

–Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных
систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/KOTB8442>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,

д.т.н., профессор

Новожилов А. Н.,

д.т.н., профессор

Никитин К. И.,

д.т.н., профессор (Россия)

Никифоров А. С.,

д.т.н., профессор

Новожилов Т. А.,

д.т.н., профессор

Алиферов А.И.,

д.т.н., профессор (Россия)

Кошкеков К.Т.,

д.т.н., профессор

Приходько Е.В.,

к.т.н., профессор

Оспанова Н. Н.,

к.п.н., доцент

Нефтисов А. В.,

доктор PhD

Омарова А.Р.,

технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

МРНТИ 29.31.26

<https://doi.org/10.48081/NUDV1388>***А. А. Кисабекова¹, А. С. Красников², Г. К. Алпысова³**

¹Павлодарский педагогический университет имени Ө. Марғұлан,
Республика Казахстан, г. Павлода;

¹Евразийский национальный университет имен Л. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана;

²Институт физики, Тартуский университет, Эстония, г. Тарту;

³Карагандинский университет имени Е. А. Букетова,
Республика Казахстан, г. Караганда

*e-mail: akisabekova@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКИ НИОБАТА ЛЮТЕЦИЯ АКТИВИРОВАННОГО ИОНАМИ V^{3+} И Eu^{3+} - ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЛЮМИНОФОРА ДЛЯ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ

Данная статья является логическим продолжением нашего исследования [1] передачи энергии от ионов висмута к ионам европия в ниобате $LuNbO_4:Bi^{3+}$, Eu^{3+} , однокомпонентного люминофора для белых светодиодов. Спектроскопические исследования были продолжены в области температур (4.2-500 К) при импульсном возбуждении ксеноновым источником света. В работе представлены кинетика затухания, а также разрешенные по времени спектры люминесценции, связанной с ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} . Определены истинные концентрации ионов висмута и европия во всех исследованных образцах, приведены зависимости значений времени затухания люминесценции от концентрации примесных ионов и рассчитана эффективность передачи энергии (ЭПЭ/ЕТЕ). К рассчитанным ранее квантовым выходам (КВ/QU) и координатам цветности (КЦ/СIE), были определены значения индекса цветопередачи (ИЦ/CRI) и коррелированная цветовая температура (КЦТ/ССТ). Согласно полученным результатам как в

работе [1] и в данной работе, в исследуемом материале наблюдается эффективная безызлучательная передача энергии от центров, связанных с ионами висмута, к ионам европия. На основе экспериментальных данных и расчетов проведена детальная характеристика передачи энергии от ионов висмута к ионам европия, что может быть существенно для оптимизации исследуемого материала.

Ключевые слова: белые светодиоды, люминесценция, передача энергии, ниобат лутеция, Vi^{3+} , Eu^{3+} , люминофоры.

Введение

Люминофоры – люминесцентные материалы, которые преобразуют определенные типы энергии в электромагнитное излучение, - обычно состоят из прозрачной моно- или микрокристаллической *матрицы* и *активатора*, т.е. небольшого количества намеренно добавленных примесных атомов, распределенных в матрице. В некоторых случаях необходим также *сенситизатор*, который может поглощать возбуждающее излучение и впоследствии передавать его активатору. *Матрица* – это диэлектрик или полупроводник, а энергетические уровни люминесцентных центров обычно расположены внутри запрещенной зоны основного вещества. Матрицами обычно являются оксиды, нитриды, галогениды и т.д., а активаторами – ионы редкоземельных элементов, благородных или переходных металлов, ns^2 ртутеподобные ионы и т.д. *Люминесцентные центры* – объекты, в энергетической структуре которых релаксация возбужденного уровня происходит с испусканием фотона.

