

УДК 621.382.133

ГЕТЕРОВАРИЗОННЫЕ СТРУКТУРЫ $Ga_{1-x}Al_xP/GaP$ НОВОГО ТИПАК. ф.-м. н. Д. Мелебаев¹, О. Ч. Аннаев¹, д. ф.-м. н. Ю. В. Рудь², д. ф.-м. н. В. Ю. Рудь³¹Физико-математический институт АНТ, г. Ашгабад, Туркменистан;²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,³Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия
dmelebay@yandex.ru

Разработаны технологические режимы для получения высококачественных активных варизонных слоев $Ga_{1-x}Al_xP/GaP$ ($0,15 \leq x \leq 0,70$) с использованием жидкостной эпитаксии. Предложенная технология обеспечивает повышение квантовой эффективности оптоэлектронных приборов.

Ключевые слова: гетероваризонные структуры, варизонная $m-s$ -структура, $Ga_{1-x}Al_xP$, $m-s$ -переход, фотоприемник.

Эпитаксиальная технология, развитая в последнее время, позволяет создавать $Ga_{1-x}Al_xP/GaP$ структуры для фотоэлектрических приборов разного типа, в том числе широкополосных и селективных фотоприемников ультрафиолетового излучения [1, 2] и солнечных элементов, применяемых для преобразования фиолетового и ультрафиолетового диапазонов спектра в каскадных системах [3]. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию структурных и фотоэлектрических параметров $Ga_{1-x}Al_xP/GaP$ гетероваризонных (ГВ) структур с целью выяснения влияния буферных слоев $Ga_{1-x}Al_xP$ ($0,35 \leq x \leq 0,80$) на качество активного варизонного слоя $Ga_{1-x}Al_xP$ ($0,15 \leq x \leq 0,70$).

Структура $n-Ga_{1-x}Al_xP/GaP$ (111) с буферными и активными варизонными слоями выращивалась методом жидкофазной эпитаксии [2]. Состав $Ga_{1-x}Al_xP$, по данным измерений на рентгеновском микроанализаторе, был варизонным – содержание AlP в слоях убывало от границы «слой — подложка» ($x_0=0,35-0,80$) к поверхности слоя в структурах 1—6 ($x_s=0,03-0,53$): градиент варизонного слоя $\nabla \vec{E}_0$ по минимальной энергии прямых оптических переходов для разных структур составлял 20—120 эВ/см.

Основные параметры $Ga_{1-x}Al_xP/GaP$ ГВ-структур определены при помощи микрорентгеноспектрального анализа и исследованием структур с потенциальным барьером типа металл-полупроводник ($m-s$) $Au-n-Ga_{1-x}Al_xP/GaP$ (см. рис. 1 и 2).

На основе микрорентгеновских данных было установлено, что между активным слоем $Ga_{1-x}Al_xP$ и подложкой GaP имеются буферные слои постоянного и переменного составов. Впервые обнаружена новая закономерность: в буферных слоях распределение содержания алюминия по толщине структуры линейно-ступенчатое (рис. 1, структуры 2—6).

$Ga_{1-x}Al_xP/GaP$ ГВ-структуры нового типа созданы в одном технологическом процессе с использованием единого насыщенного раствора-расплава Ga-Al-P. Перед осаждением раствора-расплава температура системы кратковременно повышалась на 5—25°C относительно температуры ликвидуса. При этом на границе раздела «подложка—раствор-расплав» возникают нелинейные эффекты, которые

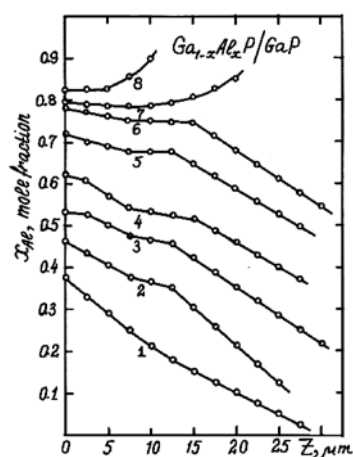


Рис. 1

приводят к образованию характерных ступенек (рис. 1, структуры 2—6, структура 1 — обычная), а структуры 7, 8 в этой работе не обсуждаются.

Показано, что при совместном использовании буферных слоев постоянного и переменного состава плотность наклонных дислокаций в структурах уменьшается. Это приводит к структурному со-

вершенству активного варизонного слоя (рис. 1, структуры 2 — 6), что доказывается увеличением диффузионно-дрейфовой длины неосновных носителей заряда L_p^+ .

