

06.2;06.3;12

©1993

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В  
GaAs/AlGaAsКВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ (КРС)  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПРОТОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

*В.В.Козловский, С.А.Мазуров,  
Б.Я.Бер, А.Л.Закгейм, Д.А.Зушинский,  
И.А.Козловская, И.В.Кочнев, Б.С.Яевич*

В технологии изготовления полосковых AlGaAs гетеролазеров актуальной является задача обеспечения эффективного бокового электронного и оптического ограничения. Среди известных многочисленных способов локализации активной области — мезарельеф, зарачивание и т.д. перспективным представляется направление, связанное с локальным управлением распределения алюминия по глубине гетероструктуры. Обычно для этой цели используется имплантация или диффузия сравнительно тяжелых ионов: Zn, Te, S [1,2]; в данной работе исследуется возможность применения для этой цели протонного облучения.

Образцы для исследования были изготовлены методом МОС-гидридной эпитаксии в реакторе горизонтального типа при пониженном давлении в системе Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>-Al(CH<sub>3</sub>)-AsH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub> [3]. Образцами являлись структуры, полученные путем последовательного выращивания на подложке GaAs(100)±20' буферного слоя Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As толщиной 0.3 мкм и трех квантово-размерных слоев GaAs с толщинами соответственно 140, 70 и 30Å, разделенных и ограниченных сверху барьерными слоями Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As, толщиной 300Å (рис. 1).

Облучение протонами выполнялось на ускорителе НГ-200У; энергия протонов варьировалась от 25 до 150 кэВ, доза облучения  $2 \cdot 10^{16}$ – $5 \cdot 10^{17}$  см<sup>-2</sup>, температура облучения от комнатной до 350° С.

Распределение молярной доли (x) AlAs по глубине образца определялось методом Оже-профилирования [4]. Методом синхронного детектирования регистрировались  $d(EN)/dE$  Оже-пики As МММ (34 эВ); Ga МММ (51–56 эВ) и Al LVV(67 эВ), что обеспечивало информационную глубину порядка 1 нм. Энергия первичных электронов составляла 3 кэВ; энергия первичных ионов (Ar<sup>+</sup>) — 1.2 кэВ при угле

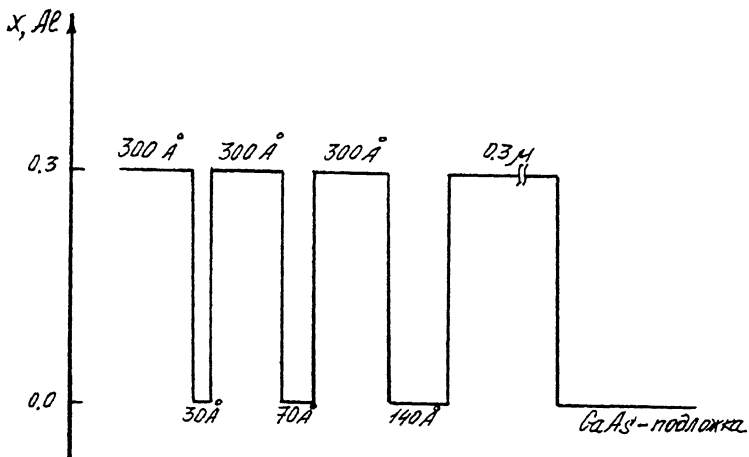


Рис. 1. Схематическое изображение распределения содержания Al по толщине квантоворазмерной гетероструктуры.

падения, отсчитанном от нормали к образцу  $60^\circ$ . Скорость травления составляла порядка  $2 \text{ нм/мин}$ .

На рис. 2 представлено распределение Ga (1), Al (2) по глубине исходной (рис. 2, а) и облученной протонами с энергией  $75 \text{ кэВ}$  при температуре  $250^\circ \text{ C}$  структур (рис. 2, б). Как видно из рисунка при таком облучении происходит эффективное перераспределение алюминия и квантовые ямы фактически исчезают. При этом выравнивается по глубине и распределение галлия. Движение атомов Al и Ga во время облучения может объясняться либо эффектами прямого перемешивания протонным пучком [5] либо процессом радиационно-стимулированной диффузии РСД [6].

Для определения вкладов процессов нами было проведено контрольное облучение структур протонами при комнатной температуре. Как показали опыты распределение Al и As после такого облучения не изменилось. Таким образом, вклад процессов прямого перемешивания пучком незначителен и движение примеси определяется процессом РСД.

