

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДОГО РАСТВОРА (GAAS)<sub>1-x</sub>(ZNSE)<sub>x</sub> ВЫРАЩЕННОГО ИЗ ЖИДКОЙ ФАЗЫ****Усманов Ш.Н.**

Физика-технический институт АН РУз. г. Ташкент, Гулистанский Государственный Университет. г. Гулистан.

**Гаймазаров К.Г.**

Физика-технический институт АН РУз. г. Ташкент, Гулистанский Государственный Университет. г. Гулистан.

**Даминов Р.Ш.**

Физика-технический институт АН РУз. г. Ташкент, Гулистанский Государственный Университет. г. Гулистан.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7229042>

**Аннотация.** Получен эпитаксиальный слой варизонного твердого раствора (GaAs)<sub>1-x</sub>(ZnSe)<sub>x</sub>,  $0 < x < 0,80$  из оловянного раствора-расплава, ограниченного горизонтально расположенными подложками GaAs. Изучен состав и однородность твердого раствора. Приведены некоторые электрофизические параметры. Исследовано влияние гамма-облучения на вольтамперные характеристики nGaAs-p(GaAs)<sub>1-x</sub>(ZnSe)<sub>x</sub> структур. Показано, что при дозах облучения до  $10^4$  рад вольтамперная характеристика исследованных структур улучшается, которое объясняется уменьшением концентрации активно работающих рекомбинационных центров за счет возникновения дефект-примесных комплексов.

**Ключевые слова:** твердый раствор, раствор-раплав, подложка, эпитаксия, структура.

**ELECTROPHYSICAL AND SPECTRAL PROPERTIES OF A SOLID SOLUTION (GAAS)<sub>1-x</sub>(ZNSE)<sub>x</sub> GROWN FROM A LIQUID PHASE**

**Abstract.** An epitaxial layer of a graded-gap solid solution (GaAs)<sub>1-x</sub>(ZnSe)<sub>x</sub>,  $0 < x < 0.80$  was obtained from a tin solution-melt bounded by horizontally arranged GaAs substrates. The composition and homogeneity of the solid solution have been studied. Some electrophysical parameters are given. The effect of gamma irradiation on the current-voltage characteristics of nGaAs-p(GaAs)<sub>1-x</sub>(ZnSe)<sub>x</sub> structures has been studied. It is shown that at irradiation doses up to  $10^4$  rad, the current-voltage characteristic of the studied structures improves, which is explained by a decrease in the concentration of actively working recombination centers due to the appearance of defect-impurity complexes.

**Keywords:** solid solution, raplav solution, substrate, epitaxy, structure.

**ВВЕДЕНИЕ**

Современное развитие микро- и оптоэлектроники вызывает интерес к синтезу новых материалов в виде тонкопленочных твердых растворов замещения, в том числе и на основе полупроводниковых соединений  $A^3B^5$  и  $A^2B^6$ . Поскольку ширина запрещенной зоны и постоянная решетки таких соединений меняются в определенных пределах, то на их основе можно синтезировать полупроводниковые материалы с широким диапазоном электрических и фотоэлектрических свойств, получить сверхрешетки с квантовыми точками, разработать гетеропереходные структуры. На основе твердых растворов GaInAsSb, AlGaAsSb разработаны эффективные светодиоды [1] и быстродействующие

фотодиоды [2], работающие в спектральном диапазоне 1.5–4.8  $\mu\text{m}$ , в котором имеются линии поглощения паров воды,  $\text{CO}_2$ , азотсодержащих молекул ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ), молекул углеводородов и др. и, следовательно, они могут быть использованы для экологического и технологического контроля окружающей среды [3].

Несмотря на большой успех в исследовании и разработке различных оптоэлектронных приборов на основе полупроводниковых соединений  $\text{A}^3\text{B}^5$  и  $\text{A}^2\text{B}^6$ , в настоящее время практическое применение нашли только некоторые из них. Это связано с относительной сложностью их очистки и выращивания совершенных кристаллов, что делает их еще достаточно дорогостоящими по сравнению с элементарными полупроводниковыми материалами - германием и кремнием.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований по выращиванию и электрофизическим свойствам твердого раствора  $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ . Так как ширина запрещенной зоны твердого раствора  $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$  в зависимости от  $x$  варьируется от  $E_{g, \text{GaAs}} = 1.43 \text{ eV}$  до  $E_{g, \text{ZnSe}} = 2.67 \text{ eV}$ , на их основе могут быть разработаны оптоэлектронные приборы, работающие в ближней инфракрасной и видимой области спектра излучения.

