

УДК 621.315

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР $n$ -GaP(GaAsP)/ $p$ -Si

Д. ф.-м. н. Н. Назаров<sup>1</sup>, к. ф.-м. н. И. Н. Туджанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Туркменский государственный университет им. Магтымгулы,

<sup>2</sup>Институт солнечной энергии АН Туркменистана

Туркменистан, г. Ашхабад

tirinan@yandex.ru

*Исследовалась плотность дислокаций в барьерных гомо- и гетероструктурах, имеющая большое значение для получения совершенных полупроводниковых материалов. При исследовании эпитаксиальных слоев GaP и GaAsP на Si-подложках с буферным эпитаксиальным слоем GaP было установлено существенное влияние на него как подложки Si, так и эпитаксиального слоя GaP. Определена красная граница фоточувствительности для структур  $n$ -GaP (GaAsP) / $p$ -Si.*

*Ключевые слова: гетероструктуры, плотность дислокаций, граница фоточувствительности.*

Одна из проблем в области современной твердотельной электроники и оптоэлектроники – это получение совершенных эпитаксиальных, гетероэпитаксиальных слоев полупроводниковых материалов и приборных структур на их основе. Поэтому особенно важен контроль в барьерных гомо- и гетероструктурах плотности дислокаций, которые оказывают заметное влияние на рабочие параметры приборных структур, а также изучение особенностей электрических и фотоэлектрических свойств этих структур.

Целью данной работы является исследование особенностей электрических и фотоэлектрических свойств гетероструктур GaP/Si и GaAsP/Si для разработки различных оптоэлектронных приборов на их основе.

Исследованные эпитаксиальные слои  $n$ -GaP(GaAsP) и  $p$ - $n$ -структуры на Si- и GaP-подложках создавались методом газофазной эпитаксии в хлоридной системе Ga(GaP)–PCl<sub>3</sub>–H<sub>2</sub>, Ga(GaAs)–AsCl<sub>3</sub>–H<sub>2</sub> [1–3]. Подложками для выращивания слоев GaP(GaAsP) служили полированные пластины  $p$ -Si, а также  $n(p)$ -GaP толщиной около 350–400 мкм, ориентированные в плоскости (100) с разориентацией около 2–4° в направлении [110]. Для удаления окидной пленки SiO<sub>2</sub> с поверхности кремниевых пластин непосредственно перед выращиванием буферного эпитаксиального слоя GaP кремниевые подложки подвергались газовому травлению при температуре 1150°C. Установлено, что при эпитаксиальном наращивании GaP(GaAsP) методом газофазной эпитаксии на Si-подложке, в отличие от GaP-подложки, сначала образовался приповерхностный переходной нанослой толщиной  $\Delta l=20$ –100 нм, а затем основной эпитаксиальный слой.

В результате исследования гетерограницы «слой — подложка» на электронном микроскопе было установлено, что после тонкого переходного слоя значительная часть образующихся на гетерогранице дислокаций резко релаксирует. Поэтому в функциональных анизотипных гетероструктурах, активная область которых совпадает с гетерограницей, влияние дислокаций и дефектов, возникающих на гетерогранице из-за рассогласования параметров решетки гетеропар, существенно по сравнению со структурами, в которых активная область удалена от гетерограницы.

Для получения данных о плотности дислокаций, влияющих на токопрохождение, был применен метод просвечивающей электронной микроскопии. Подготовка образцов для исследований проводилась традиционными способами с применением ионного травления. Изображение поперечного сечения образцов  $n$ -GaP (GaAsP)/ $p$ -Si и  $p$ - $n$ -GaP/ $n$ -GaP показывает, что обе области исследованных

структур содержат достаточно много дефектов (разного рода дислокации, дислокационные петли, преципитаты и т. п.). Однако статистическая обработка дает линейную плотность дислокаций, пересекающих  $p$ - $n$ -переход под углами, близкими к нормали,  $1,2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$  для структур  $n$ -GaP (GaAsP) / $p$ -Si и  $10^3 \text{ см}^{-1}$  для структур  $p$ - $n$ -GaP/ $n$ -GaP (на единицу длины границы), что соответствует плотности дислокаций в плоскости  $p$ - $n$ -перехода  $10^8$  и  $10^6 \text{ см}^{-2}$ .

