

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ НА СКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ В ПОДЛОЖКАХ ИЗ GaAs(Cr)

В. П. Калинушкин, В. А. Юрьев, Д. И. Мурин, М. Г. Плоппа, Т. В. Тимо¹

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

(Получено 22.06.1992. Принято к печати 29.09.1992)

При исследовании влияния процесса газофазной эпитаксии (ГФЭ) на рассеяние света материалом подложки наращивание эпитаксиальных слоев легированного GaAs производилось трихлоридным газофазным методом на подложки из легированного хромом арсенида галлия, выращенного методом Чохральского, с жидкостной герметизацией расплава, с плотностью дислокаций $10^4 \div 10^5 \text{ см}^{-2}$ и удельным сопротивлением более $10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Поверхность подложек была ориентирована под углом $2 \div 6^\circ$ к плоскости (100). Толщина подложек составляла 300 мкм.

Пластины, предназначенные для эпитаксиального роста, вырезались из одного слитка и подвергались химико-механической полировке с одной стороны. На полированной части пластин выращивался эпитаксиальный слой. Перед процедурой выращивания слоя поверхность подложек мылась растворителями, поврежденный поверхностный слой стравливался жидким травителем и непосредственно перед выращиванием слоя подложки протравливались газофазным травителем, содержащим трихлорид мышьяка. Во время роста слоя подложки закреплялись на кварцевом держателе. Скорость роста слоя составляла 0.1 мкм/мин. Температура травления и роста была 720° , источника из обогащенного мышьяком галлия — 810°C . Толщина слоя варьировалась от 2 до 15 мкм. Концентрация носителей в слое не превышала 10^{14} см^{-3} .

После выращивания слоя полировалась обратная сторона пластин, и они становились пригодными для исследования методом малоуглового рассеяния света [1, 2]. В качестве контрольных использовались образцы, вырезанные из того же слитка (обычно соседние с исследуемыми) и отполированные с двух сторон, но не подвергавшиеся процедуре эпитаксиального роста и каким-либо обработкам.

На ряде пластин, изначально отполированных с двух сторон, также выращивались эпитаксиальные слои (предварительно пластины исследовались методом рассеяния света). К сожалению, слои, выращенные на полированных с двух сторон подложках, обычно имеют неудовлетворительное качество. Поэтому перед исследованием этих образцов методом рассеяния света эпитаксиальные слои приходилось полностью споліровать. В некоторых случаях на этих образцах удавалось найти области достаточных размеров с качественным эпитаксиальным слоем. Диаграммы рассеяния света этими областями до и после полировки практически не отличались, что позволяет считать все изменения рассеяния света образцами в процессе эпитаксии связанными с объемом подложки (так как рассеяние света подложкой существенно превосходит по интенсивности вклад эпитаксиального слоя).

Некоторые образцы вместо эпитаксии проходили процедуру моделирующей термообработки в атмосфере водорода при 720°C . Отжиг длился 1 ч, при этом, как и при эпитаксии, образец закреплялся на кварцевом держателе. Один образец подвергался только газовому травлению, на другом создавалась структура типа полевого транзистора.

¹ Др. Т. В. Thiese, Институт электронной физики, Берлин, Германия.

