

ЗАХИРИДДИН  
МУҲАММАД БОБУР  
НОМИДАГИ АНДИЖОН  
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ANDIJAN STATE  
UNIVERSITY NAMED  
AFTER ZAKHIRIDDIN  
MUKHAMMAD BABUR

# ИЛМИЙ ХАБАРНОМА

Физика-математика  
Тадқиқотлари  
(Махсус сон)

# SCIENTIFIC BULLETIN

Physical and  
Mathematical Research  
(Special Issue)

Андижон  
2023 йил

**Муассис**

Захириддин Мухаммад Бобур номидаги Андижон давлат университети

**ИЛМИЙ ХАБАРНОМА.  
ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
ТАДҚИҚОТЛАРИ**

Журнал бир йилда 2 марта чоп этилади.

Андижон вилояти ахборот ва оммавий коммуникациялар бошқармаси  
томонидан 2019-йил 26 декабрда  
0452 рақам билан рўйхатга олинган.

Нашр индекси: 344

Нашр учун масъул:  
А.Й.Бобоев

Босишга рухсат этилди:  
27.12.2019.

Қоғоз бичими: 60x81 1/8

Босма табоғи: 13,5

Офсет босма. Офсет қоғози.

Адади: 110 дона.

Баҳоси келишилган нархда.

Буюртъа №: 165.

“Мухаррир” нашриёти манбаа бўлимида чоп этилди.  
Тошкент шаҳри, Сўгалли ота кўчаси 7-уй

**Таҳририят манзили:**

170100, Андижон шаҳри, Университет кўчаси, 129. Телефон: +998911602043.

Факс: (374) 223-88-30

E-mail: [adu\\_xabarnoma@mail.ru](mailto:adu_xabarnoma@mail.ru) Расмий сайт: [uzjournals.edu.uz/adu](http://uzjournals.edu.uz/adu)

**Сборник статей международной научно-практической конференции по  
«Полупроводниковая опто- и наноэлектроника, альтернативные  
источники энергии и их перспективы» Андижан, 12-13 октября 2023 года**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАСHEB</b> Механизмы формирования квантово-размерных нанообъектов в многокомпонентных структурах GaAs/Ge/ZnSe и GaAs/Si/ZnSe.....	7
<b>М.Х. АШУРОВ, Б.Л. ОКСЕНГЕНДЛЕР, С.Х. СУЛЕЙМАНОВ, С.Е. МАКСИМОВ, З.И. КАРИМОВ, Н.Н. НИКИФОРОВА, Ф.А. ИСКАНДАРОВА</b> Современные аспекты радиационной деградации твердых тел и биообъектов.....	10
<b>М.Т. НОРМУРАДОВ, Е.Н. ВЛАСОВА, К.Т. ДОВРАНОВ, Д.А. НОРМУРОДОВ, Х.Т. ДАВРАНОВ</b> Измерение оптических параметров, диэлектрических материалов, созданных низкоэнергетическим ионно-плазменным методом.....	15
<b>Е.С. РЕМБЕЗА, Т.В. СВИСТОВА, Н.Н. КОШЕЛЕВА, М.Б. РАСУЛОВА</b> Гетероструктуры металлооксид-кремний, как перспективные структуры для создания солнечных элементов.....	24
<b>О.О. МАМАТКАРИМОВ, В.Х. QUCHQAROV, М.А. ERGASHEV, А.А. XOLMIRZAYEV</b> Yarimo'tkazgich moddalariga asoslangan konvertorlarni ishlab chiqishda va uning asl parametrlarini saqlanishini o'rganish xossalari.....	28
<b>S.Z. ZAINABIDINOV, H.J. MANSUROV, N.YU. YUNUSALIEV</b> Photoelectric Properties of n-ZnO/p-Si Heterostructures.....	34
<b>Х.Б. АШУРОВ, А.А. ЗАРИПОВ, А.А. РАХИМОВ, У.Ф. БЕРИДЕВ, И.Ж. АБДИСАИДОВ, М.М. АДИЛОВ</b> Методы синтеза никелевого нанокатализатора для получения углеродных нанотрубок.....	39
<b>Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, М.М. ШОАБДУРАХИМОВА</b> Особенности автоколебаний тока в компенсированном кремнии и их применение в электронике.....	46
<b>Ш.Б. УТАМУРАДОВА, Ж.Ж. ХАМДАМОВ, В.Ф. ГРЕМЕНOK, К.А. ИСМАЙЛОВ, Х.Ж. МАТЧОНОВ, Х.Ю. УТЕМУРАТОВА</b> Комбинационное рассеяние света в монокристаллическом Si, легированного атомами Gd.....	54
<b>N.N. ABDURAZAKOV, R. ALIEV</b> Power load forecasting using linear regression method of machine learning: Andijan regional case.....	58
<b>И. Н. КАРИМОВ, М. ФОЗИЛЖОНОВ, А.Э. АБДИКАРИМОВ</b> Вольт-фарадные характеристики SOI FINFET структуры.....	63
<b>О.А. АБДУЛХАЕВ, А.З. РАХМАТОВ</b> Низковольтные ограничители напряжения на основе структур с эффектом смыкания.....	67
<b>SH.X. YO'LCHIYEV, B.D. G'ULOMOV, J.A. O'RINBOYEV</b> ZnO va ZnO:Al yuqqa plyonkalarini sintez qilish va ularni fizik xossalari o'rganish.....	75
<b>Ш.Т. ХОЖИЕВ, С.Ф. КОВАЛЕНКО, С.Е. МАКСИМОВ, В.М. РОТШТЕЙН, О.Ф. ТУКФАТУЛЛИН, Б.Л. ОКСЕНГЕНДЛЕР, Ш.К. КУЧКАНОВ</b> Кластеры $Y_n^+$ и $Y_nO_m^+$ , распыленные ионной бомбардировкой: эксперимент и теоретические аспекты.....	79

<b>M. RASULOVA</b>	
Application of Solution of the Quantum Kinetic Equations for Renewable Energy problem.....	85
<b>A.A.МИРЗААЛИМОВ, Р.АЛИЕВ, Н.А.МИРЗААЛИМОВ</b>	
разработка высокоэффективных и ресурсосберегающих конструкций кремниевых высоковольтных фотоэлектрических устройств.....	89
<b>D.G' KHAJIBAEV, B.Ya. YAVIDOV</b>	
On correlation of $T_c$ and Cu-O <sub>apex</sub> distance in single layered cuprates.....	97
<b>A. АБДУЛВАХИДОВ, С.ОТАЖОНОВ, Р.ЭРГАШЕВ</b>	
Фоточувствительность солнечных элементов гетероструктуры p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe с глубокими примесными уровнями.....	102
<b>М.К. КУРБАНОВ, К.У. ОТАБАЕВА, Д.У. ХУДОЙНАЗАРОВА</b>	
Распыление пленок льда при бомбардировке ионами Ag+.....	107
<b>H.O. QO'CHQAROV S.B. FAZLIDDINOV B.B.BURXONJANOV</b>	
Simmetrik bo'lgan silikon diodning statik parametrlarini hisoblash p-n-uch nuqtali zaryadlangan nuqsonlarning $\delta$ -qatlami o'tish.....	113
<b>N.Yu. SHARIBAYEV, B.M. BAXROMOV R.M. JALALOV A.A. YUSUFJONOV</b>	
Study of electrophysical properties of semiconductor materials based on lead-selenium.....	120
<b>Ш.К.КУЧКАНОВ, Х.Б.АШУРОВ, Б.М.АБДУРАХМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ, О. Э. КИМИЗБАЕВА, Ш.А.МАХМУДОВ</b>	
О роли структурных дефектов в процессах генерации при нагреве эдс и носителей заряда в эпитаксиальных плёночных кремниевых p-n-структурах.....	125
<b>S.Z. ZAYNABIDINOV, I.M. SOLIYEV, SH.K. AKBAROV</b>	
Kremniy monokristallarida elektro noaktiv nikel va kislorod atomlarining o'zaro tasirlashuvi.	128
<b>M.A.MUYDINOVA, G.J. MAMATOVA</b>	
Yarimo'tkazgich plastinalar sirti va p-n strukturalarning optik xususiyatlari va ularni takomillashtirish usullari.....	132
<b>L.O.OLIMOV, I.I. ANARBOYEV</b>	
Kremniy granulari asosida termoelektrik material samaradorligini oshirish mexanizimi.....	136

## Механизмы формирования квантово-размерных нанобъектов в многокомпонентных структурах GaAs/Ge/ZnSe и GaAs/Si/ZnSe

**С.З. Зайнабидинов, А.Й. Бобоев, Б.М. Эргашев**

Андижанский государственный университет им. З.М. Бабура.

**Аннотация:** Показана возможность получения твердого раствора  $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$  с квантовыми точками методом жидкофазной эпитаксии из оловянного раствора-расплава, также получения путем управления их параметрами эффективного и доступного солнечного элемента на основе GaAs и его твердых растворов.

**Ключевые слова:** жидкофазные, пленка, нанокристалл, гетероструктура, полупроводник, твердый раствор.

**Введение.** В связи с развитием нанотехнологий и актуальностью исследований нанобъектов, в частности получение нанокристаллитов, т.е. полупроводниковых квантовых точек представляет интерес, как для фундаментальной физики, так и для потенциальных применений в электронных и оптоэлектронных приборах.

Исследование посвящено выращиванию и исследованию структурных и оптических свойств твердого раствора  $(\text{GaAs})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$  с квантовыми точками ZnSe на основе GaAs [1-4]. Интерес к этим объектам обусловлен их уникальными физическими свойствами, связанными с атомоподобным энергетическим спектром КТ и возможностью изготовления на их основе оптоэлектронных приборов.

Целью настоящей работы является исследование особенностей формирования квантовых точек при кристаллизации в процессе методом жидкофазной эпитаксии.

**Механизмы образования квантовых точек ZnSe в твердых растворах  $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$  при жидкофазной эпитаксии.** Выращивание эпитаксиальных структур с квантовыми точками (КТ) осуществлялось в процессе жидкофазной эпитаксии методом принудительного охлаждения. Суть используемого метода принудительного охлаждения состоит в том, что подложка находится лицевой поверхностью в контакте с насыщенным раствором-расплавом при выбранной температуре  $T$ , за время  $\tau$  на лицевой поверхности подложки происходит кристаллизация эпитаксиального нанослоя с КТ. В этом случае движущей силой процесса кристаллизации является разность химических потенциалов атомов кристаллизующего вещества в жидких ( $\mu_L$ ) и твердых ( $\mu_S$ ) фазах. Так как постоянная решетки материала квантовой точки  $a_2$  ( $a_{2,\text{ZnSe}}=5.66 \text{ \AA}$ ) существенно отличается от постоянной решетки базового полупроводника  $a_1$  ( $a_{1,(\text{GaAs})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x} = 5.4595 \text{ \AA}$ ), то на гетерогранице субкристаллитов (блоков) и эпитаксиальный слоев, при формировании КТ, возникают сдвиговые механические напряжения. Эти механические напряжения могут быть выражены через упругую энергию  $U(x)$ , приходящуюся на один атом квантовой точки с координатой  $x$ , где  $0 \leq x \leq d/2$ ,  $d$  – диаметр основания квантовой точки. Тогда разность химических потенциалов будет определяться выражением[5]:

$$\Delta\mu_{ST} = \mu_L - \mu_S - U(x) = \Delta\mu - U(x) \quad (1)$$

При  $U > \Delta\mu$  процесс кристаллизации сменяется на процесс растворения, так как  $\Delta\mu_{ST}$  становится отрицательной величиной. Равенство  $U = \Delta\mu$  определяет максимально допустимые механические напряжения в квантовой точке. Параметр решетки базового полупроводника  $a_{1,\text{GaAsGe}}$  и материала квантовой точки  $a_{2,\text{ZnSe}}$  не зависят от температуры, максимальное значение диаметра основания ( $d$ ), зарождающейся квантовой точки, при данных условиях выращивания может быть определено из выражения  $U\left(\frac{d}{2}\right) = \Delta\mu$  в

виде [6]:

$$d = 2 \sqrt{\frac{\Delta\mu(a_1 + a_2)a_1a_2N_s}{G(a_1 - a_2)^2}} \quad (2)$$

где  $N_s$  – число атомов на единицу поверхности,  $G$  – модуль сдвига. Так как зародыши, образующиеся на гетерогранице субкристаллитов (блоков) эпитаксиальных слоев, представляют собой сферические сегменты, радиус кривизны которых соответствует радиусу гомогенного критического зародыша, образованного в жидкой фазе при тех же условиях кристаллизации, то расчет радиуса кривизны зародыша вычисляется по формуле:

$$r = \frac{2\sigma M}{\rho RT \ln \frac{C}{C_0}} \quad (3)$$

йилларда кимёвий ва газ сенсорлари, оптик ва магнит хотира курилмалари, ультрабинафша нурли диодлар, куёш батареялари, пьезоэлектрик ўтказичлар, фотодиодлар, фотодетекторлар, шаффоф ўтказувчан оксидлар, ва энергия йиғиш тизимлари каби кўплаб где  $\sigma$  – межфазная поверхностная энергия в жидкой фазе,  $\rho$ ,  $M$  – плотность и молярная масса вещества зародыша;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $C$ ,  $C_0$  – концентрации базового полупроводника (GaAsGe) и КТ (ZnSe) в пересыщенном и равновесном растворах соответственно. Тогда высота  $h$  гетерогенного зародыша КТ будет определяться выражением:

$$h = r \left[ 1 - \left( 1 - \frac{d^2}{(2r)^2} \right) \right] \quad (4)$$

В процессе роста зародыша КТ происходит увеличение механических напряжений в слое материала КТ (ZnSe), прилегающего к гетерогранице, до значений, соответствующих упругим постоянным объемного слоя GaAsGe. Из-за того, что напряжения в КТ имеют градиент, направленный по нормали к плоскости базового полупроводника, у основания КТ при  $\mu_{ST} < 0$  образуется криволинейный фронт травления боковой поверхности КТ. Это в свою очередь изменяет условие локального равновесия фаз вблизи гетерограницы по сравнению с плоским фронтом травления[7].

Таким образом, при образовании механически напряженного смачивающего слоя происходит формирования массивов квантовых точек приповерхностных области базового полупроводника.

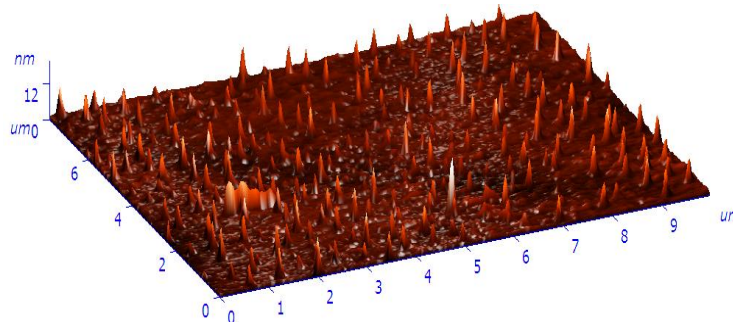


Рис. 1. АСМ изображение эпитаксиального слоя  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$

**Экспериментальные результаты и их обсуждения.** Для экспериментального исследования поверхностные состояние эпитаксиальные пленки с КТ ZnSe на основе твердого раствора  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$ . Эпитаксиальные пленки были получены на GaAs подложке с удельным сопротивлением 250 Ом·см и толщиной 350 мкм n-типа проводимости методом жидкофазной эпитаксии из раствора-расплава (Sn–Si–ZnSe) в атмосфере очищенного палладием водорода. Начальная температура кристаллизации эпитаксиального слоя составляла 730 °С, скорость охлаждения раствора-расплава ~1 °С/мин. Выращенные слои имели толщину ~ 10 мкм, удельное сопротивление 0,1 Ом·см, p-типа

