

УДК 621.385.12: 621.385.64:  
621.385.8

Ю.П. Мачехин, докт. техн. наук,  
Т.И. Фролова, канд. физ. - мат. наук,  
Ю.А. Грищенко, асп.  
Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ БЕЗЭЛЕКТРОДНОЙ СЕРНОЙ ЛАМПЫ

**Введение.** Человек в своей профессиональной деятельности часто сталкивается с необходимостью использовать источники света со спектром, близким к спектру естественного света. Это могут быть как зрительные задачи при работе с цветными объектами (контроль цвета, сопоставление цветов, различение цветов), так и повседневная деятельность человека. Поэтому разработка источника излучения, воспроизводящего освещение дневного света, а также позволяющего управлять выходным спектром излучения является актуальной задачей современной свето- и оптотехники.

В настоящее время на рынке представлено большое количество маломощных ламп флуоресцентного типа (80 лм/Вт), в составе которых содержится ртуть, которая является очень вредным веществом. Данная работа направлена на усовершенствование экологически чистого, высокоэффективного источника света на основе излучения паров серы, возбуждаемых СВЧ-разрядом, спектр излучения которого благодаря уникальным свойствам серы очень близок к спектральной кривой солнечного излучения. Исследование и разработка серных ламп ведется в различных странах: США, Нидерланды, Южная Корея, Россия и Германия. Преимуществом этих ламп является то, что при высокой температуре пары серы излучают непрерывный спектр, который соответствует спектральной чувствительности человеческого глаза.

Решаемой задачей является детальное изучение цветовых характеристик спектра излучения СВЧ-лампы, определение координат цвета и цветности, а также оптимизация компонентного газового состава безэлектродной серной лампы, с целью улучшения его спектральных характеристик.

### 1 Анализ спектра излучения серной безэлектродной СВЧ-лампы

При исследовании излучения серной СВЧ-лампы было выявлено, что лампа излучает свет всех длин волн, ее спектр выглядит как непрерывная полоса, плавно меняющая свой цвет от красного до фиолетового (380 – 780 нм), с максимальной яркостью в области зеленых длин волн (рис. 1).

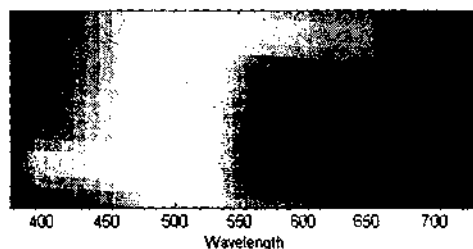


Рис. 1 – Распределение интенсивности энергии излучения безэлектродной СВЧ-лампы на парах серы

Цветовая температура такой лампы лежит в пределах 4000 – 8000 К и максимально приближается к цветовой температуре дневного света (6500 К). Для более подробного изучения цветовых характеристик спектра излучения серной лампы, находятся его координаты цвета и цветности.

При графическом построении зависимостей количества основных цветов в спектре излучения источника света от длины волны этого излучения получают функции длины волны, называемые кривыми сложения цветов. На рис. 2 показаны кривые сложения безэлектродной серной лампы, а также стандартных источников излучения А (лампа накаливания с вольфрамовой нитью с коррелированной цветовой температурой 2856 К) и D65 (воспроизводит освещение усредненным дневным светом с коррелированной цветовой температурой 6500 К). Как видно из рисунка, кривые сложения СВЧ-лампы повторяют форму излучения стандартного источника D65 – дневного солнечного света, в отличие от лампы накала, которая имеет наибольшую составляющую красного цвета (кривая сложения  $\bar{x}(\lambda)$ ).

