

ботанного нами материала  $\text{UiO-66-I/AgNPs}$  под действием света представлена на рисунке 1.

Способность разработанного нами материала  $\text{UiO-66-I-50/AgNPs}$  к образованию ГС было экспериментально подтверждено с помощью спектроскопических методов и математических расчетов. Благодаря усиленному взаимодействию  $\text{UiO-66-I-50/AgNPs}$  с ХБ материал продемонстрировал беспрецедентную способность

к селективной фотокаталитической деградации широкого спектра хлорированных загрязнителей. В будущем мы ожидаем, что продемонстрированная нами стратегия использования ГС заложит основу для разработки новых функциональных фотокаталитических материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 23-73-00117.

### Список литературы

1. Jafari A. J. et al. *Synthesis of new composite based on  $\text{TiO}_2$  immobilized in glass fibers for photo-catalytic degradation of chlorobenzene in aqueous solutions* // *Environ Res.*, 2022. – Vol. 204.
2. Olshtrem A. et al. *Plasmon-assisted MXene grafting: Tuning of surface termination and stability enhancement* // *2d Mater.*, 2021. – Vol. 8. – № 4.

## ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА И АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ

Д. Е. Деулина, Ш. Ли, В. Д. Пайгин

Научный руководитель – д.т.н., профессор ОМ ИШНПТ О. Л. Хасанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, ded5@tpu.ru

Функционально-градиентные материалы (ФГМ) – это композиционные или однофазные материалы, функциональные свойства которых равномерно или скачкообразно изменяются по predetermined и разработанному профилю [1]. При изготовлении ФГМ в структуре материала присутствуют напряжения, которые приводят к расслоению материала и потере его функциональных свойств, поэтому актуальной задачей является разработка и оптимизация технологии ФГМ [2].

Перспективным направлением ФГМ является разработка функционально-градиентной керамики (ФГК), то есть материалов, сочетающих в себе все достоинства ФГМ и состоящих из керамики различных составов.

В работе исследована функционально-градиентная керамика из иттрий-алюминиевого граната и алюмомагниевого шпинели.

В качестве исходных компонентов использовали коммерческие нанопорошки  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  (MAS) и  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  (YAG). Изготовление ФГК проводили методом электроимпульсного плазменного спекания (ЭИПС).

Изменение плотности при ЭИПС представлено на рисунке 1г.

Процесс спекания YAG и MAS проходит в одну стадию. Основная доля уплотнения материалов приходится на неизотермическую стадию нагрева. Снижения интенсивности уплотнения при температуре 1000 °C связано с технологическим режимом консолидации материалов и обусловлено промежуточной изотермической выдержкой.

Уплотнение образца функционально-градиентной керамики MAS-YAG (ФГК) несколько отличается. В отличие от образцов MAS и YAG, существенного уплотнения ФГК до температуры 1000 °C не происходит. Интенсивное уплотнение материала наблюдается в диапазоне температур от 1000 °C до 1200 °C. В диапазоне температур от 1200 °C до 1450 °C интенсивность уплотнения замедляется и практически прекращается на участке изотермической выдержки.

Результаты измерения плотности представлены в таблице 1.

Относительная плотность образца ФГК(MAS-YAG) после ЭИПС составляет 98 %.

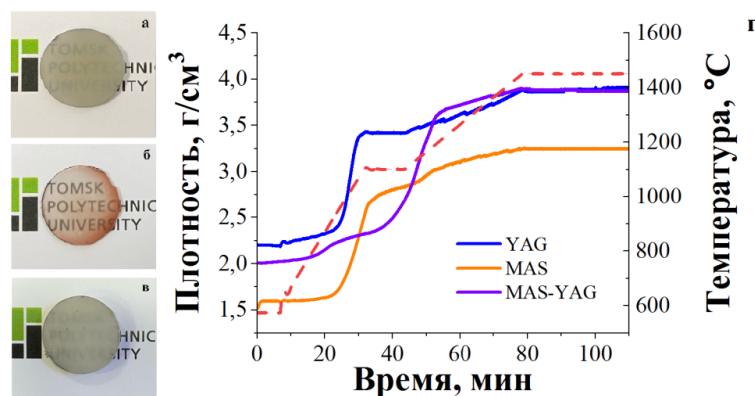


Рис. 1. Фото образца а) MAS; б) YAG; в) MAS-YAG; г) Изменение плотности порошков YAG и MAS в процессе электроимпульсного плазменного спекания

Таблица 1. Значения плотности исследуемых образцов

| Образец | m, г | h, мм | D, мм | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | $\rho_{\text{отн}}$ , % | $\rho_{\text{теор}}$ , г/см <sup>3</sup> |
|---------|------|-------|-------|----------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| MAS     | 1,31 | 2,36  | 14,35 | 3,43                       | 96,68                   | 3,55                                     |
| YAG     | 1,28 | 1,85  | 14,41 | 4,24                       | 93,23                   | 4,55                                     |
| MAS-YAG | 2,07 | 3,24  | 14,41 | 3,93                       | 97,79                   | 4,02                                     |

Показано, что при изготовлении ФГК основная доля уплотнения приходится на неизотермическую стадию нагрева. В отличие от исходных компонентов, начало уплотнения ФГК смещено в сторону больших температур.

Изготовлена функционально-градиентная керамика на основе иттрий-алюминиевого граната и алюмомагниевого шпинели, изучены

закономерности протекания процесса спекания и определена плотность и исследуемых материалов.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 21-71-10100 на оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### Список литературы

1. Shanmugavel P. et al. // *Eur. J. Sci. Res.*, 2012. – V. 68. – № 3. – P. 412–439.
2. Быков Ю. В. и др. // *Физика и химия обработки материалов*, 2011. – Т. 4. – С. 52–61.

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ГРАФЕН-КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ТИТАНОВОГО ИМПЛАНТАТА

Е. М. Догадина, Р. Д. Родригес, С. И. Твердохлебов,  
Е. В. Плотников, А. И. Козельская, Е. С. Шеремет  
Научный руководитель – PhD, профессор Р. Д. Родригес

Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, д. 30, [tpu@tpu.ru](mailto:tpu@tpu.ru)

Титановые имплантаты являются наиболее распространенными имплантатами для восстановления костей. Для улучшения их интеграции используются различные покрытия на основе фосфата кальция или гидроксиапатита. Однако, чтобы ускорить регенерацию костной ткани, пациенты должны уже в первые дни оказывать

нагрузку на поврежденную кость [1]. Поэтому во время послеоперационного восстановления важно правильно подобрать нагрузку на поврежденную конечность. Встроенные датчики деформации помогут при восстановлении кости определить допустимую нагрузку на нее. Более того, титан имеет модуль упругости примерно в