Ион висмута является отличным активатором и сенситизатором люминесцентных материалов, широко исследуемых в течении последних десятилетий. Люминофоры, активированные Vi^{3+} , привлекли внимание из-за их полос излучения, перекрывающих широкую область спектра при возбуждении ультрафиолетовой радиацией. Типичный ион-активатор Vi^{3+} может излучать в разных матрицах свет различного цвета от УФ до синего, зеленого, желтого, оранжевого и даже красного. Материалы, активированные ионами Vi^{3+} , имеют характерное возбуждение в ближней УФ-области, т.е. полосы возбуждения и излучения почти не перекрываются. В последние годы резко возрос интерес к материалам, активированных ионами Vi^{3+} , в связи с очень привлекательными особенностями их люминесцентных характеристик, а также возможными применениями в качестве сцинтилляционных, дозиметрических и люминофорных материалов [2; 3]. Например, соединения, активированные ионами трехвалентного висмута и различными ионами трехвалентных

редкоземельных элементов (RE^{3+}), оказались потенциально применимыми в качестве спектральных преобразователей для солнечных элементов и твердотельных источников света таких как белые светодиоды (БСД/WLED). Этот потенциал основан на сильном поглощении в ультрафиолетовой области спектра, интенсивных широких видимых полосах излучения, связанных с Vi^{3+} , и эффективном переносе энергии $Vi^{3+} \rightarrow RE^{3+}$, в результате чего возникает люминесценция, охватывающая широкий спектральный диапазон от синего цвета до красного [4; 5; 6].

Сравнение люминесцентных характеристик связанных с ионами Vi^{3+} в этих ниобатах свидетельствует о том, что дополнительное солегирирование, например ионами Dy^{3+} и Eu^{3+} , является наиболее предпочтительным для изготовления WLED [7–10]. Наличие интенсивных полос излучения ионов Dy^{3+} и Eu^{3+} в оранжево-красной области спектра и сильное перекрытие полосы излучения Vi^{3+} с полосами поглощения этих ионов RE^{3+} обеспечивают эффективный перенос энергии $Vi^{3+} \rightarrow Dy^{3+}$ или $Vi^{3+} \rightarrow Eu^{3+}$. Ниобаты, солегирированные ионами Vi^{3+} и Dy^{3+} или Eu^{3+} , изучались в работах [4; 5; 6].

Наиболее интенсивные полосы излучения, связанные с Eu^{3+} , расположенные примерно при 2.09, 2.02 и 1.76 эВ, связаны с переходами $5D_0 \rightarrow 7F_{1,2,4}$ Eu^{3+} соответственно. Полосы поглощения (возбуждения) Eu^{3+} расположены в диапазоне энергий 2.1–3.9 эВ. Сопоставление этих данных с люминесцентными характеристиками $LuNbO_4:Vi$, указывает на то, что широкие полосы излучения Vi^{3+} в области 1.7–3.2 эВ хорошо перекрываются с наиболее интенсивными полосами 3.44 эВ (360 нм, $7F_0 \rightarrow 5D_4$), 3.16 эВ (393 нм, $7F_0 \rightarrow 5L_6$), 2.67 эВ (465 нм, $7F_0 \rightarrow 5D_2$) и 2.18 эВ (569 нм, $7F_0 \rightarrow 5D_0$) полосы возбуждения Eu^{3+} . Это позволяет ожидать эффективного переноса энергии от центров люминесценции, связанных с ионами висмута, к ионам европия в исследуемых нами люминофорах $LuNbO_4:Vi^{3+}, Eu^{3+}$.

В первой части нашего исследования [1] данная эффективная передача энергии была подтверждена, были приведены расчеты квантового выхода, координат цветности, сделан вывод о возможности применения данного однокомпонентного фосфора в качестве материала для белых светодиодов.

Материалы и методы

Исследуемые образцы приготовлены методом твердофазного синтеза [1]. Номинальная концентрация ионов Vi^{3+} составляла 2% для всех образцов, а номинальная концентрация ионов Eu^{3+} варьировалась от 0.2 до 8% относительно ионов лютеция. Однако учитывая достаточно сильную испаряемость/летучесть висмута при синтезе, а также хоть и сильно меньшую европия, в данной работе нами были установлены истинные концентрации ионов Vi^{3+} и Eu^{3+} во всем ряде исследуемых образцов. Для

этого применялся метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП/ICP-AES). Результаты приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Истинная концентрация висмута (C_{Bi}) и европия (C_{Eu}) в исследованных микрокристаллических порошках $\text{LuNbO}_4:2\% \text{ Bi, Eu}$ с различной номинальной концентрацией европия.

