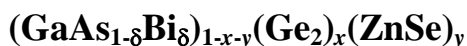


**А.Й.Бобоев, Ш.И.Одилов, Ж.А.Уринбоев, Ш.У.Турсунов,
К.Х.Марифжонов, А.А.Солиев**
Андижанский государственный университет им. З.М. Бабура
г. Андижан, Узбекистан.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОГО РАСТВОРА

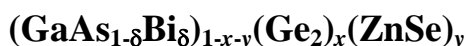


Аннотация: Методом жидкофазной эпитаксии синтезирована многокомпонентная пленка $(GaAs_{1-\delta}Bi_{\delta})_{1-x-y}(Ge_2)_x(ZnSe)_y$, которая является монокристаллической с ориентацией (111) и имеет сфалеритную структуру с параметром кристаллической решетки $a_f = 5.656 \text{ \AA}$.

Ключевые слова: Монокристалл, подложка, пленка, решетка, ориентация, рентгенограмма, микроискажение.

**A.Y.Boboyev, Sh.I.Odilov, J.A.Urinboyev, Sh.U.Tursunov,
K.Kh.Marifjonov, A.A.Soliyev**
Andijan State University named after Z. M. Babur,
Andijan, Uzbekistan.

STRUCTURAL FEATURES OF THE SOLID SOLUTION



Abstract: A multicomponent film $(GaAs_{1-\delta}Bi_{\delta})_{1-x-y}(Ge_2)_x(ZnSe)_y$, which is single-crystal with orientation (111) and has a sphalerite structure with a crystal lattice parameter $a_f = 5.656 \text{ \AA}$, has been synthesized by liquid-phase epitaxy.

Keywords: Single crystal, substrate, film, lattice, orientation, X-ray image, micro-distortion.

Как известно, гетероструктуры представляют собой один или несколько эпитаксиальных слоев различного состава, выращенных на подложке, и являются более сложным объектом исследований, чем монокристаллы элементарных полупроводников. Эксперименты по взаимодействию первичного пучка рентгеновских лучей с гетероструктурой показывают, что минимальная толщина гетероструктуры, необходимая для формирования дифракционной картины, может быть значительно меньше, чем глубина

проникновения рентгеновского пучка для данного материала. Это дает широкую возможность получения дифракционных линий одновременно от двух и более слоев гетероструктуры. Ясно, что в случае равенства постоянных решеток контактирующих слоев, дифракционные линии их будут совпадать (при отсутствии разориентации одного из слоев относительно другого). Если же имеет место рассогласование постоянных решеток, то линии сдвинутся друг относительно друга на значительное расстояние по углу рассеяния [1-3]. Поскольку физические свойства гетероструктуры и характеристики приборов на ее основе зависят от наличия напряжений и дефектов в эпитаксиальных слоях, определение их структурных параметров является важным как с приборной, так и технологической точек зрения. В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований по структурным характеристикам полупроводникового твердого раствора $(\text{GaAs}_{1-\delta}\text{Bi}_{\delta})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$.

Многокомпонентный твердый раствор $(\text{GaAs}_{1-\delta}\text{Bi}_{\delta})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ выращен методом жидкофазной эпитаксии из висмутного раствора-расплава. В качестве подложек использованы монокристаллические пластинки GaP *n*-типа проводимости, имеющие кристаллографическую ориентацию (111). Химический состав раствора-расплава определен на основе результатов предварительно проведенных экспериментальных исследований [4] жидкофазной системы Bi-GaAs-Ge-ZnSe. Рост слоев осуществляли принудительным охлаждением в атмосфере очищенного палладием водорода со скоростью 1–1.5 град/мин. Кристаллизацию слоев проводили в интервале температур 750–650°C. Выращенные эпитаксиальные пленки имели различные толщины до 10 мкм и *p*-тип проводимости с удельными сопротивлениями около 10 Ом·см и концентрацией носителей $1.5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Структурные исследования выращенных пленочных твердых растворов и подложек были выполнены на рентгеновском диффрактометре 7000 (XRD-7000, Sahimdzu, Japan, $\text{Cu}_{K\alpha}$ -излучение, $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) по схеме θ - 2θ в режиме пошагового сканирования [5].

