

©1995 г.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Ag^+ НА РАССЕЯНИЕ СВЕТА МОНОКРИСТАЛЛАМИ НЕЛЕГИРОВАННОГО ФОСФИДА ИНДИЯ

В.А.Юрьев, В.П.Калинушкин

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

(Получена 31 августа 1994 г. Принята к печати 21 сентября 1994 г.)

Методом малоуглового рассеяния света среднего инфракрасного диапазона исследовано влияние имплантации ионов Ag^+ с энергией 200 и 250 кэВ (доза 10^{16} см^{-2}) в монокристаллы нелегированного фосфида индия. Установлено, что в результате ионной имплантации происходит увеличение концентрации свободных носителей тока в крупномасштабных скоплениях электрически активных дефектов.

В экспериментах по влиянию ионной имплантации на рассеяние света, выполненных методом малоуглового рассеяния света среднего инфракрасного диапазона (МУРС) [1], в качестве исходных использовались образцы специально не легированного фосфида индия, выращенного методом Чохральского с дижкостной герметизацией расплава в направлении $\langle 100 \rangle$. Концентрация электронов в них при 300 К составляла $(1 \div 3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, подвижность — $(3 \div 5) \cdot 10^3 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Кристаллы резко отличались по плотности дислокаций: часть образцов имела нормальную плотность дислокаций ($\sim 5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$), часть — повышенную ($10^5 \div 10^6 \text{ см}^{-2}$). Толщина первых была 0.5 мм, вторых — 3 и 1.5 мм. Образцы представляли собой плоскопараллельные пластицы, вырезанные из слитка вдоль плоскости (100) и отполированные с оптической точностью.

Крупномасштабные скопления электрически активных дефектов (КЭД) в фосфиде индия — а именно ими определяется малоугловое рассеяние света с длиной волны 10.6 мкм в подобных кристаллах — подробно изучены в работах [2,3], где предложена модель скоплений, согласно которой основной КЭД в фосфиде индия являются акцепторы In_p . Особенности рассеяния света монокристаллами In_p с различной плотностью дислокаций также подробно описаны в работах [2,3], поэтому в данной работе мы не будем останавливаться на их описании.

Напомним лишь, что кристаллы InP с высокой плотностью дислокаций отличаются от кристаллов с нормальной плотностью дислокаций существенно меньшей интенсивностью рассеяния света, что, по нашему мнению, обусловлено более высокой скоростью стока избыточных вакансий фосфора на дислокации в процессе послеростового остывания материала с большой плотностью дислокаций и, как следствие, более низкой концентрацией индиевых антиструктурных дефектов в КЭД.

Имплантация ионов Ag^+ проводилась при комнатной температуре на ускорителе «High Voltage Engineering Еuroра». Энергия ионов составляла 200 и 250 кэВ, доза облучения — 10^{16} см⁻², при этом температура образцов не превышала 100°C.

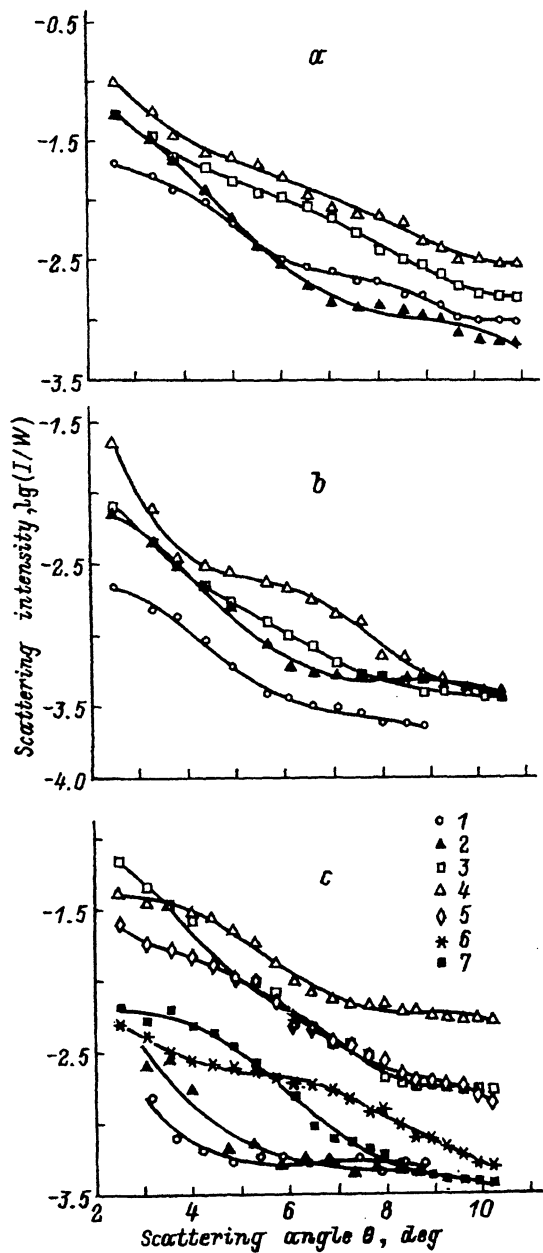
Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе приготовленные для имплантации пластины (исходные образцы) проходили тщательное обследование методом МУРС. Диаграммы рассеяния снимались с высокой плотностью в разных точках образцов, про этом в каждой точке диаграммы снимались при нескольких ориентациях образца относительно плоскости поляризации зондирующего излучения.