Образец	Номинальная концентрация		Истинная концентрация	
	Bi^{3+} , %	Eu^{3+} , %	C_{Bi} , %	C_{Eu} , %
$\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$	2	0	0.39	0
	2	0.2	0.50	0.16
	2	0.4	0.37	0.38
	2	1	0.46	0.78
	2	2	0.42	1.81
	2	4	0.37	2.98
	2	8	0.26	6.64

Результаты и обсуждение.

Передача энергии от ионов донора (Д) к ионам акцептора (А) может быть как излучательной, так и безызлучательной. В случае излучательной передачи (реабсорбции) свечение донора поглощается в полосе поглощения акцептора. В этом случае передача энергии $\text{D} \rightarrow \text{A}$ никак не проявляется в кинетике затухания люминесценции донора и акцептора. Однако, она должна приводить к деформации спектра излучения донора, т.е., к возникновению в этом спектре "провалов" в области полос поглощения акцептора. В нашем случае, в роли акцептора выступают ионы Eu^{3+} , а в роли донора, ионы Bi^{3+} . Как следует из [1, рисунок 1а], никаких провалов (в частности, в области интенсивной ~ 2.15 эВ полосы поглощения Eu^{3+} , см. [1, рисунок 1в] в спектре обусловленного ионами Bi^{3+} свечения не наблюдается. Это говорит о малой вероятности реабсорбции.

Безызлучательная передача энергии происходит из нерелаксированного возбужденного состояния Д в возбужденное состояние А, следовательно, она должна проявляться в кинетике затухания излучения как донора, так и акцептора.

Для выяснения механизма передачи энергии в $\text{LuNbO}_4:\text{Bi, Eu}$, нами была изучена кинетика затухания люминесценции $\text{LuNbO}_4:\text{Bi, Eu}$ и ее зависимости от разных факторов.

В кинетике затухания люминесценции ионов Eu^{3+} , измеренной при возбуждении в полосе поглощения ионов Bi^{3+} , наблюдается как медленный компонент со временем затухания ~ 650 мкс (рисунок 1а), так и более

быстрый компонент со временем затухания ~ 5 мкс (рисунки 1а и 2, кривая 1). При возбуждении в полосе поглощения ионов Eu^{3+} (2.1 эВ) в кинетике затухания излучения Eu^{3+} наблюдается тот же медленный компонент со временем затухания ~ 650 мкс (рисунок 1б, рисунок 3б).

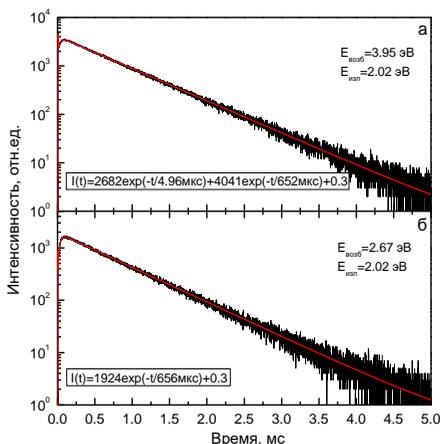


Рисунок 1 – Кривые затухания люминесценции Eu^{3+} при возбуждении в полосе поглощения Vi^{3+} (а) и Eu^{3+} (б). $T=79$ К

Кривые затухания обусловленной ионами Vi^{3+} люминесценции (~ 2.41 эВ) в $\text{LuNbO}_4:\text{Vi}$ и $\text{LuNbO}_4:\text{Vi},\text{Eu}$, полученные при возбуждении в области полосы поглощения ионов Vi^{3+} (~ 4 эВ), практически совпадают, время затухания люминесценции при этой температуре тоже составляет ~ 5 мкс (рисунок 2, кривая 1, рисунок 3а). Температурные зависимости времени затухания этого излучения в $\text{LuNbO}_4:\text{Vi}$ и $\text{LuNbO}_4:\text{Vi},\text{Eu}$ также близки (рисунок 4).

