

# **КЕРАМИЧЕСКИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

**А. О. Добродей**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Е. Н. Подценежный

В условиях, постоянно растущих потребностей в использовании искусственного освещения остро стоит вопрос о высокоэффективных источниках света, способных удовлетворить спрос на освещение при минимальных затратах электроэнергии. Такими высокоэффективными источниками света являются светоизлучающие диоды (СИД).

В последние годы ведутся интенсивные разработки осветительного оборудования с использованием твердотельных источников излучения - мощных СИД белого цвета свечения. Новые электролюминесцентные источники освещения обладают низким энергопотреблением, высоким КПД (до 90 %) и большим сроком службы - до 50 тыс. часов непрерывной работы. Это открывает новые пути энергосбережения, так как на нужды освещения тратится от 10 до 20 % вырабатываемой электроэнергии.

Современные светодиоды с наибольшим световым потоком излучают свет длиной волны 470 нм (синий). Белый свет получают путем смешения излучений светодиодов и люминофоров. Для производства белых светодиодов в качестве желтого люминофора используют иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ), легированный церием.

Основные способы получения белого света [1]:

- Синий, зеленый и красный СИД.
- Синий и желтый СИД,
- Синий СИД + желтый люминофор.
- Ультрафиолетовый СИД + синий, зеленый и красный люминофор.
- Ультрафиолетовый СИД + синий и желтый люминофор.

Чтобы конкурировать с традиционными источниками света, белые СИД должны иметь большую световую эффективность и повышенное количество света, излучаемое одним прибором. В настоящее время коммерческие белые СИД имеют эффективность 160 лм/Вт. Большинство из методов повышения эффективности связаны с улучшением извлечения света из кристалла. Люминофор является другим компонентом, требующим улучшения.

В НИЛ технической керамики и наноматериалов ГГТУ им. П. О. Сухого проводятся научно-исследовательские и технологические работы по созданию люминесцентных трансформирующих материалов с улучшенными спектральными и тепло-

физическими характеристиками (YAG: Ce<sup>3+</sup>, Eu<sup>3+</sup>; YAG: SiO<sub>2</sub>, Ce<sup>3+</sup>, YAG: SiO<sub>2</sub>, MgO, Ce<sup>3+</sup> и др.), а также прогрессивных коллоидно-химических методов их производства. Варианты формирования ультрадисперсных люминесцирующих порошков представлены в таблице.

#### Варианты формирования ультрадисперсных люминесцирующих порошков

Способ синтеза порошка	Исходные реагенты	Температура термообработки, °С	Параметры порошка $D_{cp}$ , $S_{уд}$	Примечания
Соосаждение в среде аммиака	Y(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> OH	1000–1200	3–5 мкм 8,3 м <sup>2</sup> /г	Микropорошки
Термохимический синтез (горение)	Y(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , многоосновные спирты	900–1100	40–50 нм 50–100 м <sup>2</sup> /г	Агломерированные, легко диспергирующиеся порошки

Разработан способ формования плотной люминесцирующей керамики на основе иттрий-алюминиевого граната, легированного церием Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>: Ce<sup>3+</sup>, с использованием ультрадисперсных порошков оксида иттрия (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), с использованием фторида лития (LiF) и диоксида кремния (SiO<sub>2</sub>) в качестве комплексной жидко-фазной добавки. Спектры люминесценции керамических образцов представлены на рис. 1.

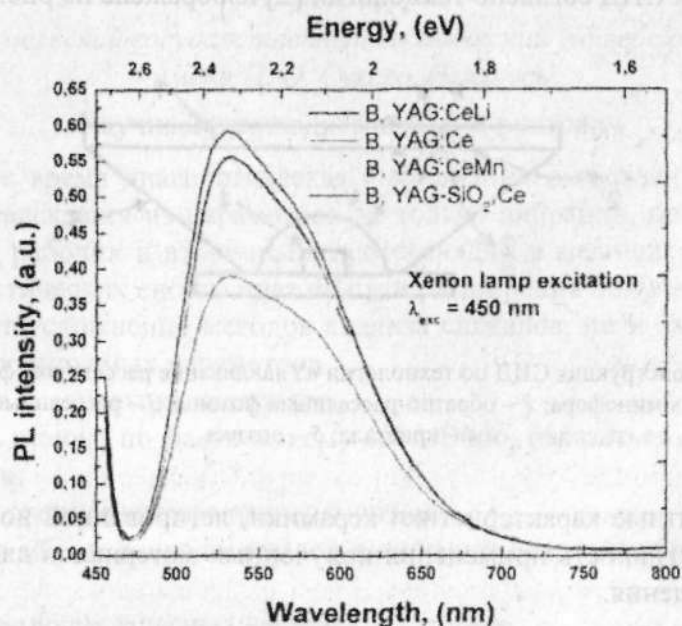


Рис. 1. Спектры люминесценции керамических образцов

Использование жидкофазных спекающих добавок – LiF и SiO<sub>2</sub> значительно интенсифицирует процесс синтеза фазы граната, повышает степень уплотнения керамики и снижает температуру ее формования. Смачивающая жидкая фаза приводит к

увеличению скорости диффузии компонентов и облегчает перемещение частиц твердой фазы. При жидкофазном спекании возможно получение практически беспористых изделий при пониженных температурах и атмосферном давлении.

