

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Романовой Марии Андреевны «Тепловизионный и спектрометрический контроль температурных полей светотехнических устройств на основе полупроводниковых источников света», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.2.6. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

Актуальность темы исследования

Исследования температуры р-п-перехода начались с работ У. Шокли и продолжают играть ключевую роль в полупроводниковой электронике, так как от температуры зависят ключевые параметры диодов, транзисторов и других устройств. Понимание температурных эффектов в р-п-переходе светодиодов (СИД) критически важно для обеспечения их внутренней квантовой эффективности, надёжности и срока службы. Поскольку СИД преобразуют электрическую энергию в световую с выделением тепла, температурные эффекты существенно влияют на их характеристики.

В настоящее время сформировался набор основных методов, включающий инфракрасную термографию, рамановскую спектроскопию и люминесцентную термометрию. Теоретические исследования тепловых полей в р-п-переходе выполняются с использованием трёхмерного моделирования методом конечных элементов (программные комплексы компьютерного инжиниринга, например, COMSOL Multiphysics и Ansys) и эквивалентных тепловых схем по аналогии с электрическими RC-цепями.

Несмотря на значительную историю развития подобного рода исследований разработка новых технологий изучения температурных полей с учетом разработки новых полупроводниковых материалов и устройств остается актуальной темой исследований. Особое значение приобретает актуальность исследований одновременного влияния температуры р-п-перехода и люминофора в СИД, что критически важно для понимания механизмов деградации, сохранения цветовых характеристик и повышения световой эффективности белых светодиодов.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа Романовой М.А. состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, включающего 169 наименований. В состав диссертации также входят приложения с актами внедрения результатов и свидетельством о государственной регистрации разработанной программы для ЭВМ. Объём диссертации с приложениями составляет 167 страниц, включая 73 рисунка, 12 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, рассмотрена степень разработанности темы, сформулированы цели и задачи исследования, указаны новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, определены использованные методы исследования, сформулированы защищаемые положения, обоснована достоверность полученных результатов, приведена информация об апробации результатов работы, сформулирован личный вклад.

В первом разделе представлен аналитический обзор современной научно-технической литературы по методам контроля и расчета температурных полей полупроводниковых источников света и осветительных устройств на их основе. Показано, что традиционные бесконтактные методы, основанные на инфракрасной термометрии, не позволяют корректно учесть отражающие и полупрозрачные поверхности, а также существуют проблемы восстановлении температурного поля внутри структуры только по поверхностным данным. Это определяет актуальными задачами разработку алгоритма определения параметров источников тепла и восстановления картины распределения температуры внутри осветительного устройства.

Второй раздел содержит подробное описание исследуемых в работе полупроводниковых источников света (КИПД-154, ЛПМ 26, светодиодного модуля STDL28-LX5050) с указанием их основных технических параметров. Описан разработанный оптико-электронный комплекс для бесконтактных исследований температуры источников света. Модульная конструкция прибора позволяет на его основе создавать измерительные системы под различные экспериментальные требования.

В третьем разделе приводятся результаты экспериментальных исследований влияния теплового режима при работе светотехнических устройств на характеристики компонент полупроводниковых источников света. Установлена взаимосвязь температуры активной области полупроводникового кристалла и полуширины спектра его излучения, что позволяет использовать значение полуширины спектра в качестве термочувствительного показателя. В ходе исследований установлено, что люминофорное покрытие имеет температуру на 10–15°C выше температуры кристалла. Определение температуры p-n – перехода бесконтактным методом по полуширине спектра кристалла и полуширине спектра излучения люминофора имеет достаточную точность для оценки корректности теплового режим работы. Для оценки теплового режим работы полупроводниковых источников света в составе осветительных устройств (лампы и модули) требуется разработка методов оценки температурных полей на поверхности осветительного устройства.

Четвертый раздел посвящен разработке алгоритмов восстановления параметров источников теплового излучения объекта на основе его тепловой

модели и значений температурных полей. Входное изображение преобразуется в индексированное изображение, где цвет каждого пикселя соответствует температуре на поверхности светодиодного модуля, что формирует температурную карту поверхности. Осуществляется уменьшение исследуемой области поверхности СИД, где значение температуры больше задаваемого температурного порога. Внутри сокращенной области исследования генерируется гипотеза о наличии источников тепла и производится решение обратной задачи, что формирует вторая температурная карта. Далее решается оптимизационная задача по минимизации разности значений поверхностных температур. Показана возможность применения разработанного алгоритма для анализа тепловых аномалий в экологических системах.

