

разработанных *AlGaAs*-ГФП делают их перспективными для применения в сцинтилляционных детекторах ионизирующих излучений при повышенных рабочих температурах и больших дозах облучения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Конников С.Г., Ларионов В.Р., Погребницкий К.Ю., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 13. С. 1089-1093.
- [2] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Ларионов В.Р., Никитин А.В., Прудких Т.А., Румянцев В.Д. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 1. С. 76-79.
- [3] Photodiodes. Проспект фирмы "Hamamatsu Photonics K.K." 1986. С. 19.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
12 июня 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 19

12 октября 1990 г.

06.2

© 1990

К ВОПРОСУ О СОСТАВЕ И СТЕХИОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ *GaAs*, ПОЛУЧАЕМОМ В ПРОЦЕССЕ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ ПРИ ИЗОВАЛЕНТНОМ ЛЕГИРОВАНИИ

А.А. Аристархова, Ю.Ф. Бирюлин,
С.С. Волков, С.В. Новиков,
М.Ю. Тимашев

Изовалентное легирование соединений A^3B^5 в жидкофазной эпитаксии получило в последнее время широкое распространение как метод целенаправленного изменения электрофизических параметров кристаллизуемых слоев [1-3]. В ряде приборных применений эпитаксиальных слоев важную роль играет распределение компонентов в легирующих примесей у поверхности и на гетерогранице, что обусловило, в частности, активное исследование свойств поверхности изовалентно легированного *GaAs* [4-6]. Отличие элементного состава поверхности от объема, например, арсенида галлия, легированного висмутом, объясняется двумя причинами: во-первых, возникно-

вением градиента концентрации висмута в приповерхностной области в процессе роста слоя [4], во-вторых, адсорбцией висмута из газовой фазы реактора после окончания роста и удаления раствора-расплава с поверхности кристаллизованного слоя [6].

Для выяснения вопроса о том, что является определяющим механизмом появления градиента концентрации Bi в приповерхностном слое нами была проведена серия экспериментов по эпитаксии $GaAs$ из смешанных растворов-расплавов. В случае кристаллизации $GaAs$ из чисто висмутового растворителя поверхностная концентрация Bi , определенная методом СОРИНЭ [4, 5] составляла 20–25 ат.%. Добавление в висмутовый растворитель 1,6 ат.% индия приводило к снижению поверхностной концентрации Bi в слоях $GaAs$ до уровня 5–7 ат.%. Различие поверхностной концентрации висмута в двух приведенных экспериментах показывает, что незначительные изменения состава жидкой фазы, практически не приводящие к изменению парциального давления висмута в объеме реактора, обуславливают существенные различия в механизмах захвата атомов висмута фронтом кристаллизации. Это указывает на доминирующую роль механизма захвата Bi в твердую фазу.

В тех же реакторе и кассете и при тех же условиях были выращены слои $GaAs$ из галлиевого растворителя, как чистого, так и смешанного с добавками индия. На поверхности и в объеме слоев $GaAs$ был обнаружен висмут. Так, например, при росте из смешанного раствора-расплава, содержащего 7,5 ат. % индия, концентрация Bi на поверхности твердой фазы составляла 1,5–2 ат.%. Наличие Bi в слоях $GaAs$ в этих опытах наглядно демонстрирует эффект "памяти" установки на легколетучие компоненты [6].

Методика СОРИНЭ [4], обладая большей чувствительностью по сравнению с Оже-спектроскопией [6, 7], позволяет существенно увеличить глубину профиля исследуемого распределения компонент в приповерхностной области. В частности, исследование образцов $GaAs(Bi)$ методом СОРИНЭ позволило установить наличие протяженного профиля Bi на глубину 5–7 нм, которая ограничивалась только прекращением процесса ионного травления и анализа. Столь затянутое в глубину приповерхностной области $GaAs$ распределение висмута указывает на справедливость предположения о вхождении Bi в решетку твердой фазы на фронте кристаллизации [4]. Как показывают вышеприведенные результаты и данные работ [6, 7], адсорбция Bi из газовой фазы тоже вносит вклад в формирование состава поверхности эпитаксиальных слоев $GaAs$, однако не является, по нашему мнению, доминирующим фактором появления избыточной концентрации Bi у поверхности.

На поверхности $GaAs(Bi)$ существует слой окисла, содержащий основные элементы матрицы и висмута. Однако толщина этого окисла по литературным данным, например, [6], составляет не более 2 нм. Обнаружение профиля висмута на глубинах 5–7 нм показывает на вхождение висмута в матрицу арсенида галлия в процессе роста, приводящее к изменению стехиометрии в приповерх-

ностной области $GaAs\langle Bi \rangle$ [4]. Утверждение об отсутствии изменения стехиометрии поверхности образцов $GaAs$, выращенных из растворов $Ga - Bi - As$ и $Ga - As$ по данным Оже-анализа [6], представляется сомнительным: во-первых, толщина исследованной области поверхности не превышает толщины естественного оксида (2 нм [6]); во-вторых, имея глубину анализа Оже-пиков порядка 0.6 нм, исследователям удалось получить 5 экспериментальных точек на толщине в интервале 0-0.5 нм.

Нам представляется, что реальная картина приповерхностной области эпитаксиального $GaAs\langle Bi \rangle$ выглядит следующим образом. В объеме кристалла висмут существует в виде изовалентной примеси в концентрациях ниже 10^{18} см^{-3} , по мере приближения к поверхности концентрация висмута возрастает и здесь становится возможным образование твердых растворов $GaBi - GaAs$. Вблизи поверхности содержание Bi возрастает настолько, что, по-видимому, образуется аморфизованный слой, на поверхности которого существует слой естественного оксида. В частности, возможность существования твердых растворов в приповерхностной области $GaAs\langle Bi \rangle$ подтверждается работами других исследователей, доказывающих существование твердых растворов $GaBi - GaSb$ [8] и $InAs - InBi$ [9] с малым содержанием Bi .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Бирюлин Ю.Ф., Ганина Н.В., Чалдышев В.В., Шмарцев Ю.В. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 6. С. 1104-1107.
- [2] Якушева Н.А., Сикорская Г.В., Созинов В.Н. // Изв. АН СССР, Неорг. материалы, 1985. Т. 21. № 4. С. 534-535.
- [3] Бирюлин Ю.Ф., Воробьева В.В., Голубев В.Г. и др. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 12. С. 2201-2209
- [4] Аристархова А.А., Бирюлин Ю.Ф., Волков С.С. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 19. С. 1794-1799.
- [5] Аристархова А.А., Бирюлин Ю.Ф., Волков С.С. и др. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 2. С. 43-47.
- [6] Болховитянов Ю.Б., Долбак А.Е. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 17. С. 18-21.
- [7] Болховитянов Ю.Б., Ваулин Ю.Д., Ольшанский Б.З., Стенин С.И. // Поверхность. 1985. № 9. С. 47-53
- [8] Бирюлин Ю.В., Гермогенов В.П., Ивлева О.М. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 18. С. 1651-1655.
- [9] Ма К.У., Фанг З.М., Jaw D.H., et al. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 55. N 23. P. 2420-2422.