

**Д.Н. Хмиль, А.М. Камуз, П.Ф. Олексенко,
Н.Г. Алексенко, В.Г. Камуз**

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИМЕНЬШЕЙ РАЗНИЦЫ ЦВЕТОВ ИСПЫТУЕМОГО ЛЮМИНОФОРА И БЕЛОГО СВЕТА

Разработан экспресс-метод определения наименьшей разницы цвета (НРЦ) люминофора и белого света. Метод испытан на трех типах люминофоров с коэффициентами поглощения в области излучения синих светодиодов 454—464 нм от нескольких обратных сантиметров до порядка 10^4 см^{-1} . Экспериментально установлено, что для определения НРЦ необходимо заполнить всего лишь одно измерение.

Ключевые слова: белый светодиод, фотолюминофор, люминофорная суспензия, наименьшая разница цветов.

ВВЕДЕНИЕ

Переход к светодиодным источникам освещения является одним из наиболее перспективных направлений энергосбережения в светотехнике. При этом ожидается экономия до 20 % электроэнергии, затрачиваемой на освещение. В настоящее время основное внимание исследователей и разработчиков направлено на проблему создания высокоэффективного излучения, соответствующего высоким стандартам качества света. Наиболее распространенным является способ получения белого света с помощью светодиодов, основанных на использовании синего светодиода 460 нм, и возбужденного им более длинноволнового фотолюминофора. При этом излучение светодиода частично используется для возбуждения люминофора, а частично смешивается с излучением фотолюминесценции, образуя поток белого света. Таким образом, фотолюминофор — один из важнейших функциональных элементов в структуре белых светодиодов, в полной мере ответственный как за качество белого света, так и за энергетическую эффективность всей излучающей структуры. Поэтому поиск и разработка новых люминофорных материалов, оптимизация их характеристик и характеристик светоизлучающей структуры является в настоящее время важной научной и практической задачей.

В данной работе предлагается простой метод оценки характеристик фотолюминофора для получения высоких стандартов белого света.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При отработке технологического процесса синтеза люминофоров для белых светодиодов технологически необходимо знать какие изменения технологического режима синтеза приводят к улучшению, а какие — к ухудшению цветовых характеристик люминофора с точки зрения применимости люминофоров для белых светодиодов. Цветовые характеристики системы люминофор—синий светодиод определяются четырьмя параметрами: спектром фотолюминесценции люминофора, длиной волны синего светодиода (обычно 460 нм), концентрацией порошка люминофора в люминофорной суспензии и толщиной пленки суспензии. Процедура определения оптимальных значений этих параметров очень сложна и трудоемка. Для определения оптимальных значений необходимо, как правило, изготовить и испытать несколько десятков пробных образцов. Однако даже после таких трудоемких и дорогостоящих

© Д.Н. Хмиль, А.М. Камуз, П.Ф. Олексенко, Н.Г. Алексенко, В.Г. Камуз, 2010

испытаний нет уверенности в том, что определенные эмпирическим путем оптимальные параметры системы люминофор—синий светодиод позволяют получать наилучшие для данного люминофора координаты цветности, т. е. полностью использовать его потенциал. Под оптимальными параметрами понимают наименьшую разницу цвета (НРЦ) люминофора и белого света [2].

2. ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Метод оценки базируется на том, что координаты цветности светодиода со слоем люминофора на нем линейно изменяются при возрастании либо концентрации люминофора в пленке суспензии, либо ее толщины.

Экспресс-метод позволяет установить насколько подходит люминофорная суспензия для изготовления белых светодиодов, т. е. определить ее НРЦ, выполнив всего лишь одно измерение. При этом в пробном образце концентрация испытуемого люминофора в пленке и ее толщина составляют соответственно 30—70 % и 20—100 мкм.

По результатам цветовых измерений для каждого испытуемого люминофора вычисляется разность цвета d для системы фотолюминофор—синий светодиод при оптимальных значениях концентрации люминофора в суспензии и толщины слоя суспензии (d — НРЦ люминофора и белого света). Очевидно, что чем меньше цветовое расстояние d имеет люминофор, тем лучше он подходит для изготовления на его основе белых светодиодов.

Чтобы определить диапазон применимости метода, использовали фотолюминофоры с большими, средними и малыми значениями коэффициентов поглощения (k) в области излучения синих светодиодов (454—464 нм). Образцы пленок наносились на покровные стекла толщиной 2 мм, возбуждение осуществлялось синими светодиодами с длинами волн 454—464 нм.

