

максимум ФЛ в области 1.41 эВ (кривая 2). Резкое увеличение концентрации электронов в приповерхностном слое после ТО при $p_{As} = 9.8 \cdot 10^4$ Па обусловлено изменением соотношения концентраций вакансий галлия и мышьяка ($[V_{Ga}][V_{As}] = kp_{As}^2$): с ростом давления паров мышьяка вероятность образования V_{As} уменьшается, что и подтверждается видом кривой $\rho = f(p_{As})$ (рис. 1). С другой стороны, при больших давлениях мышьяка возможно формирование в приповерхностном слое антиструктурных дефектов донорного типа As_{Ga} [8]. Возможно, что присутствие этих дефектов в кристалле является и причиной того, что удельное сопротивление (ρ) не восстанавливается даже при высоких давлениях вплоть до $p_{As} = 2.1 \cdot 10^6$ Па (рис. 1). О росте концентрации перечисленных дефектов, а также центров $EL2$ свидетельствуют и спектры ФП. Наличие дефектов можно объяснить также спектры краевой ФЛ. Действительно, полоса ФЛ в области 1.41 эВ, которая преобладает после ТО при $p_{As} = 9.8 \cdot 10^4$ Па, связывается в литературе с дефектом V_{As} [9]. Что касается полосы 1.48 эВ, то спад ее интенсивности при больших давлениях мышьяка обусловлен участием в рекомбинации дефекта As_{Ga} . На ухудшение излучательных характеристик соединений $A^{III}B^V$ за счет антиструктурных дефектов впервые указал Ван-Вехтен [10].

Таким образом, изменение свойств приповерхностной области нелегированных кристаллов GaAs при ТО в парах мышьяка объясняется тем, что при низких давлениях поверхность обогащена преимущественно дефектами типа V_{As} , а при высоких давлениях — дефектами типа As_{Ga} .

Из проведенных исследований следует, что управление концентрацией собственных точечных дефектов путем регулирования давления паров мышьяка является важным рычагом формирования свойств и повышения термостабильности нелегированных кристаллов ПИ GaAs.

Л и т е р а т у р а

- [1] Terne O. — Elektroniker (BRD), 1986, v. 25, N 11, p. 44—54.
- [2] Инденбом В. А., Житомирский И. С., Чебанова Т. С. — Кристаллография, т. 18, в. 1, с. 39—48.
- [3] Мильвидский М. Г. — В кн.: Итоги науки и техники, сер. Электроника и ее применение. М., 1979, т. 11, с. 105—115.
- [4] Ковальчук И. А., Мильвидский М. Г., Каратаев В. В. и др. — В кн.: Получение полупроводниковых материалов для новой техники. М., 1984, т. 124, с. 39—44.
- [5] Munoz E., Snyder W. L., Moll J. L. — Appl. Phys. Lett., 1970, v. 16, N 7, p. 262—265.
- [6] Nishizawa J., Otsuka H., Yamakoshi S., Ishida K. — Japan. J. Appl. Phys., 1974, v. 13, N 1, p. 46—52.
- [7] Шипяну Ф. С., Показной И. И., Литвин А. А., Пандаевский С. И., Шонтя В. П. — В кн.: Тез. докл. II Всес. конф. «Физические основы надежности и деградации полупроводниковых приборов». Кишинев, 1986, ч. 1, с. 44.
- [8] Weber E. R., Schneider J. — Physica, 1983, v. 116B, p. 398—403.
- [9] Chang L. L., Esaki L., Tsu R. — Appl. Phys. Lett., 1971, v. 19, N 5, p. 143—145.
- [10] Van Vechten J. A. — J. Electron. Mater., 1975, v. 4, N 5, p. 1159—1169.

Кишиневский политехнический институт
им. С. Лазо

Получено 21.10.1987
Принято к печати 15.12.1987

ФТП, том 22, вып. 6, 1988

СЛОИ p -ТИПА НА КРИСТАЛЛАХ i -GaAs, ОТОЖЖЕННЫХ В ВОДОРОДЕ

Георгобиани А. Н., Илюхина З. П., Пышная Н. Б.,
Тигиняну И. М., Урсаки В. В.

