

УДК 53.06:51-74

**В. И. ГЛАДКОВСКИЙ, В. В. БОРУШКО**

Брест, БрГТУ

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ МАТРИЦЫ СВЕТОДИОДОВ**

Полупроводниковая светотехника в настоящее время является одним из приоритетных направлений развития науки и техники в большинстве развитых стран. В машиностроении и авиакосмической технике все более широко применяются мощные светодиодные источники. 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.

В то же время 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 может привести 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.

Для определения оптимальных тепловых условий работы матрицы светодиодов было проведено 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  $1,5 \times 0,6$  см<sup>2</sup>, расположенная на алюминиевой подложке. Общий вид устройства показан на рисунке 1.

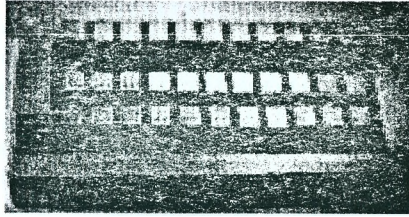


Рисунок 1 – Общий вид светодиодной матрицы

На подложку методом поверхностного монтажа посажены соединенные электрически последовательно тридцать три светодиода марки Philips-Lumileds LXZ1-PE01-0048. 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.

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

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

где  $C_p$  – теплоемкость,  $\rho$  – 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  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \bar{i} + \frac{\partial}{\partial y} \bar{j} + \frac{\partial}{\partial z} \bar{k}$  – 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.

Модель светодиодной матрицы из 33 светодиодов с максимумом спектра излучения в зеленой области спектра (примерно 500 нм) была построена в пакете моделирования COMSOLMultiphysics. 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  $1 \times 546 \times 256$  элементов на сгущающихся сетках) показана на рисунке 2.

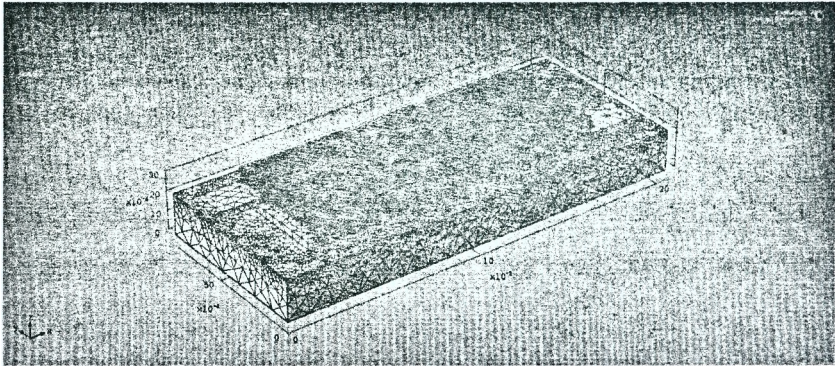
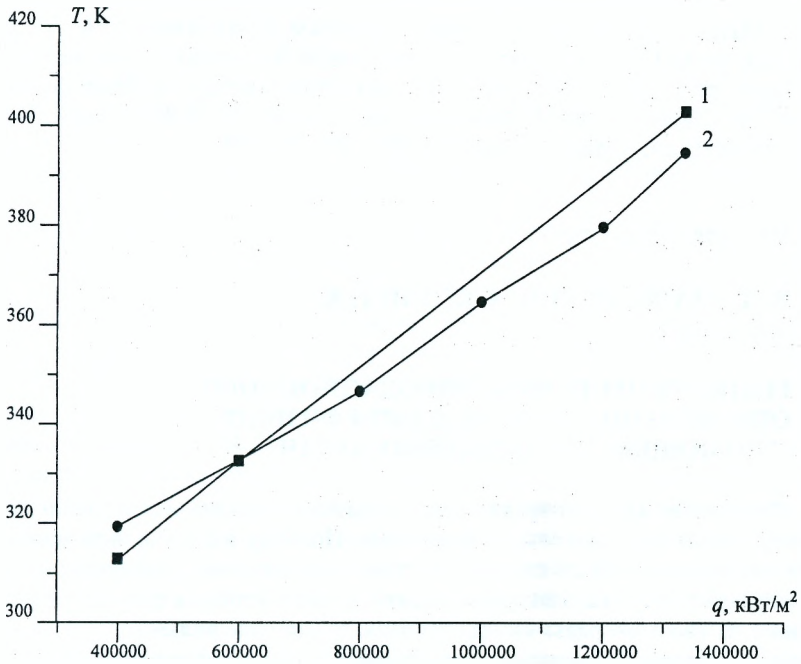


Рисунок 2 – Вид сетки в среде моделирования COMSOLMultiphysics

Численное решение математической модели было получено методом конечных элементов. В результате расчета программа выдает распределение температуры по элементам системы, что позволяет судить о температурном режиме устройства и выявить его «горячие точки».

Моделирование теплового распределения проводилось при различных величинах тока инжекции светодиодов. На рисунке 3 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 трех значениях тока инжекции.



1 – экспериментальные значения; 2 – расчетные значения

Рисунок 3 – Сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей температуры от тепловой мощности

Осуществив подбор табличных параметров слоев, получили расчетным методом результаты, достаточно близкие к экспериментальным [1]. Из сравнения графиков, построенных по экспериментальным и расчетным данным, следует, что зависимости достаточно близки друг к другу. Использование данного программного обеспечения для моделирования теплового режима работы светодиодов является вполне оправданным. Обычно для охлаждения используют радиатор, однако в нашем случае он не дает достаточного охлаждения. Для обеспечения более эффективного охлаждения матрицы логично использовать оба способа одновременно. Оценка этого способа охлаждения будет дана при дальнейшей работе над моделью.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матрица светодиодов с принудительным охлаждением / А. В. Данильчик [и др.] // Полупроводниковые лазеры и системы на их основе : сб. науч. ст. 9-го белорус.-рос. семинара / НАН Беларуси, Ин-т физики им. Б. И. Степанова, РАН, Физ.-техн. ин-т им. А. Ф. Иоффе ; науч. ред. Г. П. Яблонский. – Минск : Ковчег, 2013. – С. 178–179.