На рис. 1 представлена рентгенограмма выращенной нами эпитаксиальной пленки $(\text{GaAs}_{1-\delta}\text{Bi}_\delta)_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$. Видно, что на дифракционной картине присутствуют несколько селективных структурных рефлексов с различной по величине интенсивностью. Анализ этих результатов показал, что на рентгенограмме присутствует серия селективных рефлексов типа $\{hkl\}$ (где $h, k, l=1, 2, 3, \dots$) с большой интенсивностью; структурные линии $(111)_{\text{GaAs, Ge, ZnSe}}$ с $d/n = 3.44 \text{ \AA}$, $(222)_{\text{GaAs, Ge, ZnSe}}$ с $d/n = 1.631 \text{ \AA}$ и $(333)_{\text{GaAs, Ge, ZnSe}}$ с $d/n = 0.9422 \text{ \AA}$, которые свидетельствуют о том, что поверхность подложки соответствует кристаллографической плоскости (111). Их β -составляющие видны при углах рассеяния $2\theta_{(200)} = 25.6^\circ$, $2\theta_{(400)} = 52.8^\circ$ и $2\theta_{(600)} = 83.5^\circ$ соответственно. Кроме того, на рентгенограмме появились новые структурные линии с различными интенсивностями: $(112)_{\text{GaAs}}$ с $d/n = 2.305 \text{ \AA}$, ($2\theta = 38.5^\circ$), $(110)_{\text{Bi}}$ с $d/n = 2.273 \text{ \AA}$ ($2\theta = 39.4^\circ$), $(220)_{\text{GaAs, Ge, ZnSe}}$ с $d/n = 2.001 \text{ \AA}$ ($2\theta = 45.19^\circ$), $(220)_{\text{Bi}}$ с $d/n = 1.868 \text{ \AA}$ ($2\theta = 48.46^\circ$), $(116)_{\text{Bi}}$ с $d/n = 1.491 \text{ \AA}$ ($2\theta = 62.16^\circ$), $(331)_{\text{GaAs, Ge, ZnSe}}$ с $d/n = 1.297 \text{ \AA}$ ($2\theta = 72.68^\circ$) и $(422)_{\text{GaAs, Ge, ZnSe}}$ с $d/n = 1.155 \text{ \AA}$ ($2\theta = 83.46^\circ$). На рентгенограмме также видно присутствие еще трех, слабо запрещенных отражений $(003)_{\text{Bi}}$ с $d/n = 3.955 \text{ \AA}$ ($2\theta = 22.3^\circ$), $(400)_{\text{GaAs, Ge, ZnSe}}$ с $d/n = 1.413 \text{ \AA}$ ($2\theta = 66.1^\circ$) и $(420)_{\text{GaAs, ZnSe}}$ с $d/n = 1.245 \text{ \AA}$ ($2\theta = 75.1^\circ$), наблюдаемых также для сфалеритных структур. Соотношение их интенсивностей к интенсивностям основного рефлекса (111) оценивается как $I(003)/I(400) = 5.1 \times 10^{-4}$, $I(400)/I(111) = 5.7 \times 10^{-4}$ и $I(420)/I(111) = 2 \cdot 10^{-4}$ соответственно. Эти значения несколько больше величины 10^{-4} , соответствующей равномерному распределению примесей в алмазаподобной решетке [6]. Узкая ширина ($FWHM = 5.51 \times 10^{-3}$ рад) и большая интенсивность (2×10^5 имп·с⁻¹) основного рефлекса $(111)_{\text{GaAs, Ge, ZnSe}}$ свидетельствует о высокой степени совершенства кристаллической решетки твердого раствора, т.е. выращенная пленка является монокристаллической с ориентацией (111). Экспериментально определенная величина параметра решетки и размеры субкристаллитов (блоков) пленки,

оцененные по ширине данного пика, составили около $a_f = 0.5656$ нм и 62 нм соответственно.

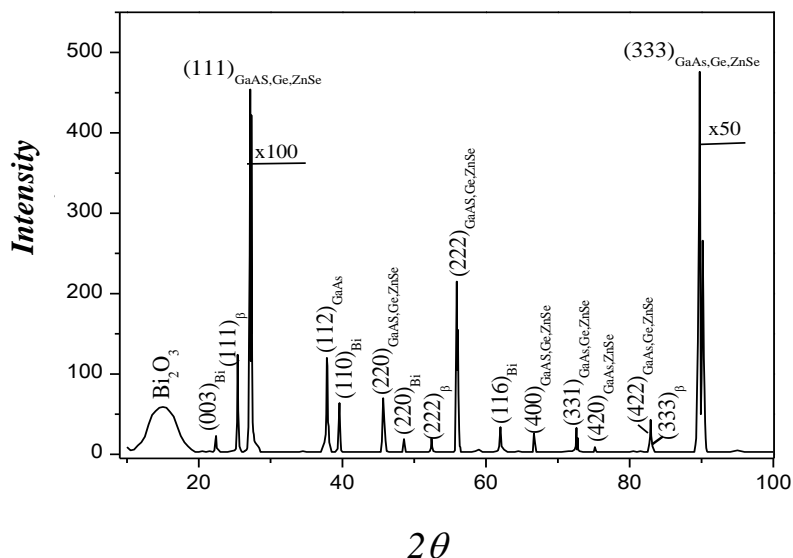
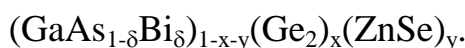


Рис.1. Рентгенограмма структуры эпитаксиальной пленки



Таким образом, определены оптимальные технологические режимы выращивания эпитаксиальных слоев твердых растворов $(\text{GaAs}_{1-\delta}\text{Bi}_{\delta})_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$ с высокой степенью совершенства. Выращенные пленки являются монокристаллическими с ориентацией (111), с размером блоков 62 нм, и имеют сфалеритную структуру, а параметр кристаллической решетки пленки составляет $a_f = 0.5656$ нм. Определены предварительные электрофизические параметры при 300 К: p -тип проводимости, концентрация и подвижность основных носителей заряда составляет $1.5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $435 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ соответственно.

Литература

- [1]. А.Н. Ефанов, В.П. Кладько. Металлофизика и новейшие технологии 28(5), 619 (2006).
- [2]. Р.Н. Кютт, М.П. Щеглов, М.П. Давыдов, А.С. Уськов, ФТТ 46(2), 363 (2004).
- [3]. П.В. Середин, А.В. Глотов, Э.П. Домашевская, И.Н. Арсентьев, Д.А. Винокуров, А.Л. Станкевич, И.С. Тарасов, ФТП 44(8), 1140 (2010).

[4]. S.Z. Zaynabidinov *et al.* Growth, Semiconductors 50, Issue 1, 59-65 (2016).

[5]. А.И. Блесман, В.В. Даньшина, Д.А. Полонянкин. Теоретические основы методов исследования наноматериалов (Омск, изд. ОмГТУ, 2017).

[6]. И.Л. Шулпина, Р.Н. Кютт, В.В. Ратников, И.А. Прохоров, И.Ж. Безбах, М.П. Щеглов, Журнал технической физики 80, Вып. 4, 105-114 (2010).