

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Старосека Данила Геннадьевича

«Стабилизация теплового и электрического режимов в нитевидных модулях светоизлучающих GaN/InGaN диодов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника»

На отзыв представлены: автореферат 21 стр. и диссертация на 117 страницах, состоящая из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 122 наименований и 7 приложений на 7 страницах. Из анализа предоставленных материалов установлено следующее:

Актуальность диссертационной работы

Одной из стратегических задач разработки и производства современных надежных, долговечных и эффективных полупроводниковых светоизлучающих приборов является обеспечение оптимального температурного режима при номинальных электрических режимах и максимальной световой эффективности. Такое требование особо актуально для изделий массового производства и потребления, к которым относятся источники света бытового назначения. Филаментные светодиодные лампы, созданные для прямой замены ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп, сформировали устойчивую нишу источников света массового потребления для быта. Последнее обстоятельство определило актуальность разработки конструктивных и технологических решений, направленных на достижение оптимального температурного режима полупроводникового модуля филаментной лампы с целью обеспечения надежности и долговечности при высокой световой отдаче бытового источника света массового потребления. В этой связи диссертационная работа Старосека Д.Г. является **своевременной и актуальной**.

Объем и структура диссертации

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, содержит 117 машинописных страниц, включая 53 рисунка, 8 таблиц и семь приложений. Библиография состоит из 122 наименований, из которых 11 работ принадлежат автору.

Анализ содержания диссертации

Введение. Во введении автор формулирует цели и задачи работы и обосновывает актуальность темы, научную новизну, достоверность и практическое значение полученных результатов, приводит описание методов исследования и основные

положения, выносимые на защиту.

Глава 1. В первой главе (литературный обзор) кратко рассмотрены источники света, реализующие различные механизмы генерации оптического излучения, приводится сравнение их эффективности, светотехнических и эксплуатационных характеристик. Отмечается превосходство светодиодов над всеми традиционными источниками света и безальтернативность светодиодных световых приборов для целей общего освещения.

Далее автор описывает принцип действия и типовую конструкцию светоизлучающего диода. Проводит оценку динамики развития мирового рынка светодиодов, выделяя основные индикаторы, определяющие ценовую политику производителя и технологические этапы развития светодиодных ламп для бытового применения.

Рассмотрены вопросы влияния температуры на рекомбинационный процесс генерации излучения и спектральные характеристики свечения светодиода. Акцентируется внимание на необходимость стабилизации теплового поля филаментного элемента для достижения надежности и стабильности характеристик.

Далее автор в рамках главы «Литературный обзор» делает обзор методов исследования и расчета тепловых режимов светодиодов, преимущественно для дискретных корпусированных светодиодов. Довольно странное решение автора разместить этот раздел в «Литературном обзоре», поскольку обзор методов исследования и расчета является самостоятельным и важным разделом, подготовительным и предшествующим непосредственно разделу экспериментальных исследований. Такой обзор целесообразен для формирования методической базы выполнения исследований линейного светодиодного элемента, для формирования физических моделей явлений, расчетных технологий и программных продуктов для выполнения работы.

На основании литературного обзора сформулирована теоретическая модель исследований и способ выравнивания теплового поля филаментного модуля.

Глава 2 посвящена описанию конструкции филаментной лампы и филаментного светодиодного нитевидного модуля (ФСНМ) и его конструктивных элементов. Предложена тепловая модель для решения задачи оптимизации теплового режима объекта и сделано предположение о том, что причиной неравномерности теплового поля вдоль оси основания светодиодной нити является функция локализации светодиодных кристаллов на подложке. Для оптимизации функции локализации выбран метод дихотомии и разработан алгоритм действия для локализации светодиодных кристаллов на подложке с

минимальным градиентом продольной температуры. Предложенный алгоритмический образ на базе вычислительного факторного эксперимента позволяет обеспечить равномерный температурный профиль вдоль светодиодного нитевидного модуля.

В моделировании тепловых режимов автор использовал вычислительные методы и компьютерное моделирование, что позволило минимизировать экономические и временные затраты.

Глава 3. В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований тепловых режимов филаментных светодиодных модулей. Основной удельный вес исследований приходится на методы компьютерного моделирования исходя из предположения о достоверности и идентичности теоретической и физической моделей теплообмена.

Теоретические расчеты и исследования были выборочно проверены и подтверждены на экспериментальных образцах филаментных ламп.

По результатам экспериментальных исследований автором сделан ряд практических выводов, направленных на оптимизацию теплового режима филаментных светодиодных модулей.

По результатам исследования влияния рода наполняющего колбу газа автором сделан вывод о целесообразности наполнения филаментных ламп гелием.

По результатам исследования зависимости температурного режима от рода и толщины материала основания автор предлагает использовать материал с большей теплопроводностью, в частности, алюминий.

