

По мере увеличения степени компенсации «провал» уменьшался, а в сильно легированном компенсированном материале в области A_N -линии наблюдался максимум фототовета, как это показано (см. рисунок, кривая 2). Изменение концентрации заряженных центров проводилось следующим образом. В материал n -типа проводимости, легированный теллуrom до $(0.6 \div 6) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, при разных температурах осуществлялась диффузия меди, предварительно напыленной на поверхность образца. После удаления остатков меди с поверхности образца проводилась ее «разгонка» в течение 1 ч при 800°C . Режимы диффузии указаны в подписи к рисунку.

Во всех компенсированных медью образцах провал в области A_N -линии отсутствовал, а в образце с наибольшей концентрацией заряженных примесей ($T_{\text{дифф}} = 675^\circ \text{C}$), кроме фотоэффекта в области A_N -линии, отчетливо проявлялся фотоэффект на NN_1 - и NN_3 -линиях, энергия связи экситона для которых на порядок выше, чем для A_N -линии. Для слабо компенсированных образцов фотоэффект в этой линии отсутствовал.

На спектр фототовета в области A_N -линии связанного экситона существенное влияние оказывала толщина эпитаксиального слоя: с ее уменьшением от $d=40 \text{ мкм}$ величина провала уменьшалась, а при $d=5 \text{ мкм}$ он практически отсутствовал, как это показано кривой 4 на рисунке. Это явление можно объяснить наличием в образце границы раздела между легированным азотом эпитаксиальным слоем и подложкой, который может играть существенную роль в механизме образования свободных носителей заряда. Качество поверхности не оказывало существенного влияния на спектры фотопроводимости в области A_N -линии.

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных можно подтвердить высказанные в [1] предположения об эффективной миграции экситонов, связанных на изоэлектронных ловушках в полупроводниках, что указывает на их распад в хаотическом поле примесей или на различного рода неоднородностях, создающих сильные электрические поля (p - n -переход, поверхность и т. п.).

Л и т е р а т у р а

- [1] Пихтин А. Н., Попов В. А. — Письма ЖЭТФ, 1980, т. 31, в. 12, с. 723—726.
- [2] Пихтин А. Н., Попов В. А. — В кн.: Тез. докл. Всес. конф. по физике полупроводников. Баку, 1982, с. 173—174.
- [3] Collet J. H., Kash J. A., Wolford D. J., Thomson J. — J. Phys. C, 1983, v. 16, N 7, p. 1283—1290.

Ленинградский электротехнический институт
им. В. И. Ульянова (Ленина)

Получено 1.12.1987
Принято к печати 12.12.1987

ФТП, том 22, вып. 6, 1988

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПАРОВ МЫШЬЯКА НА СВОЙСТВА НЕЛЕГИРОВАННОГО ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО GaAs ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

Показной И. И., Шишняну Ф. С., Тигиняну И. М.,
Никифоров В. П., Шонтя В. П.

Нелегированный полуизолирующий (ПИ) GaAs все больше используется в производстве высокочастотных СВИС и СВЧ приборов [1]. Существенная роль в формировании свойств и повышении термостабильности этого материала отведена собственным точечным дефектам, вводимым в кристалл во время охлаждения слитка после выращивания [2-4]. Авторами [5, 6] показано, что при термообработке (ТО) при $T=1100^\circ \text{C}$ эпитаксиальных слоев [6] и стехиометри-

чески легированного теллуром GaAs [6] концентрация дефектов минимальна при $p_{As}=2.4 \cdot 10^4$ Па, а концентрация свободных носителей заряда составляет $4 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$.

Ранее нами [7] сообщалось, что в нелегированном ПИ GaAs при ТО ($T=850^\circ\text{C}$) и давлении паров мышьяка $p_{As}=4.9 \cdot 10^5$ Па приповерхностный слой сохраняет n -тип проводимости, однако концентрация свободных носителей заряда увеличивается от $3 \cdot 10^{10}$ до $8.3 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$.

