

УДК 628.931

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

**Е. В. СОБОЛЕВ, А. О. ДОБРОДЕЙ,
Е. Н. ПОДДЕНЕЖНЫЙ, А. А. БОЙКО**

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

В связи с повышенной заинтересованностью ведущих светотехнических компаний в производстве светодиодных световых приборов (ССП) с одной стороны, и многообразием и сложностью возможных конструктивных решений последних с другой, особый интерес приобретает компьютерное моделирование процесса преобразования оптического излучения (света) в ССП. Актуальным является моделирование процесса люминесценции в системе «светодиод – люминофор» для оценки качества предлагаемых решений на стадии светотехнического расчета, что позволит увеличить технико-экономические и эксплуатационные характеристики ССП.

Однородность цвета и эффективность источников белого света и световых приборов на основе системы «светодиод – люминофор» сильно зависит от пространственного расположения люминофора. Существует два варианта расположения люминофора внутри источника: ближнее и удаленное [1]. Основным недостатком источников света с ближним расположением люминофора является поглощение его излучения полупроводниковым кристаллом [2], а также деградация люминофора под действием температуры [3]. Эти проблемы можно решить, если люминофор пространственно отделить от источника излучения. Такая технология используется рядом ведущих светотехнических компаний как при производстве светодиодов белого света [4], так и при производстве ССП [5]. Моделирование хода лучей и результаты экспериментов с источником, созданным на основе синего светодиода InGaN и люминофора, пространственно удаленного от него, показали увеличение интенсивности излучения люминофора на 75 и 27 % соответственно [1], [6]. Основным недостатком конструкций световых приборов с удаленным люминофором является относительно высокий расход люминофора, а также удорожание технологии нанесения люминесцентного покрытия, обусловленное дополнительными расходами, направленными на уменьшение агломерации наночастиц люминофора.

Целью данной работы является моделирование процесса люминесценции в системе «синий светодиод – удаленный фотолюминесцентный преобразователь» для оценки качества преобразования света, а также разработка конструкции светодиодного светильника на основе удаленного дискретного фотопреобразователя с уменьшенным расходом люминофора.

Компьютерное моделирование фотолюминесцентного преобразователя

В рамках данной работы было проведено компьютерное моделирование процесса преобразования света в системе «синий светодиод – удаленный фотолюминесцентный

преобразователь» в программе TracePro [7]. В качестве исходных данных были приняты: СД Cree XR Blue ($\lambda_{\max} = 465$ нм) [16]; характеристики спектров возбуждения и излучения люминофора на основе YAG: Ce³⁺ ($\lambda_{\text{ex_max}} = 460$ нм; $\lambda_{\text{em_max}} = 560$ нм). Модели спектров светодиода и люминофора, принятые для расчета, представлены на рис. 1.