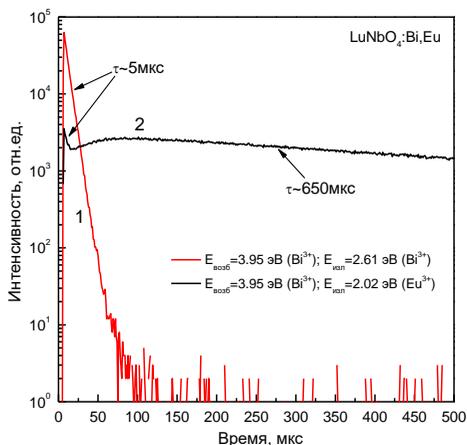


Рисунок 2 – Кривые затухания люминесценции, полученные при возбуждении в полосе поглощения Bi^{3+} для полос свечения обусловленных ионами Bi^{3+} (кривая 1) и Eu^{3+} (кривая 2). $T=79$ К.

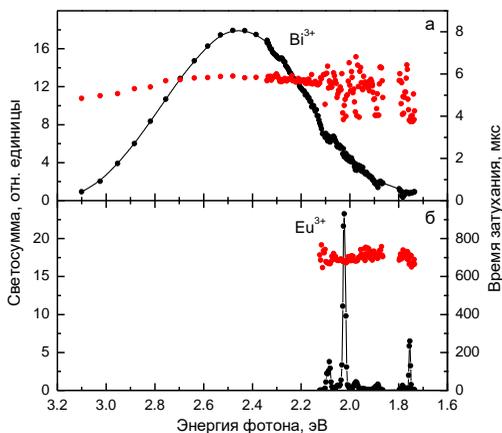


Рисунок 3 – Спектры излучения с временным разрешением (черные кружки), измеренные для различных компонентов затухания (красные кружки) с (а) $\tau \approx 5$ мкс, (б) $\tau \approx 660$ мкс и при возбуждении в максимуме полосы поглощения Bi^{3+} ($E_{\text{возб}} = 3.96$ эВ). $T=79$ К

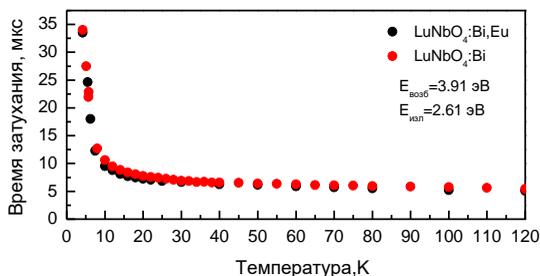


Рисунок 4 – Температурные зависимости времени затухания обусловленной ионами Bi^{3+} люминесценции, полученные при возбуждении в полосе поглощения Bi^{3+} для $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$ (красные точки) и $\text{LuNbO}_4:\text{Bi,Eu}$ (черные точки).

Таким образом, данные по кинетике затухания люминесценции подтверждают сделанный выше вывод об эффективной передаче энергии $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$ в ниобате $\text{LuNbO}_4:\text{Bi,Eu}$. Однако, к сожалению, из этих данных не удалось получить информацию о механизме передачи энергии.

В связи с этим, мы исследовали зависимости времени затухания обусловленного ионами Bi^{3+} свечения $\text{LuNbO}_4:\text{Bi,Eu}$ от концентрации ионов Eu^{3+} . Очевидно, что с ростом концентрации донора или акцептора расстояние между ними уменьшается, что приводит к увеличению эффективности передачи энергии. Этот эффект проявляется в перераспределении интенсивностей полос излучения, связанных ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} , с увеличением концентрации ионов Eu^{3+} (см. [1, рисунок 2]). Концентрационная зависимость времени затухания обусловленного ионами Bi^{3+} излучения $\text{LuNbO}_4:\text{Bi, Eu}$, измеренная при 79 К при возбуждении в полосе поглощения ионов Bi^{3+} , приведена на рисунке 5. Заметно сокращение времени затухания излучения связанного с ионами висмута при увеличении концентрации европия, которое позволяет сделать вывод о безызлучательном механизме передачи энергии $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$.

