

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 535.625.81

Урманов
Борис Дмитриевич

Источник белого света с повышенным индексом цветопередачи на основе
УФ-синих светодиодов

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

Научный руководитель
Степанов Андрей Анатольевич
канд. техн. наук, доцент

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Степанов Андрей Анатольевич**,
кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Бойправ Ольга Владимировна**,
кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «15» июня 2018 года в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 115, тел.: 293-89-26, e-mail: kafme@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня светодиоды (СИД) белого света считаются одним из самых перспективных источников освещения. Основное преимущество современных белых светодиодов заключается в их более высокой светоотдаче и большем сроке службы. Кроме того, дополнительным преимуществом являются малые геометрические размеры светодиодов, низкое напряжение питания, высокая механическая прочность, отсутствие ядовитых веществ в их составе, возможность получения белого света различного спектрального состава и возможность работать при низких температурах.

Внедрение осветительных устройств на основе СИД в настоящее время уже охватило многие области жизнедеятельности человека: от бегущих строк и рекламных табло до автомобильной светотехники и осветительных устройств. В последние годы применение СИД в новых областях активно расширяется, постепенно вытесняя традиционные лампы.

Наиболее распространенной на данный момент является система из InGaN-СИД и стандартного люминофора YAG:Ce³⁺, которая позволяет получить белый свет за счет смешивания синего излучения светодиода и зелено-оранжевого излучения люминофора. Тем не менее, существенным недостатком таких систем является низкий коэффициент цветопередачи и высокая цветовая температура. Этого достаточно для использования в системах наружного освещения, но недостаточно для жилых помещений, где его значение должно быть от 80 до 90. Поэтому исследования в области использования новых эффективных люминофоров для изготовления теплых белых СИД с индексом цветопередачи от 80 до 95 являются актуальной задачей.

Целью диссертации является оптимизация цветовых характеристик наиболее распространенного источника белого света на основе InGaN-светодиода и YAG:Ce³⁺ люминофора путем устранения спектрального провала интенсивности излучения системы в сине-зеленой и красной областях.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Современные белые СИД, изготовленные с помощью синего чипа и желтого люминофора характеризуются индексом цветопередачи от 70 до 80. Этого достаточно для использования в системах наружного освещения, но недостаточно для жилых помещений, где его значение должно быть от 80 до 90. Поэтому исследования в области использования новых эффективных люминофоров для изготовления теплых белых СИД с индексом цветопередачи от 80 до 95 являются актуальной задачей.

Целью диссертации является оптимизация цветовых характеристик наиболее распространенного источника белого света на основе InGaN-светодиода и YAG:Ce³⁺ люминофора путем устранения спектрального провала интенсивности излучения системы в сине-зеленой и красной областях.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие **задачи**:

- Получить и исследовать перспективные люминесцентные среды для создания на их основе смесей люминофоров для источников белого света;
- Провести теоретический расчет и оптимизацию спектров излучения системы на основе InGaN-СИД и стандартного люминофора YAG:Ce³⁺;
- Провести теоретический расчет цветовых характеристик систем на основе InGaN-СИД и титогаллата кальция, активированного ионами двухвалентного европия.

Объектом исследования является полупроводниковый источник белого света на основе InGaN-светодиода и стандартного YAG:Ce³⁺ люминофора.

Предметом исследования выступают индекс цветопередачи и цветовая температура источников белого света на основе УФ-синих светодиодов и смеси люминофоров.

Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Научная новизна диссертации заключается в использовании новых высокоэффективных люминофоров на основе халькогенидных полупроводников, активированных ионами редкоземельных элементов для создания источников белого света с высокими значениями цветовых

характеристик. Новизна работы соответствует мировому уровню.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Использование люминофоров с излучением в синей ($\text{BaGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$) и красной областях спектра как дополнительных компонентов в смесь к стандартному люминофору $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ приводит к существенному улучшению цветовых характеристик, а именно, повышению индекса цветопередачи до 88.7 при значении цветовой температуры 4674 К, за счет более полного заполнения видимого диапазона спектром излучения системы;

2. Применение люминофоров $\text{BaGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$ и $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$ вместе с коммерческим красным люминофором для создания смеси, оптически возбуждаемой излучением светодиода на 445 нм, позволяет получить источники белого света со значением индекса цветопередачи от 73 до 90.3 и с возможностью вариации цветовой температуры в пределах от 4000 до 6000 К за счет изменения массовой доли различных компонентов в смеси;

Практическая значимость диссертации состоит в том, что результаты, полученные в рамках проведенных исследований, будут востребованы при создании источников белого света для систем освещения, дисплейных технологий, автомобильной промышленности, растениеводстве. Работы настоящей диссертации ведутся по ГБ: Фотоника, опто- и микроэлектроника 2.1.01.

