

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 А.В. Данильчика посвящена исследованию параметров излучения лазеров с оптической накачкой и светодиодов на основе гетероструктур с квантовыми ямами InGaN/GaN на кремниевых подложках. Характеристики лазерного излучения исследовались экспериментально и сопоставлялись с данными, полученными при помощи математического моделирования, как у структур с подложкой, так и после удаления кремниевой подложки методом жидкостного химического травления. В работе исследована взаимосвязь лазерных и фотолюминесцентных свойств гетероструктур с морфологией поверхности покровных слоев нитрида галлия и плотностью V-дефектов. На основе гетероструктур с квантовыми ямами InGaN/GaN созданы светодиоды и определена температура их активной области. Разработаны и изготовлены матрицы светодиодов на сине-зеленую и ультрафиолетовую области спектра, а также построены модели распределения температуры в разработанных матрицах светодиодов. Показано хорошее соответствие результатов моделирования, описывающих распределение температуры в матрицах светодиодов в зависимости от электрической мощности, результатам измерений температур матриц. Таким образом, рассматриваемая диссертация соответствует пунктам 2 (физика активных сред, полупроводников) и 6 (полупроводниковые лазеры) раздела III паспорта специальности 01.04.21 – лазерная физика, отрасли «физико-математические науки».

2. Актуальность темы диссертации

Гетероструктуры нитрида галлия и его твердых растворов обладают физическими свойствами, которые обеспечивают полупроводниковым приборам, созданным на их основе, оптические, мощностные и частотные характеристики, позволяющие применять их в оптоэлектронике, силовой электронике и лазерной технике. Диссертационная работа А.В. Данильчика выполнена в рамках заданий государственных программ научных исследований, соответствующих приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь. Тема диссертации соответствует пункту «4. Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: микро-, опто- и СВЧ-электроника, фотоника, микросенсорика;» приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы, согласно Указа Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 №156.

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

В диссертационной работе исследованы параметры оптически накачиваемых лазеров и светодиодов на гетероструктурах нитрида галлия, получена генерация в широком диапазоне длин волн, созданы светодиоды и матрицы светодиодов. Следующие научные результаты диссертационной работы А.В. Данильчика, отличаются научной новизной:

- в спектральном диапазоне от 440 до 465 нм получена генерация лазеров с оптической накачкой на основе гетероструктур с квантовыми ямами InGaN, выращенных на кремнии; показано, что за счет увеличения поглощения в кремниевой подложке при увеличении длины волны генерации, материальное оптическое усиление в пороге генерации увеличивается от 750 до 1020 см⁻¹; установлено, что удаление подложки кремния уменьшает в 1.5 раза значение порога генерации оптически накачиваемых лазеров на основе гетероструктур InGaN на длине волны 465 нм, при этом длина волны генерации сдвигается на 9 нм в длинноволновую область спектра;
- установлена корреляция порога генерации гетероструктур InGaN/GaN с плотностью V-дефектов в слое GaN, увеличение концентрации которых приводит к значительному рассеянию генерируемого лазерного излучения;
- созданы матрицы светодиодов, излучающих в сине-зеленой и ультрафиолетовой областях спектра; разработаны компьютерные модели, описывающие распределение температуры в матрицах светодиодов в зависимости от потребляемой электрической мощности и хорошо согласующиеся с экспериментальными данными.

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

Содержащиеся в диссертации положения и результаты исследований корректно сформулированы и проверены. Результаты и выводы диссертации хорошо аргументированы и подтверждены, содержат необходимые литературные ссылки. Получено хорошее согласование теоретических и экспериментальных результатов.

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

Научная значимость результатов состоит в следующем.

1. В оптически накачиваемых лазерах на гетероструктурах InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами InGaN, выращенных на подложках кремния, получена лазерная генерация в диапазоне длин волн от 440 до 465 нм.

2. Установлено, что в оптически накачиваемых лазерах на основе гетероструктур InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами InGaN после удаления кремниевой подложки происходит уменьшение порога генерации в 1,5 раза, что объясняется в основном уменьшением оптических потерь на выход лазерного излучения для мод высокого порядка при отсутствии поглощения лазерного излучения в кремниевой подложке.

3. Установлено что доминирующим механизмом, влияющим на порог генерации в оптически накачиваемых лазерах на основе гетероструктур InGaN/GaN с пятью квантовыми ямами InGaN, выращенных на кремниевых подложках, являются оптические потери на рассеяние и поглощение излучения V-дефектами.

4. Оценка перегрева активной области светодиодов на гетероструктурах InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами InGaN на кремниевых подложках показала, что для структур, выращенных на подложке Si (111), перегрев в 3 раза меньше перегрева аналогичных структур на подложках Al₂O₃.

5. Разработаны и верифицированы компьютерные 3D-модели матриц светодиодов на нитридных гетероструктурах, позволяющие оценивать распределение температуры при различных значениях мощности электропитания.

