

Гладковский В. И., Волчек А. А., Борушко В. В.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ

Введение. В настоящее время в большинстве развитых стран полупроводниковая светотехника является одним из приоритетных направлений развития науки и техники. Светодиоды все более широко применяются в разнообразных практических приложениях. Эти полупроводниковые источники света обладают целым рядом преимуществ, среди которых можно назвать энергетическую эффективность, экологическую безопасность, компактность конструкции и достаточно низкие управляющие напряжения, обеспечивающие длительный срок службы устройства. Световая отдача светодиодов, которая определяется через отношение излучаемого источником светового потока к потребляемой им мощности, составляет в настоящее время величину порядка 100–120 Лм/Вт, что по разным оценкам в 6–8 раз эффективнее, чем у ламп накаливания и в 3–4 раза выше, чем у огромного количества всевозможных энергосберегающих ламп. Кроме того, у светодиодов существуют и другие преимущества: достаточно высокая механическая прочность и надежность; высокий уровень электробезопасности; низкий уровень пульсаций светового потока; возможность миниатюрного исполнения; высокие экологические свойства, связанные с отсутствием компонентов, содержащих ртуть.

Анализ проблемы и постановка задачи. Известно, что рабочие параметры светодиодов сильно зависят от температуры. При возрастании температуры прямое напряжение р-п перехода светодиода уменьшается. Если управляющее устройство не уменьшит подаваемое напряжение, то произойдет локальный перегрев, что приведет к появлению на печатной плате так называемых "горячих точек". Это в свою очередь вызывает ухудшение работоспособности, а то и разрушение всей схемы за счет ускорения нежелательных физико-химических процессов в материалах и конструкциях компонентов. Перечисленные выше факторы приводят к необходимости установления жестких ограничений на рабочий диапазон температур элементов, создания цепей температурной защиты и совершенствования способов отвода тепла. Поэтому моделирование теплового режима становится одним из важнейших этапов разработки и проектирования современных светодиодных матриц [1].

Для подбора оптимальных тепловых условий работы матрицы светодиодов было проведено физическое и математическое моделирование. Компьютерная реализация математической модели производилась с применением программного пакета COMSOL Multiphysics. Исследования проводились при различных значениях тока, проходящего через матрицу.

Объектом исследования являлась светодиодная матрица размерами 1.5×0.6 см², расположенная на алюминиевой подложке. Общий вид устройства показан на рисунке 1.

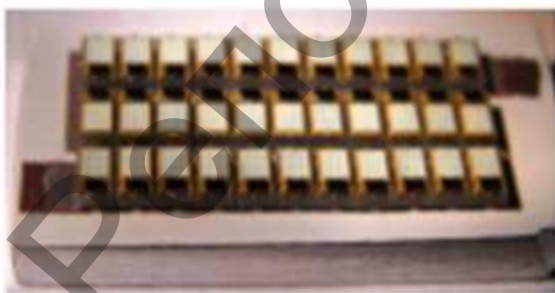


Рисунок 1 – Общий вид светодиодной матрицы

На подложку методом поверхностного монтажа посажены единичные электрически последовательно тридцать три светодиода марки Philips Lumileds LXZ1-PE01-0048 [2]. Заметим, что параллельное соединение светодиодов нежелательно, так как это увеличивает

стоимость изделия и уменьшает его эффективность. Питание светодиодов осуществлялось постоянным током в диапазоне от 1 до 1000 мА. Для повышения эффективности охлаждения светодиодная матрица помещалась в стеклянную трубку с прокачиваемой по ней насосом охлаждающей жидкостью, в качестве которой использовался этиловый спирт [3, с. 178].

В основе математической модели, описывающей распространение тепла по элементам системы, лежит уравнение теплопроводности:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

где C_p – теплоемкость, ρ – плотность, k – коэффициент теплопроводности, T – температура.

Для конкретизации математической модели были приняты следующие начальные и граничные условия:

1. Температура нижней поверхности алюминиевой подложки принималась равной начальной температуре: 293,15 К.
2. На внешней границе светодиодного кристалла GaN задавался тепловой поток q внутрь подложки.
3. На всех остальных внешних поверхностях задавались условия конвективного теплообмена:

$$-\nabla(-k\nabla T) = 0,$$

где $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ – векторный дифференциальный оператор Гамильтона.