С использованием метода двухкристальной рентгеновской дифрактометрии было изучено структурное совершенство эпитаксиальных слоев GaP и GaAsP на Si-подложках с буферным эпитаксиальным слоем GaP. Как показали результаты исследований, слои GaP и GaAsP заметно напряжены, и наблюдается значительное влияние на буферный эпитаксиальный слой GaP не только подложки Si, но и эпитаксиального слоя GaP. Например, параметры решетки слоя GaP ( $a=5,4514 \text{ \AA}$ ) больше, чем параметры решетки обычного фосфида галлия ( $a=5,4507 \text{ \AA}$ ). При этом параметры решетки эпитаксиального слоя  $\text{GaAs}_{0,25}\text{P}_{0,75}$  практически соответствуют параметрам решетки твердого раствора GaAsP такого состава.

Сделан сравнительный анализ вольт-амперных (рис.1, 2) и вольт-емкостных характеристик  $n$ -GaP(GaAsP)/ $p$ -Si структур, выращенных на подложках из Si и на подложках из GaP. На  $C^{-2}$ — $U$  характеристиках у всех вариантов  $n$ -GaP (GaAsP)/ $p$ -Si анизотипных гетероструктур при обратном напряжении от 0,5 до 1,5 В имеется излом, который наиболее вероятно обусловлен наличием на гетерогранице «слой — подложка» переходного нанослоя. Установлено, что механизм протекания тока имеет характерные туннельные признаки (температурная зависимость  $I_0$  — слабая, а  $\epsilon$  практически не зависит от температуры), т. е. ток является избыточно-туннельным.

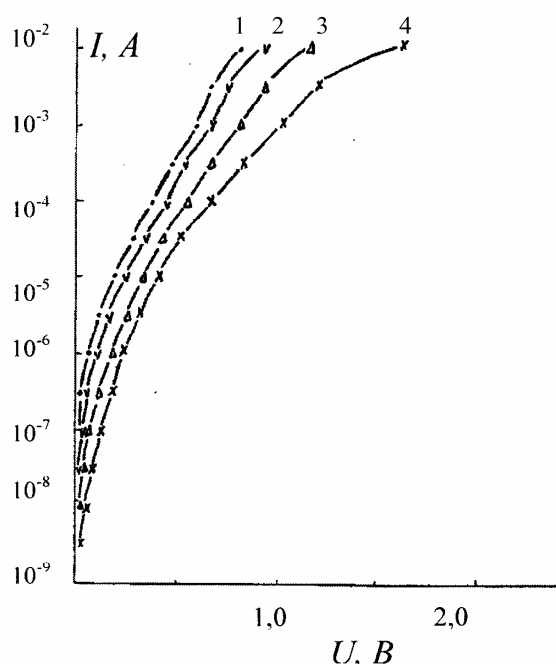


Рис. 1. Типичные вольт-амперные характеристики  $n$ -GaAs<sub>0,25</sub>P<sub>0,75</sub>/ $p$ -Si-структуры при различных значениях температуры (в К): 1 – 300, 2 – 245, 3 – 190, 4 – 140