#### Методика выращивания твердого раствора $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$

Твердые растворы  $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$  выращивались на монокристаллических GaAs подложках с ориентацией (100)  $p$  и  $n$  типа проводимости ( $p = 5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $n = 3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) методом жидкофазной эпитаксии по технологии, описанной в работе [4]. Подложки имели диаметр 20 mm и толщину  $\sim 400 \mu\text{m}$ . Для выращивания твердого раствора нами был использован кварцевый реактор вертикального типа с горизонтально расположенными подложками. Рост эпитаксиального слоя осуществлялся из малого объема оловянного раствора-расплава, ограниченного двумя подложками в атмосфере очищенного палладием водорода, что дало возможность минимизировать количество расходуемого раствора-расплава. Сначала в реакторе создавали вакуум до остаточного давления  $10^{-2} \text{ Pa}$ , затем в течение 15 min через реактор пропускался очищенный водород и после этого начинался процесс нагревания. Когда температура доходила до необходимого значения, система переключалась в автоматический режим. В течение 50–60 min производилась гомогенизация раствора-расплава. Потом подложки на графитовом держателе приводились в контакт с раствором-расплавом и после заполнения зазоров между подложками раствором-расплавом поднимались на 1 cm выше уровня раствора. Для приготовления жидкого раствора-расплава была изучена растворимости GaAs и ZnSe в Sn в интервале температур 720–650  $^\circ\text{C}$  методом потери веса образцов арсенида галлия и селенида цинка, помещенных в жидкое олово и выдержанных в нем до насыщения раствора. При этом учитывалось влияние GaAs на растворимость ZnSe. Состав раствора-расплава Sn–GaAs–ZnSe рассчитывался на основе литературных данных [5–6] и результатов предварительных опытов с учетом растворимости бинарных компонентов. При выбранных температурах Ga-As и Zn-Se находятся в жидком олове в виде молекул, что является важным для выращивания твердого раствора замещения.

Исходя из принципа подобия, т. е. подобные растворяются в подобном, можно предположить, что в начальный момент роста эпитаксиального слоя происходит

кристаллизация слоев арсенида галлия, поскольку при выбранной температуре эпитаксии раствор является насыщенным по отношению к GaAs. При более низких температурах создаются условия для выращивания твердого раствора  $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ , так как при этих температурах раствор-расплав на фронте кристаллизации становится пересыщенным арсенидом галлия и селенидом цинка. Образцы выращивались при различных значениях параметров жидкостной эпитаксии. Варьировалось расстояние между верхними и нижними подложками, начало и окончание температуры кристаллизации и скорость принудительного охлаждения оловянного раствора-расплава. Эпитаксиальные слои с наилучшими параметрами получались при расстоянии между верхними и нижними подложками 1–1.5 mm, температурном интервале от 700–710 °C до 640–650 °C и интервале скорости охлаждения 0.5–2 K/min. Выращенные пленки имели дырочный тип проводимости с  $p = (3-5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . В зависимости от параметров технологического процесса толщина выращенных пленок составляла от нескольких до 15  $\mu\text{m}$ .

#### Электрофизические и спектральные свойства твердого раствора $(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$

