

**ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В ЛЮМИНОФОРЕ СВЕТОДИОДА ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ  
СПЕКТРА**

Цзюй Янян, С.А. Степанов, Д.В. Сарасеко

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.М. Лисицын  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [stepanovsa@tpu.ru](mailto:stepanovsa@tpu.ru)

**HEAT LOSSES IN PHOSPHOR -CONVERTED LEDS DURING SPECTRUM CONVERSION**

Ju Yangyang, S.A. Stepanov, D.V Saraseko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.M. Lisitsyn  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: [stepanovsa@tpu.ru](mailto:stepanovsa@tpu.ru)

***Abstract.** In this paper, showed the results of heat losses in phosphor-converted LEDs (hereinafter chips) during spectrum conversion. The limit values of the luminous efficacy for LEDs are evaluated.*

Наибольшее распространение получили светодиоды (СД), в которых синее или УФ излучение чипа преобразуется в видимое с помощью люминофоров [1]. В современных СД около половины подводимой мощности выделяется в чипе. Совершенствование технологии производства и конструкции чипов может уменьшить эту величину до 25% [2]. Вместе с тем, не менее 25% возбуждающей энергии выделяется в виде тепловой в люминофоре СД при преобразовании квантов УФ или синего спектрального диапазона в видимое [3]. Эта доля тепловыделения не может быть существенно уменьшена. Более того, ее величина может быть больше для СД с высоким индексом цветопередачи.

В настоящей работе представлены результаты расчёта тепловых потерь в СД за счёт преобразования УФ излучения чипа в видимое люминофором в зависимости от взаимного положения их спектров.

Ниже приведены результаты расчетов энергетических параметров преобразования излучения чипа люминофором в видимое. Значения энергетического выхода преобразования  $\eta_e$ , световой отдачи  $\eta_l$  и относительных потери энергии  $\eta_i$  рассчитывались с использованием выражений:

$$\eta_e = \frac{\varphi_{\lambda_{ml}} \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} \varphi_l(\lambda) d\lambda}{\varphi_{\lambda_{mc}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_c(\lambda) d\lambda}; \quad \eta_l = \frac{683 \cdot \varphi_{\lambda_{ml}} \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} \varphi_l(\lambda) v(\lambda) d\lambda}{\varphi_{\lambda_{mc}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi_c(\lambda) d\lambda} \quad \eta_i = 1 - \eta_e \quad (3)$$

В перечисленных выражениях:  $v(\lambda)$  относительные значения спектральной световой эффективности излучения;  $\varphi_l(\lambda)$ ,  $\varphi_c(\lambda)$ ,  $\varphi_{\lambda_{ml}}(\lambda)$ ,  $\varphi_{\lambda_{mc}}(\lambda)$ — относительные значения спектральных плотностей измерения люминофора, чипа и их максимальные абсолютные величины.

В расчётах предполагалось, что вся подводимая к чипу электрическая энергия преобразуется в УФ излучении без потерь. Предполагалось также, что квантовый выход преобразования люминофором УФ

излучения в видимое равен единице. Принятие этих предположений позволяло найти предельные значения  $\eta_e$ ,  $\eta_i$ ,  $\eta_t$  [3].

На рис. 1 для примера приведены использованные для расчётов спектры излучения СД с чипом, излучающим в полосе с максимумом на 382 нм, и люминофоров S161 и S380, взятые из [4]. Выбранные люминофоры имеют заметно различающиеся спектры люминесценции излучения чипа в основного приходится на спектральную область ниже 400 нм и не вносит влияние в излучение СД.

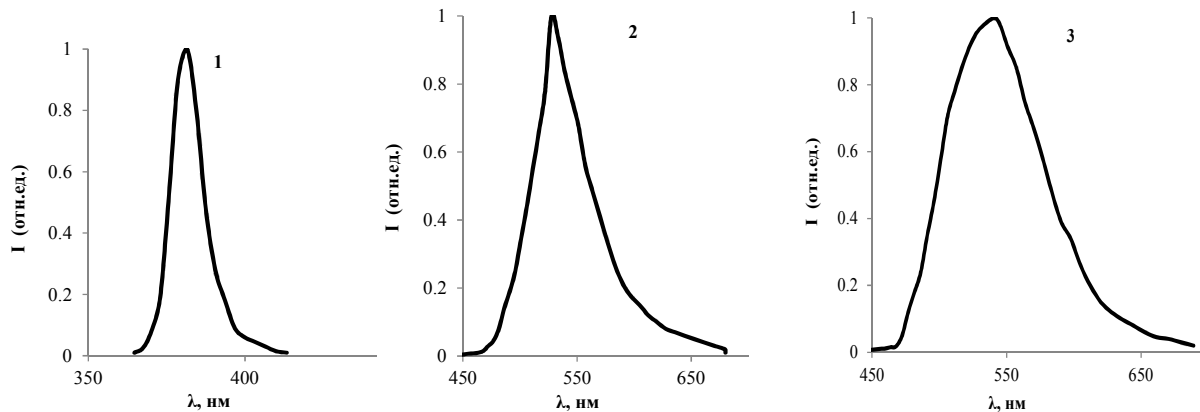


Рис.1. Спектры чипа (1) и СД с люминофорами S161(2) и S380(3)

