 4071-4079 bb.]. Ammo ularning tuzilmaviy, fizika-kimyoviy va fizik xususiyatlarini o'rganish deyarli amalga oshirilmagan. . $(\text{C}_2^4)_{1-x}(\text{A}^3\text{B}^5)_x$ qattiq qorishmalar tayyorlash uchun epitaksial usul ancha istiqbolli ekanligi aniqlandi [10; 137-140bb.; 7; 25-32 bb.; 11; 14-18 bb.; 12; 295-322 bb.; 13; 85-87bb.]. Shunday qilib, [5; 29-37bb.] ishda pirolitik sintez usuli bilan birinchi marta Ge-GaAs tizimidagi o'rnini almashuvchi qattiq qorishmalarning epitaksial qatlamlari va ko'p qatlamli geteroepitaksial tuzilmalari tarkibiy qismlar kontsentratsiyalarining barcha intervalida olingan. Bunda, GaAs va Ge plastinalari taglik bo'lib xizmat qilgan.

Ushbu ishlarda [7; 25-32 bb.; 11; 14-18 bb.; 13; 85-88 bb.; 5; 29-37 bb.] qattiq qorishma shakllantirishning qabul qilingan asosiy ishchi shartlari quyidagilar edi: olmos va sfalerit tuzilmalarining kimyoviy o'xshashligi, $\text{C}^4\text{-B}^5$ va $\text{C}^4\text{-A}^3$ kovalent bog'lanishlarining mos holda $\text{C}^4\text{-C}^4$ ba $\text{A}^3\text{-B}^5$ bog'lanishlari energiyasiga nisbatan solishtirma mustaxkamligi. Bunda mavjud $\text{C}^4\text{-C}^4$ ba $\text{A}^3\text{-B}^5$ birikmalar, ularga kiritilgan elementlarning atomlari [Si - AlP (GaP), Ge - Ga - As (AlAs), InSb-Sn]tetraedrik tuzilishga yaqin tuzilmaga ega bo'ladi. Undan tashqari, suyuq fazali usul epitaksiyani kristallangan moddalarning erish haroratidan sezilarli darajada pastroq haroratda o'tkazishga imkon beradi, bunda migratsiya jarayonlarining ham hajmda, ham o'sayotgan kristallar sirtida tormozlanishiga tayanish mumkin, bu esa metastabil holatdagi qattiq qorishmalar olish va ularni mavjud bo'lishining zaruriy shartidir.



$C^4 - A^3B^5$ tizimlarining o'ziga xosligi komponentalari (tarkiblari) har xil kristall tuzilmalarga ega bo'lgan (olmos-sfalerit) bir qator uzluksiz qattiq qorishmalarning mavjud bo'la olishi bilan bog'liqdir. Olingan natijalarni izohlash uchun qattiq qorishmalarda sfalerit va olmosning turli tuzilmalari mavjud bo'ladigan konsentratsiya qiymatlari oraliqlarini aniqlash juda muhimdir. Sfalerit-olmos tuzilmaviy fazaviy o'tish hodisasi kristalning uzoq tartibidagi o'zgarishi bilan bir xil o'zgarish sifatida ifodalanadi, bunda A va B turdagi atomlarning paydo bo'lishi $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ qattiq qorishmaning panjarasidagi har qanday atomning ikkinchi va keyingi koordinatsion sferasida teng ehtimollikka ega bo'ladi. U holda, kristalning ikkala panjaraosti tuzilmasidagi kimyoviy tarkibida va u bilan bog'liq bo'lgan $\{HKL\}$ tekisliklarining qutblanishidagi farq yo'qolishi kerak. Bunday qutblanish binar birikmalar va sfalerit tuzilishli qattiq qorishmalarga hosdir. Natijada $(C_2^4)_x(A^3B^5)_{1-x}$ kristallari IV guruh elementlari ($Si_x Ge_{1-x}$) qattiq qorishmalar kristallari kabi inversiya simmetriyasiga ega bo'lib qoladi.