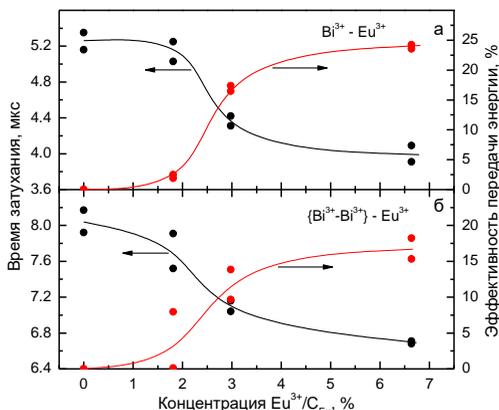


Рисунок 5 – Зависимости времени затухания(черные точки) обусловленной ионами Bi^{3+} люминесценции (а, б) от концентрации Eu^{3+} . Красными точками представлены значения ЭПЭ/ЕТЕ посчитанные по формуле (2)

Используя данные полученные в работе [1] и в данной работе, эффективность передачи энергии (ЭПЭ, %) от связанных с Bi^{3+} центров к ионам Eu^{3+} можно оценить по соотношению интегральных интенсивностей излучения (I) (см. рисунок 6) или времен затухания (τ) (см. рисунок 5) связанной Bi^{3+} люминесценции в люминофоре $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$, легированном европием ($I_{\text{Bi-Eu}}, \tau_{\text{Bi-Eu}}$), и в люминофоре без европия ($I_{\text{Bi}}, \tau_{\text{Bi}}$):

$$\text{ЭПЭ/ЕТЕ} = 1 \cdot \frac{I_{\text{Bi-Eu}}}{I_{\text{Bi}}} \tag{1}$$

$$\text{ПЭ/ЕТЕ} = 1 \cdot \frac{\tau_{\text{Bi-Eu}}}{\tau_{\text{Bi}}} \tag{2}$$

Видно, что ЭПЭ постепенно увеличивается с концентрацией Eu^{3+} и достигает максимального значения для образца LuNbO_4 с номинальными концентрациями 2% Bi^{3+} , 8% Eu .

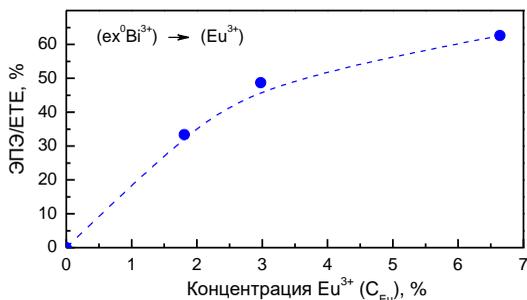


Рисунок 6 – Значения ЭПЭ/ЕТЕ по соотношению интегральных интенсивностей излучения от концентрации Eu^{3+} .

Значения получены из формулы (1).

Источник финансирования Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан AP19177651.

Выводы

Согласно полученным экспериментальным данным и выполненным расчетам для серии ниобатов $LuNbO_4:Bi^{3+}$ и $LuNbO_4:Bi^{3+},Eu^{3+}$ как в работе [1] так и в данной работе, была установлена эффективная безызлучательная передача энергии от люминесцентных центров, связанных с ионами Bi^{3+} , к ионам Eu^{3+} . Полученные важные характеристики образцов однокомпонентного фосфора $LuNbO_4:Bi^{3+},Eu^{3+}$ приведены в Таблице 2. К сожалению, учитывая полученные данные, исследуемый фосфор не может выступать в качестве материала для БСД/WLED из-за низкого квантового выхода, но прекрасно подходит как материал для светодиодов с ярким свечением в красной области спектра.