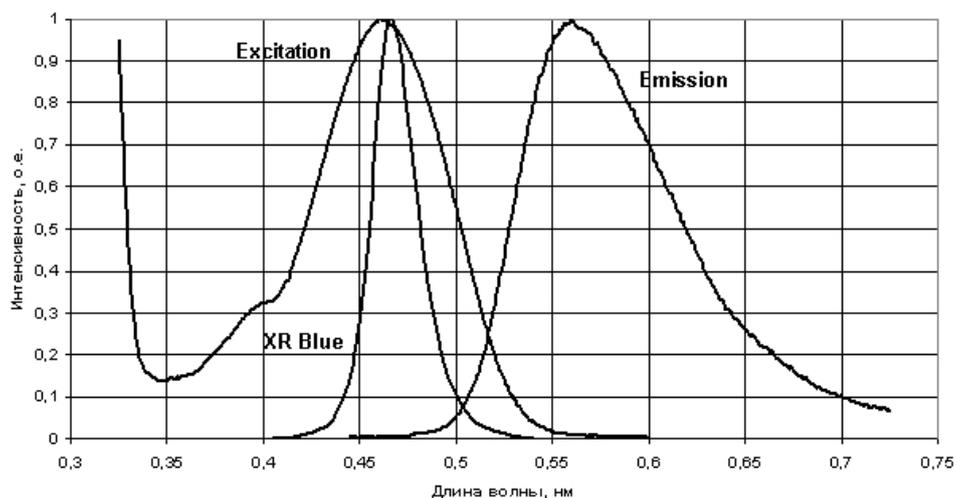


Рис. 1. Модели спектров светодиода Cree XR Blue и люминофора на основе YAG: Ce³⁺

На основе образца, полученного в НИЛ «Техническая керамика и наноматериалы» ГГТУ им. П. О. Сухого, люминесцентного покрытия с островковой структурой (рис. 2, а), состоящей из агломератов наночастиц люминофора и областей прозрачности, смоделирована и предложена конструкция дискретного фотолюминесцентного преобразователя, включающего «ячейки прозрачности» и «ячейки люминофора» (рис. 2, б).

Результаты моделирования для различных конструктивных решений удаленного фотолюминесцентного преобразователя приведены на рис. 3. Соотношение «ячеек люминофора» и «ячеек прозрачности» для конструктивного решения: № 1 – 1/0; № 2 – 1/1; № 3 – 2/1; № 4 – 3/1.

Результаты моделирования координат цветности для модели образца люминесцентного покрытия с островковой структурой по отношению к стандартным излучателям МКО D65 и Е представлены на рис. 4.

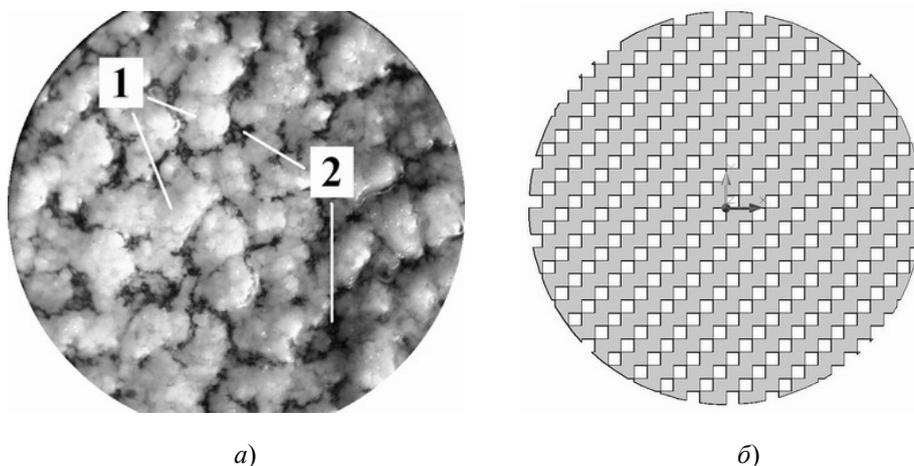


Рис. 2. Образец (а) люминесцентного покрытия с островковой структурой (1 – агломерированные частицы ИАГ; 2 – области прозрачности) и модель дискретного фотолюминесцентного преобразователя света (б)

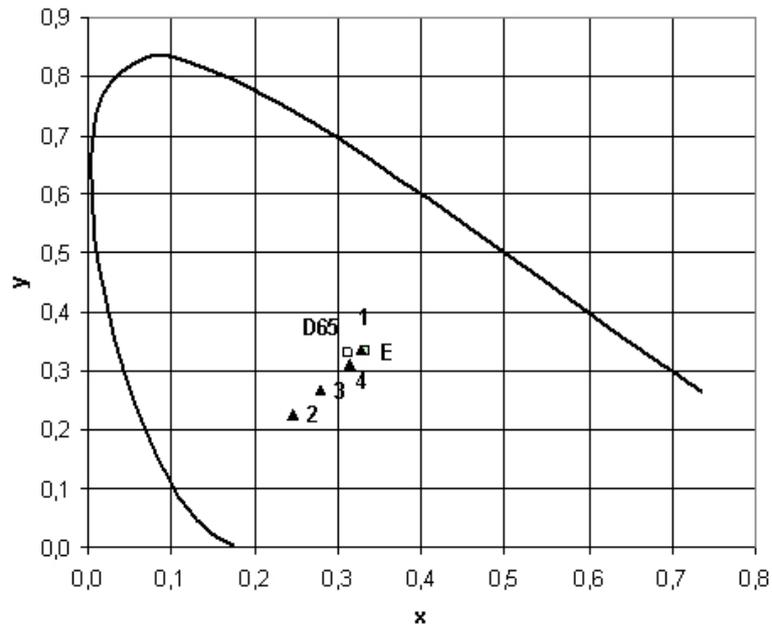


Рис. 3. Координаты цветности для конструктивных решений № 1–4 по отношению к стандартным излучателям МКО D65 и E

