

УДК 628.9.03, 621.373.826

DOI: 10.35211/2500-0586-2025-4-53-39-41

*Н. А. Албу-Салих, В. Н. Храмов***ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ЛЮМИНОФОРА
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСТОЧНИКА СВЕТА
С ЛАЗЕРНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ****Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия**

light19821024@gmail.com, vladimir.khramov@volsu.ru

Автор, ответственный за переписку: Владимир Николаевич Храмов, vladimir.khramov@volsu.ru

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по возбуждению люминофорного источника света лазерным излучением. Использовались полупроводниковый лазер на длине волны 408 нм и порошкообразный люминофор, используемый в распространенных светодиодных лампах. Определена оптимальная толщина слоя люминофора, позволяющая получить максимальное значение интенсивности света. Определена коррелированная цветовая температура такого источника света.

Ключевые слова: лазеры, источники света, спектры излучения, коррелированная цветовая температура, люминесценция

*N. A. Albu-Salikh, V. N. Khramov***EFFECT OF LUMINOPHORE THICKNESS ON THE EFFICIENCY
OF A LIGHT SOURCE WITH LASER EXCITATION OF LUMINESCENCE****Volgograd State University, Volgograd, Russia**

The article presents the results of experimental studies on the excitation of a luminophore light source by laser radiation. A semiconductor laser at a wavelength of 408 nm and a powdered luminophore used in common LED lamps were used. The optimal thickness of the luminophore layer has been determined, which makes it possible to obtain the maximum value of the light intensity. The correlated color temperature of such a light source is determined.

Keywords: lasers, sources of light, emission spectra, correlated color temperature, luminescence

Классический светодиодный излучатель, используемый в большинстве используемых сейчас осветительных ламп, состоит из полупроводникового узкополосного источника света синей области спектра и нанесенного слоя люминофора. Тип люминофора позволяет получить так называемый теплый, нейтральный и холодный белый свет. Это определяется коррелированной цветовой температурой. Коррелированная цветовая температура (КЦТ) T_c – это температура черного тела, при которой координаты цветности его излучения близки в пределах заданного допуска к координатам цветности рассматриваемого излучения на цветовом

графике Международной комиссии по освещению (МКО) [1–3]. Применение люминофоров разного состава позволяет получить теплый белый свет ($T_c = 2700 - 3200$ K), нейтральный (дневной) белый свет ($T_c = 3500 - 4500$ K), холодный белый свет ($T_c = 4500 - 6500$ K).

У светодиодных ламп полный спектр излучения состоит из двух частей: синяя пиковая область соответствует самому излучающему диоду, более широкая область соответствует свечению люминофора (рис. 1). Из спектров видно, что накачка таких светодиодных источников осуществляется синим светодиодом на длине волны в области 450 – 460 нм.

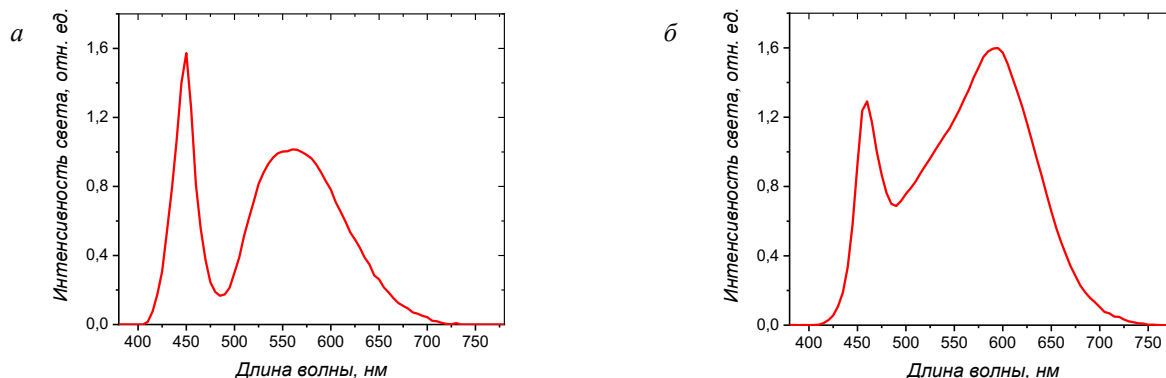


Рис. 1. Полные спектры излучения светодиодных ламп:
а – с недостаточной толщиной слоя люминофора; б – со средней толщиной слоя люминофора

Также из анализа этих спектров видно, что у ряда таких белых светодиодов толщина слоя люминофора слишком мала, поэтому интенсивность синего свечения может намного превышать интенсивность свечения люминофора (рис. 1, *а*). Излучение таких ламп неблагоприятно сказывается на зрении и искажается цветовосприятие. В более хороших белых светодиодах при достаточной толщине люминофора его интенсивность излучения в максимум больше, чем у накачивающего синего диода (рис. 1, *б*).

В данной работе представлены результаты предварительных экспериментов по реализации источника света с лазерной, а не с диодной накачкой люминофора. Толщина слоя люминофора варьировалась. Проведена серия экспериментов с разной толщиной люминофора (1–4 мм). В качестве источника фиолетового излучения использовался непрерывный полупроводниковый лазер на длине волны ~ 408 нм мощностью около 150 мВт. Хотя длина волны используемого лазера далеко не оптимальна для данного люминофора (нужно примерно 450–460 нм, а не 408 нм), тем не менее результаты с люминесценцией получились. Вероятно, это связано с достаточно широкой полосой поглощения люминофора.

Люминофор, используемый для исследования, был взят из светодиодов лампы, спектр которой показан на рис. 1, *б*. Люминофор был измельчен до состояния однородного спрессованного порошка, помещался в кювету и просвечивался лазерным источником без фокусировки. Для измерения всех спектральных характеристик исследуемых источников света использован модернизированный комплекс на базе монохроматора МДР-23. Шаг измерений по длине волны – 5 нм.

Первичная гипотеза предполагала, что с увеличением толщины слоя люминофора интенсивность люминесценции будет расти. Экспериментально полученные спектры люминесценции (без узкополосного спектра излучения лазера возбуждения) для различных толщин слоя представлены на рис. 2. Эксперимент показал немонотонность такой зависимости. На рис. 3 показана зависимость интенсивности в максимуме люминесценции от толщины слоя люминофора.

Как видно из графиков зависимости интенсивности от длины волны, наиболее оптимальной толщиной слоя люминофора в условиях данного эксперимента является 2 мм. При дальнейшем увеличении толщины люминофора начинает работать эффект тушения люминесценции и интенсивность свечения уменьшается.

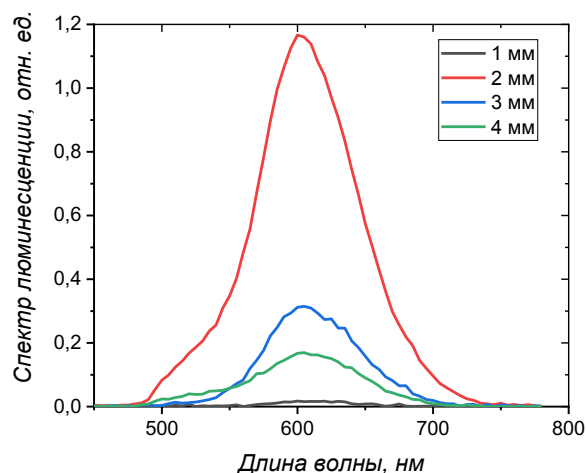


Рис. 2. Спектры люминесценции источника света при различных толщинах слоя люминофора

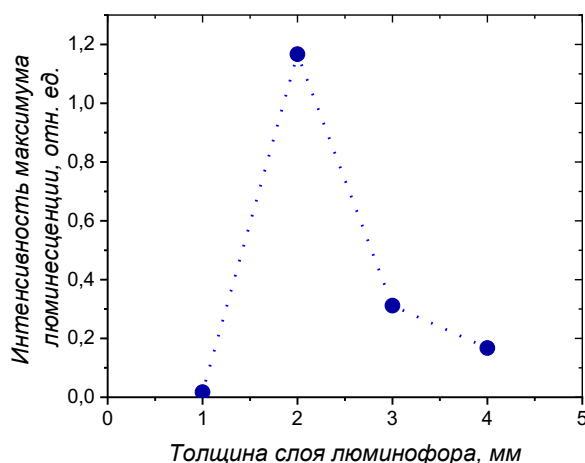


Рис. 3. Зависимость интенсивности в максимуме люминесценции (в относительных единицах) от толщины слоя люминофора

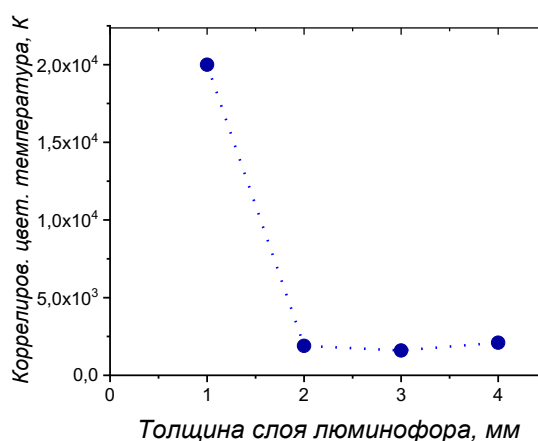


Рис. 4. Зависимость коррелированной цветовой температуры рассматриваемого источника света от толщины слоя люминофора

По стандартной методике, приведенной в [2; 4], по измеренным полным спектрам излу-

чения с помощью разработанного программного обеспечения [5; 6] была определена коррелированная цветовая температура при различной толщине слоя люминофора (рис. 4). При малой толщине (1 мм) в спектре присутствует, в основном, узкополосное излучение фиолетового лазера, поэтому значение в 20 000 К особого смысла не имеет. При увеличении толщины слоя КЦТ составляла около 2 000 К (теплый белый свет) и в дальнейшем практически не меняется.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов по возбуждению люминофорного источника света лазерным излучением получена оптимальная толщина слоя люминофора, определена коррелированная цветовая температура.

Конечно, само значение оптимальной толщины в данном эксперименте соответствует порошкообразному состоянию люминофора. Для монолитного слоя количественно оптимальная толщина будет другой. Но, тем не менее, это следует учитывать при производстве и эксплуатации светодиодных люминофорных источников света.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 55702-2013 Источники света электрические. Методы измерений электрических и световых параметров. – М.: Стандартинформ, 2014.
2. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 55703 – 2013. Источники света электрические. Методы измерений спектральных и цветовых характеристик. – М.: Стандартинформ, 2015.
3. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 8.827 – 2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метод измерения и определения индекса цветопередачи источников излучения. – М.: Стандартинформ, 2014.
4. Горбунова, Е. В. Колориметрия источников излучения: учебное пособие / Е. В. Горбунова, А. Н. Чертов. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 126 с.
5. Калинина, И. В. Экспериментальное исследование особенностей световых параметров различных источников света / И. В. Калинина, В. Н. Храмов // Труды XXVIII Международной конференции «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте – 2020». Новороссийск, 07–12 сентября 2020 года. Издательство: Пензенский государственный университет (Пенза), 2020. – С. 270–273.
6. Албу-Салих, Н. А. Особенности цветовых характеристик лазерных и светодиодных источников света / Н. А. Албу-Салих, И. В. Калинина, В. Н. Храмов // Лазерно-информационные технологии: труды XXIX Международной научной конференции (13–18 сентября 2021 г.) / ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова». – Новороссийск: НФ ФГБОУ ВО «БГТУ», 2021. – С. 101–102.