$(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ panjarasida A-A va B-B bog'lanishlarining yuzaga kelishi kam ehtimollikka egaligiga asosanib, [10; 137-140 bb.; 7; 25-32 bb.; 11; 14-18 bb.; 13; 20-23; 5; 29-37 bb.] ishlar mualliflari tuzilishdagi fazaviy o'tishlar masalasini A va B atomlarining panjaraosti tugunlarida ustuvor taqsimlanishini ta'minlaydigan cheksiz uch o'lchovli klasterlarni (-A-B-) mavjud bo'lish sohasini aniqlashga keltiradilar. Biroq, [12; 295-322 bb.; 5; 29-37 bb.], ishlarda ta'kidlanishicha, $(Ge_2)_x(GaAs)_{1-x}$ qattiq qorishmalardagi tuzilmaviy faza o'tish holatini aniqlashda, bunday o'tish bir qiymatli aniqlangan kritik tarkib bilan bog'liq emasligini yodda tutish kerakligi ta'kidlangan, chunki fazaviy o'tish kristall panjaradagi A^3 , B^5 va C^4 atomlarini o'zaro almashish usuliga bog'liqdir. Shunday qilib, $(C_2^4)_{1-x}(A^3B^5)_x$ bir xil tarkibli gomogen qattiq qorishmalarda kristallanish va keyingi issiqlik bilan ishlov berish shartlariga qarab, A-B va C-C atomlarining ustuvor koordinatsiyasiga moyilligi har xil darajada namoyon bo'lishi mumkin. Bu jarayon $(A^3B^5)-(C_2^4)$ birikmani kvazimolekulyar almashtirishga mos keluvchi



qattiq qorishma hosil bo'lguncha davom etadi, bunda (A-B) va (C-C) juftlarining yoki undan murakkab assotsiatsiyalarning "x" har qanday qiymatlarida kristall panjarada albatta mavjud bo'lishi nazarda tutiladi. Shu tarzda qabul qilingan qattiq qorishmaning tartiblanishi, kristall panjaradagi (A-B) va (C-C) juft kontaktlarning atomlar almashinuvi shartiga nisbatan ortiqcha konsentratsiyasi bilan tavsiflanadi. Bunday qattiq qorishmalarni tartiblanish darajasi asosan texnologik parametrlar (harorat va o'sish tezligi, ikkilamchi issiqlik bilan ishlov berish va uning davomiyligi) bilan belgilanadi.

Ma'lumki, A^3B^5 birikmalarini IV guruh elementlari bilan legirlash, bu elementlarni C^4 element atomlari bilan ustuvor almashtirish natijasida kelib chiqadigan A^3 va B^5 o'rtasidagi stexiometrik nisbatning buzilishiga qarab, n va p turdagi o'tkazuvchanlik materiallarini hosil qilishi mumkin. $A^3 B^5$ dan C^4 ga o'tishda yaqin tartib tuzilishining o'zgarmasligi [10; 137-140 bb.; 7; 25-32 bb.; 11; 14-18 bb.; 13; 85-88; 5; 29-37bb.] $(Ge_2)_x(GaAs)_{1-x}$ qattiq qorishmalarning tarkibining barcha diapazonlarida ularning o'tkazuvchanlik turi galliy va mishyakka nisbatan stexiometriyadan og'ish tabiati bilan aniqlanadi deyish imkonini beradi. Ko'rib chiqilayotgan qattiq qorishmalar AsH_3 ning gaz fazasidagi $Ga(C^4H_3)_3$ dan ko'pligi sharoitida olingan. Shunga o'xshash sharoitlarda GaAs epitaksial qatlamlarining germaniy bilan legirlash $p \sim 10^{15}-10^{17} \text{ cm}^{-3}$ konsentratsiyali kovak o'tkazuvchanlikka olib keladi. Shuning uchun, GaAs asosidagi $(Ge_2)_x(GaAs)_{1-x}$ qattiq qorishmalarning n-tipdagi o'tkazuvchanligi, kristallarning galliy panjara ostki qismida Ge-ning qisman oshib ketishi natijasida yuzaga keladi deb taxmin qilish mumkin.