По результатам исследования зависимости температурного режима от толщины основания модуля сделан вывод о целесообразности увеличения толщины материала основания с целью снижения температуры филаментного линейного модуля. Одновременно автор получил отрицательный результат относительно влияния большей теплоотсеивающей поверхности на температуру модуля, что объяснил уменьшением объема материала подложки.

По результатам исследования влияния термокомпенсации на температурный режим модуля, обусловленной неравномерностью распределения светодиодных кристаллов по длине подложки, показан положительный эффект при увеличении неравномерности.

Ссылаясь на высокую временную разрешающую способность тепловизора автор наблюдал мгновенные пульсации температур относительно постоянной составляющей. Это обстоятельство вызывает возражение, т.к. тепловые процессы относятся к наиболее инерционным и наблюдать пульсации в частотном режиме представляется

неправдоподобным. При этом автор с удовлетворением отмечает согласие с математической моделью. Аппроксимация температурных профилей более наглядно подтверждает позицию автора относительно метода выравнивания температурного поля линейного модуля при неравномерном распределении светодиодных кристаллов на подложке.

Исследования влияния температуры модуля на его электрические и излучательные характеристики в целом согласуются с общепринятыми представлениями. Однако есть и противоречия в приведенных экспериментальных данных. При смещении доминирующей длины волны свечения кристалла в длинноволновую область, автор получил смещение цветовой температуры в область более холодных температур, несмотря на ожидаемый противоположный эффект. Автор не объясняет наблюдаемый эффект.

Научная новизна и достоверность полученных результатов.

Научная новизна работы состоит:

1. в применении понятия функции локализации кристаллов на подложке с целью минимизации среднеквадратического отклонения рабочих температур.
2. в использовании метода дихотомии для автоматизации размещения кристаллов светодиодов в соответствии с целевой функцией локализации.
3. в разработанном и реализованном комплексном методе повышения температурной стабильности светоизлучающего прибора на основе филаментных светодиодных нитевидных модулей.
4. в разработанной конструкции филаментного светодиодного источника света с улучшенным температурным режимом.

Достоверность полученных результатов подтверждается теоретическими расчетами и согласованностью этих расчетов с экспериментальными данными, полученными на реальных образцах изделий.

Обоснованность положений, выносимых на защиту, и выводов по работе.

Положения, выносимые на защиту, не вызывают возражений, имеют научную новизну, теоретически обоснованы в тексте диссертации и экспериментально доказаны. Выводы по каждой главе соответствуют ее содержанию, а общие выводы по работе соответствуют содержанию диссертации, базируются на экспериментальном материале и не противоречат имеющимся литературным данным.

Практическая значимость работы.

1. Разработаны конструктивно-технологические рекомендации для изготовления филаментных светодиодных источников света с конвекционным газовым охлаждением, применительно к производственным особенностям промышленного партнёра – общества с ограниченной ответственностью «Руслед».

2. Результаты научных исследований внедрены в учебный процесс в части реализации магистерской программы 27.04.04 «Управление в технических системах».

3. Создан макет филаментного светодиодного нитевидного модуля, максимальная температура поверхности которого составляет 110 °С в гелиевой атмосфере при величине прямого тока 10 мА.

4. Практическая значимость подтверждается выполнением этапов прикладных научных исследований и экспериментальных разработок «Разработка энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределением, адаптированной к традиционной технологии массового производства ламп накаливания». Соглашение № 14.577.21.0061 от 5 июня 2014 г. и «Разработка прототипов передовых технологических решений роботизированного интеллектуального производства электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств». Соглашение № 14.577.21.0266 от 26 сентября 2017 г.

Материалы диссертации опубликованы в 6 статьях в журналах входящих в перечень ВАК РФ и индексируемых базами *Web of Science*, *SCOPUS*, получены 2 патента на полезную модель, результаты работы доложены на 7-ми Международных и Всероссийских конференциях. Основные результаты работы достаточно полно освещены в научно-технической открытой печати. Содержание автореферата соответствует основному содержанию диссертационной работы. Оформление диссертации и автореферата соответствует установленным требованиям. Работа логично изложена и аккуратно оформлена.

Замечания по диссертационной работе

1. В аналитическом обзоре мало внимания уделено филаментным лампам. Прошло более 8 лет после создания первых филаментных ламп и более 5-ти лет их производства в Томске. У томского производителя (ООО «Руслед»), партнера университета имеется практический опыт производства и испытаний этих ламп, результаты которых автору было бы полезно использовать и обобщить. Основное внимание в литературном обзоре посвящено дискретным традиционным светодиодам.

