

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

Бурное развитие энергосберегающих светотехнических систем на основе полупроводниковых источников света сопровождается ужесточением требований к стабильности светотехнических параметров, надёжности устройств и их ресурсу. Ключевые светотехнические параметры (световой поток, цветовая температура, световая отдача) критически зависят от теплового режима активной области светодиода. В реальных условиях эксплуатации перегрев р–n-перехода всего на 15 – 20 °С приводит к существенному снижению светового потока, смещению цветовой температуры и преждевременным отказам осветительных устройств, что критично для промышленных объектов, транспорта и городской инфраструктуры. Таким образом, задача непрерывного мониторинга теплового состояния светотехнических устройств становится одной из ключевых для обеспечения устойчивой и экономически эффективной работы.

Диссертационная работа М.А. Романовой посвящена важной научно-технической проблеме контроля температурных режимов светотехнических устройств на основе полупроводниковых источников света. Светодиодные технологии отличаются высокой энергоэффективностью, долговечностью и широким спектром применения, однако их стабильная работа напрямую зависит от точного теплового контроля р–n-перехода и люминофора. Создание бесконтактных методов теплового контроля, основанных на комплексном спектрально-термографическом подходе, позволит своевременно выявлять термические аномалии и строить прогностические модели деградации световых параметров, что обеспечит корректировку рабочих температур кристалла и люминофора и повысит надёжность светодиодных модулей.

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 обосновывается актуальность выбранной тематики, определяются цели и задачи исследования, раскрывается научная новизна и практическая значимость работы.

В первом разделе содержится обзор научно-технической литературы по теме исследования, охватывающий исторические аспекты развития светодиодов, конструкции кристаллов и основные методы получения белого света. Указано, что надёжность таких устройств напрямую определяется поддержанием оптимальной температуры в активной области гетероструктуры. Однако усиление теплоотвода часто приводит к росту массы и габаритов. Несмотря на существующие методы (инфракрасная термография, рамановская спектроскопия, люминесцентная термометрия) и развитые инструменты трёхмерного моделирования – в светотехнических устройствах остается практически невозможно однозначно определить температуру активной области кристаллов и люминофора полупроводниковых источников света, находящихся в конструкции осветительных устройств. Эти выводы определили цель исследования разработку бесконтактных методов, способных по термограммам и спектральным данным определять параметры внутренних источников тепла и реконструировать температурное поле внутри корпуса светодиодного модуля, а также сформировали комплекс задач, необходимых для её достижения.

Второй раздел содержит методическую основу для разработки бесконтактных методов определения температур p - n -перехода и люминофора, построения калибровочных зависимостей и достоверных трёхмерных моделей тепловых полей полупроводниковых источников света, находящихся в конструкции осветительных устройств.

Третий раздел объединяет результаты экспериментального изучения теплового режима светодиодных ламп и модулей и демонстрирует влияние на характеристики их составляющих. Установлено, что полуширина спектра и сдвиг его максимума линейно коррелируют с температурой p - n -перехода, а люминофор последовательно оказывается «горячее» кристалла на 10–15 °С. Опираясь на эту зависимость, разработан бесконтактный спектральный метод, обеспечивающий оперативную оценку температуры активной области; его точность подтверждена испытаниями лампы ЛПМ-26 и светодиодного модуля STDЛ28-LX5050. Дополнительно выполнено численное моделирование тепловых процессов в светодиодном модуле средствами программного обеспечения COMSOL Multiphysics и проведены контактные измерения, которые выявили значимые температурные градиенты. В результате предлагается комплексный подход, сочетающий

спектрометрию и термографию для одновременного мониторинга внутренних и поверхностных температурных полей.

Четвертый раздел посвящен разработке алгоритма решения обратной задачи теплопроводности на основе тепловизионного снимка и его геометрической модели. Алгоритм формирует гипотезу о количестве и расположении внутренних источников тепла, затем уточняет координаты и мощности внутренних источников. Показана возможность применения разработанного алгоритма для анализа тепловых аномалий в экологических системах. Проверка работоспособности алгоритма на светодиодном модуле STDL28-LX5050 показала среднюю погрешность $\sim 1^\circ\text{C}$ при незначительных вычислительных затратах. Показана возможность применения разработанного алгоритма для анализа тепловых аномалий в экологических системах.

В заключении диссертационной работы приведены основные результаты работы, соответствующие цели и задачам диссертационного исследования.