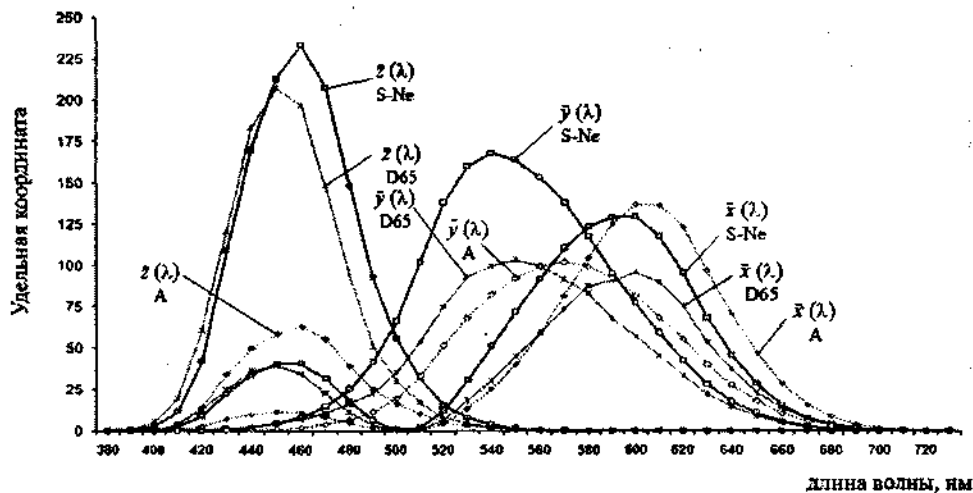


Рис. 2 – Кривые сложения цветовой системы МКО XYZ для различных источников излучения

Расчет цветовых координат в системе МКО XYZ осуществляется путем перемножения функции спектрального распределения источника излучения на функции сложения и интегрирования произведений:

$$X = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad Y = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \quad Z = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

где  $X, Y, Z$  – координаты цвета в системе МКО XYZ;  $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  – ординаты кривых сложения;  $\lambda_1, \lambda_2$  – диапазон длин волн (380 ... 780 нм);  $\Phi(\lambda)$  – спектральное распределение мощности излучения источника света.

Наряду с цветовой моделью МКО XYZ существует модель  $L^*a^*b^*$  МКО (сокращенно CIE Lab):

$$L^* = 116 \left( \frac{X}{X_0} \right)^{1/3} - 16, \quad a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_0} \right)^{1/3} - \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} \right], \quad b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - \left( \frac{Z}{Z_0} \right)^{1/3} \right], \quad (2)$$

где  $L^*, a^*, b^*$  – координаты цвета в системе  $L^*a^*b^*$ ;  $X_0, Y_0, Z_0$  – цветовые координаты излучателя белого цвета.

Достоинством этой модели, определившим ее широкое использование в колориметрии и промышленности, является то, что она очень эффективно решила проблему разработки равноконтрастного цветового пространства, а также то, что описание цвета в этой системе фактически моделирует процесс представления цвета аппаратом человеческого зрения.

В табл. 1 приведены расчетные значения координат цвета и цветности для рассматриваемых источников излучения, рассчитанные по формулам (1) и (2).

Таблица 1

Параметр	система MКО XYZ, X	система MКО XYZ, Y	система MКО XYZ, Z	система MКО Lab, L*	система MКО Lab, a*	система MКО Lab, b*	коорд. цвет- ности, x	коорд. цвет- ности, y
D65	95,03	100,00	108,82	98,05	-8,42	-5,71	0,31	0,33
A	109,82	100,00	35,55	103,68	15,85	58,32	0,45	0,41
СВЧ- лампа	81,54	100,00	81,84	92,37	-32,88	12,92	0,31	0,38

Используя математический пакет MatLab, было выполнено трехмерное моделирование цветового пространства источников света и определены области цвета, соответствующие рассматриваемым источникам излучения (рис. 3). График наглядно демонстрирует, что излучение исследуемой серной СВЧ-лампы лежит вблизи белой области цветности, приближаясь к точке, принадлежащей спектру излучения солнечного света, но имеет доминирующую зеленую составляющую. В отличие от серной лампы, область цвета, соответствующая излучению лампы накаливания, лежит дальше от белых спектральных цветов и соответствует желто-оранжевому цвету.

