

УДК 621:382

Пылаев А.Д., Гуськова Л.С., Макаров В.В.

## СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРЯМОЗОННЫХ СВЕТОДИОДОВ

**Пылаев Артём Дмитриевич**, студент 2 курса бакалавриата факультета информационных технологий и управления, e-mail: tracer-95@mail.ru;

**Гуськова Лариса Сергеевна**, студентка 2 курса бакалавриата факультета информационных технологий и управления;

**Макаров Владимир Валентинович**, д.т.н., профессор, профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20

*Светодиоды находят широкое применение в различных областях науки и техники. При их использовании в осветительных или сигнальных приборах часто встаёт задача определения того, какой цвет увидит наблюдатель. Данная работа показывает, как этого можно достичь, и для примера взяты некоторые распространённые составы светодиодов. Результаты представлены в виде координат цвета в различных колориметрических системах.*

**Ключевые слова:** прямозонные светодиоды, колориметрические характеристики, координаты цвета.

## SPECTRAL-LUMINESCENT AND COLORIMETRIC PROPERTIES OF DIRECT-ZONE LIGHT-EMITTING DIODES

Pylaev A.D., Guskova L.S., Makarov V.V.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*Light-emitting diodes are widely used in science and technology. There is often a problem of determination what color will see the spectator during use it in lighting and signaling devices. This work shows how it can be done, for example, some widely used light-emitting diodes were taken. The results are given as coordinates of color in different colorimetric systems.*

**Keywords:** light-emitting diodes, colorimetric characteristics, color coordinates.

### Постановка задачи исследований

Исследованы спектрально-люминесцентные характеристики и цвет прямозонных полупроводников с шириной запрещенной зоны, соответствующей видимому диапазону электромагнитного спектра, обусловленной возможностью их применения для электролюминесцентных источников света. Определены координаты цвета и цветности объектов исследования в различных, в том числе, равноконтрастных колориметрических системах CIE.

Прямозонные полупроводники с шириной запрещенной зоны в диапазоне 1.8-3.1 эВ, имеющие оптические свойства (яркость, цветовая температура, световая отдача и т.д.), удовлетворяющие предъявленным требованиям, могут рассматриваться в качестве кандидатов в производстве электролюминесцентных источников света [1,2].

В работе определены координаты цвета и цветности упомянутых прямозонных полупроводников в различных колориметрических системах, в наибольшей степени приспособленных для оценки колориметрических характеристик люминофоров.

В качестве исходной информации использованы опубликованные в литературе спектральные характеристики упомянутых полупроводников [1-3].

При выборе подходящих колориметрических систем и расчете координат цвета и цветности авторы руководствовались рекомендациями, опубликованными в соответствующей литературе [4]. При этом предпочтение отдавалось равноконтрастным (квазиметрическим) системам, рекомендованным CIE для оценивания люминесцирующих материалов [4-6].

Отметим, что в литературе по люминесценции кристаллофосфоров, производству и применению электролюминесцентных источников света и смежным проблемам цветовые характеристики исследуемых материалов оцениваются преимущественно по доминирующей длине волны спектров их излучения, чем в частности обусловлена необходимость определения их цвета более адекватными методами.

Поэтому наряду с традиционно применяемой спецификацией цвета в виде триады «цветовой тон, чистота цвета, яркость» рассчитаны также координаты цвета и цветности в колориметрических системах XYZ (CIE), UVW (CIE), Lab (CIE).

### Описание колориметрических систем

Ниже приведены формулы для расчета координат цвета и цветности [4-6] в различных колориметрических системах, использованных в работе.

1. Система XYZ CIE 1931.

Координаты цвета  $X, Y, Z$ :

$$X = \int_{400}^{700} I_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} d\lambda, \quad (1)$$

$$Y = \int_{400}^{700} I_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} d\lambda, \quad (2)$$

$$Z = \int_{400}^{700} I_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} d\lambda. \quad (3)$$

где  $I_{\lambda}$  – распределение относительной интенсивности (энергии) излучения полупроводника (люминофора);

$\bar{x}_{\lambda}, \bar{y}_{\lambda}, \bar{z}_{\lambda}$  – спектральная чувствительность глаза к стандартным цветам XYZ (стандартные величины);

$\lambda$  – длина волны, нм [7].

Координаты цветности  $x, y$ :

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad (4)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}. \quad (5)$$

2. Система UVW CIE 1964.

Координаты цветности  $u, v$ :

$$u = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}, \quad (6)$$

$$v = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z}. \quad (7)$$

Координаты цвета  $U, V, W$ :

$$W = 25\sqrt[3]{Y} - 17, \quad (8)$$

$$U = 13W(u - u_0), \quad (9)$$

$$V = 13W(v - v_0), \quad (10)$$

где  $u_0$  и  $v_0$  – координаты стандартного источника света.

3. Система Lab CIE 1978.

Координаты цвета:

$$L = 116(\sqrt[3]{Y/Y_0}), \quad \text{при } Y/Y_0 > 0.008856, \quad (11)$$

$$L = 903.3(\sqrt[3]{Y/Y_0}), \quad \text{при } Y/Y_0 \leq 0.008856, \quad (12)$$

$$a = 500[f(X/X_0) - f(Y/Y_0)], \quad (13)$$

$$b = 200[f(Y/Y_0) - f(Z/Z_0)], \quad (14)$$

где вид функции  $f$  зависит от диапазона  $X/X_0, Y/Y_0, Z/Z_0$ ;

$X_0, Y_0, Z_0$  – координаты цвета источника излучения.

**Результаты расчётов**

В таблице 1 приведены рассчитанные значения координат цвета и цветности некоторых полупроводников.

Графически данные цвета представлены на диаграмме цветности (рис.1).

Таблица 1. Координаты цвета и цветности различных полупроводников

Люминофор	$x$	$y$	$U$	$V$	$W$	$L$	$a$	$b$	Наблюдаемый цвет
GaP:N	0.41	0.59	-25	78	80	80	-45	139	Зелёный
GaP:ZnO	0.69	0.31	255	32	61	62	106	124	Красный
GaAs <sub>1-m</sub> P <sub>m</sub> , $m = 0.4$	0.72	0.28	287	27	59	60	120	125	Красный
GaAs <sub>1-m</sub> P <sub>m</sub> , $m = 0.59$	0.61	0.39	152	49	68	68	59	130	Оранжево-красный
GaAs <sub>1-m</sub> P <sub>m</sub> :N, $m = 0.4$	0.72	0.28	291	27	59	59	122	125	Красный
GaAs <sub>1-m</sub> P <sub>m</sub> :N, $m = 0.59$	0.69	0.31	246	34	62	62	103	124	Красный

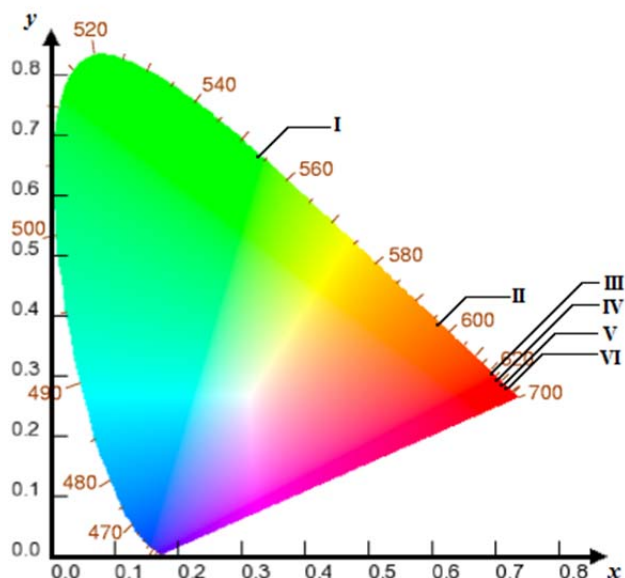


Рис.1. Диаграмма цветности  $xy$  с отмеченными на ней координатами цветности различных полупроводников; по периметру диаграммы указана длина волны света в нанометрах. Составы: I. GaP:N; II. GaAs<sub>1-m</sub>P<sub>m</sub>,  $m = 0.59$ ; III. GaAs<sub>1-m</sub>P<sub>m</sub>:N,  $m = 0.59$ ; IV. GaP:ZnO; V. GaAs<sub>1-m</sub>P<sub>m</sub>,  $m = 0.4$ ; VI. GaAs<sub>1-m</sub>P<sub>m</sub>:N,  $m = 0.4$

Отметим, что в выражении для координат цвета содержится относительная интенсивность (энергия) излучения люминофора, а не распределение энергии стандартных источников света. В качестве стандартного источника при исследовании спектрально-люминесцентных и колористических характеристик люминофоров рекомендован источник  $D_{65}$  с цветовой температурой 6500 К, как имеющий значительную составляющую энергии в

UV-диапазоне спектра электромагнитного излучения.

### Выводы по работе

В данной работе были определены спектральные и люминесцентные свойства узкозонных полупроводников. Предполагается их использование как источников света. Были рассчитаны трёхстимульные величины и координаты цветности данных полупроводников.

Работа представляет собой результат анализа спектрально-люминесцентных свойств прямозонных полупроводников и выполнена при углубленном изучении учебной дисциплины «Материаловедение наноматериалов и наносистем» (раздел «свойства метаматериалов»).

### Список литературы

1. Берг А., Дин П. Светодиоды. М.: Мир, 1979. 686 с.
2. Верещагин И.К., Ковалев Б.А., Косяченко Л.А., Кокин С.М. Электролюминесцентные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1990. 168 с.
3. Верещагин И.К. Электролюминесценция кристаллов. М.: Наука, 1974. 280 с.
4. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. М.: Мир. 1978. 592 с.
5. MacLaren K. The colour Science of Dyes and Pigments. Bristol and Boston: Adam Hilger htd., 1985. 209 p.
6. Международный светотехнический словарь. М.: Русский язык, 1979. 278 с.
7. Юстова Е.Н. Таблица основных спектральных и колориметрических величин. М.: Стандартиздат, 1967. 35 с.