



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА
ИМЕНИ А.Н. ЛОДЫГИНА

Общество с ограниченной ответственностью

Тел.: (8342) 33-33-86 / (8342) 33-33-73

Сайт: www.vniis.su

Email: mail@vniis.su

Адрес: 430034, Российская Федерация,
Республика Мордовия, г. Саранск,
ул. Лодыгина, д.3, корпус опыт. зав.,
эт/пом 1/17

р/с: 40702810039000001627
в Мордовском отделении №8589
ПАО "Сбербанк" г. Саранск
БИК: 048952615
к/с: 30101810100000000615
ИНН: 1327025478
КПП: 132701001

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Научно-исследовательского
института источников света имени
А.Н. Лодыгина»



Винокуров А.С.

2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Афонина Кирилла Нильевича «Тепловой режим источника света на основе GaN/InGaN в светодиодных лампах», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»

Современные источники света на основе светодиодов пользуются большой популярностью из-за их высокой светоотдачи, длительного срока службы, безопасности для окружающей среды и экономичности. При проектировании светодиодных ламп одной из главных задач является задача обеспечения теплового режима полупроводниковых кристаллов. От температуры кристаллов зависят как светотехнические, так и ресурсные характеристики светодиодного модуля в лампе, например, световой поток и срок службы.

Диссертационная работа Афонина К.Н. посвящена решению задачи обеспечения благоприятного теплового режима светодиодного модуля в лампе общего назначения. Выбранная конструкция лампы типа «filament» содержит светодиодные модули, сконструированные по технологии «chip-on-board» и представляющие собой последовательность кристаллов GaN/InGaN на протяжённой подложке, напоминающей нить. Данная конструкция ламп



Система менеджмента качества
сертифицирована на соответствие стандартам
ISO 9001:2015, ГОСТ РВ 0015-002-2012

пользуется популярностью среди производителей, так как она обладает рядом преимуществ перед конструкцией светодиодных ламп на единичных SMD-светодиодах, что также подтверждает актуальность работы.

Автор тщательно подходит к исследованию. В первой главе диссертации рассмотрены существующие методы моделирования процессов теплопередачи, выбран наиболее подходящий и апробированный в мировом сообществе — метод конечных элементов. Рассмотрены и проанализированы современные подходы к решению задачи обеспечения теплового режима для выбранной конструкции светодиодных ламп, подчёркнуты достоинства и недостатки.

Во второй главе диссертации достаточно подробно описан процесс построения моделей исследуемых светодиодных модулей и ламп на их основе. В результате тепловых расчётов получены тепловые распределения, показывающие недостатки теплового режима существующих конструкций светодиодных модулей и ламп. Для оценки адекватности моделей проведено экспериментальное исследование зависимости температуры светодиодного модуля от прямого тока и напряжения. Экспериментальные данные обработаны по правилам математической статистики, в результате чего подтверждена статистическая значимость полученных зависимостей. В выводах ко второй главе автор исследования подчёркивает результаты моделирования и определяет способы усовершенствования конструкций светодиодного модуля и лампы для улучшения тепловых характеристик.

В третьей главе показано использование предложенной тепловой модели для исследования тепловых свойств конструкции «последовательность GaN/InGaN кристаллов — подложка — заполняющий колбу газ — колба светодиодной лампы». На основании проведённых исследований предложены новые технические решения светодиодного модуля и светодиодной лампы.

Первое техническое решение относится к конструкции светодиодного модуля и отличается расположением полупроводниковых кристаллов на подложке. Предложенная конструкция позволяет увеличить равномерность теплового распределения по длине подложки и снизить максимальную температуру устройства на три градуса Цельсия. Данное решение позволяет снизить вероятность локального перегрева кристаллов. Аналогичные результаты получены для светодиодной лампы на основе усовершенствованных светодиодных модулей.

Второе техническое решение относится к конструкции светодиодной лампы и отличается добавлением в вершину колбы оптически прозрачного теплопроводящего материала, в который погружены светодиодные модули с объёмной конструкцией на глубину, равную видимой металлизированной части модуля. По разработанной модели проведены тепловые расчёты и получена зависимость максимальной температуры устройства от коэффициента теплопроводности материала линзы. Проведены экспериментальные исследования макетных образцов светодиодных ламп, результаты которых показали увеличение светового потока, что подтверждает снижение температуры

кристаллов GaN/InGaN. Также проведены измерения углового распределения силы света, которые показывают, что предложенное техническое решение обеспечивает меньшую неравномерность пространственного распределения силы света.

