

УДК 666.3.046.44:535.345.1

**Применение комплексного критерия для оценки качества
армированной прозрачной керамики $MgAl_2O_4$**

И.Н. Шевченко, В.Д. Пайгин, Д.Е. Деулина

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: ins16@tpu.ru

**Application of a complex criterion for assessing the quality
of reinforced transparent ceramics $MgAl_2O_4$**

I.N. Shevchenko, V.D. Paygin, D.E. Deulina

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

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

E-mail: ins16@tpu.ru

Abstract. *In this study, the optical characteristics of transparent ceramics based on $MgAl_2O_4$ reinforced with Al_2O_3 nanofibers were investigated. A comprehensive quality criterion was used to evaluate the properties of reinforced ceramics. The maximum value of the comprehensive quality criterion corresponded to samples with the highest transmittance. Among the obtained transparent reinforced ceramics, the highest transmittance (52 % at a wavelength of 600 nm) was demonstrated by the sample containing 0.1 vol. % Al_2O_3 nanofibers.*

Key words: transparent ceramic, optical properties, $MgAl_2O_4$.

Введение

Прозрачная керамика находится в центре внимания многих исследователей в течение последние десятилетия, поскольку является перспективной заменой для монокристаллов и стёкол. Основным интерес, вызываемый данным материалом, обусловлен высоким потенциалом использования изделий керамических составов, как в гражданском приборостроении, так и в качестве активных и пассивных оптических элементов [1]. Для этих целей алюмомагнетитовая шпинель ($MgAl_2O_4$; АМШ), зарекомендовала себя в качестве крайне перспективного материала, благодаря своим выдающимся свойствам: высокой прозрачности в видимом и инфракрасном диапазонах и хорошими механическими свойствами (твёрдостью, трещиностойкостью и прочностью) [2].

В настоящее время для изготовления прозрачной керамики на основе АМШ существует ряд традиционных методов: холодное прессование, горячее, в том числе изостатическое прессование и электроимпульсное плазменное спекание (ЭИПС) [3].

Улучшения прочностных свойств прозрачной керамики на основе АМШ реализуются двумя разными подходами. В первом случае исследователи предлагают формирование дополнительного слоя оксида алюминия на поверхности АМШ-керамики в процессе спекания [4, 5]. Другой метод предлагает введение добавки упрочняющих (армирующих) частиц или волокон в исходные порошковые смеси [6, 7]. Оба данных метода показали свою эффективность в улучшении механических свойств, однако использование дополнительных компонентов в составе керамического материала приводит к формированию новых границ раздела и может негативно сказаться на оптических свойствах готового продукта.

Таким образом, в рамках данной работы была поставлена цель – с помощью комплексного критерия качества провести оценку свойств армированной нановолокнами (НВ) Al_2O_3 прозрачной керамики $MgAl_2O_4$ полученной методом ЭИПС.

Экспериментальная часть

Для синтеза прозрачных армированных керамик использовали коммерческий нанопорошок АМШ (Baikowski, Франция) и коммерческие нановолокна Al_2O_3 (Sigma-Aldrich, США). Порошковые смеси готовили путем смешивания в изопропиловом спирте с использованием шаровой мельницы и мелящих тел из диоксида цирконий. Полученную суспензию сушили до полного испарения влаги. Консолидацию прозрачных керамик состава АМШ: x масс. % Al_2O_3 (где $x = 0-10$) проводили методом ЭИПС на установке SPS-515S (SPS SYNTEX INC, Япония). Процесс спекания проводили в вакууме (10^{-3} Па) с температурой до 1400°C под давлением.

В качестве критериев оптимизации оптических и прочностных свойств прозрачной керамики на основе АМШ использовали постоянные коэффициенты аппроксимации показателя ослабления μ для текущего значения длины волны λ излучения, проходящего через прозрачную керамику [8]. Показатель ослабления μ для рассеивающих сред определялся, как D/h и приравнялся к соотношению, предложенному в работе [9]:

$$\mu = \frac{D}{h} \equiv \frac{1}{k \cdot \ln\left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right) + h_{0.1}},$$

где D – оптическая плотность; h – толщина материала; k – коэффициент, характеризующий интенсивность нарастания светопропускания с увеличением длины волны λ ; $h_{0.1}$ – коэффициент, характеризующий толщину материала, на которой поток проходящего излучения с заданной (600 нм) длиной волны λ_i падает в 10 раз.

Результаты

На рис. 1 представлены спектры прямого пропускания образцов армированной прозрачной керамики на основе MgAl_2O_4 в диапазоне длин волн от 200 до 7800 нм.

