

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

**Савкова Т.Н., Кравченко А.И., Колесник Ю.Н.**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого  
Гомель, Республика Беларусь*

Изменение принципов конструирования световых осветительных приборов с использованием светодиодов (СД) продиктовано физическими процессами полупроводников. Одним из основных способов создания надёжных и эффективных светодиодных приборов основан на параллельном планировании тепловых, электрических, оптических и спектральных свойств источника освещения [1].

Важнейшая проблема при проектировании световых приборов с СД – обеспечение требуемого теплового режима СД. Большинство параметров СД, в основном определяющие их превосходство над другими источниками света – срок службы и световая отдача – сильно зависят от температуры активной области. Превышение температуры «*p-n*» – перехода ведёт к уменьшению светового потока и ускоренной деградации кристалла. На температуру перехода влияет путь распределения тепла между переходом и окру-

жающей средой (определяется тепловым сопротивлением), мощность рассеивания светодиода, температура окружающей среды, а также ток питания [2,3].

Существует несколько способов определения температуры активной области светодиодов. Методы, основанные на зависимости прямого напряжения светодиода от температуры [4] – [8], являются косвенными, контактными, требующие калибровочных измерений.

По методу [9], температура «*p-n*» – перехода определяется по смещению спектрального максимума излучения в область коротких длин волн при повышении температуры. Данный способ характеризуется большой погрешностью из-за наличия шумов и возможной интерференции в спектре излучения СИД. Отличительной особенностью метода [10], является определение зависимостей длины волны от температуры для заданных точек в выбранной длинноволновой

части спектра излучения светодиода.

Еще один метод основан на применении рамановской спектроскопии, с помощью которой может быть определена температура различных слоев структуры [11]. Для светодиодов, у которых в качестве подложки используется сапфир, температура может быть определена с помощью оптического измерения длин волн линий, излучаемых хромом (Cr3+), который находится в подложке в виде примеси [12].

Целью данной работы является разработка метода определения тепловых характеристик мощных светодиодов (СД): мощности тепловых потерь, температуры «*p-n*» – перехода, теплового сопротивления и т.д.

Определение тепловых характеристик СД проводилось с использованием экспериментальной установки (рис.1), основными элементами которой являются: калориметр, микроконтроллер, блок питания и персональный компьютер.

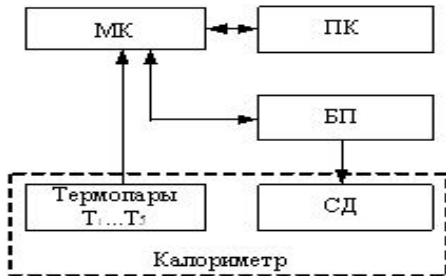


Рисунок 1 – Блок–схема экспериментальной установки для определения тепловых характеристик СД: МК – микроконтроллер, БП – блок питания, СД – светодиод (ARPL–3W6000), ПК – персональный компьютер

В калориметр устанавливали радиатор в форме усеченной сферы из металла с высокой теплопроводностью с закреплённым на нём СД. Съёмная крышка калориметра имела технологическое отверстие для вывода светового излучения СД. Измерение температуры осуществлялось термопарами, установленными на излучающей поверхности, корпусе и подложке СД, радиаторе, а также на корпусе калориметра.

Управление блоком питания, измерение ЭДС термопар, первичная обработка результатов измерений, а также передача этих данных в ПК осуществлялась программируемым микроконтроллером «Arduino».

Измерения температуры проводились при токах от 0,1 – 1,0 А через «*p-n*» – переход СД.

По измеренным температурам элементов поверхности СД, радиатора и калориметра на основании закона Стефана–Больцмана и формулы Ньютона определялась энергия теплового излучения и энергия, уносимая конвекционным потоком. В целом, энергия тепловых потерь ««*p-n*» – переход – окружающая среда» при установленном токе в условиях стационарного режима за

время измерения определялась соотношением:

$$Q_T = Q_J + Q_S + Q_B + Q_C, \quad (1)$$

где  $Q_J$ ,  $Q_S$ ,  $Q_B$  и  $Q_C$  – тепловые потери энергии с поверхности линзы, корпуса, подложки СД и радиатора.

Тепловая энергия, приходящая от активной области (АО) и рассеиваемая поверхностями линзы и корпуса СД (других элементов) на основании закона Фурье в условиях стационарного режима определяется соотношениями:

$$Q_{JJ} = \frac{\lambda_{JJ} \cdot S_J}{d_{JJ}} \cdot (T_J - T_{J'}) \cdot t \quad (2)$$

$$\text{и } Q_{JS} = \frac{\lambda_{JS} \cdot S_S}{d_{JS}} \cdot (T_J - T_S) \cdot t, \quad (3)$$