2.1. Фотолюминофор с высоким значением k . В качестве фотолюминофора с высоким коэффициентом поглощения был выбран фотолюми-

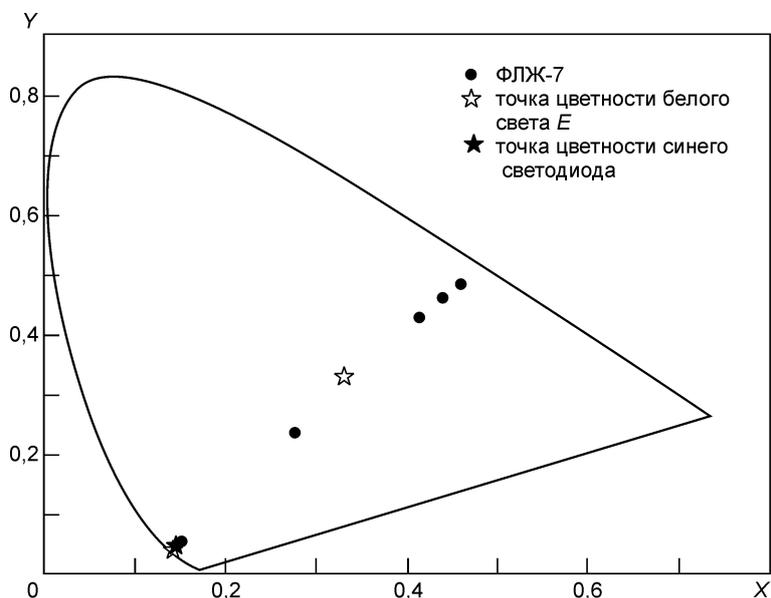


Рис. 1. Цветовой график системы XYZ с координатами цветности пленок суспензии фотолюминофора ФЛЖ-7 при возрастании концентрации люминофора или толщины пленки [3]

Экспериментальные значения, полученные для разных люминофоров

Люминофор	НРЦ люминофорной суспензии	X	Y	Коэффициент поглощения, см ⁻¹	
				440 нм	490

ФЛЖ-7	0,007	0,3360	0,3257	690	390
ЭЛ-570М	0,023	0,3486	0,3160	239	100
CaBO ₃ Cl:Eu	0,025	0,3504	0,3145	35	32
ZnSCdS:Ag	0,03	0,3537	0,3114	360	150
Li ₂ SrSiO ₄ :E ₄	0,046	0,3651	0,3	35	32

нофор ФЛЖ-7 (иттрий-алюминиевый гранат, легированный церием). Коэффициенты поглощения на длинах волн 440 и 490 нм составляли соответственно 690 и 390 см⁻¹ (максимум порядка $8 \cdot 10^2$ см⁻¹). Полоса люминесценции имела максимум на длинах волн 560—570 нм. Отметим, что фотолуминофор ФЛЖ-7 специально разработан для современных белых светодиодов [2]. На рис. 1 видно, что с увеличением концентрации или толщины пленки образца точки цветности перемещаются по прямой линии и доходят почти до линии монохроматических излучений. Кроме того, при некоторых оптимальных значениях концентрации и толщины эта линия проходит вблизи точки цветности белого света E равноинтенсивного излучения (на расстоянии d_1 ; таблица).

2.2. Фотолуминофоры со средними значениями k . Были использованы выпускаемый фотолуминофор ЭЛ-570М и фотолуминофор Zn · CdS : Ag. Их коэффициенты поглощения на длинах волн 440 и 490 нм равны соответственно 239 и 100 см⁻¹ для фотолуминофора ЭЛ-570М, а также 360 и 150 см⁻¹ для фотолуминофора Zn · CdS : Ag, т. е. область излучения синих светодиодов попадает на длинноволновую сторону хвоста полосы поглощения фотолуминофоров.

Как видно из рис. 2, при увеличении концентрации люминофора в пленке (или ее толщины) точки цветности тоже перемещаются по прямой линии и доходят почти до линии монохроматических излучений. Од-

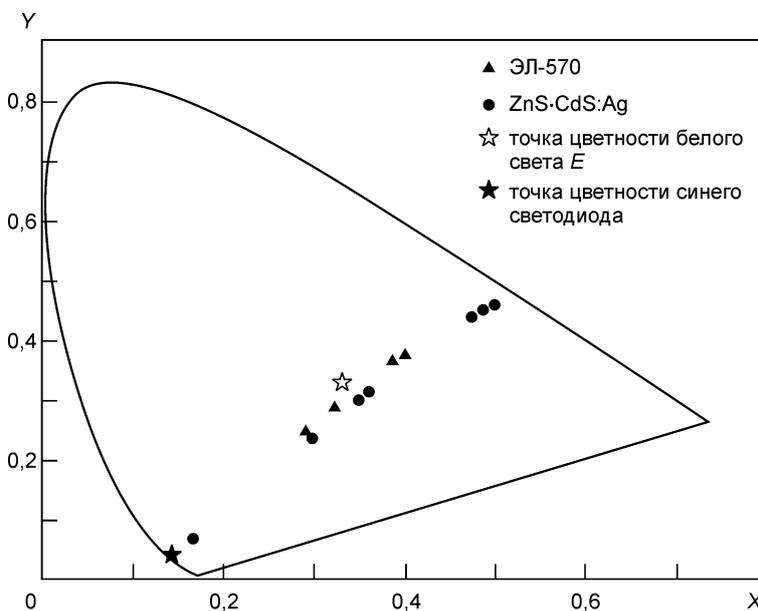


Рис. 2. Цветовой график системы XYZ с координатами цветности пленок суспензий фотолуминофоров ZnS · CdS:Ag и ЭЛ-570М при возрастании концентрации люминофора или толщины пленки [3]

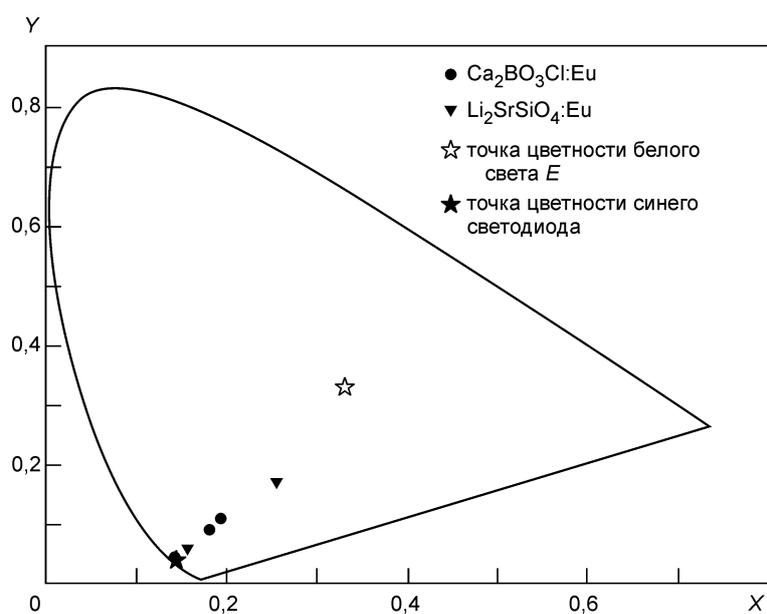


Рис. 3. Цветовой график системы XYZ с координатами цветности пленок суспензий фотолуминофоров $\text{Li}_2\text{SrSiO}_4:\text{Eu}$ и $\text{Ca}_2\text{BO}_3\text{Cl}:\text{Eu}$ при возрастании концентрации люминофора или толщины пленки [3]

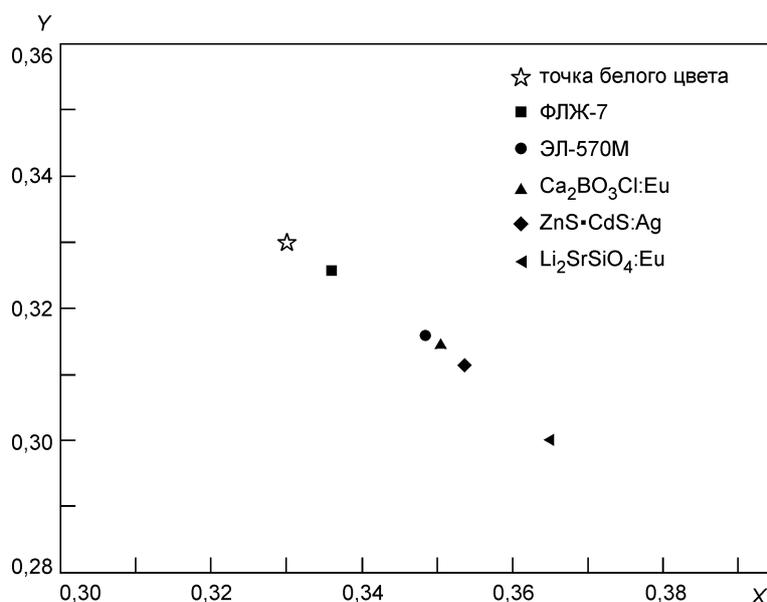


Рис. 4. НРЦ испытуемых люминофорных суспензий

нако это достигается при б.ольших концентрациях или толщинах (почти в два раза), чем в случае фотолуминофора ФЛЖ-7. Также видно, что при некоторых оптимальных значениях концентрации и толщины эта линия проходит на некотором расстоянии d_2 от точки цветности белого света E равноинтенсивного излучения ($d_2 > d_1$, см. таблицу).

2.3. Фотолуминофоры с малыми значениями k . В качестве фотолуминофоров с малыми коэффициентами поглощений выбрали фотолуминофоры $\text{Li}_2\text{SrSiO}_4:\text{Eu}$ и $\text{Ca}_2\text{BO}_3\text{Cl}:\text{Eu}$. Кривые поглощения $\text{Li}_2\text{SrSiO}_4:\text{Eu}$ и $\text{Ca}_2\text{BO}_3\text{Cl}:\text{Eu}$ в диапазоне длин волн 440 и 490 нм практически совпадают. Коэффициенты поглощения на длинах волн 440 и 490 нм равны соответственно 35 и 32 см^{-1} . Как видно из

рис. 3 точки цветности тоже перемещаются по прямой линии при увеличении концентрации люминофора в пленке (или ее толщины). Однако получить цветные координаты вблизи точки E не удастся. Повышение концентрации (толщины) фотолюминофора в пленке суспензии обуславливает значительное понижение интенсивности излучения синего светодиода и незначительное увеличение люминесценции. Из рис. 3 также видно, что если бы точки цветности дошли до точки E , то они находились бы на линии, проходящей на расстоянии d_3 от точки цветности белого света E (см. таблицу).

Результаты экспериментальных исследований люминофоров, взятые из таблицы, приведены на цветовом графике системы XYZ (рис. 4). Из таблицы и рис. 4 видно, что для белых светодиодов наилучшие параметры в случае использования люминофора ФЛЖ-7, а наихудше (с учетом п. 2.3) — при использовании люминофоров $\text{Ca} \cdot \text{VO}_3\text{Cl}:\text{Eu}$ и $\text{Li}_2\text{SrSiO}_4:\text{Eu}$

ВЫВОДЫ

1. Экспресс-метод позволяет сократить процесс исследования люминофорных суспензий в десятки раз.
2. Экспресс-метод многократно снижает стоимость испытаний.
3. Экспресс-метод применим для исследования люминофорных суспензий с коэффициентами поглощения от нескольких обратных сантиметров до порядка 10^4 см^{-1} .

**D.N. Khmil, A.M. Kamuz, P.Ph. Oleksenko,
N.G. Aleksenko, V.G. Kamuz**

QUICK TEST TO DEFINE THE LEAST COLOR DIFFERENCE of EXPERIMENTAL LUMINESCENT SOLID AND WHITE LIGHT

The quick test to determine the minimum color difference (MCD) between the luminescent solid and white light has been developed. This method has been tested using three types of luminophors with adsorption coefficients within the range of several reverse centimeters up to 104 cm^{-1} , which corresponds to the emission region of blue LEDs, namely 454-464 nm. It has been ascertained experimentally that the only one measurement is necessary to determine the MCD value.

Keywords: white light-emitting diode, photoluminophor, phosphor slurry, minimum color difference.

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. — 2-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — С. 295—412.
2. Pat. 2006006002 WO. Wave length shifting compositions for white emitting diode systems / Vladimir Abramov, Naum Soschin, Valery Sushkov et al. — 19.01.2006.
3. Джаад Д., Вышецкий Г. Цвет в науке и технике / Пер. с англ. под ред. Л.Ф. Атрюшина. — М.: Мир, 1978. — С. 155—165.

Институт физики полупроводников
им. В.Е. Лашкарева
НАН Украины,
Проспект Науки, 41
03028 Киев

Получено 25.03.2010