

©1994 г.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ, ВЫРАЩЕННОГО НА ВИЦИНАЛЬНЫХ ПОДЛОЖКАХ GaAs(100) МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ ЭПИТАКСИИ

Н.Н.Леденцов, Г.М.Гурьянов, Г.Э.Дырлин, В.Н.Петров,
Ю.Б.Самсоненко, А.О.Голубок, С.Я.Туписев*

Институт аналитического приборостроения Российской академии наук,
198103, Санкт-Петербург, Россия

*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук,
194021, Санкт-Петербург, Россия

(Получена 6 декабря 1993 г. Принята к печати 15 декабря 1993 г.)

Эффект спонтанного формирования упорядоченных массивов микрофасеток на поверхности GaAs, обнаруженный впервые для ориентаций, отличных от (100) [1-3], представляет значительный интерес как для изучения фундаментальных свойств поверхности, так и для формирования гетероструктур типа квантовая проволока и квантовая точка. Недавно появились сообщения о формировании массивов фасеток на вицинальной поверхности GaAs (100) при газофазной эпитаксии из металлорганических соединений (ГФЭМОС) [4] и молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) [5].

Методика получения фасетированных поверхностей в общем случае состоит из выращивания слоя GaAs на разориентированной подложке GaAs (100) и последующего отжига при некоторой температуре подложки в потоке AsH₃ [4], либо As₄ [5]. Однако детального исследования влияния режимов послеростового отжига на свойства поверхности проведено не было. В данной работе приведены некоторые результаты о влиянии длительности термической обработки и температуры отжига на структуру поверхности GaAs, выращенного методом МПЭ на вицинальных поверхностях GaAs (100).

Эксперименты проводились на подложках полуизолирующего GaAs (100). Угол разориентации поверхности относительно базовой плоскости (3° в направлении [011]) был определен как с помощью рентгеноструктурного анализа, так и дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭО) [6]. Подложки проходили химическую обработку по

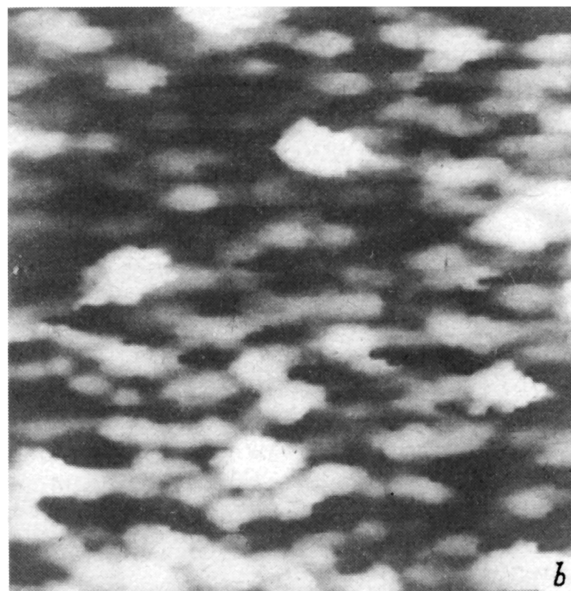
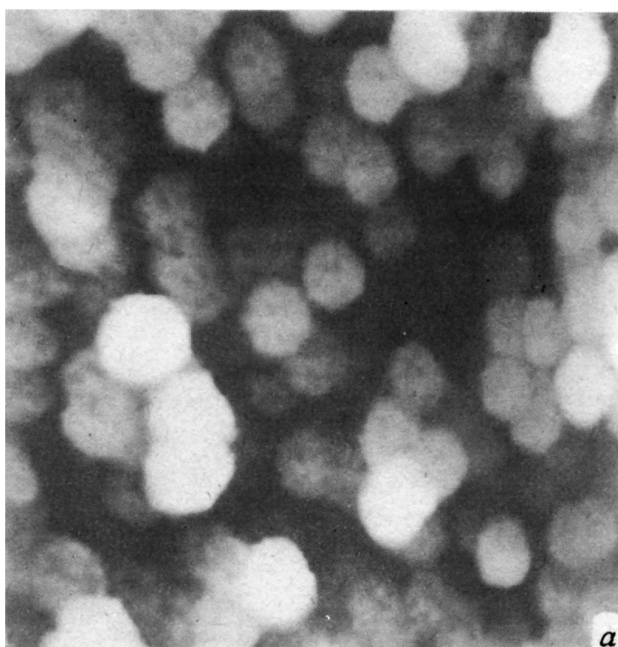


