

ВРЕМЯ-РАЗРЕШЕННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ GaN, ВЫРАЩЕННЫХ НА ПОДЛОЖКАХ Al₂O₃

Горина С.Г., Ли Цзысюань, Сычева А.В.

Научный руководитель: Олешко В.И., д.ф.-м.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: svetlana.gorina@mail.ru

Введение

Нитриды III-группы являются перспективными материалами для создания оптоэлектронных устройств. В настоящее время они являются основой многих светодиодов, работающих от УФ до ИК диапазона, лазерных диодов, полноцветных светодиодных дисплеев и т.д. Нитрид галлия (GaN) обычно наносят на инородную подложку, такую как сапфир (Al₂O₃). Эпитаксиальные слои GaN имеют много дефектов собственной и примесной природы, существенно влияющих на их излучательные свойства. Наличие дефектов и их количественные характеристики зависят от условий и техники роста, а также от материала подложки.

Актуальной задачей на сегодняшний день остается создание новых неразрушающих методик для разностороннего исследования излучающих гетероструктур и их отдельных составных частей. В работах [1, 2] показаны преимущества применения высокоэнергетических сильноточных электронных пучков (СЭП) для люминесцентной диагностики тонкопленочных гетероструктур на основе InGaN/GaN-квантовых ям.

Цель настоящей работы заключается в изучении спектрально-кинетических характеристик люминесценции эпитаксиальных слоев GaN, выращенных на Al₂O₃, при возбуждении СЭП.

Методика эксперимента

В качестве исследуемых образцов использовались тонкие пленки GaN с разной плотностью дислокаций, выращенные на сапфировой подложке (001) методом металлоорганической газовой эпитаксии в реакторе горизонтального потока AIXTRON 200/RF-S. На подложку осаждали легированный кислородом зародышевый слой AlN (~20 нм), после чего слой GaN (~300 нм). Рост GaN прерывался для нанесения промежуточного слоя SiN_x субмонослойной толщины, после чего дорастивался слой GaN. Общая толщина пленки GaN составляла 1,8 мкм.

Для исследования свечения образцов использовалась методика импульсной люминесцентной спектроскопии с наносекундным временным разрешением. Католюминесценция (КЛ) гетероструктур возбуждалась СЭП с эффективной энергией электронов в спектре ~ 250 кэВ. Облучение образцов и измерение КЛ осуществлялось при температуре 300 К. Регистрация спектров с временным разрешением ~ 15 нс проводилась с помощью измерительной системы на основе ди-

фракционного монохроматора МДР-23, фотоэлектронного умножителя ФЭУ-84 и осциллографа Tektronix DPO 3034.

Результаты и их обсуждение

Типичные спектры КЛ эпитаксиальных слоев GaN, выращенных на сапфировых подложках, измеренные в момент окончания импульса возбуждения и с временной задержкой 200 мкс представлены, соответственно, на рис. 1-3.

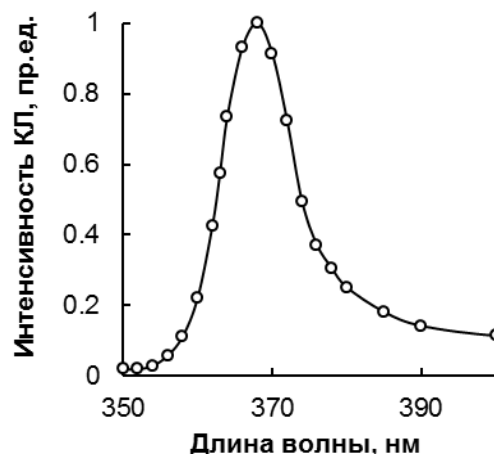


Рис. 1. Спектр КЛ исследуемого образца, измеренный в момент импульса возбуждения.

Полоса излучения в области 368 нм (ширина на полувысоте FWHM ≈ 105 мэВ, время затухания $\tau \leq 15$ нс), согласно [1], принадлежит GaN ($E_g = 3,39$ эВ при 300 К) и обусловлена рекомбинацией связанных на дефектах экситонов.

В длинноволновой области спектра в исследуемых образцах наблюдается широкая «желтая» полоса с максимумом при $\lambda_{\max} = 560$ нм (FWHM ≈ 336 мэВ) и относительно узкая «красная» полоса в области 690 нм (рис. 2). Появление желтой полосы обычно связывается с наличием собственных дефектов либо их комплексов в GaN. Одной из возможных причин появления желтой полосы в спектрах люминесценции GaN, согласно исследованиям [3], является образование дивансии азота и (или) их комплексов с примесями.

Измерение полосы 690 нм с более высоким спектральным разрешением (0,2 нм) показало наличие двух близко расположенных полос с максимумами при $\lambda_{\max 1} = 692,9$ нм и $\lambda_{\max 2} = 694,3$ нм (рис. 3).

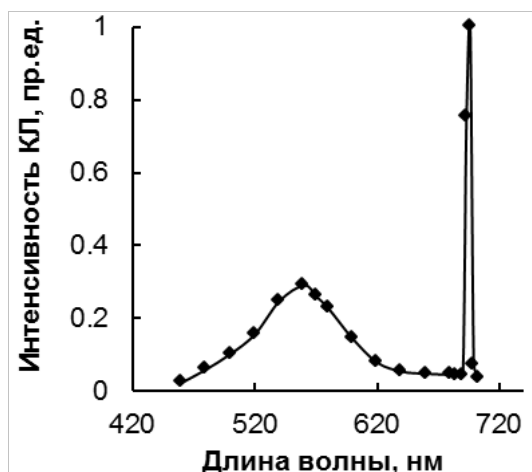


Рис.2. Типичный спектр КЛ исследуемого образца, измеренный с временной задержкой 200 мкс. Спектральное разрешение ~15 нм.

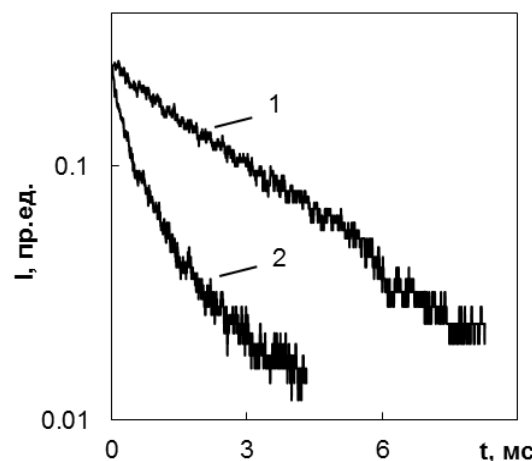


Рис.4. Типичные кинетики затухания КЛ исследуемого образца: 1 – $\lambda_1 = 692,9$ нм; 2 – $\lambda_2 = 560$ нм.

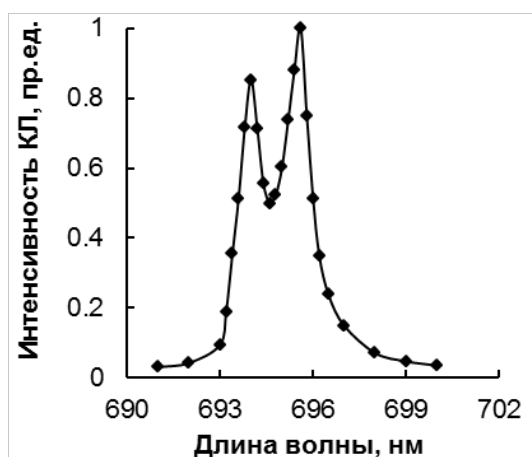


Рис. 3. Типичный спектр КЛ исследуемого образца, измеренный с временной задержкой 200 мкс. Спектральное разрешение ~ 0,2 нм.

Подобную дублетную линию ранее наблюдали в спектрах излучения зеленых светодиодов на основе InGaN/AlGaIn/GaN на длинноволновом спаде спектров [5] и связали ее с примесью Cr^{3+} в кристаллической решетке Al_2O_3 .

Нами были измерены кинетические характеристики полос люминесценции 560 и 692,9 нм. Результаты измерений приведены на рис. 4. Видно, что желтая полоса, ответственная за люминесценцию дефектов в GaN имеет сложную неэкспоненциальную кинетику затухания с длительностью импульса на полувысоте $t_{1/2} \sim 300$ мкс. Для свечения примеси Cr^{3+} в сапфире характерна экспоненциальная кинетика затухания ($\tau \approx 3,5$ мс).

Выводы

Исследованы время-разрешенные спектры импульсной катодолуминесценции эпитаксиальных слоев GaN, выращенных на сапфировых подложках. Установлено, что в момент импульса возбуждения в спектре КЛ наблюдается интенсивная экситонная полоса люминесценции с максимумом при 368 нм и длительностью $\tau \leq 15$ нс.

Обнаружено, что в спектре КЛ исследованных образцов формируются две слабоинтенсивные, длинновременные полосы люминесценции: «желтая» с максимумом при $\lambda_{\text{max}} = 560$ нм связана с дефектами, образующимися в GaN при выращивании; дублетная «красная» полоса, с максимумами при $\lambda_{\text{max}1} = 692,9$ нм и $\lambda_{\text{max}2} = 694,3$ нм, возникает в результате неконтролируемого вхождения примеси хрома в подложку Al_2O_3 .

Список литературы

1. Олешко В.И., Горина С.Г., Корепанов В.И. и др. Люминесценция тонкопленочных светодиодных структур при возбуждении сильноточным электронным пучком // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56 – № 1. – С. 55-58.
2. Олешко В.И., Горина С.Г., Корепанов В.И. и др. Время-разрешенная люминесцентная спектроскопия гетероструктур на основе InGaIn/GaN-квантовых ям // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56 – № 8/3. – С. 111-115.
3. Юнович А.Э. Дивакансии азота – возможная причина желтой полосы в спектрах люминесценции нитрида галлия // ФТП. – 1998. – Т. 32 – № 10. – С. 1181-1183.
4. Кудряшов В.Е., Мамакин С.С., Юнович А.Э. Влияние сапфировой подложки на спектры излучения светодиодов из нитрида галлия // ПЖТФ. – 1999. – Т. 25 – № 13. – С. 68-72.