4. На границах между элементами задавался режим непрерывности теплового потока:

$$q_i = -k_i \nabla T_i,$$

где q_i – тепловая мощность излучения конкретного элемента.

Посредством пакета моделирования COMSOL Multiphysics была создана изображенная на рисунке 2 модель светодиодной матрицы из 33 светодиодов с максимумом спектра излучения в зеленой области спектра (примерно 500 нм). При разработке модели учитывались физические свойства всех слоев изделия: алюминиевого основания, медной фольги, диэлектрика, припоя и кристалла из нитрида галлия. Трехмерная тетраэдрическая сетка состоит из 1×546×256 элементов на сгущающихся сетках.

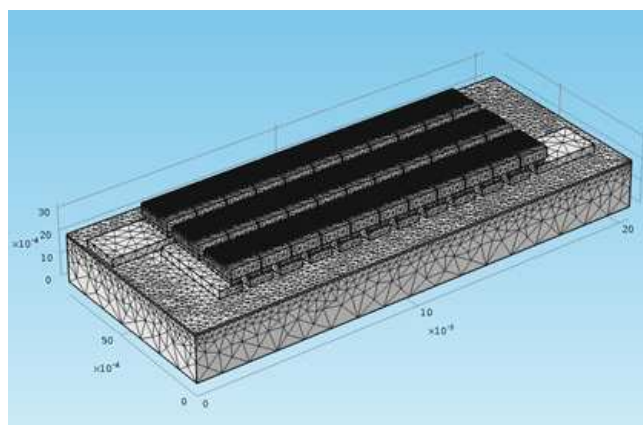


Рисунок 2 – Вид сетки в среде моделирования COMSOL Multiphysics

Численное решение математической модели было получено методом конечных элементов [4]. В результате расчёта программа выдаёт распределение температуры по элементам системы, что

Гладковский Виктор Иванович, доцент кафедры физики Брестского государственного технического университета.

Борушко Вадим Васильевич, ст. преподаватель кафедры физики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

позволяет судить о температурном режиме устройства и выявить его «горячие точки». Результаты работы расчётной программы представлены на рисунке 3.

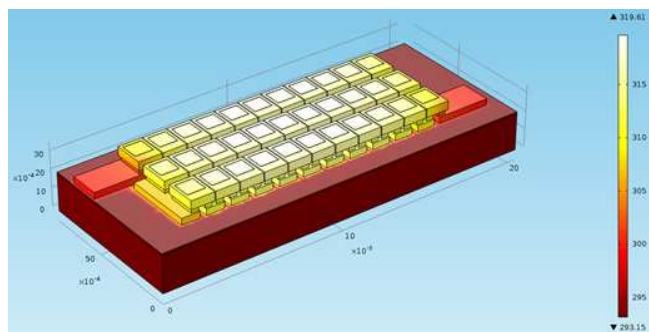


Рисунок 3 – Распределение температуры по светодиодной матрице

Моделирование теплового распределения проводилось при различных величинах тока инжекции светодиодов. На рисунке 4 представлены зависимости максимальной температуры T в активной области светодиодов от тепловой мощности q , идущей на нагревание светодиодного кристалла, полученные в результате расчетов и экспериментально. Экспериментальный график строился по результатам опытов при трёх токах инжекции.

Заключение. Осуществив подбор табличных параметров слоёв, получили расчетным методом результаты, достаточно близкие к экспериментальным. Из сравнения графиков, построенных по экспериментальным и расчетным данным, видно, что зависимости достаточно близки друг к другу, следовательно, использование данного программного обеспечения при оптимизации теплового режима является вполне оправданным. Некоторое несовпадение экспериментальных и расчетных данных предположительно может быть связано с нагревом светодиодов за счёт лучистого теплообмена между ними, что будет учтено при дальнейшей работе над проблемой оптимизации теплового режима светодиодов.