В заключении диссертационной работы приведены основные полученные результаты.

В приложениях представлены акты о внедрении результатов и свидетельство о регистрации программного продукта.

Аннотация Романовой М.А. занимает 19 страниц текста. Содержание аннотации соответствует содержанию диссертации, её основным результатам и выводам

Научная новизна диссертационного исследования

К основным научным результатам, полученным в диссертационном исследовании, следует отнести:

1. разработан оригинальный бесконтактный спектральный метод измерения температуры активной области кристаллов полупроводниковых источников света, основанный на анализе полуширины спектра излучения. Погрешность метода не превышает ± 3 К, что подтверждает его точность;
2. предложен комбинированный подход, основанный на сочетании термография и спектрометрии, для реконструкции внутренних температурных полей, что расширяет возможности диагностики;
3. создан алгоритм восстановления параметров источников тепла по тепловизионным данным, применимый не только для светотехники, но и для экологического мониторинга (например, выявления утечек в трубопроводах)

Практическая значимость полученных автором результатов

Практическая значимость диссертационной работы заключается в:

1. разработке бесконтактных методов температурного контроля кристалла, применимые в производстве и эксплуатации полупроводниковых источников света, а также светотехнических устройств на их основе.
2. создании алгоритма определения параметров тепловых источников и восстановления температурного распределения на основе тепловизионных

карт позволяет выявлять неисправные элементы и скрытые зоны тепловыделения наблюдаемого объекта.

3. методах, которые могут быть использованы в смежных областях, например, мониторинге техногенных объектов с помощью БПЛА.

Достоверность основных выводов и результатов

Результаты диссертации использованы при решении практических задач в проектах ООО «Трион» и НИР «ИАТ БАТС-2023» (имеются акты о внедрении), подтверждая достоверность и востребованность разработок.

Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа посвящена разработке, совершенствованию и исследованию характеристик оптического и оптико-электронного оборудования для научных исследований в различных областях науки и техники, что соответствует паспорту специальности 2.2.6 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Замечания

1. Диссертация написана в формате учебника или монографии без специального выделения ключевых пунктов работы по положению ВАК РФ: актуальность, новизна, обоснованность и достоверность, что затрудняет оценку работы как диссертации.

2. Описание алгоритма решения обратной задачи недостаточно полное. С учетом погрешностей измерения и приближенного характера модели эта задача будет некорректной. В чем суть использованной регуляризации решения? Указывается на решение оптимизационной задачи, но не очень ясно число независимых параметров оптимизации. Известен почти закон: если в задаче меньше 3 переменных, это не задача, больше – она неразрешима. Удалось это обойти, как?

3. В работе указаны недостатки алгоритма (например, отсутствие фильтрации шумов на тепловизионных изображениях). Целесообразно кратко обозначить пути их устранения в дальнейших исследованиях.

4. Для полноты картины стоит уточнить, как учитывалась неоднородность люминофорного покрытия при спектральных измерениях.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Романовой М.А.

Оценка публикационной активности

Автор имеет солидный список публикаций (19 работ, включая статьи в журналах ВАК и Scopus, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ), что свидетельствует о признании научного вклада.

Заключение

Диссертация выполнена на высоком научном уровне и является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые положения и результаты, совокупность которых можно квалифицировать как новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки в области оптико-электронных приборов контроля температурных полей светотехнических устройств на основе полупроводниковых источников света и открывают перспективы для применения в смежных дисциплинах. Результаты диссертации обладают новизной, научной и практической значимостью.

Диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г. №842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Романова Мария Андреевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.6 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Я, Будаков Владимир Павлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Профессор Национального
исследовательского Университета «МЭИ»,
профессор кафедры,
д.т.н. по специальности 05.11.07 –
«Оптические и оптико-электронные
приборы и комплексы



Будаков Владимир Павлович

19.05.2025

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Адрес организации: г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1

Официальный сайт организации: <https://mpei.ru>

Адрес электронной почты: budakov@mpei.ru

Рабочий телефон: +7 (495) 362-7067

Подпись Будакова Владимира Павловича удостоверяю



Заместитель начальника
отдела по работе с персоналом
И.И. Полевая