

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Афонина Кирилла Нильевича  
«Тепловой режим источника света на основе GaN/InGaN в  
светодиодных лампах», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»

Диссертационная работа К.Н. Афонина посвящена решению вопросов обеспечения оптимального теплового режима светодиодного модуля на основе гетероструктур GaN/InGaN в светодиодных лампах (СДЛ). В работе решены задачи разработки модели светодиодной лампы с нитевидными светодиодными модулями с возможностью изучения ее тепловых характеристик, анализа температурных полей в структуре нитевидного светодиодного модуля и светодиодной лампы в целом, разработки новых технических решений источника света с улучшенными тепловыми свойствами.

Учитывая, что светодиодные лампы на сегодняшний день обладают самой высокой световой отдачей среди источников света, их применение позволяет увеличить эффективность использования энергетических ресурсов, что соответствует государственной программе РФ по энергосбережению. Тепловые режимы работы светодиодных источников света определяют их основные технические и эксплуатационные параметры, такие как световая отдача, надежность, срок службы. Обеспечение эффективного теплоотвода в светодиодной светотехнике – одна из наиболее **актуальных задач**, стоящих сегодня перед разработчиками и производителями СДЛ. Поиск технических решений для обеспечения оптимальных температурных условий работы р-п-перехода в светодиодных устройствах, развитие подходов к адекватному моделированию и прогнозированию тепловых режимов работы, представленные в диссертационной работе, дают весомый вклад в решение этих задач.

Целью диссертационной работы является обеспечение теплового режима светодиодного модуля на основе кристаллов GaN/InGaN в светодиодных лампах. Для достижения этой цели были разработаны вопросы моделирования светодиодной лампы со светодиодными модулями – филаментами, произведен анализ температурных полей для различных конструктивных решений лампы, установлены зависимости температуры на рабочих поверхностях светодиодных модулей от типа газа, теплопроводности среды.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений.

В **первой главе** представлен аналитический обзор методов анализа процессов теплопередачи, описаны существующие подходы обеспечения теплового режима современных светодиодных ламп. Итогом первой главы является постановка задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена описанию этапов построения модели светодиодной лампы, типов моделей СДЛ на основе светодиодных модулей. Изложены результаты тепловых расчетов для построенных моделей в программном комплексе Ansys, оценена адекватность модели.

В **третьей главе** автор приводит результаты анализа тепловых условий на основе предложенной тепловой модели для конструкции «последовательность GaN/InGaN кристаллов - подложка - заполняющий колбу газ - колба светодиодной лампы». Описаны новые технические решения светодиодной ленты и светодиодной лампы, созданные на основе проведенных исследований.

В ходе выполнения диссертационного исследования получены **новые и значимые для науки и техники результаты**, из которых хотелось бы отметить следующие:

1. Разработана математическая модель светодиодного модуля, представляющего собой последовательность GaN/InGaN кристаллов, расположенных на плоском основании и помещенных в замкнутый объем

однородной среды, ограниченный теплоизолирующей оболочкой сложной формы, позволяющая рассчитывать значения температуры кристаллов, основания, внутренней среды и поверхности оболочки, расположенной в воздушной среде.

Модель позволяет проводить всесторонний анализ температурных режимов лампы, прогнозировать эффективность различных конструкций и технических решений.

2. Установлена гиперболическая зависимость температуры гетероструктуры GaN/InGaN светодиодного модуля от теплопроводности материала линзы, дополняющей конструкцию лампы.

3. Предложен новый способ стабилизации теплового режима светодиодных модулей в лампе с использованием электронного газа.

4. Предложено и обосновано техническое решение, в виде оптически прозрачной линзы из теплопроводящего материала в конструкции лампы, позволяющее одновременно снизить температуру светодиодных модулей до 10% и уменьшить неравномерность углового распределения силы света.

