

ограничивает время теплового воздействия на образец на период регистрации сигнала. Механизм открывания и закрывания ирисовой диафрагмы работает как в ручном режиме, так и автоматическом по заданию оператора. На рис. 2 представлен пример результата измерения КСЯ тремя спектрометрами по новой методике измерения.

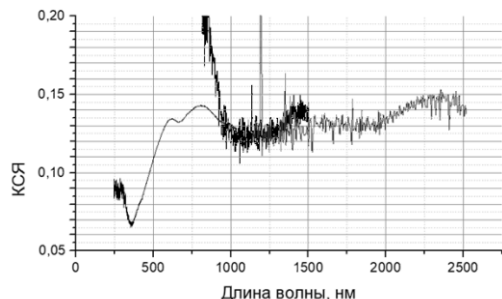


Рисунок 2 – Пример результата измерения КСЯ на комплексе «Визир»

Проведенная модернизация комплекса «Визир» позволила в несколько раз уменьшить погрешности в согласовании данных, полученных

разными спектрометрами, при расчете спектральных коэффициентов отражения поверхностей исследуемых растительных объектов.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта Президента Республики Беларусь – на разработку фотоспектрального аппаратно-программного комплекса в целях реализации технологической аэрокосмической диагностики состояния лесных территорий, а также в рамках ГПНИ «Фотоника, опто- и микроэлектроника» на 2021–2025 гг.

Литература

1. Сизиков, А. С. Создание отечественного комплекса «Визир» для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов / А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // СБОР «Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza / Safety & Fire Technique». – 2018. – № 2(50). – С. 28–37.

2. Определение спектрополяризационных характеристик загрязнений поверхности Земли, возникающих вследствие чрезвычайных ситуаций, с помощью измерительного комплекса «ВИЗИР» / А. С. Сизиков [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2019. – № 2(46). – С. 102–116.

УДК 535.37;620.3

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОКРИСТАЛЛОВ ИТТРИЙ (ЛЮТЕЦИЙ)-АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТОВ И АЛЮМИНАТА ГАДОЛИНИЯ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ ЕВРОПИЯ

Юмашев К.В.¹, Хорт А.А.², Подболотов К.Б.³, Шиманский В.И.⁴

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Королевский технологический институт
Стокгольм, Швеция

³Физико-технический институт НАНБ

⁴Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Исследованы спектры люминесценции нанокристаллов иттрий-алюминиевого и лютеций-алюминиевого гранатов и алюмината гадолия, активированных ионами европия, которые синтезированы методом экзотермического горения в растворах. Определены координаты цвета CIE для исследуемых образцов, которые находятся в оранжевой области спектра.

Ключевые слова: спектры люминесценции, спектрометр.

LUMINESCENCE PROPERTIES OF YTTRIUM (LUTETIUM)-ALUMINUM GARNETS AND GADOLINIUM ALUMINATE DOPED WITH EUROPIUM IONS

Yumashev K.¹, Khort A.², Podbolotov K.³, Shimanski V.⁴

¹Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

²KTH Royal Institute of Technology
Stockholm, Sweden

³Physical Technical Institute of NASB

⁴Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The luminescence spectra of europium-doped nanocrystals of yttrium-aluminum garnet, lutetium-aluminum garnet, and gadolinium aluminate synthesized by the solution combustion technique have been studied. The CIE color coordinates for the studied samples are determined which are located in the orange light region.

Key words: luminescence, spectrometer.

Адрес для переписки: Юмашев К.В., пр. Независимости, 65/17, Минск 220113, Беларусь
e-mail: kyumashev@bntu.by

Нанокристаллы редкоземельных гранатов и алюминатов, активированные ионами европия, являются перспективными средами для порошковых и керамических люминофоров. Данные кристаллы отличаются достаточно хорошими механическими, теплофизическими, а также спектроскопическими свойствами, в частности, высоким квантовым выходом люминесценции и относительно большими временами жизни ионов европия в возбужденном состоянии. Температурно-зависимая люминесценция нанокристаллов редкоземельных гранатов с ионами европия используется в термографической люминофорной термометрии [1].

Отличительной особенностью ионов европия является сильная зависимость относительной интенсивности электрического $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ и магнитного $^5D_0 \rightarrow ^7F_1$ дипольных переходов от симметрии локального окружения. Это свойство ионов европия используется для детектирования изменений и искажений структуры исследуемого материала.

Люминофоры на основе нанокристаллов редкоземельных гранатов и алюминатов, активированных редкоземельными ионами, синтезируются различными методами. В частности, известны золь-гель метод [2], гидротермальный метод [3] и осаждения из растворов [4], метод твердофазного спекания.