[10; 71–88b bb.] ishda $C_2^4-A^2B^6$ tipdagi 100 dan ortiq juft tizimlarning umumlashtirilgan tahlil qilish asosida, shuningdek umumlashtirilgan momentlar qoidalari asosida eng mukammal kristalli qattiq qorishmalar selenidlar va germaniy, hamda telluridlar va qalay o'rtasida olinishi mumkinligi tahmin qilingan. Bundan tashqari, $(Ge_2)_{1-x}(ZnSe)_x$ epitaksial qatlamlarni suyuq fazali qalay



aralashma-eritmasidan epitaksiya usuli bilan (111), (110), (100) yo'nalishli GaAs tagligida, (100), (111) yo'nalishli Ge tagligida va (100), (111) yo'nalishli GaP tagligida olish imkoniyatlari ko'rsatilgan. Shuningdek, bu materiallarda rentgen diffraktsiyasi ham o'rganildi va $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ epitaksial qatlamlarning rasmlari tahlil qilindi. Ushbu tadqiqotlar natijalarini tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, sfalerit kristall panjaralarning eng yaxshi monokristallik xususiyatiga ega bo'lgan qatlamlar GaAs (100) va Ge (111) yo'nalishlarda o'sar ekan.

[14; 890-892bb.] ishda $(\text{GaAs})_x(\text{Ge}_2)_{1-x}$ ko'rinishdagi qattiq qorishmaning eng oddiy modelini taklif qildilar, bu modelga asosan atomlarning tugunlarda joylashishidagi yagona cheklov Ga - Ga va As - As kabi eng yaqin qo'shni juftliklarining yo'qligidir. Ushbu modelda fazali o'tishlarni tavsiflash oqibo'tish nazariyasining panjara tugunlari muammosiga keltirildi.

Qattiq qorishma atomlarini joylashishining turli xil imkoniyatlarini tahlil qilish asosida bunday tizimning "x" ga bog'liq modeli taklif etildi. Virtual potentsial yaqinlashishida taqiqlangan zona kengligining "x" ga bog'liqligi baholanadi. Unda ko'rsatilishicha, qattiq qorishmaning taqiqlangan zona kengligi $x = 0,43$ gacha 0,8 eV qiymatida doimiy bo'lib qoladi va keyin esa uning o'sishi kuzatiladi.

[15; 840-843 bb.] ishda $(\text{GaAs})_x(\text{Ge}_2)_{1-x}$ qattiq qorishmaning zona tuzilishi atomlar orbitallarining chiziqli kombinatsiyalari (AOChK) variatsiyasi orqali tartiblanmaganlarini va AOChK ni toza moddalardan farqini hisobga olgan holda hisoblab chiqildi. Hisoblashlar uchta yaqinlashishda amalga oshirildi.

$(\text{GaAs})_x(\text{Ge}_2)_{1-x}$ qattiq qorishmalar birinchi marta [11; 14-18bb.] ishda suyuq fazali epitaksiya usuli bilan olingan. Suyuq faza sifatida qo'rg'oshin aralashma-eritmasi ishlatilgan. O'sish 650-700°C harorat oralig'ida amalga oshirildi, taglik sifatida germaniy va galliy arsenid plastinalari tanlangan. Qatlamlar kovak turdagi o'tkazuvchanlikka ega va ularning qalinligi o'sish davomiyligiga qarab 20-50 mkm oralig'ida o'zgartirildi. $(\text{GaAs})_x(\text{Ge}_2)_{1-x}$ asosidagi



qattiq qorishmalarning kimyoviy tarkibini rentgen mikroanalizi usuli orqali aniqlash shuni ko'rsatdiki, GaAs ning molyar miqdori epitaksial qatlam qalinligi bo'yicha 90% gacha ortadi.