**Практическая значимость** результатов работы очевидна, и она заключается в разработке автором новых светоизлучающих устройств с улучшенными параметрами. Технические решения, предложенные в работе внедрены на предприятии ООО «Руслед», подтверждены патентами на изобретение и полезную модель. Немаловажным является использование результатов диссертационного исследования в образовательном процессе для подготовки кадров по направлению 11.03.03 «Конструирование и технологии электронных средств».

На основании полученных результатов диссертантом сформулированы три основных положения, выносимых на защиту. Все защищаемые положения базируются на результатах математического моделирования, детальном сопоставлении теоретических моделей с экспериментальными данными, подтверждены детальным обсуждением с привлечением независимых

литературных данных. **Полученные в работе результаты являются новыми и достоверными, выводы и защищаемые положения обоснованы.** Достоверность подтверждается использованием современных методов моделирования, согласованностью теоретических оценок и экспериментальных данных.

По работе имеются следующие замечания:

1. Из данных, приведенных в таблице 2.1 не ясно, учитывался ли в модели СМД коэффициент теплопроводности силиконового эластомера в чистом виде, либо данный коэффициент приведен для люминофорной композиции. Введение люминофора в компаунд может существенно повлиять на его теплопроводность.

2. Не проведено примерной оценки хода лучей через формируемую в колбе лампы линзу из оптически прозрачного теплопроводящего материала. Введение такого оптического элемента, как показано на рис. 3.12, существенно влияет на распределение светового потока в пространстве. Желательно провести анализ КСС в других плоскостях.

3. При анализе тепловых режимов лампы с газом с регулируемой теплопроводностью наблюдается рост минимальной температуры при теплопроводности  $4 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . При этом максимальная температура стабильно уменьшается при росте теплопроводности. Анализу данной факта автор не уделяет внимания.

4. Автор утверждает, что при изменении температуры в диапазоне от  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  не влияет на интенсивность свечения люминофора и не наблюдается температурного тушения. Однако экспериментальных доказательств этому не приведено. На рис.3.17 представлены нормированные спектры при различных температурах, что не позволяет оценить изменение интенсивности. При этом, яркость существенно уменьшается в указанном температурном диапазоне (рис. 3.18). Величина

яркости непосредственно связана с силой света, потоком излучения, и, соответственно, с интенсивностью.

5. В работе встречаются отсылки к статьям, где детально описаны условия и результаты. Например, стр. 77, ссылка на источник [119]. Это осложняет восприятие работы. К этому же замечанию следует отнести отсутствие поясняющих надписей на ряде рисунков (1.12, 3.6, 3.12, 3.13, 3.20), детальная информация перенесена в основной текст диссертации.

Перечисленные замечания не снижают общую высокую оценку работы, носят рекомендательный характер для дальнейшего развития тематики исследования.

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты **прошли необходимую апробацию**, были представлены на всероссийских и международных научных конференциях. Основное содержание работы опубликовано в двух журналах, входящих в список ВАК, в восьми изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science.

**Автореферат соответствует содержанию** и структуре диссертации, адекватно отражает полученные в работе результаты.

Таким образом, совокупность представленных научных результатов позволяет сделать заключение, что диссертационная работа Афонова К.Н. «Тепловой режим источника света на основе GaN/InGaN в светодиодных лампах», является законченной научно-квалификационной работой, выполненной в рамках актуального направления электроники, фотоники и приборостроения. Полученные результаты в должной степени обоснованы, имеют высокую научную и практическую значимость.

**Диссертация соответствует специальности 05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».** Диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п. 9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор,

Афонин Кирилл Нильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

Официальный оппонент – профессор  
отделения материаловедения Инженерной  
школы новых производственных технологий,  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»,  
доктор физико-математических наук  
по специальности 01.04.07 «Физика  
конденсированного состояния»

Полисадова Елена Федоровна  
18.05.2021

Полисадова Елена Федоровна,  
ФГАОУ ВО НИТПУ, ИШНПТ, ОМ  
E-mail: elp@tpu.ru,  
Тел.: 8(3822)606310

Адрес организации: 634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина д. 30

Подпись Полисадовой Елены Федоровны заверяю

И.о. Ученого секретаря ТПУ



Е.А. Кулинич