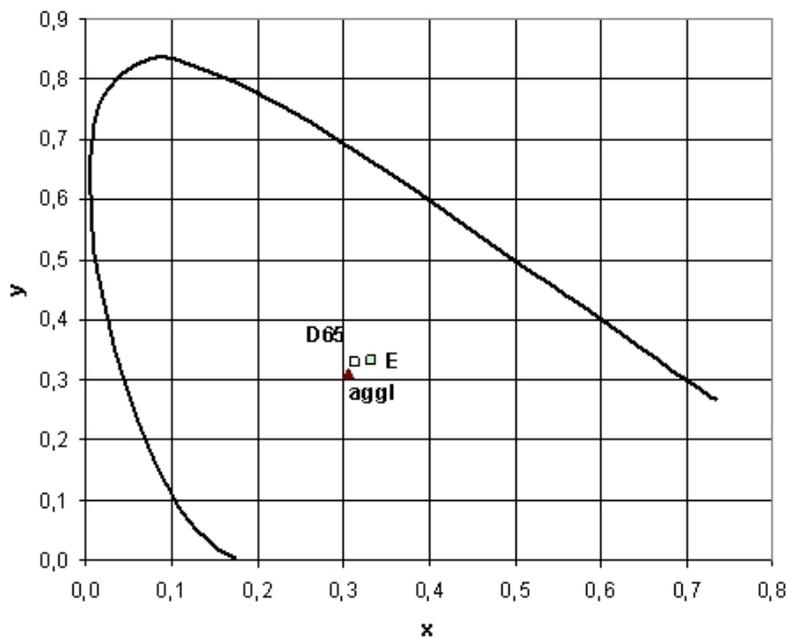


Рис. 4. Координаты цветности для модели образца люминесцентного покрытия с островковой структурой по отношению к стандартным излучателям МКО D65 и E

В результате моделирования предложена конструкция дискретного фотолюминесцентного преобразователя света, состоящего из «ячеек прозрачности» и «ячеек люминофора» с повышенной концентрацией оптически-активной составляющей, обусловленной агломерацией наночастиц люминофора. Данная конструкция в значительной степени уменьшает расход дорогостоящего люминесцентного порошка. При этом предложенная конструкция фотопреобразователя сохраняет равномерность и макрооднородность излучения без существенных изменений качественных показателей излучений (рис. 3, 4).

Конструкция светодиодного светильника на основе удаленного дискретного фотопреобразователя

На основе идеи островкового люминофорного слоя авторами разработан вариант светодиодного светильника с удаленным дискретным фотопреобразователем [8] (рис. 5), предназначенный для эксплуатации внутри помещений в качестве источника рассеянного белого света.

Предлагаемая конструкция светодиодного светильника позволяет получить белый рассеянный свет при использовании светодиодов синего цвета излучения и плафона-рассеивателя, выполненного в виде дискретного фотопреобразователя – термостойкой пластины с рифленой с внутренней стороны поверхностью в форме углублений, заполненных компаундом, состоящим из силиконовой смолы и наполнителя – агломератов наноразмерных частиц люминофора на основе ИАГ, введенного в состав компаунда.

