

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВОВ ФАСЕТОК
НА ВИЦИНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ GaAs (100)
ПРИ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ ЭПИТАКСИИА. О. Голубок, Г. М. Гурьянов, Н. Н. Леденцов,¹ В. Н. Петров,
Ю. Б. Самсоненко, С. Я. Типисев, Г. Э. Цырлин

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

¹ Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, Россия

(Получено 22 сентября 1993 г. Принято к печати 7 октября 1993 г.)

Эффект спонтанного формирования упорядоченных массивов микрофасеток на поверхности твердого тела, впервые обнаруженный для ориентированных не по (100) поверхностей GaAs [1-3], представляет значительный интерес как с точки зрения изучения фундаментальных свойств поверхности, так и для различных приложений в физике и технологии твердого тела. Формирование термодинамически устойчивых упорядоченных массивов микрофасеток в настоящее время обнаружено и для поверхностей In (110) [4], TaC (110) [5], GaAs (110) [6] и др. Обусловленное кинетическими процессами фасетирование сингулярных поверхностей наблюдалось для AlAs (100) [7]. В работе [8] сообщается о формировании равновесного массива фасеток на вицинальной поверхности GaAs (100) при газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений и создании на ней массива квантовых проволок GaAs—AlAs. Теория формирования упорядоченных массивов микрофасеток и синтеза гофрированных сверхрешеток представлена в работе [9].

В данной работе впервые сообщается о спонтанном формировании массивов микрофасеток на вицинальных поверхностях GaAs (100) при молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ).

Эксперименты проводились на установке МПЭ ЭП-1203 на подложках полуизолирующего GaAs (100), разориентированных на 3° в сторону [011]. Подложки проходили химическую обработку в сернистом травителе $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 5 : 1 : 1$, после чего в атмосфере сухого азота с помощью индия чистоты 7N наклеивались к молибденовому держателю и помещались в ростовую камеру. После удаления окисла проводилось выращивание легированного кремнием до концентрации $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ эпитаксиального слоя GaAs при температуре подложки $T_s = 550^\circ\text{C}$ при сохранении структуры поверхности типа (2×4). Скорость роста составляла 0.9 мкм/ч, соотношение потоков As₄/Ga было равно 2. При достижении толщины пленки 0.3 мкм поток Ga прерывался, температура подложки повышалась до 650°C при сохранении потока мышьяка, что приводило к реконструкции поверхности (2×4) ⇒ (3×1). Выбранная температура отжига соответствовала условиям, близким к неконгруэнтному разложению GaAs. Отжиг в потоке мышьяка проводили в течение 120 мин. После отжига температура в потоке мышьяка резко понижалась.



GAAS203. STM

Frame, A

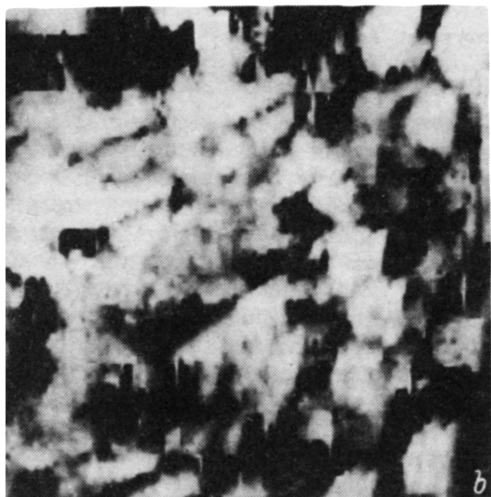
X 1.93E+4

Y 1.93E+4

Z 250

mV-5000

nA 5.E-2



GAAS208. STM

Frame, A

X 1.3E+4

Y 1.3E+4

Z 220

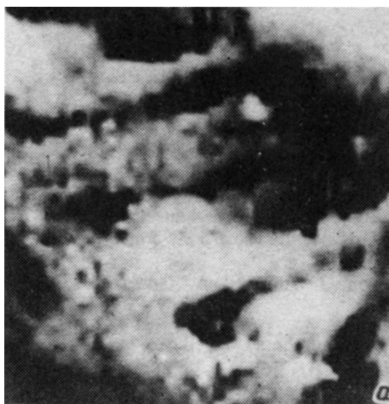
mV-5000

nA 0.1

Рис. 1. СТМ изображения поверхности GaAs (100) после отжига: *a* — структура типа летящая тарелка; *b* — смешанная картина структур летящая тарелка и массивов ступеней.

Состояние поверхности в процессе МПЭ-экспериментов контролировалось по картине дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭО) при энергии первичного пучка 12.5 кэВ. После отжига в течение 90 мин при наблюдении в направлении $[0\bar{1}1]$ на картинах ДБЭО начинали проявляться наклонные рефлексы, что свидетельствовало об образовании фасеток. Визуально поверхность полученных после отжига образцов была зеркально-гладкой.