проводимости. Исследования поверхности проводились с использованием промышленного атомно-силового микроскопа (АСМ) „Solver-NEXT“, позволяющего измерять рельеф поверхности, распределение потенциала по поверхности. Шаг сканирования определялся выбором линейных размеров области сканирования и составлял (256 x 256). Рельеф поверхности эпитаксиальных пленок  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$  изучался с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ). На рис. 1 показано трехмерное АСМ изображение эпитаксиальной пленки. Видно, что на поверхности образуются отдельные наноструктуры различного размера. Анализ показал, что диаметр основания островков варьируется в интервале до 100 нм, а высота от 3 до 12 нм. При эпитаксиальном наращивании различных полупроводниковых материалов, энергия деформации, вызванная несоответствием параметров кристаллической решетки контактирующих полупроводников, является основным фактором, для формирования самоорганизующихся трехмерных островков [8]. Поскольку рассогласование постоянных решеток для систем GaAs/ZnSe и GaAs/Ge (0,323%) одинаково, то возможно формирование квантовых точек как ZnSe, так и Ge на поверхности GaAs. В работе [9] нами было показано, что эпитаксиальные пленки  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$ , выращенные на GaAs подложке имели совершенную монокристаллическую структуру с ориентацией (100). В пленке присутствовали когерентно расположенные нанокристаллиты от ZnSe с параметром решетки  $a_{\text{ZnSe}} = 5.667 \text{ \AA}$  и с размерами 59 по направлениям (100), соответственно, а также от Ge с параметром решетки  $a_{\text{Ge}} = 5.67 \text{ \AA}$  и размерами 44 нм по направлениям (100), соответственно. Заметим, что параметр решетки нанокристаллитов ZnSe в эпитаксиальной пленке  $\sim 0,22\%$  больше чем его табличное значение, что возможно обусловлено деформацией кристаллической решетки эпитаксиальной пленки. Размеры наноструктур (квантовых точек), полученные исследованиями АСМ на поверхности пленки и нанокристаллитов, полученная рентгеновская дифракция в эпитаксиальной пленке имела близкие значения. На основе этих данных, а также результатов структурных анализов исследованных структур можно сделать вывод о том, что наблюдаемые наноструктуры на поверхности эпитаксиального слоя обусловлены квантовыми точками ZnSe.

Таким образом, показана возможность получения твердого раствора  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$  с квантовыми точками методом жидкофазной эпитаксии. Управляя параметрами квантовых точек, а также  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$  гетероструктур, можно разработать эффективный и доступный солнечный элемент на основе GaAs и его твердого раствора.

### Литература

1. A. S. Saidov, S. Z. Zainabidinov, M. U. Kalanov, A. Y. Boboev, B. R. Kutlimurotov. Applied Solar Energy. 2015, Volume 51, Issue 3, pp 206-208.
2. Зайнабидинов С.З., Саидов А.С., Каланов М.У., Бобоев А.Й. ДАН РУз, 2015, № 3, ст. 18-21.
3. А.Й.Бобоев, С.З. Зайнабидинов, А.С.Саидов, М.У.Каланов. УФЖ. 2015. Вып.17. №4. Ст.218-224.
4. S. Zainabidinov, M. Kalanov, A. Boboev. Structural characteristics of n-GaAs – p-(GaAs)<sub>1-x-y</sub>(Ge<sub>2</sub>)<sub>x</sub>(ZnSe)<sub>y</sub> heterostructures. /Международная конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» 13-14 июня 2017 г. ст. 107-110.
5. И. Е. Марончук, А. И. Марончук, Т. Ф. Кулюткина, М. В. Найденкова, И. В. Чорный, Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, № 12: 97 (2005).
6. Леденцов Н.Н., Устинов В.М., Шукин В.А., Копьев П.С., Алферов Ж.И., Бимберг Д., ФТП, 1998. 32, № 4. 385-411.
7. Марончук И.Е., Кулюткина Т.Ф., Марончук И.И., Быковский С.Ю. Жидкофазная эпитаксия и свойства наногетероструктур на основе соединений III-V. Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. 2012. Том 10 № 1. С. 77-88.
8. Дубровский В.Г., Теория формирования эпитаксиальных наноструктур. С. 486, (Москва: Физматлит: 2009).
9. Zainabidinov, A.S. Saidov, A.Yu. Leiderman, M.U. Kalanov, Sh.N. Usmonov and A. Yu. Boboev. Semiconductors, 2016, Vol. 50, No. 1, pp. 59–65.