

СВЕТОДИОДНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ: ПРОБЛЕМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ СИНЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В БЕЛЫЙ СВЕТ

Добродей А. О., Соболев Е. В., Подденежный Е. Н.

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, г. Гомель, Беларусь

Описана разработанная авторами конструкция светодиодной лампы в качестве источника рассеянного белого света, которая может использоваться для прямой замены ламп накаливания и галогенных ламп.

Постановка проблемы. 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. Современными, наиболее перспективными источниками света являются светодиоды (СД), которые обладают низким энергопотреблением, высоким к.п.д., длительным сроком службы, высокой механической прочностью и не содержат ртути.

Цель статьи. Анализ способов получения белого света для систем освещения, в том числе с помощью светодиодов и люминофоров-преобразователей, выявление достоинств и недостатков различных конструкций преобразователей и предложение возможных путей решения проблем трансформации излучения в твердотельных осветительных устройствах.

Анализ последних исследований и публикаций. Существует различные способы создания белого света с помощью СД и люминофоров [1]:

- Синий, зеленый и красный СД;
- Синий и желтый СД;
- Синий СД + желтый люминофор;
- Ультрафиолетовый (УФ) СД + красный, зеленый и синий люминофоры;
- Ультрафиолетовый СД + синий и желтый люминофоры.

Применительно к системам освещения способы смешения излучений светодиодов нескольких цветов практически затруднены, поскольку необходимо иметь несколько источников различного напряжения, много контактных вводов и устройства, смешивающие и фокусирующие свет от нескольких СД.

Способы смешения излучений люминофоров, возбуждаемых УФ СД связаны с потерями при преобразовании света в люминофорах. Кроме того, эффективность источника света уменьшается, т.к. каждый люминофор имеет свой спектр возбуждения люминесценции, не оптимально соответствующий УФ спектру излучения кристалла СД.

Способ смешения излучения синего СД с излучением желтого люминофора (рис. 1), возбуждаемого этим синим излучением, наиболее прост и в настоящее время наиболее экономичен.

Кристалл СД на основе InGaN, излучающий свет с длиной волны 470 нм (синий) покрывается слоем полимерного компаунда с порошком люминофора таким образом, чтобы часть синего излучения возбуждала люминофор, а часть – проходила без поглощения. Человеческий глаз комбинацию такого рода воспринимает как белый свет. В настоящее время этот способ наи-

более оправдан с точки зрения эффективности и технологичности производства.

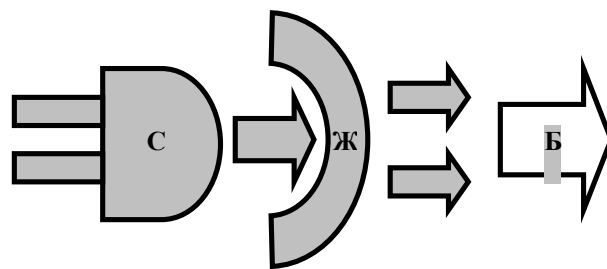


Рисунок 1 - Получение белого света смешением излучений синего светодиода и желтого люминофора:
С – синий свет, Ж – желтый, Б – белый.

Большинство производителей белых СД используют в качестве желтого люминофора иттрий-алюминиевый гранат, легированный церием (ИАГ, YAG: Ce³⁺). Спектр люминесценции таких люминофоров характеризуется максимальной длиной волны излучения в диапазоне 530-560 нм.

Белые СД с люминофорами намного дешевле, чем RGB-матрицы и обладают хорошей цветопередачей, однако величина светоотдачи у них меньше из-за преобразования света в слое люминофора. Кроме того, люминофор в полимерной матрице подвержен старению и отравлению ингредиентами компаунда и деградирует быстрее, чем сам кристалл.

К светодиодам белого цвета, используемых для систем освещения, предъявляются следующие требования:

- Однородность света;
- Малый разброс по координатам цветности;
- Высокая световая отдача СД;
- Высокая цветовая однородность;
- Определенная цветовая температура.

