

УДК 621.385.833

© 1991

## ОВАЛЬНЫЕ ДЕФЕКТЫ В СУБМИКРОННЫХ СЛОЯХ GaAs И AlGaAs, ПОЛУЧЕННЫХ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИЕЙ

А. В. Буянов, Е. П. Лаурс, Г. П. Пека, Е. М. Семашко, В. Н. Ткаченко

В субмикронных слоях GaAs и AlGaAs выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией, методами количественной растровой микроскопии исследованы овальные дефекты. По морфологическим признакам овальные дефекты классифицированы как  $a_{3,4}$  (GaAs) и  $a_5$  (AlGaAs). Установлено, что рост овальных дефектов стимулируется избытком Ga. На основании данных рентгеновского микроанализа показано, что количественное содержание элементов в овальных дефектах  $a_{3,4}$ ,  $a_5$  не отличается от содержания этих элементов в слое. Микрокатодолюминесцентные исследования и измерения в режиме наведенного тока обнаружили электрическую и рекомбинационную неоднородность, вносимую  $a_{3,4}$ -дефектами в слой GaAs. Показано, что  $a_{3,4}$ -дефекты являются активными геттерами Si, вводимого в качестве легирующей примеси.

Интерес к субмикронным эпитаксиальным слоям бинарных соединений  $A^3B^5$ , их твердых растворов и к многослойным гетероструктурам на их основе связан как с возможностью исследования в таких объектах размерных эффектов в квантовых ямах и сверхрешетках, так и с их использованием для интегральных и интегрально-оптических схем с повышенным быстродействием. Одним из основных современных технологических методов получения таких слоев является молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Важной задачей, возникающей при оптимизации технологических режимов получения современных гетероструктур такого типа, является исследование механизмов дефектообразования и свойств дефектов структуры. Распространенным типом макродефектов в слоях GaAs и AlGaAs являются так называемые овальные дефекты. Классификация их видов по морфологическим признакам приведена в [1], где исследованы формы дефектов в зависимости от обработки подложки, избыточной концентрации Ga, конструкции источников галлия и мышьяка. Для использования таких структур в приборостроении важны электрофизические свойства как макродефектов, так и переходных областей. Характерные размеры овальных дефектов (3—10 мкм) позволяют применять для их исследования современные электронно-зондовые методы [2]. Целью настоящей работы являлось комплексное исследование свойств овальных дефектов в полученных молекулярной эпитаксией слоях GaAs и AlGaAs методами количественной растровой электронной микроскопии (РЭМ) — интегральной катодолюминесценции (КЛ), вторичных и отраженных электронов (ВЭ и ОЭ), наведенного тока (НТ), а также рентгеновского микроанализа (РМА).

Исследовались эпитаксиальные слои GaAs и  $Al_xGa_{1-x}As$  с проводимостью  $n$ -типа, выращенные на подложках полужизолирующего арсенида галлия с ориентацией (100), на установке МЛЭ УЭПМ-12, 5-002. Структуры содержали буферный слой нелегированного арсенида галлия толщиной 0.05—0.08 мкм и специально легированные кремнием слои GaAs или  $Al_xGa_{1-x}As$  ( $x=0.2-0.3$ ) толщиной 0.3—0.5 мкм. Концентрация легирующих примесей в слоях GaAs составляла от  $1 \cdot 10^{16}$  до  $6 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>, а в  $Al_xGa_{1-x}As$  —  $4 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>. Эксперимент проводился на растровом

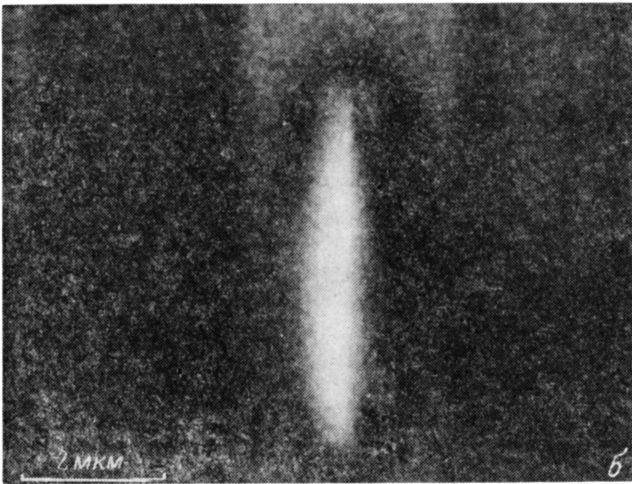


Рис. 1. РЭМ-изображения в режиме вторичных электронов овальных дефектов в МЛЭ-слоях.