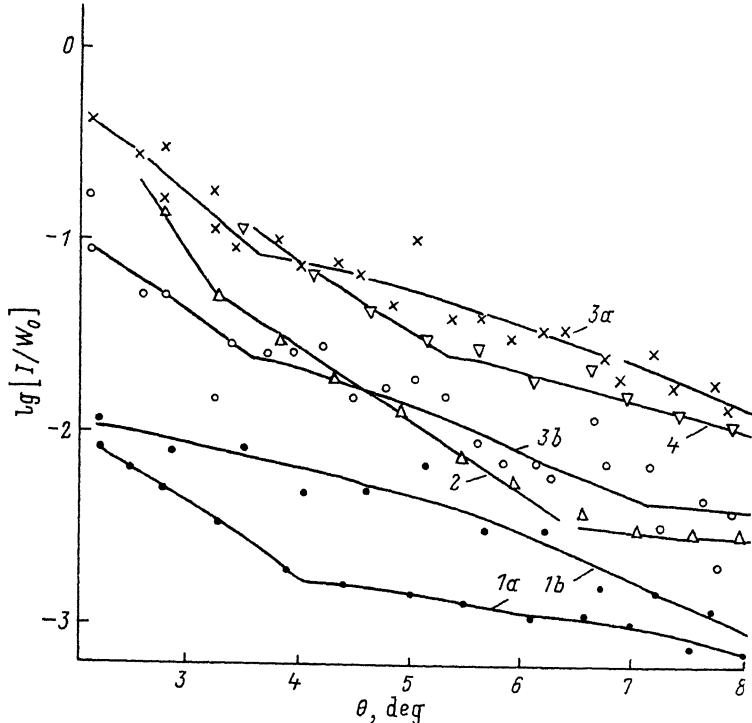


Рис. 1. Влияние эпитаксии и моделирующей термообработки на рассеяние света подложками из полупроводящего GaAs(Cr): 1 (a, b) — исходные образцы; 2 — термообработанный образец (1 ч, 720 °C); 3 (a, b) — после выращивания эпитаксиального слоя толщиной 5.5 мкм; 4 — полный приборный цикл.

Параметры крупномасштабных примесных скоплений, обнаруженных в результате исследования описанных образцов (рис. 1), приведены в таблице [a — радиус скопления, I_0 — интенсивность рассеяния света под нулевым углом, W_0 — мощность зондирующего излучения ($\lambda_0 = 10.6$ мкм), C — концентрация скоплений, Δn_m — максимальное отклонение концентрации свободных носителей в скоплениях (n_m, p_m) от концентрации носителей вне скоплений (n_0, p_0), для скопления

Параметры скоплений в подложках из GaAs(Cr) и их изменение в результате моделирующей термообработки, эпитаксии и полного приборного цикла создания полевого транзистора

GaAs(Cr)	a , мкм	$\lg [I_0/W_0]$	$\lg [C\Delta n_m^2]$	ΔE_i
Исходный	~ 17	-1.9 ± -1.8	~ 36	—
	8.5 ± 9.6	-2.7 ± -1.8	37.0 ± 37.6	60 ± 95
	≤ 2	~ -3	—	—
После отжига при 720 °C	20.0 ± 25.0	~ 0	36.9 ± 37.5	—
	12.1 ± 12.9	-1.2 ± -0.7	37.5 ± 38.1	70 ± 115
	≤ 2	-2.6 ± -2.2	—	—
После эпитаксии	17.5 ± 25.0	-0.8 ± 0.0	36.9 ± 37.0	—
	8.5 ± 10.9	-1.4 ± -0.9	38.2 ± 38.3	60 ± 110
	≤ 2	-2.2 ± -1.8	—	—
После приборного цикла	~ 15	-0.7 ± -0.3	37.5 ± 37.9	—
	~ 8	-1.4 ± -1.0	38.5 ± 38.9	—
	≤ 2	-2.7 ± -2.2	—	—

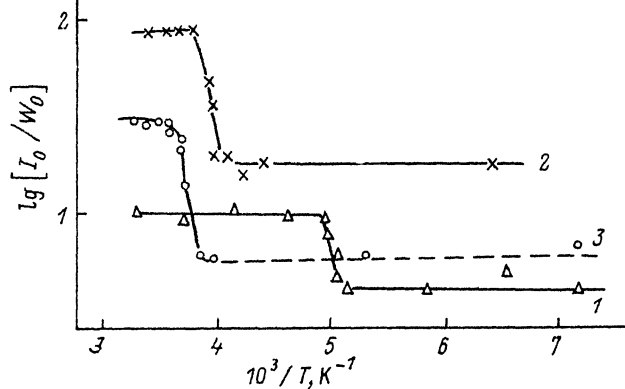


Рис. 2. Температурные зависимости интенсивности рассеяния света монокристаллами GaAs(Cr) ($\theta = 4^\circ$): 1 — исходный образец, 2 — после эпитаксии, 3 — после моделирующей термообработки.

p -типа в матрице n -типа проводимости $\Delta n_m = p_m m_c^* / m_b^* - n_m$; ΔE_i — энергия активации центров, образующих скопления]. Нетрудно заметить, что в процессе эпитаксии, полного приборного цикла и моделирующего отжига происходят рост интенсивности рассеяния света и небольшое (хотя и различное) увеличение размеров скоплений. При этом растет параметр концентрации ($C \Delta n_m^2$), т. е. увеличивается концентрация свободных носителей в скоплениях.

В образце, подвергшемся газовому травлению, заметны те же тенденции, что и в остальных обработанных подложках.

По температурным зависимостям интенсивности рассеяния света образцами (рис. 2) была оценена энергия активации центров, обуславливающих повышенную концентрацию дырок в скоплениях [3, 4]. Глубина залегания этих центров в исходном материале — $60 \div 95$ мэВ, в материале, прошедшем эпитаксию, — $60 \div 110$ мэВ, в отожженном при 720°C материале — $70 \div 115$ мэВ (при оценке, как и в [3, 4], принималось, что суммарный объем области возмущенного пространственного потенциала, связанной со скоплениями, не превышает 15% объема материала). Видно, что, несмотря на рост концентрации дырок в скоплениях, энергетическое положение акцепторов, их образующих, не изменяется и близко к энергии первой ионизации центра Ga_{As} [5]. В связи с этим можно допустить, что увеличение концентрации центра Ga_{As} в скоплениях [4], вызванное термообработкой при 720°C , несущественно, причем, насколько можно судить, атмосфера отжига не оказывает существенного влияния на скопления, расположенные в объеме подложки.

Таким образом, можно считать установленным, что в процессе эпитаксиального роста увеличивается концентрация свободных носителей в объеме скоплений в GaAs(Cr). Причиной изменения концентрации носителей, скорее всего, является увеличение концентрации центра Ga_{As} вследствие воздействия отжига при 720°C . При обработках подложек из GaAs(Cr), связанных с производством полевых транзисторов, основные изменения в составе крупномасштабных скоплений происходят на стадии выращивания эпитаксиального слоя.

В заключение следует отметить, что отжиг подложек из GaAs(Cr) в течение 1 ч без защитного покрытия при $T = 750^\circ\text{C}$ в атмосфере H_2 способствует интенсивному улетучиванию атомов As с поверхности образцов [6] (отжиг при $T > 850^\circ\text{C}$ вызывает появление капель галлия на поверхности образцов [7, 8]) и приводит к образованию поверхностного слоя p -типа толщиной 0.5 мкм с концентрацией дырок $\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$ [6, 7] (испарения хрома с поверхности при этих температурах практически не происходит [8]). Дырочная проводимость появля-

ется вследствие образования при отжиге акцепторных центров с энергией активации ~ 100 мэВ, которые авторы [6] предположительно отождествляют с акцептором Ga_{As} . При температуре отжига $700 \div 730$ °С, по данным [7], конверсии с образованием p -слоя не наблюдается, это, скорее всего, связано с уменьшением скорости улетучивания атомов As с поверхности образцов.

В примесных скоплениях для образования центров Ga_{As} не обязательно интенсивное образование V_{As} (согласно [4, 9, 10], их концентрация в скоплениях может быть значительной), поэтому активное образование центров Ga_{As} в них происходит и при температуре более низкой, чем пороговая температура образования p -слоя на поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] В. П. Калинушкин. Тр. ИОФАН, 4, 3 (1986).
- [2] V. V. Voronkov, S. E. Zabolotskiy, V. P. Kalinushkin et al. J. Cryst. Growth., 103, 1364 (1990).
- [3] В. П. Калинушкин, В. А. Юрьев, Д. И. Мурин. ФТП, 25, 798 (1991).
- [4] V. P. Kalinushkin, V. A. Yuryev, D. I. Murin, M. G. Plopra. Semicond. Sci. Techn., 7, A255 (1992).
- [5] M. Bugajski, K. Ko, J. Lagowski, H. C. Gatos. J. Appl. Phys., 65, 596 (1989).
- [6] А. Н. Георгобиани, И. М. Тигиняну. ФТП, 22, 3 (1988).
- [7] A. Mircea-Roussel, G. Jacob, J. P. Hallais. In: Semi-Insul. III—V Mater., 133. Nottingham (1980).
- [8] Т. Удагава, М. Хигашиура, Т. Наканиси. In: Semi-Insul. III—V Mater., 93. Nottingham (1980).
- [9] А. Н. Морозов, В. Т. Бублик, В. Б. Освенский и др. Кристаллография, 28, 776 (1983).
- [10] В. Т. Бублик, В. В. Каратаев, Р. С. Кулагина и др. Кристаллография, 18, 353 (1973).

Редактор В. В. Чалдышев