Световая отдача белых СД максимальна при использовании современных светодиодных кристаллов и высокоэффективных люминофоров. Используя подходящие люминофоры и возбуждение голубым излучением, можно получать широкие спектры излучения, как холодных, так и теплых оттенков.

Известны различные способы размещения люминофора-преобразователя относительно кристалла светодиода (рис. 2) [2].

Люминофорные покрытия требуемой толщины и плотности наносят в виде суспензий в зависимости от типа и назначения источника света. Толщина люминофорных покрытий определяется размером частиц

люминофора и колеблется в диапазоне 15-30 мкм [3]. В качестве связующих материалов, определяющих вязкость суспензий, и прочность люминофорных покрытий применяют различные полимеры.

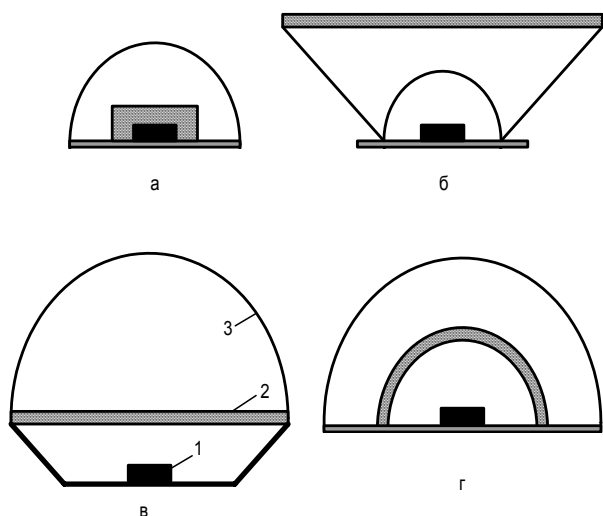


Рисунок 2 - Варианты расположения люминесцентных преобразователей относительно кристалла СД:
 а – нанесение компаунда на поверхность кристалла;
 б – удаленная светотрансформирующая пластина;
 в – удаленная светотрансформирующая пластина с линзой;
 г – люминофорное покрытие на внутренней поверхности полусферической линзы.
 1 – кристалл СД синего цвета излучения; 2 – люминофор-преобразователь; 3 - линза

В работе [3] суспензию люминофора готовили в эпоксидной смоле, из которой формировали люминофорный слой в рефлекторе светодиода (рис. 2а). В качестве источника возбуждения люминофора применялся синий СД с максимумом излучения 460 нм.

Известны также варианты удаленного расположения люминофора относительно кристалла светодиода (рис. 2 б, в, г).

Согласно технологии «Улавливание рассеянных фотонов» [4], люминофор размещается на некотором расстоянии от кристалла и оптика между кристаллом и слоем люминофора формирует эффективное извлечение обратно-рассеянных фотонов. Экспериментальные результаты [4] показали, что эффективность такого светодиода по сравнению с традиционными конструкциями СД повышается на 60 %. Кроме того, установлено, что увеличивается также срок службы СД за счет уменьшения деградации эпоксидной смолы и отравления люминофора, нанесенного в виде компаунда на кристалл. Деградация связана с ухудшением отвода тепла от кристалла, выделяющегося во время работы и деструкцией полимера.

Преждевременная деградация параметров белых СД (световая отдача и цветность излучения) в процессе эксплуатации также отмечена в работе [5]. Причем «похолодание» цветности излучения – свидетельство большей скорости деградации люминофора, чем кристалла. В [5] предлагается люминофорное преобразование излучения синих СД и смешивание световых потоков СД и люминофора производить в люминофорном покрытии защитного стекла, причем так, что

люминофорное покрытие защитного стекла служит поверхностным источником диффузного белого света, определяющего световой поток светового прибора. При этом достигается снижение габаритной яркости светового прибора по сравнению с габаритной яркостью белых СД, что устраняет возможность слепящего действия, и получение диффузного, близкого к косинусному, светораспределения.

