

УДК 536.21

М.В. Воропаев, Д.Д. Каримбаев, Ю.А. Хотненко, А.П. Коханенко, В.А. Харенков

Тепловой анализ светодиодных матриц видимого диапазона с силиконовой заливкой и люминофором

Представлены результаты модельных расчётов и экспериментальных измерений тепловых полей светодиодных матриц с различной конструкцией, с различными типами нанесения люминофора и силиконовой заливки.

Ключевые слова: светодиодная матрица, силиконовая заливка, люминофор, программа ANSYS.

В настоящее время наметилась тенденция перехода на энергосберегающие источники освещения. Уже с начала 2011 г. перестали выпускаться лампы накаливания 100 Вт и выше. На смену лампам накаливания приходят галогенные лампы, люминесцентные лампы, ртутные лампы высокого давления, светоизлучающие диоды и т.д. В 2011 г. ОАО «НИИПП» начал совместно с ТГУ, ТПУ и ТУСУРом работу по проекту «Разработка высокоэффективных и надежных полупроводниковых источников света и светотехнических устройств и организация их серийного производства», финансируемую согласно Постановлению правительства РФ № 218. На данный момент разрабатываются светильники на основе светодиодных матриц с потребляемыми электрическими мощностями: 6, 10, 30, 40, 60, 80, 95 и 100 Вт. Уже при мощности 60 Вт у светодиодных матриц возникают проблемы в силиконовой заливке.

Существует четыре способа создания белых СД, каждый со своими достоинствами и недостатками. Один из них – смешение излучения СД трёх или более цветов. Второй и третий способы – смешение голубого излучения СД с излучением либо жёлто-зелёного люминофора, либо зелёного и красного люминофоров, возбуждаемых голубым излучением. Эти способы наиболее просты и в настоящее время наиболее экономичны. Четвёртый способ – смешение излучения трёх люминофоров (красного, зелёного и голубого), возбуждаемых ультрафиолетовым светодиодом. Но этот и предыдущие два способа связаны с принципиальными потерями энергии при преобразовании света от светодиода в люминофорах [1].

Таким образом, в люминофоре происходит поглощение света и нагрев из-за неполного преобразования энергии в излучение. В настоящее время в жёлтом люминофоре теряется 25–35% световой энергии, которая генерируется в форме тепла. С одной стороны, это очень мало, но когда люминофор наносят на мощные СД-матрицы, возникает потускнение заливки даже при использовании хорошего теплоотвода (рис. 1).

Для решения этой проблемы был проведен анализ тепловых полей мощных СД-матриц при помощи программного комплекса ANSYS [2, 3] и измерения температурных полей тепловизором Testo 875-1.

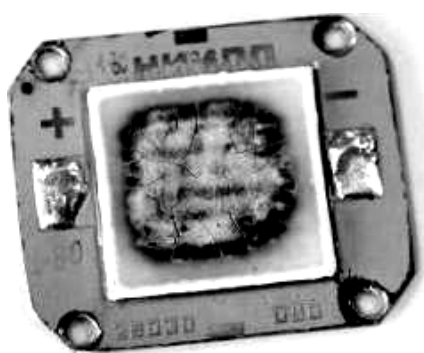


Рис. 1. Разрушение силиконовой заливки светодиодной матрицы с потребляемой мощностью 80 Вт за счёт больших температур

В данной работе были проведены анализы светодиодной матрицы с потребляемой мощностью 42 Вт на основе стандартного радиатора. При теоретических расчётах в программном комплексе ANSYS учитывались все слои матрицы, из которых состоит экспериментальный световой модуль. Необходимые параметры для расчетов представлены в табл. 1.

В качестве стандартного радиатора рассматривалась модель ребристого радиатора из алюминиевого сплава Д16Т с теплопроводностью 160 Вт/м·°С.