В ряде работ сообщается об образовании приповерхностного слоя p -типа проводимости при отжиге монокристаллов полуизолирующего арсенида галлия в различных атмосферах [1, 2]. Сделано предположение о том, что дырочная проводимость обусловлена антиструктурным дефектом (АСД) Ga_{As} [3]. Для по-

лучения новой информации о свойствах дефекта, ответственного за p -тип проводимости, в данной работе были исследованы электрические параметры, спектры фотопроводимости (ФП) и фотолюминесценции (ФЛ) слоев GaAs p -типа, созданных в процессе отжига специально не легированных полуизолирующих монокристаллических пластин арсенида галлия с ориентацией (100) в потоке водорода при температурах 800 и 900 °С. Удельное сопротивление, концентра-

Электрические параметры слоев p -типа на i -GaAs

$T_{\text{отж}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{отж}}, \text{ч}$	$\rho, \text{Ом}/\square$	$p, \text{см}^{-2}$	$\mu_p, \text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	
800	{	0.25	$5 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^9$	26
		1	$5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{11}$	360
		8	$2 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^{11}$	380
900	{	0.25	$5 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^{11}$	200
		1	$2 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^{11}$	495
		8	$1.6 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{12}$	310

ция и подвижность электронов в исходных кристаллах, полученных методом Чохральского с жидкостной герметизацией расплава, составляли $8 \cdot 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $2 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$ и $3600 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ соответственно ($T=300 \text{ К}$). Фотолюминесценция возбуждалась при 6 К излучением He—Ne-лазера с длиной волны 632.8 нм. Спектры ФП измерялись при частоте прерывания света 200 Гц и нормировались на единичный квантовый поток падающего излучения.

В таблице приведены слоевые значения электрических параметров

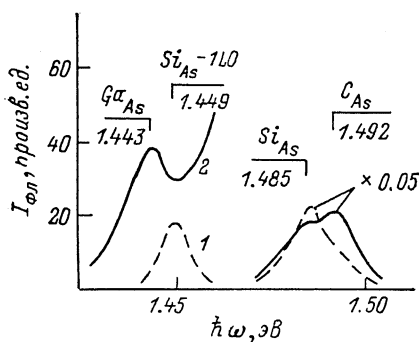


Рис. 1. Спектры ФЛ при 6 К исходных монокристаллов GaAs (1) и образцов, отожженных в водороде при 900 °С в течение 1 ч (2).

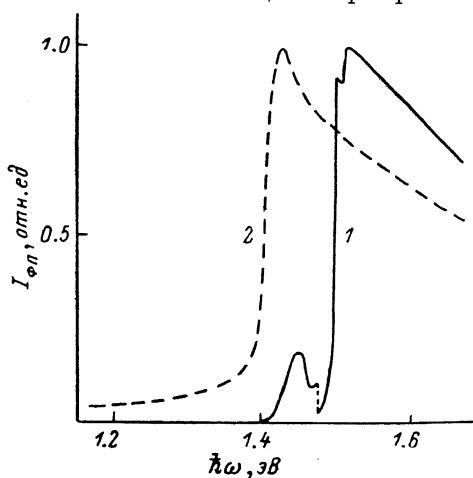


Рис. 2. Спектры ФП образцов GaAs, отожженных в водороде при 900 °С в течение 1 ч. $T, \text{К}$: 1 — 80, 2 — 300.

отожженных образцов, измеренных методом Ван-дер-Пау при 300 К. Как видно из таблицы, максимальное значение подвижности носителей в p -слое достигается после отжига образцов при $T_{\text{отж}}=900 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 ч. Для определения энергии активации дефекта, ответственного за p -тип проводимости, на образцах, отожженных в оптимальных условиях, были исследованы спектры ФЛ и ФП.

