

“УТВЕРЖДАЮ”

Директор ИФТТ РАН

Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. А.А. Левченко

« 18 » ноября 2024г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Александия Луизы Араратовны «Изучение спектров глубоких центров в синих и зелёных светодиодах на основе III-nitrides, их влияния на характеристики, эффектов наноструктурирования», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 Физика полупроводников.

Актуальность темы диссертации

GaN является основой для создания эффективных оптических излучателей, охватывающих диапазон от зеленого до ультрафиолетового спектра. Это позволяет производить устройства с высокой яркостью и длительным сроком службы, что критично для замены традиционных источников света. Переход на светодиоды способствует снижению воздействия на окружающую среду благодаря их более высокой эффективности и долговечности. Многие страны уже отказываются от ламп накаливания в пользу LED-технологий.

Продолжает развиваться технология роста III-нитридных слоев, что позволяет создавать более качественные гетероструктуры для микро- и оптоэлектроники. Это включает в себя улучшение методов роста, таких как MOCVD (металлоорганическое химическое осаждение из паровой фазы) и HVPE (гидридное паровое эпитаксиальное осаждение).

Исследования показывают, что благодаря подбору состава сплавов GaN на основе In или Al возможно создание эффективных оптических излучателей в широком диапазоне запрещенной зоны. Это открывает новые возможности для разработки светодиодов (LED) и лазеров. Проведены исследования, посвященные механизмам деградации внешней квантовой эффективности светодиодов на основе III-нитридов. Это знание критически важно для повышения долговечности и надежности этих устройств.

Исследования в области микро- и наносветодиодов открывают новые горизонты для высококонтрастных дисплеев и оптической связи, что делает тему исследования особенно актуальной в контексте современных технологических трендов. Несмотря на достижения в области LED, существует необходимость изучения факторов, влияющих на надежность и срок службы устройств, таких как центры безызлучательной рекомбинации (ЦБР). Понимание этих процессов может значительно улучшить характеристики светодиодов.

Научная новизна работы

Научная новизна диссертационной работы Луизы Араратовны Алексанян заключается в нескольких ключевых аспектах, касающихся глубоких центров в светодиодах на основе III-nitrides.

1. Исследована радиационная стойкость светодиодов с подслоем InAlN/GaN. Обнаружено, что такие структуры демонстрируют значительно меньшую концентрацию дефектов и медленное изменение их свойств при облучении электронами, что улучшает их эффективность по сравнению с образцами без подслоя.

2. Установлено, что глубокие уровни, действующие как центры безызлучательной рекомбинации, существенно влияют на эффективность светодиодов. Исследование показало связь между положением этих уровней в запрещенной зоне и их пространственным распределением в активной области.

3. Показано, что интенсивность фотолюминесценции наносветодиодов может быть увеличена путем применения быстрого термического отжига и травления в водном растворе КОН, что способствует улучшению их оптических характеристик.

4. Выявлены два типа основных дефектов, образующихся в боковых стенках микросветодиодов при сухом травлении. Установлено, что ток утечки возрастает с уменьшением диаметра диода из-за усиленного туннелирования через дырочные ловушки.

Эти достижения не только углубляют понимание механизмов, влияющих на характеристики светодиодов, но и открывают новые пути для оптимизации технологий их производства и улучшения эксплуатационных характеристик.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы Алексанян Л.А. заключается в ее вкладе в развитие технологий на основе III-nitrides, особенно в области светодиодов микро- и наноразмеров.

1. Исследование показало, что использование подслоя InAlN в светодиодах значительно увеличивает их радиационную стойкость и уменьшает концентрацию центров безызлучательной рекомбинации (ЦБР), что непосредственно влияет на долговечность и надежность устройств.

2. Результаты работы могут быть применены для оптимизации технологий изготовления светодиодов нового поколения, что может привести к созданию более эффективных и долговечных источников света для различных приложений, включая освещение и дисплеи.

