

## ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЕРИЛЛИЯ В InSb И InAs ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИОНОВ И ПОСЛЕДУЮЩЕМ ОТЖИГЕ

Г. Л. Курышев, А. М. Мясников, В. И. Ободников,  
Л. Н. Сафронов, Г. С. Хрящев

Институт физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук,  
630090, Новосибирск, Россия  
(Получена 14 мая 1993 г. Принята к печати 24 августа 1993 г.)

В работе методом масс-спектрометрии вторичных ионов исследованы концентрационные профили бериллия, полученные внедрением в InSb и InAs ионов  $\text{Be}^+$  с энергией 200 эВ и дозой  $10^{15} \text{ см}^{-2}$  с последующим отжигом. Установлено, что при отжиге образцов InSb, при температурах вплоть до 450 °C перераспределения бериллия не происходит. В отличие от InSb, в InAs в результате отжигов при температурах выше 400 °C профиль распределения бериллия существенно модифицируется. При этом в интервале температур 750÷800 °C в облученном ионами  $\text{Be}^+$  InAs в области, прилегающей к среднему проецированному пробегу  $R_p$ , за счет перестройки введенных при облучении дефектов возникает геттерирующий слой, являющийся стоком для диффундирующего бериллия.

Легирование ионами  $\text{Be}^+$  успешно применяется для создания фоточувствительных  $p-n$ -переходов на InSb [1] и InAs [2], но в литературе отсутствуют данные о поведении бериллия при постимплантационном отжиге в этих полупроводниковых соединениях.

Цель настоящей работы — исследование распределения бериллия, полученного в результате внедрения в InSb и InAs ионов  $\text{Be}^+$  с последующим отжигом.

В эксперименте использовался InSb марки ИСЭ-0 и InAs марки ИМДМ. Пластины с ориентацией поверхности (111) облучались ионами  $\text{Be}^+$  с энергией  $E = 200 \text{ кэВ}$  до дозы  $\Phi = 10^{15} \text{ см}^{-2}$  при плотности тока  $\approx 1 \text{ мкА/см}^2$ . Постимплантационный отжиг проводился в атмосфере азота под защитным слоем  $\text{SiO}_2$  толщиной  $\approx 200 \text{ нм}$ , нанесенным при температуре  $\approx 200 \text{ °C}$ . При отжиге образцы быстро вводились в печь, разогретую до заданных температур. По окончании отжига образцы сразу извлекались из разогретой зоны печи.

Распределение бериллия по глубине образцов исследовалось методом масс-спектрометрии вторичных ионов с использованием установки MIQ-256 (CAMECA-RIBER, Франция). Первичный пучок ионов  $\text{O}_2^+$  имел энергию 13 кэВ. Площадь сканирования первичным ионным пучком составляла  $\approx 0.5 \cdot 0.7 \text{ мм}^2$ . Для устранения вклада вторичных ионов бериллия, выбитых из стенок кратера, анализируемый сигнал снимался с его центральной области, составляющей 10% от площади сканирования. Постоянство скорости травления, составлявшей  $\approx 1 \text{ нм/с}$ , в процессе измерений контролировалось по выходу ионов сурьмы (InSb) и мышьяка (InAs).

Из рис. 1 видно, что при отжиге образцов InSb при температурах вплоть до 450 °C перераспределения бериллия не происходит, хотя температура 450 °C для InSb является достаточно высокой (температура плавления равна 525 °C). Из рис. 1 (вставка) также видно, что в результате внедрения в InSb ионов  $\text{Be}^+$  на концентрационном профиле по координате  $x$  в глубину от поверх-