В настоящей данной работе исследуются спектры люминесценции нанокристаллов иттрий-алюминиевого и лютеций-алюминиевого гранатов и алюмината гадолиния, активированных ионами европия, которые синтезированы методом экзотермического горения в растворах. Данный метод, по сравнению с указанными выше, отличается низкой стоимостью, простотой, быстротой, высокой энергетической эффективностью и позволяет достичь более высокого структурного совершенства и однородности получаемых материалов [5].

Из полученных порошков синтезированных материалов после измельчения и последующей термообработки в течение одного часа при температуре 1300 °C приготавливались исследуемые образцы в виде таблеток.

Согласно данным рентгенофазового анализа исследуемые образцы представляют собой нанокристаллы алюмината гадолиния, содержащие ионы европия с концентрацией 10 ат.% [10 ат.% $\text{Eu}^{3+}:\text{GdAlO}_3$ (10 ат.% $\text{Eu}:\text{GAP}$)], имеющие орторомбическую сингонию (пространственная группа точечной симметрии P_{bnm}), и нанокристаллы иттрий-алюминиевого и лютеций-алюминиевого гранатов, содержащие ионы европия с концентрацией 20 и 10 ат.% соответственно [20 ат.% $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (20 ат.% $\text{Eu}:\text{YAG}$) и 11 ат.% $\text{Eu}^{3+}:\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (11 ат.% $\text{Eu}:\text{LuAG}$)], имеющие кубическую сингонию (пространственная группа

точной симметрии $Ia3d$). Средний радиус нанокристаллов составляет ~24 нм для 10 ат.% $\text{Eu}:\text{GAP}$ и ~20 нм для 20 ат.% $\text{Eu}:\text{YAG}$ и 11 ат.% $\text{Eu}:\text{LuAG}$.

На рис. 1 представлены спектры люминесценции исследуемых образцов в зелено-желто-красной области спектра, диапазоне длин волн 0,550 – 0,730 мкм (длина волны возбуждения составляла 0,400 мкм). Для образца 10 ат.% $\text{Eu}:\text{GAP}$ наблюдаются полосы при 0,574, 0,590, 0,617, 0,650 и 0,691 мкм [рис. 1 (а)], которые относятся к переходам из метастабильного возбужденного состояния 5D_0 на энергетические уровни 7F_0 , 7F_1 , 7F_2 , 7F_3 и 7F_4 иона Eu^{3+} (рис. 2) соответственно.

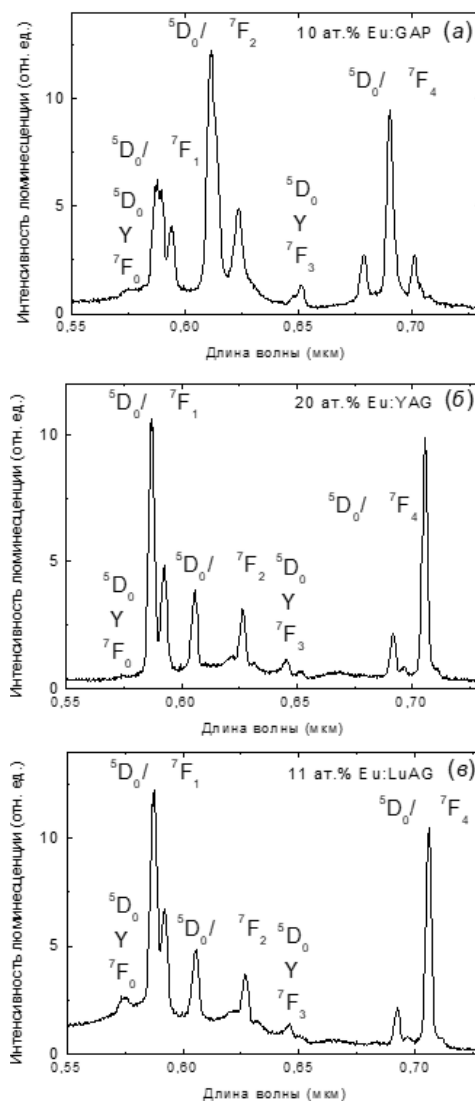


Рисунок 1 – Спектры люминесценции образцов (а) 10 ат.% $\text{Eu}:\text{GAP}$, (б) 20 ат.% $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ и (г) 11 ат.% $\text{Eu}:\text{LuAG}$

Для образцов для 20 ат.% $\text{Eu}:\text{YAG}$ и 11 ат.% $\text{Eu}:\text{LuAG}$ наблюдаются полосы при 0,574 (переход $^5D_0 \rightarrow ^7F_0$ иона Eu^{3+}), 0,588 ($^5D_0 \rightarrow ^7F_1$), 0,616 ($^5D_0 \rightarrow ^7F_2$), 0,647 ($^5D_0 \rightarrow ^7F_3$) и 0,700 мкм ($^5D_0 \rightarrow ^7F_4$) [рис. 1 (б, г)].

