

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИРОДЕ ОСТАТОЧНЫХ ГЛУБОКИХ ЦЕНТРОВ В ФОСФИДЕ ИНДИЯ

Кольченко Т. И., Мороз С. Е.

Методом емкостной спектроскопии (DLTS) в n -InP наблюдалось большое количество остаточных глубоких уровней [1]. Вместе с тем имеющейся информации явно недостаточно для понимания физической природы основных дефектов с глубокими уровнями в InP. Для выяснения происхождения этих центров необходимы, в первую очередь, целенаправленные эксперименты по изучению влияния условий выращивания (отклонений от стехиометрии, легирования, температуры и т. д.) на процессы дефектообразования. В настоящей работе изу-

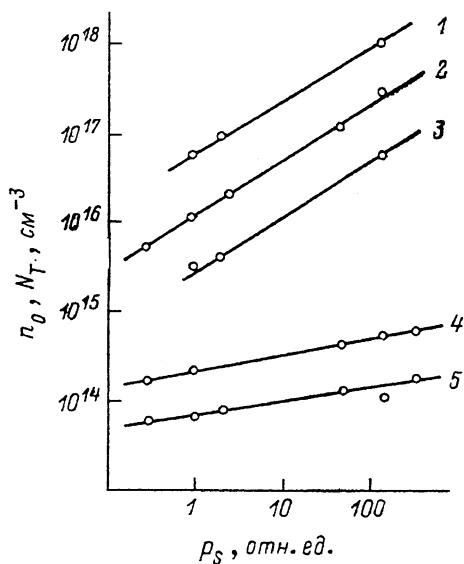


Рис. 1. Зависимость концентрации электронов (1—3) и концентрации центров $E3$ (4) и $E2$ (5) от давления серы в газовой фазе p_S .

Парциальное давление фосфина p_P , атн. ед.: 1 — 0.2; 2, 4, 5 — 1; 3 — 3.

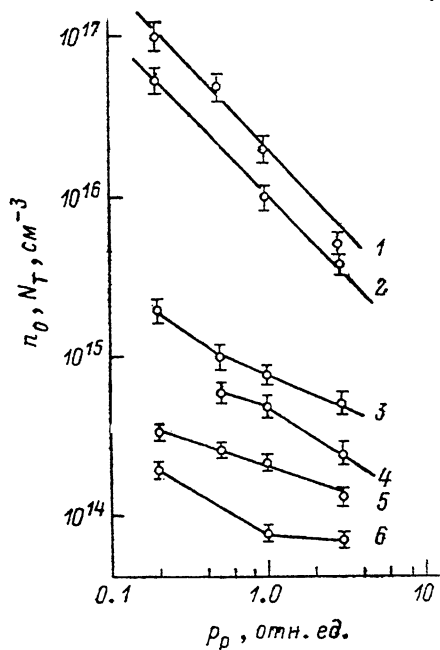


Рис. 2. Зависимость концентрации электронов (1—3) и концентрации центров $E3$ (4, 5) и $E2$ (6) от парциального давления фосфина p_P .

Давление серы в газовой фазе p_S , атн. ед.: 1, 6 — 2; 2, 5 — 1; 3 — нелегир.; 4 — 150.

чалось влияние изменения отношения P/In в газовой фазе при одновременном легировании донорной примесью (серой) на энергетический спектр и концентрацию глубоких и мелких уровней в слоях InP, выращенных в хлоридно-гидридной системе [2]. Измерения DLTS выполнялись на структурах с барьером Шоттки на основе пленок InP толщиной ~ 10 мкм.

На рис. 1, 2 представлены зависимости концентрации электронов (n_0) в не легированных и легированных серой слоях InP от относительных парциальных давлений фосфина (p_P) и серы (p_S) в газовой фазе (парциальное давление компоненты III группы оставалось постоянным). Видно, что величина n_0 возрастает при увеличении p_S и уменьшается с ростом p_P , причем в легированных слоях $n_0 \propto p_P^{-1}$. Такой характер зависимости уровня легирования примесями VI группы от парциального давления компоненты V группы типичен для соединений $A^{III}B^V$ [3].

