

УДК 546.05-06

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА, АКТИВИРОВАННОЙ ОКСИДОМ ЦЕРИЯ**Д.Е. Деулина, В.Д. Пайгин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. О.Л. Хасанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [ded5@tpu.ru](mailto:ded5@tpu.ru)**INVESTIGATION OF OPTICAL CHARACTERISTICS OF CERAMICS BASED ON YTTRIUM-ALUMINUM GARNET ACTIVATED BY CERIUM OXIDE**D.E. Deulina, V.D. Paygin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. O.L. Khasanov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [ded5@tpu.ru](mailto:ded5@tpu.ru)

**Abstract.** *The study of the optical characteristics of ceramics based on yttrium-aluminum garnet with the addition of 0.03 to 2 wt. % cerium oxide were carried out in this work. Ceramics were made by spark plasma sintering from powders synthesized by reverse deposition, isolated by filtration and spray drying methods. Studies have shown that reflection is not observed in the ultraviolet range for all samples, the maximum value of the reflection coefficient of all samples corresponds to a wavelength of 450 nm, which is typical for the visible wavelength range.*

**Введение.** В последнее время интерес к оптическим керамическим материалам значительно возрос. Такие материалы обладают рядом преимуществ по сравнению с монокристаллическими материалами: снижение энерго- и трудозатрат на изготовление, меньшая температура спекания [1, 2].

В последние годы керамика на основе иттрий-алюминиевого граната ( $Y_3Al_5O_{12}$ , YAG), активированная ионами редкоземельных элементов (РЗЭ), вызывает все больший интерес [3]. Внимание исследователей направлено на изучение процессов синтеза и консолидации поликристаллических материалов на основе YAG, активированного ионами церия, улучшение их эксплуатационных характеристик. Такая керамика может эффективно использоваться (в том числе в экстремальных условиях) в качестве преобразователей оптического излучения в твердотельных источниках света.

В настоящей работе изучено влияние оксида церия на оптическое отражение керамики на основе иттрий-алюминиевого граната, изготовленной методом электроимпульсного плазменного спекания из порошков, синтезированных методом обратного осаждения, выделенных способами фильтрации и распылительной сушки.

**Экспериментальная часть.** Для изготовления керамики использовали порошки, синтезированные методом обратного осаждения из однополярного раствора нитратов иттрия, алюминия и церия, с использованием аммиака, выделенные способами распылительной сушки и фильтрации, с содержанием добавки оксида церия от 0,03 до 0,1 мас. %. Порошки отжигали в атмосферной высокотемпературной

печи VP 20/70, LAC Ltd (Чехия). Скорость нагрева составляла 10 °С/мин, температура отжига – 1000 °С, время выдержки – 3 часа.

В качестве спекающих добавок были использованы коммерческие порошки фторида лития (LiF) (СХК, Россия), в количестве 0,25 мас. % и оксида кремния (SiO<sub>2</sub>) (ЛенРеактив, Россия), в количестве 0,5 мас. %.

Керамику изготавливали методом электроимпульсного плазменного спекания (ЭИПС) на установке SPS-515S (SPS Syntex Inc., Япония). Спекание проводили при температуре 1550 °С, давлении 100 МПа, времени выдержки 180 минут.

Для механической обработки исследуемых образцов была использована шлифовально-полировальная установка EcoMet 300 Pro (Buehler, Германия).

Оптические свойства керамики были исследованы с использованием спектрофотометра СФ-56 (ОКБ Спектр, Россия).

**Результаты.** На рисунке 1 представлены спектры отражения образцов, полученных из порошков, выделенных способами фильтрации и распылительной сушки в диапазоне длин волн от 200 до 1100 нм.

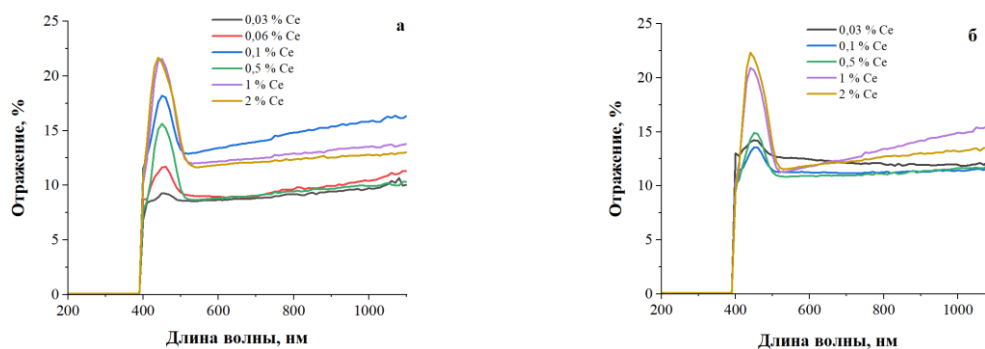


Рис. 1. Результаты измерения спектров отражения образцов на основе иттрий-алюминиевого граната, выделенных способами а) фильтрации; б) распылительной сушки