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в установлении влияния толщин квантовых ям и качества поверхностного слоя нитрида галлия гетероструктур InGaN/GaN, выращенных на подложках кремния, на лазерные свойства таких структур, что может быть использовано при создании в Республике Беларусь технологии эпитаксиального роста нитридных гетероструктур в Институте физики НАН Беларуси. Полученные в ходе выполнения диссертационной работы распределения температур матриц светодиодов ультрафиолетового излучения могут быть использованы при изготовлении эталонных источников излучения для ультрафиолетового диапазона спектра.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту, представлены в 6 статьях, опубликованных в научных изданиях, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, в 13 статьях в сборниках научных трудов и материалов научных конференций, а также в 3-х патентах на полезную модель.

7. Соответствие диссертации требованиям ВАК

Диссертация А.В. Данильчика состоит из введения, общей характеристики работы, обзорной главы, методики эксперимента, трех оригинальных глав с результатами исследований, заключения, списка использованных источников (168 наименований) и списка работ автора (22 наименования). Общая характеристика работы содержит актуальность, цели и задачи исследования, научную и практическую значимость полученных результатов, защищаемые положения. Оформление диссертации (разбиение по главам, представление рисунков и таблиц, список использованных источников и собственных работ автора) выполнено в соответствии с требованиями ВАК. Результаты диссертации представлены последовательно, логично и написаны понятным научным языком. Диссертация содержит 85 рисунков, 4 таблицы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

8. Замечания по диссертации

В диссертационной работе имеют место некоторые опiski и погрешности в определениях и в оформлении:

- использование не очень подходящих выражений, таких как, например, «волоконная связь» (стр. 6), «цифровая модель» (стр. 11,95,96), «алюминий превратится» (стр. 25), «показано улучшение устройств, перенесенных на медь» (стр. 33), «инкорпорировать управляющую электронику» (стр. 85) или «напряжение зажигания» (стр. 86, 88);
- различные обозначения одного и того же, например, « $A_{III}B_V$ » и «III-V» (стр. 13), «цифровая модель» и «компьютерная модель» (стр. 8,10);
- опечатки «первые принципы расчеты выявили» на стр. 22, «усчитывается длинноволновое смещение» на стр. 49, «происходит низкоэнергетического смещение максимумов» на стр. 50, «что в в оптически накачиваемых лазерах» на стр. 114, «близки к значениям температур» на стр. 115;
- в тексте диссертации пропущена ссылка на рисунок 5.18;
- допущены переносы в значениях параметров в таблице 1.2 на стр. 29;
- ссылка на используемую литературу [48] появляется в тексте диссертации ранее ссылки [39] (стр. 16).

Следует отметить, что приведенные выше замечания не затрагивают основных положений и выводов, содержащихся в диссертации, не снижают научной и практической значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

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

Содержание диссертационной работы Данильчика А.В. отражает личный вклад автора в опубликованные научные материалы. Вклад соискателя состоит в постановке задач исследования, проведении ключевых экспериментов, интерпретации полученных данных, участии в планировании теоретических расчетов и их сопоставлении с результатами экспериментов, а также в непосредственном участии в подготовке и написании публикаций, и представлении результатов на научных конференциях. Автором самостоятельно были проведены эксперименты по удалению подложки кремния с оптически накачиваемых лазерных кристаллов на основе гетероструктур InGaN/GaN, а также разработаны и изготовлены матрицы светодиодов на синезеленую и ультрафиолетовую области спектра. На основании анализа содержания диссертации, уровня представления и обсуждения результатов, а также аргументации и обоснованности, сделанных на их основе выводов можно считать, что ее автор, Данильчик А.В., является сложившимся квалифицированным специалистом в области лазеров и светодиодов на основе нитридных гетероструктур. Научная квалификация автора диссертации соответствует квалификации соискателя искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

10. Выводы

Диссертационная работа А.В. Данильчика «Лазеры с оптической накачкой и светодиоды на основе гетероструктур с квантовыми ямами InGaN/GaN на кремниевых подложках» представляет собой завершённую квалификационную работу, соответствующую требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным главой 3 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь», и содержит новые результаты по экспериментальному и теоретическому исследованию.

Автор диссертационной работы Данильчик Александр Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика за новые научно обоснованные теоретические и практические результаты, совокупность которых имеет важное значение для создания лазеров и светодиодов на основе гетероструктур нитрида галлия и его твердых растворов и заключается в:

- определении пороговых условий генерации при оптическом возбуждении лазеров на основе гетероструктур InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами на кремниевых подложках;
- создании светодиодов на основе гетероструктур InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами на кремниевых подложках, излучающих в сине-зеленой и ультрафиолетовой областях спектра;
- разработке компьютерных моделей, описывающих распределение температуры в матрицах светодиодов на основе гетероструктур InGaN/GaN в зависимости от потребляемой электрической мощности.

Кандидат физико-математических наук,
Заведующий лабораторией радиофотоники
Государственного научно-производственного объединения
«Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»



Данные об авторе отзыва:

кандидат физико-математических наук (специальность 05.27.01),
заведующий лабораторией радиофотоники
ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Адрес: 220072, г. Минск, пр. Независимости, 68–1
Эл. почта: chizh@oelt.basnet.by
Тел. +375 (17) 368-90-11

Я, Чиж Александр Леонидович, даю согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Института физики НАН Беларуси в сети Интернет.

А.Л. Чиж
31.01.2023