Во всех исследованных слоях методом DLTS наблюдались две основные электронные ловушки $E2$ и $E3$ с уровнями $E_c - 0.37$ и $E_c - 0.6$ эВ, которые обычно присутствуют в эпитаксиальном и объемном InP [1]. Сопоставление температурных зависимостей скоростей эмиссии электронов для этих ловушек с лите-

ратурными данными [1, 4, 5] показало, что по своим параметрам $E2$ и $E3$ наиболее близки к центрам, связываемым с присутствием в образцах примесей хрома и железа. Из рис. 1 видно, что по мере увеличения уровня легирования концентрации ловушек $E2$, $E3$ (N_T) сравнительно медленно возрастают. Увеличение отношения P/In при фиксированном значении p_s приводит к уменьшению концентрации ловушек (рис. 2), причем имеет место зависимость типа $N_T \propto p_s^{-\alpha}$ (где $\alpha=1/3 \div 1/2$).

Учитывая возможную примесную природу центров $E2$ и $E3$, рассмотрим более подробно влияние изменения парциального давления фосфина на процессы захвата примесей. Согласно [3], в I случае, когда примесь, достигающая растущей поверхности полупроводника $A^{III}B^V$, практически полностью поглощается, ее концентрация в пленке не зависит от парциального давления компоненты V группы (фосфина в случае InP) и определяется соотношением потоков легирующей примеси и атомов III группы через граничный слой. Если же большая часть примеси переиспаряется с растущей поверхности (случай II), то при увеличении парциального давления фосфина следует ожидать линейного увеличения эффективности захвата примесей, замещающих в решетке атомы индия, и ослабления захвата примесей, замещающих атомы фосфора. Отметим, что для примеси серы в InP реализуется случай II (рис. 2). Сведения, необходимые для определения характера встраивания в решетку примесей Fe и Cr, пока отсутствуют. Однако из сказанного выше ясно, что эффективность захвата примесей замещения в подрешетке индия, в частности хрома и железа, не должна уменьшаться с ростом давления фосфина. Экспериментально наблюдавшееся уменьшение концентрации центров $E2$, $E3$ с ростом p_s , а также сложный характер этой зависимости, по-видимому, указывают на то, что эти центры скорее соответствуют комплексам, нежели простым примесям замещения. При росте кристаллов InP , как показано в [6], необходимо учитывать наличие собственных точечных дефектов V_P , V_{In} , P_i (вакансий фосфора, индия и междоузельных атомов фосфора), которые могут взаимодействовать между собой и с примесями. В результате увеличения давления паров фосфора происходят уменьшение концентрации вакансий фосфора и возрастание концентрации дефектов V_{In} , P_i . С учетом всего сказанного из убывающего характера экспериментальной зависимости $N_T(p_s)$ можно заключить, что в формировании центров $E2$, $E3$ должны принимать участие вакансии фосфора (или примеси замещения в подрешетке фосфора). При этом атомы серы, по-видимому, не входят в состав $E2$, $E3$, так как изменение величины p_s слабо влияет на концентрацию центров. Некоторое возрастание N_T с ростом p_s можно объяснить в предположении, что $E2$ и $E3$ являются акцепторами и вероятность их образования возрастает при увеличении концентрации свободных электронов вследствие сдвига электронно-дырочного равновесия [7]. Это согласуется с имеющимися в литературе представлениями о компенсирующем действии связанного с железом уровня $E_c - 0.6$ эВ в $n-InP$ [8]. В пользу идентификации центров $E2$, $E3$ как вакансионно-примесных комплексов свидетельствует также влияние чистоты исходных веществ на концентрацию глубоких уровней. Центр $E3$ может быть сложным по структуре (т. е. соответствовать нескольким дефектам близкой природы со слабо различающимися энергетическими уровнями), однако преимущественную роль в его образовании, по-видимому, играют вакансии фосфора и неконтролируемая примесь железа.

Таким образом, полученные результаты позволяют предположить, что ловушки $E2$ и $E3$ представляют собой акцепторные комплексы вида $A_P B_{In}$ или $A_P B_{In} C_P$, где A , B , C — вакансии или примеси в соответствующей подрешетке. В качестве B -компоненты для центров $E2$ и $E3$, наиболее вероятно, могут выступать примеси хрома и железа.