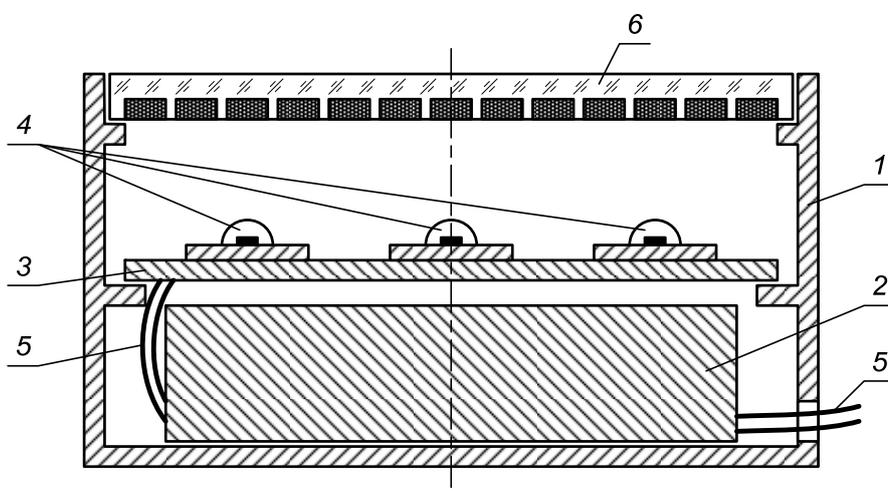


Рис. 5. Конструкция светодиодного светильника с удаленным дискретным фотопреобразователем: 1 – корпус; 2 – блок питания; 3 – печатная плата; 4 – светодиоды синего цвета излучения; 5 – проводники; 6 – плафон-рассеиватель

Удаление люминофора от нагретого кристалла светодиода в значительной степени уменьшает термическую деструкцию люминофора. Это увеличивает срок службы светильника и позволяет использовать более мощные светодиоды. Введение люминофорного компаунда только в углубления фотопреобразователя в значительной степени уменьшает расход люминофора при сохранении равномерности светового потока светильника и однородности излучения. Технология нанесения компаунда в углубления пластины фотопреобразователя проста и совместима с промышленными методами нанесения компаундов и шликерного литья толсто пленочных покрытий, используемыми на предприятиях светотехнической и приборостроительной промышленности.

Благодаря дискретному фотопреобразователю предложенная конструкция светодиодного светильника обладает высокой технологичностью, экономичностью и повышенной атмосферостойкостью.

Заключение

Осуществлено компьютерное моделирование процесса люминесценции в системе «синий светодиод – желтый люминофор» для оценки качества преобразования света, на основании чего предложена конструкция дискретного фотолюминесцентного преобразователя, состоящего из «ячеек прозрачности» и «ячеек люминофора» с повышенной концентрацией оптически-активной составляющей, обусловленной аг-

ломерацией наночастиц люминофора. Это в значительной степени уменьшает расход люминофора при сохранении равномерности и однородности излучения от фотопреобразователя.

Разработана конструкция светодиодного светильника с удаленным дискретным фотопреобразователем для эксплуатации внутри помещений в качестве источника рассеянного белого света.

Литература

1. Kim J. K., Luo H., Schubert E. F., Cho J., Sone C., Park Y. Strongly enhanced phosphor efficiency in GaInN white light-emitting diodes using remote phosphor configuration and diffuse reflector cup // Japanese Journal of Applied Physics. – 2005. – Vol. 44, №. 21. – P. 649–651.
2. Шуберт, Ф. Светодиоды / Ф. Шуберт ; пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М. : ФИЗМАЛИТ, 2008. – 496 с.
3. Приказчик, С. П. Исследование светотехнических параметров светодиодов / С. П. Приказчик // Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – № 4. – С. 24–30.
4. Cree [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cree.com/>. – Дата доступа: 01.09.2011.
5. Philips [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lighting.philips.ru/>. – Дата доступа: 01.09.2011.
6. Luo H., Kim J.K., Schubert E.F., Cho J., Sone C., Park Y. Analysis of high-power packages for phosphor-based white-light-emitting diodes // Applied physics letters 86, 2435505 (2005).
7. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский [и др.]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 800 с. : ил.
8. Светильник светодиодный : пат. на полезную модель Респ. Беларусь № 7988, МПК F21S 8/00, H01J 63/00 / А. О. Добродей, Е. Н. Подденежный, А. А. Бойко, Е. В. Соболев ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – № и 20110582 ; заявл. 18.07.2011 ; опубл. 01.12.2011.

Получено 15.01.2013 г.