Рис. 1. СТМ изображения поверхности GaAs (100) после отжига при температуре 670 °С в течение 80 мин (а) и 40 мин (б).

методике, описанной в [7], с использованием деионизованной воды с сопротивлением ~ 20 МОм. После удаления оксидного слоя в ростовой камере установки МПЭ ЭП-1203 проводилось выращивание слоя GaAs, легированного кремнием или бериллием до концентрации $\sim 10^{16}$ см $^{-3}$, толщиной 0.25 мкм при скорости роста 0.5 мкм/ч при $T_s = 550$ °С. После этого поток галлия прерывался и температура образца повышалась. Рост и отжиг проводился при эффективном давлении мышьяка в каме-

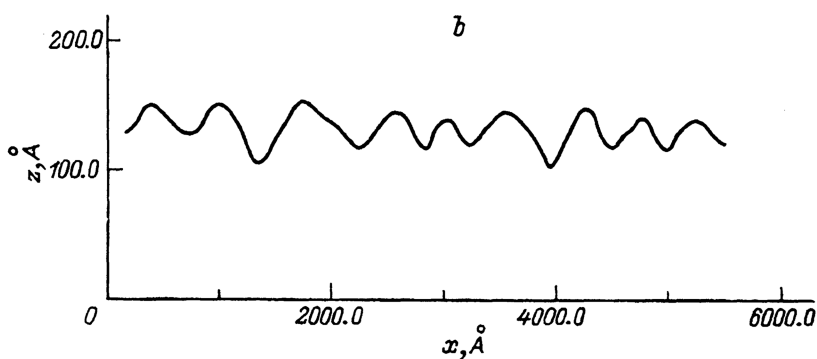
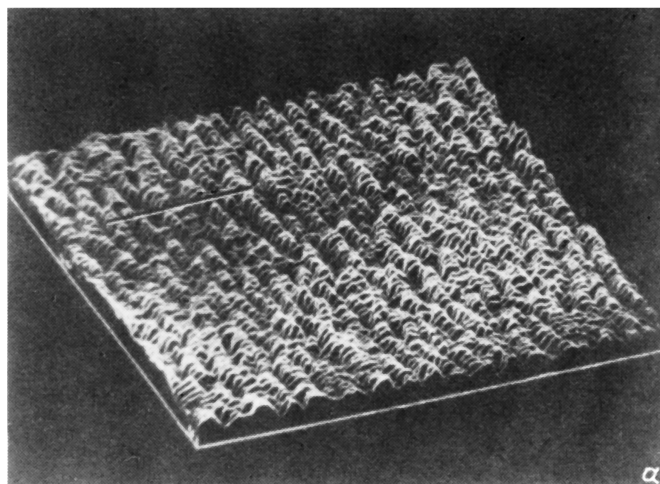


Рис. 2.
 а — квазитрехмерное СТМ изображение поверхности GaAs (100) после отжига при температуре 640°C в течение 40 мин; б — профиль СТМ изображения в направлении, перпендикулярном ступеням (область сканирования отмечена на рис. 2, а).

ре $8.7 \cdot 10^{-6}$ Па. После отжига образцы закаливались путем резкого понижения температуры.

Морфология поверхности образцов исследовалась *ex situ* с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), методика и режимы измерений описаны в [5]. Многократно воспроизводимые и устойчивые СТМ изображения были получены на различных участках исследуемых образцов.