Таблица – 2 Значения индекса цветопередачи (ИЦ/CRI), квантового выхода (КВ/QY), эффективности переноса энергии $ex^0Bi^{3+} \rightarrow Eu^{3+}$ (ЭТЭ/ЕТЕ), коррелированной цветовой температуры (КЦТ/ССТ) и координат цветности (КЦ/СIE) для исследованных образцов $LuNbO_4:Bi^{3+},Eu^{3+}$ с номинальными концентрациями

Bi^{3+} , %	Eu^{3+} , %	QY, %	ЕТЕ, %	CRI, %	CIE coordinates, x,y	ССТ, К
2	0.2	18.8 ± 0.7	-	90	0.254, 0.296	9511
2	0.4	17.9 ± 0.6	-	76	0.316, 0.317	5206

2	1	25.1 ± 0.7	-	58	0.375, 0.318	2874
2	2	26.2 ± 0.6	32	53	0.501, 0.339	1529
2	4	29.1 ± 2.0	47	45	0.539, 0.340	1237
2	8	41.9 ± 2.1	60	35	0.608, 0.341	1091

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Кисабекова А. А.** Спектроскопия ниобата $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ – потенциального материала для светодиодов с преобразующим люминофором [Текст] / Кисабекова А. А., Красников А. С., Алпысова Г. К. // Вестник Торайгыров университета. Серия энергетическая. – 2023. – №2. – С.166–177.

2 **Awater R.H.P.** The Bi^{3+} 6s and 6p electron binding energies in relation to the chemical environment of inorganic compounds [Text] / Awater R.H.P., Dorenbos P. // Journal of luminescence. – 2017. – Vol.184. – P.221-231.

3 **Swart H. C.** Ultraviolet and visible luminescence from bismuth doped materials [Text] / Swart H.C., Kroon R.E. // Optical Materials: X. – 2019. – Vol.2. – P. 22–38.

4 **Park T.-K.** High concentration of Bi^{3+} incorporated into $\text{RNbO}_4:\text{Eu}^{3+}$ (R = La, Y, Gd) as red phosphors for white LED applications [Text] / Park T.-K., Ahn H.-C., Mho S.-I. // Journal of the Korean Physical Society. – 2008. – Vol. 52. – P.431–434.

5 **Xiao X.** Hybrid precursors synthesis and optical properties of $\text{LnNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$ blue phosphors and Bi^{3+} sensitizing of Dy^{3+} 's luminescence in YNbO_4 matrix [Text] / Xiao X., Yan B. // Journal of Alloys and Compounds. – 2006. – Vol. 421. – P.252–257.

6 **Zhang D.** Potential red-emitting phosphor $\text{GdNbO}_4:\text{Eu}^{3+}$, Bi^{3+} for near-UV white light emitting diodes [Text] / Zhang D., Tang A., Yang L., Zhu Z. // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. – 2012. – Vol. 19. – P.1036–1039.

7 **Lü Y.** Synthesis and luminescent properties of $\text{GdNbO}_4:\text{RE}^{3+}$ (RE = Tm, Dy) nanocrystalline phosphors via sol-gel process [Text] / Lü Y., Tang X., Yan L., Li K., Liu X., Shang M., Li Ch., Lin J. // The Journal of Physical Chemistry C. – 2013. – Vol. 117. – P.21972–21980.

8 **Liu X.** Host-sensitized and tunable luminescence of $\text{GdNbO}_4:\text{Ln}^{3+}$ ($\text{Ln}^{3+} = \text{Eu}^{3+}/\text{Tb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$) nanocrystalline phosphors with abundant color [Text] / Liu X., Chen C., Li S., Dai Y., Guo H., Tang X., Xie Y., Yan L. // Inorganic Chemistry. – 2016. – Vol. 55. – P.10383-10396.

9 **Xiao X.** Synthesis and luminescent properties of novel $\text{RENbO}_4:\text{Ln}^{3+}$ (RE = Y, Gd, Lu; Ln = Eu, Tb) micro-crystalline phosphors [Text] / Xiao X., Yan B. // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2005. – Vol. 351. – P. 3634–3639.

10 **Mahesh S.K.** Intense red line emitting phosphor $\text{LuNbO}_4:\text{Eu}^{3+}$ for white light emitting diode applications [Text] / Mahesh S.K., Prabhakar P., Francis T., Reshmi V., Koshy P. // *Materials Letters*. – 2014. – Vol. 120. – P.115–117.