На рис. 1 приведены спектры ФЛ при 6 К исходных монокристаллов GaAs и образцов, отожженных при 900 °С в течение 1 ч. Анализ показывает, что спектры состоят из нескольких отдельных полос ФЛ. Вблизи E_g наблюдаются две перекрывающиеся полосы ФЛ с максимумами при энергиях 1.485 и 1.492 эВ, обусловленные, согласно литературным данным [3], центрами Si_{As} и C_{As} соответственно. Кроме того, в спектре исходного образца присутствует пик ФЛ при энергии 1.449 эВ, представляющий собой, по-видимому, фоновое повторение полосы при 1.485 эВ (энергия продольной оптического фонона в GaAs составляет 36 мэВ). В спектрах ФЛ отожженных образцов появляется новый

пик ФЛ с максимумом при энергии 1.443 эВ, который, возможно, связан с акцепторным центром, возникающим при отжиге. С учетом величины E_g , равной 1.52 эВ ($T=4.2$ К), и в предположении обусловленности данной полосы переходами электронов из зоны проводимости на уровень дефекта акцепторного типа можно оценить энергию активации последнего. Полученное значение 77 мэВ совпадает с величиной первой энергии ионизации АСД Ga_{As} , найденной в [4].

На рис. 2 приведены спектры ФП отожженных образцов GaAs при температурах 80 и 300 К. Абсолютные максимумы спектров соответствуют, по-видимому, межзонным переходам. Что касается двух сравнительно узких пиков ФП с максимумами при энергиях 1.49 и 1.45 эВ, которые наблюдаются при 80 К, то первый из них может быть обусловлен примесными центрами C_{As} и (или) Si_{As} , а второй — АСД Ga_{As} . При комнатной температуре указанные особенности не разрешаются.

АСД Ga_{As} , согласно литературным данным, характеризуется двумя значениями энергии активации (77 и 230 мэВ), соответствующими отрыву дырок от центров Ga_{As}^0 и Ga_{As}^- [4]. Оценки показывают, что уровень Ферми в слоях p -типа, полученных отжигом кристаллов i -GaAs при 900 °С в течение 1 ч, располагается при низких температурах между двумя вышеупомянутыми уровнями АСД Ga_{As} . Следовательно, в равновесных условиях акцепторный уровень, лежащий на 77 мэВ выше потолка валентной зоны, заполнен электронами, а второй, более глубокий, пуст. Этим обстоятельством, на наш взгляд, и объясняется тот факт, что в спектрах ФП и ФЛ отожженных образцов наблюдаются полосы, связанные только с одним наиболее мелким уровнем АСД Ga_{As} .

Таким образом, дырочная проводимость, возникающая после отжига кристаллов i -GaAs в водороде, обусловлена, по-видимому, центрами Ga_{As} , ответственными за полосы ФЛ при 1.443 эВ (6 К) и ФП при 1.45 эВ (80 К).

Л и т е р а т у р а

- [1] Mircea-Roussel A., Gacob G., Hallais J. P. — In: Semi-Insul. III—V Mater. Conf. Nottingham, 1980, p. 133—137.
- [2] Look D. C., Pomrenke G. S. — J. Appl. Phys., 1983, v. 54, N 6, p. 3249—3254.
- [3] Hiramoto T., Mochizuki Ya., Saito T., Ikoma T. — Japan. J. Appl. Phys., 1985, v. 24, N 12, p. L921—L924.
- [4] Yu Ph. W., Mitchel W. C., Mier M. G., Li S. S., Wang W. L. — Appl. Phys. Lett., 1982, v. 41, N 6, p. 532—534.

Физический институт
и. П. Н. Лебедева АН СССР
Москва

Получено 28.10.1987
Принято к печати 15.12.1987

ФТП, том 22, вып. 6, 1988

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА РАССЕЯНИЕ СВЕТА ПРИМЕСНЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ В ПОЛУИЗОЛИРУЮЩИХ КРИСТАЛЛАХ $InP : Fe$ и $GaAs : Cr$

Калинушкин В. П., Мурина Т. М., Тигиняну И. М.,
Юрьев В. А.

В работах [1-3] сообщалось об обнаружении в кристаллах InP и $GaAs$ с помощью метода малоуглового рассеяния света примесных скоплений с размером ~ 10 мкм.

Очевидно, что данные скопления, будучи центрами захвата и рассеяния носителей заряда, могут оказывать существенное влияние на работу приборных структур на базе кристаллов InP и $GaAs$. В данном сообщении с помощью ме-