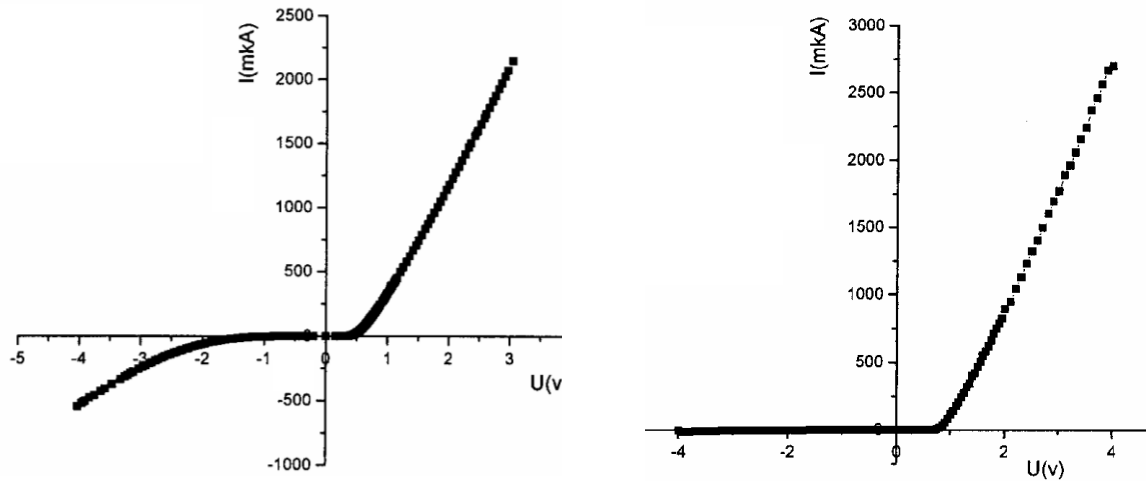
Изучены некоторые электрофизические свойства выращенного слоя твердого раствора. Определены удельное сопротивление, тип проводимости, холловская подвижность и концентрация носителей заряда при температуре 77 K:  $n=3,36 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $R_x=1,86 \cdot 10^2 \text{ см}^3/\text{K}$ ,  $\rho=9.61 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ,  $\mu_x=20 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ ; при температуре 300 K:  $n=1,1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $R_x=5,45 \cdot 10^2 \text{ см}^3/\text{K}$ ,  $\rho=0.18 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ,  $\mu_x=60 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , соответственно; тип проводимости дырочный.

Полученные структуры  $n\text{GaAs-p}(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$  были облучены  $\gamma$ -лучами изотопа  $^{60}\text{Co}$  с энергией  $\sim 1,25 \text{ МэВ}$  и мощностью 0,9 рад/с до дозы  $10^4$  рад.

На рис. 1. представлена темновая вольтамперная характеристика  $n\text{GaAs-p}(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$  структур в прямом и обратном направлениях, снятая при комнатной температуре. Из рис.1 видно, что зависимость темнового тока проявляет выпрямляющие свойства. При малых напряжениях (до 0,5 В) ток через структуры в прямом и обратном направлениях имеет близкие значения, это, по-видимому, обусловлено током утечки в p-n переходе. При больших напряжениях (от 0,5 до 3 В) улучшаются выпрямляющие свойства. В обратном направлении (начиная с 1,7 В) происходит мягкий пробой структуры, при этом увеличение значения тока с ростом напряжения в обратной ветви ВАХ, возможно обусловлено наличием дефектов разного типа играющие роль центров рекомбинации, локализованные в переходной области подложка-эпитаксиальная пленка, или в самом эпитаксиальном слое.

Рис.1. Вольтамперная характеристика  $n\text{GaAs-p}(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$  структур до облучения.

Рис.2. Вольтамперная характеристика  $n\text{GaAs-p}(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$  структур после гамма-облучения до дозы  $10^4$  рад.

