

УДК 621.32:621.314.692

В.С. Солдаткин, К.Н. Афонин, В.С. Каменкова, Е.С. Ганская, В.И. Туев

Определение температурной зависимости электрических и световых параметров светодиодных элементов в лампе общего назначения

Представлены результаты экспериментальных исследований температурной зависимости спектра излучения, яркости и колориметрических характеристик, определено значение теплового сопротивления светодиодного излучающего элемента. Определено, что с изменением температуры окружающей среды на 85 °C значение прямого напряжения на элементе снижается в среднем на 3 В, яркость снижается на 11%. Установлено, что при изменении температуры окружающей среды от 0 до 85 °C напряжение питания светодиодного излучающего элемента при неизменном значении протекающего тока 10 мА уменьшается на 3 В, яркость снижается на 11%, а доминирующая длина волны линейно возрастает от 451 до 456 нм.

Ключевые слова: светодиодный излучающий элемент, лампа с конвекционным охлаждением.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-3-148-151

Новым шагом развития светодиодного освещения является создание светодиодной лампы на основе традиционной конструкции лампы накаливания, в которой вместо нити накала установлены светодиодные излучающие элементы (СИЭ) нитевидного типа, а в цоколе смонтирован миниатюрный преобразователь питающего напряжения. Такая лампа (рис. 1) высокими темпами замещает аналоги на единичных светоизлучающих диодах в секторе бытового освещения.

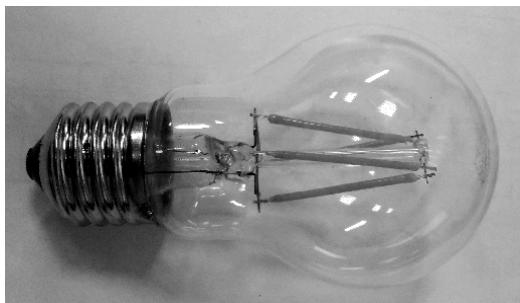


Рис. 1. Лампа со светодиодными излучающими элементами нитевидного типа

Особенностью лампы является конвекционное охлаждение СИЭ, размещенных внутри колбы. СИЭ имеют «слоенную» конструкцию, в которой на основании длиной до 40 мм и шириной до 2 мм расположены светодиодные кристаллы, покрытые слоем люминофора.

Устройство питания преобразует напряжение переменного тока электрической сети в постоянное и обеспечивает электропитание группы СИЭ со стабилизацией по току.

Для эффективной конвекции колба лампы заполняется инертным газом, что обеспечивает передачу тепловой энергии от нагретых СИЭ на поверхность колбы и далее в воздушное пространство. Результаты исследований, опубликованные в работах [2–6], показывают, что для колбы с диаметром 55 мм допустимое по тепловому режиму количество СИЭ не превышает шести штук. Теоретический расчет

значения теплового сопротивления СИЭ – среда проведен в работе [3] и получено значение 30 К/Вт.

Вместе с тем вопросы исследования зависимости электрических и оптических параметров СИЭ от температуры решены не окончательно.

Целью данной работы является исследование температурной зависимости яркостных и спектральных характеристик СИЭ, а также экспериментальное определение теплового сопротивления.

Экспериментально-расчетная часть

Для излучающих нитридных кристаллов зависимость изменения прямого напряжения от изменения температуры составляет [1]

$$dU/dT = -(1,76 - 2,3) \text{ мВ/К}, \quad (1)$$

где U – прямое напряжение; T – температура $p-n$ -перехода.

Для проведения экспериментальных исследований на основании разработанной эскизной конструкторской документации ЕГВА.432225.701 изготовлены макетные образцы СИЭ (рис. 2) [6].

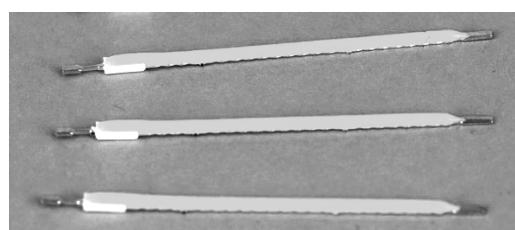


Рис. 2. Макетные образцы светодиодного излучающего элемента

На металлическое основание с использованием теплопроводящего клея смонтированы 28 светодиодных кристаллов Epistar ES-EEDBF09F (рис. 3), соединенных металлической проволокой последовательно и залитых люминофорной композицией. Мощность СИЭ $P = 0,7$ Вт. Экспериментальные исследования температурных зависимостей проводились при использовании элемента Пельтье, т.к. с его помощью возможно изменять температуру от 0 до 90 °C с погрешностью не более ±3 °C путем увели-

чения либо уменьшения подаваемого на элемент напряжения, и лабораторной электропечи «Snol 58/350» (нестабильность температуры ± 2 °C) для имитации условий повышенной температуры окружающей среды. Измерения проведены в диапазоне температур от 0 до 90 °C, так как при номинальной мощности СИЭ температура кристалла выше температуры окружающей среды на 30 °C [3], а критическое значение этого параметра для $p-n$ -перехода используемых кристаллов составляет 125 °C.

