

дифракции для легированного никелем $\text{TiO}_2(\text{B})$ зафиксировано увеличение объема элементарной ячейки на 4 % ($\text{Ni}/\text{Ti}=0,05$), что указывает на встраивание ионов Ni^{2+} в позиции Ti^{4+} и образование твердых растворов замещения. Радиус иона Ni^{2+} (0,69 Å) больше, чем у Ti^{4+} (0,605 Å), следовательно, при замещении возникает искажение в решетке. Образование локализованных дефектных состояний $\text{Ni } 3d$ в запрещенной зоне $\text{TiO}_2(\text{B})$ подтверждено данными спектрофотометрических исследований, демонстрирующих уменьшение E_g с 3,28 до 2,7 эВ после допирования. Результаты рентгенофотоэлектронной спектроскопии отражают дефицит кислородных атомов в составе $\text{TiO}_2(\text{B})$, содержащего примесь никеля. А из данных электронного парамагнитного резонанса следует, что допирование $\text{TiO}_2(\text{B})$ никелем приводит к возникновению парамагнитных дефектов: F -центров (анионных вакансий, захвативших электрон). Методом электрохимической импедансной спектроскопии выявлено, что проводимость никельсодержащего $\text{TiO}_2(\text{B})$ достигает $2,2 \cdot 10^{-8}$ См/см ($\text{Ni}/\text{Ti}=0,05$), что выше, чем для немодифицированного продукта ($1,05 \cdot 10^{-10}$ См/см). По результатам тестирования материалов в литиевых ячейках обнаружен положительный эффект от модифицирования $\text{TiO}_2(\text{B})$ никелем, проявляющийся на показателях удельной емкости и циклической стабильности. Наилучшими характеристиками из изученного ряда образцов, как обнаружено, обладает никельсодержащий $\text{TiO}_2(\text{B})$ с атомным отношением $\text{Ni}/\text{Ti}=0,05$. А именно, после 100 циклов заряда/разряда при 50 мА/г обратимая емкость

модифицированного никелем $\text{TiO}_2(\text{B})$ составляет 175 мА·ч/г, тогда как для недопированного диоксида титана получено 140 мА·ч/г. Более того, допирование никелем улучшает мощностные показатели электрода из нанолент $\text{TiO}_2(\text{B})$. Относительно работоспособности в натриевых ячейках тестирование показало, что никельсодержащий $\text{TiO}_2(\text{B})$ демонстрирует устойчивое циклирование с обратимой емкостью около 95 мА·ч/г после 50 циклов заряда/разряда при токовой нагрузке 35 мА/г. Согласно расчетам коэффициент диффузии ионов Na^+ в никельсодержащем ($\text{Ni}/\text{Ti}=0,05$) $\text{TiO}_2(\text{B})$ равен $6,8 \cdot 10^{-13}$ см²/с. Основными причинами, определяющими такое поведение допированного никелем $\text{TiO}_2(\text{B})$ являются: а) улучшенная устойчивость структуры материала к деформациям вызванным интеркаляцией/деинтеркаляцией лития и натрия; б) облегченная диффузия катионов Li^+/Na^+ ; в) увеличенная проводимость.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИХ ДВО РАН за помощь в проведении исследований, а именно, чл.-корр. РАН С. В. Гнеденкову, д.х.н., доценту С. Л. Синябрюхову, д.ф.-м.н., профессору А. Ю. Устинову, к.х.н. В. Ю. Майорову, к.х.н. В. Г. Курявому, к.х.н. А. В. Герасименко и д.ф.-м.н. А. М. Зиатдинову.

Работа выполнена в рамках проекта № 19-73-10017, поддержанного Российским научным фондом. Часть экспериментальных данных получена с использованием оборудования центра коллективного пользования «Дальневосточный центр структурных исследований» (ИХ ДВО РАН, г. Владивосток).

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ВЫДЕЛЕНИЯ ПОРОШКА НА ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$

В. Д. Пайгин, Д. Е. Деулина, Т. Р. Алишин

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

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, vpaugin@mail.ru*

Керамика на основе иттрий-алюминиевого граната ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, YAG) – перспективный оптический материал. Он характеризуется высокой механической прочностью, хорошей химической стабильностью, превосходными термическими и оптическими характеристиками, отсутствием полиморфных превращений. Керамические из-

делия на основе YAG используются в лазерной технике и оптическом приборостроении [1].

Технологическая схема получения оптической керамики состоит из нескольких стадий: синтез порошка, компактирование и спекание [1, 2]. Стадия синтеза порошка является одной из наиболее важных, поскольку для получения качественной оптической керамики необходимо

использовать порошки, отвечающие ряду известных требований [1]. Для получения таких порошков целесообразно использовать распылительную сушку, а для их консолидации - электроимпульсное плазменное спекание, который позволяет сохранить структуру и чистоту консолидируемого материала и получить готовое изделие за короткий промежуток времени [2, 3].

В настоящей работе исследовано влияние способа выделения порошка на процесс электроимпульсного плазменного спекания керамики на основе иттрий-алюминиевого граната.

Исходные порошки были синтезированы методом обратного осаждения из водных растворов $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией 1 моль/л с последующей термической обработкой на воздухе. В качестве осадителя был использован аммиак. Для выделения порошка использовали два способа: фильтрацию (ХО) и распылительную сушку (РС).

Консолидацию порошков осуществляли методом электроимпульсного плазменного спекания на установке SPS-515S (SPS Syntex Inc., Япония). Спекание проводили при температуре 1700 °С, давлении 80 МПа в течении 60 минут. Изменение линейных размеров керамического материала в процессе спекания регистрировалось встроенными средствами технологического оборудования.

Список литературы

1. Федоров П. П. // Вестник МГТУ имени Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение», 2012. – С. 28–34.
2. Xiao Z. // *Materials Science & Engineering R.*, 2020. – V. 139. – P. 100518.
3. Пайгин В. Д. // *Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 27–30 апреля 2021 г. Т. 2: Химия, 2021. – Т. 2. – С. 196–198.*

На рисунке 1 представлена кривая изменения линейных размеров керамики на основе иттрий-алюминиевого граната в процессе электроимпульсного плазменного спекания до температуры 1700 °С.

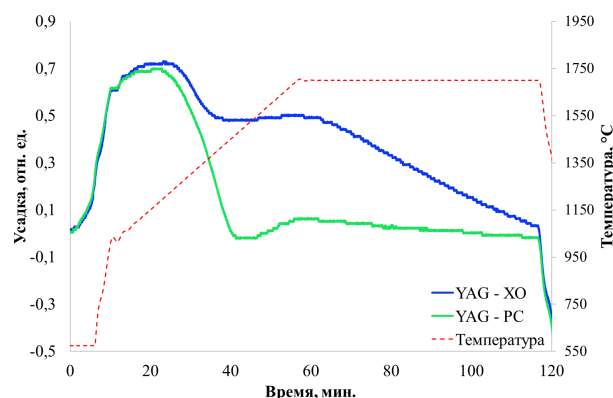


Рис. 1. Динамика линейной усадки YAG-керамики при нагреве до температуры 1700 °С

Порошок полученный распылительной сушкой (YAG – РС) имеет меньшую температуру начала спекания в сравнение с порошком полученным фильтрацией (YAG – ХО), а спекание порошка протекает с большей интенсивностью.

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