

06.2;06.3;7

©1995

К ВОПРОСУ О СВЯЗИ ЗЕЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ 6Н SiC $p-n$ -СТРУКТУР С НАЛИЧИЕМ В НИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПОЛИТИПА 3С

А.А.Лебедев, М.П.Шеглов, Т.В.Соколова

Известно, что благодаря своим электрофизическим свойствам карбид кремния может быть использован для создания светоизлучающих приборов во всем диапазоне видимого света. Однако механизм излучательной рекомбинации, так же как и вопросы, связанные с деградацией полученных светодиодов, во многом остаются невыясненными.

Исследованию стабильности характеристик синих светодиодов, полученных жидкостной эпитаксией, была посвящена работа [1]. Было обнаружено, что в части структур при протекании прямого тока происходила деградация параметров, которая выражалась как в уменьшении квантового выхода светодиода, так и в смещении максимума его излучения в зеленую область спектра. Исследования деградировавших структур показали наличие в слое напряженной фазы 3С. Полученные в работе [1] результаты представляются особенно любопытными, так как известно, что максимум зеленой (дефектной) электролюминесценции в 6Н-SiC (ДЭЛ) совпадает с положением максимума излучения свободного экситона в 3С-SiC.

В настоящей работе ставилась задача определить, в каком виде может существовать взаимосвязь между наличием ДЭЛ в спектре электролюминесценции (ЭЛ) 6Н-SiC $p-n$ структур и наличием в эпитаксиальных слоях включений кубической фазы. Были проведены электрические и рентгеновские исследования 6Н-SiC $p-n$ структур, полученных по различным технологиям и обладающих различными спектрами электролюминесценции. Результаты измерений приведены в таблице. Исследовавшиеся $p-n$ структуры были получены бесконтейнерной жидкостной эпитаксией (структуры типа D) [2] и сублимационной эпитаксией в открытой ростовой системе (структуры типа A) [3]. Кроме того, были исследованы диоды, $p-n$ переход в которых был сформирован имплантацией ионов алюминия в эпитаксиальные слои, полученные сублимационной эпитаксией (ИЛС-структуры), и в подложки Лэли (ИЛП).

Группы образцов	№ образца	Концентрация Nd-Na в базе диодов, см ⁻³	Полуширина кривой качания ω , угл.с	Наличие включений β -фазы
I	ИЛП	$3 \cdot 10^{18}$	11	-
	D-121-2	$4.7 \cdot 10^{17}$	13	-
	D-121-1	$5 \cdot 10^{17}$	12	-
	ИЛС-41	$3 \cdot 10^{16}$	13	-
	ИЛС-31	$1.2 \cdot 10^{16}$	10	-
II	A-93	$3.2 \cdot 10^{18}$	15-20	-
	A-88	$2 \cdot 10^{18}$	17	-
	A-77	$1.5 \cdot 10^{18}$	18	-
	A-89	$5.5 \cdot 10^{17}$	20	-
	A-87	$1 \cdot 10^{17}$	13	+
	A-90	$3 \cdot 10^{16}$	10-11	+
III	D-122	$2 \cdot 10^{18}$	15	-
	A-25	$1 \cdot 10^{18}$	11	-
	A-15	$4 \cdot 10^{17}$	12	-
	D-332	$3 \cdot 10^{17}$	30	-
	D-340	$2 \cdot 10^{17}$	12	-
	D-136	$7.4 \cdot 10^{17}$	30	-
	D-308	$4 \cdot 10^{16}$	15	-

По типу спектров ЭЛ все исследовавшиеся структуры можно разбить на три группы.

I. Образцы с абсолютным преобладанием ДЭЛ.

II. Образцы, в спектре ЭЛ которых кроме ДЭЛ наблюдались другие типы электролюминесценции. Как правило, в этих структурах существовала зависимость $h\nu_m = F(J)$. При этом с увеличением J максимум ЭЛ смещался из желтой области спектра в зеленую (см. подробнее [4]), а при больших плотностях прямого тока в некоторых структурах становился заметным пик, обусловленный рекомбинацией свободного экситона в 6H SiC.

III. Структуры, в спектре ЭЛ которых ДЭЛ обнаружено не было. В случае диодов типа D максимум ЭЛ находился в синей области спектра ($h\nu_m \sim 2.6$ эВ). В отнесенных к этой группе $p-n$ структурах, полученных сублимационной эпитаксией, была проведена диффузия бора и максимум ЭЛ находился в желтой области спектра ($h\nu_m = 2.14$ эВ).