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

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

Научная новизна диссертационного исследования

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

- 1) разработан новый бесконтактный спектральный метод измерения температуры активной области кристаллов полупроводниковых источников света, находящихся в конструкции осветительных устройств;
- 2) разработан оригинальный метод исследования теплового режима источников света осветительных устройств, основанный на сочетании термографии и спектрометрии, для реконструкции внутренних температурных полей;
- 3) предложен алгоритм восстановления параметров источников тепла по тепловизионным данным технических объектов с внутренними источниками тепла.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность научных результатов подтверждается согласованностью с теоретическими и экспериментальными данными, опубликованными в

научно-технической литературе. Обоснованность результатов обеспечивается организацией опытно-экспериментальной работы с применением методов исследования фотометрических, колориметрических и температурных параметров, соответствующих предмету, целям и задачам исследования, а также подтверждается устойчивой повторяемостью.

Практическая значимость полученных автором результатов

Результаты диссертации использованы при решении практических задач в проектах «Разработка методического и нормативного обеспечения создания и внедрения перспективных технологий интеллектуальной автоматизации управления функционированием беспилотных авиатранспортных систем в обеспечении приемлемого уровня безопасности полетов» («ИАТ БАТС - 2023»); «Теоретические исследования и экспериментальная разработка оптической приставки для анализа параметров компонентов высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи аналогового и цифрового сигналов» (FEWM-2024-0004), подтверждая востребованность и внедрение разработок.

Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа посвящена разработке бесконтактных спектральных и тепловизионных методов контроля температуры полупроводниковых светотехнических устройств, а также оценке температурных полей по объёму и поверхности отдельных конструктивных элементов, что соответствует пункту 12 паспорта специальности 2.2.6 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Замечания

1. Неочевиден выбор КИПД-154, ЛПМ-26, TRN-STD-LX5050-1402, не дано объяснение, чем данные полупроводниковые источники света репрезентативны для других типов устройств.
2. В изложении экспериментальных результатов посвященных калибровке спектрального метода присутствует некоторая неоднозначность. При описании рис. 3.2 говорится о смещении пиков излучения в длинноволновую область при возрастании тока и одновременном росте температуры кристалла. Таким образом, два фактора – увеличение прямого тока и повышение температуры – рассматриваются вместе, хотя влияют на спектр по-разному. Это может запутать читателя: не очевидно, какой именно

эффект демонстрируется на рис. 3.2 – собственно температурный сдвиг спектра или комбинация термического и токового воздействия?

3. В подразделе 3.2 для построения калибровочных кривых использованы только два кристалла (ОАО «НИИПП» и SemiLed) при этом отсутствует статистическая обработка (количество экспериментов, СКО) и проверка воспроизводимости.

4. Качество рисунков, на которых приведены результаты экспериментальных исследований, в частности спектральных измерений полупроводниковых источников света, очень низкое. Например, рисунок 3.1, где сложно разобрать подписи к осям. Отсутствует единообразие в представлении графических результатов.

5. В работе практически не уделено внимания оценке погрешностей и точности результатов. Например, при описании спектрометрического метода не указано, с какой точностью определяется положение пика или полуширина (есть лишь упоминание разрешения прибора 0,04 нм, но не переведено это в погрешность по температуре).

6. В некоторых заимствованных рисунках отсутствуют ссылки на источники литературы. Например, рисунки 1.2, 1.1, 1.3 и т.д.

7. Текст диссертации содержит технические неточности в обозначениях и формулировках, стилистические ошибки и опечатки. Например, на стр. 75 п. 2.4 раздел Выводы начинается с ...методов и подходов, так и экспериментальных....

Оценка публикационной активности

Основные положения диссертационного исследования изложены в достаточном количестве публикаций, среди которых 4 опубликованы в научных изданиях из перечня ВАК, 2 статьи в журналах, проиндексированных в научной БД Scopus; получено 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Заключение

Диссертационная работа Романовой М.А. является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые положения и результаты. Указанные выше замечания не влияют на общую оценку работы. Практические результаты, полученные при проведении диссертационного исследования, и полнота их освещения в научных публикациях автора позволяют считать, что диссертация Романовой Марии Андреевны «Тепловизионный и спектрометрический контроль температурных полей светотехнических устройств на основе

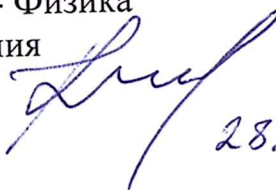
полупроводниковых источников света» обладает новизной, научной и практической значимостью.

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, Валиев Дамир Талгатович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Доцент отделения материаловедения
Инженерной школы новых
производственных технологий,
кандидат физико-математических наук
по специальности 01.04.07 - Физика
конденсированного состояния



Валиев Дамир Талгатович

28.05.2025.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Адрес организации: 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30

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

Адрес электронной почты: rubinfo@tpu.ru

Рабочий телефон: +7 (3822) 701777, вн.т. 5757

Подпись Валиева Дамира Талгатовича удостоверяю

И.о. ученого секретаря ученого совета
Томского политехнического университета



Новикова В. Д.