

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. Первого проректора
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего
образования «Московский

педагогический
государственный университет»
(МПГУ), академик РАО, доктор
географических наук,
профессор Дронов Виктор
Назович



«30» мая 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

- федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский педагогический государственный университет» - на диссертационную работу **Романовой Марии Андреевны** на тему: «Тепловизионный и спектрометрический контроль температурных полей светотехнических устройств на основе полупроводниковых источников света», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.6. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Актуальность темы.

Диссертационная работа М.А. Романовой посвящена важной научно-технической проблеме контроля температурных режимов светотехнических устройств на основе полупроводниковых источников света. Светодиодные технологии характеризуются высокой энергоэффективностью, долговечностью и широким спектром применения, однако для стабильной работы необходим точный тепловой контроль. Перегрев приводит к снижению светового потока, деградации люминофора и уменьшению срока службы устройств.

В работе анализируются современные бесконтактные методы определения температурных полей — тепловизионный и спектрометрический анализ, позволяющие оперативно выявлять локальные зоны перегрева. Актуальность

исследования определяется потребностью в совершенствовании методик мониторинга тепловых процессов, что способствует повышению надежности и долговечности светотехнических систем. Основные световые параметры, включая световой поток, световую отдачу и цветовую температуру, зависят не только от характеристик полупроводников, но и от эффективности теплоотведения и конструктивных особенностей.

Особенно важно контролировать температуру в мощных светодиодных устройствах со сложной топологией контактов, где возможны локальные перегревы. Анализ температурных градиентов позволяет оптимизировать конструкции, улучшить тепловое регулирование и повысить эксплуатационные характеристики. В условиях ограниченной конвекции, вызванной герметичностью корпусов, повышается риск перегрева светодиодных модулей и люминофорного слоя. Непрерывный мониторинг электрических и тепловых характеристик светодиодов, оценка температурных режимов элементов модулей и прогнозирование их долговечности на основе реальных условий эксплуатации обеспечивают своевременную диагностику неисправностей, повышение надежности и снижение эксплуатационных затрат.

Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и трёх приложений. Объем работы составляет 167 страниц, включая 73 рисунка, 12 таблиц и списка литературы из 169 наименований. Содержание работы сводится к разработке и теоретическому обоснованию бесконтактных спектрометрических и тепловизионных методов контроля температурных полей полупроводниковых осветительных устройств, с последующим моделированием и экспериментальной проверкой их эффективности.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, представлены защищаемые положения.

В первом разделе представлен обзор научно-технической литературы, посвященной методам контроля температурных режимов в системах освещения на основе полупроводниковых источников света. Особое внимание уделено различным подходам к измерению и анализу тепловых полей, включая контактные и бесконтактные методы термометрии, а также численные алгоритмы расчета распределения температуры. В главе освещаются ключевые вопросы моделирования тепловых процессов, рассматривается взаимосвязь между электрическими и оптическими параметрами полупроводниковых источников света и их тепловым состоянием. Помимо этого, приводится обзор публикаций, посвященных методам обнаружения тепловых аномалий, что особенно важно для высокомоощных осветительных устройств на основе полупроводниковых источников света.

Второй раздел посвящен описанию технических характеристик исследуемых полупроводниковых источников света, а также методических основ экспериментальных исследований, проводимых в рамках работы. В данной части работы представлены используемые приборы и комплексы измерительного оборудования, в том числе тепловизоры и спектрометры, обеспечивающие получение измерительной информации о температурном состоянии светотехнических устройств на основе полупроводниковых источников света. Приводятся методики проведения экспериментов направлены на исследование температурных полей и их влияние на параметры источников света, включая световой поток, спектральные характеристики и фотолюминесценцию люминофора.

В третьем разделе представлен содержит анализ результатов экспериментальных исследований, в ходе которых изучалось влияние температурного режима на характеристики полупроводниковых источников света. В частности, представлена зависимость светового потока, цветовых и спектральных характеристик от изменений температуры активной области и суммарного теплового баланса всего светотехнического устройства на основе полупроводникового источника света. Приводится анализ измерительных данных, иллюстрирующий влияние различных конструкций на температурный режим и рабочие параметры кристалла полупроводникового источника света. Представлено описание методики комбинированного контроля, основанная на термографии и спектральном анализе, а также обсуждаются результаты оценки погрешностей.

