

06.2;07;12

## Фотопреобразователи на основе GaAs/Ge гетероструктур, полученных методом низкотемпературной ЖФЭ

© В.П. Хвостиков, Л.С. Лунин, В.И. Ратушный, Э.В. Олива,  
М.З. Шварц, О.А. Хвостикова

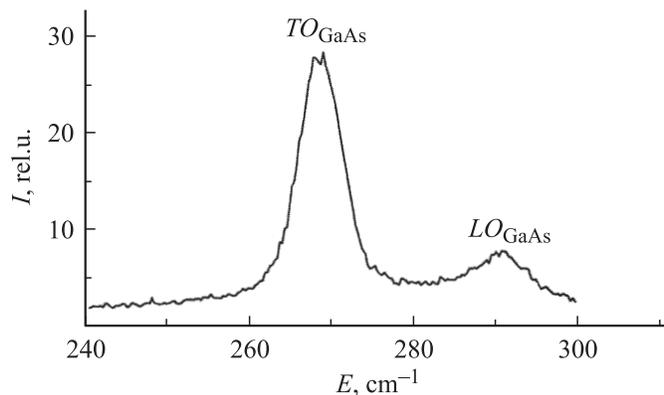
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург  
Волгодонский институт Южно-Российского государственного  
технического университета (Новочеркасского политехнического  
института), Волгодонск

Поступило в Редакцию 4 марта 2003 г.

С целью получения эпитаксиальных слоев GaAs на подложках германия разработан метод низкотемпературной жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) при быстром охлаждении раствора-расплава. Предложенный метод позволяет получать субмикронные слои GaAs на подложках германия для создания высокоэффективных фотоэлектрических преобразователей.

Достижение предельных параметров в фотоэлектрических преобразователях возможно лишь при получении гетероструктур с субмикронными эпитаксиальными слоями. Воспроизводимая кристаллизация гетероструктур GaAs/Ge для фотоэлектрических преобразователей осуществляется в настоящее время методом МОС-гидридной эпитаксии. Недостатком метода эпитаксии из паров металлоорганических соединений (МОС) является диффузия атомов Ga и As из газовой фазы в подложку германия (до концентрации  $\sim 10^{21}$  at/cm<sup>3</sup>) во время проведения процесса наращивания и, как следствие, низкая эффективность работы фотоэлемента [1].

Трудности при получении эпитаксиальных слоев соединений АЗВ5 на подложках германия методом ЖФЭ обусловлены особенностями диаграмм состояния систем на основе германия, а также его ретроградной растворимостью в большинстве расплавов, используемых при эпитаксии соединений АЗВ5 [2,3]. Поэтому в настоящей работе с целью получения слоев GaAs на подложках германия разработан метод ЖФЭ при быстром охлаждении раствора-расплава. Скорость охлаждения составляла приблизительно 2°С/с. Предполагалось, что при данных тех-



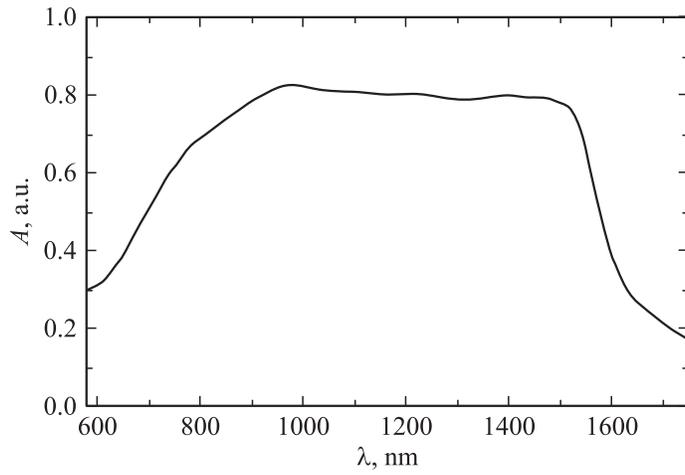
**Рис. 1.** Спектр комбинационного рассеяния света слоя GaAs/Ge (111).

нологических условиях появляется возможность проводить процесс при начальном пересыщении раствора-расплава, близком к предельному в значительно неравновесных условиях. Подложка германия приводилась в контакт с жидкой фазой при низкой температуре ( $\sim 400^\circ\text{C}$ ), что также способствовало повышению устойчивости межфазной границы и подавлению тенденции к растворению.