где  $\lambda_{JJ}$  и  $\lambda_{JS}$  – теплопроводность среды, заполняющей пространство между активной областью и поверхностями линзы и корпуса СД;  $S_J$  и  $S_S$  – площадь поверхностей линзы и корпуса СД;  $d_{JJ}$  и  $d_{JS}$  – средние расстояния от АО СД до поверхности линзы и корпуса;  $T_J$ ,  $T_{J'}$  и  $T_S$  – температуры «*p-n*» – перехода, поверхности линзы и корпуса, соответственно;  $t$  – время измерения. Записав эти соотношения для двух токов  $I_1$  и  $I_2$ , после несложных вычислений, получим температуру АО  $T_{J1}$  и  $T_{J2}$ :

$$T_{J1} = n_2 \cdot T_{J2} - n_2 \cdot T_{J'2} + T_{J1}$$

$$\text{и } T_{J2} = \frac{T_{J1} - T_{S1} + n_2 \cdot T_{S2} - n_1 \cdot T_{J'2}}{n_2 - n_1}, \quad (5)$$

$$\text{где } n_1 = \frac{Q_{J1}}{Q_{J2}} \text{ и } n_2 = \frac{Q_{S1}}{Q_{S2}}.$$

Рассчитанные величины энергии (мощности) тепловых потерь и температуры АО СД позволяют определить ряд составляющих теплового сопротивления СД, энергетический выход, энергию и мощность светового излучения. Так, для токов  $I_1 = 0.35\text{A}$  и  $I_2 = 0.7\text{A}$  через «*p-n*» – переход СД (ARPL–3W6000): мощности тепловых потерь составили – 0.67 и 1.65Вт; мощности светового излучения – 0.41 и 0.75Вт; энергетическая эффективность – 38% и 31%; температуры АО – 85 и 149 °С; тепловое сопротивление «АО – окружающая среда» – 84 и 73°С/Вт, соответственно. Погрешность определения тепловых параметров СД составила порядка 10%.

Таким образом, предложен калориметрический метод определения тепловых характеристик мощных светодиодов, который может быть использован для контроля их качества, а также при проектировании осветительных устройств.

1. Менжини, М. Разработка надежных светодиодных источников освещения / М. Менжини, Г. Менжессо, Э. Занони, М. Да Лаго, Н. Тривеллин // Полупроводниковая светотехника, – 2013, №5, – С. 61–64.
2. Миранович, В. Мощные светодиоды: особенности применения, проблемы и методы решения на примере светодиодов компании Prolight Opto Technology / В. Миранович, И. Филоненко // Электронные компоненты, – 2007, №6, – С. 45–49.
3. Xi Y. Junction-temperature measurement in GaN ultraviolet light-emitting diodes using diode forward voltage method / Y. Xi, E.F. Shubert // Appl. Phys. Lett. – 2004. – Vol. 85. – P. 2163.
4. Y. Xi, J. – Q. Xi, Th. Gessmann, J.M. Shah, J.K. Kim, E.F. Schubert, A.J. Fisher, M.H. Crawford, K.H.A. Bogart, A.A. Allerman. Appl. Phys. Lett., 86, 031 907 (2005).
5. Пат. US 2010/0004892 A1 /Ming-Te LIN, Knang-Yu Tai, Jyh-Chen Chen, Farn-Shiun Hwu. Method for Measuring PN-Junction Temperature of Light-Emitting Diode; опублик. 14.01.2009. Бюл. № 12/353, 294.
6. Пат. US 2011/0031903 A1 / V.N. Hoang, R. Surdeanu, P. Bracken, B. Bataillou, D.V. Steenwinekel. System and method for estimating the junction temperature of a light emitting diode; опублик. 27.01.2009. Бюл. № 12/863, 744.
7. Пат. US 2010/0315019 / G. Hoogzaad, Schmitz, H. M. Wilhelmus, R. Surdeanu. Led driver circuit and method, and system and method for estimating the junction temperature of a light emitting diode; опублик. 27.01.2009. Бюл. № 12/863, 740.
8. Пат. US 2009/0306912 A1 / J.-C. Chen, F.-S. Hwu, G.-J. Sheu, K.-C. Chen, F.-L. Lin. Method of measuring LED junction temperature; опублик. 20.08.2008. Бюл. № 12/194, 591.
9. Пат. US 2008/0205482 A1 / D. Cao, Z. –H. Lin. Method and testing equipment for LEDs and Laser diodes; опублик. 23.02.2007. Бюл. № 11/678, 243.
10. Патент № 2011147653/ А.Н. Пихтин, С.А. Тарасов, Е.А. Менькович. Способ определения температуры активной области светодиодов; опублик. 23.02.2007. Бюл. № 11/678, 243.
11. Kuball M. Self-Heating effects at high Pump Currents in Deep UV LED /M. Kuball, S. Pajasingam, A. Sarua et al. // Appl.Phys.Lett. 2003. Vol. 82. P. 124.
12. Winewisser C. In-situ temperature measurements via ruby R-lines of sapphire substrate based InGaN light emitting diodes during operation / C. Winewisser, J. Schneider // J. Appl. Phys. 2001. Vol. 89. – P. 3091.