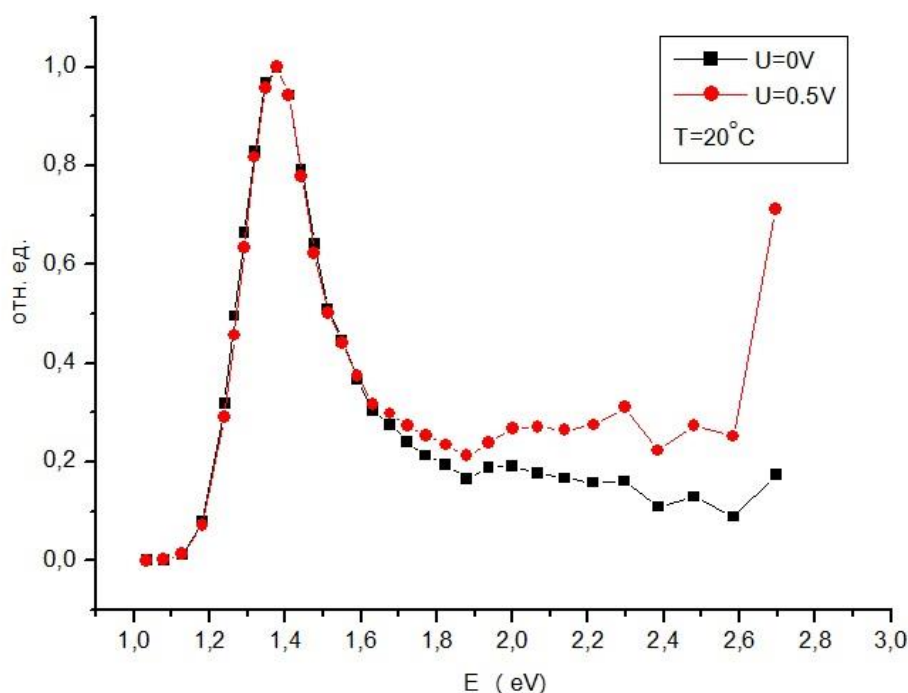


### ОБСУЖДЕНИЕ

После гамма-облучения до дозы  $10^4$  рад (рис.2) в структуре сохраняется выпрямляющие свойства, а значение тока в обратном направлении до 4 В почти не изменяется и имеет низкую величину. Такое изменение ВАХ исследованных структур, по-видимому, свидетельствует, что при облучении структуры дозой  $10^4$  рад происходит уменьшение концентрации активно работающих рекомбинационных центров ( $N_{\text{eff}}$ ). Дефекты, возникающие при радиационном облучении ( $N_{\text{rad}}$ ) взаимодействуя с активными примесными центрами ( $N_{\text{imp}}$ ) образуют дефект-примесные комплексы, которые уменьшают  $N_{\text{eff}}$ , так как:  $N_{\text{eff}} = N_{\text{imp}} - a \cdot N_{\text{rad}}$ , где  $a$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от типа радиационного излучения и от радиационных свойств материала. А при больших дозах концентрация радиационных дефектов будет настолько большим, что рекомбинация через них становится существенным, и опять будет расти  $N_{\text{eff}}$ .

Рис.2.

Спектральные характеристики  $n\text{GaAs-p(GaAs)}_{1-x}(\text{ZnSe})_x$



Спектральные характеристики были сняты на монохроматоре МДР-4 в режиме фотогенерации. В рис. 2. видно, что к различным структурам соответствует спектральные диапазоны. Максимумы чувствительности при комнатной температуре соответствует энергии квантов  $\lambda = 1.37$  ЭВ. При температуре жидкого азота пик спектральной чувствительности сдвигаются в стороны коротких волны, и соответствует энергии квантов  $\lambda = 1.47$  ЭВ

### ВЫВОДЫ

Таким образом, предварительно мы можем сделать вывод, что гамма-облучения дозой до  $10^4$  рад улучшает рекомбинационные характеристики  $n\text{GaAs-p}(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$  структур. Максимум чувствительности различных структур сдвинуты в длинноволновую область спектра по сравнению с максимумом чувствительности GaAs. Что означает участие в процессе фотогенерации атомов ZnSe.

### REFERENCES

1. А.Н. Баранов, Б.Е. Джуртанов, А.Н. Именков, А.А. Рогачев, Ю.М. Шерняков, Ю.П. Яковлев. ФТП **20**(12), 2217 (1986).
2. G. Bougnot, mF. De Lannoy. J. Electrochem. Soc. **135**, 783 (1988).
3. A. Mabbit, A. Parker. Sens. Rev. **16** (3), 38 (1996).
4. A.S. Saidov, A.Sh. Razzakov, V.A. Risaeva, E.A. Koschanov. Materials chemistry and physics **68**, 1 (2001).
5. В.М. Андреев, Л.М. Долгинов, Д.Н. Третьяков. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. Сов. Радио, М. (1975). 328 с.
6. М. Хансен, К. Андерко. Структуры двойных сплавов. Металлургиздат, М. (1962) т. II. 1488 с. [Пер. с англ.: М. Hansen, K. Anderko. Constitution of binary alloys, (Toronto-London-N.Y., 1958) v. II].

7. Горюнова Н.А., Федорова Н.Н. ФТТ №1. стр.344.1959.
8. Шевченко Е.Г. и др. Неорганические материалы №9 стр.35,1973
9. Саидов А.С. Гаимназаров К.Г. Разаков А.Ш. Письма в ЖТФ Т.27 вып.22.2001