REFERENCES

1 **Kissabekova, A.A.** Spectroskopiya niobata $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ – potencialnogo materiala dlya svetodiodov s preobrazuyutshim lyuminoforom [Spectroscopy of niobate $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ – potential material for LEDs with a conversion luminophore] [Text] / Kissabekova A. A., Krasnikov A.S., Alpysova G.K. // *Bulletin of the Toraighyrov University. Series of energy* – 2023. – №2. – P. 166–177.

2 **Awater R.H.P.** The Bi^{3+} 6s and 6p electron binding energies in relation to the chemical environment of inorganic compounds [Text] / Awater R.H.P., Dorenbos P. // *Journal of luminescence*. – 2017. – Vol. 184. – P. 221–231.

3 **Swart H. C.** Ultraviolet and visible luminescence from bismuth doped materials [Text] / Swart H.C., Kroon R.E. // *Optical Materials: X*. – 2019. – Vol. 2. – P. 22–38.

4 **Park T.-K.** High concentration of Bi^{3+} incorporated into $\text{RNbO}_4:\text{Eu}^{3+}$ (R = La, Y, Gd) as red phosphors for white LED applications [Text] / Park T.-K., Ahn H.-C., Mho S.-I. // *Journal of the Korean Physical Society*. – 2008. – Vol. 52. – P. 431–434.

5 **Xiao X.** Hybrid precursors synthesis and optical properties of $\text{LnNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$ blue phosphors and Bi^{3+} sensitizing of Dy^{3+} 's luminescence in YNbO_4 matrix [Text] / Xiao X., Yan B. // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2006. – Vol.421. – P. 252–257.

6 **Zhang D.** Potential red-emitting phosphor $\text{GdNbO}_4:\text{Eu}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$ for near-UV white light emitting diodes [Text] / Zhang D., Tang A., Yang L., Zhu Z. // *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. – 2012. – Vol.19. – P.1036–1039.

7 **Lü Y.** Synthesis and luminescent properties of $\text{GdNbO}_4:\text{RE}^{3+}$ (RE = Tm, Dy) nanocrystalline phosphors via sol-gel process [Text] / Lü Y., Tang X., Yan L., Li K., Liu X., Shang M., Li Ch., Lin J. // *The Journal of Physical Chemistry C*. – 2013. – Vol. 117. – P. 21972–21980.

8 **Liu X.** Host-sensitized and tunable luminescence of $\text{GdNbO}_4:\text{Ln}^{3+}$ ($\text{Ln}^{3+} = \text{Eu}^{3+}/\text{Tb}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$) nanocrystalline phosphors with abundant color [Text] / Liu X., Chen C., Li S., Dai Y., Guo H., Tang X., Xie Y., Yan L. // *Inorganic Chemistry*. – 2016. – Vol. 55. – P. 10383–10396.

9 **Xiao X.** Synthesis and luminescent properties of novel $\text{RENbO}_4:\text{Ln}^{3+}$ ($\text{RE} = \text{Y, Gd, Lu; Ln} = \text{Eu, Tb}$) micro-crystalline phosphors [Text] / Xiao X., Yan B. // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2005. – Vol. 351. – P.3634-3639.

10 **Mahesh S.K.** Intense red line emitting phosphor $\text{LuNbO}_4:\text{Eu}^{3+}$ for white light emitting diode applications [Text] / Mahesh S.K., Prabhakar P., Francis T., Reshmi V., Koshy P. // *Materials Letters*. – 2014. – Vol. 120. – P. 115–117.

Поступило в редакцию 10.11.23.

Поступило с исправлениями 12.01.24.

Принято в печать 01.03.24.

* *А. А. Кисабекова¹, А. С. Красников², Г. К. Алтысова³*

¹Ә.Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

¹Л. Гумилев Еуразиялық ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

²Физика институты, Тарту университеті, Эстония, Тарту

³Е. А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

10.11.23 ж. баспаға түсті.

12.01.24 ж. түзетулерімен түсті.