Затем, на втором этапе, образцы подвергались имплантации ионов Ag^+ . При этом образцы с повышенной плотностью дислокаций толщиной 1.5 мм были наполовину закрыты маской (так, что фактически имплантации подвергалась только половина площади пластины, граница раздела проходила через центр поверхности образцов). После ионной имплантации образцы подвергались столь же тщательному обследованию, как и исходные.

Характерные диаграммы рассеяния света этими образцами приведены на рисунке, а параметры КЭД до и после имплантации — в таблице. Во всех образцах заметен общий рост интенсивности рассеяния света и некоторое изменение формы диаграмм. Особенно ярко эти изменения проявились в образцах материала с повышенной плотностью дислокаций, которые в результате имплантации ионов Ag^+ по своим рассеивающим свойствам приблизились к образцам InP с нормальной плотностью дислокаций. Более того, форма диаграмм и интенсивность рассеяния света в образцах этого материала изменилась даже в областях, прикрытых при экспонировании маской.

Сходное поведение рассеивающих неоднородностей было обнаружено в кристаллах кремния при имплантации ионов P^+ [4]. В них было зарегистрировано изменение рассеивающих свойств примесных скоплений и, как правило, рост интенсивности рассеяния, в том числе и в областях кристаллов, не подвергавшихся облучению (покрытых маской). По мнению авторов [4], изменение рассеивающих свойств скоплений может быть вызвано многими причинами: в процессе имплантации в приповерхностном слое материала образуется большое количество собственных точечных дефектов, которые даже при комнатной температуре мигрируют на расстояния порядка нескольких миллиметров, в результате в скопления могут вводиться новые точечные центры, компенсирующая примесь в скоплениях может образовывать электрически активные комплексы с собственными дефектами, генерируемыми в ходе имплантации, вследствие захвата скоплениями собственных дефектов может происходить растворение примесных микровключений и дополнительная активация скоплений и т.д.

В случае имплантации ионов Ag^+ в InP рост интенсивности рассеяния (активация скоплений) происходит, по нашему мнению, за счет уве-



Диаграммы рассеяния света нелегированным фосфидом индия до (1,2) и после (3-7) имплантации ионов Ag^+ . 6,7 — образцы под маской.

Плотность дислокаций, см^{-2} : *a* — $5 \cdot 10^4$, *b, c* — $10^5 \div 10^6$. Энергии Ag^+ , кэВ: *a, b* — 200, *c* — 250. Температура — комнатная.

Параметры КЭД в исходном нелегированном InP и после имплантации ионов Ag^+

Параметры пластины		Энергия Ag^+ , кэВ	Состояние пластины	a , мкм	$lg(I_0/W)$, $смер^{-1} см^{-3}$	$lg(C\Delta n_m^2)$, $см^{-9}$
Толщина, мм	Плотность дислокаций, $см^{-2}$					
0.5	$\sim 5 \cdot 10^4$	200	Исходная	$13 \div 18$	$-1.7 \div -1.6$	$36.0 \div 37.2$
				$7 \div 10$	$-2.7 \div -1.9$	$37.1 \div 37.7$
				$5 \div 6$	$-2.9 \div -2.1$	$38.2 \div 38.8$
			После имплантации	$20 \div 23$	$-0.8 \div -0.4$	$36.6 \div 36.8$
				$7 \div 9$	$-1.5 \div -1.1$	$38.3 \div 38.5$
				-	-	-
3	$10^5 \div 10^6$	200	Исходная	$12 \div 14$	$-2.1 \div -1.4$	$36.6 \div 37.2$
				-	-	-
				~ 4	$-2.8 \div -2.6$	$38.9 \div 39.2$
			После имплантации	$17 \div 25$	$-1.6 \div -0.2$	$36.4 \div 36.8$
				$7 \div 9$	$-2.4 \div -1.6$	$37.6 \div 38.0$
				≤ 5	≤ -2.5	≥ 38.8
1.5	$10^5 \div 10^6$	250	Исходная	$13 \div 14$	$-2.8 \div -2.4$	$35.6 \div 36.2$
				-	-	-
				≤ 4	$-3.3 \div -3.0$	~ 39.3
			После имплантации	$15 \div 21$	$-1.5 \div 0.5$	$36.7 \div 37.0$
				$11 \div 12$	$-1.4 \div -1.0$	$37.5 \div 37.9$
				~ 5	$-2.6 \div -2.2$	$38.4 \div 39.0$
После имплантации под маской	$18 \div 20$	~ -2.1	$35.5 \div 35.7$			
	$10 \div 12$	$-2.6 \div -2.2$	$36.5 \div 37.3$			
			~ 5	~ -2.8	~ 38.2	

Примечание. a — радиус скопления; $lg(I_0/W)$ — логарифм интенсивности рассеяния света в кристалле под нулевым углом (I_0), отнесенной к мощности зондирующего луча (W); $C\Delta n_m^2$ — параметр концентрации, C — концентрация КЭД, Δn_m — эффективное максимальное значение разности между концентрацией носителей тока внутри и вне КЭД [2,3].