Морфология поверхности образцов исследовалась с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), разработанного в Институте аналитического приборостроения РАН. Образцы помещались в СТМ непосредственно после отжига и исследовались при атмосферном давлении в режиме постоянного тока. В качестве иглы использовалось электрохимически заточенное острие из вольфрама. Устойчивые и многократно воспроизводимые СТМ изображения поверхности получались при напряжении смещения 5 В (при отрицательном потенциале на образце относительно острия) в диапазоне токов $50 \div 100$ нА. При меньшем напряжении смещения, или при больших токах, т. е. при



Frame, A

 $\times 6350$ $\gamma 6350$

Z 135

mV-5000

nA 0.1

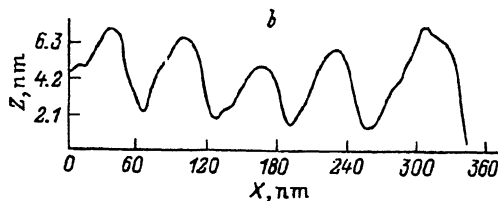


Рис. 2. *a* — STM изображение эквидистантного массива ступеней. *b* — поперечное сечение STM изображения в направлении, перпендикулярном ступеням.

уменьшении расстояния между острием и образцом, на STM изображении появлялись шумы в виде резких выбросов, которые, по-видимому, являются результатом соприкосновения острия с окисным слоем на поверхности образца.

На рис. 1 *a, b* представлены характерные STM изображения поверхности GaAs после отжига. Характерным является появление мозаики из кратеро-подобных структур («летающая птица») с примерно одинаковыми размерами порядка 1500 Å (рис. 1, *a*), внутри которых формируется ядро, состоящее, предположительно, из галлия. Типичная высота кратеров составляет 40÷50 Å. Протяженные части структур («хвосты») ориентированы вдоль направления [011]. Кроме того, на поверхности GaAs присутствуют не только фасетки в виде доменной структуры, но и массив эквидистантных ступеней (рис. 1, *b*).

На рис. 2 *a, b* в качестве примера приведены STM изображения массива эквидистантных ступеней и поперечное сечение STM изображения в направлении X, перпендикулярном ступеням. Характерные длина и высота террас составляют примерно 600 и 40 Å соответственно. Следует отметить, что полученные результаты близки к данным, опубликованным в [8].

Таким образом, мы обнаружили спонтанное формирование массивов различных типов микрофасеток на вицинальных поверхностях GaAs (100) при молекулярно-пучковой эпитаксии. Согласно нашим данным, массив мономолекулярных ступеней на вицинальных поверхностях является термодинамически неустойчивым и поверхность при термической обработке может спонтанно распадаться на упорядоченные массивы микрофасеток. Наблюдаемая в данных экспериментах смешанная картина, при которой области с доменами чередуются с областями массивов ступеней, может быть связана как с неравномерностью температурного поля нагревателя образца и потока мышьяка на поверхности, так и с условиями отжига, близкими по температуре к условиям неконгруэнтного разложения GaAs. Тщательный подбор экспериментальных параметров, влияющих на структуру поверхности, позволит, на наш взгляд, сформировать на вицинальной поверхности GaAs равновесный массив фасеток одного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] R. Nötzel, N. N. Ledentsov, L. Däweritz, M. Hohenstein, K. Ploog. Phys. Rev. Lett., 67, 3812 (1991).
- [2] R. Nötzel, N. N. Ledentsov, L. Däweritz, K. Ploog, M. Hohenstein. Phys. Rev. B, 45, 3507 (1992).
- [3] R. Nötzel, L. Däweritz, N. N. Ledentsov, K. Ploog. Appl. Phys. Lett., 60, 1615 (1992).
- [4] R. Koch, M. Borbonus, O. Hasse, K. H. Rieder. Phys. Rev. Lett., 67, 3416 (1991).
- [5] J. K. Zuo, R. J. Warmack, D. M. Zehner, J. R. Werdelken. Phys. Rev. B, 47, 10743 (1993).
- [6] M. Krishnamurthy, M. Wassermeier, D. R. Williams, P. M. Petroff. Appl. Phys. Lett., 62, 1922 (1993).
- [7] R. Mirin, M. Krishnamurthy, J. Ibbetson, J. English, A. Gossard. J. Cryst. Growth, 127, 908 (1993).
- [8] M. Kasu, M. Kobayashi. Appl. Phys. Lett., 62, 1262 (1993).
- [9] V. A. Shchukin, A. I. Borovkov, N. N. Ledentsov, P. S. Kop'ev. Abstracts I Int. Symp. «Nanostructures: Physics and Technology», 102. St. Petersburg, Russia (1993).

Редактор Л. В. Шаронова
