

©1995 г.

## КРУПНОМАСШТАБНЫЕ СКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ InP : As И InP : Ga

*В.А.Юрьев, В.П.Калинушкин*

Институт общей физики Российской академии наук,  
117942, Москва, Россия

(Получена 29 августа 1994 г. Принята к печати 31 октября 1994 г.)

Методом малоуглового рассеяния света с длиной волны в среднем инфракрасном диапазоне проведено исследование крупномасштабных скоплений электрически активных дефектов в монокристаллах InP : As и InP : Ga.

Легирование изовалентной примесью In хорошо зарекомендовало себя как метод получения бездислокационного полуизолирующего GaAs. По аналогии с этим методом неоднократно предпринимались попытки получения малодислокационного InP путем легирования материала примесями мышьяка и галлия, вводимыми в высокой концентрации (до  $10^{20}$  см<sup>-3</sup>) в процессе роста кристалла. По некоторым данным, эти попытки увенчались успехом [1]. Нам, однако, не пришлось работать с подобным материалом. Тем не менее исследование крупномасштабных скоплений электрически активных дефектов (КЭД) в фосфиде индия, легированном изовалентными примесями, помогает установить общие закономерности появления крупномасштабных дефектов недислокационной природы в этом материале.

Как и в работах [2,3], где впервые была представлена модель КЭД в InP, исследование в настоящей работе проводилось методом малоуглового рассеяния света среднего инфракрасного (ИК) диапазона [4-6]. Кристаллы выращивались методом Чохральского с жидкостной герметизацией расплава. Основные электрофизические параметры исследованных образцов представлены в таблице.

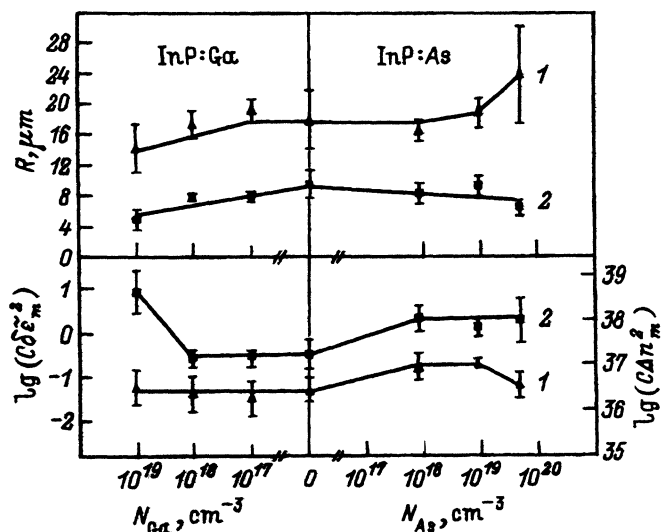
На рисунке представлены параметры крупномасштабных скоплений электрически активных дефектов  $R$ ,  $C\Delta n_m^2$ ,  $C\delta\tilde{\epsilon}_m^2$  в зависимости от концентрации легирующей примеси  $N_{Ga}$ ,  $N_{As}$ , где  $R$  — радиус скоплений,  $C$  — концентрация скоплений,  $\Delta n_m$  — эффективная максимальная концентрация носителей в их объеме,  $\delta\tilde{\epsilon}_m$  — максимальное относительное

Основные параметры монокристаллов InP:Ga и InP:As (концентрация электронов и их подвижность измерены при комнатной температуре)

Легирующая примесь	Ga			As		
	$10^{19}$	$10^{18}$	$10^{17}$	$8 \cdot 10^{17}$	$9 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{19}$
Концентрация примеси в твердом растворе, $\text{см}^{-3}$	$10^{19}$	$10^{18}$	$10^{17}$	$8 \cdot 10^{17}$	$9 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{19}$
Направление роста	(111)	(100)	(100)	(111)	(111)	(111)
Концентрация электронов, $10^{16} \text{ см}^{-3}$	2.9	3.4	2.0	1.4	1.8	2.9
Подвижность электронов, $10^3 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	4.1	4.05	4.2	4.2	4.0	3.2