Л и т е р а т у р а

- [1] Гринсон А. А., Гуткин А. А., Метревели С. Г. — Зарубежн. радиоэлектрон., 1987, № 11, с. 57—62.
- [2] Попов В. П., Цыпленков И. Н., Первушина Р. И. — Электрон. техн., сер. Материалы, 1979, т. 11, в. 8, с. 59—61.
- [3] Stringfellow G. B. — J. Cryst. Growth, 1986, v. 75, N 1, p. 91—100.

- [4] Bremond G., Nouailhat A., Guillot G. — In: Gallium selenide a. Related Compounds. Bristol—London, 1982, p. 239—244.
- [5] Волокобинский Ю. М., Попов В. А., Разбегаев В. Н., Саморуков Б. Е. — В кн.: Тез. докл. IV Всес. семинара «Пути повышения стабильности и надежности микроэлементов и микросхем». М., 1987, с. 84.
- [6] Морозов А. Н., Бублик В. Т., Григорьева Т. П. — Кристаллография, 1984, т. 29, в. 4, с. 757—763.
- [7] Мильвидский М. Г., Пелевин О. В., Сахаров Б. А. Физико-химические основы полупроводниковых соединений. М., 1974. 392 с.
- [8] Полупроводниковые соединения $A^{III}B^V$ / Под ред. Дж. Раса. М., 1984. 256 с.

Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем
им. А. Н. Севченко при БГУ им. В. И. Ленина
Минск

Получено 27.04.1988
Принято к печати 28.07.1988

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ИОННОГО ТОКА ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ НА ЭФФЕКТ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ В КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЬЮ ЖЕЛЕЗА

Демидов Е. С., Карзанов В. В., Павлов П. В.

Известно, что ионная имплантация оказывает существенное влияние на систему дефектов в кристаллах кремния на расстояниях, в десятки и сотни раз превышающих пробеги внедряемых ионов [$1-5$]. Однако пока не опубликовано каких-либо экспериментальных данных о зависимости дальнего действия эффектов при ионном облучении от интенсивности ионно-лучевой обработки. В данном сообщении приводятся результаты исследования влияния плотности ионного тока при имплантации на электрофизические свойства монокристаллических образцов $Si\langle Fe \rangle$. Исследования проводились с применением техники электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), измерением эффекта Холла и удельного сопротивления.

В качестве исходного материала использовались пластины кремния марки КДБ-35 толщиной 0.7 мм, вырезанные в плоскости (111), из которых изготавлились образцы размерами 1.5×0.5 см. Легирование железом осуществлялось методом диффузии в вакуированных кварцевых ампулах из порошка Fe_2O_3 в течение 1.5 ч при температуре $1250^\circ C$ с последующей закалкой путем сбрасывания ампул в воду. Перед диффузионным отжигом с поверхности образцов для устранения дефектов шлифовки химическим травлением удалялся слой 50 мкм. После легирования образцы опять подвергались травлению для удаления неоднородно легированного слоя. Их окончательная толщина была 400 мкм.

Облучение исследуемых кристаллов производилось ионами аргона с энергией 40 кэВ и дозой $F=10^{17} \text{ см}^{-2}$, плотность тока ионов выбиралась в интервале

Влияние плотности ионного тока при имплантации
на изменение электрофизических свойств кристаллов
кремния, легированных железом (номера образцов
соответствуют номерам кривых на рисунке)

№ образца	Тип проводимости	$j, \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$N_{\text{ион}}, \text{ см}^{-3}$ (90 К)	$\rho, \text{ Ом} \cdot \text{см}$ (293 К)
1	p	0	$8 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^4$
2	n	0	$1.6 \cdot 10^{15}$	$1.86 \cdot 10^5$
3		$1.25 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{15}$	$3.17 \cdot 10^4$
4		$3.13 \cdot 10^{13}$	$9 \cdot 10^{14}$	$1.52 \cdot 10^5$
5		$6.94 \cdot 10^{13}$	$1.5 \cdot 10^{15}$	$5.26 \cdot 10^4$
6		$1.04 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{15}$	$9.92 \cdot 10^8$