Результаты исследования были представлены на 11-ой МНТК «Квантовая электроника» и на VIII Международной школе-конференции молодых ученых и специалистов «Современные проблемы физики 2018»

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в четырех опубликованных научных работах общим объемом 10.0 п.л. (авторский объем 6.0 п.л.).

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка. Общий объем диссертации – 52 страницы. Работа содержит 5 таблиц и 23 рисунка. Библиографический список включает 41 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрено современное состояние полупроводниковых источников белого света, определены основные направления исследований и дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В общей характеристике работы сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В первой главерассматриваются особенности полупроводниковых источников белого света, представлены преимущества и недостатки таких типов устройств по сравнению с традиционными источниками освещения, основные способы и особенности создания белых СИД и связанные с этим проблемы. Также в первой главе приведены основные характеристики люминофоров, используемых для создания белых светодиодов.

Во второй главе диссертации рассмотрены основные системы спецификации света, рассмотрены особенности основных цветовых характеристик полупроводниковых источников белого света, в частности индекса цветопередачи и цветовой температуры.

В третьей главе диссертации представлены результаты экспериментальных измерений спектров фотолюминесценции и возбуждения фотолюминесценции люминофоров, перспективных для использования при создании полупроводниковых источников света на основе УФ-синих светодиодов и смеси люминофоров, проведен тщательный анализ полученных спектров и даны выводы о возможности применения соответствующих люминофоров.

В четвертой главе представлена структурная схема созданной установки для измерения спектральных характеристик источников белого света на основе светодиодов и смеси люминофоров, реализованная с помощью интегрирующей сферы, приведены основные результаты оптимизации цветовых характеристик систем на основе InGaN-светодиода и стандартного YAG:Ce³⁺ люминофора, и результаты исследований процессов перепоглощения излучения в смесях исследуемых люминофоров, при их оптическом возбуждении светодиодом на длине волны 445 нм. В конце четвертой главы представлен анализ полученных результатов и представлены будущие перспективы исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен литературный обзор научной литературы, описывающей светодиодные источники белого света, их преимущества и недостатки, а также перспективы развития.

2. Получены и исследованы перспективные люминесцентные среды для создания на их основе смесей люминофоров для источников белого света с высокими цветовыми характеристиками;

3. Разработана методика экспериментального исследования спектров излучения источников белого света, реализованная на базе смешивания излучения различных компонентов системы на основе люминофоров и СИД в интегрирующей сфере, с возможностью вариаций их интенсивностей и учетом перепоглощения излучения.

4. Было проведено моделирование и оптимизация спектров излучения системы на основе InGaN-светодиода, излучающего на длине волны 445 нм и стандартного люминофора YAG:Ce³⁺;

5. Использование люминофоров с излучением в синей (BaGa₂S₄:Eu²⁺) и красной областях спектра как дополнительных компонентов в смесь к стандартному люминофору YAG:Ce³⁺ приводит к существенному улучшению цветовых характеристик, а именно, повышению индекса цветопередачи до 88.7 при значении цветовой температуры 4674 К, за счет более полного заполнения видимого диапазона спектром излучения системы;

6. Применение BaGa₂S₄:Eu²⁺ и CaGa₂S₄:Eu²⁺ люминофоров вместе с коммерческим красным люминофором для создания смеси, оптически возбуждаемой излучением коммерческого светодиода на 445 нм, позволяет получить источники белого света со значением индекса цветопередачи от 73 до 90.3 и с возможностью вариации цветовой температуры в пределах от 4000 до 6000 К за счет изменения массовой доли различных компонентов в смеси;

Дальнейшим этапом работы является исследование процессов перепоглощения излучения в смесях люминофоров с компонентами различного состава, а также использование InGaN-ЛДв качестве источника фиолетового возбуждающего излучения и дополнительного синего компонента в смеси люминофоров для оптимизации цветовых характеристик системна их основе.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А] Урманов Б. Д. Спектральные и энергетические характеристики халькогенидов с ионами Eu^{2+} , Pr^{3+} , Eu^{3+} при возбуждении интенсивным наносекундным излучением / Б. Д. Урманов, В. А. Савва, М. С. Леоненя / Сборник статей 11-го Белорусско-Российского семинара «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе». – 2017. – С. 150-154.

[2-А] Урманов Б. Д. Оптимизация цветовых характеристик источника белого света на основе лазерного диода и смеси люминофоров / Б. Д. Урманов, А. В. Данильчик, М. С. Леоненя / Сборник статей 11-ой Международной научно-технической конференции «Квантовая электроника». – 2017. – С. 134-136.

[3-А] Урманов Б. Д. Улучшение качества белого света источников излучения на основе светодиодов и смеси люминофоров / Б. Д. Урманов, В. А. Шуленкова, М. С. Леоненя / Сборник докладов VIII Международной школы-конференции молодых ученых и специалистов «Современные проблемы физики 2018». – 2018 (в издании).