изменение диэлектрической проницаемости в КЭД, см. [2-4]. Усреднение производилось по результатам измерения параметров скоплений в разных точках пластин с одинаковой концентрацией легирующей примеси, вертикальные отрезки на рисунке показывают статистический разброс этих результатов. Видно, что с увеличением концентрации галлия в кристалле от  $10^{17}$  до  $10^{19} \text{ см}^{-3}$  несколько уменьшается средний размер скоплений, при этом параметры концентрации  $S \Delta n_m^2$  или  $S \delta \tilde{\epsilon}_m^2$  не изменяются в крупных скоплениях и заметно растут в средних при концентрации галлия  $10^{19} \text{ см}^{-3}$  (классификацию скоплений в InP см. в [2,3]).

Иначе ведут себя скопления в монокристаллах, легированных мышьяком. Средний размер крупных скоплений ощутимо увеличивается



Параметры крупномасштабных скоплений электрически активных дефектов  $R$ ,  $S \Delta n_m^2$ ,  $S \delta \tilde{\epsilon}_m^2$  в зависимости от концентрации изовалентной примеси в  $N_{\text{Ga}}$ ,  $N_{\text{As}}$  в фосфиде индия. Скопления: 1 — крупные, 2 — средние.

ростом уровня легирования материала, при этом, однако, возрастает и разброс размеров неоднородностей. Размеры средних скоплений, как и в материале, легированном галлием, уменьшаются. Параметр концентрации изменяется слабо — несколько увеличивается при уровне легирования  $8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  и возвращается в крупных скоплениях к значениям, характерным для нелегированного материала, при концентрации мышьяка  $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ .

Вряд ли указанные изменения связаны непосредственно с тем, что легирующая примесь стала основой скоплений (хотя, конечно, не исключено и это). По-видимому, основа скоплений в  $\text{InP}:\text{As}$  и  $\text{InP}:\text{Ga}$  та же, что и в нелегированном  $\text{InP}$ , т.е. центр  $\text{In}_\text{P}$  (индий на месте фосфора) [2,3]. Скорее всего, сильное легирование изовалентными примесями изменяет условия образования как самого центра, так и его ассоциаций, что в конечном итоге и приводит к наблюдаемым изменениям в структуре КЭД. Существенное влияние на КЭД, по нашему мнению, могут оказывать также существенные различия в режимах выращивания монокристаллов с разными уровнями легирования.

Авторы благодарят И.М. Тигиняну, любезно предоставившего экспериментальные образцы.

#### Список литературы

- [1] Y. Homma, M. Tomita, S. Kurosawa, S. Tohno. *Proc. III Int. Symp. on Defect Recognition and Image Processing for Research and Development of Semiconductors* (Tokyo, Japan, Sept. 22-25, 1989)
- [2] В.П. Калинушкин, В.А. Юрьев, Д.И. Мурин. ФТП, **25**, 798 (1990).
- [3] V.P. Kalinushkin, V.A. Yuryev, D.I. Murin, M.G. Ploppa. *Semicond. Sci. Technol.*, **7**, A252 (1992).
- [4] В.П. Калинушкин. Тр. ИОФАН (М.), **4**, 3 (1986).
- [5] В.В. Воронков, Г.И. Воронкова, Б.В. Зубов и др. ФТТ, **23**, 117 (1981).
- [6] С.Е. Заболотский, В.П. Калинушкин, М.Г. Плоппа, Т.М. Мурина. ПТЭ, № **4**, 206 (1984).

Редактор Т.А. Полянская

### Large-scale accumulations of electrically active defects in $\text{InP}:\text{As}$ and $\text{InP}:\text{Ga}$ single crystals

V.A. Yuryev, V.P. Kalinushkin

Institute of General Physics, Russian Academy of Sciences, 117942 Moscow