

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

№ 2 (2023)

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/ABAC7746>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>к.т.н., доцент (Россия)</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD, доцент</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

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

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/FQMC8229>***А. А. Кисабекова¹, А. С. Красников², Г. К. Алпысова³**¹Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлана, Республика Казахстан, г. Павлодар²Институт физики, Тартуский университет, Эстония, г. Тарту³Карагандинский университет имени Е. А. Букетова, Республика Казахстан, г. Караганда*e-mail: akisabekova@mail.ru

СПЕКТРОСКОПИЯ НИОБАТА $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ – ПОТЕНЦИАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ С ПРЕОБРАЗУЮЩИМ ЛЮМИНОФОРМ

В данной статье рассмотрена передача энергии от ионов Bi^{3+} к ионам Eu^{3+} в монокристаллическом порошке ниобата лютеция $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ – потенциального материала для белых светодиодов (WLED). Для этого проведен комплекс спектроскопических измерений в широком интервале температур (4.2–500 K), в работе представлены спектры излучения и возбуждения фотолюминесценции как собственной, так и связанной с ионами висмута и европия, также приведены температурные зависимости максимальной интенсивности основных полос излучения и оценена эффективность передачи энергии в зависимости от концентрации европия. Измерения проводились для ряда образцов, где концентрация ионов Bi^{3+} во всех образцах была одинаковой (2 %), а концентрация ионов Eu^{3+} варьировалась от 0.2 % до 8 %. Для всех исследуемых порошков определены квантовый выход и координаты цветности CIE. Обсуждается возможность применения исследуемого материала в качестве люминофора для белых светодиодов. Все эксперименты в данной работе проводились при непрерывном возбуждении ксеноновой лампой в ультрафиолетовом – видимом (UV-VIS) диапазоне. Следующая работа будет включать в себя измерения при импульсном возбуждении в микро-миллисекундном диапазоне, это позволит подробно характеризовать передачу энергии от матрицы и ионов висмута к ионам европия, что необходимо для дальнейшей оптимизации исследуемого материала.

Ключевые слова: светодиоды, ниобаты, передача энергии, люминофоры, спектроскопия, люминесценция.

Введение

Твердотельные источники света на основе белых светодиодов считаются технологией нового поколения из-за их значительных преимуществ: высокая энергоэффективность, длительный срок службы и низкий уровень загрязнения окружающей среды, по сравнению с обычными лампами накаливания или люминесцентными лампами. Интерес к соединениям, легированным ионами Bi^{3+} , вновь возник в связи с разработкой и производством люминофоров для твердотельных источников света, так называемых белых светоизлучающих диодов, где ионы Bi^{3+} используются для эффективного поглощения света в ближнем ультрафиолетовом диапазоне спектра и передачи энергии к другим излучательным центрам в зелено-красной области спектра.

Совершенствование существующих люминофоров и поиск новых материалов для создания однофазных люминофоров с белым свечением является одной из наиболее актуальных проблем при разработке высококачественных светодиодов с преобразующим люминофором (pc-WLED).

Для усиления фотолюминесценции от активатора (A) со слабым поглощением с использованием доступной энергии возбуждения, в матрицу обычно добавляется сенсibilизатор (C), и его энергия возбуждения передается на активатор, представленный как $C^* + A = C + A^*$. Ион Bi^{3+} является хорошим ионом – сенсibilизатором из-за его эффективного поглощения в ультрафиолетовой области, наличия во многих материалах широких полос видимого излучения связанных с ионами Bi^{3+} , а также возможности последующей передачи энергии активаторам, обладающим люминесценцией в оранжево/красной области спектра, таким как ионы Eu^{3+} , Mn^{4+} и т.д. [1]. Таким образом, цвет излучения легко регулировать, изменяя относительное соотношение содержания C/A без изменения состава матрицы. Этот метод используется для разработки новых однофазных многоцветных люминофоров.