Результаты расчета энергетических характеристик излучения представлены в табл. 1

Таблица 1

Энергетические характеристики преобразования излучения чипа с полосой на 382 нм в СД с люминофорами S161 и S 380

Люминофор	$\eta_e$	$\eta_t$	$\eta_l$ , lm/W
S161	0,701	0,299	356
S380	0,696	0,304	353

Из представленных результатов расчёта следует, что 30% излучения чипа преобразуется в тепловую энергию в люминофоре. Световая отдача СД с названными чипом и люминофорами не может превышать 356 лм/вт. Для демонстрации зависимости величины тепловых потерь от положения полосы излучения чипа рассмотрим следующую модель. Пусть спектры излучения люминесценции будут подобны спектрам люминофоров S161 (Л1) и S380 (Л2). Спектры излучения чипов пусть будут подобны спектру излучения, представленному на рис.1, но их положения будут смещены на 360, 320, 280 и 240 нм. Результаты расчетов энергетических характеристик преобразования излучения в таких СД представлены в таблице 2. Как следует из представленных результатов расчета, смещение полосы возбуждения в УФ область относительно полосы люминесценции, положение которой неизменно, ведет к существенному увеличению потерь энергии на нагревание люминофора. Чем дальше разнесены эти полосы, тем больше энергии расходуется на нагрев люминофора. При возбуждении люминесценции одного спектрального состава потери энергии больше в том случае, когда излучение возбуждения является более коротковолновым. Например, как это показано результатами расчетов, представленных в табл. 2, при возбуждении излучением с полосой на 240 нм потери энергии на нагрев люминофора составляют 49 –

56%, тогда как при возбуждении излучением с полосой на 383нм – 29,9 – 30,4 %. В описанном примере потери на нагревание увеличиваются в 1,64 и 1,85 раз люминофоров Л1 и Л2, соответственно.

Таблица 2

Энергетические характеристики преобразования излучения чипов в видимое

Люминофор	$\lambda_m$ , нм	$\eta_e$	$\eta_t$	$\eta_i$ , lm/W
Л1	383	0,701	0,299	356
	360	0,662	0,338	336
	320	0,588	0,412	299
	280	0,515	0,485	262
	240	0,511	0,489	260
Л2	383	0,696	0,304	353
	360	0,657	0,343	333
	320	0,584	0,416	296
	280	0,441	0,559	225
	240	0,438	0,562	223

Выполнены расчеты потерь энергии в нескольких вариантах белых СД с известными или заданными спектрами возбуждения и люминесценции. Показано, что во всех случаях имеют место потери энергии возбуждения на нагрев люминофора при условии, что квантовый выход преобразования равен единице. Потери энергии на нагревание люминофора во всех изученных случаях превышают 25% и зависят от взаимного положения в спектре полос возбуждения и люминесценции люминофора. Отметим, что потери энергии при преобразовании всегда есть из-за возможности безызлучательной рекомбинации. Даже если квантовый выход будет, достигнут равным 0,9, это будет означать увеличение потерь на нагрев люминофора на 10 %. Поэтому реальные потери на нагревание должны быть выше представленных расчётных. Эффективность люминесценции уменьшается с ростом температуры люминофора, с повышением температуры люминофора растёт скорость его деградации. В [5] показано, что с ростом температуры до 200К падение эффективности преобразования излучения изученных люминофоров в СД может достигать 30...60%. Имеет место деградация люминофора со времени работы СД. При условиях работы СД в слое люминофора передается менее 25вт/см<sup>2</sup>. Поэтому для повышения стабильной работы СД является необходимо обеспечить эффективный теплоотвод от люминофора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысун В. Состояние разработок компактных светодиодных излучателей и ламп с удаленным люминофором // Полупроводниковая светотехника. – 2013. – № 6.
2. Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products / James R. Brodrick –Washington. : U.S. Department of Energy, 2012.
3. 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.
4. Люн М. Объективное сравнение белых светодиодов и решений с десантированным люминофором // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – № 4.
5. Рыжков М. В. О деградации и отказах белых светодиодов // Светотехника. – 2010. № 3.