



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «ТУСУР»

В.М. Рулевский
В.М. Рулевский

01
_____ 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

Диссертация «Тепловой режим источника света на основе GaN/InGaN в светодиодных лампах» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

В период подготовки диссертации соискатель Афонин Кирилл Нильевич работал на кафедре Радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга ТУСУРа инженером.

В 2017 году окончил обучение в магистратуре ТУСУР по направлению «Управление в технических системах». С 2017 по 2020 год обучался в аспирантуре ТУСУРа.

Научный руководитель – Туев Василий Иванович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой Радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга ТУСУРа.

Утверждение темы диссертации

Тема диссертации утверждена Ученым советом радиоконструкторского факультета Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (протокол заседания совета факультета № 137 от 21.11.2017 г.).

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Афолина К.Н. является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, совокупность которых позволила решить научно-

техническую задачу, имеющую важное хозяйственное значение в исследовании и разработке новых методов и процессов, которые могут быть положены в основу создания оптических и оптико-электронных приборов, систем и комплексов различного назначения, в разработке, создании и внедрении нитевидных светодиодных модулей и светодиодных ламп с улучшенными тепловыми параметрами, что позволило увеличить надежность и срок службы этих устройств.

Актуальность темы и направленность исследования

Светодиоды (СД) в настоящее время являются наиболее перспективными источниками света из-за их высокой светоотдачи и надежности, быстрого достижения яркости, длительного срока службы, низкой потребляемой мощности, низкой стоимости их обслуживания, а также из-за их экологической безопасности для окружающей среды. Светодиоды находят применение и в лампах в типоразмере ламп накаливания. В конструкции таких ламп на единичных светоизлучающих диодах печатная плата со светодиодами располагается на массивном основании, обеспечивающим тепловой режим светодиодов.

Существенным недостатком светодиодных ламп на единичных светоизлучающих диодах, является выраженный «прожекторный эффект», т.е. несферическое пространственное распределение света.

Настоящим прорывом на рынке светодиодных ламп стало появление конструкций с использованием светодиодных нитей. В таких лампах преобразование электрической энергии в световую осуществляется нитевидными светодиодными источниками света – светодиодными модулями (СДМ), сконструированными по технологии «COB (chip-on-board)» и представляющими собой последовательность GaN/InGaN кристаллов на единой подложке. Вся сборка (или каждый отдельный кристалл) покрыта люминофорной композицией, преобразующей синее излучение кристаллов в жёлто-зеленое излучение так, что суммарный световой поток (излучение кристалла плюс преобразованное люминофором излучение) имеет параметры белого света. СДМ сконструированы в виде пространственной конструкции, расположенной внутри колбы лампы. Охлаждение светоизлучающих модулей осуществляется переносом тепловой энергии, выделяемой твердотельными GaN/InGaN кристаллами, через подложку нитей, через газовую среду в колбе в материал колбы с последующим конвекционным воздушным охлаждением наружной поверхности колбы лампы.

Условия охлаждения GaN/InGaN кристаллов в лампе с нитевидными СДМ существенно сложнее, чем в светодиодных лампах на единичных светоизлучающих диодах, поэтому развитие основ построения, совершенствование основ проектирования и методик расчета, разработка, создание и внедрение нитевидных СДМ и светодиодных ламп на их основе с улучшенными тепловыми параметрами является актуальной задачей.

Личное участие автора в получении результатов проведенных исследований

Автором лично проведены создание математической модели распределения температуры в структуре GaN/InGaN кристаллы-подложка-газовая среда колбы-колба светодиодной лампы-воздушная среда. Тепловой расчёт конструкций выполнен в программе «Ansys». Экспериментальные исследования проведены автором совместно с сотрудниками Научно-исследовательского института светодиодных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» и общества с ограниченной ответственностью «Руслед». Постановка задач и исследований осуществлялась совместно с научным руководителем.

Новизна результатов проведенных исследований

Научная новизна работы определяется применением метода конечно-элементного анализа и моделирования тепловых характеристик СДМ на основе GaN/InGaN кристаллов и созданием на этой основе новых светотехнических устройств с улучшенными эксплуатационными характеристиками и, в том числе, с увеличенным значением срока службы.

Научной новизной, в частности, обладают следующие основные результаты работы.

- 1) Математическая модель светодиодного модуля, представляющего собой последовательность GaN/InGaN кристаллов, расположенных на плоском основании и помещенных в замкнутый объем однородной среды, ограниченный теплоизолирующей оболочкой сложной формы, позволяющая рассчитывать значения температуры кристаллов, основания, внутренней среды и поверхности оболочки, расположенной в воздушной среде.