В настоящее время наиболее подробно изучены ниобаты LuNbO_4 , GdNbO_4 и YNbO_4 , активированные различными трехвалентными редкоземельными ионами (см. например, работы [2–10]). Значительно менее исследованы ниобаты, активированные одновременно и ионами Bi^{3+} , и редкоземельными ионами. С целью использования в качестве люминофоров для светодиодов на основе чипа, работающего в ближней УФ-области спектра, были изучены $\text{YNbO}_4:\text{Bi}^{3+}, \text{Sm}^{3+}$ [7], а также $\text{GdNbO}_4:\text{Eu}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$ и $\text{YNbO}_4:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ [11–13].

Необходимо отметить, что LuNbO_4 совместно легированный ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} не исследовался совсем.

Цель данной работы подробно изучить люминесцентные характеристики ниобата $\text{LuNbO}_4\text{:Bi, Eu}$ при стационарном (непрерывном) возбуждении, а также рассмотреть процессы передачи энергии от матрицы и ионов висмута к ионам европия. Оценить потенциал данного материала для применения в качестве люминофора для белых светодиодов.

Материалы и методы

Порошки LuNbO_4 , совместно легированные ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} , были получены стандартным методом твердофазного синтеза, описанным в [14]. В качестве исходных материалов использовали высокочистые оксиды Nb_2O_5 99.99 % (Johnson Matthey), Lu_2O_3 99.95 %, Bi_2O_3 99.99 % и Eu_2O_3 99.99 % (China Rare Metal Material Co., Ltd.). Номинальная концентрация висмута была фиксированной 2 %, а номинальная концентрация европия варьировалась от 0.2 до 8 %.

Рентгеноструктурное исследование порошков $\text{LuNbO}_4\text{:2%Bi, Eu}$ показало, что образцы с большой концентрацией ионов Eu^{3+} (2, 4 и 8 % Eu^{3+}) демонстрируют только моноклинную структуру типа фергусонита. Напротив, образцы с наиболее низкой концентрацией ионов Eu^{3+} (0.2 и 0.4 % Eu^{3+}) содержат заметное количество паразитной фазы. Проведенный анализ позволил идентифицировать эту фазу как тетрагональную модификацию LuNbO_4 со структурой типа шеелита. Тетрагональная структура шеелита представляет собой высокотемпературный высокосимметричный вариант моноклинной структуры фергусонита. Содержание этой паразитной тетрагональной фазы уменьшается с увеличением содержания Eu^{3+} , полностью исчезая в образце $\text{LuNbO}_4\text{:2%Bi, 1%Eu}$.

В связи с этим, при изучении зависимости эффективности передачи энергии $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$ от концентрации ионов Eu^{3+} использовались только однофазные образцы с концентрациями европия 0, 2, 4 и 8 % Eu^{3+} .

Результаты и обсуждение

Характеристики фотолюминесценции порошка $\text{LuNbO}_4\text{:Bi, Eu}$

Ион Eu^{3+} хорошо известен своим оранжево-красным/красным свечением, возникающим в результате электронных переходов ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_{1,2}$. Согласно [3, 4, 9, 15], полосы излучения ионов Eu^{3+} в $\text{LuNbO}_4\text{:Eu}$ расположены при ~592 нм (~2.09 eV), ~610 нм (~2.03 eV), ~627 нм (~1.98 eV), ~652 нм (~1.9 eV), ~695 нм (~1.78 eV) и ~708 нм (1.75 eV), а полосы возбуждения, связанные с электронными переходами ${}^7\text{F}_{0,1} \rightarrow {}^5\text{D}_{0,1,2,3}$, ${}^5\text{L}_{6,7}$, в спектральном диапазоне 350–600 нм (3.54–2.07 eV).