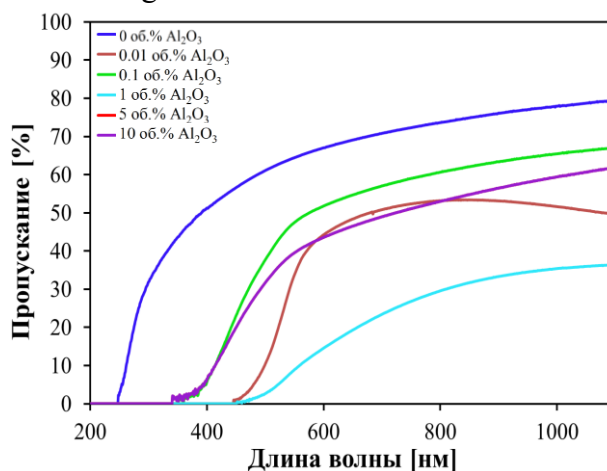


Рис. 1. Результаты исследования пропускания образцов АМШ-керамики: (а) видимый, (б) ИК-спектр

Левая граница пропускания АМШ-керамики лежит в области 250 нм. Пропускание образцов в ультрафиолетовой области достигает 51 %, в видимой области пропускание достигает 71 %, в ближней ИК-области (в диапазоне длин волн от 700 до 1100 нм) достигает 79 %. Армирование прозрачной керамики нановолокнами Al_2O_3 в количестве от 0,01 до 10 об. % приводит к смещению границы пропускания в область 360–460 нм и понижению пропускания в ультрафиолетовой области до 0–6 %, в видимой области до 23–57 %, в ближней ИК-области (в диапазоне длин волн от 700 до 1100 нм) до 36–67 %.

Видно, что максимальное значение комплексного критерия качества соответствует образцам с наибольшим пропусканием (табл. 1). Среди полученных прозрачных армированных

керамик наибольшее пропускание (52 % на длине волны 600 нм) демонстрирует образец, содержащий 0,1 об. % НВ Al_2O_3 . Величина комплексного критерия качества составляет 7,90 мм².

Таблица 1

Оптические характеристики и комплексный критерий качества образцов прозрачной керамики на основе $MgAl_2O_4$, армированной нановолокнами Al_2O_3

Al_2O_3 , об. %	$T_{\lambda=600}$, %	k, мм	$h_{0.1}$, мм	$k \cdot h_{0.1}$, мм ²
0	67	5,59	4,41	24,63
0,01	44	2,60	2,45	6,37
0,1	52	3,37	2,34	7,90
1	15	1,26	0,91	1,15
5	44	2,97	1,93	4,57
10	26	0,97	1,26	1,22

Заключение

Применение комплексного критерия оценки качества армированной прозрачной керамики $MgAl_2O_4$ позволяет характеризовать образцы с лучшими оптическими свойствами. Производство коэффициентов ($k \cdot h_{0.1}$) является комплексным критерием качества, который позволяет количественно охарактеризовать спектр пропускания образцов оптически прозрачных керамик.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 23-73-01241 на оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ.

Список литературы

1. Akinribide O.J., Mekgwe G.N., Akinwamide S.O., Gamaoun F., Abeykoon C., Johnson O.T., Olubambi P.A. A review on optical properties and application of transparent ceramics // Journal of Materials Research and Technology. – 2022. – Vol. 21. – P. 712–738.
2. Benitez T., Gómez S.Y., Oliveira A.P.D, Travitzky N., Hotza D. Transparent ceramic and glass-ceramic materials for armor applications // Ceramics International. – 2017. – Vol. 43, № 16. – P. 13031–13046.
3. Shi Z., Zhao Q., Guo B., Ji T., Wang H. A review on processing polycrystalline magnesium aluminate spinel ($MgAl_2O_4$): Sintering techniques, material properties and machinability // Materials & Design. – 2020. – Vol. 193. – P. 108858
4. Liu L., Morita K. Effect of sintering conditions on optical and mechanical properties of $MgAl_2O_4/Al_2O_3$ laminated transparent composite fabricated by spark-plasma-sintering (SPS) processing // Journal of the European Ceramic Society. – 2022. – Vol. 42, № 5. – P. 2487–2495.
5. Liu L., Morita K. Fabrication of $MgAl_2O_4/Al_2O_3$ laminated transparent composite by spark-plasma-sintering (SPS) processing // Scripta Materialia. – 2021. – Vol. 205. – P. 114205.
6. Paygin V.D., Shevchenko I.N., Deulina D.E., Dvilis E.S., Khasanov O.L., Stepanov S.A., Valiev D.T. Transparent magnesium aluminate spinel ceramics reinforced by alumina nanofibers // Russian Physics Journal. – 2024. – V. 67, № 9. – P. 1456–1462.
7. Nassajpour-Esfahani A.H., Emadi R., Alhaji A., Bahrami A., Haftbaradaran-Esfahani M.R. Towards high strength $MgAl_2O_4/Si_3N_4$ transparent nanocomposite, using spark plasma sintering // Journal of Alloys and Compounds. – 2020. – Vol. 830. – P. 154588.
8. Пайгин В.Д. Разработка технологии оптически прозрачных керамических материалов на основе диоксида циркония и оксидных соединений алюминия методом электроимпульсного плазменного спекания: дис. ... канд. техн. наук : 2.6.14 : защищена 22.11.22. – Томск, 2022. – 201 с.

9. Paygin V., Stepanov S., Dvilis E., Khasanov O., Alishin T., Valiev D. Effect of technological parameters on optical and mechanical properties of spark plasma sintered transparent YSZ ceramics // *Ceramics International*. – 2021. – Vol. 47, № 8. – P. 11169-11175.