2) Найденная гиперболическая зависимость температуры GaN/InGaN кристаллов светодиодного модуля от теплопроводности материала линзы, дополняющей конструкцию лампы.

3) Новый способ стабилизации теплового режима светодиодных модулей в лампе с использованием электронного газа.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

Практическая значимость работы заключается в разработке, создании и внедрении светоизлучающих устройств с улучшенными тепловыми параметрами.

Разработаны новые устройства светодиодной лампы, защищенные патентами на изобретение и полезные модели:

- 1) Светодиодная лента для лампы (2 варианта).
- 2) Светодиодный источник излучения.
- 3) Светодиодная лампа (2 варианта).
- 4) Светодиодный облучатель.

Результаты диссертационного исследования использованы при выполнении работ по федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» в рамках двух проектов:

1) «Разработка энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределением, адаптированной к традиционной технологии массового производства ламп накаливания». Уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57714X0061.

2) «Разработка прототипов передовых технологических решений роботизированного интеллектуального производства электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств». Уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0266.

Результаты диссертационной работы так же используются в учебном процессе в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники при курсовом проектировании по дисциплине «Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий» для выполнения вычислительных экспериментов бакалаврами направления подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», профиль «Технология электронных средств».

Ценность научных работ соискателя, полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах

Ценность научных работ соискателя заключается в разработке научно-технических основ проектирования светодиодных источников света на основе GaN/InGaN и создания новых устройств с улучшенными тепловыми параметрами, что позволило увеличить надежность и срок службы этих устройств.

Основные результаты исследований опубликованы в 24 работах:

- две статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ;
- восемь статей, индексируемых реферативными базами данных Web of Science и Scopus;
- 14 докладов на всероссийских и международных конференциях.

По результатам исследований получено шесть патентов РФ на изобретение и полезные модели.

Статьи в журналах из перечня ВАК

- 1) Афонин, К.Н. Анализ срока службы светодиодных излучающих элементов / В.С. Солдаткин, Ю.В. Ряполова, К.Н. Афонин, А.Ю. Олисовец, В.И. Туев // Доклады ТУСУРа. – 2015. – №3. – С. 55-61.
- 2) Афонин, К.Н. Определение температурной зависимости электрических и световых параметров светодиодных элементов в лампе общего назначения / К.Н. Афонин, В.С. Солдаткин, В.С. Каменкова, Е.С. Ганская, В.И. Туев // Доклады ТУСУРа. – 2017. – Том 20. – № 3. – С. 148-151.

Публикации в журналах, индексируемых базами Web of Science, SCOPUS:

- 3) Afonin, K.N. Application of ultrasonic bonding in leds and led lamps production / K.N. Afonin, Y.V. Ryapolova, V.S Soldatkin., V.I. Tuev // Journal of nano- and electronic physics. – 2015. – Vol. 7. – No. 4. – P. 04029.
- 4) Afonin, K.N. LED lamp design optimizing on minimum non-informity of light intensity distribution in space / K.N. Afonin, A.Y. Olovets, Y.V. Ryapolova, V.S. Soldatkin, D.G. Starosek, V.I. Tuev , V.G. Hristyukov // Actual problems of electronics instrument engineering (APEIE), 2016 13th international scientific technical conference, 3-9 oct. 2016. ISBN 978-1-5090-4069-8. – P. 153-155. – DOI: 10.1109/APEIE.2016.7806435
- 5) Afonin, K.N. Parameters Investigation of Phosphors for Solid State Lighting / Y.V. Ryapolova, V.S. Soldatkin, K.N. Afonin, V.I. Tuev, A.A. Vilisov // Key Engineering Materials ISSN: 1662-9795. – 2016. – Vol. 712, – P. 357-361. – doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.712.357.
- 6) Afonin, K. Dependence on gas of the thermal regime and the luminous flux of LED filament lamp / D. Starosek, A. Khomyakov, K. Afonin, Y. Ryapolova, and V. Tuev. // AIP Conference Proceedings Prospects of fundamental sciences development (pfsd-2016):

proceedings of the xiii international conference of students and young scientists aip conf. Proc. – 2016. – Vol. 1772. – P. 060008. – DOI: 10.1063/1.4964588.