Из спектра видно, что в диапазоне от 200 до 400 нм (ультрафиолетовый диапазон) отражения для всех образцов не наблюдается. Наиболее интенсивное отражение характерно для длины волны 450 нм, что соответствует видимому диапазону длин волн. В инфракрасном диапазоне (от 780 до 1100 нм) наблюдается увеличение значения отражения, однако эти значения остаются ниже, чем в видимом спектре, что также подтверждается данными таблицы 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов отражения образцов, выделенных способами фильтрации и распылительной сушки на различных длинах волн

Способ выделения	Длина волны, нм	Относительный коэффициент отражения, %					
		0,03 мас. % Ce	0,06 мас. % Ce	0,1 мас. % Ce	0,5 мас. % Ce	1 мас. % Ce	2 мас. % Ce
Фильтрация	450	9	12	18,	16	22	21
	600	9	9	13	9	12	12
	1100	10	11	16	10	14	13
Распылительная сушка	450	14	-	14	15	21	22
	600	12	-	11	11	12	12
	1100	12	-	12	12	16	13

Для серии образцов, выделенных способом фильтрации, наибольшим значением коэффициента отражения на длине волны 450 нм (видимый спектр) обладает образец, содержащий 1 мас. % оксида церия (22 %), близким значением (21 %) обладает образец, с содержанием 2 мас. % оксида церия, а минимальным коэффициентом отражения обладает образец с 0,03 мас. % оксида церия (9 %).

На длинах волн 600 и 1100 нм (инфракрасный диапазон) наибольшим значением коэффициента отражения обладает образец с содержанием 0,1 мас. % оксида церия – 13 и 16 % соответственно, минимальным значением – образец с содержанием 0,03 мас. % оксида церия – 9 и 10 % соответственно.

Для серии с распылительной сушкой на длине волны 450 нм также максимальными значениями коэффициента отражения обладают образцы с содержащий 2 мас. % оксида церия (22 %) и с содержанием 1 мас. % оксида церия (21 %). Минимальное значение коэффициента отражения характерно для образца с содержанием оксида церия 0,1 мас. % (14 %).

В инфракрасном диапазоне максимальными значениями также обладают образцы с содержанием 1 мас. % оксида церия (12 % для длины волны 600 нм и 16 % для длины волны 1100 нм) и образец с содержанием 2 мас. % оксида церия (12 % для длины волны 600 нм и 13 % для длины волны 1100 нм). Минимальное значение также характерно для образца с содержанием 0,1 мас. % оксида церия (12 % для длины волны 600 нм и 12 % для длины волны 1100 нм).

**Заключение.** В ходе проведения исследования методом ЭИПС были получены керамические образцы на основе иттрий-алюминиевого граната с добавлением от 0,03 до 2 мас. % оксида церия и проведено исследование их оптических характеристик. Сравнение значений коэффициентов отражения серий образцов с различным содержанием оксида церия показало, что способ распылительной сушки позволяет получить образцы с большим значением отражения в видимом диапазоне длин волн, а способ фильтрации – в инфракрасном диапазоне длин волн, в то время как в ультрафиолетовом диапазоне отражения у всех образцов не наблюдается, так как излучение в указанном диапазоне полностью поглощается поверхностью образца.

*Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 21-73-10100 на оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710. Авторы выражают благодарность ассистенту ОМ ИШНПТ ТПУ к.т.н. Илела А.Э.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукьяшин К.Е., Осипов В.В., Шитов В.А., Максимов Р.Н., Платонов В.В., Соломонов В.И. Ищенко А.В. Новые высокопрозрачные керамические материалы // Ракетно-космическая техника. – 2016. – Т. 1. - № 2
2. Лукьяшин К.Е., Шитов В.А., Медведев А.И., Ищенко А.В., Шевелев В.С., Шульгин Б.В. Се:YAG керамика: влияние особенностей технологии синтеза на люминесцентные и оптические свойства // Космические исследования и ракетостроение. – 2019. – Т. 1. – С. 74-84
3. Wang S.F., Zhang J., Luo D.W., Gu F., Tang D.Y., Dong Z.L., Tan G.E.B., Que W.X., Zhang T.S., Li S., Kong, L.B. Transparent ceramics: Processing, materials and applications // Processes in Solid State Chemistry. – 2015. – V. 41. – pp. 20-54.