

Исследование люминофорных покрытий для полупроводниковых источников света с целью повышения их эффективности.

А.В. Белоножко, Р.А. Соколова, студенты каф. ФЭ

Научный руководитель С.В. Смирнов, проф., д.т.н.

г.Томск, ТУСУР, nastia_b-93@mail.ru, radmila.sokolova.1993@mail.ru

Полупроводниковый диод белого свечения – перспективное направление в области электроники, а именно светотехники. Он позволяет значительно понизить потребление электрической энергии, используемой на освещение, следовательно, такой диод является энергетически эффективным устройством.

В настоящее время самым эффективным и экономичным способом является метод получения белого света с помощью кристалла синего светодиода и нанесенного на него слоя желтого люминофора.

Хотя свойства самих люминофоров изучаются достаточно подробно, следует отметить, что эффективность преобразования в белом светодиоде определяется не характеристиками люминофора как отдельно взятого поликристаллического материала, а характеристиками люминофора в сочетании с тем, в каком виде он находится в светодиоде. Иначе, эффективность белого светодиода напрямую зависит от характеристик фотолюминесцентного преобразователя (люминофорного слоя), представляющего собой отвержденную люминофорную смесь из собственно люминофора и некоторой связки (аморфный компаунд). Процессы превращения энергии в люминофорном слое и вывода преобразованной энергии из светодиода на сегодняшний день исследованы недостаточно. И, самое главное, для оценки эффективности преобразования энергии излучения необходима разработка модели, устанавливающей закономерности взаимосвязи параметров полупроводникового кристалла, люминофора и люминофорного слоя с характеристиками светодиода, в том числе с эффективностью.

Основными параметрами люминофора, влияющими, на эффективность светодиода, считаются:

1. Толщина покрытия;
2. Концентрация;
3. Спектр люминесценции;
4. Доминантная длина волны;
5. Гранулометрический состав;

Для выяснения оптимальных значений данных параметров были исследованы шесть образцов люминофоров: 5 образцов ФЛЖ-7-11 (производство Россия, ООО НПК «Люминофор») и 1 образец АWB-3 (производство Тайвань).

Таблица 1 – Исследуемые образцы люминофоров

Образец	Толщина, мкм
ФЛЖ-7-11 4-1	296
ФЛЖ-7-11 4-2	175
ФЛЖ-7-11 4-5	86
ФЛЖ-7-11 4-6	440
ФЛЖ-7-11 4-7	558
АWB-3	210

На рисунке 2 представлены спектры пропускания излучения от мощного источника люминофора при различной толщине слоя люминофорного покрытия.

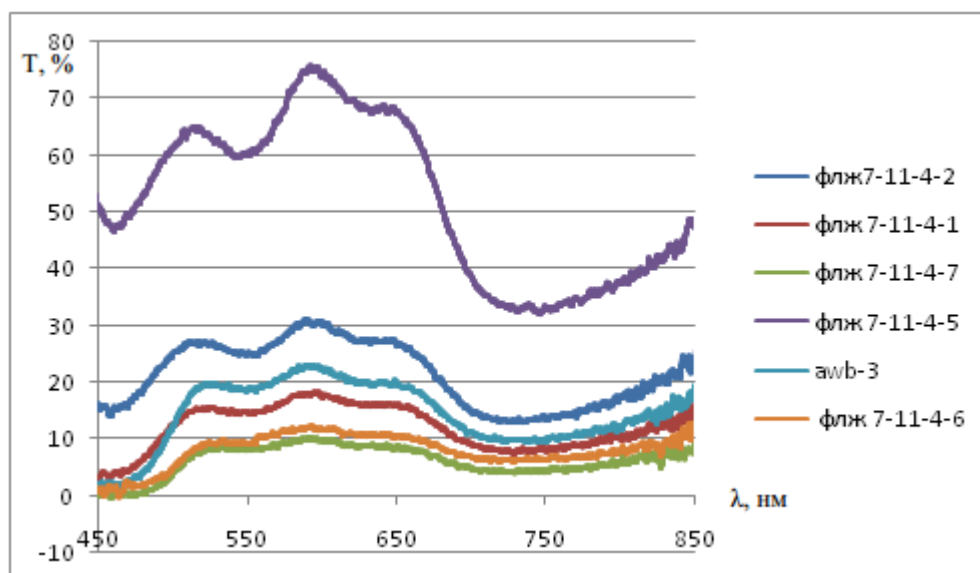


Рисунок 2 – Спектры пропускания люминофора при разной толщине слоя

По данным спектрам пропускания (рисунок 2.2) можно сделать вывод, что толщина слоя люминофора оказывает огромное влияние на величину пропускаемой энергии. Так, образец толщиной 86 мкм недостаточно эффективно поглощает сине-голубую часть спектра, в результате чего полученный на выходе свет будет не чисто белый, а с холодным голубоватым оттенком. А образец с толщиной уже 246 мкм является слишком толстым, так как будет пропускать слишком мало энергии излучения синего светодиода. Так как желтый люминофор возбуждается синим излучением, необходимо, чтобы спектры пропускания люминофоров имели провал в сине-голубой области (450 – 470 нм.).

Важная характеристика люминофоров — спектры пропускания, отражающие зависимость величины пропускаемой энергии от длины волны падающего на люминофор света.

Из рисунка 3 для трёх люминофоров, максимум возбуждения наблюдается на длине волны $\lambda=455\text{ нм}$.

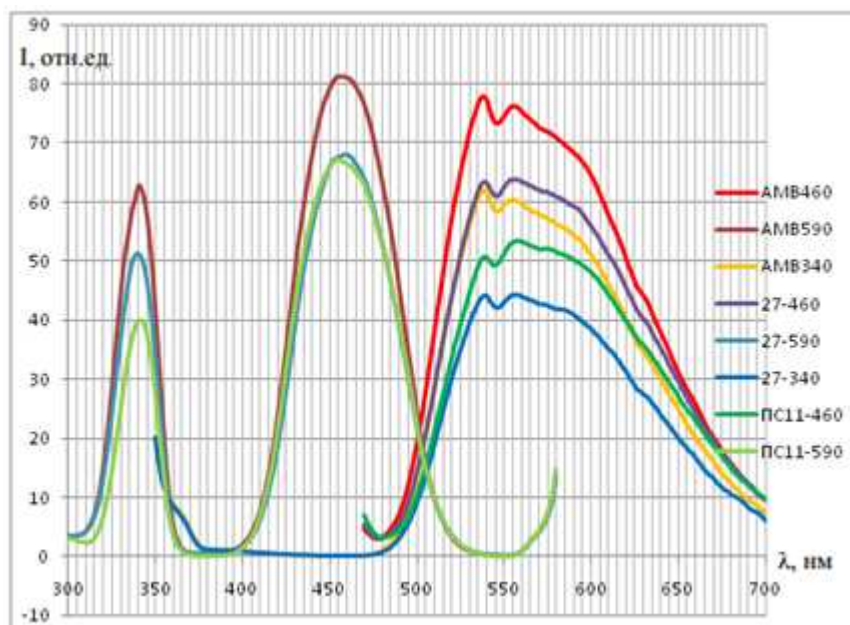


Рисунок 3 – Спектры поглощения и излучения различных люминофоров

На рисунке 4 представлены спектры пропускания люминофора ФЛЖ-7-11 при различной концентрации порошка люминофора в компаунде.

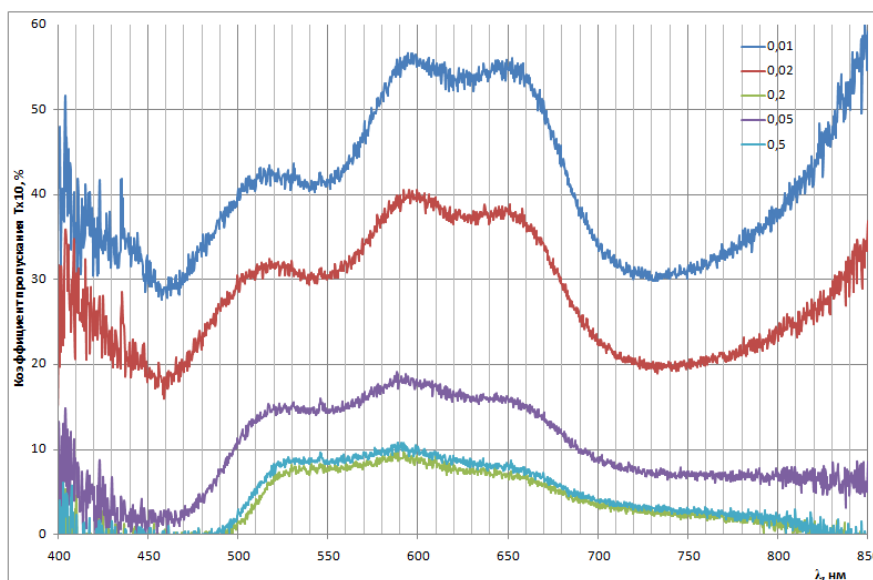


Рисунок 4— Спектры пропускания при разной концентрации люминофора ФЛЖ-7-11

По данным спектров пропускания (рисунок 2.3) можно сделать вывод о необходимости подбора оптимальной концентрации порошка люминофора. Так как слишком низкая концентрация не обеспечит получение белого света, а высокая – будет являться причиной низкой светоотдачи из-за увеличения поглощения.

Кроме спектров пропускания одной из важных характеристик люминофоров являются спектры возбуждения люминесценции.

Спектры излучения люминофоров показывают распределение энергии люминесценции по длинам волн.

На рисунке 5 показаны спектры возбуждения люминесценции люминофора ФЛЖ-7-11 при разной толщине слоя.

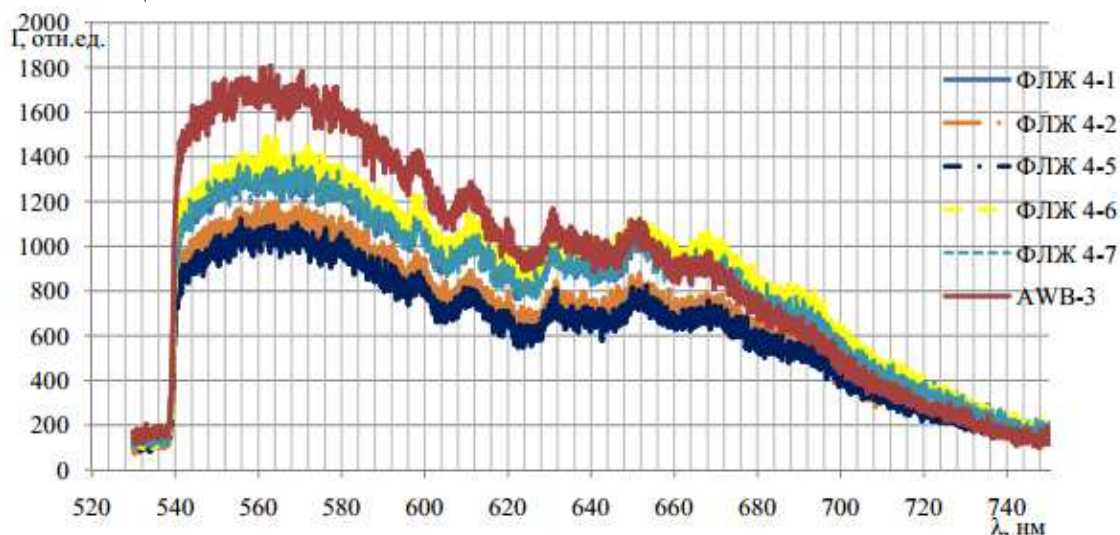


Рисунок5 – Спектры возбуждения люминесценции люминофора при разной толщине слоя

На этом рисунке видно, что образец АWB-3 имеет самую высокую эффективность излучения при толщине 210 мкм. Так же наблюдается увеличение квантового выхода люминесценции, который достигает своего максимального значения в образце ФЛЖ 4-6 с толщиной 440 мкм, а затем начинает снижаться.

Возможно световая отдача (или яркость свечения) сильно зависит от размера зерен люминофора, то также в данной работе был проведен гранулометрический состав некоторых люминофоров. Как правило, более крупнозернистые экраны имеют большую световую

отдачу. Однако использование крупнозернистых слоев люминофора в ряде случаев нецелесообразно.

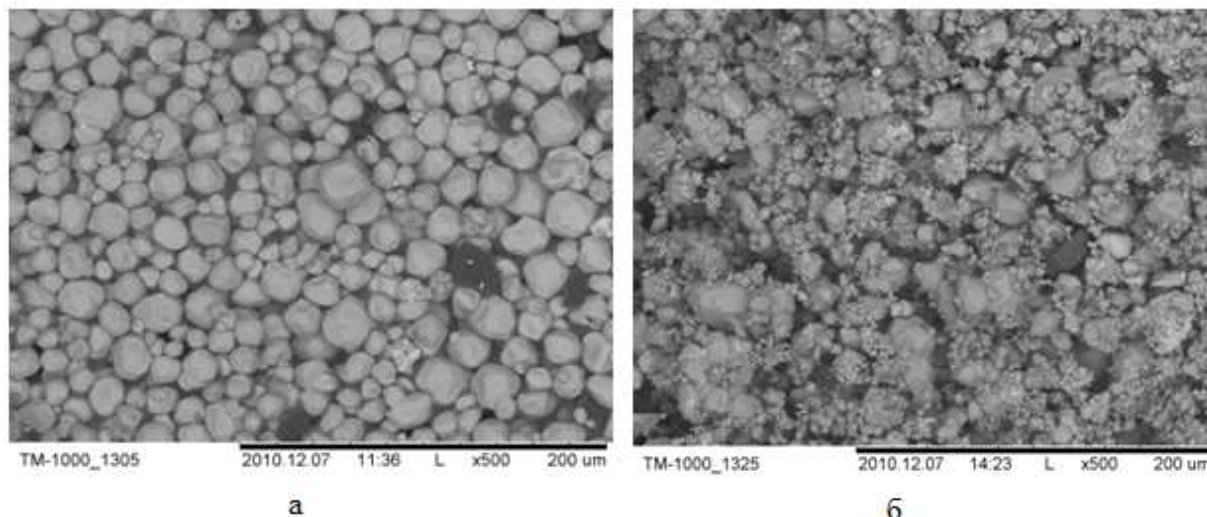


Рисунок 6– Фотография порошка люминофора а)AWB-3; б)ФЛЖ-7-11

По полученным фотографиям построены гистограммы распределения зерен по размеру, представленные на рисунке 7.

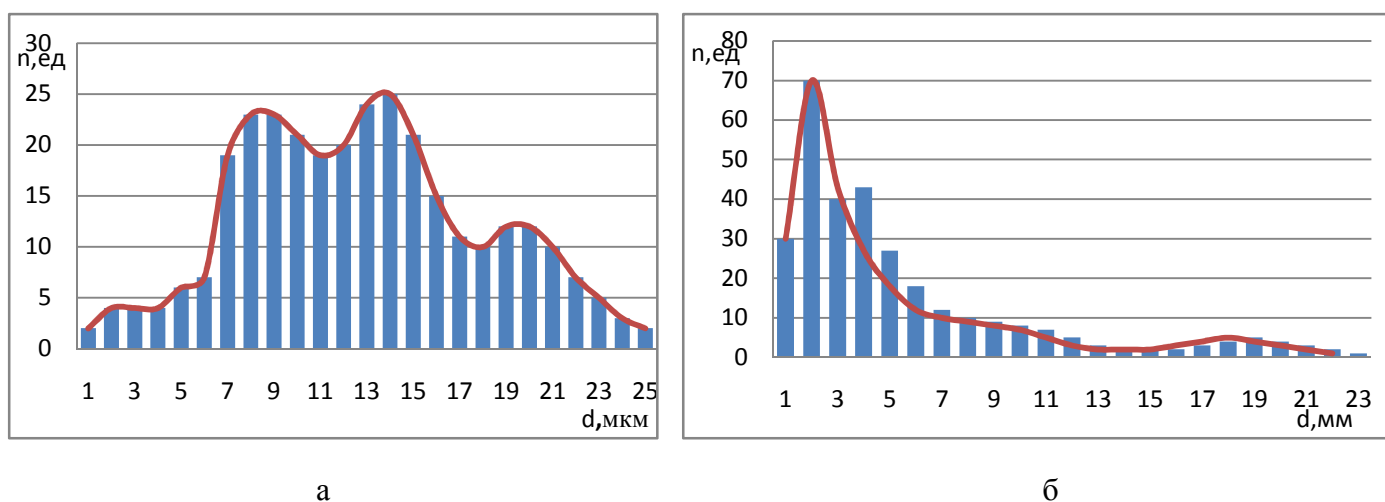


Рисунок 7 – Гистограммы для зерен люминофора а)AWB-3;б)ФЛЖ-7-11

Средний размер зерен люминофора AWB3: 13,02 мкм. Зерна размером 1-10 мкм составляют 46% от всего объёма.

Средний размер зерен люминофора ФЛЖ-7-11 равен 5,6 мкм. Зерна размером 1-10 мкм составляют 85 %.

Из графиков видно, что распределения зерен по размерам подчиняется нормальному закону (распределению Гаусса), но не являются симметричными, то есть наиболее вероятный размер зерна не совпадает со средним размером.

Сопоставив размер зерна порошка люминофора с выходом люминесценции, можно сделать вывод о том, что чем больше размер зерна, тем больше интенсивность излучения. Однако чтобы сделать рекомендации, следует учитывать, что эта зависимость не является абсолютной, а зависит от размера полупроводникового кристалла. Для светодиода с кристаллом большого размера будет эффективен люминофор с крупными зернами, а для светодиода с кристаллом малого размера нужен люминофор с зернами размером 3-5 мкм.

Технология нанесения люминофора на кристалл не отличается простотой из-за седиментации (оседание или всплывание частиц дисперсной фазы, трудно осуществить

точную дозировку компаунда с введенным люминофорным порошком). Устранение седиментации приведет к увеличению квантового выхода за счет более полного облучения поверхности частичек люминофора и позволит добиться хорошей повторяемости результатов.

Таким образом, для повышения эффективности и лучшего воспроизведения результатов необходимо, использовать люминофор с зернами одного размера, исключая мелкие вкрапления порошка. Так как из-за наличия так называемого «мха» ухудшается преобразование энергии синего излучения. Возможно, причиной этого является возникающее при этом перепоглощение.

Для устранения седиментации необходимо использование специального оптического модификатора.

Заключение

В данной работе исследованы спектральные характеристики люминофоров марок ФЛЖ-7-11 и АWB-3, нанесенных на тонкое стекло, и сделаны следующие выводы:

1) При возбуждении люминофоров излучением синего светодиода с максимумом на длине волны 455 нм наблюдается излучение в диапазоне длинных волн 540-740 нм с максимумом на длине волны 560 нм и с полушириной излучения 80 нм.

2) Интенсивность излучения люминофора, возбуждаемого синим светодиодом, уменьшается с уменьшением толщины слоя люминофора. В соответствии с этим можно порекомендовать наиболее оптимальную толщину люминофорного покрытия – 86 – 175 мкм.

3) При увеличении толщины люминофорного покрытия наблюдается увеличение квантового выхода люминесценции, который достигает своего максимального значения в образце толщиной 440 мкм, а затем начинает снижаться.

4) За оптимальную концентрацию можно считать 0.05-0.15 г. на 1 грамм компаунда.

Также исследованы образцы люминофоров в виде порошков. Из построенных гистограмм распределения зерна по размеру обнаружено, что распределение является нормальным, но не симметричным из-за наличия нескольких фракций в составе порошка. Сделаны следующие выводы:

1) Чем крупнее и однороднее зерна люминофора, тем выше эффективность и лучшее воспроизведение результатов.

2) Сравнивая гранулометрический состав образцов люминофоров и их светоотдачу, можно сделать вывод, что лучшими световыми характеристиками из множества представленных марок люминофоров обладает люминофор ФЛЖ-7-560 (Россия).

Список литературы

1. Шуберт Ф. Светодиоды: пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – С. 496 .
2. Бадгутдинов М.Л., Гальчина Н.А., Коган Л.М., Юнович А.Э. Мощные светодиоды белого свечения для освещения // Светотехника. 2006. - №3. - С. 36 - 40.
3. Феопентов А.В., Богданов А.А. Эффективность белых светодиодов // Тез.докл. Пятой всероссийской конференции “Нитриды галлия, индия и алюминия: структуры и приборы”, М., МГУ. 2007.- С 67.
4. Васильева Е. Д., Закгейм А. Л., Снегов Ф. М., Черняков А. Е., Шмидт Н. М., Якимов Е. Б. Некоторые закономерности деградации синих светодиодов на основе InGaN/GaN // Светотехника. 2007. № 5.
5. Бадгутдинов М.Л., Гальчина Н.А., Коган Л.М., Рассохин И.Т., Социн Н.П., Юнович А.Э. Мощные светодиоды белого свечения для освещения // Светотехника. 2006. - №3. - С. 36 - 40.
6. Феопентов А.В. Фотолюминесцентный преобразователь в эффективных светодиодах белого цвета излучения ,2011.- С. 16.