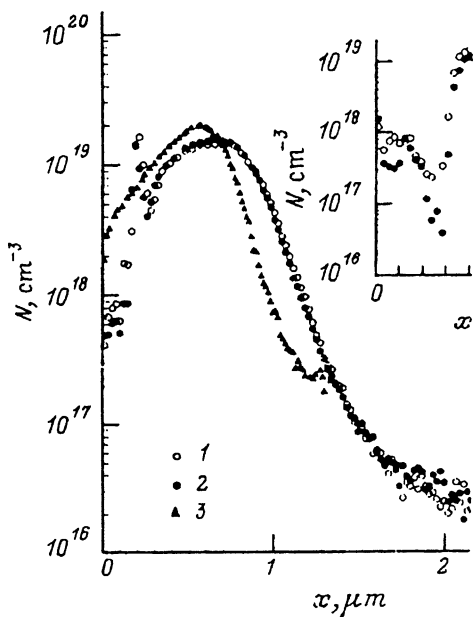


Рис. 1. Концентрационные профили бериллия в InSb и InAs.  $E = 200$  кэВ,  $\Phi = 10^{15}$  см $^{-2}$ . 1 — InSb без отжига; 2 — InSb после отжига при 450 °С в течение 30 мин; 3 — InAs без отжига. На вставке — то же в приповерхностной области.

ности образца образуется дополнительный максимум (при  $x \approx 0.2$  мкм), сохраняющийся при отжиге. Наличие этого дополнительного максимума не связано с ошибкой при облучении, так как на образцах InAs, облучавшихся одновременно с образцами InSb, подобный максимум отсутствует (рис. 1).

По-видимому, образование дополнительного максимума на концентрационном профиле Be в InSb может быть связано с формированием разупорядоченного приповерхностного слоя.

Разупорядочение структуры приповерхностных слоев InSb наблюдалось ранее при облучении ионами  $\text{Ne}^+$ ,  $\text{Ar}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Zn}^+$ ,  $\text{Bi}^+$ ,  $\text{As}^+$ ,  $\text{Sb}^+$  [3,4]. В этом случае разупорядоченный слой представляет собой увеличившуюся в объеме по сравнению с исходным монокристаллическим материалом мелкодисперсную смесь аморфной и поликристаллической фаз InSb. Структура монокристалла в этих слоях при последующих прогревах не восстанавливается, даже если температура отжига была близка к температуре плавления. Визуально образование разупорядоченного приповерхностного слоя проявляется в том, что облученные участки InSb приобретают довольно интенсивный коричнево-серый (иногда до черного) цвет. Наличие структурных нарушений в InSb, облученном ионами, подтверждается и методами электронной микроскопии [4,5]. В планарных  $p$ — $n$ -переходах этот дефектный слой, соприкасаясь по периметру легированной ионами области с базовым материалом, может обуславливать дополнительные утечки.

Косвенным подтверждением существования подобных слоев в случае облучения InSb ионами  $\text{Be}^+$  с энергией 200 кэВ [1] служит то, что для снижения утечек планарных  $p$ — $n$ -переходов оказалось необходимым стравливать приповерхностный слой на глубину  $\approx 0.4$  мкм. Перестройка кристаллической структуры подложки приводит к миграции бериллия прямо в процессе облучения и к его закреплению на дефектах структуры, где он и связывается так, что при отжиге не происходит его перераспределения.

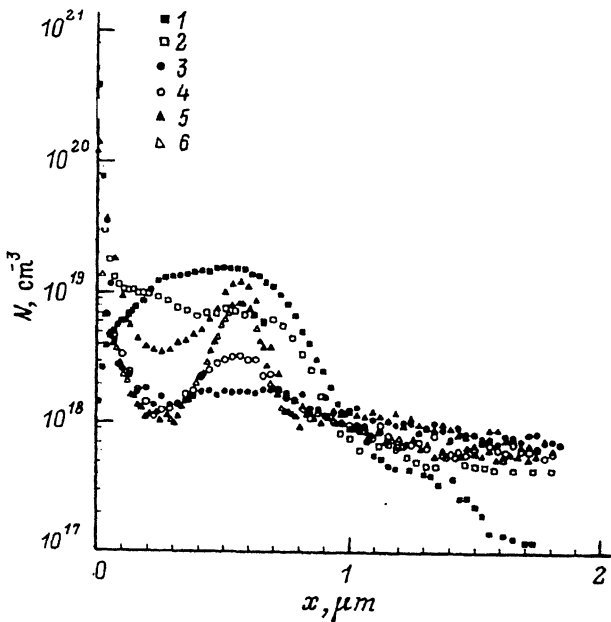


Рис. 2. Концентрационные профили бериллия в InAs, полученные внедрением ионов  $\text{Be}^+$  ( $E = 200$  кэВ,  $\Phi = 10^{15}$   $\text{см}^{-2}$ ) и отжигом в течение 30 мин при температурах, °С: 1 — 400, 2 — 500, 3 — 650, 4 — 750, 5 — 800, 6 — 650 + 800.

