

УДК 621.32.032

*М.В. ВОРОПАЕВ\*, \*\*, Д.Д. КАРИМБАЕВ\*, А.И. КОХ\*, А.П. КОХАНЕНКО\*\**

## РАЗРАБОТКА МОЩНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СВЕТИЛЬНИКА ДЛЯ ВАКУУМИНЫХ КАМЕР

Представлены результаты теплового расчета светодиодного модуля и экспериментальные измерения температуры светового модуля в вакууме.

**Ключевые слова:** тепловой анализ, температура, программный комплекс ANSYS, степень черноты.

### Введение

В настоящее время светодиодные источники белого света широко используются для бытовых и промышленных задач. При практическом использовании таких источников для работы на атомных электростанциях (АЭС) возникает целый ряд особых требований к конструкции и материалам, используемым при создании полупроводникового светильника [1, 2].

Ядерные изотопы на АЭС находятся в специальных вакуумных камерах. При разработке систем освещения в этих камерах необходимо учитывать, что корпус светового модуля должен быть из нержавеющей стали 12Х18Н10Т с низкой теплопроводностью и отвод тепла от источника света, находящегося в вакууме, будет происходить только за счёт теплового излучения. Кроме этого, задаются требования и к основным параметрам полупроводникового светильника: излучаемый световой поток не менее 3000 Лм; температура  $p-n$ -перехода светодиодных кристаллов не более  $+60$  °С; масса источника света должна быть не более 6 кг.

### Модель единичного светодиодного элемента

При разработке полупроводникового светильника за основу была взята светодиодная матрица, изготавливаемая в НИИПП, электрическая мощность 40 Вт (светоотдача матрицы 100 Лм/Вт). Для повышения отвода тепла от светодиодной матрицы в работе предлагается использовать чернение внутренней части корпуса светильника. На рис. 1 представлена модель единичного светового элемента матрицы, используемая при проведении расчетов в программном комплексе ANSYS [3, 4]. Поток тепла поступает от светодиодного кристалла, размещенного на керамической пластине (нитрид алюминия) с помощью токопроводящей пасты DIMAT, которая, в свою очередь, крепится с помощью припоя на пластину из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Расчеты температурных полей единичного светового элемента проводились с учетом конкретных значений параметров материалов, используемых при разработке светодиодных модулей (таблица). На внутренней поверхности вакуумной камеры степень черноты выбиралась 0.9, на внешней поверхности 0.08 (рис. 1), а на светодиодный кристалл с размерами  $1 \times 1$  мм подается электрическая мощность 0.3 Вт (КПД 50 %).

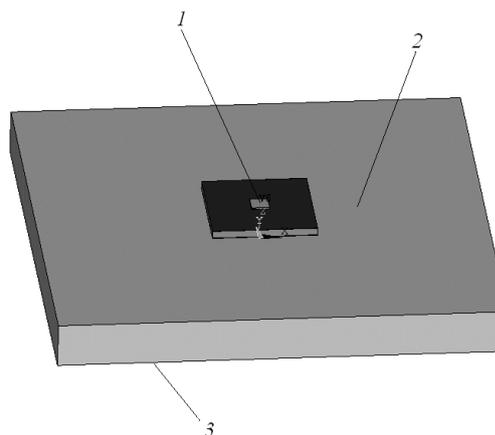


Рис. 1. Модель единичного светодиодного элемента: 1 – поверхность светодиодного кристалла (площадь теплового потока); 2 – поверхность со степенью черноты 0.9; 3 – поверхность со степенью черноты 0.08

Проведенные расчеты температурных полей единичного светодиодного элемента светового модуля с помощью программного комплекса ANSYS позволяют провести оптимизацию размеров

(площади и толщины) теплорассеивающего основания из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, приходящегося на один кристалл (рис. 1).

#### Параметры элементов в модели единичного светодиодного элемента светового модуля

| Наименование основных элементов            | Толщина слоя | Теплопроводность материала, Вт/(м·°С) |
|--|--------------|---------------------------------------|
| Светодиодный кристалл InGaN 1×1 мм         | 100 мкм      | 65                                    |
| Токопроводящая паста для посадки кристалла | 20 мкм       | 60                                    |
| Металлизация                               | 7 мкм        | 360                                   |
| Керамика (AlN) 30×30                       | 0.45 мм      | 150                                   |
| Припой                                     | 20 мкм       | 65                                    |
| Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т                | 0.7–3 мм     | 15                                    |

#### Экспериментальные исследования

На рис. 2 представлены зависимости распределения температуры теплорассеивающего основания единичного светодиодного элемента светового модуля от толщины пластины, а на рис. 3 – результаты расчетов температуры  $p$ – $n$ -перехода светодиодного кристалла единичного светодиодного элемента светового модуля от площади теплорассеивающего основания. На основе полученных результатов с учетом требований по ограничению температуры  $p$ – $n$ -перехода светодиодного кристалла (+60 °С) и минимизации размеров и веса разрабатываемого светильника были выбраны размеры теплорассеивающего основания из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, приходящегося на один светодиодный кристалл светового модуля 30×30×1.5 мм.