7) Afonin, K. Operation Characteristics of LED Filament Bulbs / K. Afonin, A. Vilisov, V. Kamenkova, V. Soldatkin, V. Tuev, Yu. Yulaeva // Actual problems of electronics instrument engineering (APEIE), 2018 14th international scientific-technical conference, 2-6 oct. 2018. – P. 376-379. – DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545675.

8) Afonin, K.N. Investigation of phosphor compositions for led filament bulb / K.N. Afonin, A.A. Vilisov, Andreeva M.V., V.S. Soldatkin, V.I. Tuev, Ganskaya E.S. // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2018. – No. 1115 (2018). – P. 052012. – doi: 10.1088/1742-6596/1115/5/052012.

9) Afonin, K. Inkjet-Printed Filament for LED Bulbs / K. Afonin, I. Banshchikova, V. Soldatkin, V. Tuev, A. Schkarupo, Y. Yulaeva. // Proceedings – 2019 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT 2019). – № 8736591. – P. 332-335. – doi: 10.1109/USBREIT.2019.8736591.

10) Afonin, K.N. Thermal characteristics simulation of LED emitting element containing filled polyaluminosilicate in structure as heat-conducting adhesive coating / A.A. Ivanov, K.N. Afonin, A.S. Chermoshentseva // IOP Pub.: Journal of Physics: Conf. Series. – 2020. – No. 1488 (2020) 012018. – doi: 10.1088/1742-6596/1488/1/012018.

Материалы международных и всероссийских конференций:

11) Афонин, К.Н. Результаты моделирования тепловых характеристик светодиодного излучающего элемента / К.Н. Афонин, М.В. Андреева, Е.С. Ганская, К.В. Тепляков // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XII Международной научно-практической конференции (28–30 ноября 2018 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2018. – С. 252-255.

12) Афонин, К.Н. Моделирование тепловых характеристик светодиодной лампы в колбе А60 / К.Н. Афонин, К.В. Тепляков // Научная сессия ТУСУР–2019: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сборник избранных статей. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч.1. – С.292-294.

13) Afonin, K.N. Simulation of thermal characteristics of the LED lamp with a B36 bulb / K.N. Afonin // Научная сессия ТУСУР–2019: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. –Томск: В-Спектр, 2019. – Ч.4. – С.77-80.

14) Афонин, К.Н. Моделирование тепловых характеристик светодиодной лампы в колбе А55 / К.Н. Афонин, К.В. Тепляков // Актуальные проблемы современной науки: материалы VIII Регион. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019. – С. 69-72.

15) Афонин, К.Н. Исследование тепловых характеристик светодиодной лампы на основе светодиодных излучающих элементов / К.Н. Афонин, А.А. Вилисов, А.Г. Саинский, В.С. Солдаткин, К.В. Тепляков // Актуальные проблемы радиофизики: Международная научно-практическая конференция, г. Томск: Издательский дом ТГУ, 2019. – С. 252-258.

16) Афонин, К.Н. Тепловое моделирование светодиодной лампы / Ю.В. Ряполова, К.А. Неверовский, Е.О. Постолова, К.Н. Афонин. // Научная сессия ТУСУР–

2016: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых // В-Спектр, 2016: в 6 частях. – Ч.2. – С. 243-244.

17) Афонин, К.Н. Оптическое моделирование светодиодной лампы / Е.О. Постолова, Ю.В. Ряполова, К.А. Неверовский, К.Н. Афонин // материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР». – Томск. – 2016. – Ч.2. – С. 244-246.

18) Афонин, К.Н. Срок службы светодиодных ламп / К.Н. Афонин, Ю.В. Ряполова, Д.Г. Старосек // Сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Перспективы развития фундаментальных наук – Томск. – 2016. – Т.7. – С. 18-20.

19) Афонин, К.Н. Светодиодная лампа для низковольтных сетей / К.Н. Афонин, В.С. Каменкова, В.С. Солдаткин // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XII Международной научно-практической конференции: в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2016. – С. 86-87.

20) Афонин, К.Н. Ресурсные испытания светодиодной лампы 10 Вт / В.С. Каменкова, К.Н. Афонин // Научная сессия ТУСУР–2017: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, Томск, 10–12 мая 2017 г.: в 8 частях. – Томск: В-Спектр, 2017. – Ч. 3. – С. 123-125.

21) Афонин, К.Н. Исследование тепловых характеристик светодиодной лампы на основе светодиодных излучающих элементов / К.Н. Афонин, А.А. Вилисов, А.Г. Саинский, В.С. Солдаткин, К.В. Тепляков // Актуальные проблемы радиофизики: Международная научно-практическая конференция, г. Томск: Издательский дом ТГУ, 2019. – С. 252-258.