Отметим, что во всех исследовавшихся $p-n$ структурах не было обнаружено значительного изменения в спектрах ЭЛ с течением времени.

Рентгеновские исследования, проводившиеся на базе трехкристального спектрометра, позволили зарегистрировать наличие β -фазы SiC только на двух образцах. Кроме этого были измерены полуширины кривых отражения брэгговских пиков (рефлекс (0006) $\text{CuK}_{\alpha 1}$ -излучение, двухкристальная схема дифракции) для оценки структурного совершенства эпитаксиальных слоев $p-n$ перехода.

Из таблицы результатов измерений очевидно, что минимальные полуширины рентгеновских пиков в основном приходятся на образцы с максимальной интенсивностью ДЭЛ, а также на структуры с включениями β -фазы SiC, т.е. в этих структурах практически отсутствуют механические напряжения, которые нередко возникают при росте эпитаксиальных слоев.

Из той же таблицы следует, что хотя присутствие кубической фазы и сопровождается наличием ДЭЛ в спектре ЭЛ $p-n$ структур, но сама ДЭЛ не является признаком существования 3C-SiC.

Ранее на основе экспериментов по влиянию условий роста кристаллов на термическую стабильность ДЭЛ был сделан вывод о том, что в состав центра активатора люминесценции входит углеродная вакансия [5]. С другой стороны, известно, что отношение Si/C непостоянно в различных поли типах SiC и уменьшается с увеличением процента гексагональности. Было показано, что отношение Si/C составляло 1.046, 1.022 и 1.001 для 3C, 6H и 4H соответственно [6]. Кроме того, было обнаружено, что при изменении соотношения Si/C в зоне роста введением примесей, занимающих кремневые узлы, можно выращивать на подложках 6H-SiC эпитаксиальные слои 3C [7]. Обнаруженную зависимость авторы [7] объясняли тем, что при увеличении напряжений в решетке с ростом концентрации углеродных вакансий более энергетически выгодными становились связи между атомами в кубических узлах. Это и приводило к перестройке кристалла и трансформации поли типа.

На основании всего вышеизложенного можно сделать заключение, что образование как 3C-SiC, так и центров активаторов ДЭЛ происходит под влиянием одних и тех же механизмов, которые должны сопровождаться релаксацией напряжений в эпитаксиальном слое. Аналогичная зависимость и была замечена в работе [1]. Мы полагаем, что одним из факторов, влияющих на эти механизмы, является повышенная концентрация собственных дефектов кристаллической решетки SiC. Конкретные же условия образования центров активаторов ДЭЛ и (или) включений других поли типов могут стать темой отдельного исследования.

Авторы благодарны В.А. Дмитриеву за предоставленные для измерений $p-n$ структуры, полученные бесконтейнерной жидкостной эпитаксией.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства обороны США.

Список литературы

- [1] Zienther G., Theis D. // IEEE transactions on electron devices. 1981. V. ED-28. N 4. P. 425-427.
- [2] Дмитриев В.А., Иванов П.А., Морозенко Я.В., Попов И.В., Челноков В.Е. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 4. С. 246-248.
- [3] Аникин М.М., Лебедев А.А., Попов И.В., Севастьянов В.Е., Сыркин А.Л., Суворов А.В., Челноков В.Е., Шнынев Г.П. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 17. С. 1053-1056.
- [4] Аникин М.М., Кузнецов Н.И., Лебедев А.А., Полетаев Н.К., Стрельчук А.М., Сыркин А.Л., Челноков В.Е. // ФТП. 1994. Т. 28. В. 3. С. 443-448.
- [5] Водаков Ю.А., Ломакина Г.А., Мохов Е.Н., Рамм М.Г., Соколов В.И. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 12. С. 2153-2158.
- [6] Сорокин Н.Д., Тауров Ю.М., Цветков В.Ф., Чернов М.А. // Кристаллография. 1983. Т. 28. В. 5. С. 910-914.
- [7] Водаков Ю.А., Ломакина Г.А., Мохов Е.Н. // ФТП. 1982. Т. 24. В. 5. С. 1377-1383.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
8 декабря 1994 г.
В окончательной редакции
1 июня 1995 г.