10. Глухов, И. В. Компьютерное моделирование аэродинамики в рабочем пространстве ДСП / И. В. Глухов, Г. В. Воронов // Энерго- и ресурсосбережение : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 2015 г. / Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург, 2015. – С. 88–91.
11. Глухов, И. . Сжигание природного газа с техническим кислородом в рабочем пространстве ДСП / И. В. Глухов, Г. В. Воронов // Теплотехника и информатика : сб. докл. IX Всерос. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 13–14 мая 2021 г. / Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург, 2021. – С. 28–34.
12. Voronov, G. V. Physicochemical Properties of Natural Gas and Oxygen Combustion Products at Diffusion and Kinetic Burning / G. V. Voronov, I. V. Glukhov // Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham. – 2022. – P. 318–324.
13. Плесакин, И. В. Рекомендации по загрузке шихты и расположению ТСУ в ДСП-120 / И. В. Плесакин, Г. В. Воронов, И. В. Глухов // Теплотехника и информатика : сб. докл. VI Всерос. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 2017 г. / Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург, 2017. – С. 98–102.

ПОЛУЧЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПОРОШКОВ ОКСИДА ЛЮТЕЦИЯ, АКТИВИРОВАННОГО ИОНАМИ ЭРБИЯ, И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СВОЙСТВ

О. С. Невзорова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

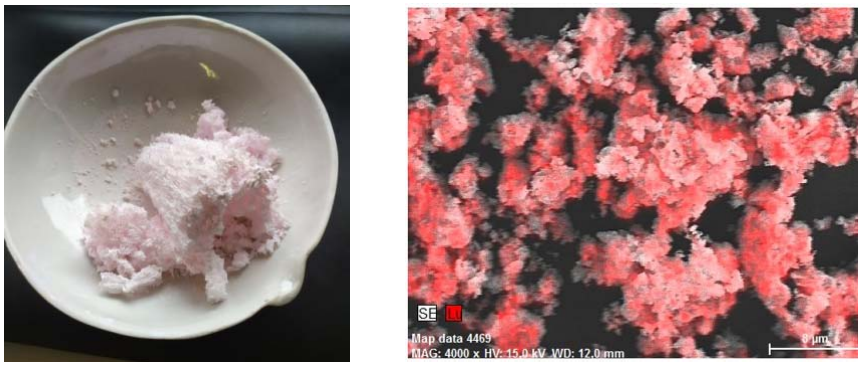
Научный руководитель А. А. Бойко

Наноструктурированные порошки оксида лютеция, легированного ионами эрбия, получены методом термохимического синтеза (горения) и являются перспективными для формирования лазерной керамики и сцинтилляторов. Источниками для синтеза были взяты азотнокислые соли лютеция и эрбия, полученные путем растворения оксидов лютеция и эрбия в азотной кислоте. В качестве комплексообразователя и горючего-восстановителя использована уксусная кислота, а диспергирующим агентом, применяемым для разделения агломератов, – поливиниловый спирт. Исследования морфологических и структурных характеристик с использованием методов сканирующей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии показали, что образцы порошков $Lu_2O_3 : Er^{3+}$, прокаленные при 850 °С, имеют квазисферическую форму частиц с размерами 48–86 нм. Полученные порошки проявляют интенсивную люминесценцию в видимой и ИК-областях спектра с центрами на 560 и 1530 нм при возбуждении на длине волны 378 нм.

Ключевые слова: лантаноиды, наноструктурированные порошки, оксид лютеция, легирование, ионы эрбия, термохимический синтез.

Оптически прозрачная керамика на основе оксидов лантаноидов, легированная ионами редкоземельных элементов (РЗЭ), является перспективным материалом для использования в качестве активной среды твердотельных лазеров, люминесцентных преобразователей, сцинтилляторов [1]. Оксид лютеция Lu_2O_3 имеет кубическую кристаллическую структуру большую ширину запрещенной зоны (около 6,5 эВ), что обеспечивает высокий уровень излучения активных легирующих ионов. Для получения эффективной генерации лазерного излучения требуется хорошее оптическое качество керамики и тонкая микроструктура, которую может обеспечить применение наноструктурированных порошков [2]. Перспективным направлением синтеза люминесцентных порошков оксида лютеция, активированного ионами эрбия, является применение термохимических реакций (метод «золь – гель – горение») [3].

Процесс синтеза оксида лютеция, легированного эрбием ($Lu_2O_3 : Er^{3+}$), осуществляют следующим образом. Оксиды лютеция и эрбия Lu_2O_3, Er_2O_3 с помощью азотной кислоты переводят в соответствующие нитраты, смешивают с уксусной кислотой и поливиниловым спиртом (ПВС) и упаривают смесь при 75–85 °С до состояния геля. Затем проводят термообработку геля в муфельной печи при температуре 850 °С в течение 2 ч. Под воздействием быстрого нагрева проходит термохимическая реакция синтеза легированного оксида лютеция и в результате получают вспененный порошкообразный продукт розового цвета (рис. 1, *а*).