личения концентрации центров InP в скоплениях. Изменение диаграмм рассеяния света образцами с повышенной плотностью дислокаций говорит от том, что в исходном состоянии скопления в этом материале электрически неактивны. Вероятнее всего, из-за чрезвычайно высокой плотности дислокаций активирующие центры (например, вакансии фосфора) в процессе послеростового остывания кристалла и распада нестехиометрического твердого раствора In-InP стекают на дислокации, причем скорость их стока в этом случае может увеличиться и приблизиться к скорости коагуляции межузельного индия (при нормальной плотности дислокаций скорость коагуляции межузельного индия значительно больше скорости стока вакансий в обеих подрешетках, вследствие чего концентрация вакансий оказывается больше, чем кон-

центрация межузельного индия ^[5]), что в свою очередь может привести к падению концентрации вакансий фосфора по отношению к концентрации межузельного индия и, как следствие, к уменьшению концентрации дефектов In_P , образующихся в результате реакции $V_P + \text{In}_i = \text{In}_P$.

Ионная имплантация резко увеличивает концентрацию вакансий фосфора в объеме кристалла (механизм этого процесса аналогичен предложенному в ^[4]), в том числе и в объеме скоплений, в результате чего может произойти увеличение концентрации дефектов In_P в скоплениях. В этом случае интенсивность рассеяния света скоплениями должна резко возрасти, а так как размеры скоплений в материалах с разной плотностью дислокаций примерно одинаковы (различны лишь степени их активации), форма диаграмм рассеяния света материалом с высокой плотностью дислокаций должна совпасть с формой диаграмм рассеяния света материалом с нормальной дислокационной структурой. Именно это и наблюдается в эксперименте.

Изменение диаграмм рассеяния света кристаллами In_P с нормальной плотностью дислокаций, с нашей точки зрения, объясняется теми же процессами.

Несколько менее выраженный рост интенсивности рассеяния света в областях кристаллов, покрытых при имплантации маской, связан, вероятно, с существенно меньшим потоком собственных дефектов «вбок» по сравнению с их потоком «вперед». Надо сказать, что подобный эффект «дальнего действия вбок» при ионной имплантации наблюдался неоднократно и описан, например, в ^[4].

В подтверждение предложенному выше объяснению изменения диаграмм рассеяния света в результате ионной имплантации можно сказать, что в работе ^[6] вследствие облучения монокристаллов $n\text{-InP}$ электронами с энергией $3.5 \div 4$ МэВ при дозах, превышающих $5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$, в спектрах фотолюминесценции образцов при температуре 4.2 К зарегистрирована полоса с максимумом при 1.392 эВ, связываемая с излучательным переходом электрона на центр In_P^0 . При повышении температуры этот центр в результате термической активации переходит в состояние In_P , согласно же модели, предложенной в ^[2,3], рассеяние света КЭД в фосфиде индия при температуре более $120 \div 140$ К определяется именно центром In_P^- (энергия уровня, соответствующего переходу $\text{In}_P^0/-$, примерно равна $E_v + 30$ мэВ).

Таким образом, в настоящей работе установлено, что в результате имплантации ионов Ag^+ с энергией 200 и 250 кэВ (доза 10^{16} см^{-2}) в монокристаллах нелегированного фосфида индия происходит увеличение концентрации свободных носителей тока в объеме КЭД, связанное, по нашему мнению, с ростом концентрации центров In_P .

Авторы признательны И.М.Тигиняну, любезно предоставившему монокристаллы фосфида индия. Авторы также благодарят А.В.Спицына за имплантацию ионов Ag^+ .

Список литературы

- [1] В.П. Калинушкин. Тр. ИОФАН (М.), 4, 3 (1986).
- [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, A255 (1992).
- [4] В.П. Калинушкин, А.А. Маненков, Г.Н. Михайлова и др. Микроэлектроника, 15, вып. 6, 528 (1986).
- [5] А.Н. Морозов, В.Т. Бублик, В.Б. Освенский, А.В. Беркова, Е.В. Микрюкова, А.Я. Нашельский, С.В. Якобсон, А.Д. Попов. Кристаллография, 28, 776 (1983).
- [6] Ф.П. Коршунов, С.И. Радауцан, Н.А. Соболев, И.М. Тигиняну, В.В. Урсаки, Е.А. Кудрявцева. ФТП, 23, 1581 (1989).

Редактор Л.В. Шаронова

The influence of bombardment with Ar^+ ions on the light scattering by single crystals of undoped indium phosphide

V.A. Yuryev, V.P. Kalinushkin

Institute of General Physics, Russian Academy of Sciences, 11794, Moscow

Increase in the free carrier density in the interior of large-scale electrically active accumulations has been observed as a result of the bombardment of wafers of undoped indium phosphide with Ar^+ ions.