Отношение $R = F_2/F_1$ интегральных интенсивностей полос красной (${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$) и оранжевой (${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_1$) люминесценции обычно рассматривается как мера симметрии позиции, в которой находится ион Eu^{3+} . Более низкие ($\theta < R < 1$) и более высокие ($R > 1$) значения R указывают соответственно на более высокую и более низкую симметрию позиции.

Для 10 ат.% $\text{Eu}:\text{GAP}$ величина R больше единицы ($R = 2,2$). Это свидетельствует о том, что ионы Eu^{3+} занимают в узлах кристаллической решетки низкосимметричные позиции без центра инверсии, что согласуется с координацией ионов Gd^{3+} , которые замещаются ионами Eu^{3+} в кристалле GAP.

Значение R для 20 ат.% $\text{Eu}:\text{YAG}$ и 11 ат.% $\text{Eu}:\text{LuAG}$ меньше единицы (0,45 и 0,43 соответственно) и указывает на то, что ионы Eu^{3+} занимают в решетке кристалла высокосимметричные позиции с центром инверсии. Это, в свою очередь, согласуется с координацией ионов Y^{3+} и Lu^{3+} , которые замещаются ионами Eu^{3+} в кристаллах YAG и LuAG.

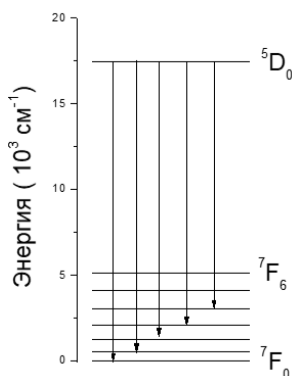


Рисунок 2 – Схема нижних уровней энергии свободного иона Eu^{3+}

По спектрам люминесценции рассчитаны координаты цвета CIE. Координаты цвета для исследуемых образцов [для 10 ат.% $\text{Eu}:\text{GAP}$ $x = 0,63$, $y = 0,37$; для 20 ат.% $\text{Eu}:\text{YAG}$ $x = 0,61$, $y = 0,39$,

для 11 ат.% $\text{Eu}:\text{LuAG}$ $x = 0,59$, $y = 0,41$] находятся в оранжевой области спектра (рис. 3), чистота цвета составляет более 99 %.

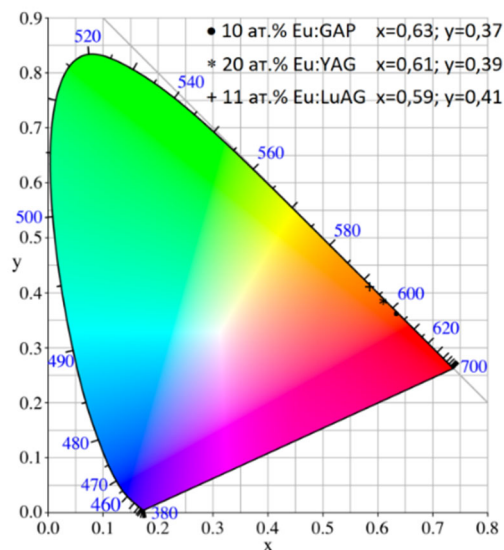


Рисунок 3 – Диаграмма цветности CIE, показывающая цвета для образцов 10 ат.% $\text{Eu}:\text{GAP}$, 20 ат.% $\text{Eu}:\text{YAG}$ и 11 ат.% $\text{Eu}:\text{LuAG}$, возбуждаемых на длине волны 0,400 мкм

Литература

- Heyes, A. L. Thermographic phosphor thermometry-physical principles and measurement capability, in: C.H. Sieverding, J.-F. Brouckaert (Eds.), VKI Lecture Series on Advanced Measurement Techniques for Aero and Stationary Gas Turbines, von Karman Institute for Fluid Dynamics, Brussels, 2004.
- Handbook of Sol-Gel Science and Technology: Processing, Characterization and Applications / Ed. Sumio Sakka, Springer, 2004. – 1980 p.
- Materials Research Bulletin / Y. Hakutaa [et al.]. – 2003. – P. 1257–1265.
- Viswanatha, R. Growth of nanocrystals in solution. Nanomaterials Chemistry: Recent Developments and New Directions / R. Viswanatha, D.D. Sarma // Wiley Online Library. – 2007. – P. 138–170.
- Chemistry – A European Journal / E. Carlos [et al.]. – 2020. – Vol. 26. – P. 9099–9125.