Для серии образцов $\text{LuNbO}_4\text{:Bi}^{3+}$ (2 %), Eu^{3+} (0.2–8 %) были исследованы характеристики люминесценции при непрерывном возбуждении в широком интервале температур 4.2–500 К. Они были сопоставлены с

люминесцентными характеристиками порошка $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$ с той же концентрацией висмута (2 %), но нелегированного ионами Eu^{3+} .

Спектры излучения порошка $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$, измеренные при 79 К при возбуждении в собственной полосе экситонного поглощения (~ 5 эВ) и в области поглощения ионов Bi^{3+} (~ 4 эВ), представлены на рисунке 1а. Для сравнения на рисунке 1б представлены спектры люминесценции порошка $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$ с таким же содержанием Bi^{3+} , измеренные в тех же условиях. Видно, что кроме широких полос собственной экситонной люминесценции и люминесценции, связанной с ионами Bi^{3+} , наблюдаются и интенсивные узкие линии излучения, расположенные в диапазоне энергий 1.72–2.14 эВ и обусловленные переходами $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_{1,2,3,4}$ в ионах Eu^{3+} [3, 4, 9, 15]. На рисунке 1в представлен также спектр возбуждения излучения Eu^{3+} (~ 1.75 эВ). Практически полное перекрытие полос поглощения (возбуждения) ионов Eu^{3+} с представленными на рисунках 1а и 1б полосами как собственной (~ 2.9 эВ), так и связанной с ионами Bi^{3+} (~ 2.41 эВ) люминесценции $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$ позволяет предположить наличие эффективной передачи энергии от собственных или обусловленных ионами Bi^{3+} центров люминесценции к ионам Eu^{3+} в $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$.

Действительно,

1) как видно из рисунка 1а, излучение ионов Eu^{3+} эффективно возбуждается как в области собственного поглощения матрицы LuNbO_4 (например, при 4.96 эВ), так и в полосе поглощения ионов Bi^{3+} (3.95 эВ);

2) рисунок 1г демонстрирует, что спектры излучения ионов Eu^{3+} , измеренные при возбуждении в полосах поглощения ионов Bi^{3+} (~ 4 эВ, кривая 1) и Eu^{3+} (~ 2.1 эВ, кривая 2), совпадают;

3) с ростом концентрации ионов Eu^{3+} в исследуемых образцах при возбуждении как в собственной полосе экситонного поглощения, так и в области поглощения ионов Bi^{3+} , происходит увеличение интенсивности излучения, связанного с ионами Eu^{3+} (рисунок 2, красные точки). Одновременно уменьшается интенсивность излучения, связанного с ионами Bi^{3+} (рисунок 2б, черные точки), и собственного свечения ниобата LuNbO_4 (рисунок 2б, черные точки);

4) на рисунке 3а представлен спектр возбуждения, измеренный при 79 К для полосы излучения, связанной с ионами Bi^{3+} в $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$. Такая же полоса возбуждения, расположенная при ~ 4 эВ, наблюдается и в спектре возбуждения свечения Eu^{3+} (~ 1.75 эВ) $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ (рисунок 3б).

Все перечисленные факты свидетельствуют о том, что передача энергии к ионам Eu^{3+} действительно имеет место в $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$.

Температурные зависимости интенсивности излучения Eu^{3+} и Bi^{3+} , измеренные при возбуждении в полосе поглощения Bi^{3+} (~ 4 эВ), представлены на рисунке 4. Для свечения, связанного с ионами Bi^{3+} (2.41 эВ)

в $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$ (рисунок 4а, кривая 1) и $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ (рисунок 4а, кривая 2), эти зависимости совпадают. Температурные зависимости интенсивности свечения Eu^{3+} , измеренные при возбуждении в полосах поглощения Bi^{3+} (рисунок 4а, кривая 3) и Eu^{3+} (рисунок 4б), также совпадают. Это говорит о том, что эффективность передачи энергии от ионов Bi^{3+} к ионам Eu^{3+} не зависит от температуры из-за полного перекрытия полос люминесценции с полосами поглощения ионов Eu^{3+} .