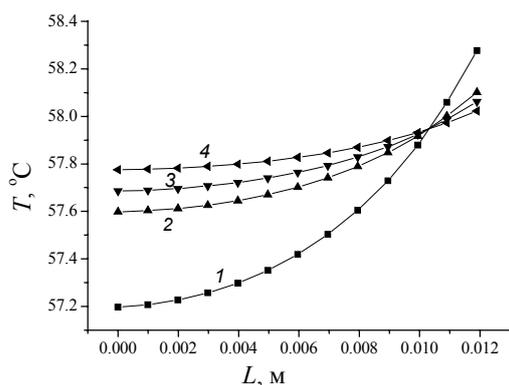


Рис. 2. Распределение температуры по поверхности теплорассеивающей площадки единичного светодиодного элемента светового модуля от толщины пластины, мм: кр. 1 – 0.7; кр. 2 – 1.5; кр. 3 – 2; кр. 4 – 3

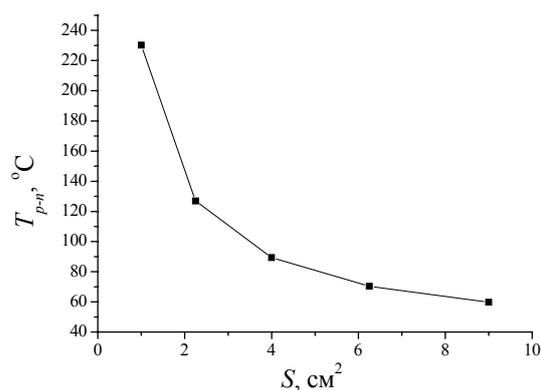


Рис. 3. Зависимость температуры  $p$ – $n$ -перехода светодиодного кристалла единичного светодиодного элемента светового модуля от площади теплорассеивающего основания

На рис. 4 представлены рассчитанные зависимости температуры  $p$ – $n$ -перехода светодиодного кристалла единичного светодиодного элемента матрицы от степени черноты внутренней поверхности теплорассеивающего основания с выбранными ранее оптимальными размерами основания. Можно отметить сильную зависимость температуры  $p$ – $n$ -перехода от степени черноты внутренней поверхности теплорассеивающего основания. Результаты этого расчета показывают, что только при выборе максимального чернения внутренней поверхности теплорассеивающего основания мы можем получить температуру  $p$ – $n$ -перехода светодиодного кристалла менее 60 °С.

Экспериментальные измерения зависимостей температуры теплорассеивающего основания при помощи термопары от тока, подаваемого на каждый светодиодный кристалл, проводились на экспериментальном макете светового модуля, состоящем из 5 светодиодных кристаллов. Размеры экспериментального светового модуля и параметры его элементов полностью соответствовали значениям, используемым ранее при расчетах размеров (площади и толщины) теплорассеивающе-

го основания из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, приходящегося на один кристалл. Измерения проводились при комнатной температуре.

На рис. 5 представлены четыре кривые зависимости температуры теплорассеивающего основания от тока через светодиодный кристалл для следующих случаев:

кр. 1 – измерения проводились на воздухе без чернения внутренней поверхности подложки;

кр. 2 – измерения проводились в вакууме (1–20 Па) без чернения внутренней поверхности подложки;

кр. 3 – измерения проводились на воздухе при чернении внутренней поверхности подложки;

кр. 4 – измерения проводились в вакууме (1–20 Па) при чернении внутренней поверхности подложки.