Химический состав –  $Y_3Al_5O_2 : Ce^{3+}$ , размер кристаллитов в спеченном керамическом материале составляет от 5 до 10 мкм, структура является плотноупакованной с наличием некоторого числа закрытых пор. Плотность керамического материала, полученного путем спекания прессовок в присутствии лития фторида и добавки ТЭОС составляет приблизительно 96 % от теоретической плотности  $Y_3Al_5O_2$ . Керамика обладает интенсивной люминесценцией в желто-зеленой области спектра при возбуждении источником с длиной волны 450 нм (синий светодиод).

Но даже несмотря на то, что используемый в настоящее время люминофор имеет высокую эффективность, способ его размещения внутри прибора ведет к повышенным световым потерям. В большинстве случаев этот свет поглощается внутри корпуса прибора.

Существует несколько вариантов размещения люминофора вдали от кристалла. Однако эффективного расположения люминесцирующего экрана не было предложено. Была разработана и запатентована новая концепция [2], названная «Улавливание рассеянных фотонов». Согласно этой технологии, люминофор размещается на некотором расстоянии от кристалла и оптика между кристаллом и слоем люминофора формирует эффективное извлечение обратно-рассеянных фотонов. Экспериментальные результаты [2] показали, что эффективность по сравнению с традиционными конструкциями СИД повышается на 60 %. Кроме того, установлено, что увеличивается также срок службы СИД за счет уменьшения деградации эпоксидной смолы, нанесенной на кристалл. Деградация связана с ухудшением отвода тепла от кристалла, выделяющегося во время работы.

Конструкция СИД согласно технологии [2] изображена на рис. 2.

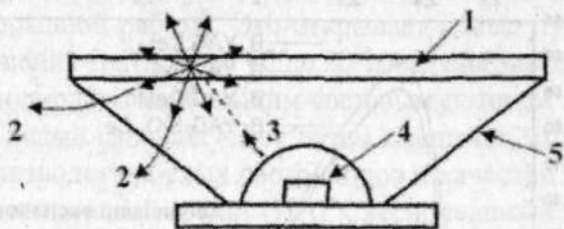


Рис. 2. Конструкция СИД по технологии «Улавливание рассеянных фотонов»: 1 – слой люминофора; 2 – обратно-рассеянные фотоны; 3 – рассеянные фотоны; 4 – кристалл; 5 – оптика

Люминесцентные характеристики керамики, легированной ионами церия, подтвердили перспективность применения полученных материалов для оптоэлектроники и систем освещения.

#### Выводы

1. Увеличение световой эффективности существующих ресурсов освещения позволит производить необходимое количество света, уменьшая при этом потребность в электроэнергии.
2. В настоящее время наиболее приемлемым способом получения сверхярких светодиодов с белым цветом свечения является применение люминофоров, преобразующих излучение синего цвета в широкий спектр, соответствующий солнечному.

3. Для конструирования СИД белого света требуется разработка более эффективных, высокостабильных, долговечных и более близких к солнечному спектру люминофоров-преобразователей синего и УФ-излучения (существующие люминофоры быстро выгорают, технологии производства энергоемки, а отсюда и стоимость белых СИД очень высока).

4. Люминофоры, разрабатываемые в НИЛ технической керамики и наноматериалов ГГТУ им. П. О. Сухого, по эффективности люминесценции не уступают традиционным и обладают более высоким «спектроскопическим потенциалом».

5. Полученная керамика обладает интенсивной люминесценцией в желто-зеленой области спектра при возбуждении источником с длиной волны 450 нм (синий СИД).

6. Высокоплотная люминесцентная керамика на основе гранатов перспективна для создания сверхъярких источников белого света повышенной мощности, долговечности и однородности излучения. Люминесцентная керамика перспективна для применения в осветительных устройствах, преобразующих излучение синих и УФ СИД в белый свет со спектром, близким к солнечному.

#### Литература

1. Применение светодиодов для систем освещения (обзор) / А. О. Добродей [и др.] // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. - 2008. - № 1. - С. 37-49.
2. Nadarajah Narendran. Phosphor placement in white LED packages // Photonics Spectra. - 2006. - № 7. - P. 58-62.