3. Исследованы методы обработки боковых поверхностей микро- и наносветодиодов, что позволяет минимизировать повреждения при травлении. Наилучшие результаты были достигнуты с использованием комбинации травления КОН и пассивации SiO₂, что может быть внедрено в промышленное производство.

4. Работа углубляет понимание механизмов деградации светодиодов, связанных с глубокими центрами, что может помочь в разработке более устойчивых к повреждениям устройств, особенно для применения в критически важных областях, таких как автомобильная и авиационная промышленность.

5. Результаты исследования открывают новые возможности для применения GaN-светодиодов в области оптической связи, что имеет большое значение для развития современных технологий.

Диссертация не только обогащает теоретические знания о глубоких центрах в III-nitrides, но и предлагает практические решения для повышения эффективности и надежности оптоэлектронных устройств.

Достоверность

В исследовании использовались высокоточные инструменты, такие как прецизионный LCR-метр, источники тока и генераторы импульсов, что позволяет получать достоверные данные о электрических и оптических характеристиках образцов.

Применение различных методик, таких как релаксационная спектроскопия глубоких уровней (РСГУ), адмиттанс спектроскопия (АС) и фотолюминесценция (PL), обеспечивает комплексный подход к анализу глубоких центров и их влияния на характеристики светодиодов.

Работа опирается на значительное количество экспериментальных данных, полученных в ходе исследований различных образцов светодиодов, что позволяет делать обоснованные выводы и рекомендации. Использование статистических методов для анализа результатов помогает минимизировать влияние случайных ошибок и повысить достоверность выводов.

Достоверность результатов дополнительно подтверждается их сопоставлением с данными других авторов, что позволяет оценить согласованность полученных результатов с существующими научными знаниями в области III-nitrides.

Эти аспекты создают уверенность в достоверности выводов диссертационной работы и ее значимости для дальнейших исследований в области оптоэлектроники.

Краткая характеристика основного содержания работы

Введение

Актуальность темы: Обоснование важности нитрида галлия (GaN) для оптоэлектронных устройств и его применения в светодиодах и лазерных диодах.

Цели и задачи исследования: Определение целей исследования, включая изучение глубоких центров и их влияния на характеристики светодиодов.

Глава 1: Обзор литературы

- Обзор литературы по III-nitrides, описывающий физические свойства и механизмы, влияющие на эффективность светодиодов.
- Определение понятий глубоких центров и их роли в рекомбинации.

Глава 2: Методология исследования

- Описание методов исследования, включая релаксационную спектроскопию глубоких уровней (РСГУ), адмиттанс спектроскопию (АС), фотолюминесценцию (PL) и электрические характеристики.

- Информация об образцах, используемых в эксперименте, и условиях их обработки.

Глава 3: Результаты исследований

- Анализ электрических и электролюминесцентных характеристик синих светодиодов с квантовыми ямами GaN/InGaN.
- Роль подслоя InAlN в изменении характеристик и влияние электронного облучения на свойства структур.
- Изучение электрических характеристик зеленых светодиодов, а также деградации свойств под воздействием электронного облучения.
- Выявление глубоких центров, влияющих на эффективность этих устройств.
- Изучение электрических характеристик зеленых светодиодов, а также деградации свойств под воздействием электронного облучения.
- Выявление глубоких центров, влияющих на эффективность этих устройств.

Заключение

В заключении подводятся итоги исследования, обобщаются полученные результаты и их значимость для дальнейших разработок в области оптоэлектроники. Приводятся предложения по оптимизации технологий для изготовления новых поколений светодиодов. В конце диссертации приведен список использованной литературы (107 источников).

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Результаты данной диссертации имеют значительный потенциал для практического применения в различных отраслях науки и народного хозяйства, что подтверждает их актуальность и необходимость дальнейших исследований.

Связь с отраслями науки и народного хозяйства:

Энергетика и экология: Переход на LED-технологии способствует снижению потребления электроэнергии и уменьшению углеродного следа.

Электронная промышленность: Изготовление экранов высокой яркости с применением микро- и наносветодиодов.

Медицинские технологии: УФ-светодиоды на основе AlGaIn имеют потенциал для использования в санитарной обработке и очистке сточных вод.

