

ИМПУЛЬСНАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ GaN, ВЫРАЩЕННЫХ НА ПОДЛОЖКАХ Al₂O₃

Сычева А.В.
sychyova.a.v@gmail.com

*Научный руководитель: Олешко В.И., д.ф.-м.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Введение

Самыми перспективными материалами для создания оптоэлектронных устройств являются нитриды III-группы. Они используются в качестве основы многих светодиодов, лазерных диодов, полноцветных светодиодных дисплеев и т.д. Обычно нитрид галлия (GaN) наносят на инородную сапфировую подложку (Al₂O₃), которая имеет высокие термическую и химическую стабильности при высокой температуре роста эпитаксиальных пленок GaN.

Основной технологией массового производства гетероструктур AlGaIn/InGaIn/GaN для производства светодиодов является технология газовой эпитаксии из металлоорганических соединений (МОГФЭ) на подложках карбида кремния или сапфира. При такой технологии рост структуры осуществляется при присутствии газа при умеренных давлениях. При температуре близкой к комнатной металлоорганические соединения находятся в жидком или иногда твердом состоянии. Такие вещества имеют высокое давление паров, следовательно, их можно легко доставить в зону химической реакции путем продувки газа носителя через жидкости или над твердыми телами, играющими роль источников. В качестве газа носителя используют водород или инертные газы (гелий, аргон).

В настоящее время очень важно исследование излучающих гетероструктур и их составных частей. Слои GaN имеют много дефектов, которые существенно влияют на излучательные свойства, которые могут быть собственной и примесной природы. Возникновение и количественные характеристики дефектов зависят от условий и техники роста, а так же от материала подложки.

Наиболее эффективными являются методы люминесценции, позволяющие контролировать дефекты и определять возможность использования структуры при изготовлении источников света. Метод фотолюминесценции заключается в возбуждении фотонами с энергией кванта, которая превышает ширину запрещенной зоны эпитаксиальных слоев. Данный метод позволяет исследовать светодиодные структуры толщиной 10 – 100 нм, что связано с большим коэффициентом поглощения возбуждающего излучения. Для диагностики светодиодных структур, толщина которых составляет единицы микрон, наиболее эффективным является метод катодоллюминесценции. Его преимуществом является однородное возбуждение и получение информации обо всей структуре в целом.

Для реализации катодоллюминесцентной диагностики полупроводниковых и диэлектрических макрокристаллов используются высокоэнергетические (100—400 кэВ), сильноточные (1—10³ А) электронные пучки (СЭП). Такие пучки формируются в высоковольтных диодах со взрывозамиссионным катодом. Импульсная спектроскопия при однородном возбуждении слоя твердого тела толщиной ~ 10 мкм становится возможной, так как СЭП имеют малые длительности импульса тока и высокую энергию электронов.

Методика эксперимента.

В качестве исследуемых образцов использовались тонкие пленки GaN с разной плотностью дислокаций, выращенные на сапфировой подложке 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 наращивался слой GaN. Общая толщина пленки GaN составляла 1,8 мкм.

Для исследования свечения образцов использовалась методика импульсной люминесцентной спектроскопии с наносекундным временным разрешением. Катодоллюминесценция (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 дифракционного монохроматора МДР-23, фотоэлектронного умножителя ФЭУ-84 и осциллографа Tektronix DPO 3034.

Результаты исследования.

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 рисунках 1-3.

Полоса излучения в области 368 нм 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 и относительно узкая «красная» полоса в области 690 нм (рисунок 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 дивакансии 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 (рисунок 3).

Так же были измерены кинетические характеристики полос люминесценции 560 и 692,9 нм. Результаты измерений приведены на рисунке 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).

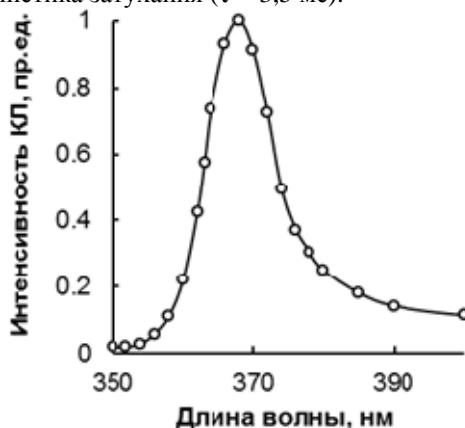


Рисунок 3. Спектр КЛ исследуемого образца, измеренный в момент импульса возбуждения.

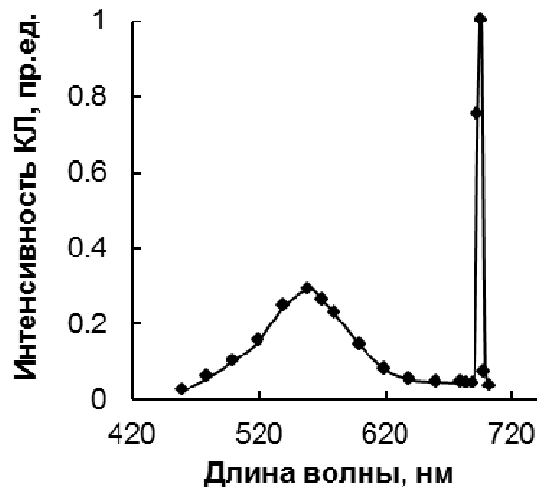


Рисунок 4. Типичный спектр КЛ исследуемого образца, измеренный с временной задержкой 200 мкс. Спектральное разрешение ~ 15 нм.

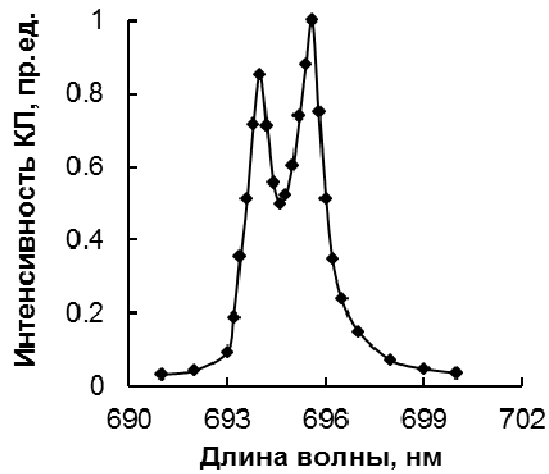


Рисунок 5. Типичный спектр КЛ исследуемого образца, измеренный с временной задержкой 200 мкс. Спектральное разрешение $\sim 0,2$ нм.

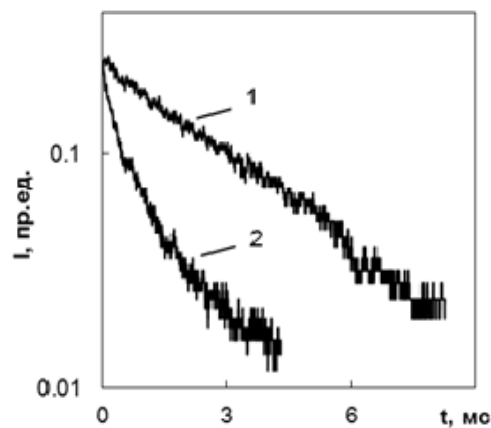


Рисунок 6. Типичные кинетики затухания КЛ исследуемого образца: 1 – $\lambda_1 = 560$ нм; 2 – $\lambda_2 = 692,9$ нм.

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 $\lambda_{\max} = 560$ нм связана с дефектами, образующимися в GaN при выращивании; дублетная «красная» полоса, с максимумами при $\lambda_{\max 1} = 692,9$ нм и $\lambda_{\max 2} = 694,3$ 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 InGaN/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.

ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ МИКРОДУГОВЫХ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ С РАЗЛИЧНОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ

Чебодаева В.В.¹, Комарова Е.Г.²
vtina5@mail.ru

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю. П. Шаркеев^{1,2},

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,*

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

Введение

Важнейшим вопросом медицинского материаловедения является разработка методов и способов модификации поверхности металлических имплантатов с целью улучшения их биологических свойств. Проблема отторжения медицинских имплантатов является актуальной, т. к. при изготовлении и обработке медицинских изделий часто не достигается требуемое взаимодействие искусственных поверхностей с костной тканью. Хорошо зарекомендовал себя такой метод обработки поверхности, как нанесение биоактивных кальцийфосфатных (СаР) покрытий, приближающих создаваемые имплантаты к классу биомиметических материалов для костной ткани [1]. Для имплантатов со сложной геометрической формой наиболее перспективен метод микродугового оксидирования (МДО) в водных растворах электролитов. Известно, что технологические параметры процесса МДО, в частности напряжение, влияют на свойства покрытий: морфологию (пористость), топографию (шероховатость), химический состав, смачиваемость (гидрофильность/гидрофобность) и т. д. Важными факторами, определяющими остеоинтеграцию костной ткани в имплантат, является шероховатость и смачиваемость поверхности. В работе были получены СаР покрытия с различной шероховатостью при варьировании напряжения процесса МДО, и исследовано влияние напряжения МДО и шероховатости на смачиваемость покрытий.

Объекты и методы исследования

Покрытия наносились на материалы, используемые в медицинской практике, а именно технически чистый титан ВТ1-0. В эксперименте использовались образцы, нарезанные в виде пластин размером $10 \times 10 \times 1$ мм³. Для формирования покрытий применялась установка MicroArc-3.0. Микродуговое СаР покрытие наносилось на поверхность образцов в электролите на основе водного