а — дефект  $\alpha_{3,4}$ -типа в слое  $n$ -GaAs(Si), б — дефект  $\alpha_{\kappa}$ -типа в слое  $n$ -AlGaAs(Si).

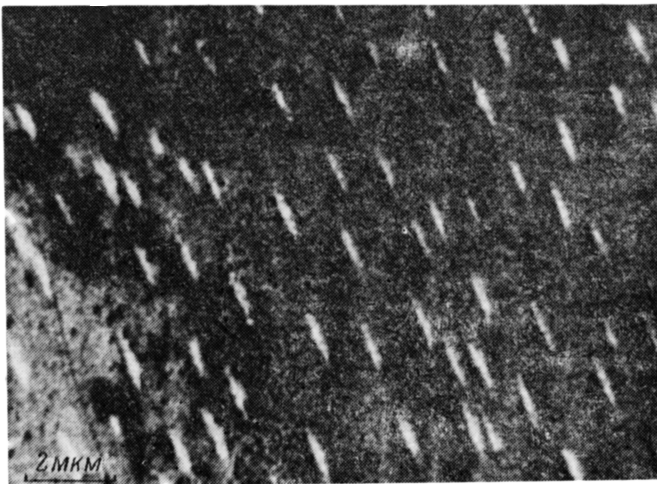


Рис. 2. Овальные дефекты в слоях GaAs, выращенных в режиме Ga-стабилизации (режим вторичных электронов).

электронном микроскопе РЭМ-100У со специальными приставками для реализации перечисленных методик.

В исследованных образцах наблюдались два типа овальных дефектов, отличающихся по форме. На рис. 1 представлены электронно-микроскопические изображения во вторичных электронах овальных дефектов на поверхности GaAs и  $Al_xGa_{1-x}As$ , классифицируемых по внешнему виду в соответствии с [1] как  $\alpha_{3,4}$  (а) и  $\alpha_5$  (б). В пленках GaAs наблюдались дефекты

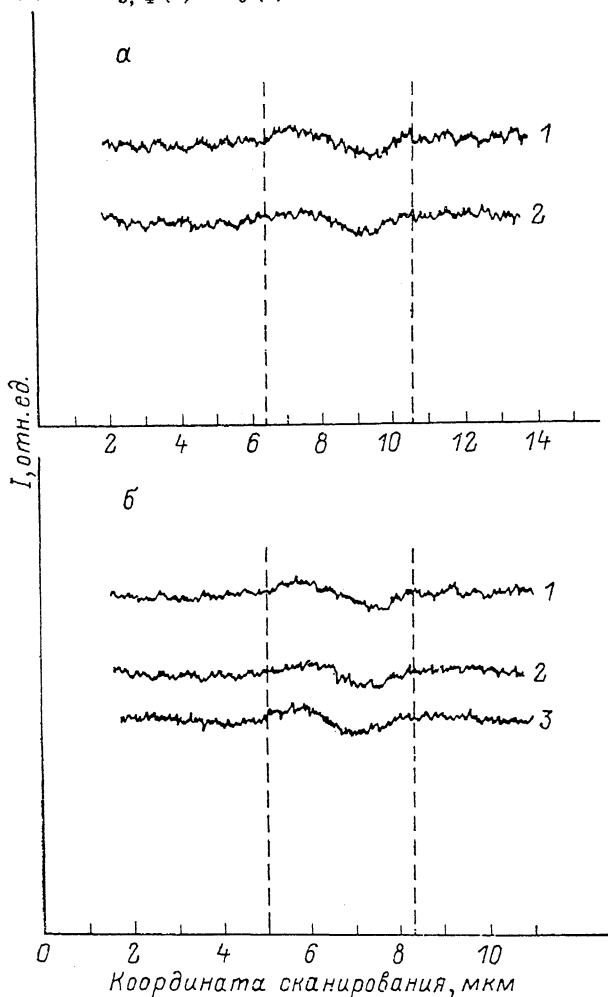


Рис. 3. Координатные зависимости сигналов характеристического рентгеновского излучения в области овального дефекта.