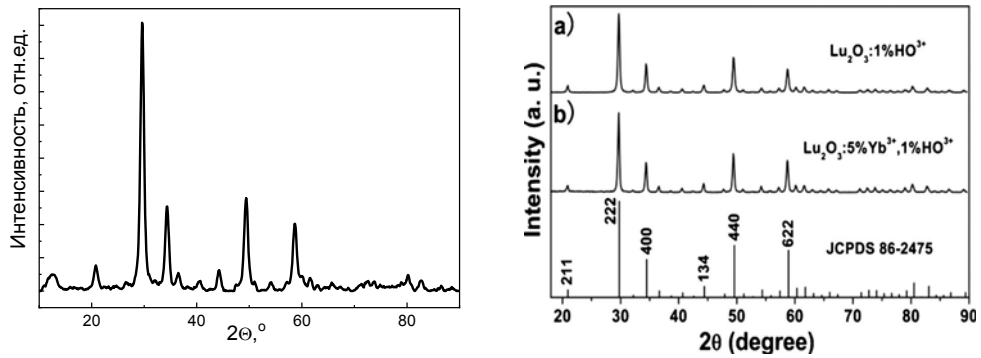


а) *б*)

Рис. 1. Полученный вспененный продукт
после прокаливания геля при 850 °С (2 ч):
а – общий вид; *б* – СЭМ-изображение

Изучены структурные, морфологические и спектрально-люминесцентные характеристики порошков $Lu_2O_3 : Er^{3+}$.

На основе анализа данных рентгенофазового анализа (РФА) полученных порошков можно сделать заключение, что образцы, прокаленные при 850 °С, являются наноструктурированными, с четко выраженными рефлексами, соответствующими кубической кристаллической структуре биксбиита состава Lu_2O_3 (каталог JCPDS № 86-2475) (рис. 2, *а*).



а) *б*)

Рис. 2. Дифрактограмма:
а – полученного наноструктурированного порошка $Lu_2O_3 : Er^{3+}$;
б – нанокристаллических порошков $Lu_2O_3 : Ho^{3+}$ и $Lu_2O_3 : Yb^{3+}$, Ho^{3+} [4]

Исследования морфологии порошков с использованием метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показали, что порошки $Lu_2O_3 : Er^{3+}$, прокаленные на воздухе, имеют квазисферическую форму частиц и являются агломерированными (рис. 3). Размеры первичных частиц порошка, получаемого в результате процесса горения с последующим прокаливанием при 850 °С, находятся в пределах 48–86 нм.

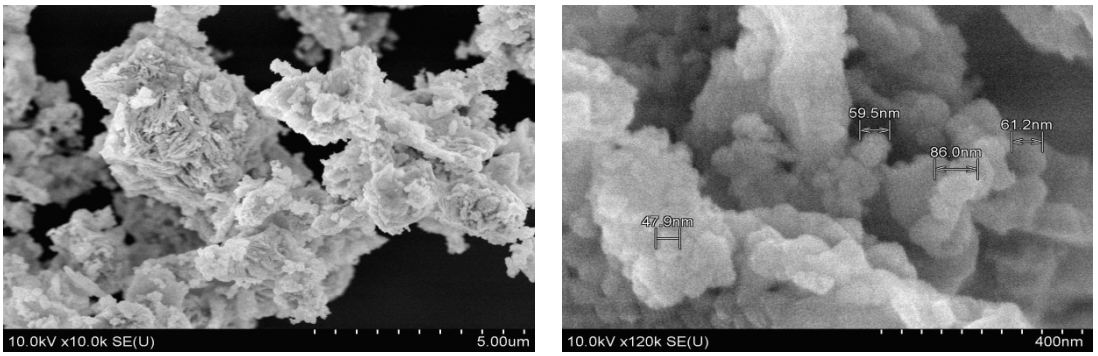


Рис. 3. СЭМ-изображение полученного наноструктурированного порошка $Lu_2O_3 : Er^{3+}$ при разном увеличении

Изучение полученных порошков методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX) показало наличие атомов лютеция, эрбия и кислорода в соотношении, соответствующим формуле химического состава $(Lu_{0,98}Er_{0,2})_2O_3$. Других примесных фаз в составе образцов не обнаружено.

Спектрально-люминесцентные исследования порошков при возбуждении в УФ-области спектра ($\lambda_{возб} = 378$ нм) показали, что образцы $Lu_2O_3 : Er^{3+}$ люминесцируют как в видимой области спектра с центром на 560 нм (зеленое излучение), так и в ИК-области с центром на 1530 нм.

Таким образом, можно констатировать, что полученные наноструктурированные порошки $Lu_2O_3 : Er^{3+}$ перспективны для формирования лазерной керамики как видимого, так и ИК-диапазона спектра.

Литература

1. Materials development and potential applications of transparent ceramics / Z. Xiao, S. Yu, Y. Li [et al.] // Materials Science and Engineering: R: Reports. – 2020. – Vol. 139. – P. 1–66. – DOI 10.1016/j.mser.2019.100518
2. Fabrication and VUV luminescence of $Lu_2O_3 : Eu^{3+}$ (5 at. %) nanopowders and transparent ceramics / N. A. Safronova, R. P. Yavetskiy, O. S. Kryzhanovska [et al.] // Optical Materials. – 2020. – Vol. 101. – Art. 109730. – DOI 10.1016/j.optmat.2020.109730
3. Mukasyan A. S. Solution combustion synthesis of nanomaterials / A. S. Mukasyan, P. Epstein, P. Dinka // Proceedings of the Combustion Institute. – 2007. – Vol. 31, N 2. – P. 1789–1795. – DOI 10.1016/j.proci.2006.07.052
4. Yang, J. Sol-gel synthesis of nanocrystalline Yb^{3+}/Ho^{3+}-doped Lu_2O_3 as an efficient green phosphor / J. Yang, J. Lin // Journal of the Electrochemical Society. – 2010. – Vol. 157, N 12. – P. K273–K278. – DOI 10.1149/1.3496669