

Отзыв

официального оппонента Смирнова Серафима Всеволодовича на диссертационную работу Копьева Виктора Васильевича «Влияние встроенных электрических полей на перенос носителей заряда в излучающих структурах InGaN/GaN», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников

Полупроводниковые источники оптического излучения на основе гетероструктур InGaN/GaN давно находят широкое применение во многих областях науки и техники. Однако до настоящего времени нет корректной модели, описывающей процессы инжекции и рекомбинации носителей заряда в гетероструктурах с множественными квантовыми ямами. Приводимые в научно-технической литературе экспериментальные результаты свидетельствуют о существовании в подобных структурах дополнительных, встроенных электрических полей, обусловленных явлениями пьезоэлектрической поляризации. Наличие этих полей может оказывать большое влияние на электрические и оптические характеристики светодиодных структур. Поэтому тема исследования является актуальной.

Научная новизна исследований сомнений не вызывает. В диссертации предложена модель транспорта «горячих» электронов над областью множественных квантовых ям InGaN/GaN, модель туннелирования дырок из примесных акцепторных состояний Mg в активную область, а также рассмотрен резонансный туннельный транспорт между разрешенными уровнями энергии в соседних несвязанных квантовых ямах.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и списка литературы.

В первой главе рассматриваются структура и свойства гетероструктур на основе InGaN/GaN, особенности их состава и структуры. Приведены основные уравнения и формулы, описывающие влияние встроенных электрических полей на оптические свойства структур с квантовыми ямами, рассмотрены процессы

переноса носителей заряда. Рассмотрены вопросы квантового выхода фотолюминесценции структур с квантовыми ямами. На основе анализа известных результатов поставлена цель и задачи исследований.

Вторая глава посвящена описанию методик, приборов и образцов, используемых в работе. В качестве образцов взяты монополярные структуры GaN *n*-типа на сапфировой подложке, выращенные на АО «Полус» (Москва) и кристаллы светодиодов, представленные АО «НИИПП» (Томск) и изготовленные, предположительно, из материала фирм Epistar или Semileds. Наибольшее внимание уделено описанию методов исследования оптических и электрических свойств монополярных и биполярных полупроводниковых структур. Проведена оценка критериев применимости разработанных методик к исследуемым структурам в широком диапазоне температур. Для исключения дополнительного нагрева структур предложен импульсный режим измерений.

В главе 3 приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований опытных образцов монополярных структур: фотолюминесценция, оптическое пропускание, проведен расчет напряженности встроенного поля. Экспериментально обнаружены, при низких температурах, пики проводимости, предположительно обусловленные резонансным туннелированием носителей заряда. Предложены схематические модели, описывающие возможные переходы электронов в структурах при прямом и обратном смещении.

В главе 4 приведены результаты исследований электрических характеристик светодиодных структур в диапазоне температур от 10 до 400 К. Предложена упрощенная модель переноса носителей заряда с учетом инжекции дырок из примесных состояний. Предложено выражение для расчета тока светодиодной структуры с учетом баллистического тока утечки.

Наиболее важным научным и практическим результатом работы, является разработка экспериментальных установок и методов измерения электрических и оптических характеристик гетероструктур в широком диапазоне температур, которые при некоторой доработке могут быть рекомендованы к использованию в производственных условиях, например АО «НИИПП» (Томск).

Значительный научный и практический интерес представляют и полученные на разработанных установках результаты исследования как модельных, так и коммерческих светодиодных структур.

Положения, выносимые на защиту обоснованы и подтверждены систематизированными экспериментальными результатами, полученными лично автором. Все основные положения и выводы по работе опубликованы в научно-технических изданиях, в том числе и изданиях рекомендуемых ВАК при защите диссертационных работ по специальности 01.04.10 и доложены на российских и международных конференциях. Автореферат диссертации адекватно отражает содержание диссертационной работы.

По содержанию диссертационной работы имеется ряд замечаний.

1. В введении к диссертационной работе указано, что предметом исследования является физико-математическая модель, но фактически рассмотрена лишь, гипотетическая упрощенная схема переноса носителей заряда.
2. Для расчета спектров пропускания многослойной гетероструктуры использовано выражение для однослойной модели, что не вполне корректно.
3. Автор утверждает, что для исследований использовались кристаллы, изготовленные в ОАО «НИИПП» (Томск), но как известно, производство структур InGaN/GaN данным предприятием не осуществляется.
4. В работе и автореферате приводятся результаты оценки внутренней и внешней квантовой эффективности светодиодных структур, в том числе и их абсолютных значений, но из описания методики, не ясно, каким образом это достигается.
5. В работе и автореферате приведена формула для расчета баллистического тока, но не известно у кого она заимствована, поскольку ссылки на предполагаемых авторов некорректны.

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Исходя из вышесказанного, считаю, что представленная работа является законченным научным исследованием, содержащим большой объем

экспериментальных результатов, представляющих практический и научный интерес.

Считаю, что диссертационная работа «Влияние встроенных электрических полей на перенос носителей заряда в излучающих структурах InGaN/GaN», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников соответствует п. 9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, а соискатель Копьев Виктор Васильевич достоин присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент –

профессор кафедры физической электроники

федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования

«Томский государственный университет

систем управления и радиоэлектроники»

(634050, г. Томск, пр. Ленина, 40; (3822) 510-530;

office@tusur.ru; www.tusur.ru),

доктор технических наук

(01.04.10 – Физика полупроводников и диэлектриков),

профессор



Смирнов Серафим Всеволодович

serafim.smirnov@mail.ru

25.11.2019

Подпись сотрудника Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники С. В. Смирнова УДОСТОВЕРЯЮ.

Ученый секретарь ТУСУР




Е. В. Прокопчук