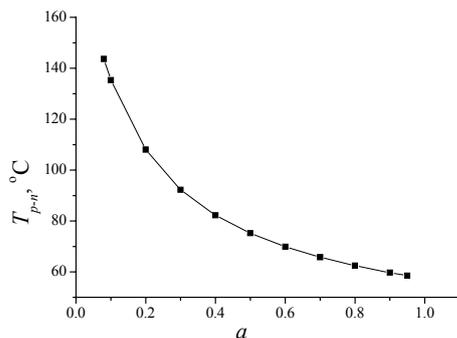


Рис. 4. Зависимость температуры  $p$ – $n$ -перехода светодиодного кристалла единичного светодиодного элемента матрицы от степени черноты внутренней поверхности теплорассеивающего основания

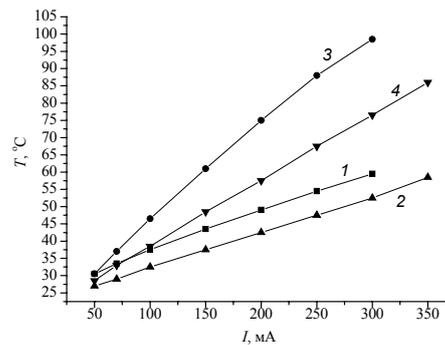


Рис. 5. Экспериментальные измерения зависимостей температуры теплорассеивающего основания от тока через  $p$ – $n$ -переход светодиодного кристалла

Представленные экспериментальные измерения подтверждают результаты расчетов о необходимости чернения внутренней поверхности теплорассеивающего основания светодиодного модуля при работе источника света в вакуумной камере. С учетом того, что работа источника света планируется в вакуумной камере при температуре не ниже 30 °С, был выбран максимальный ток, который можно подавать на каждый светодиодный кристалл (150 мА).

### Заключение

Таким образом, на основе представленных в работе теоретических расчетов и экспериментальных результатов была разработана конструкция светильника со световым потоком не менее 3000 Лм, температурой корпуса источника света не выше +60 °С и массой не более 4 кг для работы в вакуумной камере.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свигнёв Ю. Теплоотвод в современных осветительных системах: решение Fischer // Новости электроники + светотехника. – 2011. – № 10. – С. 4–5.
2. Миранович В., Филоненко И. Мощные светодиоды: особенности применения, проблемы и методы решения на примере светодиодов компании PROLIGHT OPTO TECHNOLOGY. // Электронные компоненты. – 2007. – № 6. – С. 45–49.
3. Капулин А.Б., Морозова Е.М., Олфёрова М.А. ANSYS в руках инженера: практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
4. Босов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК-Пресс, 2005. – 640 с.

\*ОАО НИИПП, г. Томск, Россия

\*\*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия

E-mail: koh@mail.tsu.ru

Поступила в редакцию 25.09.14.

Воропаев Михаил Владимирович, аспирант, мл. науч. сотр.;  
Каримбаев Дамир Джамулетдинович, зав. лабораторией;  
Кох Александр Иванович, инженер;  
Коханенко Андрей Павлович, д.ф.-м.н., профессор.

*M.V. VOROPAEV\*,\*\*, D.D. KARIMBAEV\*, A.I. KOH\*, A.P. KOHANENKO\*\**

## **DEVELOPMENT POWER SEMICONDUCTOR FIXTURES FOR THE VACUUM CHAMBER**

The results of thermal calculation of the LED module and experimental measurements of the temperature of the light module in a vacuum

**Keywords:** *thermal analysis, temperature, software package ANSYS, the degree of blackness.*

### REFERENCES

1. Svitnev Yu. Teplootvod v sovremennyh osvetitelnyh sistemah: rechenie Fischer. *Novosti elektroniki+svetotekhnika*, 2011, № 10, pp. 4–5.
2. Miranovich V. and Filonenko I. Moshnye svetodiody: osobennosti primeneniya, problemy i metody recheniya na primere svetodiodynoi kompanii PROLIGHT OPTO TECHNOLOGY. *Elektronnyye komponenty*, 2007, no. 6, pp. 45–49.
3. Kapelin A.B., Morozova E.M., and Olferova M.A. *ANSYS v rurach inzhenera: Prakticheskoe rukovodstvo*. Moscow, Editorial URSS Publ., 2003, 272 p.
4. Bosov K.A. *ANSYS: spravochnik polzovatelya*. Moscow, DMK-Press, 2005, 640 p.

\*OAO NIIPP, г. Tomsk, Russia

\*\*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

E-mail: koh@mail.tsu.ru

---

Voropaev Mikhail Vladimirovich, graduate student;  
Karimbayev Damir Dzhamuletdinovich, head of the laboratory;  
Koch Alexander Ivanovich, engineer;  
Kokhanenko Andrey Pavlovich, Dr.Sci., professor.