Четвертый раздел целиком посвящен разработке и реализации алгоритма, позволяющего восстанавливать параметры внутренних источников тепла на основе данных тепловизионного контроля и спектрометрических исследований. Описывается математическая модель обратной задачи теплопроводности на основе метода регуляризации, необходимого для получения устойчивого решения. Приводится анализ применения данного алгоритма к реальным светотехническим устройствам на основе полупроводниковых источников света и к отдельным техногенным объектам, требующим бесконтактного мониторинга. Предложенный подход позволяет не только оценивать температуру на поверхности объекта, но и выявлять скрытые внутренние источники тепла, способные привести к перегреву и выходу устройств из строя при недостаточном теплоотводе.

В заключении диссертационной работы сформулированы основные результаты исследования, имеющие теоретическую и практическую значимость.

Научная новизна и практическая значимость исследования.

Научная новизна исследования отражена в трех пунктах и заключается в разработке бесконтактных методов измерения температуры активной области полупроводниковых источников света, анализе их температурного режима с применением термографии и спектрометрии, а также оценке его влияния на эксплуатационные характеристики.

Разработан новый бесконтактный спектральный метод измерения температуры активной области кристаллов полупроводниковых источников света, находящихся в конструкции осветительных устройств, позволяющий проводить бесконтактное измерение температуры активной области полупроводниковых источников света в составе осветительных устройств с погрешностью, не превышающей $\pm 3\text{K}$.

Разработан оригинальный метод исследования теплового режима источников света осветительных устройств путем совместного использования термографии и спектрометрии, отличающийся тем, что данный метод позволяет достоверно воссоздать картину внутренних тепловых полей в светотехническом устройстве.

Впервые предложен алгоритм определения энергетических параметров источников тепла и восстановления модели распределения температуры внутри осветительного устройства по измеренной тепловизионной карте поверхности осветительного устройства.

В диссертационной работе применены теоретические и экспериментальные методы исследования, включающие математическое моделирование, цифровую обработку изображений и методы математической статистики. Основные характеристики объектов определены расчетным путем и проверены путем сравнительного анализа с результатами натурных испытаний. Теоретическая часть исследования основана на изучении и анализе научной, справочной и нормативной литературы.

Достоверность полученных результатов подтверждается соответствием с данными научно-технической литературы, корректной постановкой задач исследования, согласием расчетных и экспериментальных данных, а также корректной организацией экспериментов, обеспечивающей воспроизводимость и надежность полученных результатов.

Основные результаты исследований изложены в 17 работах: 4 статьи в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ, 2 статьи в журналах, проиндексированных в Scopus, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 10 тезисов докладов в трудах международных конференций.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

В исследовании разработаны бесконтактные методы контроля температуры кристалла, применимые в производстве и эксплуатации полупроводниковых источников света и светотехнических устройств на их основе. Созданный алгоритм автоматически определяет параметры тепловых источников и восстанавливает температурное распределение по тепловизионным картам. Это позволяет не только моделировать температурное поле объекта, но и выявлять неисправные элементы и скрытые зоны перегрева, что повышает надежность и эффективность светодиодных систем. Разработанные методы способствуют улучшению контроля тепловых процессов в светотехнических устройствах на основе полупроводниковых источников света.

Практическая ценность результатов работы подтверждена актами внедрения результатов.

Замечания к диссертационной работе:

1. Недостаточно подробно проведен анализ возможных погрешностей при измерении температурных полей с помощью тепловизора. Следовало рассмотреть какие факторы оказывают наибольшее влияние на точность полученных данных.
2. В работе рассмотрена температурная зависимость цветовой температуры и светового потока, однако недостаточно подробно описано как учитывались свойства люминофора при различных спектральных компонентах излучения. Следовало уточнить, насколько корректируется вклад красно-жёлтой (люминофорной) и синей (кристалл) составляющих, и как это влияет на итоговую оценку цветовой температуры и падение светового потока при повышении температуры.
3. В главе 3 приводятся рисунки расчетов и эксперимента различных температурных зависимостей. На всех графиках точки определены без погрешностей, определение которых может значительно повлиять на интерпретацию результатов.
4. П.3.2 посвящен определению температуры кристалла полупроводникового источника света по изменению полуширины спектра его излучения. Однако мотивация выбора такого метода не приводится, как не приводится объяснение, как полуширина «двухгорбого» спектра излучения была рассчитана – какой функцией (или суммой каких функций) была проведена аппроксимация для поиска полуширины. Также в тексте описывается, что нагрев происходил до $+100^{\circ}\text{C}$ с шагом 10 градусов (стр. 81), а на рисунке приведены только 4 спектра и те измерены при температурах 30, 100, 140 и 150 градусов.
5. На рисунках 3.17 и 3.18 приведены тепловизионные карты поверхности модуля устройства в интервале двухчасового нагрева. Приведена цветовая

шкала, по которой можно провести оценку, однако у шкалы отсутствуют значения. Без численной нормировки крайне сложно проводить количественную оценку результата.

6. Имеются замечания к оформлению текстово-графического материала. Встречаются рисунки с нечитаемыми надписями и низкого разрешения фотографический материал (рисунки 2.13, 3.1, 3.17, 3.21, 4.3). На рисунке 3.3 опечатка в подписи оси ординат, на рис.3.4. перепутана зависимость – должно быть – как меняется длина волны от температуры, а не наоборот.

Заключение.

Диссертационное исследование Романовой Марии Андреевны содержит ряд новых результатов и научных достижений. Результаты, представленные в диссертации, представляют решение актуальной задачи по разработке бесконтактных методов контроля температурных режимов полупроводниковых источников света, включая измерение температуры их активной области, анализ теплового состояния с использованием термографии и спектрометрии, оценку влияния тепловых процессов на эксплуатационные характеристики светотехнических устройств. Диссертационная работа была представлена на различных отечественных и зарубежных конференциях, ее результаты полностью отражены в 4 работах в журналах из перечня ВАК и 1 свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ. Автореферат в полной мере соответствует основным положениям диссертации.

Диссертация Романовой Марии Андреевны «Тепловизионный и спектрометрический контроль температурных полей светотехнических устройств на основе полупроводниковых источников света по своему содержанию и оформлению отвечает паспорту специальности 2.2.6 - Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Диссертационная работа удовлетворяет также требованиям п.п. 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (ред. от 16.10.2024), а её автор Романова Мария Андреевна, заслуживает присуждение ей ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.6 - Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Отзыв подготовлен Наумовым Андреем Витальевичем, доктором физико-математических наук, членом-корреспондентом РАН, профессором РАН заведующим кафедрой теоретической физики им. Э.В.Шпольского МПГУ и Магаряном Константином Арутюновичем, кандидатом физико-математических наук, директором Учебно-научного центра спектроскопии сложных органических соединений МПГУ.

Диссертация и отзыв обсуждены на заседании кафедры теоретической физики им. Э.В. Шпольского, Института физики, технологии и информационных систем, федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский педагогический государственный университет» 30 апреля 2025 г. Протокол №7.

Доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор РАН, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет», Институт физики, технологии и информационных систем, кафедра теоретической физики им. Э.В.Шпольского, заведующий кафедрой



Наумов
Андрей
Витальевич

Контактная информация:

Полное наименование организации в соответствии с Уставом: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский педагогический государственный университет»

Сокращенное наименование организации в соответствии с Уставом: ФГБОУ ВО «МПГУ», МПГУ, Московский педагогический государственный университет.

Почтовый адрес: 119991, Малая Пироговская ул., д. 1, стр.1

Телефон: (499) 246-11-02

Адрес электронной почты: mail@mpgu.su

Адрес электронной почты кафедры теоретической физики им. Э.В.Шпольского tf@mpgu.edu

Адрес официального сайта сети Интернет: <http://mpgu.su/>

С основными трудами сотрудников кафедры теоретической физики им. Э.В.Шпольского Института физики, технологии и информационных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский педагогический государственный университет» можно ознакомиться на сайте в сети Интернет: [https:// elibrary.ru](https://elibrary.ru).