2. По результатам исследования зависимости температурного режима от площади теплорассеивающей поверхности основания модуля автор получил отрицательный результат, т.е. с увеличением теплорассеивающей поверхности основания температура модуля возрастала (вывод 2). Этот факт автор объяснил изменением объема подложки модуля. Причиной же этому является некорректность теоретической и физической моделей теплообмена модуля с окружающей газовой средой. Автор не учел тот факт, что в среде легкого инертного газа толщина застойного слоя (слой Ленгмюра) кратно превышает зазоры в 1мм между пластинами подложки, в результате вокруг филаментного модуля формируется теплоизолирующий цилиндр, нивелирующий эффект увеличения площади теплосъема ребрами подложки. Теплопередача в такой системе путем естественной конвекции осуществляется с поверхности цилиндра, образованного застойным слоем и роль пластин для теплоотвода исключается из процесса. С другой стороны, нарезка ребер на подложке резко уменьшила толщину основания и соответственно увеличила его тепловое сопротивление, что явилось дополнительным фактором повышения температуры подложки.

3. По результатам исследования влияния термокомпенсации на температурный режим модуля на трех образцах, из которых два идентичны, третий отличается по токовому режиму и коэффициенту локализации, автор не объясняет причину различия между температурными профилями первого и второго образцов при их идентичности (рис. 3.22).

4. Ссылаясь на высокую временную разрешающую способность тепловизора, автор якобы наблюдал мгновенные пульсации температур относительно постоянной составляющей (вывод 3). При этом с удовлетворением отмечает согласие с математической моделью. Известно, что тепловые процессы с физической точки зрения, пожалуй, самые инерционные и говорить о фиксации мгновенных значений при пульсации температуры в частотном режиме сомнительно. Совершенно не понятна причина возникновения пульсаций. Представляется, что это либо методическая или приборная ошибка, либо автор неправильно выбрал терминологию при описании наблюдаемых величин. Возможно, автор имел в виду не пульсации (частотный процесс), а изменения установившихся локальных температур по длине модуля в зависимости от локализации светодиодных кристаллов.

5. По результатам исследования влияния рода газа на температуру модуля автором сделан вывод о целесообразности наполнения филаментных ламп гелием. Однако автор не связал свои выводы с практикой уже существующего массового производства таких ламп. Наверное, если бы автор обобщил результаты и сделал вывод о применении газов с малым

атомарным весом и, соответственно, большей теплопроводностью, подтвердив несложными расчетами, вывод прозвучал бы с большим научным акцентом.

6. Исследования влияния температуры модуля на его электрические и излучательные характеристики в целом согласуются с общепринятыми представлениями. Однако есть и противоречия в приведенных экспериментальных данных. При повышении температуры кристаллов автор наблюдал смещение доминирующей длины волны свечения кристалла в длинноволновую область, но по непонятным причинам получил смещение цветовой температуры в область более холодных температур, несмотря на ожидаемый противоположный эффект (рис.3.25,б и рис. 3.26,а). Автор не объясняет наблюдаемый эффект.

7. В тексте диссертации имеются опiski, отступления от принятой профессиональной терминологии и обозначений, стилистические погрешности, орфографические ошибки, например, слитное написание «за счет», «обуславливает» через «а» и др.

Выше приведенные замечания не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертации. Поставленная цель достигнута, а задачи исследования - выполнены. В работе представлен большой объем экспериментальных и теоретических данных, грамотная интерпретация которых подтверждает обоснованность выводов и свидетельствует о достаточно высоком научном уровне представленной к защите работы.

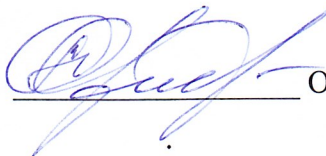
Заключение.

Диссертационная работа Старосека Д.Г. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области разработки и производства полупроводниковых источников света.

Работа соответствует п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» РФ, п.2 паспорта специальности 01.04.04 - «Физическая электроника» и требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам, на основании чего считаю, что Старосек Д.Г. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 - «Физическая электроника».

Официальный оппонент

Профессор кафедры «Архитектурное проектирование»
ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-
строительный университет» (ФГБОУ ВО «ТГАСУ»),
доктор технических наук, профессор

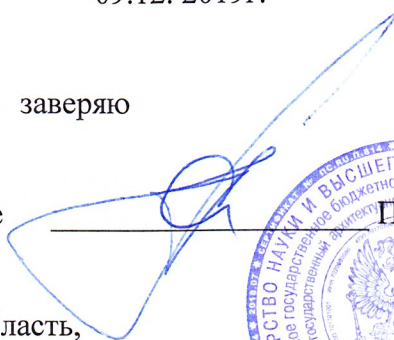


Овчаров Александр Тимофеевич

09.12. 2019г.

Подпись д.т.н. А.Т. Овчарова заверяю

Проректор по научной работе



П.А. Елугачев

634003 г. Томск, Томская область,
пл. Соляная, 2, ФГБОУ ВО «ТГАСУ»,
тел. (3822) 653850, +7(903)952-6430
e-mail: oat_08@mail.ru



Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»)