

УДК 53.043

**МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ
ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

А.Е. Кульчманов, Е.В. Форат

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. Д.Т. Валиев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: aek44@tpu.ru

SURFACE TREATMENT OF LUMINESCENT OXIDE CERAMICS BY LASER RADIATION

A.E. Kulchmanov, E.V. Forat

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Ph.D. D.T. Valiev

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

E-mail: aek44@tpu.ru

Abstract. *The surface of luminescent oxide ceramics (yttrium aluminum garnet, magnesium aluminate spinel, zirconia dioxide) was treated by pulse laser irradiation. It was found that by changing the parameters of the duration, speed and power of pulse laser radiation, it is possible to obtain smooth tracks on the surface of oxide ceramics. It is shown that laser radiation treatment has a positive effect on the luminescent properties of oxide ceramics.*

Введение. Люминесцентные оксидные керамики (YAG: Ce^{3+} , $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$, MgAl_2O_4), легированные ионами-активаторами, активно применяются в качестве преобразователей излучения для светотехнических применений. На сегодняшний день особое внимание направлено не только на химический состав и условия спекания оксидных керамик, но и на микроструктурный состав, в частности, поверхностные слои. Известно, что увеличение параметра шероховатости Ra поверхности люминесцентной керамики YAG: Ce^{3+} приводит к повышению эффективности преобразования падающего излучения, (росту интенсивности фотолюминесценции) [1, 2]. Обработка поверхности в данных работах проводилась механическим способом – абразивами разной степени зернистости. В случае обработки поверхности лазерным излучением необходимо учитывать изменение не только механических параметров, но и фазового состава поверхностного слоя, возникающего вследствие химических превращений, происходящих при нагреве. Эти изменения были исследованы в работе [3], в которой авторы, используя лазерное сверление образцов YAG: Ce^{3+} : выполнили ряд отверстий с диаметром 100 мкм, при этом зона, подвергшаяся тепловому воздействию лазерного луча, имела диаметр 150 мкм. Рентгенофазовый анализ зоны показал присутствие в составе соединений $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$, YAlO_3 и Al_2O_3 . Исследование фотолюминесценции образцов показало переменное пропускание синего света и желтое свечение, что дает возможность регулировать соотношением спектральных составляющих белого излучения. Таким образом, обработка поверхностных слоев керамики лазерным излучением может позволить добиться дополнительного контроля над энергетическими и спектральными характеристиками керамических материалов.

Целью данной работы является определение возможности модификации (макроструктурирования) поверхности оксидных керамик переменного состава лазерным импульсно-периодическим воздействием с наносекундной длительностью импульса для последующего улучшения их излучательных свойств.

Экспериментальная часть. В качестве исследуемые образцов оксидной керамики были выбраны следующие составы: алюмоиттриевый гранат, активированный церием, иттрий стабилизированный диоксид циркония, алюмомагниева шпинель. Образцы были получены методом искрового плазменного спекания. Методика получения образцов подробно описана в [4]. Обработка образцов проводилась на технологическом лазере для гравировки металлов «Мини Маркер 2» производства ООО «Лазерный центр», г. Санкт-Петербург. Основой установки является иттербиевый импульсный волоконный лазер. Формируемое на поверхности лазерное пятно составляло 50...70 мкм при использовании объектива для рабочего поля 100x100 мм. Длительность лазерного импульса установки определяется программно и может составлять 200, 100, 50 или 25 нс. Интегральную спектральную эффективность измеряли с использованием интегрирующей сферы и калиброванного спектрометра AvaSpec-ULS3648. Источником возбуждения служило излучение чипа с $\lambda_{\text{возб}} = 395, 447$ нм.

Результаты. Параметры обработки выбирались исходя из соображений избежать макропробоя и разрушения образцов. Воздействие на лазерном технологическом комплексе производилось при частоте следования лазерных импульсов 20...90 кГц. Длительность лазерного излучения составляла 100 или 200 наносекунд, более короткие импульсы практически не оказывают влияния на поверхность. Скорость перемещения лазерного пучка по поверхности образца варьировалась от 4 до 400 мм/с – таким образом изменялось наложение лазерных пятен друг на друга. Обработка производилась с плотностью 5 штрихов/мм (рис. 1). Фотографии поверхности были сделаны на цифровую фотокамеру Canon EOS600D через микроскоп МБС-9.

