



№4/2026

ANDIJON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI

ADPI
Ilmiy xabarnomasi

GaAs TAGLIKLARDA SUYUQ FAZADAN EPITAKSIYA USULI BILAN O'STIRILGAN $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ QATTIQ QORISHMALI YUPQA QATLAMLARNING STRUKTURAVIY VA FAZAVIY XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH

Saliyev Iqboljon Maxammadjonovich,

Andijon davlat pedagogika instituti

Boboyev Akramjon Yo'ldashboyevich

Andijon davlat universiteti

Annotatsiya.

Ushbu ishda GaAs tagliklarda suyuq fazadan epitaksiya usuli yordamida o'stirilgan $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ qattiq qorishmali yupqa pardalarning strukturaviy va fazaviy xususiyatlari tadqiq etildi. Namunalar rentgen difraksiyasi (XRD) usullari yordamida o'rganildi. Olingan natijalar epitaksial qatlamlarning yuqori darajada mukammal kristall panjaraga ega ekanligini va (100) kristallografik yo'nalishda o'sgan monokristall tuzilmani hosil qilishini ko'rsatdi. Tahlillar natijasida germaniy atomlarining bir qismi GaAs kristall panjarasida o'rin almashgani, qolgan qismi esa nanokristallar shaklida ajralib chiqqani aniqlandi. Shuningdek, ZnSe komponentining epitaksial qatlam sirtida nanotuzilmalar hosil qilishi kuzatildi. Difraksion akslanishlar intensivligining o'zgarishi va noelastik fonning siljishi epitaksial qatlamda elastik kuchlanishlar va mikrostrukturaviy nuqsonlar mavjudligini ko'rsatdi. Olingan natijalar GaAs asosidagi ko'p komponentli qattiq qorishmalarda nanokristall tuzilmalar shakllanish mexanizmlarini tushunishga hamda ularning fizik xossalari boshqarish imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar:

GaAs, epitaksiya, qattiq qorishma, rentgen difraksiyasi, rentgenospektral mikrotahlil, nanokristallar, kristall panjara, difraksiya, ZnSe, Ge, yupqa parda, geterotuzilma, strukturaviy xossalar, fazaviy tahlil.

Аннотация.

В данной работе исследованы структурные и фазовые свойства тонких плёнок твёрдого раствора $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$, выращенных на подложках GaAs методом жидкофазной эпитаксии. Образцы изучены с использованием методов рентгеновской дифракции (XRD). Полученные результаты показали, что эпитаксиальные слои обладают высокой степенью совершенства кристаллической решётки и формируют монокристаллическую структуру с ориентацией (100). Анализ показал, что часть атомов германия замещает узлы кристаллической решётки GaAs, тогда как другая часть выделяется в виде нанокристаллов. Также установлено, что компонент ZnSe формирует наноструктуры на поверхности эпитаксиального слоя. Изменение интенсивности дифракционных отражений и смещение неупругого фона свидетельствуют о наличии упругих напряжений и микроструктурных дефектов в эпитаксиальном слое. Полученные результаты способствуют более глубокому пониманию механизмов формирования нанокристаллических структур в многокомпонентных твёрдых растворах на основе GaAs, а также расширяют возможности управления их физическими свойствами.

Ключевые слова:

GaAs, эпитаксия, твёрдый раствор, рентгеновская дифракция, рентгеноспектральный микроанализ, нанокристаллы, кристаллическая решётка, дифракция, ZnSe, Ge, тонкая плёнка, гетероструктура, структурные свойства, фазовый анализ.

Abstract.

This work investigates the structural and phase properties of $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ solid-solution thin films grown on GaAs substrates by liquid-phase epitaxy. The samples were analyzed using X-ray diffraction (XRD) techniques. The results demonstrate that the epitaxial layers possess a highly perfect crystal lattice and form a single-crystal structure oriented along the (100) crystallographic direction. The analysis revealed that a portion of germanium atoms substitutes into the GaAs crystal lattice, while the remaining part segregates as nanocrystals. It was also observed that the ZnSe component forms nanostructures on the surface of the epitaxial layer. Variations in diffraction peak intensities and shifts in the inelastic background indicate the presence of elastic strain and microstructural defects within the epitaxial layer. The obtained results contribute to a deeper understanding of nanocrystal formation mechanisms in multicomponent GaAs-based solid solutions and expand the possibilities for controlling their physical properties.

Keywords:

GaAs, epitaxy, solid solution, X-ray diffraction, X-ray microanalysis, nanocrystals, crystal lattice, diffraction, ZnSe, Ge, thin film, heterostructure, structural properties, phase analysis.

Kirish. Zamonaviy yarimo'tkazgich fizikasi va materialshunoslik sohalarida ko'p komponentli qattiq qorishmalar va geterotuzilmalarni yaratish hamda ularning xossalari

chuqur o'rganish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Bunday materiallar mikroelektronika, optoelektronika, fotonika va quyosh energetikasi qurilmalarini ishlab chiqishda asosiy funksional element sifatida keng qo'llaniladi. Ayniqsa, galliy arsenid (GaAs) asosidagi strukturalar yuqori elektron harakatchanligi, to'g'ri energiya zonasi va yuqori samaradorlikka ega bo'lganligi sababli istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi.

So'nggi yillarda GaAs asosida turli elementlar bilan legirlangan va qattiq qorishmalar hosil qiluvchi tizimlarga katta e'tibor qaratilmoqda. Jumladan, $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ tizimi kristall panjara parametrlarining yaqinligi va komponentlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarning murakkabligi bilan ajralib turadi. Ushbu tizimda Ge va ZnSe komponentlarining kiritilishi natijasida kristall panjarada deformatsiyalar, lokal elastik kuchlanishlar hamda nanokristall tuzilmalar hosil bo'lishi mumkin. Bu esa materialning elektr, optik va strukturaviy xossalari sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Epitaksial o'sish jarayonida qatlam va taglik orasidagi panjara mosligi, aralashma atomlarining taqsimlanish xususiyati hamda o'sish sharoitlari (harorat, sovitish tezligi, muhit) muhim rol o'ynaydi. Ayniqsa, suyuq fazadan epitaksiya usuli yuqori sifatli, kam nuqsonli va nazorat qilinadigan tarkibli yupqa qatlamlar olish imkonini beradi. Biroq, ko'p komponentli tizimlarda epitaksiya jarayonining murakkabligi sababli kristall tuzilma mukammalligi va fazaviy tarkibni aniqlash maxsus eksperimental usullarni talab etadi.

Rentgen difraksiyasi (XRD) usullari materiallarning fazaviy holati va kristall panjara parametrlarini aniqlashda eng samarali usullardan hisoblanadi. XRD usuli orqali kristall tuzilma, difraksion akslanishlar, panjara doimiysi va strukturaviy mukammallik darajasi haqida aniq ma'lumot olish mumkin.

Mazkur ishda GaAs tagliklarda suyuq fazadan epitaksiya usuli yordamida o'stirilgan $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ qattiq qorishmali yupqa pardalarning strukturaviy va fazaviy xususiyatlari kompleks tarzda o'rganildi. Tadqiqot davomida olingan natijalar epitaksial qatlamlarda nanokristall tuzilmalar hosil bo'lish mexanizmlarini aniqlash, kristall panjara deformatsiyalarini baholash hamda material xossalari boshqarish imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot metodi. Rentgenospektral mikrotaxlil (RSM). Rentgenospektral mikrotaxlil – bu namunaning mikroskopik o'lchamdagi tanlangan hududida kimyoviy tarkibini aniqlash imkonini beruvchi usul bo'lib, u elektron mikroskop yoki maxsus elektron-zondli mikroanalizator (mikrozond) yordamida amalga oshiriladi.

RSM uchun fotonlarni energiyasi bo'yicha ajrata oladigan energetik-dispers spektrometrdan foydalanish mumkin. Zamonaviy elektron mikroskoplarning aksariyati bunday spektrometr bilan jihozlanadi yoki uni qo'shimcha modul sifatida ulash imkoniyatiga ega.

RSM usuli sifat va miqdoriy tahlil qilish imkonini beradi. Sifatli tahlil qilishning asosiy vazifasi o'rganilayotgan obyektning tashkil etuvchi barcha kimyoviy elementlarni aniqlashdan iborat. Sifatli tahlil obyekt tarkibi haqida hech narsa ma'lum bo'lmaganda qo'llaniladi va keyingi miqdoriy tahlil uchun zarur bo'ladi.

Miqdoriy tahlil sinov namunasini tashkil etuvchi elementlar o'rtasidagi miqdoriy munosabatlarni aniqlaydi, ya'ni miqdoriy tahlil asosida olingan natija moddaning kimyoviy formulasi yoki har bir kimyoviy elementning ulushi (protsent) bo'lishi mumkin.

Turli hollarda bunday tahlil uchun og'irlik yoki atom ulushlari (protsentlar) dan foydalaniladi. Elementning og'irlik ulushi – moddadagi element massasining butun modda

massasiga nisbati (masalan, suvda vodorodning og'irlik ulushi taxminan $2/18 = 1/9$). Elementning atom ulushi – element atomlari sonining moddaning barcha atomlari soniga nisbati (suv uchun vodorodning atom ulushi $2/3$).

Miqdoriy RSM ma'lum tarkibi bir standart namunadagi tegishli chiziqlar intensivligi bilan namunadagi hosil bo'lgan rentgen chiziqlaridan o'lchanadigan intensivligini taqqoslashga asoslangan.

Rentgenografik fazaviy tahlil. Fazaviy tahlil namuna rentgen nurlari bilan yoritilganda hosil bo'ladigan difraksiya (tarqalish) naqshlarini o'lchash asosida uning **kristall fazalari, panjara parametrlari va fazalar xususiyatlari** kabi kattaliklari haqida ma'lumot beruvchi analitik usuldir.

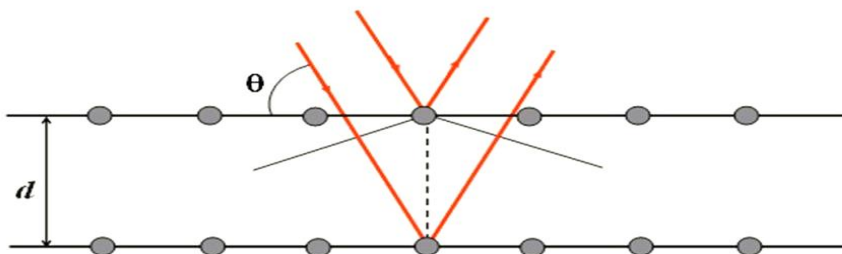
Qattiq jismlarning faza tarkibini aniqlashning eng samarali va keng qo'llaniladigan zamonaviy usullaridan biri rentgen difraksiyasi usulidir. Ushbu usul maxsus rentgen difraktometr qurilmasi yordamida amalga oshiriladi. Metod kristall panjarada rentgen nurlarining sochilishi (difraksiya) hodisasiga asoslanadi. Har bir faza o'ziga xos kristall panjara tuzilishiga ega bo'lgani uchun, difraksiya manzarasi orqali moddaning faza tarkibini aniqlash mumkin.

Faza deganda qattiq moddaning kristall panjarasi va kimyoviy tarkibi bir xil bo'lgan, shu bilan birga fizik va kimyoviy xossalari o'zgarmas bo'lib turadigan chegaralangan sohasi tushuniladi [1; 60-74 b].

Kristall panjaradagi rentgen difraksiyasi Vulff-Bregg sharti bilan ifodalanadi:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.3.1)$$

bu yerda d – rentgen nurlari o'zaro atomlari bilan tutashgan kristallografik tekisliklar orasidagi masofa; θ – difraksiya kuzatiladigan burchak; n – difraksion maksimum tartibi ("akslantirish" tartibi); λ – kristalda monoxromatik rentgen nurlarining to'lqin uzunligi.



1-rasm. Kristall panjarada rentgen nurlarining difraksiyasi

Odatda, o'rganilayotgan namuna rentgen trubkasi (birlamchi nur) dan kelayotgan nur yo'lga joylashtiriladi. Namuna bo'yicha sochilgan (ikkilamchi) rentgen nurlarining intensivligi detektor tomonidan qayd qilinadi. Namuna tekisligi ham, detektor ham birlamchi nur yo'nalishiga nisbatan aylanishi mumkin. Detektorning eng keng tarqalgan "θ-2θ" usulida aylanish burchagi esa namunaning aylanish burchagidan ikki marta katta bo'ladi. Nur yo'lida rentgen nurlanishining bir to'lqin uzunligida difraktogrammani ta'minlovchi monoxromatorlar yoki filtrlar mavjud bo'lib, ularning qiymati anod materialiga bog'liq. Masalan, trubkadagi mis anodidan chiqayotgan nurlanishning to'lqin uzunligi $1,54178 \text{ \AA}$ ga teng.

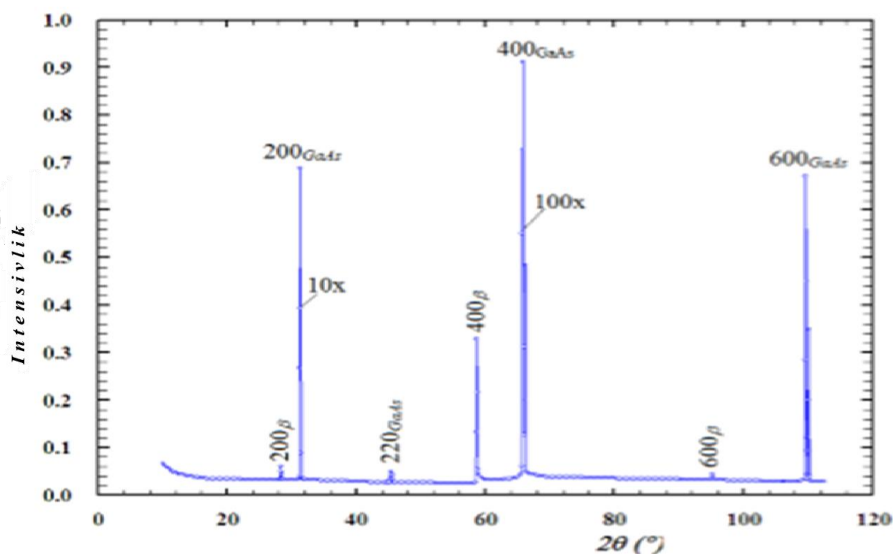
Tadqiqot natijalari. Tadqiqotlar uchun epitaksial yupqa pardalar solishtirma qarshiligi $250 \text{ } \Omega \cdot \text{sm}$, qalinligi 350 mkm , n -tur GaAs asoslarga (Sn-Ge-GaAs) qattiq qorishmasidan, palladiy bilan tozalangan vodorod muhitida suyuq fazadan epitaksiya usulida olindi. Epitaksial

qatlamni kristallanishni boshlang'ich tempereturasi 700 °C, qorishma-eritma sovutish tezligi 1°C/min dan iborat. Shu sharoitda o'stirilgan yupqa qatlamlar qalinligi 10 mkm, $\rho \approx 0,1 \Omega \cdot \text{sm}$, p -tur o'tkazuvchanlikka ega bo'ldi. Olingan qattiq qorishmali yupqa pardalar va ularni asoslari 6100 (XRD-6100, Sahimdzu, Japan, $\text{CuK}\alpha$ – nurlanishli, $\lambda = 0,15418 \text{ nm}$) turdagi rentgen difraktometr yordamida θ - 2θ sxemada qadamma-qadam skanerlash usulida olindi. Rentgen kuchlanishi 40 kV, va tok – 30 mA bo'lgan. Skanerlash diapazoni 8.0÷90.0 grad da, skanerlash tezligi 2 grad/min va tanlash qadami = 0,02 grad ni tashkil etdi. XRD-6100 yordamida olingan tajriba natijalari Fullprof dasturidan foydalanib Ritveld usulida o'rganildi. Namunalarni sirti „Solver-NEXT“ markali atomiy kuch mikroskopi yordamida tadqiq etildi va shu usulda sirti reliefi va potensialni sirt bo'yicha taqsimoti aniqlandi.

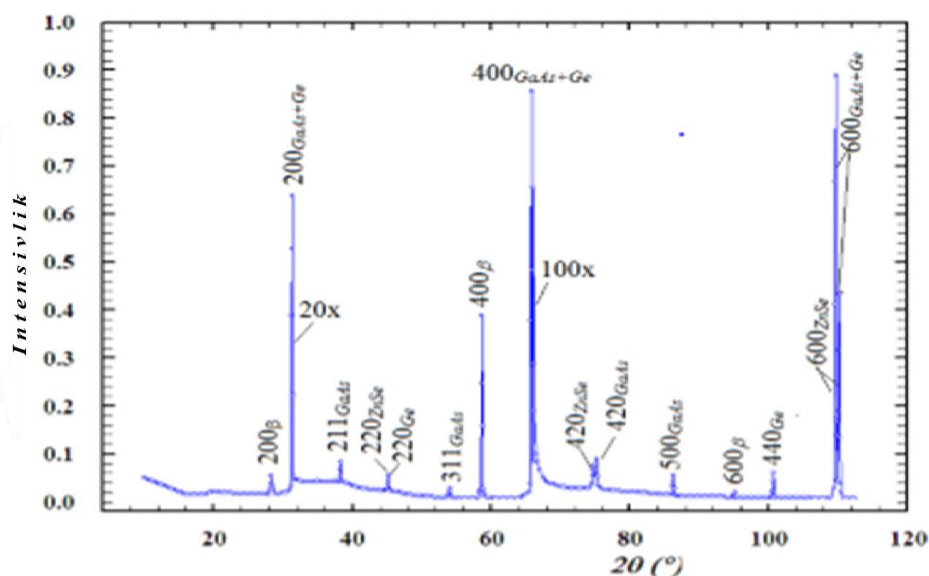
2-rasmdan ko'rinishicha, difraksion tasvirda har xil intensivlikdagi bir necha alohida-alohida tuzilmaviy cho'qqilar (reflekslar) mavjud. Bu natijalarni taxliligiga asosan, rentgenogrammada $\{H00\}$ ($H=1,2,3\dots$) turdagi katta intensivlikdagi alohida cho'qqilar turkumi mavjud: bunda $d/n = 0.2814$ da $(200)_{\text{GaAs}}$, $d/n = 0.1412$ da $(400)_{\text{GaAs}}$; $d/n = 0.09422$ da $(600)_{\text{GaAs}}$ bo'lgan chiziq borligi va ular asosini sirtning (100) kristallografik tekislikka mos kelishini ko'rsatdi. Ularning β -tarkiblovchilari $2\theta_{(200)} = 28.2^\circ$, $2\theta_{(400)} = 58.8^\circ$ va $2\theta_{(600)} = 95.2^\circ$ burchaklarda sochilishlarda ko'rinadi.

Bundan tashqari sochilishning o'rtacha burchaklarida difraksion spektrda $d/n = 0.1998 \text{ nm}$ da $(220)_{\text{GaAs}}$ bo'lgan $2\theta = 45.4^\circ$ da yana bir zaif intensivli tuzilmaviy refleks (cho'qqi) ko'rinadi. Asosiy cho'qqi $(400)_{\text{GaAs}}$ ning katta intensivligi ($2 \cdot 10^5 \text{ imp} \cdot \text{sek}^{-1}$), nisbatan tor eni ($FWHM = 0.0039 \text{ rad}$) va tekis noelastik fonni minimal qiymati asos kristal panjarasini yukori darajada mukammalligini ko'rsatadi. Asosni tajribalardan hisoblab chiqilgan panjara doimiyli $a_{\text{GaAs}} = 0.56532 \text{ nm}$ va standart jadvallarda keltirilgan $a_{\text{GaAs}} = 0.5646 \text{ nm}$ ga juda yaqin [2; 73-79 b]. O'stirilgan qattiq qorishmali pardalarni hamda ular uchun foydalanilgan tagliklarning tuzilmaviy tadqiqotlari qadamli tekshiruv meyorida θ - 2θ tizimida ishlovchi 6100-rentgenodifraktometrda (XRD-6100, Sahimdzu, Japan, $\text{CuK}\alpha$ – nurlanish, $\lambda = 0.15418 \text{ nm}$) o'tkazildi.

Rentgen trubkasidagi katod elementiga berilgan kuchlanish 40 kV ni tok esa 30 mA ni tashkil etdi. Tekshiruv diapozoni 8°-90° oroligida, tekshirish tezligi 2 grad/min, tekshiruv aniqligi 0,02 grad ni tashkil etdi.



2-rasm. GaAs taglik rentgenogrammasi.



3-rasm. 20 mkm qalinlikdagi $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ epitaksial plyonkaning rentgenogrammasi.

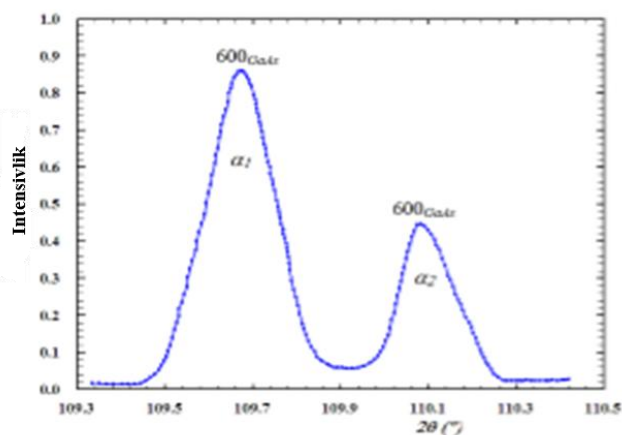
3-rasmda o'stirilgan $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ epitaksial qatlamlarning rentgenogrammasi keltirilgan va ular taglik rentgenogrammasidan sezilarli darajada farq qiladi. Rentgenogrammada kuzatilayotgan (400) kristallografik oriyentatsiyasiga ega bo'lgan tuzilmaviy chiziq taglik rentgenogrammasida kuzatilgan huddi shunday tuzilma chizig'i intensivligiga nisbatan 10% ga kamaygan, ikkinchi tartibli hamda oltinchi tartibli tuzilma chiziqlarining intensivligi mos ravishda 85% va 50% ga ortgan. Bu esa o'z navbatida yupqa parda galliy arsenid kristall panjarasida germaniy molekulari va ruh selen molekulari notekis taqsimlanishidan dalaolat beradi. Sirtiy holatlarda ularning taqsimlanishi plyonka qatlami chuqurrog'iga nisbatan kamligini ham ko'rsatadi. Bu intensivliklar qiymatlarining yaqinligidan va taglik va plyonkaning asosiy refleksi (400) kengligidan dalolat beradi. Sirtida chuqurligida bog'langan germaniy ionlari va rux selenid molekulari galliy arsenid molekularini tobora ko'proq almashtiradi va bu plyonkaning kristall panjarasining buzilishiga olib keladi, bu esa Vulf-Bregg difraksiyasi sharoitlarining buzilishiga olib keladi. Natijada {H00} ko'rinishidagi yuqori tartibli atom tekisliklarining normalari mukammal kristall panjaraning mos tekisliklari normalining yo'nalishiga nisbatan ixtiyoriy yo'nalishga ega bo'ladi. Natijada (400) kabi difraksion akslantirishning intensivligi kamayishi kuzatiladi. Bundan tashqari, asosiy refleksi intensivligining kamayishi (400) plyonka qalinligining oshishi bilan ham bog'liq bo'lishi mumkin. Kristallning o'sish mobaynida kirishma atomlari yoki molekulari mavjudligi bilan buziladi natijasida mahalliy kristall panjara sohalarida elastik energiyaning to'planishi yuzaga keladi, ya'ni yangi energetik jihatdan qulayroq yo'nalish paydo bo'ladi. Binobarin, plyonka qalinligining oshishi kristallitlarning har xil yo'nalishli o'sishiga yordam beradi, bu esa o'z navbatida o'stirilgan plyonkaning kristallik darajasini pasaytiradi.

Shuningdek, rentgenogrammada noelastik fon sathining kichik va o'rta sochilish burchaklarda 29% o'sishi hamda uzoq sochilish burchaklarida esa 32% kamayishi kuzatilgan, bu epitaksial qatlam kristall panjarasida elastik energiya konsentratsiyasining mahalliy tabiati va juda kichik miqdorda mikrobuzilishlar mavjudligi bilan bog'liq bo'ladi (ular epitaksial qatlam taqribiy qism elementlarining ion radiusi yaqinligi bilan bog'liq: $r_{\text{Zn}} = 0,074 \text{ nm}$, $r_{\text{Se}} =$

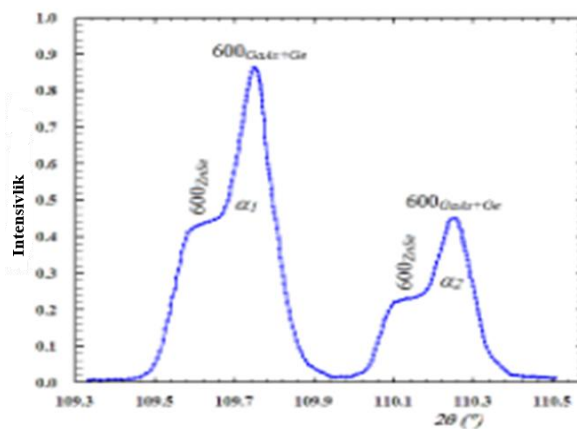
0,050 nm, $r_{As} = 0,058$ nm, $r_{Ga} = 0,062$ nm va $r_{Ge} = 0,053$ nm) [55; 40-59 b]. Bundan tashqari, rentgenogrammada turli intensivlikka ega bo'lgan yangi tuzilmaviy akslanishlar paydo bo'lgan: $d/n = 0,1998$ nm ($2\theta = 45,4^\circ$) da $(220)_{Ge}$, $d/n = 0,1268$ nm ($2\theta = 74,9^\circ$) da $(420)_{ZnSe}$, $d/n = 0,1263$ nm ($2\theta = 75,2^\circ$) da $(420)_{GaAs}$ va ($d/n = 0,1001$ nm ($2\theta = 100,8^\circ$) da $(440)_{Ge}$. Rentgenogrammada sfalerit tuzilmalar uchun ta'qiqlangan uchta, kuchsiz ta'qiqlangan akslanishlar ham kuzatilgan: $d/n = 0,2305$ nm ($2\theta = 38,5^\circ$) da $(211)_{GaAs}$, $d/n = 0,1689$ nm ($2\theta = 54,3^\circ$) da $(311)_{GaAs}$ va $d/n = 0,1128$ nm ($2\theta = 86,1^\circ$) da $(500)_{GaAs}$. Ularning intensivliklarining asosiy akslanish (400) intensivliklariga nisbati $I(211)/I(400) = 8,73 \times 10^{-4}$, $I(311)/I(400) = 3,24 \times 10^{-4}$ va $I(500)/I(400) = 5,78 \cdot 10^{-4}$ mos ravishda baholandi. Hisoblangan qiymatlar 10^{-4} miqdor atrofida bo'lishi, u olmossimon kristall panjaradagi kirishmalarning nisbatan tekis taqsimlanishidan dalolat beradi [3; 11-14 b]. Ge monokristalining kristall panjarasi qiymati ($a_{Ge} = 0,56576$ nm) va GaAs birikmalarining ($a_{GaAs} = 0,5646$ nm) yaqinligi hamda ular ZnSe birikmasi kristall panjarasi qiymatidan ($a_{ZnSe} = 0,5661$ nm) qisman farq qilishi tufayli, epitaksial qatlam rentgenogrammasida kichik burchak sochilishlarida taglik rentgenogrammasida huddi shunday burchaklarda kuzatilgan tuzilma chiziqlari bilan ustma-ust tushuvchi $\{H00\}$ turidagi (bu yerda $H = 2,4$) akslanishlar kuzatilishiga olib keladi.

(400) kristallografik oriyentatsiyali asosiy tuzilma chizig'ining ingichkaligi ($FWHM = 5,36 \times 10^{-3}$ rad) va yuqori intensivligi ($2 \cdot 10^5$ imp·s $^{-1}$), qattiq qorishmalar kristall panjarasining yuqori darajada mukammalligini ko'rsatib, o'stirilgan plyonka (100) kristallografik oriyentatsiyali monokristall ekanligidan dalolat beradi. Selyakov–Sherrer usuli [4; 206-208 b] bilan bu cho'qqining kengligidan plyonka subkristallitlarining (blokklarining) o'lchamlari 57 nm ga tengligi aniqlandi.

3-rasmda Nelson–Reyli ekstrapolatsiya funksiyasi yordamida uchta (200), (400) va (600) tuzilmaviy akslanishlardan o'stirilgan epitaksial plyonka kristall panjarasining qiymatlari $a_f = 0,56568$ nm ga tengligi aniqlandi va u taglik kristall panjarasi qiymatidan $a_s = 0,56532$ nm biroz katta ekanligi aniqlandi. Demak, o'rganilayotgan qattiq qorishmaning asosiy kristall panjarasi yarim o'tkazgichli birikma GaAs va elementar Ge yarimo'tkazgichlardan tashkil topgan, ya'ni $GaAs)_{1-x}(Ge_2)_x$ ko'rinishida bo'ladi. Ushbu xulosani (600) tuzilmaviy akslanish qo'shimcha ravishda tasdiqlab, - u nurlanishning α_1 va α_2 qismlariga bo'linadi, bundan tashqari, tarkibiy qismlarning har biri ikki bosqichdan iborat ekanligini ko'rish mumkin.



a



b

4-rasm. GaAs tagiligi (a) va $(GaAs)_{1-x-y}(Ge_2)_x(ZnSe)_y$ plyonka (b) (600) akslanish shakli.

[58; 206-208 b] ga ko'ra, GaAs sirtidagi Ge₂ qatlamining optimal epitaksiyalanish harorat oralig'i $(525 \pm 25)^\circ C$ atrofida bo'ladi. Bu haroratga erishilganda juftlashgan Ge₂ atomlari chuqurroq qatlamlarga kirib, galliy arsenid molekulari bilan o'rin almashinishlari uchun imkoniyat yuzaga keladi.

GaAs molekularining bunday o'rin almashtirishlari {H00} turidagi, ya'ni (200) va (600) tajribalarda kuzatiladigan yuqori tartibli difraksion akslantirishlar intensivligining ortishiga olib keladi. Epitaksial qatlamning rentgenogrammasida Ge₂ kristall panjarasidan {H00} difraksion akslantirishlardan tashqari yana $d/n = 0.1998$ nm ($2\theta = 45.4^\circ$) da $(220)_{Ge}$ va $d/n = 0.1001$ nm ($2\theta = 100.8^\circ$) da $(440)_{Ge}$ tuzilmaviy akslanish ham kuzatiladi. (220) tuzilmaviy akslanish uchlik shaklga ega bo'lishi va u α_1 va α_2 nurlanishlar bo'yicha qisman ustma-ust tushishi Ge va ZnSe nanokristallitlarni bir hil tartibda hamda yo'nalishda o'sayotganidan dalolat beradi. Plyonka rentgenogrammasida $d/n = 0,1001$ nm ($2\theta=100,8^\circ$) da $(440)_{Ge}$ kuchsiz intensivlikda tuzilmaviy chiziq kuzatilishi, GaAs panjarasidagi Ge aralashmalarining notekis taqsimlanganligidan dalolat berib, ular boshqa yo'nalishda o'lchami 39 nm ga teng bo'lgan germaniy nanokristallitlarini shakllantirayotganidan dalolat beradi. Ko'rinib turibdiki, germaniy nanokristallitlarining turli yo'nalishga ega bo'lishi, epitaksial qatlamda o'sish mobaynida uning kristall panjarasida elastik kuchlanishlar yuzaga kelishiga olib keladi. Rentgenogrammadan aniqlangan Ge nanokristallarning kristall panjara doimiysi $a_{Ge} = 0,5662$ nm bo'lib, u ham uning jadval qiymatiga yaqin $a_{Ge} = 0.5657$ nm ekanligi tasdiqlandi [5; 56-59 b].

Bundan tashqari, epitaksial qatlam rentgenogrammasida kichik intensivlikka ega bo'lgan yana ikkita tuzilmaviy akslanish kuzatilgan. O'tkazilgan tahlillar natijasida ular (ZnSe); $d/n = 0.2010$ nm ($2\theta = 45.1^\circ$) da (220) va $d/n = 0.1230$ nm ($2\theta = 74.95^\circ$) da (420) ruh selen nanokristallariga tegishli ekanligi aniqlandi. O'sish yo'nalishlarining farqiga qaramay, bu nanokristallar deyarli bir xil kattalikka ega bo'lib, 66 nm ni tashkil etadi. Bu fakt, rux selenid nanokristallitlar $GaAs_{1-x}Ge_x$ qattiq qorishmasining sirtida nanotuzilmalar ko'rinishida o'sishidan dalolat beradi. Kristall panjara doimiysidan farq qiluvchi tagliklarga kristall panjara qiymatlari farq qiluvchi yarimo'tkazgichli qatlamni o'sishi natijasida namunaning sirtida kogorent nanokristallar olish mumkinligi aniqlangan [6; 67-72 b]. Demak, bunday texnologik sharoitda yupqa pardaning asosiy kristall panjarasi sirtida kogorent nanokristallar hosil bo'lishi, yuzaga kelayotgan mexanik kuchlanishlarni bartaraf etish uchun energetik jihatdan qulay imkoniyatni yuzaga keltiradi. Rux selenid kristall panjarasi doimiysining eksperimental natijalaridan aniqlangan qiymati $a_{ZnSe} = 0.5669$ nm bo'lib, uning jadval qiymatiga $a_{ZnSe} = 0.5661$ nm juda ham yaqin.

Shunday qilib, olingan natijalar asosida quyidagi xulosalarga kelish mumkin: GaAs tagliklarida qalinligi 20 mkm bo'lgan $(GaAs)_{1-x-y}(Ge_2)_x(ZnSe)_y$ qattiq qorishmaning o'stirilgan epitaksial qatlamlar taglikning kristallografik oriyentatsiyasiga mos va blok o'lchamlari 52 nm bo'lgan sfalerit tuzilishga ega va monokristall ekanligi; juft Ge atomlari GaAs molekularini qisman o'rin almashib joylashi, qolganlari fazalararo va bo'linish chegara sohalarida, asosiy kristall panjarasining nuqsonga moyil sohalarida germaniy nanokristallarini hosil qilishi; rux selenid molekulari $GaAs_{1-x}Ge_x$ qattiq qorishmasining sirtida 66 nm o'lchamli nanotuzilmalari hosil qilishi; qatlam qalinligining oshishi kristallitlarning turli yo'nalishdagi o'sishiga yordam beradi, bu esa o'sayotgan plyonkaning monokristallik darajasini kamaytirishi aniqlandi [7; 46-51 b].

Xulosa. O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida GaAs tagliklarida o'stirilgan $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ epitaksial qatlamlarning strukturaviy va fazaviy xususiyatlari batafsil o'rganildi. Rentgen difraksiyasi tahlillari asosida olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, o'stirilgan yupqa parda yuqori darajada mukammal kristall panjaraga ega bo'lib, (100) kristallografik yo'nalishda o'sgan monokristall tuzilmani hosil qiladi.

Tadqiqotlar davomida Ge atomlarining bir qismi GaAs kristall panjarasida o'rin almashgani, qolgan qismi esa fazalararo chegaralarda va nuqsonli sohalarda joylashib, germaniy nanokristallitlarini hosil qilishi aniqlandi. Shuningdek, ZnSe komponenti epitaksial qatlam sirtida taxminan 66 nm o'lchamli nanotuzilmalar shaklida o'sishi kuzatildi. Bu esa tizimda komponentlarning notekis taqsimlanganligini va epitaksiya jarayonida murakkab strukturaviy o'zgarishlar sodir bo'lishini ko'rsatadi.

Difraksion akslanishlar intensivligining o'zgarishi va noelastik fonning siljishi epitaksial qatlamda elastik kuchlanishlar mavjudligini hamda mikrostrukturaviy nuqsonlarning paydo bo'lishini tasdiqlaydi. Bundan tashqari, qatlam qalinligining ortishi kristallitlarning turli yo'nalishlarda o'sishiga olib kelib, umumiy kristallik darajasining pasayishiga sabab bo'lishi aniqlangan.

Shunday qilib, olingan natijalar GaAs asosidagi ko'p komponentli qattiq qorishmalarda nanokristall tuzilmalar hosil bo'lish mexanizmini tushunishga hamda ularning fizik xossalarini boshqarish imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Бобоев А.Й. Структурные особенности, электрофизические и фотоэлектрические свойства гетероструктур $n\text{-(GaAs)-p-(GaAs)}_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$. Дис... PhD по физ.-мат. наук. -Ташкент: ИФПМ, 2019. -С.127.
2. Sirojiddin Zainabidinov and Akramjon Boboev. $n\text{-GaAs} - p\text{-(GaAs)}_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ Heterostructures. (Synthesis, Structure and Electro-Physical Properties). GlobeEdit. - 2021. -P. 73-79.
3. Zainabidinov S.Z., Mansurov H.J., Boboev A.Y. and Makhmudov Kh.A. Structural features as the solid solution $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ with quantum dots ($0 \leq x \leq 0.17$); ($0 \leq y \leq 0.14$) // Semiconductor physics and microelectronics. 2019.-No.1(0.1).-P, 11-14.
4. Zainabidinov S. Z., Kalanov M.U., Boboev A.Y., Kutlimurotov B.R. Peculiarities of photosensitivity of $n(\text{GaAs})-p(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{ZnSe})_x(\text{Ge}_2)_y$ structures with quantum dots. // Applied Solar Energy.- 2015. - Vol. 51(3). - P.206-208.
5. Зайнабидинов С.З., Бобоев А.Й. Морфологические исследования особенностей nanoостровков ZnSe на поверхности твердого раствора $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$. // Доклады Академии Наук. - 2018 - № 4. - С. 56-59.
6. Zaynabidinov S.Z., Boboev A.Y., Soliyev I.M. $\text{GaAs}_{1-\delta}\text{Bi}_\delta$ kvant o'rali $(\text{ZnSe})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$ qattiq qorishmlarning tuzilmaviy xossalariga gamma nurlanishlar ta'siri // Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research. 2025. Vol. 7 Iss. 3,- P. 67-72.
7. Зайнабидинов С.З., Саидова А.С., Бобоев А.Й., Усмонов Ж.Н. Особенности свойств поверхности полупроводникового твердого раствора $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ с квантовыми точками ZnSe. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2021. № 1. С. 107.

ANIQ VA TABIIY FANLAR

Zaparov A.A. <i>Nazariy mexanika fanini o'qitishda multimediali o'qitish texnologiyasidan foydalanish</i>	141	145
Ergashev Biloldin Mirsharipjon o'g'li, Yuldashev Otabek Ravshan o'g'li <i>Talabalarning mustaqil ta'lim olish ko'nikmalarini rivojlantirish: tahlil va samarali strategiyalar</i>	146	155
Soliyev Iqboljon Maxammadjonovich, Boboyev Akramjon Yo'ldashboyevich <i>GaAs tagliklarda suyuq fazadan epitaksiya usuli bilan o'stirilgan (GaAs)_{1-x}-y(Ge₂)_x(ZnSe)_y qattiq qorishmali yupqa qatlamlarning strukturaviy va fazaviy xususiyatlarini tadqiq etish</i>	156	163
Махсудов Одилжон Хусанович <i>Экономический анализ малых предприятий в сфере услуг</i>	164	168
Jaloldinova Sh.X., Kambarova M.M. <i>Materialshunos fanini o'qitishning zamonaviy usullari</i>	169	170
Zulunova Moxlaroyim Abdurashid qizi <i>Atom va yadro fizikasi tushunchalarini tushuntirishda multimedia vositalari asosida zamonaviy dars dizaynini takomillashtirish</i>	171	174
Jaloldinova Shaxnozaxon Xusanboyevna, Mir-yusupova Muhayyoxon Alimjanovna <i>Texnologiya fani darolarida xalq hunarmandchiligi bo'limini o'qitishda innovatsion yondashuvlar</i>	175	177
Komilov Murodjon Muxtarjon o'g'li, Mirzaalimov Avazbek Alisherovich, Mirzaalimov Navro'zbek Alisherovich, Rashidov Bobur Dilmurodovich, Mirzaalimova Mavluda Sahibovna <i>Laboratoriya mashg'ulotlarida qo'llaniladigan bir yarim davrli to'g'irilagichdan o'tayotgan kuchlanishni aniqlash</i>	178	181
Jo'rayev Farxodbek Murodjon o'g'li <i>Sun'iy intellekt va gamifikatsiyani birlashtirgan adaptiv o'qitish muhitini loyihalash: arxitektura va algoritmlar</i>	182	187
Makhmudova Maftuna Uktam kizi, Korabekova Shakhnoza Muxiddinovna, Turayev Ozod Sunnataliyevich <i>In silico design and target verification of crispr-cas9 grnas for tapprt1 knockout in uzbek bread wheat (Triticum aestivum L.)</i>	188	192
Arslanov D.M., Xalikov Q.K., Gapparov B.M. <i>O'simliklarning abiotik stress omillariga chidamliligini oshirishning molekulyar mexanizmlari va biotexnologik yondashuvlari</i>	193	203
Atajonov Muxiddin Odiljonovich <i>Feototermobatareya olish usulini simulink dasturida Modellashtirish metodi</i>	204	208
Xolmatova X., Aliyev R., Mirzaalimov A., Rashidov B., Mirzaalimov N., Odiljonov A. <i>Mobil quyosh energetik tizimida konsentratsion reflektor va turli fonlarning fotoelektrik samaradorlikka ta'sirini aniqlash va tadqiq etish</i>	209	214