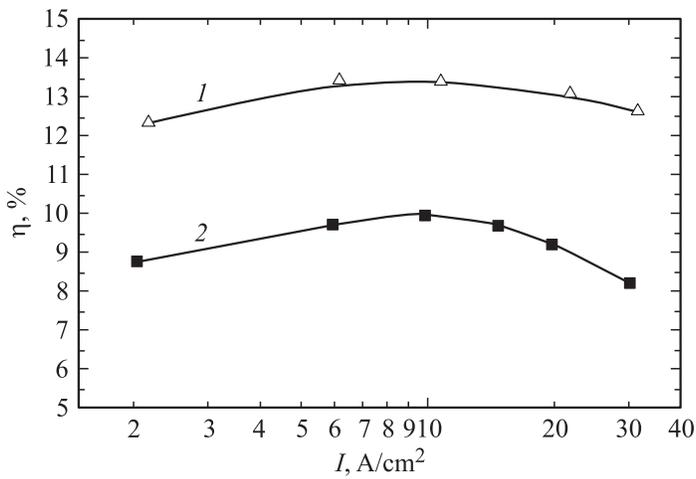
Эпитаксиальное наращивание осуществлялось из расплавов на основе свинца. Рв является нейтральным растворителем и, кроме того, растворимость германия в свинце минимальна по сравнению с другими растворителями, обычно используемыми при эпитаксиальном наращивании слоев из жидкой фазы. Начальным приближением при разработке технологии получения слоев GaAs служила диаграмма растворимости, полученная экспериментальным путем в работе [4].

Важно отметить, что, несмотря на высокую скорость охлаждения, скорость роста была относительно невысока ( $v \approx 0.05 \mu\text{m/s}$ ). Это давало возможность точно контролировать толщину и получать тонкие слои высокого качества.

Полученные слои арсенида галлия имели ровную, зеркально-гладкую поверхность и четкую, планарную гетерограницу без признаков травления подложки. Для определения параметров выращенных слоев GaAs использовался метод рамановской спектроскопии. На рис. 1 представлен спектр комбинационного рассеяния света одного из полу-



**Рис. 2.** Спектр внешней квантовой чувствительности фотоэлемента на основе гетероструктуры  $p\text{-GaAs}/p\text{-Ge}/n\text{-Ge}$ .



**Рис. 3.** Зависимость эффективности преобразования солнечного излучения (АМО) для фотоэлементов на основе гетероструктуры  $p\text{-GaAs}/p\text{-Ge}/n\text{-Ge}$  (1) и на основе  $p\text{-Ge}/n\text{-Ge}$  структуры (2).

ченных образцов слоя GaAs на подложке германия, ориентированной в плоскости (111). В спектре представлены две полосы с частотами, номера которых соответствуют собственным частотам колебаний чистого арсенида галлия. Наличие в спектре образцов продольных колебаний говорит о достаточно низком содержании примесей в слое GaAs.

На основе полученной гетероструктуры GaAs/Ge с помощью метода диффузии из газовой фазы в квазизамкнутом объеме был реализован фотоэлектрический преобразователь, имеющий значение величины внешнего квантового выхода около 0.8 в спектральном диапазоне 900–1550 nm (рис. 2), что свидетельствует о низкой плотности рекомбинационных центров на гетерогранице  $p$ -GaAs/ $p$ -Ge. Улучшение основных характеристик  $(n-p)$ Ge/ $p$ GaAs фотоэлемента, обусловленное снижением скорости поверхностной рекомбинации, позволило повысить эффективность преобразования солнечного излучения (АМО) от 9–10% до > 13% при концентрировании солнечного света до 100–1000 крат и плотностях фототока 3–20 А/см<sup>2</sup> (рис. 3).

Таким образом, рассмотренный в данной работе метод низкотемпературной ЖФЭ при быстром охлаждении раствора-расплава позволяет получать субмикронные слои GaAs на подложках германия для создания фотоэлектрических преобразователей, которые могут быть использованы в качестве узкозонного (нижнего) элемента в каскаде с GaAs — верхним элементом в высокоэффективных каскадных солнечных элементах.

## Список литературы

- [1] *Wojtczuk S., Tobin S., Sanfacon M.* et al. // IEEE Electron Dev. Lett. 1991. V. 11. N 8. P. 73–79.
- [2] *Мокрицкий В.А., Шобик В.С.* // Электронная техника. Сер. Материалы. 1978. В. 8. С. 70–72.
- [3] *Андреев В.М., Долгинов Л.М., Третьяков Д.Н.* Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. М.: Сов. радио, 1975. С. 186.
- [4] *Immorlica A., Ludington Jr.* et al. // J. of Crystal Growth. 1981. V. 51. P. 131–139.