Из рис. 2, на котором приведены концентрационные профили бериллия, полученные при различных температурах отжига, видно что в InAs заметное перераспределение внедренного бериллия наблюдается начиная с температуры отжига  $\approx 400$  °С. Дальнейшее повышение температуры до  $650 \div 700$  °С приводит к размытию исходного примесного профиля, сопровождающемуся интенсивным стоком бериллия на границу раздела  $\text{SiO}_2$ —InAs и уходом примеси в глубь образца, т. е. в этом случае поведение бериллия в InAs аналогично поведению магния [6]. К сожалению, InAs по порогу чувствительности ко вторичным ионам бериллия примерно на порядок уступает InSb, что затрудняет анализ профилей в области «хвостов» из-за резкого возрастания погрешности измерений.

При дальнейшем повышении температуры отжига до  $750 \div 800$  °С максимумы на примесных профилях вблизи области, прилегающей к среднему проецированному пробегу внедряемых ионов  $R_p$ , сохраняются, причем концентрация бериллия в этой области растет с повышением температуры. Последующий прогрев при температуре 650 °С в течение 30 мин образцов, ранее отжигавшихся при 800 °С, не приводит к размытию максимума вблизи  $R_p$ , а прогрев при 800 °С образцов, ранее отжигавшихся при 650 °С (и для которых максимум на концентрационном профиле вблизи  $R_p$  отсутствовал — см. рис. 2), снова приводит к формированию такого максимума. При этом концентрационный профиль аналогичен полученному в результате отжига только при температуре 800 °С.

По нашему мнению, такое поведение бериллия в InAs может быть связано с формированием геттерирующего слоя, возникающего за счет перестройки при отжиге в интервале температур  $750 \div 800$  °С запасенных при облучении дефектов, что и приводит к стоку диффундирующего бериллия на этот слой и его закреплению в области, прилегающей к  $R_p$ . Различие в свойствах InSb и InAs в этих экспериментах заключается в том, что в InSb дефектный

геттерирующий слой, удерживающий бериллий, возникает прямо в процессе облучения, а в InAs для его возникновения необходим отжиг.

Таким образом, оказывается, что в отличие от InSb в InAs при относительно низких температурах (температура плавления равна 942 °С) наблюдается перераспределение бериллия. При этом в интервале температур 750÷800 °С в облученном ионами  $Be^+$  InAs в области, прилегающей к  $R_p$  за счет перестройки введенных при облучении дефектов возникает геттерирующий слой, являющийся стоком для диффундирующего бериллия.

В заключение авторы выражают благодарность С. А. Сухих за облучение образцов, Н. А. Валишевой и В. А. Гадкову за помощь при проведении работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] С. Е. Hurwitz, J. P. Donnelly. Sol. Electron., 18, 753 (1975).
- [2] В. П. Астахов, Ю. А. Данилов, В. Ф. Дудкин, В. П. Лесников, Г. Ю. Сидорова, Л. А. Суслов, И. И. Таубкин, Ю. М. Эскин. Письма в ЖТФ, 18, вып. 3, 1 (1992).
- [3] Ю. А. Данилов, В. С. Туловчиков. ФТП, 14, 197 (1980).
- [4] G. L. Destefanis, J. P. Gailliard. Appl. Phys. Lett., 36, 40 (1980).
- [5] S. K. Maksimov, E. A. Pitirimova, P. V. Pavlov. Rad. Eff., 66, 95 (1982).
- [6] Н. Н. Герасименко, А. М. Мясников, В. И. Ободников, Л. Н. Сафронов. ФТП, 26, 1651 (1992).

Редактор Л. В. Шаронова

---