Рекомендации по внедрению результатов диссертации

Оптимизация технологий производства LED: Результаты исследования могут быть внедрены в компании, занимающиеся производством светодиодов, такие как «Оптрон», «Элма-Малахит», «Светлана-Рост» для улучшения характеристик их продукции.

Научные коллективы: Исследовательские группы в области полупроводниковой физики, особенно те, которые работают с GaN-структурами, должны продолжить изучение влияния дефектов на эффективность светодиодов. Рекомендуется сотрудничество с университетами, такими как ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Московский государственный университет имени М.В.

Ломоносова, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Томский Государственный Университет.

По материалу представленной диссертации и по оформлению работы имеются следующие замечания:

1. В п. 2.5.1 образцы облучались электронами при комнатной температуре с флюенсом $7 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и энергией 5 МэВ, а в п. 2.5.2 светодиоды облучали электронами с энергией 6 МэВ и флюенсом $5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$, при этом не поясняется выбор таких параметров облучения и причину их различия для разных образцов.
2. На стр.100 рис. 61(а) показывает зависимость амплитуд пиков микрокатодолюминесценции (МКЛ) 406 нм и 460 нм от ускоряющего напряжения. В тексте говорится, что «увеличение ускоряющего напряжения с 15 кВ до 25 кВ усилило вклад полосы 460 нм за счет полосы 406 нм», но на рисунке амплитуда полосы 460 нм не изменилась. Во-первых, хорошо бы подробнее описать этот момент, во-вторых, имелось ввиду «увеличение ускоряющего напряжения с 15 кэВ до 25 кэВ»?
3. В описании рис. 61(а) на стр.100 говорится о дефектной полосе около 600нм, но обсуждаемый максимум находится явно не на 600нм, а в более коротких длинах волн. Также в тексте не обсуждается, почему дефектная полоса исчезает после увеличения ускоряющего напряжения.
4. Есть также несоответствия текста и надписей на рисунке, например, на рис. 61(б) в тексте и в подписи к рисунку говорится про светодиоды диаметром 10 мкм, а на рисунке указано 11 мкм.
5. В тексте диссертации содержится ряд орфографических ошибок, например, слово «фотолюминесценция» несколько раз встречается с ошибкой, иногда с двумя. Также встречаются неудачно употребленные слова, например, «Для подавления этой проблемы требуется...» на стр.127.

Заключение

Сделанные замечания не ставят под сомнение основные результаты и выводы диссертации и не снижают общую положительную оценку работы в целом. Диссертация Алексаян Л.А. является завершенным научным исследованием, выполненным автором на высоком экспериментальном и научном уровне. Цели и задачи, поставленные в работе, полностью осуществлены. Автореферат и публикации полно и правильно отражают содержание диссертации, ее основные положения и выводы.

Таким образом, по своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и достоверности, диссертационная работа Алексаян Л.А. «Изучение спектров глубоких центров в синих и зелёных светодиодах на основе III-nitrides, их влияния на характеристики, эффектов наноструктурирования» полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС», а ее автор, Алексаян Л.А., несомненно

заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 Физика полупроводников.

Диссертация рассмотрена и обсуждена на семинаре «Физика дефектов» 27 сентября 2024г., протокол № 219

Отзыв утвержден на заседании Ученого Совета ИФТТ РАН 18 ноября 2024г., протокол № 22.

Руководитель семинара, академик РАН, д.ф.-м.н., проф. Кведер Виталий Владимирович

телефон: +7 (496) 522 10 67

e-mail: kveder@issp.ac.ru



Отзыв составил:

старший научный сотрудник Лаборатории квантовых кристаллов

Ученый секретарь ИФТТ РАН,

к.ф.-м.н. Терещенко Алексей Николаевич

телефон: +7 (496) 522 46 85

e-mail: tan@issp.ac.ru



Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук (ИФТТ РАН).

Почтовый адрес:

142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипяна, д. 2

e-mail: adm@issp.ac.ru

Телефон: +7(496) 522 19 82