Suyuq fazali epitaktsiya usuli, shuningdek, ko'rib chiqilayotgan turdagi boshqa qattiq qorishmalarni tayyorlash uchun istiqbolli bo'lib chiqdi. Masalan [16; 345-346bb.] ishda $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ qattiq qorishmalarning epitaksial qatlamlari qalay aralashma-eritmasidan 900°C haroratda o'stirildi. Hosil bo'lgan qatlamlar elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, ularning qalinligi 18-30 mkm oralig'ida o'zgardi, tarkibiy qismlarning (Si,GaP) qatlam qalinligi bo'yicha taqsimlanishi o'rganildi, bu o'sish yo'nalishi bo'yicha kremniy miqdori kamayib borishini ko'rsatdi.

[17; 1-6 bb.] ishda Si-Ge-InP asosida $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ epitaksial qatlamlar o'stirildi. O'sish kremniy taglikda kremniy, germaniy va indiy fosfid bilan to'yingan indiy aralashma-eritmasidan amalga oshirildi. Epitaksiya 700-900°C harorat oralig'ida amalga oshirildi. Komponentlarning xarakterli rentgen nurlanishlari bo'yicha rasmlari olindi. Epitaksial qatlamlar yuzasidan qayd qilingan fotolyuminesensiya maksimumi InP (1,34 eV) taqiqlangan zonasiga to'g'ri keldi.

[18; 11-39bb.] ishda C_2^4 va A^2B^6 birikmalari asosida yarimo'tkazgichli qattiq qorishmalar olish imkoniyatini taxlil qilish uchun V.K. Semenchenkoning eruvchanlik qoidasidan foydalanilgan.

[19; 2960-2965 bb.] ishda birinchi marta $(\text{C}_2^4)_{1-x}(\text{A}^2\text{B}^6)_x$ sinfga tegishli $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{CdTe})_x$ qattiq qorishmalar olindi. Ushbu qattiq qorishmalarni olish uchun [17; 1-6 bb.; 19; 2960–2965 bb.; 20; 28-52 bb.], ikkita usul ishlatilgan:

- a) tayyorlangan Ge + CdTe qotishmalarini molibden taglikka changlatish;
- b) qalay aralashma-eritmasidan suyuq fazali epitaktsiya. Ushbu ishlarda o'stirilgan $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{CdTe})_x$ qatlamlarning rentgen, lyuminesentsiya spektri o'rganildi, spektrlar Ge ($\lambda = 1.244 \text{ \AA}$), Cd ($\lambda = 1.244 \text{ \AA}$) va Te ($\lambda = 1.244 \text{ \AA}$) larni bu qatlamlarda mavjudligini ko'rsatdi.



FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YHATI

1. Saidov A.S. et. al. Growth of $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ solid solution films and investigation of their structural and some photoelectric properties. // Physics of the Solid State.-2011. - Vol. 53(10). -P. 2012–2021.
2. Саидов А.С., Саидов М.С., Усмонов Ш.Н., Асатова У.П. Выращивание пленок $(\text{InSb})_{1-x}(\text{Sn}_2)_x$ на арсенид-галлиевых подложках методом жидкофазной эпитаксии. // Физика и техника полупроводников. - 2010, -Том 44(7). С. 970-977.
3. Zainabidinov S.Z., Saidov A.S., Leiderman A.Yu., Kalanov M.U., Usmonov Sh.N. Rustamova V.M., and Boboev A.Yu. Growth, Structure, and Properties of GaAs-Based $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ Epitaxial Films. // Semiconductors. -2016. - Vol. 50(1). - P. 59–65.
4. Зайнабидинов С.З., Лейдерман А.Ю., Каланов М.У., Усмонов Ш.Н., Бобоев А.Й. Особенности электрофизических свойств $p-n$ структур на основе непрерывного твердого раствора $n\text{-Ge-}p\text{-(Ge}_2\text{)}_{1-x-y}(\text{GaAs})_x(\text{ZnSe})_y$. //Узбекский физический журнал.-2015. - № 5. - С. 301-305.
5. Сапаев Б. Исследование роста и фотоэлектрических свойств эпитаксиальных гетероструктур $\text{Ge-(Ge}_2\text{)}_{1-x}(\text{GaAs})$, полученных из свинцового раствора-расплава методом жидкостной эпитаксии. // Письма в ЖТФ. -2004. - Том 30(15). - С.29–37.
6. Kawai H., Giorgi G and Yamashita K. Back Cover: Impact of short-range order and clusterization on the bandgap bowing: First-principles calculations on the electronic properties of metastable $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$ alloys. // Phys. Status Solidi B. - 2012. - Vol. 249(1). -P. 29-37.
7. Сапаев Б., Саидов А.С., Заверюхин Б.Н. Получение эпитаксиальных слоев твердых растворов $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$ на Si-подложках и исследование их электрических фотоэлектрических характеристик. // Письма в ЖТФ. - 2004. - Том.30(2). - С. 25-32.