При освещении варизонной структуры со стороны широкозонной части (рис. 2, а) реализуется селективный режим фоточувствительности (рис. 2, в), т. е. удовлетворяется условие $d > L_p^+ + W_0$ (см. рис. 2, б) [4]. Согласно [5], в области сильного оптического поглощения ($E_{0max} > hv > E_{0min}$) зависимость I_{f0} от hv коротковолновой части спектра выражается формулой

$$I_f = A_4 \Phi_0 (hv) e^{-hv/L_p^+ |\nabla E_0|}, \quad (1)$$

где $A_4 = \text{const}(hv)$, $\Phi_0(hv)$ — плотность потока фотонов на освещаемой поверхности. Использование формулы (1) дает возможность непосредственно из спектральной характеристики определить диффузионно-дрейфовую длину неосновных носителей заряда L_p^+ по спаду фототока в коротковолновой части спектра (см. рис. 2, в). Для этого случая формула (1) преобразуется к виду

$$L_p^+ = (hv_2 - hv_1) / \ln \frac{I_{f1}}{I_{f2}} \cdot |\nabla E_0|. \quad (2)$$

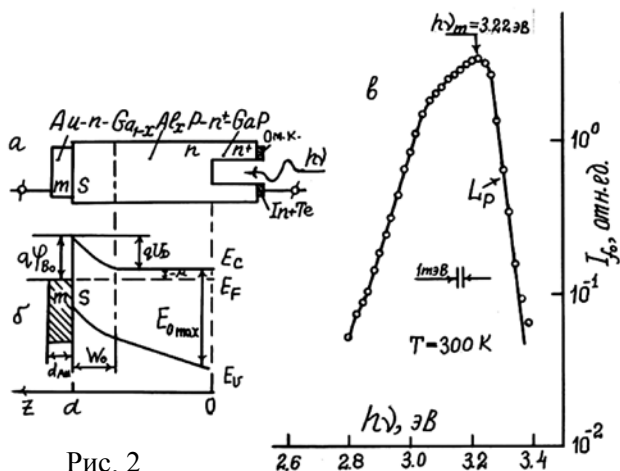


Рис. 2

Сопоставление спектров фототока варизонных структур $\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P/GaP}$ в этой области энергии фотонов (рис. 2, в, $x_s=0,62$, $hv > hv_m$) с формулой Волкова—Царенкова [5] при известных значениях $|\nabla E_0|$ позволило определить значение L_p^+ для различных структур. Эти значения составляли $L_p^+ = 3—6$ мкм. Как известно, для качественных $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P/GaP}$ структур значение их L_p^+ составляло 2,5 мкм [6].

Разработанная технология обеспечивает получение высококачественных активных варизонных слоев $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P/GaP}$ ($0,15 \leq x \leq 0,70$) и повышение квантовой эффективности приборов на их основе, в том числе фотоприемников различного назначения.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бланк Т. В., Гольдберг Ю. А., Полупроводниковые фотоэлектропреобразователи для ультрафиолетовой области спектра // ФТП.— 2003.— Т. 37, № 9.— С. 1025—1055.
2. Мелебаев Д., Аннаев О. Ч. Селективная фоточувствительность в варизонных поверхностно-барьерных структурах $\text{Au-n-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P/GaP}$ // Тр. XIII МНПК «Современные информационные и электронные технологии».— Украина, г. Одесса.— 2012.— С. 292.
3. Абдукадыров М. А., Джуманиязов И. О., Муминов Р. А. Коррекция эффективной толщины базового слоя $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P/GaP}$ гетерофотопреобразователей в зависимости от состава твердого раствора // Гелиотехника.— 2011, № 4.— С. 35—37.
4. Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Именков А.Н. и др. Фотоэлектрический эффект в варизонных поверхностно-барьерных структурах // ФТП.— 1978.— Т.12, № 1.— С. 96—101.
5. Бывалый В. А., Волков А. С., Гольдберг Ю. А. и др. Фотоэлектрический эффект в варизонных поверхностно-барьерных структурах (теоретическое рассмотрение) // ФТП.— 1978.— Т.13, № 6.— С. 1110—1115.
6. Бессолов В. Н., Именков А. Н., Конников С. Г. и др. Квантовая эффективность пластически и упруго деформированных варизонных $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P p-n}$ -структур // ФТП.— 1983.— Т.17, № 12.— С. 2173—2176.

D. Melebayev, O. Ch. Annayev, Yu. V. Rud, V. Yu. Rud

A new type of $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P/GaP}$ variband heterostructures

The paper presents operating practices for obtaining high-quality active variband $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P/GaP}$ ($0,15 \leq x \leq 0,70$) layers by using liquid-phase epitaxy. The introduced technology provides enhancement of the quantum efficiency of optoelectronic devices.

Keywords: variband heterostructure, variband m-s structure, m-s junction, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$, photodetector.