Как известно скорость диффузии примесей, движущихся по узлам решетки определяется концентрацией вакансий решетки и их подвижностью. Поскольку один протон генерирует на пути торможения 1 вакансию, а путь торможения составляет  $0,5 \text{ мкм}$  (при энергии протонов  $75 \text{ кэВ}$ ), то пучок интенсивностью  $3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  генерирует вакансии в количестве (G)  $6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Если считать, что основным каналом ухода вакансий является аннигиляция на стоках, то время жизни этих вакансий может составлять от десятых до тысячных долей секунды [7], следовательно, их квазиравно-

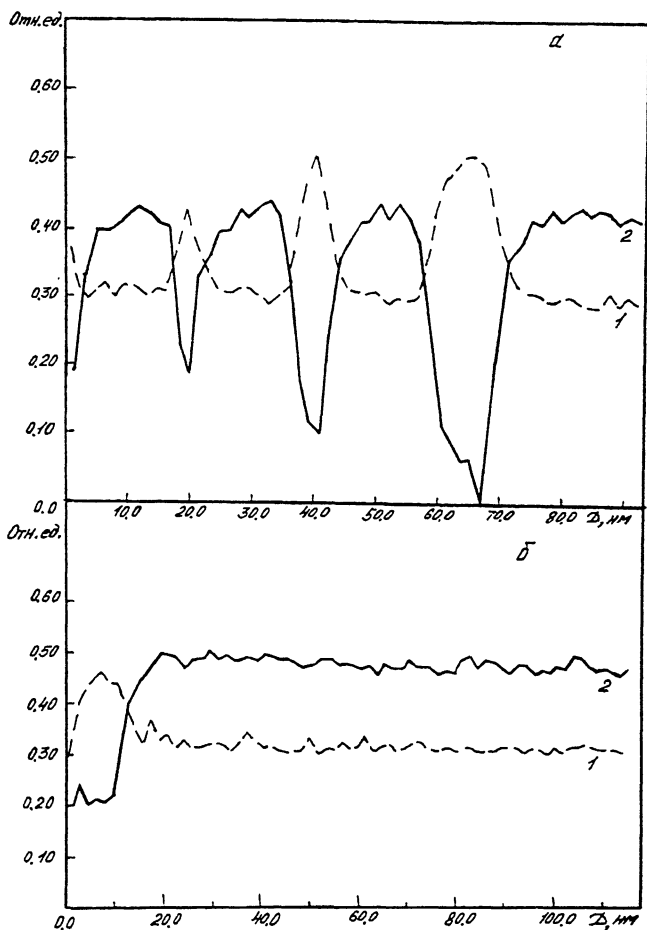


Рис. 2. Распределение концентрации Ga (1), Al (2) и по глубине исходных (а) и облученных протонами с энергией 75 кэВ при температуре 250 С ( б) гетероструктур GaAlAs-GaAs.

весная концентрация  $N$ , определяемая из уравнения:

$$dN/dt = G - N/\tau = 0,$$

становится равной  $10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Такие значения концентраций вакансий характерны для тепловой диффузии при температурах  $\sim 700^\circ$  [8]

Таким образом, резкое увеличение концентрации вакансий атомов решетки при протонном облучении и одновременный умеренный подогрев матрицы до температуры

250° С позволяет эффективно осуществлять перераспределение атомов Al в локальных областях GaAs/AlGaAs сверхрешеток.

### Список литературы

- [1] Sugimoto M. // Jap. J. Appl. Phys. 1989. V. 28. N 6. P. 1013-1018.
- [2] Bryan R. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 55. N 2. P. 94-97.
- [3] Кузьмин И.А., Машевский А.Г., Строганов Д.Р. и др. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 8. С. 1420-1425.
- [4] Бер Б.Я., Гольберг А.Э., Копьев П.С. и др. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 12. С. 751-754.
- [5] Козловский В.В., Ломасов В.Н. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1987. № 3. С. 146-148.
- [6] Kozlovskii V.V., Lomasov V.N., Vlasenko L.S. // Radiation Effects. Bristol-London. 1988. V. 106. N 1-2. P. 37-45.
- [7] Физические процессы в облученных полупроводниках. / Под ред. Л.С.Смирнова. Новосибирск: Наука, 1977. 256 с.
- [8] Атомная диффузия в полупроводниках. / Под ред. Д.Шоу. М.: Мир, 1975. 425 с.

Физико-технический  
институт им.А.Ф.Иоффе  
РАН,  
С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
5 октября 1993 г.