Третье техническое решение относится к конструкции светодиодной лампы и отличается внедрением в лампу источника свободных электронов, упорядоченное движение которых осуществляет перенос тепла от светодиодных модулей к стенкам колбы лампы. Смоделирована конструкция светодиодной лампы и проведены тепловые расчёты, в результате которых получена зависимость максимальной температуры устройства от коэффициента теплопроводности заполняющего колбу газа. Проведён вычислительный эксперимент на основе молекулярно-кинетической модели газа, подтвердивший работоспособность конструкции. Показано, что дополнительное использование в качестве охлаждающего агента электронов позволяет уменьшить температуру кристаллов GaN/InGaN до 15 % при увеличении теплопроводности газа от 0,15 до 0,25 Вт/(м·К).

Проведены ресурсные испытания светодиодного модуля и ламп. Изготовлены макетные образцы и проведены экспериментальные исследования температурных зависимостей спектра излучения, яркости, вольт-амперных и колориметрических характеристик. Определено численное значение теплового сопротивления «основание светодиодного модуля – среда», значение которого хорошо согласуется с полученным расчётным значением.

В заключении представлено обобщение полученных результатов и указаны перспективы дальнейшей разработки темы.

Научной новизной работы обладают:

- 1) модели светодиодного модуля и светодиодной лампы, позволяющие рассчитывать значения температуры кристаллов, основания, заполняющего колбу газа и поверхности колбы, расположенной в воздушной среде;
- 2) гиперболическая зависимость температуры кристаллов GaN/InGaN светодиодного модуля от теплопроводности материала линзы, дополняющей конструкцию лампы;
- 3) новый способ стабилизации теплового режима светодиодных модулей в лампе с использованием электронного газа.

Достоверность результатов проведённых исследований подтверждается использованием общепринятых методов исследования, апробированных методик моделирования и тепловых расчётов, проведением экспериментальных исследований на современном оборудовании, применением методов математической статистики для обработки экспериментальных данных.

Основные результаты исследований опубликованы в 24 работах, из которых две статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ; восемь статей, индексируемых реферативными базами данных Web of Science и Scopus; 14 материалов докладов на всероссийских и международных

конференциях. Афонин К.Н. является соавтором одного патента на изобретение и пяти патентов на полезные модели.

Положения, выносимые на защиту, полностью отражают научную новизну и практическую значимость диссертационного исследования.

Замечания по диссертационной работе:

1. Автором не приведены статистические данные по отказам светодиодных ламп, отражающие соотношение между выходом из строя светодиодных модулей и устройств питания светодиодной лампы, что дополнительно бы усилило актуальность исследования.

2. На графике углового распределения силы света в подразделе 3.2.3 кривые представлены при нормировании для каждого отдельного случая: лампы с линзой и лампы без линзы, что не позволяет провести сравнение по значениям интенсивности силы света двух представленных вариантов.

3. Полученное экспериментально тепловое сопротивление «СДМ – среда» представлено в виде диапазона значений от 22 до 29 К/Вт. Расчетное значение – 30 К/Вт. Не указаны причины полученного различия между расчетными и экспериментальными данными.

Приведённые замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы.

Диссертационная работа Афонина Кирилла Нильевича «Тепловой режим источника света на основе GaN/InGaN в светодиодных лампах» имеет ясную логическую структуру, содержит рисунки, таблицы и графики, поясняющие суть проведённого исследования. Автореферат диссертации правильно отражает основные результаты исследования, приведен личный вклад автора. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Афонина К.Н. является законченным научным исследованием и соответствует критериям пунктов 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Афонин Кирилл Нильевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

Отзыв обсужден и принят на объединенном научно-техническом семинаре конструкторско-технологического отдела и отдела развития светодиодного освещения.

Директор по научно-техническому развитию научно-исследовательского института имени А.Н. Лодыгина, к.т.н.

 Капитонов С.С.

« 11 » мая 2021 г.

430034, РМ, г. Саранск, ул. Лодыгина, д. 3

ООО «НИИИС имени А.Н. Лодыгина»

Тел.: +7 (8342) 33-33-81

Эл. почта: kapitonov_ss@vniis.su