22) Афонин, К.Н. Исследование тепловых характеристик светодиодного излучающего элемента / А.Г. Саинский, А.И. Черепнев, К.Н. Афонин, К.В. Тепляков // Научная сессия ТУСУР–2019: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сборник избранных статей. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч.1. – С. 289-292.

23) Афонин, К.Н. Особенности применения ультразвуковой сварки в технологии изготовления светодиодов и светодиодных ламп / К.Н. Афонин, Ю.В. Ряполова, В.С. Солдаткин // Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР». – Томск. – 2015. – Ч.2. – С. 105-108.

24) Афонин, К.Н. Методы теплового моделирования электронных приборов / К.Н. Афонин // Научная сессия ТУСУР–2018: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых // В-Спектр, 2018: в 5 частях. – Ч.2. – С. 161-164.

Патенты:

25) Патент на полезную модель 183304 Российская Федерация, СПК F21V 29/00 (2006.01); F21Y 2105/12 (2006.01). Светодиодная лента для лампы / Афонин К.Н., Вилисов А.А., Озеркин Д.В., Ряполова Ю.В., Солдаткин В.С., Старосек Д.Г., Туев В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТУСУР». – № 2017146187; заявл. 27.12.2017; опубл. 17.09.2018, Бюл. № 26. – 10 с.

26) Патент на полезную модель 185874 Российская Федерация, СПК F21V 14/00 (2018.08). Светодиодная лампа / Афонин К.Н., Вилисов А.А., Солдаткин В.С., Туев В.И., Юлаева Ю.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТУСУР». – № 2018134842; заявл. 01.10.2018; опубл. 21.12.2018, Бюл. № 36. – 10 с.

27) Патент на полезную модель 188947 Российская Федерация, СПК F21V 29/10 (2019.02); F21V 15/04 (2019.02); F21K 9/66 (2019.02). Светодиодная лампа / Афонин К.Н., Вилисов А.А., Солдаткин В.С., Туев В.И., Юлаева Ю.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТУСУР». – № 2018119785; заявл. 23.05.2018; опубл. 30.04.2019, Бюл. № 13. – 10 с.

28) Патент на полезную модель 193054 Российская Федерация, СПК F21S 4/20 (2019.08); F21V 9/00 (2019.08). Светодиодная лента для лампы / Андреева М.В., Афонин К.Н., Вилисов А.А., Ганская Е.С., Солдаткин В.С., Туев В.И., Тепляков К.В. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТУСУР». – № 2019115062; заявл. 16.05.2019; опубл. 04.10.2019, Бюл. № 28. – 9 с.

29) Патент на полезную модель 192891 Российская Федерация, СПК A01G 7/04 (2006.01). Светодиодный облучатель / Афонин К.Н., Вилисов А.А., Незнамова Е.Г., Юлаева Ю.В., Солдаткин В.С., Туев В.И., Хомяков А.Ю. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТУСУР» – №2019115062; заявл. 16.05.2019; опубл. 04.10.2019, Бюл. № 28. – 10 с.

30) Патент на изобретение №2723967 Российская Федерация, СПК H01L 33/00 (2020.02); F21S 8/00 (2020.02). Светодиодный источник излучения / Давыдов В.Н., Туев В.И., Афонин К.Н., Давыдов М.В., Солдаткин В.С., Вилисов А.А. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТУСУР» – № 2019133066; заявл. 16.10.2019; опубл. 18.06.2020, Бюл. № 17. – 14 с.

Соответствие содержания диссертации научной специальности


Предмет исследования и материалы диссертационной работы соответствуют специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы: Исследование и разработка новых методов и процессов, которые могут быть положены в основу создания оптических и оптико-электронных приборов, систем и комплексов различного назначения (п.1 паспорта специальности).

Диссертация «Тепловой режим источника света на основе GaN/InGaN в светодиодных лампах» Афонина Кирилла Нильевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

Заключение принято на объединенном семинаре кафедр «Физической электроники», «Радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга», «Конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры» федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». Присутствовало на заседании 9 человек, в том числе 3 доктора технических наук, 2 кандидата технических наук и др. Результаты голосования: «за» – 9 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол № 49 от 22.12.2020 г.

Председатель семинара
декан
Радиоконструкторского
факультета, к.т.н.,
доцент


Озеркин Денис Витальевич

Секретарь семинара
к.т.н., доцент каф.
РЭТЭМ


Солдаткин Василий Сергеевич