

ОТЗЫВ

на диссертацию Данильчика Александра Викторовича *«Лазеры с оптической накачкой и светодиоды на основе гетероструктур с квантовыми ямами InGaN/GaN на кремниевых подложках»*, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21-лазерная физика

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки.

Диссертационная работа посвящена исследованию излучательных и генерационных свойств гетероструктур InGaN/GaN с квантовыми ямами, выращенными на кремниевых подложках при оптической накачке, а также разработке и созданию источников излучения сине-зеленого и УФ диапазона спектра на основе матриц светодиодов.

Содержание работы, положения и выводы диссертации полностью соответствуют пунктам: 2 (физика активных сред, полупроводников) и 6 (полупроводниковые лазеры) раздела «Области исследований» паспорта специальности 01.04.21 – лазерная физика и удовлетворяют требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

2. Актуальность темы диссертации.

Полупроводниковые структуры на основе нитрида галлия и соединений типа InGaN представляют существенный интерес для использования в электронной и оптоэлектронной технике, в частности для создания светодиодов и полупроводниковых лазеров, излучающих в УФ и видимом диапазонах спектра. Основное внимание исследователей было сосредоточено на изучении гетероструктур выращенных на подложках сапфира, карбида кремния или монокристаллического нитрида галлия. Исследование особенностей и закономерностей излучательных и лазерных характеристик данных материалов, выращенных на кремниевых подложках, широко распространенных в электронной промышленности, является несомненно актуальным.

Диссертация Данильчика А.В. была выполнена в рамках государственных программ и тем, соответствующих приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь (2004-2025 гг.). Тема диссертационной работы соответствует пункту 4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: микро-, опто- и СВЧ-электроника, фотоника, микросенсорика; нано материалы и нанотехнологии, нанодиагностика» приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы, согласно Указа Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 №156.

Тема диссертационной работы является, безусловно, актуальной и полностью соответствует принятым в Республике Беларусь приоритетным направлениям научных исследований.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту.

В диссертации:

- экспериментально установлено, что использование тонких ям толщиной 1,8 нм в гетероструктурах InGaN/GaN на подложках кремния с множественными квантовыми ямами, по отношению к квантовым ямам толщиной 2,1 нм, обеспечивает снижение зависимости порога оптически накачиваемых лазеров от длины волны генерации и, потенциально, допускает расширение диапазона их генерации в длинноволновую область спектра;

- установлено, что удаление кремниевой подложки в гетероструктурах InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами обеспечивает уменьшение оптических потерь в спектральной области генерации, обусловленных выходом излучения из структуры и его поглощением материалом подложки и приводит к снижению порога лазерной генерации в 1,5 раза в оптически накачиваемых лазерах на основе гетероструктур InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами;

- установлено, что использование кремния в качестве подложки для роста приводит к снижению перегрева активной области светодиодных гетероструктур InGaN/GaN в 3 раза по сравнению с аналогичными структурами на подложках сапфира;

- разработаны и созданы, на основе компьютерного моделирования температурного распределения в светодиодных матрицах, референсные источники УФ излучения для калибровки радиометров в УФ диапазонах А, В и С, определенных международной организацией по освещенности СИЕ.

Все указанные результаты являются новыми и оригинальными, о чем свидетельствуют публикации соответствующих научных статей в авторитетных научных журналах.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Основные выводы и положения, выносимые на защиту, являются научно обоснованными. Результаты диссертационного исследования апробированы на ведущих международных научных конференциях. Достоверность результатов работы определяется применением хорошо известных и апробированных методик измерений и современного экспериментального оборудования, обоснованных теоретических подходов при моделировании, а также согласием результатов экспериментов с результатами теоретического анализа.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации.

Научная значимость результатов диссертации заключается в определении излучательных и генерационных свойств полупроводниковых гетероструктур InGaN/GaN выращенных на подложках кремния с множественными квантовыми ямами в видимой спектральной области при оптической накачке, что представляет значительный интерес для развития физики полупроводниковых лазеров.

Практическая значимость работы состоит в том, что, на основании предложенных цифровых трехмерных моделей матриц светодиодов оценены распределения температуры при различных значениях потребляемой ими мощности, разработаны и созданы референсные светодиодные источники излучения для УФ диапазонов СИЕ А, В и С. Полученная выходная мощность излучения разработанных светодиодных источников излучения достаточна для калибровки УФ радиометров в указанных спектральных диапазонах.

Экономическая значимость диссертации заключается в том, что результаты работы могут быть внедрены для метрологического обеспечения аккредитованных центров и лабораторий Республики Беларусь.