Основные материалы исследования. В НИЛ «Техническая керамика и наноматериалы» ГГТУ им. П.О. Сухого проводятся работы по созданию люминесцентных материалов с улучшенными характеристиками на основе ИАГ. Разработана усовершенствованная методика синтеза микрокристаллических люминесцентных материалов, путем соосаждения гидроксидов иттрия и алюминия аммиаком с последующей термообработкой [6]. Также разработан новый способ синтеза наноструктурированных порошков ИАГ с использованием метода термохимического синтеза (горение) [7], которые могут быть использованы в качестве исходного сырья для получения люминесцирующих полимерно-керамических материалов и стеклокерамических композитов.

С использованием метода рентгенофазового анализа (Дрон-7) были проведены исследования фазового состава полученных порошков. После прокаливании порошка до температуры 1000-1100 °С на рентгенограммах идентифицирована фаза граната кубической модификации химического состава $Y_3Al_5O_{12}$, без наличия других фаз. Изучены также спектрально-люминесцентные характеристики образцов порошкообразных и керамических материалов. Порошки на основе YAG: Se^{3+} , синтезированные с использованием смеси нитратов иттрия и алюминия, и легирующих добавок, люминесцируют в диапазоне 470-700 нм под воздействием излучения синего СД ($\lambda_{max} = 450$ нм).

С целью решения вышеуказанных проблем авторами разработана и запатентована конструкция светодиодной лампы [8], которая предназначена для эксплуатации внутри помещений в качестве источника рассеянного белого света и может использоваться для прямой замены ламп накаливания и галогенных ламп с цоколем типоразмера E27.

Известны конструкции светодиодных ламп, где используются СД белого цвета свечения, в которых люминофор-преобразователь в составе полимерного компаунда нанесен на поверхность кристалла мощного синего СД.

Однако, как уже отмечалось выше, люминофор, нанесенный на поверхность кристалла светодиода в составе полимерного компаунда подвержен деградации за счет нагрева в процессе работы, что приводит к снижению светового потока и уменьшению срока службы лампы. Также при выходе из строя одного или нескольких светодиодов нарушается однородность светового потока, излучаемого лампой, что приводит к искажению контуров освещаемого предмета.

Задача, на решение которой направлена конструкция лампы [8], заключается в увеличении срока службы лампы и повышении однородности светового потока.

Лампа (рис. 3) состоит из цоколя типоразмера E27, композитного полимерно-керамического или керамического корпуса, в котором находится блок питания, преобразующий переменное напряжение сети 220 В в постоянное напряжение 12 В, проводников и теплопроводящей подложки с расположенными на ней светодиодами синего цвета свечения. В верхней части корпуса расположен рассеиватель – термостойкая полимерно-керамическая или композитная стеклокристаллическая пластина с распределенными в ней частицами люминофора, которая преобразует свечение синих светодиодов в белый рассеянный свет. Частицы люминофора в виде покрытия могут быть нанесены на внутреннюю или внешнюю поверхность рассеивателя.

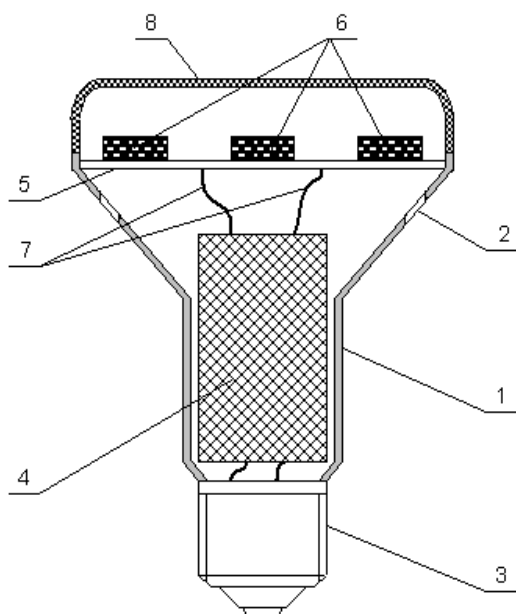


Рисунок 3 - Лампа светодиодная:

1 – композитный полимерно-керамический корпус; 2 – вентиляционные отверстия; 3 – цоколь типоразмера E27; 4 – блок питания; 5 – керамическая или металло-керамическая теплопроводящая подложка; 6 – светодиоды синего цвета свечения мощностью 1 или 3 Вт; 7 – проводники; 8 – рассеиватель, выполненный в виде преобразователя света.

Благодаря преобразователю-рассеивателю, предложенная конструкция лампы обладает лучшей однородностью светового потока.

Выводы. Проведен анализ способов получения белого света для систем освещения с помощью светодиодов синего цвета излучения и люминофоров-преобразователей.

Представлены варианты размещения люминесцентного преобразователя относительно кристалла светодиода.

Описана разработанная авторами конструкция светодиодной лампы, предназначенной для эксплуатации внутри помещений в качестве источника рассеянного белого света, которая может использоваться для прямой замены ламп накаливания и галогенных ламп.

Список использованных источников

1. Дедов В. П. Пять способов получения белого света. / В. П. Дедов [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.infor.sp.ru/led_spectra.htm. – Дата доступа: 26.10.2008.
2. Allen S. C. A nearly ideal phosphor-converted white light-emitting diode / S. C. Allen, A. J. Steckl // Applied physics letters 92, 143309 (2008).
3. Люминофорные покрытия в технологии белых светодиодов / О. М. Меркушев, Л. Г. Ведерникова, И. В. Нелепин, Ю. Ю. Петров // Светодиоды и лазеры. Оптоэлектроника и широкозонные полупроводники. – 2003. - № 1-2. – С. 14.
4. Nadarajah Narendran Phosphor placement in white LED packages / Nadarajah Narendran // Photonics Spectra. – 2006. - № 7. – P. 58–62.
5. Митрофанов А. В. Световые приборы с голубыми светодиодами и люминофором на защитном стекле / А. В. Митрофанов, В. Н. Орловский, В. И. Холодилов // Светотехника. – 2008. - № 4. – С. 51–53.
6. Перспективные разработки в области светодиодных устройств для систем освещения / А. О. Добродей, Е. Н. Подденежный и др. // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2009. – № 3. – С. 76–84.
7. Dobrodey A. O. Nanosized powders YAG:Ce and composites on their basis / A. O. Dobrodey, E. N. Poddenezhny, A. A. Boiko // Abstracts book of International Symposium devoted to the 80th anniversary of Academician O. O. Chuiko “Modern problems of surface chemistry and physics”. – Kyiv, 18-21 May 2010. – P. 290–291.
8. Патент на полезную модель № 64440 "Лампа светодиодная". Авт. А. О. Добродей, Е. Н. Подденежный. Уведомление Национального центра интеллектуальной собственности о регистрации полезной модели по заявке № u 20100016 в Гос. реестре от 3.05.10.

Анотація

СВІТЛОДІОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ: ПРОБЛЕМИ ТРАНСФОРМАЦІЇ СИНЬОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В БІЛИЙ

Добродей О. О., Соболев Є. В., Подденежный Є. М.

Описано розроблену авторами конструкцію світлодіодної лампи як джерела розсіяного білого світла, яка може використовуватися для прямої заміни ламп розжарювання та галогенних ламп.

Abstract

LIGHT-EMITTING DIODE ILLUMINATION: PROBLEMS OF TRANSFORMATION BLUE RADIATION IN WHITE LIGHT

A. Dobrodey, E. Sobolev, E. Poddenezhny

The design of a light-emitting diode lamp developed by authors as a source of absent-minded white light, which can be used for direct replacement of incandescent lamps and halogen lamps is described.