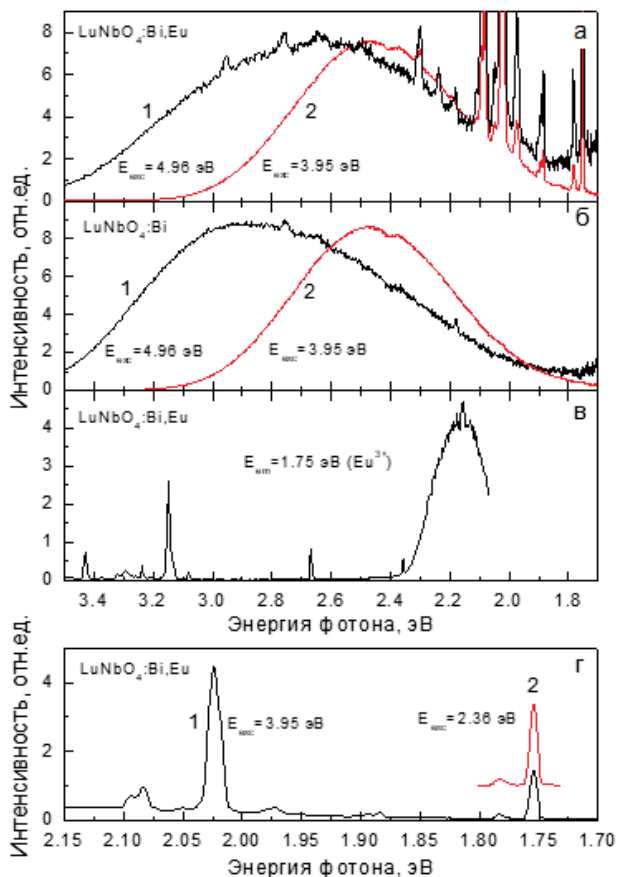


Рисунок 1 – Спектры излучения (а) $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ и (б) $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$, измеренные при возбуждении в собственной полосе экситонного поглощения (1) и в области поглощения Bi^{3+} (2); (в) спектр возбуждения излучения Eu^{3+} в $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$; (г) спектры излучения Eu^{3+} в $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ при возбуждении в области поглощения ионов Bi^{3+} (1) и Eu^{3+} (2). $T = 79 \text{ K}$

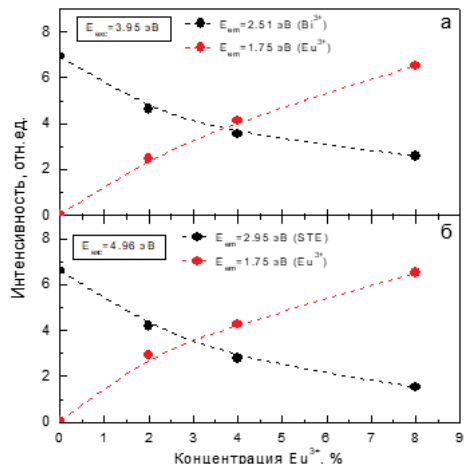


Рисунок 2 – Зависимости максимальной интенсивности люминесценции, обусловленной ионами Bi^{3+} (черные точки) и Eu^{3+} (красные точки), от концентрации Eu^{3+} , измеренные для порошков $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$, Eu при возбуждении (а) в полосу поглощения Bi^{3+} и (б) в собственной полосе экситонного поглощения