8. Brazhkin V.V. High-pressure synthesized materials: Treasures and hints. // [High Pressure Research](#) - 2007. Vol. 27(3). - P. 333-351.
9. Bing-Lin Gu, Jun Ni, and Jia-Lin Zhu Structure of the alloy $(\text{GaAs})_{1-x}\text{Ge}_{2x}$ and its electronic properties. // Phys. Rev. B. -1992. Vol. 45(8), -P. 4071.
10. Сапаев Б., Саидов А.С., Дадамухамедов С. Выращивание и фотоэлектрические свойства варизонных гетероструктур $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ // Журнал технической физики. - 2004. - Том.74(9). - С.137-140.
11. Сапаев Б., Саидов А.С. Исследование условий роста и фотоэлектрических свойств эпитаксиальных структур $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$ // Письма в ЖТФ. - 2004. –Том.30(17). – С.14-18.
12. Саидов А.С., Усмонов Ш.Н., Холиков К.Т., Сапаров Д. Выращивание и фоточувствительность $p\text{Si}-n(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaSb})_x$ структур. // Гелиотехника. – 2007. – № 3. –С. 85-88
13. Васильев В.И., Гагис Г.С., Кучинский В.И., Данильченко В.Г. Формирование тройных твердых растворов $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ на пластинах GaAs и GaSb за счет твердофазных реакций замещения. // Физика и техника полупроводников. -2015. - Том. 49(7). - С. 984-988.
14. Andreev V.M., Khvostikov V.P., Kalyuzhnyi N.A., Titkov S.S., Khvostikova O.A., Shvarts M. Z. GaAs/Ge heterostructure photovoltaic cells fabricated by a combination of MOCVD and zinc diffusion techniques. // Semiconductors.-2004. -Vol. 38(3). -P 355–359.
15. Gadzhialiev M.M., Pirmagomedov Z.Sh., Éfendieva T.N., The effect of a thermoelectric field on a current-voltage characteristic of the $p\text{-Ge-n-GaAs}$ heterojunction. // Semiconductors.-2004. - Vol. 38(11). –P.1302–1303.
16. Вартанян Р.С. Электрофизические, оптические и люминесцентные свойства метастабильных твердых растворов $(\text{Ge}_2)_x(\text{GaAs})_{1-x}$.



x и гетеропереходы на их основе: Дисс... канд. физ.-мат. наук - Ленинград: ФТИ, 1984.-С.181.

17. Губанов А.И., Полуботко А.М. Зонная структура твердого раствора $\text{Ge}_{2x}(\text{GaAs})_{1-x}$. // Физика и техника полупроводников. -1982. - Том.16(6). - С. 840-843.

18. Раззаков А.Ш. Исследования условий эпитаксиального роста новых варизонных твердых растворов $(\text{Ge}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ и их некоторых электрических, фотоэлектрических свойств: Дисс... канд. физ.-мат. наук - Ташкент: ФТИ, 1998. - С.153.

19. Саидов А.С., Каланов М., Сапаров Д.В., Усмонов Ш.Н. Структурные особенности и фоточувствительность твердого раствора $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$, выращенного на Si подложках. // Использование возобновляемых источников энергии: новые исследования, технологии и инновационные подходы: Матер.конф. НПО «Физика-Солнце» АН РУз им. С.А.Азимова институт материаловедения. 25-26 сентября 2018. - Ташкент, - С. 185-190.