

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 декабря
0452 рақам билан рўйхатга олинган.

Нашр индекси: 344

Нашр учун масъул:
А.Й.Бобоев

Босишига руҳсат этилди:

27.12.2019.

Қоғоз бичими: 60x81 1/8

Босма табоғи: 13,5

Офсет босма. Офсет қоғози.

Адади: 110 дона.

Баҳоси келишилган нарҳда.

Буюртъя №: 165.

“Муҳаррир” 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 Расмий сайт: 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

С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАШЕВ

Механизмы формирования квантово-размерных нанообъектов в многокомпонентных структурах GaAs/Ge/ZnSe и GaAs/Si/ZnSe..... 7

**М.Х.АШУРОВ, Б.Л.ОКСЕНГЕНДЛЕР, С.Х.СУЛЕЙМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ,
З.И.КАРИМОВ, Н.Н.НИКИФОРОВА, Ф.А.ИСКАНДАРОВА**

Современные аспекты радиационной деградации твердых тел и биообъектов..... 10

**М.Т.НОРМУРАДОВ, Е.Н. ВЛАСОВА, К.Т.ДОВРАНОВ, Д.А. НОРМУРОДОВ,
Х.Т. ДАВРАНОВ**

Измерение оптических параметров, диэлектрических материалов, созданных низкоэнергетическим ионно-плазменным методом..... 15

Е.С. РЕМБЕЗА, Т.В. СВИСТОВА, Н.Н. КОШЕЛЕВА, М.Б. РАСУЛОВА

Гетероструктуры металлооксид-кремний, как перспективные структуры для создания солнечных элементов..... 24

**О.О. МАМАТКАРИМОВ, В.Х. QUHQAROV, М.А. ERGASHEV, А.А.
ХОЛМИРЗАЕВ**

Yarimo'tkazgich moddalariga asoslangan konvertorlarni ishlab chiqishda va uning asl parametrlarini saqlanishini o'rganish xossalari..... 28

S.Z. ZAINABIDINOV, Н.Ж. MANSUROV, Н.Ю. YUNUSALIEV

Photoelectric Properties of n-ZnO/p-Si Heterostructures..... 34

**Х.Б.АШУРОВ, А.А. ЗАРИПОВ, А.А.РАХИМОВ, У.Ф.БЕРИДЕВ, И.Ж.
АБДИСАИДОВ, М.М.АДИЛОВ**

Методы синтеза никелевого нанокатализатора для получения углеродных нанотрубок..... 39

Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, М.М.ШОАБДУРАХИМОВА

Особенности автоколебаний тока в компенсированном кремнии и их применение в электронике..... 46

**Ш.Б.УТАМУРАДОВА, Ж.Ж.ХАМДАМОВ, В.Ф.ГРЕМЕНОК, К.А.ИСМАЙЛОВ,
Х.Ж.МАТЧОНОВ, Х.Ю.УТЕМУРАТОВА**

Комбинационное рассеяние света в монокристаллическом Si, легированного атомами Gd..... 54

N.N. ABDURAZAKOV, R. ALIEV

Power load forecasting using linear regression method of machine learning: Andijan regional case..... 58

И. Н. КАРИМОВ. М. ФОЗИЛЖОНОВ. А.Э.АБДИКАРИМОВ

Вольт-фарадный характеристики SOI FINFET структуры..... 63

О.А. АБДУЛХАЕВ, А.З. РАХМАТОВ

Низковольтные ограничители напряжения на основе структур с эффектом смыкания..... 67

SH.X. YO'LCHIYEV, B.D. G'ULOMOV, J.A. O'RINBOYEV

ZnO va ZnO:Al yurqa plyonkalarini sintez qilish va ularni fizik xossalari o'rganish..... 75

**Ш.Т.ХОЖИЕВ, С.Ф.КОВАЛЕНКО, С.Е.МАКСИМОВ, В.М.РОТШТЕЙН,
О.Ф.ТУКФАТУЛЛИН, Б.Л.ОКСЕНГЕНДЛЕР. Ш.К.КУЧКАНОВ**

Кластеры Y_n^+ И $Y_nO_m^+$, распыленные ионной бомбардировкой: эксперимент и теоретические аспекты..... 79

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

Механизмы формирования квантово-размерных нанообъектов 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 $(\text{GaAs})_{1-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ 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 нанообъектов, 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 $(\text{GaAs})_{1-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ 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 τ на лицевой поверхности подложки происходит кристаллизация эпитаксиального нанослоя с КТ. В этом случае движущей силой процесса кристаллизации является разность химических потенциалов атомов кристаллизуемого вещества в жидких (μ_L) и твердых (μ_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 қурилмалари, ултрабинафша нурли диодлар, қүёш батареялари, пиезоэлектрик ўтказичлар, фотодиодлар, фотодетекторлар, шаффофф ўтказувчан оксидлар, ва энергия йиғиши тизимлари каби күплаб где σ – межфазная поверхностная энергия в жидкой фазе, ρ , 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 областей базового полупроводника.

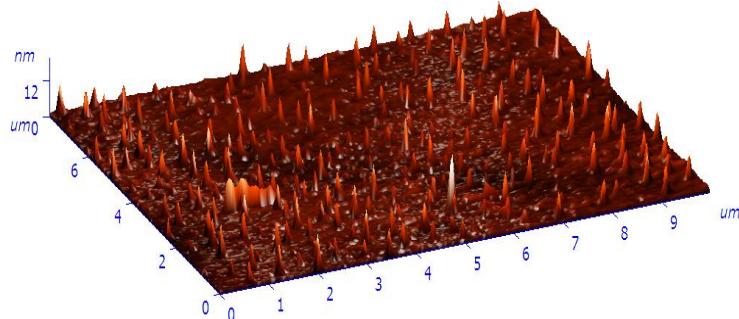


Рис. 1. ACM изображение эпитаксиального слоя $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$

Экспериментальные результаты и их обсуждения. Для экспериментального исследования поверхностные состояния 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 °C, скорость охлаждения раствора-расплава ~ 1 °C/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 ~ на 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 эпитаксиальные слои 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 жидкофазное 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, Сайдов А.С., Каланов М.У., Бобоев А.Й. ДАН РУз, 2015, № 3, ст. 18-21.
3. А.Й.Бобоев, С.З. Зайнабидинов, А.С.Сайдов, 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)_{1-x-y}(Ge₂)_x(ZnSe)_y 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., Щукин 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.