а —  $\alpha_{3,4}$ -дефект, GaAs; б —  $\alpha_5$ -дефект, AlGaAs. 1 —  $L_{\alpha}As$ , 2 —  $L_{\alpha}Ga$ , 3 —  $K_{\alpha}Al$ . Штрихом обозначена область овального дефекта.

$\alpha_{3,4}$ -типа, а в  $Al_xGa_{1-x}As$  —  $\alpha_5$ -типа. Плотность дефектов обоих типов оценивается величиной порядка  $10^4 \text{ см}^{-2}$ . Все овальные дефекты ориентированы большой полусью вдоль направления [110].

Поверхностная концентрация овальных дефектов существенно увеличивается при выращивании пленки GaAs в условиях галлиевой стабилизации. На рис. 2 изображен участок поверхности эпитаксиального слоя GaAs, выращенного в таком режиме. Видно, что поверхность усыпана мелкими овальными дефектами. Длина их 0.5—1 мкм, плотность порядка  $10^7 \text{ см}^{-2}$ . Таким образом, формирование овальных дефектов стимулируется избытком галлия, что подтверждают данные работы [3].

Количественное содержание галлия, мышьяка и алюминия внутри овальных дефектов и вне их исследовалось с помощью РМА при энергии

электронного зонда 10 кэВ, токе  $10^{-7}$  А. Аналитическими линиями являлись соответственно  $AlK_{\alpha}$ ,  $GaL_{\alpha}$ ,  $AsL_{\alpha}$ . Локальность метода РМА составляла  $\sim 1$  мкм, что меньше характерных размеров дефектов. Минимальное

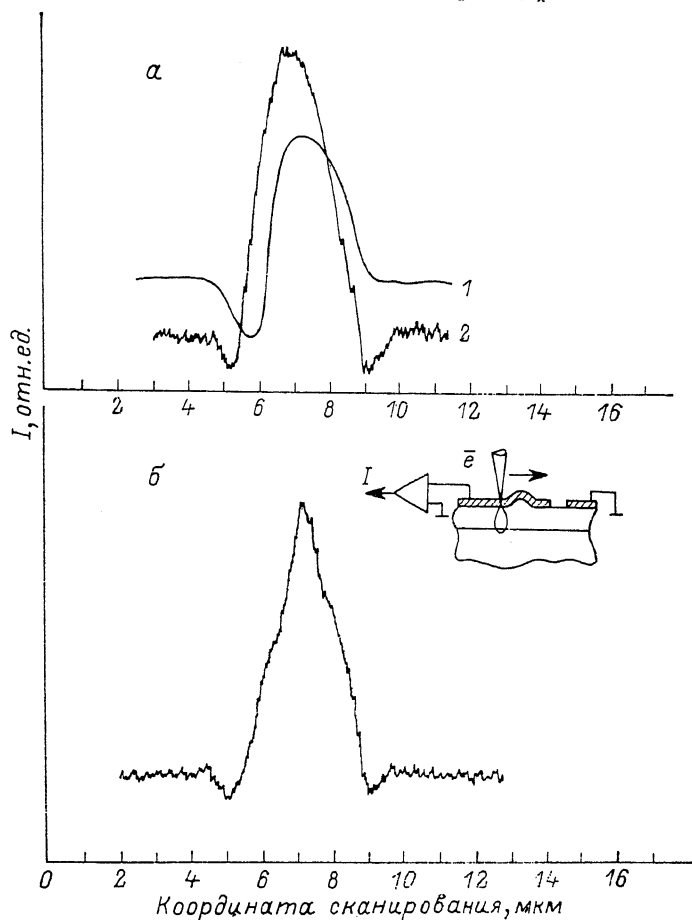


Рис. 4. Координатные зависимости сигналов из области  $\alpha_{3,4}$ -дефекта в GaAs. а — сигналы ВЭ (1) и КЛ (2), б — сигнал НТ. На вставке — схема эксперимента по измерению НТ.

