

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ КОМПОЗИТА С ЛЮМИНОФОРОМ ДЛЯ БЕЛЫХ СД

В.А. Ваганов, А.Т. Тулегенова

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.М. Лисицын
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
 Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
 E-mail: vav13@tpu.ru

Существует несколько способов получения светодиодов белого света, но в настоящее время самым эффективным и экономически выгодным является использование кристалла синего светодиода и нанесенного на него слоя желто-красного люминофора [1]. Такой метод позволяет создавать излучение в широком диапазоне цветов от «теплого» белого цвета лампы накаливания до «холодного» люминесцентного белого, в зависимости от задач применения. Очевидно, при увеличении пленки люминофора будет увеличиваться преобразование излучения синего чипа в желто-красное излучение люминесценции, и при достижении какой-то предельной толщины слоя, излучение светодиода будет определяться только спектром люминофора [2]. Поэтому для контроля цветности излучения СД представляется важным решение проблемы определения оптимального количества люминофора в пленке композита. Отметим, что решение проблемы усложняется тем, что не может быть общих способов решения проблемы. Оптимальная толщина пленки к проектируемому СД должна выбираться для каждой комбинации чип-люминофор и требований к СД. В данной работе проведена методика расчета зависимости цветовых характеристик СД от толщины пленки композита на основе люминофора.

В основе методики лежит расчет координат цветностей на цветовой диаграмме МКО, для её построения используются координаты цветностей x , y и z – относительные цветовые координаты 1931 г. [3].

Итоговая цветность СД есть смесь излучения чипа и люминесценции люминофора, для спектров излучения СД характерно наличие двух полос излучения. Интенсивность полос напрямую влияет на цветность излучения и на световой поток СД.

Излучение чипа лежит в диапазоне от 407 нм до 512 нм, а полоса люминесценции данного люминофора регистрируется в области 485 - 760 нм. Световой поток итогового излучения СД рассчитывается как сумма излучений в области 400 - 760 нм и определяется по формуле 1.

$$\Phi = \int_{400}^{760} \varphi_{c\lambda} \cdot \nu_{\lambda} \cdot d\lambda = 683 \cdot \varphi_{cm} \int_{400}^{760} \varphi_c(\lambda) \cdot \nu(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

Интенсивность полос напрямую зависит от толщины слоя люминофора и влияет на цветность излучения СД. Для учёта влияния толщины пленки на отношение итоговых излучений чипа и люминофора вводим величину S рассчитываемую по формуле 2.

$$S = \frac{\int_{500}^{760} \nu_{\lambda} \cdot \varphi_{\lambda c} \cdot d\lambda}{\int_{400}^{500} \varphi_{\lambda l} \nu_{\lambda} d\lambda} = \frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda) \cdot \varphi_c(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{400}^{500} \nu(\lambda) \varphi_l(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

где $\Phi_{\lambda c}$ – световой поток чипа, $\Phi_{\lambda l}$ – световой поток люминесценции композита

С другой стороны, можно найти соотношение световых потоков излучения чипа и люминофора следующим образом. Соотношение световых потоков в области излучения люминофора (500- 760 нм) и чипа (500-760 нм) S рассчитывается по формуле 3.

$$S = \frac{\int_{500}^{760} \nu_{\lambda} \cdot k_{\lambda l} (\int_{400}^{500} (1 - \tau_{\lambda l}) \varphi_{c\lambda} \cdot d\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{500} \tau_{\lambda l} \varphi_{c\lambda} \nu_{\lambda} d\lambda} \quad (3)$$

где $\varphi_{\lambda l} = k_{\lambda l} \int_{400}^{500} (1 - \tau_{\lambda l}) \varphi_{c\lambda} \cdot d\lambda$ - спектральная плотность излучения люминофора,

$\tau_{\lambda l}$ - коэффициент ослабления излучения чипа люминофором при заданной длине волны,
 $k_{\lambda l}$ - спектральный коэффициент преобразования излучения чипа в излучение люминофора при указанной длине волны.

Преобразуем формулы 2 и 3 и выразим коэффициент ослабления формулы 4-5:

$$\frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda) \cdot \varphi_c(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{400}^{500} \nu(\lambda) \varphi_c(\lambda) d\lambda} = \frac{(1 - \tau_l) \int_{500}^{760} \nu(\lambda) \cdot \varphi_l(\lambda) d\lambda}{\tau_l \int_{400}^{500} \varphi_c(\lambda) \nu(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

$$\tau_l = \frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda) \cdot \varphi_l(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{500} \varphi_c(\lambda) \nu(\lambda) d\lambda} / \left(\frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda) \cdot \varphi_c(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{400}^{500} \nu(\lambda) \varphi_c(\lambda) d\lambda} + \frac{\int_{500}^{760} \nu(\lambda) \cdot \varphi_l(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{500} \varphi_c(\lambda) \nu(\lambda) d\lambda} \right) \quad (5)$$

Зная коэффициент ослабления излучения чипа люминофором можно рассчитать приведённую толщину слоя люминофора по формуле $d_l = 1/\chi_l \ln(1/\tau_l)$ где χ_l показатель ослабления излучения чипа люминофором.