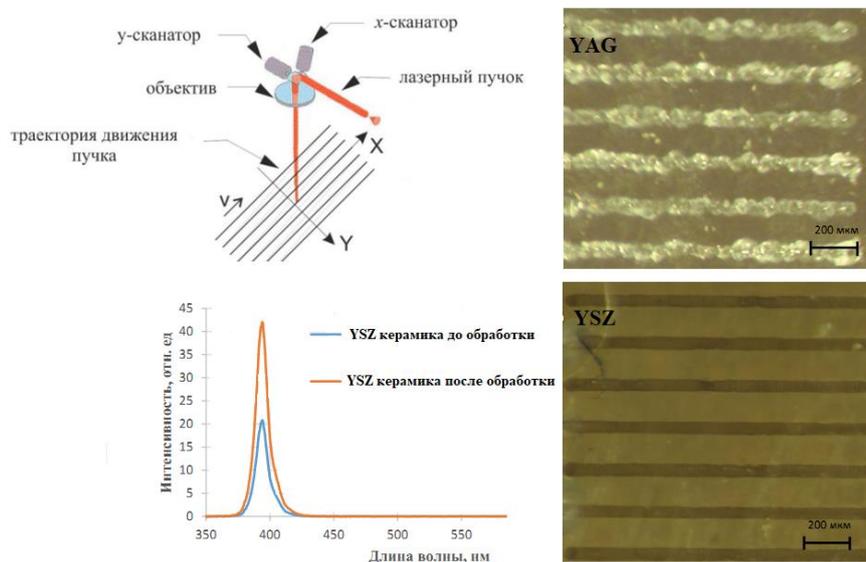


Рис. 1. Схема построчного облучения образца, микрофотографии обработанных поверхностей образцов керамики YAG и YSZ, спектр излучения образца иттрий стабилизированного диоксида циркония до и после обработки лазерным излучением

Ожидается, что более «жесткий» режим обработки будет достигаться при уменьшении длительности импульсов τ_n и скорости перемещения лазерного пятна на поверхности образца V , увеличения частоты повторения импульсов f .

Образец YAG оказался довольно чувствителен к лазерному воздействию – на поверхности образовывались трещины при $V < 400$ мм/с и $\tau_n < 200$ нс. По этой причине были проведены испытания при $V = 400$ мм/с и $\tau_n = 200$ нс от частоты следования импульсов. Для образца керамики на основе YSZ был найден режим обработки без разрушения материала вокруг области воздействия (Рис. 1).

Оценка интегральной спектральной эффективности свечения образцов керамики после лазерной обработки показала, что наблюдается рост интенсивности свечения. Результат измерения для образца керамики YSZ показан на рис. 1.

Заключение. В работе приведены результаты лазерного макроструктурирования поверхности оксидных керамик переменного состава лазерным импульсно-периодическим воздействием с наносекундной длительностью импульса для последующего улучшения их излучательных свойств. Было установлено, что, изменяя параметры длительности, скорости и мощности лазерного излучения удается получить ровные треки на поверхности оксидных керамик. Показано, что обработка лазерным излучением положительно влияет на люминесцентные свойства оксидных керамик.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Отделения Материаловедения ИШНПТ ТПУ – доценту, к.ф.-м.н. И. Ю. Зыкову и инженеру В. Д. Пайгину за помощь в проведении экспериментов и плодотворную дискуссию. В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 21-73-10100.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wagner A., Ratzker B., Kalabukhov S., Frage N. Enhanced external luminescence quantum efficiency of ceramic phosphors by surface roughening // Journal of Luminescence. 2019. – Vol. 213. – P. 454-458. doi.org/10.1016/j.jlumin.2019.05.058.
2. Chen W., Cao D., Dong Y., Xiong J., Trofimov Y., Lishik S., Zhang G., Fan J., Enhancing luminous flux and color rendering of laser-excited YAG: Ce³⁺ single crystal phosphor plate via surface roughening and low-temperature sintering a CaAlSiN₃:Eu²⁺ phosphor-in-borate glass // Journal of Luminescence. – 2022. – Vol. 251. – P. 119225, doi.org/10.1016/j.jlumin.2022.119225.
3. Nien, Yung-Tang & Ma, Chia-Wei & Chen, In-Gann. (2014). Effect of Laser Drilling on the Microstructure and Luminescence of YAG:Ce,Si Phosphor Ceramics. International Journal of Applied Ceramic Technology, no. 12 (4), pp. 745-749. DOI:10.1111/ijac.12345.
4. Paygin Vladimir, Dvilis Edgar, Alishin Timofei, et al., Application of collector pressing method to manufacture various optically transparent oxide ceramics using SPS technique // Optical Materials. 2022. – Vol. 128. – P. 112332.