

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВАНИЯ ЛЮМИНОФОРА ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЧИПА

Рымхан Ауганбай Муратулы, Цзюй Янъян
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.М. Лисицын
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: lisitsyn@tpu.ru

Введение

Светодиоды постепенно замещают другие источники света в освещении, осветительных приборах [1,2]. Источники света на основе светодиодов имеют высокую световую отдачу, большой срок службы. В основном светодиоды «белого» света представляют собою чипы, излучающие в синей области спектра, с нанесенным на них люминофором, частично преобразующим это излучение в длинноволновое. Наибольшее распространение получили люминофоры на основе иттрий-алюминиевых гранатов (ИАГ, $Y_3Al_5O_{12}$, активированные церием излучения [3,4]. Эти люминофоры обеспечивают высокий выход преобразования УФ и синего излучения в видимое в области 500 – 650 нм. Существенным представляется то, что люминесценция в них возбуждается излучением в области 460 нм, на которую приходится максимум излучения эффективных чипов на основе InGaN. Результирующий «белый» свет таких светодиодов является комбинацией частично прошедшего «синего» света чипа и люминесценции. Эффективность преобразования излучения чипа люминофором в основном определяются светотехнические характеристики светодиодного источника света.

Преобразование в светодиоде УФ или синего излучения чипа в видимое люминофором сопровождается его нагреванием. В [5] показано, что не менее 25-30% энергии возбуждения чипа с максимумом излучения в области 450 нм, поглощенная люминофором, теряется на нагревание люминофора. Для УФ чипа с максимумом излучения в области 365 нм на нагревание люминофора расходуется до 40 % поглощенной энергии. Очевидно, столь большая величина потерь энергии не только ограничивает предельное значение эффективности преобразования. Нагревание приводит к температурному тушению люминесценции. Поэтому необходима оценка значений предельных температур, до которых люминофор нагревается, кинетики нарастания температуры люминофора, связи этих параметров с теплофизическими характеристиками люминофора, композита на его основе, геометрических характеристик кристалла люминофора, слоя композита.

Экспериментальная оценка температуры кристаллов люминофора затрудняется их малыми размерами, сложной формой, многовариантностью отвода тепла от частицы в реальных условиях. Поэтому представляется перспективной разработка подходов к теоретической оценке предельных значений температуры, до которой люминофор нагревается и времени его нагревания при преобразовании излучения чипа.

Результаты расчетов

Геометрическая модель для расчета представляла собою следующее. На частицу люминофора в виде куба со стороной 0,01 мм падал тепловой поток в виде параллельного пучка от источника излучения в виде параллелепипеда размером 0,02x0,02x0,01мм. Плотность подводимой к люминофору тепловой мощности варьировалась в пределах 40–180 кВт/м². Диапазон мощности выбран из следующих соображений: чип мощностью 1 Вт генерирует излучение с плотностью около 0,4 Вт/мм², 25% которого передается в виде тепла люминофору. В расчетах предполагалось, что излучающая поверхность чипа – абсолютное черное тело. Переданное люминофору тепло полностью им поглощалось. Коэффициент теплового излучения люминофора принимался равным нулю, так как ожидаемая температура нагрева невелика. Расстояние между излучающей поверхностью чипа и передней поверхностью люминофора было принято равным 0,01 мм.

В настоящей работе для расчетов использовался модуль Flow Simulation, интегрированный в систему SolidWorks. Для расчетов были использованы следующие значения параметров: плотность люминофора 4560 кг/м³, удельная теплоемкость – 590 Дж/кг К, коэффициент теплопроводности – 14 Вт/м К, коэффициент поглощения – 100 мм⁻¹. Тепловой расчет проводился при температуре

окружающей среды 20°C. Вся система находится в открытой атмосфере: давление 101325 Па, скорость воздушного потока 0 м/с, влажность 50 %.