изменение мольной доли Al, которое могло быть зарегистрировано, составляло  $x \sim 0.02$ . Использован сравнительный микроанализ при сканировании электронным зондом поперек дефекта. Координатные зависимости сигналов характеристического рентгеновского излучения соответствующих элементов представлены на рис. 3 для слоя GaAs (дефект типа  $\alpha_{3,4}$ ) и

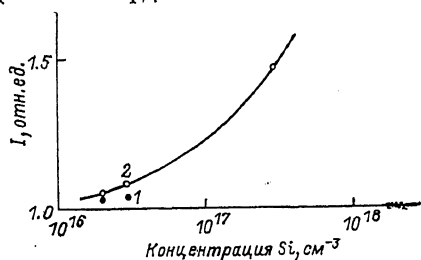


Рис. 5. Зависимость интенсивности КЛ от концентрации примеси кремния в слое n-GaAs. Интенсивность КЛ: 1 — матрицы, 2 — в области дефекта.

$Al_xGa_{1-x}As$  (дефект типа  $\alpha_5$ ). По данным микроанализа, содержание компонентов твердого раствора в овальных дефектах обоих типов не отличается от содержания этих элементов в слое. Небольшие изменения амплитуды сигналов при переходе электронного зонда через «гребень» овального дефекта обусловлены геометрическим рельефом. Полученный для

$Al_xGa_{1-x}As$  результат не подтверждает данные работы [1], где на основании сдвига максимума спектра катодolumинесценции предположено уменьшение содержания алюминия внутри дефектов.

Микрокатодolumинесцентные исследования слоев GaAs обнаружили значительное превышение интенсивности интегральной КЛ в области дефектов по сравнению с остальным слоем (рис. 4, а). Корреляция между интенсивностью КЛ внутри овальных дефектов и концентрацией атомов кремния, вводимого во время роста пленки (рис. 5), а также наблюдаемое при этом усиление перераспределения интенсивностей КЛ между областью дефекта и окружающей матрицей могут быть интерпретированы как эффект геттерирования кремния овальными дефектами. Дополнительным аргументом в пользу такого механизма является увеличение сигнала НТ в области дефектов по сравнению с периферией (рис. 4, б), что свидетельствует о вводимой овальными дефектами данного типа электрической и рекомбинационной неоднородности в пленке. Для исследований в режиме НТ на поверхности слоя был сформирован барьерный контакт химическим осаждением никеля. Для формирования омического контакта к эпитаксиальному слою  $n$ -GaAs никель осаждался на предварительно созданный на поверхности слой  $n^+$ -GaAs толщиной 0.2—0.3 мкм. Необходимо отметить, что границы  $\alpha_{3,4}$ -дефектов являются местом повышенной безызлучательной рекомбинации неосновных носителей заряда, генерированных электронным зондом, что приводит к уменьшению сигналов КЛ и НТ на границах.

#### Список литературы

- [1] Fujiwara K., Kanamoto K., Onta Y. N., Tokuda Y., Nakayama T. // *J. Cryst. Growth*. 1987. V. 80. P. 104—112.
- [2] Конников С. Г., Сидоров А. В. Электронно-зондовые методы исследования полупроводниковых материалов и приборов. М., 1978. 135 с.
- [3] Wood C. E. C., Rathbun L., Ohno H., Desimone D. // *J. Cryst. Growth*. 1981. V. 51. P. 299—302.
- [4] Papadopoulo A. C., Alexandre F., Bresse J. F. // *Appl. Phys. Lett.* 1988. V. 52. N 3. P. 224—226.

Производственное объединение  
«Киевский радиозавод»

Поступило в Редакцию  
4 января 1991 г.  
В окончательной редакции  
30 мая 1991 г.