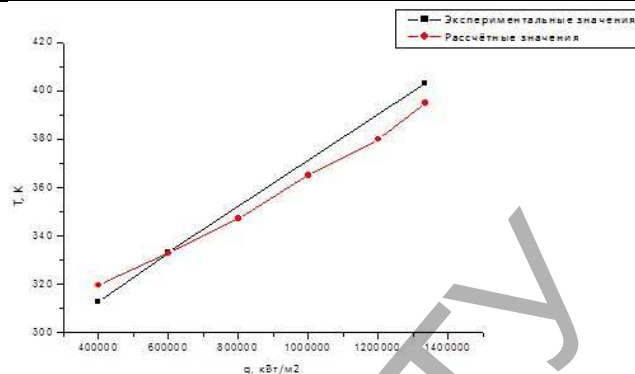


Рисунок 4 – Экспериментальные и расчётные зависимости температуры от тепловой мощности

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Козынько, П. А. Разработка подсистем электро-теплового моделирования БИС и печатных плат в среде промышленной САПР: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12 / П. А. Козынько. – Москва, 2010. – 109 с.
2. Philips Lumileds // Сайт компании [Электронный ресурс]. –2013. – Режим доступа: <http://www.philipslumileds.com/uploads/375/DS105-pdf> – Дата доступа: 07.12.2018.
3. Данильчик, А. В. Матрица светодиодов с принудительным охлаждением / А. В. Данильчик, А. Г. Войнилович, Н. В. Ржеуцкий, М. С. Леоненя, В. Н. Павловский, Е. В. Луценко // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе: 9-й Белорусско-Российский семинар: Сб. науч. ст. / НАН Беларуси, Институт физики им. Б. И. Степанова, РАН, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе; науч. ред. Г. П. Яблонский. – Минск: Ковчег, 2013. – 258 с.
4. Дульнев, Г. Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов – М.: Высшая школа, 1990. – 208 с.

Материал поступил в редакцию 14.12.2018

HLADKOUSKI V. I., VOLCZEK A. A., BORUSHKO V. V. Heat mode optimization of a LED matrix

The paper presents the LED matrix thermal regime optimization results based on a three-dimensional heat equation numerical solution by the finite element method using the COMSOL Multiphysics software package with one of the boundary conditions written in the form of convective heat transfer. The statement of the problem is connected with the fact that the LEDs operating parameters are strongly dependent on temperature. This leads to severe restrictions on the operating temperature range of lighting elements, the creation of temperature protection circuits and the improvement of heat removal methods. Therefore, the LED matrix thermal regime optimization is becoming an important stage in the development and design of modern LED matrices.

УДК 517.9

Жук А. И., Каримова Т. И.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ С ОБОБЩЕННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ В ПРЯМОМ ПРОИЗВЕДЕНИИ АЛГЕБР МНЕМОФУНКЦИЙ

В данной статье рассмотрим следующую систему нелинейных дифференциальных уравнений с обобщенными коэффициентами на отрезке $T = [0; a] \subset \mathbb{R}$:

$$\dot{x}^i(t) = \sum_{j=1}^q f^{ij}(x(t)) \dot{L}^j(t), \quad i = \overline{1, p}; \quad (1)$$

$$x(0) = x_0, \quad (2)$$

где $\dot{L}^j(t)$ – обобщенные производные, а функции $f^{ij}(t, x(t))$ не

являются гладкими. Таким образом, произведение $f^{ij}(t, x(t)) \dot{L}^j(t)$ является некорректным, и решение задачи (1)–(2) зависит от трактовки рассматриваемого произведения.

В данной работе задача (1)–(2) рассматривается в алгебре новых обобщенных функций. Впервые алгебра новых обобщенных функций была построена в [1], а общий метод построения подобных алгебр описан в [3]. В данной работе используется алгебра, определенная в [4] (см., также [5]).

Приведем построение алгебры новых обобщенных функций из [5].

Жук Анастасия Игоревна, к. физ.-мат. н., доцент, доцент кафедры высшей математики Брестского государственного технического университета.

Каримова Татьяна Ивановна, к. физ.-мат. н., доцент, доцент кафедры высшей математики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Физика, математика, информатика