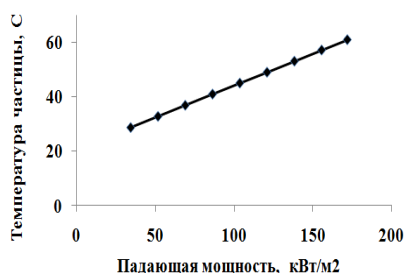


Рис.1. Зависимость предельной температуры нагревания люминофора при преобразовании потока возбуждения от плотности мощности падающего потока тепла.

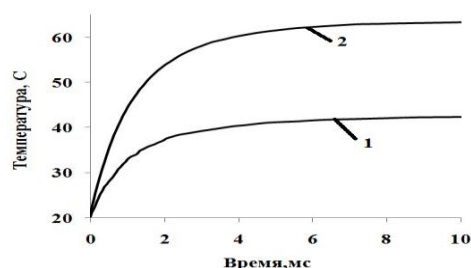


Рис.2. Кинетика нарастания температуры люминофора со временем возбуждения при мощности потока возбуждения 1-85кВт/м²; 2-175 кВт/м².

Были рассчитаны величины предельной температуры, до которой нагревалась частица люминофора при поглощении потока излучения. В светодиоде, как было сказано выше, при преобразовании потока возбуждения люминофором около 25 % передается ему в виде тепла. Люминофор имеет достаточно высокую теплопроводность, поэтому в расчетах предполагалось, что теплоотвод конвекцией через воздух осуществлялся со всей поверхности частицы. Поглощенному потоку $1 \cdot 10^5$ Вт/м² в люминофоре соответствует поток возбуждения 0,4 Вт, который обычно генерируется чипом мощностью 1 Вт. Как показали расчеты, при работе светодиода при температуре 20 С люминофор разогревается до температуры 44 С. Результаты расчетов приведены на рис.1 и 2. На рис.1 приведена зависимость предельной температуры нагревания люминофора от величины поглощенной мощности. С ростом мощности потока возбуждения температура растет в исследованной области линейно и достигает при поглощенной мощности потока возбуждения 180 кВт/м² величины, равной 63 С.

На рис. 2 приведена рассчитанная зависимость нарастания температуры со временем воздействия потока возбуждения. Температура частицы люминофора быстро нарастает и достигает предельной величины за время около 0.01 с. Скорость нарастания температуры ниже при низких значениях плотности потока возбуждения.

Заключение

Потери энергии возбуждения в люминофоре при преобразовании в люминесценцию приводят к нагреванию люминофора. Величина нагрева люминофора в реально выпускаемых светодиодах может достигать 60 С. Очевидно, предельная температура нагрева будет определяться процессами теплоотвода. Это обстоятельство следует учитывать при создании люминофорного композита. Полимер, на основе которого делается композит, должен иметь максимально возможную теплопроводность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальчина Н.А., Гофштейн-Гардт А.Л., Коган Л.М., Социн Н.П. Мощные белые светодиоды со световой отдачей до 120 лм/Вт и изделия на их основе // Светотехника. – 2010. – № 4. – С. 51–53.
2. Аладов А.В., Васильева Е.Д., Закгейм А.Л., Иткинсон Г. В., Лундин В.В., Мизеров М.Н., Устинов В.М., Цацульников А.Ф./ О современных мощных светодиодах и их светотехническом применении// Светотехника.- 2010, -№ 3.- Стр. 8-16.
3. Брискина Ч.М., Румянцев С.И., Рыжков М.В., Социн Н.П., Спаский Д.А..Поиск оптимальных составов гранатовых люминофоров с Ce^{3+} для белых светодиодов «Светотехника», 2012, № 5, стр 37-39.
4. Ke Li, Changyu Shen. White LED based on nano-YAG:Ce³⁺/YAG:Ce³⁺,Gd³⁺ hybrid phosphors. Optik 123 (2012) 621– 623.
5. Lisitsyn V. M., Stepanov S. A., Ju Yangyang, Lukash V. S. White LEDs with limit luminous efficacy // AIP Conference Proceedings. – 2016 – Vol. 1698. – P. 060008