

06

Исследование спектров краевой фотолюминесценции эпитаксиальных пленок n -3C-SiC

© А.А. Лебедев, П.Л. Абрамов, Е.В. Богданова, С.П. Лебедев,
Д.К. Нельсон, Б.С. Разбирин, А.С. Трегубова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
E-mail: shura.lebe@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 2 февраля 2010 г.

Проведено исследование эпитаксиальных пленок кубического поли типа n -3C-SiC, выращенных на основе подложек гексагонального поли типа 6H-SiC. Показано, что в пленках с наилучшим структурным совершенством при низких температурах наблюдается излучение, связанное с рекомбинацией связанных экситонов. Проводится сравнение полученных результатов с результатами исследования объемных кристаллов 3C-SiC.

Известно, что карбид кремния (SiC) является перспективным материалом для создания высокотемпературных, силовых и мощных ВЧ-приборов. Среди множества поли типов SiC поли тип 3C-SiC отличается наибольшей подвижностью электронов, которая является одной из важных характеристик материала для производства приборов. Кроме того, 3C-SiC имеет кубическую решетку, и в силу симметрии его физические свойства изотропны, в отличие от других поли типов SiC. Промышленное производство подложек поли типа 3C-SiC до сих пор отсутствует, поэтому чаще всего слои 3C-SiC выращивают на кремниевых подложках. Тем не менее из-за большого рассогласования постоянных решетки между Si и SiC ($\sim 20\%$) выращенные слои имеют низкое структурное совершенство. В связи с этим представляет интерес исследование роста 3C-SiC на доступных подложках других поли типов (4H-SiC, 6H-SiC, 15R-SiC), постоянные решетки которых различаются в 3-м знаке.

В предыдущих работах нами была показана возможность формирования эпитаксиальных пленок 3C-SiC n - и p -типа проводимости методом сублимационной эпитаксии в вакууме [1–3]. Задачей настоящей работы

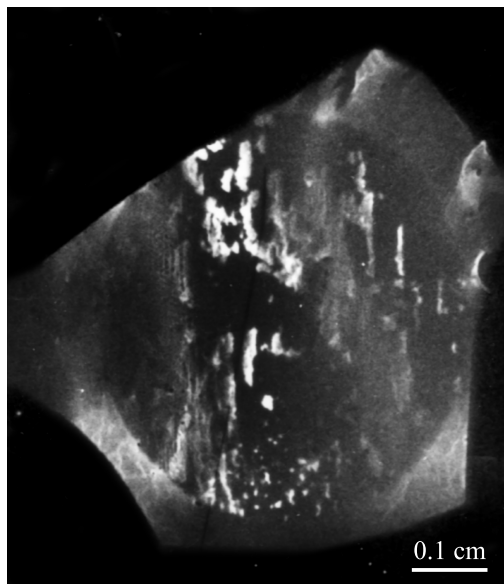


Рис. 1. Топограмма эпитаксиального слоя 3C-SiC. Отражение по Брэггу (331), $\text{CuK}\alpha$ -излучение.

было исследование спектров краевой фотолюминесценции образцов с наилучшим структурным совершенством.

Рост эпитаксиальных слоев 3C-SiC осуществляли методом сублимации в вакууме [4]. Для роста использовали подложки 6H-SiC, выращенные методом Лэли, с ориентацией (0001) C-грань.

Структурное совершенство образцов оценивалось рентгеновской топографией с использованием метода обратного отражения рентгеновских лучей. Топограммы снимались в отражениях (311) и (331) в $\text{CuK}\alpha$ -излучении. Толщина слоя, в котором формируется дифракционное изображение дефектов при этих условиях съемки, 10 и 25 μm соответственно. Анализ топограмм показал, что структура выращенных слоев соответствует политипу 3C-SiC и в основном состоит из двойниковых областей разного размера, которые ориентированы с разворотом на 60° относительно друг друга и выявляются на топограммах в черном или светлом контрасте. Слои, выращенные с толщиной $> 20 \mu\text{m}$, могут состоять из нескольких двойников большой площади и быть однородны

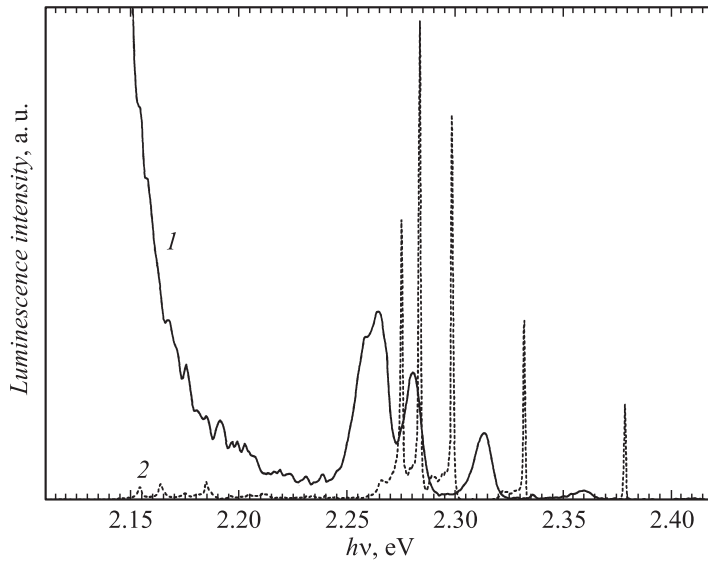


Рис. 2. Спектры ФЛ при $T = 2$ К; 1 — спектр структуры $3C\text{-SiC}(n)/6H\text{-SiC}(n)$; 2 — спектр объемного кристалла $3C\text{-SiC}$.

по структуре. На рис. 1 топограмма слоя $3C\text{-SiC}$ толщиной $> 40 \mu\text{m}$, в котором одна двойниковая область соответствует большей части площади выращенного эпитаксиального слоя ($\geq 80\%$). Внутри этой области присутствуют отдельные мелкие двойники другой ориентации.

Концентрация и распределение электрически активных примесей в выращенных слоях определялись из вольт-фарадных характеристик ($G-V$). Измерения проводились с помощью ртутного зонда при частоте синусоидального сигнала $1-10$ kHz. Определенная из наклона $G-V$ характеристик величина концентрации Nd-Na составила $\sim 1-5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. $G-V$ характеристики были линейны в координатах $C^{-2}-U$, что означало равномерное распределение примеси по глубине слоя.

Было проведено исследование низкотемпературных спектров фотолюминесценции (ФЛ) эпитаксиальных слоев $3C\text{-SiC}$, выращенных на подложках $6H\text{-SiC}$. Исследования проводились при температуре жидкого гелия ($T = 2-20$ К) в двух режимах возбуждения — слабого возбуждения непрерывным аргоновым лазером (длина волны излучения

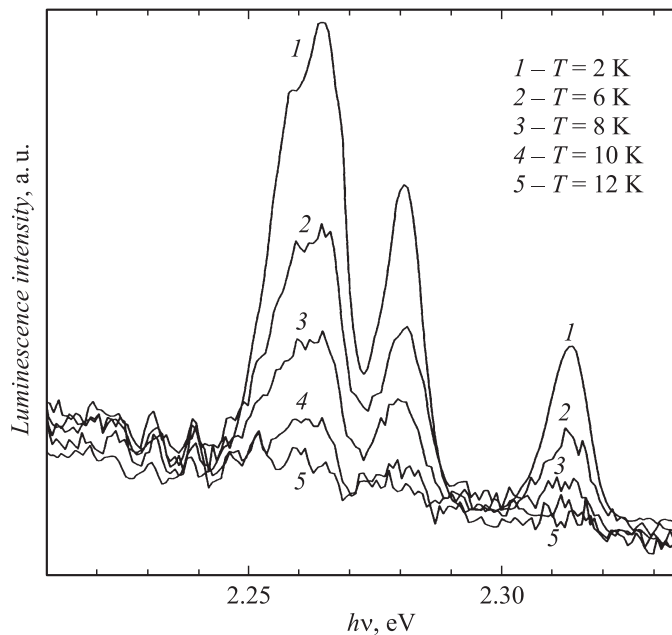


Рис. 3. Температурная зависимость спектра ФЛ структуры 3C-SiC(n)/6H-SiC(n).

476.5 nm) и сильного возбуждения излучением импульсного азотного лазера ЛГИ-505 (длина волны излучения 337.1 nm, длительность импульса 10 ns, частота повторения 1 kHz, мощность в импульсе 5 kW). В последнем случае плотность возбуждения составляла до 1 MW/cm². Перед проведением исследований была измерена спектральная кривая чувствительности установки, и спектры были исправлены в соответствии с этой кривой. Полученные данные сопоставлялись со спектрами монокристаллов 3C-SiC [5].

При концентрации Nd-Na в слое *n*-3C-SiC $\geq 3 \cdot 10^{18}$ cm⁻³ в спектре ФЛ-гетероструктур наблюдалось лишь изучение донорно-акцепторных пар Al-N [1]. При Nd-Na в слое *n*-3C-SiC $\sim 1 \cdot 10^{18}$ cm⁻³, в спектре исследуемых структур наблюдался набор линий в области экситонных переходов (спектр 1 на рис. 2). Данные линии были смещены на ~ 19 meV в длинноволновую сторону по сравнению с известными линиями связанного экситона в объемном 3C-SiC (спектр 2 рис. 2).

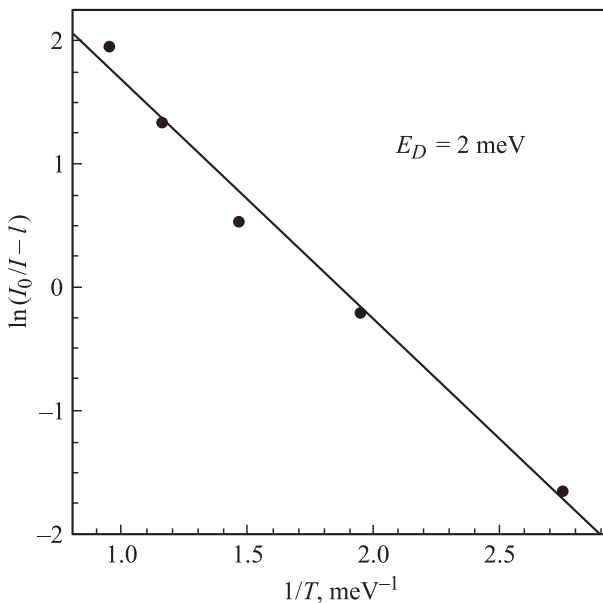


Рис. 4. Температурная зависимость интегральной интенсивности спектра ФЛ-структуры $3C\text{-SiC}(n)/6H\text{-SiC}(n)$.

При увеличении температуры образца приходило быстрое гашение данного набора линий излучения (рис. 4). Исследование температурной зависимости спектра люминесценции дает величину энергии диссоциации $E_D \sim 2 \text{ meV}$, что заметно меньше, чем в объемном образце ($E_D \sim 10 \text{ meV}$). Наличие в спектре структуры, наряду с фоновыми линиями, хотя и более слабой, чем в объемном образце, но тем не менее вполне отчетливой бесфононной линии ($h\nu = 2.36 \text{ eV}$) может свидетельствовать в пользу экситонно-примесной природы данного излучения.

Ранее подобные спектры наблюдались в монокристаллах $3C\text{-SiC}$ [6] и $3C\text{-SiC}$ эпитаксиальных пленках, полученных методом CVD на подложках гексагонального SiC [7]. Согласно [6], данные линии ФЛ обусловлены излучательной рекомбинацией экситона, связанного на нейтральном доноре (азоте). В работе [8] был также проведен анализ результатов других авторов с учетом увеличения интенсивности и уширения отдельных линий спектра с увеличением концентрации донорных центров. Была

построена зависимость ширины фонной линии от концентрации азота в образцах. В случае исследованных нами структур 3C-SiC/6H-SiC полуширина соответствующей линии составляла 5 meV, что, согласно полученной в [8] зависимости, соответствует концентрации атомов азота $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Это значение хорошо согласуется с полученным для наших пленок значением Nd–Na методом C–V характеристик. Данные результаты подтверждают вывод о том, что обнаруженный спектр ФЛ связан с рекомбинацией связанного экситона на азотном доноре.

В целом полученные результаты показывают, что методом сублимационной эпитаксии возможно получение пленок 3C-SiC, не уступающих по своему структурному совершенству пленкам, выращенным другими, более затратными технологическими методами.

Работа выполнена при поддержке программы ОФН РАН „Новые материалы“ и программы президиума РАН № 27.

Список литературы

- [1] Лебедев А.А., Абрамов П.Л., Зеленин В.В., Богданова Е.В., Лебедев С.П., Нельсон Д.К., Разбирин Б.С., Щеглов М.П., Трегубова А.С. // ФТП. 2007. Т. 41. С. 273.
- [2] Лебедев А.А., Зеленин В.В., Абрамов П.Л., Лебедев С.П., Смирнов А.Н., Сорокин Л.М., Щеглов М.П., Yakimova R. // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. В. 12. С. 61.
- [3] Lebedev A.A., Bogdanova E.V., Abramov P.L., Lebedev S.P., Nel'son D.K., Oganesyanyan G.A., Tregubova A.S., Yakimova R. // Semiconductor Science Technology. 2008. V. 23. P. 075004.
- [4] Savkina N.S., Davydov D.V., Strel'chuk A.M., Tregubova A.S., Raynauld C., Chante J.P., Locatelli M.L., Planson D., Millan J., Godignon P., Campos F.J., Nestres N., Pascual J., Badila M., Brereanu G. // Mat. Science & Eng. 2000. V. B 77. P. 50.
- [5] Алтайский Ю.М., Авраменко С.Ф., Гусева О.А., Киселев В.С. // ФТП. 1987. Т. 21. С. 2072.
- [6] Freitas J.A., Moore Jr. and W.J. // Brazilian J. of Physics. 1998. V. 28. P. 12.
- [7] Lorenz J., Zoulis G., Kim-Hak O., Jegenyes N., Carole D., Cauwet F., Julliaquet S., Camassel J. Abstracts Mo-P-12. ICSCRM-09. Nyrnberg, Germany (10–17 october 2009).
- [8] Camassel J., Juillaguet S., Zeilinski M., Balloud C. // Chem. vap. Deposition. 2006. V. 12. P. 549.