## 2 Исследование химических свойств газовой среды колбы СВЧ-лампы

Особенностью безэлектродных СВЧ-разрядных ламп является то, что применение СВЧ-поля в качестве источника накачки дает возможность управлять выходным спектром лампы, используя свойства взаимодействия различных газовых сред друг с другом, а также с СВЧ-излучением источника питания.

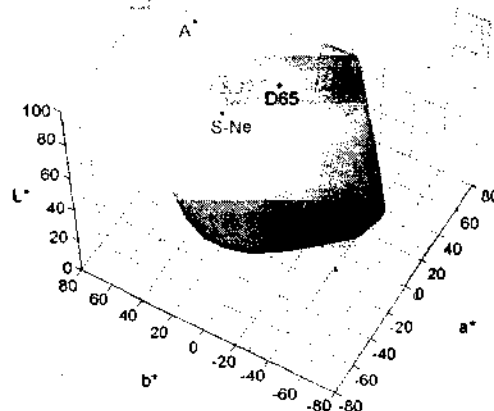


Рисунок 3 – Цветовое пространство источников света и области цвета различных источников излучения

Очевидным является тот факт, что при добавлении в колбу лампы других химических элементов, ее спектр излучения изменится, т.к. в атомах различных химических элементов энергии квантовых скачков между разрешенными орбиталями отличаются, и они будут излучать свет с различными длинами волн. В зависимости от того, какое вы-

ходное излучение необходимо получить, в колбу следует добавить элемент, доминирующая длина волны которого при сложении со спектром паров серы, удовлетворяет выдвинутому требованию.

Так, в видимом спектре излучения натрия наблюдаются две близко расположенные линии в желтой части спектра, а у ртути спектральные линии приходятся на синеголубую область. Однако, для эффективного улучшения спектра излучения лампы, следует также учитывать характер взаимодействия дополнительных элементов с буферным газом, а также с СВЧ-энергией.

### Выводы

Таким образом, в представленной работе были проанализированы и охарактеризованы спектральные характеристики излучения безэлектродной серной СВЧ-лампы. Была показана возможность оптимизации компонентного газового состава лампы, путем добавления в колбу дополнительных химических элементов, что позволит управлять цветовыми характеристиками излучения СВЧ-лампы.

### Литература

1. Козлов А.Н., Ляхов Г.А. и др. СВЧ и ВЧ возбуждение ВЧ разряда в парах серы с неоном // Письма в ЖТФ, 1999. Т. 25. Вып. 13. С. 27 – 33.
2. Юшков Д.Д. Источники света на основе безэлектродного СВЧ-разряда (обзор) // Светотехника, 1984. № 2. С. 33-39.
3. Рохлин Г.Н. Разрядные источники оптического излучения (обзор развития) // Светотехника, 1995. №4. С. 34-51.
4. Луизов А.В. Цвет и свет. Л. Энергоатомиздат, 1989. 256 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРА ВИПРОМІНЮВАННЯ БЕЗЕЛЕКТРОДНОЇ СІРЧАНОЇ ЛАМПИ

Ю.П. Мачехін, Т.І. Фролова, Ю.О. Грищенко

*У наступній доповіді досліджуються спектральні характеристики безелектродної СВЧ-розрядної сірчаної лампи, аналізуються її параметри кольору та кольоровості. Розглядається можливість ефективного керування спектром випромінювання лампи шляхом змінювання її хімічних властивостей.*

## THE RESEARCH OF RADIATION SPECTRUM NONELECTRODE OF THE SULFURIC LAMP

Y.P. Machekhin, T.I. Frolova, J.A. Grishchenko

*In present report spectra la characteristic of nonelectrode sulfur plasma lamp which is maintained by microwaves is researched, its colour and chromaticity parameters are analyzed. Possibility of effective spectrum radiation of the lamp control by variation of its chemical properties is explored.*