01.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

Bi^{3+} ЖӘНЕ Eu^{3+} ИОНДАРЫМЕН БЕЛСЕНДІРІЛГЕН ЛЮТЕЦИЙ НИОБАТЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ – АҚ ЖАРЫҚДИОДТЫ ШАМДАРҒА АРНАЛҒАН ПОТЕНЦИАЛДЫ ЛЮМИНОФОР

Бұл мақала лютеций ниобаты $\text{LuNbO}_4:\text{Bi, Eu}$, ақ жарық диодтары үшін бір компонентті фосфордың микрокристалды ұнтағындағы Bi^{3+} иондарынан Eu^{3+} иондарына энергияның тасымалдануын [1] зерттеуіміздің логикалық жалғасы болып

табылады. Спектроскопиялық зерттеулер температура диапазонында (4,2–500 K) ксенондық жарық көзі арқылы импульстік қозумен жалғасты. Жұмыста ыдырау кинетикасы, сонымен қатар Bi^{3+} және Eu^{3+} иондарымен байланысты уақыт бойынша шешілген люминесценция спектрлері берілген. Барлық зерттелген үлгілердегі висмут және еуропий иондарының шынайы концентрациясы анықталды, люминесценцияның ыдырау уақытының қоспа иондарының концентрациясына тәуелділігі ұсынылды және энергия беру тиімділігі (ETE/ETE) есептелді. Бұрын есептелген кванттық шығымдылыққа (Q/QY) және CIE түстілік координаттарына CRI түсті көрсету индексінің мәндері және корреляциялық түс температурасы (CCT/CCT) анықталды. [1] жұмыста және осы жұмыста біз $LuNbO_4:Bi, Eu$ ниобаттарында Bi^{3+} иондарымен байланысқан орталықтардан Eu^{3+} иондарына тиімді сәулелік емес энергияның тасымалдануы бар екенін көрсеттік. Мақалада келтірілген эксперименттік деректер мен есептеулер мынаны береді: матрицадан және висмут иондарынан еуропаум иондарына энергияның берілуін егжей-тегжейлі сипаттау, бұл зерттелетін материалды оңтайландыру үшін маңызды болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: Жарықдиодты шамдар, люминесценция, энергияны тасымалдау, лютеций ниобаты, Bi^{3+} , Eu^{3+} , люминофорлар.

*A. A.Kissabekova¹, A. S.Krasnikov², G. K.Alpyssova³

¹Pavlodar Pedagogical University named after A. Margulan,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar

¹L.Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana

²Institute of Physics, University of Tartu, Estonia, Tartu;

³Karaganda Buketov University, Republic of Kazakhstan, Karaganda

Received 10.11.23.

Received in revised form 12.01.24.

Accepted for publication 01.03.24.

THE CHARACTERISTICS OF LUTETIUM NIOBATE ACTIVATED WITH Bi^{3+} AND Eu^{3+} IONS - POTENTIAL PHOSPHOR FOR WLED

This paper is a logical continuation of our study [1] of energy transfer from bismuth ions to europium ions in $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$, Eu^{3+} niobate, a one-component phosphor for white LEDs. Spectroscopic studies were continued in the temperature region (4.2-500 K) under pulsed excitation with a xenon light source. The attenuation kinetics as well as time-resolved spectra of luminescence associated with Bi^{3+} and Eu^{3+} ions are presented in this work. The true concentrations of bismuth and europium ions in all the studied samples were determined, the dependence of the luminescence attenuation time values on the concentration of impurity ions is given, and the energy transfer efficiency (ETE) was calculated. To the previously calculated quantum yields (QY) and chromaticity coordinates (CIE), the values of color rendering index (CRI) and correlated color temperature (CCT) were determined. According to the results obtained both in [1] and in this work, an effective non-radiative energy transfer from the centers associated with bismuth ions to europium ions is observed in the investigated material. On the basis of experimental data and calculations, a detailed characterization of energy transfer from bismuth ions to europium ions has been carried out, which may be essential for optimization of the investigated material.

Keywords: WLED, luminescence, energy transfer, lutetium niobate, Bi^{3+} , Eu^{3+} , phosphors.

Теруге 06.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс №4204

Сдано в набор 06.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4204

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz