

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА СТРУКТУРНОГО РАЗУПОРЯДОЧЕНИЯ В ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ Be⁺ МОНОКРИСТАЛЛАХ InP

Микуленок А. В., Образцов А. Н., Пирогов В. Г.,
Стоянова И. Г., Трехин А. С.

Приведены результаты исследования комбинационного рассеяния света (КРС) в монокристаллах InP с различными кристаллографическими ориентациями поверхности, подвергшихся имплантации ионами Be⁺. Изменение параметров спектров КРС свидетельствует о том, что при имплантации происходит постепенное разупорядочение приповерхностной области кристалла, приводящее к образованию слоя, состоящего из микрокристаллов.

Ионная имплантация как технологический метод легирования полупроводников находит широкое применение при формировании различных приборных структур современной микро- и оптоэлектроники на основе фосфида индия. В частности, внедрение ионов Be⁺ в *n*-InP используется для создания *p*-области затвора полевого транзистора с *p-n*-переходом [1]. Качество получаемых приборов в значительной степени определяется теми нарушениями в структуре полупроводникового кристалла, которые возникают в процессе имплантации. Это определяет интерес к проблеме изучения структурного разупорядочения в ионно-имплантированных слоях. Эффективным методом исследования структурных несовершенств в кристаллической решетке полупроводника является регистрация спектров комбинационного рассеяния света (КРС) [2-4]. В данной работе представлены результаты исследования методом КРС разупорядочения кристаллической структуры InP, имплантированного ионами Be⁺.

М е т о д и к а э к с п е р и м е н т а

Использовались образцы нелегированного *n*-InP [$n = (1 \div 5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$] с различными кристаллографическими ориентациями поверхности — (100), (110), (111). После механической полировки и химического травления полупроводниковые пластины имплантировались ионами бериллия с энергией 100 кэВ при различных дозах (от $1 \cdot 10^{13}$ до $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$). Регистрация спектров КРС производилась в традиционной геометрии обратного рассеяния при возбуждении на линии 5145 Å аргонового лазера ILA-120-1. Использовались тройной монохроматор (двойной монохроматор ВМ-25-2 и полихроматор ВМ-100) и ФЭУ-136, работавший в режиме счета фотонов. Управление работой спектрометра и обработка спектров КРС осуществлялись с помощью многоканального анализатора NOKIA-4900В. Для предотвращения чрезмерного нагрева исследуемых образцов мощность лазерного излучения не поднималась выше 100 мВт.

Р е з у л ь т а т ы и и х о б с у ж д е н и е

Спектры КРС исследованных образцов содержат полосы, характерные для рассеяния в InP первого порядка (308 и 348 см⁻¹). Как известно [5], в соответствии с правилами отбора для кристаллов со структурой типа цинковой об-

манки, к которым относится фосфид индия, для поверхности (100) разрешенным оказывается рассеяние только на частоте LO -фонона (308 см^{-1}), для (110) — на частоте TO -фонона (348 см^{-1}), а для (111) — на частотах обоих оптических фононов. Именно такие спектры наблюдались для кристаллов, подвергнутых имплантации дозой $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ (рис. 1, а, б). Увеличение дозы имплантации приводит к появлению «запрещенных» для поверхности (100) и (110) линий, относительная интенсивность которых возрастает с увеличением дозы имплантации до $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, для которой спектры образцов с различными ориентациями поверхности практически не различаются. Дальнейший рост дозы до $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ не вызывает заметных изменений в соотношении интенсивностей линий LO - и TO -фононов.

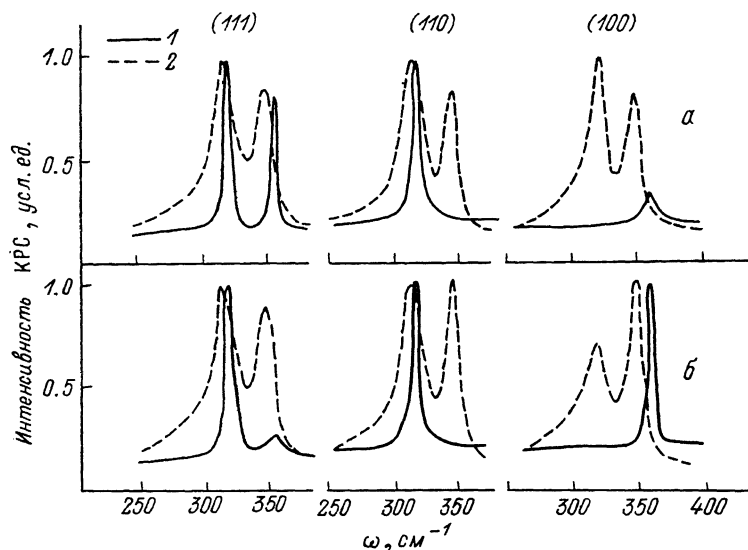


Рис. 1. Спектры КРС кристаллов InP, имплантированных ионами Be^+ , для кристаллографических ориентаций поверхности (111), (110), (100) при наблюдении в геометриях $Z (XX)Z$ (а) и $Z (XY)Z$ (б).

Доза имплантации, см^{-2} : 1 — 10^{13} , 2 — 10^{15} .

С ростом дозы имплантации увеличивается ширина линий КРС от $8\text{--}10 \text{ см}^{-1}$ при дозе $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ до 24 см^{-1} (для TO -фонона) и до 15 см^{-1} (для LO -фонона) при дозе $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ (рис. 2). Кроме того, отмечается смещение линий LO - и TO -фононов в низкочастотную область спектра (рис. 3).

Симметрию кристаллической структуры имплантированного слоя позволяют уточнить данные, полученные в результате измерения поляризационных спектров КРС. Необходимо учитывать тот факт, что в геометрии обратного рассеяния векторы напряженности электрического поля рассеянного света, связанного с продольным оптическим фононом, и возбуждающего излучения должны быть перпендикулярны для поверхности (100) и параллельны для поверхности (111) в случае идеального кристалла. В рассеянии на частоте TO -фонона [для поверхностей (111) и (110)] должно содержаться излучение и с той, и с другой поляризациями [5]. Именно такое поведение КРС характерно для кристаллов, имплантированных минимальной дозой ($1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$). При максимальной же дозе ($1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) наблюдается полная деполаризация линий в спектрах рассеяния. Промежуточные дозы имплантации приводят к спектрам с частично деполаризованными линиями (рис. 1, а, б).

Таким образом, в результате имплантации InP ионами Be^+ происходит изменение ряда параметров спектров КРС (полуширины, положения и поляризационных характеристик линий КРС, а также появление и рост относительной интенсивности запрещенных линий). Общей особенностью является постепенное изменение параметров с увеличением дозы имплантации до $5 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Дальнейшее увеличение дозы до $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ оставляет спектры КРС практически неизменными.

Изменения спектров КРС, очевидно, связаны со структурным разупорядочением приповерхностных слоев InP в результате имплантации ионами. При разупорядочении кристаллической решетки происходит нарушение дальнего порядка (трансляционной симметрии), приводящее к снятию «запрета», накладываемого законом сохранения квазиимпульса. В результате вместо характерного для кристаллов дискретного спектра КРС, в который дают вклад лишь фононы в центре зоны Бриллюэна с волновым вектором $q = \Delta k = 0$ (где Δk — разность волновых векторов падающего и рассеянного фотонов), наблюдается спектр, соответствующий рассеянию на фононах с $q = 0$. Для полностью аморфного вещества такие спектры содержат широкие линии, соответствующие плотности фононных состояний, при частичном снятии запрета должны происходить лишь уширение линий и их сдвиг в низкочастотную сторону [3].

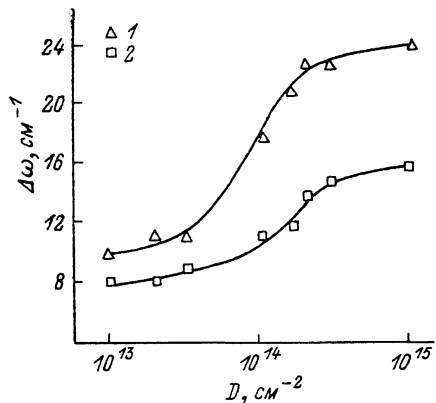


Рис. 2. Зависимость ширины линий КРС $\Delta\omega$ от дозы имплантации D для TO - (1) и LO -фононов (2).

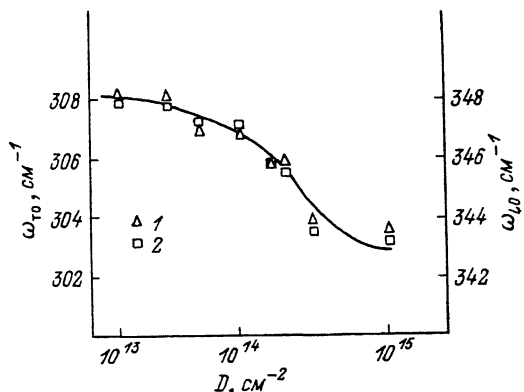


Рис. 3. Зависимость частоты линий КРС ω от дозы имплантации D для TO - (1) и LO -фононов (2).

Другой причиной увеличения ширины линий КРС могла бы быть неоднородность механических напряжений, возникающих при имплантации. Это связано с зависимостью частоты соответствующих фононов от механического напряжения в кристалле [2]. Однако, как показано в [6], для фосфида индия частоты LO - и TO -фононов прямо пропорциональны величине напряжения, следовательно, уширения линий должны быть одинаковыми, что противоречит нашим экспериментальным данным (рис. 2). В то же время различие степени уширения LO - и TO -фононных линий в рамках механизма уширения при частичном снятии запрета правил отбора может быть обусловлено различием дисперсионных зависимостей фононов [3].

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что в результате имплантации ионами Be^+ происходит постепенное разупорядочение кристаллической решетки InP, причем характер этого разупорядочения не зависит от кристаллографической ориентации поверхности и связан, очевидно, с накоплением точечных дефектов, которые приводят к образованию в приповерхностной области образца слоя, состоящего из микрокристаллов. Однородность механических напряжений, которые могут индуцироваться в процессе имплантации, свидетельствует об отсутствии дислокаций.

Список литературы

- [1] Wang K. W., Cheng C. L., Zima S. M. // Electron. Lett. 1987. V. 23. N 20. P. 1040—1041.
- [2] Горелик В. С., Сушинский М. М., Хашимов Р. Н. // Тр. ФИ АН СССР. 1987. Т. 180. С. 151—179.
- [3] Shuker R., Gammon R. // Phys. Rev. B. 1970. V. 25. N 4. P. 222—225.
- [4] Yu S. J., Asohi H., Emura S., Sumida H., Gonda S., Tanone H. // J. Appl. Phys. 1989. V. 66. N 2. P. 856—860.
- [5] Сушинский М. М. Спектры комбинационного рассеяния молекул и кристаллов. М., 1969.
- [6] Trommer R., Müller H., Cardona M., Vogl P. // Phys. Rev. Lett. B. 1980. V. 21. N 10. P. 4879—4883.