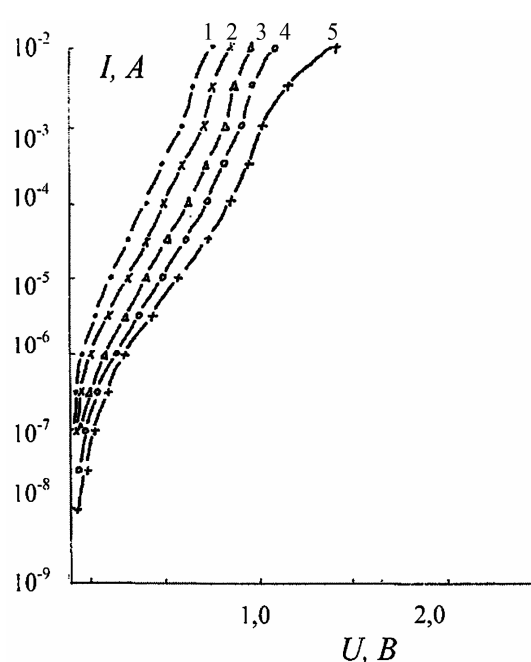


Рис. 2. Типичные прямые вольт-амперные характеристики  $n$ -GaP/ $p$ -Si-структуры в области малых прямых токов при различных значениях температуры (в К): 1 – 300, 2 – 230, 3 – 160, 4 – 120, 5 – 77

Красная граница фоточувствительности, определенная по квадратичной зависимости фототока от энергии фотонов, для исследованных  $n$ -GaP(GaAsP) / $p$ -Si-структур примерно соответствует красной границе фототока Si  $p$ - $n$ -гомоструктур и не зависит от толщины  $n$ -GaP(GaAsP)-слоя. Коротковолновое крыло спектра фоточувствительности сдвигается в сторону больших энергий фотонов при

уменьшении толщины эпитаксиальных слоев GaP (GaAsP), увеличивая таким образом общую ширину спектра фоточувствительности гетероструктур.

На коротковолновом крыле спектра фототока просматривается структура, соответствующая поглощению фотонов в GaP и GaAsP, что лучше заметно при малых значениях толщины эпитаксиальных слоев. В исследованных анизотипных гетероструктурах свойственный для гетероструктур «эффект окна» в спектре фоточувствительности наблюдается только при значениях толщины эпитаксиального слоя  $d_{\text{слоя}} < 3$  мкм.

В заключение необходимо отметить, что для всех гетероструктур GaP(GaAsP)/p-Si, полученных методом газовой эпитаксии в открытой хлоридной системе, длинноволновый край спектра фоточувствительности определяется фотоактивным поглощением в кремнии. При одинаковой толщине эпитаксиальных слоев (2–3 мкм) коротковолновый край спектра фоточувствительности для гетероструктуры GaP/Si значительно сдвинут в сторону коротких длин волн.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Актуальные проблемы материаловедения. Выпуск 2 // Под ред. Э. Калдиса.– Москва: Мир, 1983.
2. Жилиев Ю. В., Криволапчук В. В., Назаров Н. и др. Низкотемпературная фотолюминесценция эпитаксиальных пленок фосфида галлия, выращенных на кремниевых подложках // ФТП. 1990.– Т. 24.– № 7.– С. 1251–1254.
3. Евструпов В. В., Жилиев Ю. В., Назаров Н. и др. Туннельно-избыточный ток в невырожденных барьерных p-n- и m-s-структурах  $A^{III}B^V$  на Si // ФТП.– 1997.– Т. 31.– № 2.– С. 152–158.

---

N. Nazarov, I. Tujanova

#### **Electric and photoelectric behavior features of epitaxial n-GaP(GaAsP)/p-Si structures.**

Epitaxial layers of n-GaP(GaAsP) and p-n-structures on Si and GaP substrates were created by gaseous phase epitaxy in a chloride system Ga(GaP)–PCl<sub>3</sub>–H<sub>2</sub>, Ga(GaAs)–AsCl<sub>3</sub>–H<sub>2</sub>. GaP(GaAsP) layers were created on polished p-Si and n(p)-GaP plates with the thickness of about 350–400 μm oriented in plane (100) with ~2–4° disorientation in [110] direction.

In course of investigation of layer — substrate heterojunction using the electron microscope it was discovered that after a thin transition layer a significant part of the dislocations generated at the heterojunction sharply relaxes. The comparative analysis of current-voltage and capacity-voltage characteristics of n-GaP(GaAsP)/p-Si structures created by chloride gaseous phase epitaxy method on Si and GaP substrates was made. It was found that current percolation mechanism shows typical tunnel characteristics (temperature dependence  $I_0$  is weak and  $\epsilon$  is virtually independent from temperature), i.e. current is excess tunnel.

Keywords: *heterostructures, dislocation density, photosensitivity limit.*

---