На рис. 1, а, б приведены СТМ изображения поверхности GaAs после высокотемпературного отжига ($T_s = 670^\circ\text{C}$) в течение 80 и 40 мин соответственно. Особенностью приведенных изображений является наличие мозаичной структуры в виде пятен (рис. 1, а). При уменьшении времени отжига в 2 раза наблюдается хаотическое расположение таких пятен на фоне квазипериодического массива фасеток, ориентированных вдоль направления [011]. Измерения поперечных сечений СТМ изображений в направлении, перпендикулярном ступеням, позволили определить период структуры и высоту ступеней, которые равны ~ 900

и $\sim 80 \text{ \AA}$ соответственно. Следует отметить, что квазипериодическая структура наблюдалась и на образованиях в виде пятен.

Полученные результаты могут быть объяснены из наблюдения динамики изменения изображений ДБЭО во время термообработки. Для первого случая (рис. 1,а) дифракционная картина после отжига представляла набор объемных рефлексов, расположенных на тѣжах. Во втором случае (рис. 1,б) в конце отжига объемные рефлексы лишь начали проявляться, что коррелирует с уменьшением плотности островков с выпуклой шестигранной вершиной, которая, видимо, обусловлена поверхностной сегрегацией галлия при отжиге.

С целью поиска оптимальных условий отжига, приводящих к образованию периодической фасеточной структуры, была исследована поверхность, сформированная при температуре отжига $640 \text{ }^\circ\text{C}$ и длительности — 40 мин. На рис. 2,а,б представлены СТМ изображение (квазитрехмерная топография поверхности) и его сечение в направлении, перпендикулярном ступеням. Из рисунка видно, что в данных условиях отжига формируется квазипериодический массив фасеток с характерным периодом структуры $\sim 500 \text{ \AA}$ и высотой ступеней $\sim 30 \text{ \AA}$.

Сопоставление данных рис. 1 и 2 показывает, что при уменьшении температуры отжига подавляются эффекты, обусловленные сегрегацией галлия на поверхности, что подтверждается также и результатами ДБЭО. Следует отметить, что наши результаты, приведенные на рис. 2, отличаются от данных работы [4], которые были получены на аналогичной поверхности, но в условиях ГФЭМОС, и свидетельствуют о том, что периодом фасетирования при МПЭ можно управлять изменением условий отжига.

Таким образом, из представленных результатов видно, что на структуру фасеток на вицинальной поверхности GaAs (100) существенное влияние оказывают температура и время послеростового отжига при МПЭ, что, на наш взгляд, свидетельствует о меньшей свободной энергии вицинальной поверхности GaAs (100) в процессе МПЭ роста по сравнению с условиями при ГФЭМОС.

Список литературы

- [1] R. Nötrel, N.N. Ledentsov, L. Däweritz, M. Hohenstein, K. Ploog. Phys. Rev. Lett., **67**, 3812 (1991).
- [2] R. Nötrel, N.N. Ledentsov, L. Däweritz, K. Ploog, M. Hohenstein. Phys. Rev. B, **45**, 3507 (1992).
- [3] R. Nötrel, L. Däweritz, N.N. Ledentsov, K. Ploog. Appl. Phys. Lett., **60**, 1615 (1992).
- [4] M. Kasu, M. Robayashi. Appl. Phys. Lett., **62**, 1262 (1992).
- [5] А.О. Голубок, Г.М. Гурьянов, Н.Н. Леденцов, В.Н. Петров, Ю.Б. Самсоненко, С.Я. Типисев, Г.Э. Цырлин. ФТП, **28**, (в печати) (1994).
- [6] J.M. van Hove, P.I. Cohen. J. Vac. Sci. Techn., **20**, 726 (1982).
- [7] Г.М. Гурьянов, Н.Н. Леденцов, В.Н. Петров, Ю.Б. Самсоненко, Г.Э. Цырлин, А.Г. Филаретов. Письма ЖТФ, **19**, 64 (1993).

Редактор В.В. Чалдышев