В данной работе приведены результаты исследования влияния давления паров мышьяка в интервале $p_{As}=9.8 \cdot 10^4 \div 2.1 \cdot 10^6$ Па на дефектообразование, электрические (ρ , n), фотоэлектрические (ФП) свойства и краевую люминесценцию (ФЛ) приповерхностного слоя образцов ПИ GaAs при ТО. Исследованы образцы монокристаллического нелегированного ПИ GaAs с удельным сопротивлением $\rho=10^8$ Ом·см n -типа проводимости, выращенные методом Чохрального

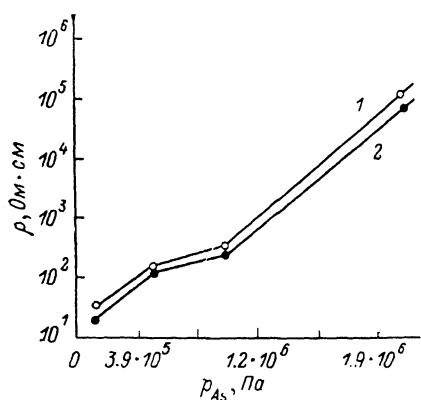


Рис. 1. Изменение удельного сопротивления приповерхностного слоя образцов GaAs (1, 2) в результате термообработки.

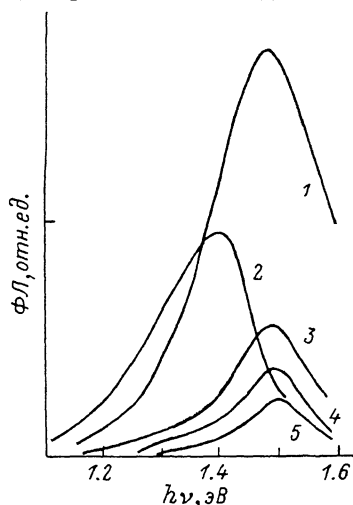


Рис. 2. Спектры гашения краевой люминесценции кристаллов GaAs при $T=77$ К после травления поверхности.

1 — исходный образец: p_{As} , Па: 2 — $9.8 \cdot 10^4$, 3 — $4.9 \cdot 10^5$, 4 — $9.8 \cdot 10^5$, 5 — $1.4 \cdot 10^6$.

ского с ориентацией (100). ТО проводилась при $T=850^\circ\text{C}$ в течение 1 ч. Измерения выполнялись при $T=77$ и 300 К до и после послойного травливания поверхности в растворе $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ в соотношении 8 : 1 : 1. ФЛ возбуждалась He—Ne-лазером с $\lambda_b=0.63$ мкм.

Установлено (рис. 1), что при ТО и увеличении давления паров мышьяка от $9.8 \cdot 10^4$ до $2.1 \cdot 10^6$ Па n -тип проводимости кристаллов сохраняется, а удельное сопротивление приповерхностного слоя изменяется следующим образом: вначале уменьшается от $\rho=8 \cdot 10^7$ до $\rho=20 \div 30$ Ом·см при $p_{As}=9.8 \cdot 10^4$ Па, затем частично восстанавливается и при $p_{As}=2.1 \cdot 10^6$ Па составляет 10^4 Ом·см. Эти результаты согласуются с данными $C-V$ -измерений, показывающими, что концентрация свободных носителей заряда после ТО при $p_{As}=9.0 \cdot 10^4$ Па составляет $n=2 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$ и убывает с ростом давления до $n=2 \cdot 10^{17}$ см $^{-3}$ при $p_{As}=9.8 \cdot 10^5$ Па. ФП приповерхностного слоя измерена после травления образцов. В спектрах ФП обнаруживаются два энергетических уровня (E_c-E_i): 0.72 ± 0.02 и 0.78 ± 0.03 эВ, интенсивности которых увеличиваются по мере удаления слоев травлением. Эти два уровня могут соответствовать известным в литературе уровням семейства $EL2$ с энергией в интервале $0.72 \div 0.82$ эВ, которые связаны с изолированными антиструктурными дефектами As_{Ga} [8] или комплексами $V_{Ga}-\text{Te}$ [6].

В спектрах краевой ФЛ (рис. 2) исходных образцов обнаруживается широкая полоса с максимумом в области 1.48 эВ (кривая 1). После ТО при высоких давлениях этот максимум сохраняется, но интенсивность ФЛ резко падает (кривые 3—5). В образцах, отожженных при $p_{As}=9.8 \cdot 10^4$ Па, выявляется другой

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-