Модель радиатора проектировали в программе «Компас 3D». Была построена модель слоя термопасты для матрицы (рис. 2), проведена сборка радиатора и первого слоя (термопаста), после чего данная модель была сохранена в формате, подвергающемся чтению в программе ANSYS. Для теплового расчёта использовали ANSYS Multiphysics. В программе

импортирован файл сборки. Задан тип тепловой задачи, после этого – тип элементов – использовались два типа элементов: SOLID 70 и SOLID 90.

Таблица 1

Параметры элементов в светодиодной матрице 42 Вт

Наименование основных элементов	Толщина слоя	Теплопроводность материала, Вт/м·°С
Светодиодный кристалл InGaN	100 мкм	65
Токопроводящая паста для посадки кристалла	20 мкм	60
Металлизация	35 мкм	400
Диэлектрический слой	22 мкм	0,8
Дюралюминиевая подложка	1,6 мм	160
Термопаста	20 мкм	1

Задавали теплопроводность всех материалов данные параметры указаны в табл. 1. Радиатор был изготовлен из алюминиевого сплава Д16, его теплопроводность равна 160 Вт/м·°С. Производилась склейка всех объемов и конвертировались размеры модели. Затем шло разбиение сетки слоя термопасты, для этого выбирался заданный материал и тип элементов SOLID 70. В данном слое использовались шестигранные элементы. Следующим этапом было разбиение сетки радиатора, в этом случае тип элементов был SOLID 90 и материал Д16. Элементы были тетрагонального типа. Следующим этапом проводились операции вытягивания из площадок на слое термопасты остальных слоев, которые представлены в табл. 1.

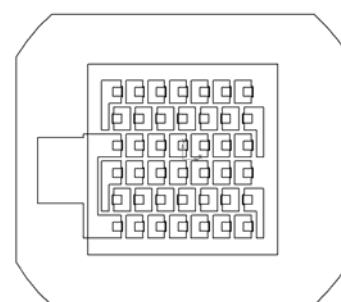


Рис. 2. Вид конструкторской модели слоя термопасты для матрицы 42 Вт

Теоретические результаты получены с помощью решения уравнения теплопроводности с граничными условиями. Считалось, что на каждый кристалл подается электрическая мощность 1 Вт при КПД 38%, конвекция рассматривалась естественная для закрытых помещений (5,8 Вт/м·°С), температура окружающей среды 25 °С. В качестве начальных условий была выбрана температура светового модуля 25 °С. Полученные теоретические и экспериментальные результаты для конструкции 1 (табл. 2) представлены на рис. 3.

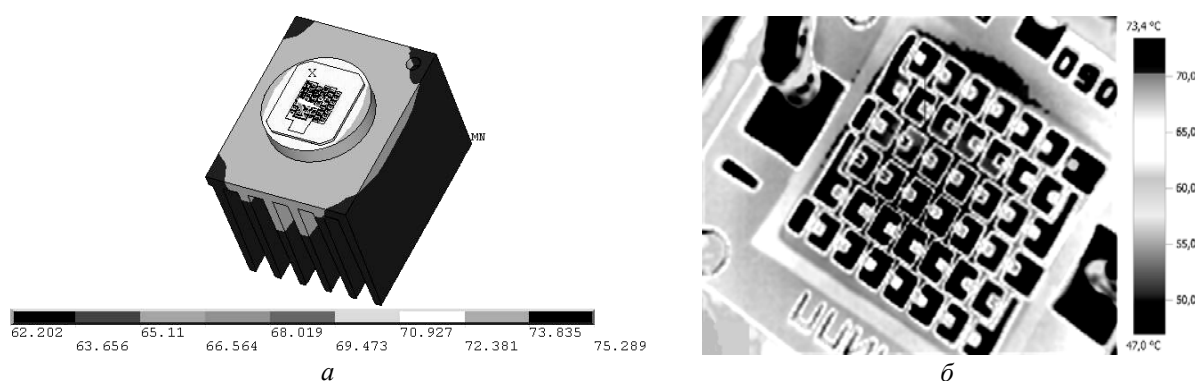


Рис. 3. Результаты расчётов и измерений температуры светового модуля (образец 1): а – теоретический расчёт; б – показание тепловизора

