

05.1; 11

© 1991

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА
 ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Al_xGa_{1-x}As$
 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОВЕРХНОСТИ
 В ПРОЦЕССЕ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО РОСТА
 ИЗ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПУЧКОВ

С.Ю. Карпов, Ю.В. Ковальчук,
 В.Е. Мясин, Г. де ла Круз,
 А.Ю. Островский, Ю.В. Погорельский,
 И.Ю. Русанович, И.А. Соколов,
 Н.Н. Фалеев, Г.А. Фокин,
 М.И. Этинберг

Фазовые диаграммы состояния (реконструкции) поверхности $GaAs(100)$ и твердых растворов $Al_xGa_{1-x}As$ в процессе эпитаксиального роста являются предметом изучения в ряде работ [1-4]. Естественным дополнением к этим исследованиям должна служить систематическая информация о свойствах материала в зависимости от температуры роста (T) и от потоков компонент. В данной работе мы проследим изменение кристаллического качества твердых растворов $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.23$ и 0.39) вдоль горизонтального сечения фазовой диаграммы: при изменении T и сохранении отношения парциальных давлений компонент $As_4/(Ga+Al)=2$, а также скорости роста ~ 1 мкм/час.

Для проведения экспериментов на полуизолирующей подложке были выращены модельные структуры - слой нелегированного $GaAs$ толщиной ~ 1 мкм (фоновое легирование $\sim 1 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$), затем слой твердого раствора $n-Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.23$ и 0.39 ; $Si:n \approx 8 \cdot 10^{14} - 1 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$) толщиной 1,6 мкм. Потоки Ga и Al калибровались на основе измерений периода осцилляций интенсивности зеркального рефлекса дифрагированных на поверхности кристалла быстрых электронов. Калибровка температуры образца контролировалась на основе фазовой диаграммы поверхности $GaAs(100)$ [2] и по известной температуре удаления окисла с подложки. Наличие реконструкции в процессе роста регистрировалось с помощью дифракции быстрых электронов в азимутальных направлениях $[110]$ и $[\bar{1}\bar{1}0]$. Исследование кристаллического качества слоев твердого раствора осуществлялось с помощью методики двухкристалльной рентгеновской спектроскопии.

На рис. 1 представлены кривые качания для образца с $x=0.23$, выращенного при температуре роста тройного раствора $T=610$ °C и реконструкции поверхности (2×4) (температура роста слоев $GaAs$ во всех структурах составляла 580°). Пик 1 связан с брег-

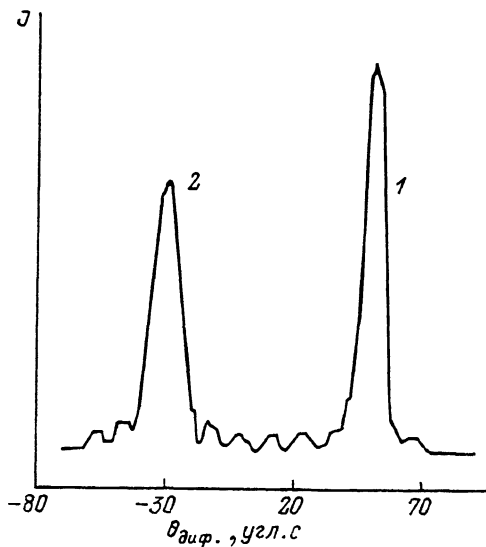


Рис. 1.

говским отражением рентгеновских лучей от решетки $GaAs$, пик 2 — с отражением от слоя тройного раствора (излучение $CuK\alpha_1$ (400) рефлекс). Ширина пика 1 составляет $9.0''$ и несколько превышает минимально возможное для $GaAs$ значение $8.0-8.2''$. Ширина пика 2 из-за влияния интерференционных эффектов определяется, в том числе, толщиной слоя твердого раствора. Тем не менее, ширина пика отражения от $AlGaAs$ оказывается информативной при сравнении кристаллического качества слоев одинаковой толщины, но содержащих различное количество точечных дефектов. Подвижность электронов в слое твердого раствора ($Si : n \approx 8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$) составила для этого образца $\mu \approx 2500 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при 300 К.

На рис. 2 представлена зависимость ширины пика 2 от температуры роста T и соответствующей ей реконструкции поверхности (заметим, что значение T , соответствующее границе между областями (2×4) и (1×1) , резко увеличивается при переходе от $GaAs$ к твердому раствору с $x=0.23$, однако мы не наблюдали разницы между положением границ для $x=0.23$ и $x=0.39$). Резкое увеличение ширины пика в области (1×1) указывает на возникновение большого количества точечных дефектов в материале в процессе эпитаксиального роста. При этом внутри области (1×1) не прослеживается какой-либо систематической зависимости ширины пика от T . В начале области (3×1) , являющейся аналогом поверхностной структуры (4×2) для $GaAs$, кристаллическое качество твердого раствора, как и подвижность носителей, восстанавливаются до уровня, полученного при росте в области (2×4) . При дальнейшем повышении температуры дефектность материала снова заметно растет.

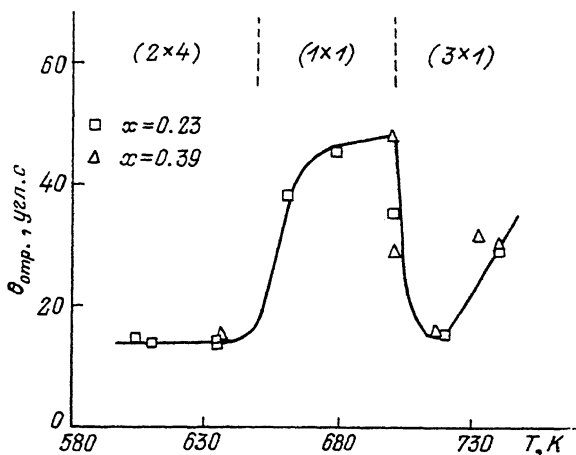


Рис. 2.

Ширина пика отражения от решетки $GaAs$ для структуры, полученной в области (1×1) , составляет $\sim 25''$, что связано, прежде всего, с увеличением напряжений и, как следствие, с изгибом всей структуры до радиуса 7–8 м (радиус изгиба образцов, полученных в области (2×4) , составлял не менее 40 м). Стравливание слоя тройного раствора снимает напряжения, однако ширина пика $GaAs$ при этом не восстанавливается до $9''$, а остается $\sim 12''$ и более (что может быть связано с диффузией точечных дефектов в $GaAs$ из слоя твердого раствора во время роста).

Таким образом, в эксперименте наблюдается немонотонная зависимость дефектности слоев твердых растворов ($x=0.23$ и 0.38) от температуры роста. Результаты, представленные на рис. 2, показывают, что основным фактором, определяющим дефектность материала, является состояние (реконструкция) поверхности во время роста. Повышенная дефектность в интервале температур 650–700 °C связана с отсутствием реконструкции поверхности.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] P a n i s h M.B. // J. Electrochem. Soc. 1980. V. 127. No 12. P. 2729–2733.
- [2] N e w s t e a d S.M., K u b i a k R.A.A., P a r k e r E.H.C. // J. Cryst. Growth. 1987. V. 81. No 1–4. P. 49–54.
- [3] N o m u r a Y., M a n n o h M., M i n a r a M., N a r i t s u k a S., Y a m a n a k a K., Y u a s a T., I s h i i M. // J. Electrochem. Soc. 1984. V. 131. No 11. P. 2630–2633.
- [4] D a w e r i t z L., H a y R. // Surf. Sci. 1990. V. 236. No 1. P. 15–22.