В качестве примера расчёта выбран композит и люминофор с известными спектрами изучения. Далее полоса излучения чипа была приравнена к единице, а полосе композита искусственно увеличивали и уменьшали с интервалом 20 %, для нахождения координат цветности, S, d, τ , см. таблицу 1. Полученные спектры излучения СД и цветные координаты представлены на рис.1.

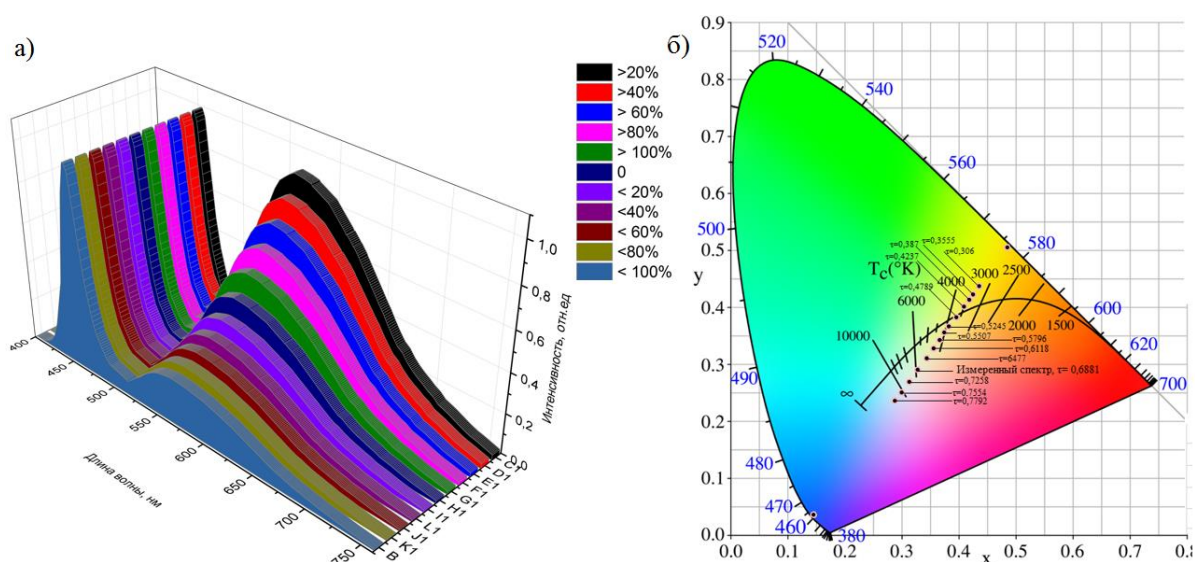


Рис.1. Расчетные спектры СД (а), и цветные координаты на диаграмме МКО (б)

Таблица 1 - Расчетные значения координат цветности, S, d и τ

	Уменьшение полосы люминесценции на					Измеренный спектр	Увеличение полосы люминесценции на						
	100%	80%	60%	40%	20%		20%	40%	60%	80%	100%	120%	140%
x	0,27	0,279	0,288	0,3	0,313	0,328	0,343	0,356	0,366	0,375	0,382	0,389	0,395
y	0,212	0,223	0,236	0,251	0,269	0,290	0,311	0,329	0,343	0,356	0,366	0,375	0,383
z	0,519	0,499	0,476	0,449	0,418	0,382	0,345	0,316	0,291	0,27	0,251	0,236	0,221
S	0,944	1,044	1,17	1,33	1,551	1,853	2,227	2,591	2,948	3,287	3,663	3,985	4,435
τ	0,815	0,799	0,779	0,755	0,726	0,688	0,648	0,612	0,58	0,551	0,525	0,501	0,479

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуберт Ф. Светодиоды: пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – С. 496 .
2. Социн Н.П., Гальчина Н.А., Коган Л.М. и др. Светодиоды "теплого" белого свечения на основе р-п-гетероструктур типа InGaN/AlGaIn/GaN, покрытых люминофорами из иттрий-гадолиниевых гранатов // ФТП. – 2009. – Т. 43, вып. 5.– С.700–705.
3. Горбунова Е.В., Чертов А.Н. Учебное пособие «Типовые расчеты по колориметрии источников излучения». СПб: Университет ИТМО, 2014.– С 90.