На рис. 3, а приведены результаты теоретического расчета с использованием программы ANSYS Multiphysics и параметров структуры из табл. 1. Видно, что максимальная температура на матрице составляет 75 °С. На рис. 3, б приведена картина, получающаяся при измерении реальной структуры с помощью тепловизора Testo 875-1. Расчеты и измерения проводились для всех конструкций, представленных в табл. 2, наблюдается хорошее совпадение значений температуры на матрице светодиодов. При построении теоретической модели для случая 2, 3 считали, что люминофор смешан с силиконовой заливкой и толщина этого слоя составляет 50 мкм. В третьем случае толщина силиконовой заливки выбиралась 1 мм. Теплопроводность этих элементов была одинаковой 0,1 Вт/м·°С. КПД люминофора составлял 70%.

Результаты расчётов и экспериментальных измерений

№	Краткое описание и конструкция	Максимальная температура при расчёте, °С	Максимальная температура при измерении, °С
1	На печатную плату посажены кристаллы синего излучения	75	73±0,1
2	На печатную плату посажены кристаллы синего излучения и на каждый кристалл нанесён слой люминофора	103	103±0,1
3	На печатную плату посажены кристаллы синего излучения, вся конструкция залита силиконовой заливкой, поверх неё нанесён слой люминофора	206	209±0,1

Таким образом, результаты расчетов и измерений температурных полей светодиодной матрицы 42 Вт показывают наличие температур на поверхности модуля в третьем случае больше 200 °С. Необходимо отметить, что потускнение силикона возникает уже при температуре 300 °С. Поэтому использование этой конструкции при разработке более мощных СД-матриц вызовет деградацию модуля (см. рис. 1). Решением этой проблемы может быть использование прозрачного силикона с высокой теплопроводностью или нанесение люминофора на удаленную от светодиода поверхность.

Литература

1. Давиденко Ю. Высокоэффективные современные светодиоды // Современная электроника. – 2004. – №1. – С. 36–43.
2. Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозова, М.А. Олфёрова. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
3. Босов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК-Пресс, 2005. – 640 с.

Воропаев Михаил Владимирович

Аспирант каф. квантовой электроники и фотоники
Национального исследовательского Томского государственного университета (НИ ТГУ)
Тел.: 8-923-631-75-59
Эл. почта: voropa@yandex.ru

Каримбаев Дамир Джамалитдинович

Начальник лаб. световых модулей (ЛСМ) НИИПП
Тел.: 8-923-412-96-79
Эл. почта: karimbdd@mail.ru

Хотненко Юрий Анатольевич

Инженер-конструктор лаб. ЛСМ НИИПП
Тел.: 8-923-407-19-97

Коханенко Андрей Павлович

Д-р физ.-мат. наук, профессор каф. квантовой электроники и фотоники НИ ТГУ
Тел.: 8-960-974-56-23
Эл. почта: kokh@elefot.tsu.ru

Харенков Владимир Александрович

Студент 6-го курса РФФ НИ ТГУ, мл. науч. сотрудник лаборатории распространения оптических волн
Сибирского физико-технического института НИ ТГУ
Тел.: 8-923-415-53-82
Эл. почта: Kharenkof@yandex.ru

Voropaev M.V., Karimbaev D.D., Hotnenok Uu.A., Kohanenko A.P., Kharekof V.A.

Thermal analysis of LED matrix in the visible range with silicone fill and phosphor

This paper presents the results of model calculations and experimental measurements of thermal fields of LED matrix with different design, different types of phosphor coating and silicone fill.

Keywords: LED matrix, silicon casting, phosphor, the program ANSYS.