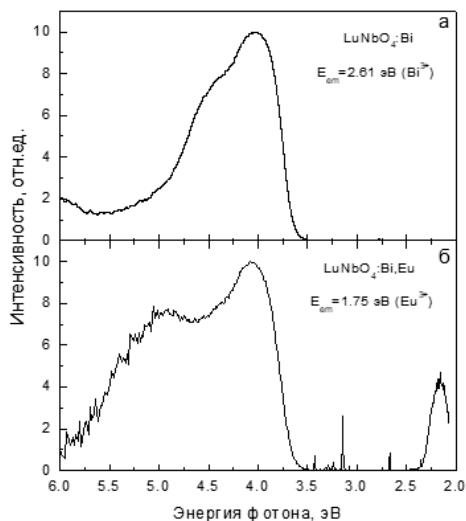


Рисунок 3 – Спектры возбуждения люминесценции порошков (а) $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$, для полос излучения, обусловленных ионами Bi^{3+} и (б) $\text{LuNbO}_4:\text{Bi,Eu}$ для полос излучения, обусловленных ионами Eu^{3+} . $T=79 \text{ К}$

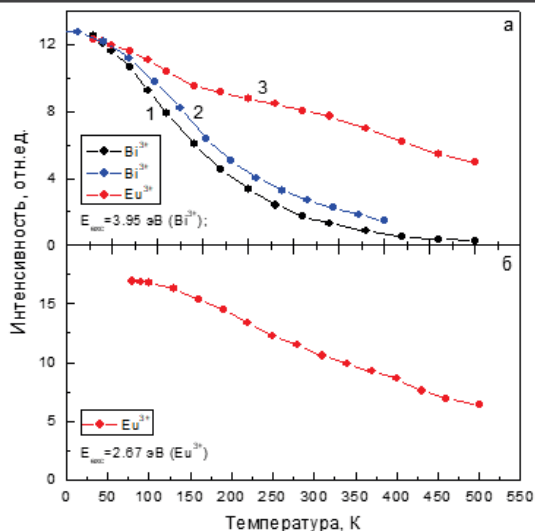


Рисунок 4 – Температурные зависимости максимальной интенсивности люминесценции $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ (черные и красные точки) и $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$ (синие точки), измеренные при возбуждении (а) в области поглощения ионов Bi^{3+} для полос излучения, обусловленных ионами Bi^{3+} (кривые 1, 2) и Eu^{3+} (кривая 3), а также (б) в области поглощения Eu^{3+} для свечения ионов Eu^{3+}

Для оценки возможности применения ниобатов LuNbO_4 , легированных ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} , в качестве люминофоров для белых светодиодов (БСД/ WLED) для всех исследованных образцов были проведены измерения квантового выхода люминесценции и определены координаты цветности CIE. Измерения проводились при комнатной температуре. Полученные результаты приведены на рисунке 5 и в таблице 1. Оказалось, что увеличение концентрации европия в $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ позволяет изменить цвет свечения люминофора от синего (Bi^{3+} (2 %), Eu^{3+} (0.2%)) к красному (Bi^{3+} (2 %), Eu^{3+} (8 %)) с промежуточным белым (CIE 1931: 0.314, 0.315) цветом для образца $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$ (2%), Eu^{3+} (0.4%). Как видно из таблицы 1, увеличение квантового выхода происходит с увеличением концентрации Eu^{3+} . К сожалению, из-за температурного тушения люминесценции (см. рисунок 4) образец с подходящим для БСД (WLED) белым свечением обладает довольно низким квантовым выходом (~18%).

Таблица 1 – Рассчитанные координаты цветности CIE различных образцов $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}(2\%)$, Eu^{3+} и соответствующие квантовые выходы при возбуждении 300 нм (4.13 эВ)

Концентрация Eu^{3+} (%)	Квантовый выход (%)	Координаты цветности (x,y)
0.2	18.8 ± 0.7	(0.254, 0.296)
0.4	17.9 ± 0.6	(0.314, 0.315)
1	25.1 ± 0.7	(0.374, 0.318)
2	26.2 ± 0.6	(0.502, 0.338)
4	29.1 ± 2	(0.538, 0.340)
8	41.9 ± 2.1	(0.608, 0.341)