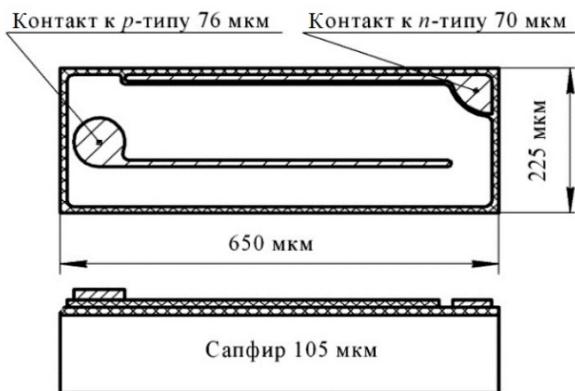


Рис. 3. Присоединительные размеры кристалла Epistar ES-EEDBF09F

При использовании элемента Пельтье СИЭ плотно прижимался основанием к поверхности элемента. В этом случае температура на поверхности элемента Пельтье равнялась температуре основания СИЭ.

При расположении СИЭ в лабораторной электропечи температура основания превышала температуру внутри печи вследствие нагрева от кристаллов.

Тепловое сопротивление СИЭ – среда

Для определения численного значения теплового сопротивления основание СИЭ – среда измерено семейство вольт-амперных характеристик СИЭ в условиях размещения СИЭ на поверхности элемента Пельтье.

На рис. 4 представлено семейство характеристик СИЭ при значениях температуры 0 °C (1), 25 °C (2), 85 °C (3).

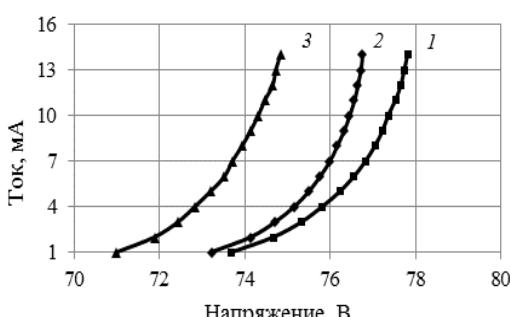


Рис. 4. Зависимость тока от напряжения при разных значениях температуры

Повторяемость кривых на рис. 4 подтверждает, что при значениях тока от 0 до 15 мА в диапазоне температур окружающей среды от 0 до 85 °C тем-

пература кристаллов не превышает предельно допустимое значение.

Затем проведены измерения зависимости напряжения от температуры для СИЭ, расположенного в лабораторной электропечи, при значении прямого тока 10 мА (рис. 5).

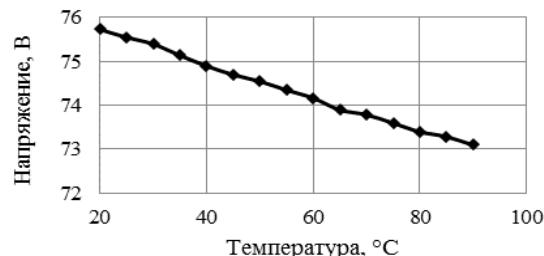


Рис. 5. Зависимости напряжения от температуры для СИЭ при значении прямого тока 10 мА

Из рис. 4 следует, что при температуре 85 °C на элементе Пельтье значение напряжения на СИЭ составляет 74,3 В. При той же температуре окружающей среды в печи (см. рис. 5) значение напряжения на СИЭ составляет 73,29 В. Учитывая (1), определим разность температур основания СИЭ и окружающей среды

$$\Delta T = \frac{74,3 - 73,29}{n \cdot dU/dt} = (15,6 - 20,5) \text{ K}, \quad (2)$$

где $n = 28$ — количество кристаллов.

Значение теплового сопротивления основание СИЭ – среда R_t можно определить по формуле

$$R_t = \frac{\Delta T}{P} = (22-29) \text{ К/Вт}. \quad (3)$$

Полученное экспериментально значение теплового сопротивления основание СИЭ – среда (22–29) К/Вт хорошо согласуется с ранее полученным теоретическим значением (30 К/Вт) [3].

Температурная зависимость спектральных характеристик СИЭ

Измерение значений спектральных составляющих, координат цветности и коррелированной цветовой температуры осуществлялось с использованием прибора «Спектроколориметр ТКА-ВД» с основной относительной погрешностью не более $\pm 10\%$.

При увеличении температуры в диапазоне от 0 (сплошная линия на рис. 6) до 90 °C (пунктирная линия на графике) происходит сдвиг максимума спектра излучения, соответствующего синему цвету свечения кристалла, на 5 нм в сторону больших длин волн, однако увеличение температуры не повлияло на интенсивность спектра люминофора. Из этого можно сделать вывод, что эффекта температурного тушения люминофора [7] не наблюдается.

Полученный результат подтверждает данные, приведенные в работе [7].

Температурная зависимость координат цветности приведена на рис. 7, а коррелированной цветовой температуры — на рис. 8.

Доминирующая длина волны при фиксированном прямом токе СИЭ на участке температур от 0 до 90 °C линейно возрастает от 451 до 456 нм.

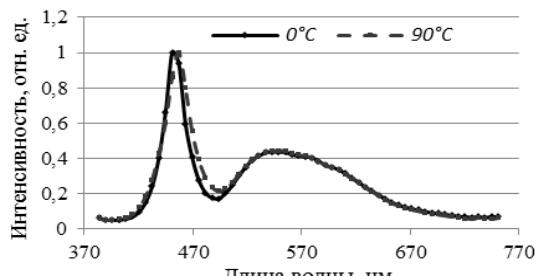


Рис. 6. Зависимость спектра от температуры окружающей среды

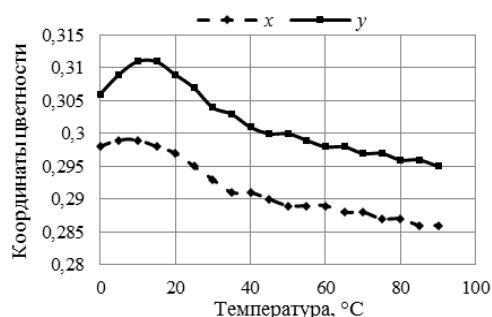


Рис. 7. Зависимость цветовых координат от температуры окружающей среды

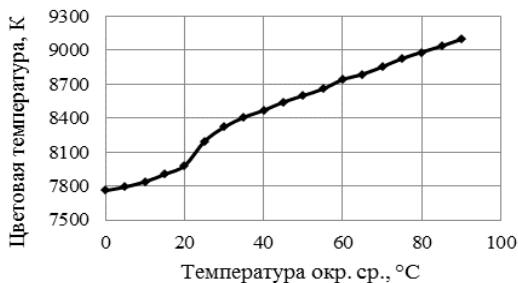


Рис. 8. Температурная зависимость коррелированной цветовой температуры

Температурная зависимость относительных значений яркости СИЭ

Значение яркости свечения СИЭ определялось с использованием прибора «Спектроколориметр ТКА-ВД» с основной относительной погрешностью не более $\pm 10\%$.

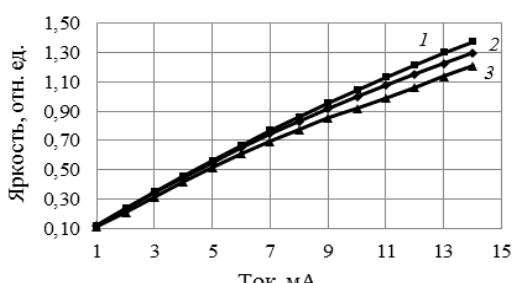


Рис. 9. Зависимость яркости СИЭ от тока при разных значениях температуры

На рис. 9 представлена температурная зависимость относительных значений яркости СИЭ от значения протекающего тока ($1 - 0$, $2 - 25$, $3 - 85$ °C), нормированных относительно значения яркости СИЭ при токе 10 мА и температуре 25 °C.

Экспериментально установлено, что увеличение температуры сопровождается снижением яркости СИЭ (рис. 10): при нагревании от 0 до 90 °C яркость снижается на 11%.

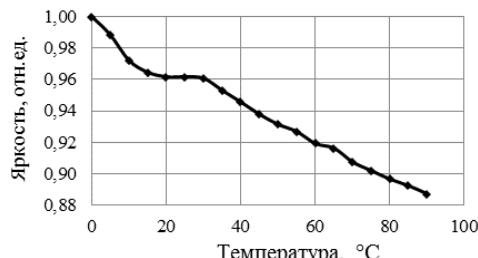


Рис. 10. Зависимость яркости от температуры окружающей среды ($I = 10$ мА)

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что при изменении температуры от 0 до 85 °C:

- 1) напряжение питания светодиодного излучающего элемента при неизменном значении протекающего тока 10 мА уменьшается с 77,3 до 74,3 В;
- 2) яркость светодиодного излучающего элемента снижается на 11%;
- 3) доминирующая длина волны при фиксированном прямом токе СИЭ линейно возрастает от 451 до 456 нм.

Экспериментально подтверждено значение теплового сопротивления СИЭ – среда (22–29) К/Вт, что хорошо согласуется с ранее полученным теоретическим значением (30 К/Вт).

Определена температурная зависимость координат цветности и коррелированной цветовой температуры СИЭ.

Результаты статьи могут быть полезны при конструировании новых типов ламп с использованием светодиодных излучающих элементов нитевидного типа.

Работа выполнена в рамках группового проектного обучения ТУСУРа по проекту РЭТЭМ-1501.

Литература

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Ф. Шуберт; пер. с англ. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
2. Вилисов А.А. Индикаторные светодиоды для поверхностного монтажа / А.А. Вилисов, В.В. Дохтуров, К.В. Тепляков, В.С. Солдаткин // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – Т. 5, № 13. – С. 50–51.
3. Солдаткин В.С. Анализ срока службы светодиодных излучающих элементов / В.С. Солдаткин, Ю.В. Ряполова, К.Н. Афонин и др. // Доклады ТУСУРа. – 2015. – № 3. – С. 55–61.
4. Старосек Д.Г. Зависимость теплового режима и светового потока светодиодной лампы от газового наполнения колбы / Д.Г. Старосек, А.Ю. Хомяков, К.Н. Афонин // Сб. науч. тр. XIII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск, 2016. – Т. 1. – С. 256–267.
5. Афонин К.Н. Срок службы светодиодных ламп / К.Н. Афонин, Ю.В. Ряполова, Д.Г. Старосек // Сб. науч. тр. XIII Междунар. конф. студентов, аспирантов и моло-

дых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск, 2016. – Т. 7. – С. 18–20.

6. Разработка энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределением, адаптированной к традиционной технологии массового производства ламп накаливания: отчет по этапу 3 «Разработка конструкторской документации (КД) макетных образцов» по Соглашению о предоставлении субсидии от 05 июня 2014 г. № 14.577.21.0061: в 2 т. / В.И. Туев. – Томск: ТУСУР, 2015. – Т. 1: Научно-технический отчет. – 49 с.; т. 2: Приложения. – 220 с. – Номер госрегистрации 114100640084. – Изв. № 24.01/03–2015.

7. Смирнов С.В. Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов / С.В. Смирнов, Е.В. Саврук, Ю.С. Гончарова // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2. – С. 55–58.

Солдаткин Василий Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга (РЭТЭМ)
ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 70-15-13
Эл. почта: soldatkinvs@mail.tusur.ru

Афонин Кирилл Нильевич

Магистрант 2-го курса каф. РЭТЭМ
Тел.: +7 (382-2) 70-15-13
Эл. почта: pa3z@mail.ru

Каменкова Виктория Сергеевна

Магистрант 2-го курса каф. электронных приборов
ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 70-15-13
Эл. почта: kamenkova_victoria@mail.ru

Ганская Елизавета Сергеевна

Студентка 2-го курса каф. РЭТЭМ
Тел.: +7 (382-2) 70-15-13
Эл. почта: lizanka_ganskaya@mail.ru

Туев Василий Иванович

Д-р техн. наук, директор НИИ светодиодных технологий
Тел.: +7 (382-2) 70-15-06
Эл. почта: vasilii.i.tuev@tusur.ru

Soldatkin V.S., Afonin K.N., Kamenkova V.S.,
Ganskaya E.S., Tuev V.I.

Determining temperature dependence of electrical and light parameters for led elements in a general purpose lamp

The paper presents the results for experimental studies of the temperature dependence of the emission spectrum, brightness, and colorimetric characteristics. The thermal resistance value is determined for the LED emitting element. It is determined that with a change in ambient temperature of 85 °C, the value of the forward voltage on the element is reduced by an average of 3 V, the brightness is reduced by 11%.

Keywords: LED emitting element, lamp with convection cooling.