Социальная значимость диссертации заключается в возможности внедрении результатов диссертационного исследования в учебный процесс на профильных кафедрах ведущих ВУЗов Республики Беларусь.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати.

Результаты диссертационных исследований опубликованы в 6 статьях, в научных изданиях, соответствующих п. 19 Положения ВАК о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, в 6 статьях в сборниках научных трудов и материалов научных конференций, в 7 тезисах докладов на конференциях и в 3-х патентах на полезную модель.

7. Соответствие диссертации требованиям ВАК.

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав основной части, заключения, библиографического списка и Приложения. Объем диссертации – 132 страницы, включая список используемых источников из 168 наименований, а также список публикаций соискателя по теме диссертации, состоящий из 22 работ. Автореферат отражает основное содержание диссертации. Результаты диссертации представлены последовательно, логично и написаны понятным научным языком. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК Республики Беларусь.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует.

Уровень постановки задач, использованные для исследований методы, а также объём, научная и практическая значимость полученных результатов подтверждают соответствие научной квалификации соискателя искомой ученой степени кандидата физико-математических наук.

9. Замечания по диссертации.

1. В Главе №3 работы отсутствует обсуждение физических причин связи роста эффективности спонтанного излучения в пороге генерации с соответствующим сокращением времён затухания фотолюминесценции в гетероструктурах InGaN/GaN на кремниевой подложке с квантовыми ямами различной толщины.
2. В описании метода определения величины оптического усиления указаны ограничения, связанные с насыщением усиления, но отсутствует обсуждение физических принципов, которые его вызывают.
3. В работе используются термин «светодиодные структуры», в то время как исследуются их генерационные или лазерные свойства. Более правильным было бы акцентировать внимание на структурных особенностях данных гетереструктур, таких как наличие дополнительных волноводных слоев GaN, влияющих на их лазерные характеристики.
4. В работе заявляется разработка матриц светодиодов, но более точным является использование определения «источников излучения на основе матриц светодиодов».
5. В тексте диссертации значительная часть рисунков приведена на следующей странице по отношению к тексту в котором обсуждаются представленные на нём результаты, что затрудняет восприятие материала. Имеется ряд мелких опечаток.

Вышеуказанные замечания, однако, не искажают сущности изложенных в диссертации положений и выводов и не снижают общую положительную оценку научного уровня и практической важности полученных результатов.

10. Выводы.

Диссертационная работа Данильчика Александра Викторовича «Лазеры с оптической накачкой и светодиоды на основе гетероструктур с квантовыми ямами InGaN/GaN на кремниевых подложках», представляет собой завершённую квалификационную работу, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным главой 3 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий», и содержит новые результаты по экспериментальному и теоретическому исследованию излучательных и генерационных характеристик гетероструктур InGaN/GaN на кремнии при оптическом возбуждении, созданию светодиодов на основе гетероструктур InGaN/GaN на кремнии а также разработке и созданию на их основе матричных светодиодных источников излучения УФ диапазона спектра.

Данильчик Александр Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика за:

- экспериментальное определение условий и особенностей генерации в диапазоне длин волн 440 – 465 нм на гетероструктурах с квантовыми ямами InGaN/GaN различной толщины выращенными на кремнии при оптической накачке;

- экспериментальное определение влияния уменьшения величины внутренних оптических потерь на поглощение в гетероструктурах InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами при удалении кремниевой подложки на их лазерные свойства, что позволило получить генерацию на длине волны 465 нм со снижением пороговой интенсивности излучения накачки в 1,5 раза;

- установление преобладающего влияния рассеяния и поглощения генерируемого излучения структурными дефектами в активной области и верхнем волноводном слое на пороговые значения интенсивности накачки лазеров на основе гетероструктур InGaN/GaN с верхним волноводным слоем GaN толщиной 150 нм;

- разработку референсных матричных светодиодных источников излучения для УФ области спектра на основе нитридных гетероструктур с множественными квантовыми ямами посредством математического моделирования и экспериментальной оценки величины перегрева активных областей.

Официальный оппонент

Заведующий НИЦ оптических материалов и технологий
филиала БНТУ "Научно-исследовательский
политехнический институт"

Доктор физико-математических наук, доцент

В.Э. Кисель

30/01/2023



Я, Кисель Виктор Эдвардович, даю согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте ИНСТИТУТА ФИЗИКИ НАН Беларуси в сети Интернет.

30/01/2023

В.Э. Кисель