CIE 1931

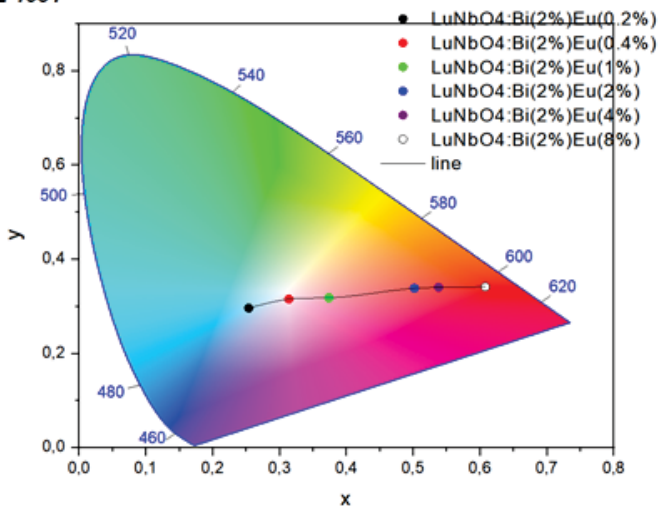


Рисунок 5 – Диаграмма цветности (CIE 1931) исследованных образцов $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$, Eu^{3+}

Информация о финансировании

Исследование финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №. AP19177651).

Выводы

Полученные данные свидетельствуют о том, что ниобат $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ имеет поглощение в широкой области спектра (3.7–6.0 эВ, рисунок 3). Как видно из рисунка 1а, широкие полосы как собственного, так и связанного с ионами Bi^{3+} видимого излучения и оранжево-красное свечение ионов Eu^{3+}

также охватывают широкий спектральный диапазон. Эти данные могут указывать на возможность применения ниобата $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ в белых светодиодах. Действительно, для образца $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}^{3+}(2\%),\text{Eu}^{3+}(0.4\%)$ были получены довольно хорошие координаты цветности (CIE 1931: 0.314, 0.315), но он обладает низким квантовым выходом.

Показано, что в ниобатах $\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ происходит эффективная передача энергии от центров, связанных с ионами Bi^{3+} , к ионам Eu^{3+} . Это проявляется в (1) появлении излучения люминесценции ионов Eu^{3+} при возбуждении в полосах поглощения ионов Bi^{3+} ; (2) появлении полос, характерных для связанной с ионами Bi^{3+} люминесценции, в спектре возбуждения излучения ионов Eu^{3+} ; (3) перераспределении интенсивностей полос свечения, связанных с ионами Bi^{3+} и Eu^{3+} и возбуждаемых в полосе поглощения ионов Bi^{3+} , с ростом концентрации Eu^{3+} .

Список использованных источников

1 **Dang, P. P., Liu, D. J., Li, G. G. et al.** Recent Advances in bismuth ion-doped phosphor materials : structure design, tunable photoluminescence properties, and application in white LEDs [Text] // *Advanced Optical Materials*. – 2020. – Vol. 8. – P. 1–33.

2 **Liu, X., Chen, C., Li, S., Dai, Y., Guo, H., Tang, X., Xie, Y., Yan, L.** 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] // *Inorganic Chemistry*. – 2016. – Vol. 55. – P. 10383–10396.

3 **Xiao, X., Yan, B.** Synthesis and luminescent properties of novel $\text{RENbO}_4:\text{Ln}^{3+}$ ($\text{RE} = \text{Y}, \text{Gd}, \text{Lu}$; $\text{Ln} = \text{Eu}, \text{Tb}$) micro-crystalline phosphors [Text] // *J. Alloys and Compounds*. – 2006. – Vol. 421. – P. 252–257.

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

5 **Park, J., Kim, Y.-J.** Up- and down-conversion luminescence of $\text{LuNbO}_4:\text{Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}$ phosphors [Text] // *Journal of the Korean Ceramic Society*. – 2017. – Vol. 54. – P. 70–74.

6 **Wang, T., Hu, Y., Chen, L., Wang, X., He, M.** A white-light emitting phosphor $\text{LuNbO}_4:\text{Dy}^{3+}$ with tunable emission color manipulated by energy transfer from NbO_4^{3-} groups to Dy^{3+} [Text] // *Journal of Luminescence*. – 2017. – Vol. 181. – P. 189–195.

7 **Guo, H., Chi, X., Wei, Y., Noh, H., Moon, B., Park, S.-H., Jeong, J., Kim, K.** Luminescence and Energy Transfer Process in $\text{YNbO}_4:\text{Bi}^{3+}, \text{Sm}^{3+}$ Phosphors [Text] // *Science of Advanced Materials*. – 2017. – Vol. 9. – No. 3/4. – P. 349–352.

8 **Zhang, L., Yi, Sh., Hu, X., Liang, B., Zhao, W., Wang, Y.** Syntheses and photoluminescence properties of multicolor tunable $\text{GdNbO}_4:\text{Tb}^{3+}$, Eu^{3+} phosphors based on energy transfer [Text] // *Modern Physics Letters B.* – 2017. Vol. 31. – P. 1750051.

9 **Im, M., Kim, Y.** Energy transfer and multiple photoluminescence of LuNbO_4 co-doped with Eu^{3+} and Tb^{3+} [Text] // *Materials Research Bulletin.* – 2019. – Vol. 112. – P. 399–405.

10 **Liu, Ch., Pan, F., Peng, Q., Zhou, W., Shi, R., Zhou, L., Zhang, J., Chen, J., Liang, H.** Excitation wavelength dependent luminescence of $\text{LuNbO}_4:\text{Pr}^{3+}$ – influences of intervalence charge transfer and host sensitization [Text] // *Journal of Physical Chemistry C.* – 2016. – Vol. 120. – P. 26044–26053.

11 **Jiang, Z., Yu, X., Gou, J., Duan, L., Su, X., Fan, G., Duan, Y.** Design, luminescence and energy transfer of single-phased color-tunable $\text{YNbO}_4:\text{Bi}^{3+}$, Eu^{3+} phosphor for UV pumped white light-emitting diodes [Text] // *Journal of Materials Science : Materials in Electronics.* – 2017. – Vol.28. – P. 3630–3636.

12 **Zhang, D., Tang, A., Yang, L., Zhu, Z.** Potential red-emitting phosphor $\text{GdNbO}_4:\text{Eu}^{3+},\text{Bi}^{3+}$ for near-UV white light emitting diodes [Text] // *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials.* – 2012. – Vol. 19. – №11. – P. 1036–1039.

13 **Xue, J., Noh, H. Mi, Choi, B. Ch., Park, S.-H., Kim, J. H., Jeong, J. H., Peng, D.** Dual-functional of non-contact thermometry and field emission displays via efficient $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$ energy transfer in emitting-color tunable GdNbO_4 phosphors [Text] // *Chemical Engineering Journal.* – 2020. – Vol. 382. – P. 122861.

14 **Baran, M., Belikov, K. N., Kissabekova, A., Krasnikov, A., Lushchik, A., Mihokova, E., Tsiumra, V., Vasylechko, L., Zazubovich, S., Zhydashkevsky, Ya.** Origin of luminescence in Bi^{3+} – doped lanthanide niobates [Text] // *J. Alloys and Compounds* – 2021. – Vol. 859. – P. 157800.

15 **Binnemans, K.** Interpretation of europium (III) spectra [Text] // *Coordination Chemistry Reviews.* – 2015. – Vol. 295. – P. 1–45.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

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

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

²Физика институты, Тарту университеті, Эстония, Тарту қ.;

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

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ТҮРЛЕНДІРГІШ ЛЮМИНОФОРЫ БАР ЖАРЫҚДИОД ҮШІН ПОТЕНЦИАЛДЫ МАТЕРИАЛ $\text{LuNbO}_4\text{:Bi,Eu}$ НИОБАТ СПЕКТРОСКОПИЯСЫ

Бұл мақалада Bi^{3+} иондарынан $\text{LuNbO}_4\text{:Bi, Eu}$ лютеций ниобатының монокристалды ұнтағындағы Eu^{3+} иондарына – ақ жарықдиодты потенциалды фосфорға (WLED) энергияның берілуі қарастырылады. Ол үшін кең температура интервалында (4.2–500 K) спектроскопиялық өлшеулер кешені жүргізілді, жұмыста меншікті және висмут және Еуропа иондарымен байланысты фотолюминесценцияның сәулелену және қозу спектрлері ұсынылған, негізгі сәулелену жолақтарының максималды қарқындылығының температуралық тәуелділіктері ұсынылған, сондай-ақ еуропий концентрациясына байланысты Энергияны беру тиімділігі бағаланған. Барлық үлгілердегі Bi^{3+} иондарының концентрациясы бірдей (2 %), ал Eu^{3+} иондарының концентрациясы 0.2 %-дан 8 %-ға дейін өзгертін бірқатар үлгілер үшін өлшеулер жүргізілді. Барлық зерттелетін ұнтақтар үшін кванттық шығыс пен түс координаттары CIE анықталған. Зерттеу материалын ақ жарық диодтары үшін фосфор ретінде қолдану мүмкіндігі туралы қорытынды жасалды. Бұл жұмыстағы барлық эксперименттер ультракүлгін – көрінетін (UV-VIS) диапазонында ксенон шамымен үздіксіз қозу кезінде жүргізілді. Келесі жұмыс микро-миллисекундтық диапазондағы импульстік қозу кезіндегі өлшемдерді қамтиды, бұл матрицадан және висмут иондарынан зерттелетін материалды одан әрі оңтайландыру үшін қажет еуропий иондарына энергияның берілуін егжей-тегжейлі сипаттауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: жарықдиоды, ниобаттар, энергияны тасымалдау, люминофор, спектроскопия, люминесценция.

*A. A. Kissabekova¹, A. S. Krasnikov², G. K. Alpysova³

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

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

³Karaganda Buketov University, Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Material received on 20.06.23.

SPECTROSCOPY OF NIOBATE $\text{LuNbO}_4\text{:Bi, Eu}$ – POTENTIAL MATERIAL FOR LEDs WITH A CONVERSION LUMINOPHORE

In this paper energy transfer from Bi^{3+} ions to Eu^{3+} ions in a single crystal powder of lutetium niobate $\text{LuNbO}_4\text{:Bi, Eu}$ – a potential material for white light-emitting diodes (WLED) is considered. For this purpose a set of spectroscopic measurements was performed in a wide temperature range (4.2-500 K), emission spectra and excitation of photoluminescence both proper and related to bismuth and europium ions were presented, also the temperature dependences of the maximum intensity of the main emission bands were given and the energy transfer efficiency depending on the europium concentration was evaluated. The measurements were carried out for a series of samples where the concentration of Bi^{3+} ions in all samples was the same (2 %), and the concentration of Eu^{3+} ions varied from 0.2 % to 8 %. The quantum yield and CIE chromaticity coordinates were determined for all investigated powders. The possibility of using the studied material as a phosphor for white LEDs is discussed. All experiments in this work were performed under continuous excitation by a xenon lamp in the ultraviolet – visible (UV-VIS) range. The next work will include measurements under pulsed excitation in the micro-millisecond range, this would allow to characterize in detail the energy transfer from the matrix and bismuth ions to europium ions, which is necessary for further optimization of the investigated material.

Keywords: LEDs, niobates, energy transfer, phosphor, spectroscopy, luminescence.

Теруге 20.06.2023 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2023 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

17,5 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,67. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4103

Сдано в набор 20.06 2023 г. Подписано в печать 30.06 2023 г.

Электронное издание

17,5 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,67. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4103

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

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

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

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

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz