

ния MgO в соль  $(n-C_4H_9)_4NBF_4$  будет иным, чем при использовании  $Al_2O_3$ .

Таким образом, в данной работе исследовались физико-химические свойства твердых композиционных электролитов в системе  $(n-C_4H_9)_4NBF_4-MgO$  комплексом физико-хими-

ческих методов: дифференциальной сканирующей калориметрией, рентгенофазовым анализом, методом БЭТ, импедансной спектроскопией. Результаты работы обсуждаются в докладе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-13-00302.

### Список литературы

1. Zhu H., MacFarlane D. R., Pringle J. M., Forsyth M. *Organic Ionic Plastic Crystals as Solid-State Electrolytes // Trends in Chemistry. Cell Press, 2019. – Vol. 1. – № 1. – P. 126–140.*
2. Ulihin A. S., Uvarov N. F., Rabadanov K. S., Gafurov M. M., Gerasimov K. B. *Thermal, structural and transport properties of composite solid electrolytes  $(1-x)(C_4H_9)_4NBF_4-xAl_2O_3$  // Solid State Ionics. Elsevier B. V., 2022. – Vol. 378.*
3. Уваров Н. Ф. *Композиционные твердые электролиты. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 258 с.*
4. Mateyshina Y., Uvarov N. *The effect of oxide additives on the transport properties of cesium nitrite // Solid State Ionics. Elsevier, 2018. – Vol. 324. – № September 2017. – P. 1–6.*

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ ОКСИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ВОДНЫХ НИТРАТНЫХ РАСТВОРОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА

А. Е. Тихонов, И. Ю. Новоселов

Научный руководитель – ассистент ОЯТЦ ИЯТШ И. Ю. Новоселов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, aet13@tpu.ru

Одним из ключевых направлений в современном материаловедении являются технологии на основе нанопорошков. Оксидные порошки редкоземельных элементов, таких как иттрий, цирконий, лантан и самарий, так же имеют огромное значение для промышленности и науки. Например, нанопорошки  $Y_2O_3$  и  $ZrO_2$  широко используются в различных отраслях промышленности, от производства высокотемпературной керамики до изготовления термостойких эмалей и цветных пигментов.

Наиболее распространенными и адаптируемыми методами получения оксидных наночастиц являются лазерная абляция, химические, гидротермальные и золь-гель методы. Основными недостатками этих методик является то, что они многостадийны и достаточно трудоемки, часто имеют низкую производительность, требуют использования большого количества реагентов, а фазовое распределение получаемых порошков неоднородно, что приводит к высокой стоимости

продукции. В то же время плазмохимический синтез из водных растворов нитратов (ВРН) является перспективным методом получения оксидных нанопорошков. Используя плазменный метод, можно получать порошки с равномерным распределением фаз за один этап и с высокой скоростью. Этот метод позволяет влиять на размер и морфологию частиц, а технологическое оборудование очень компактно. Однако из-за энергозатрат (до 4,0 кВт·ч/кг) [1] плазменная обработка только ВРН менее распространена, а введение органического компонента в состав ВРН позволяет значительно снизить энергозатраты при одновременном повышении производительности.

На первом этапе работы был проведен расчет оптимального состава водных органических растворов нитратов (ВОРН) на основе ацетона и иттрия. Для этого были получены значения нижней теплотворной способности для различных массовых долей ацетона в ВОРН: учитывая, что

составы выше 8,4 МДж/кг [2] считаются жидковоспламеняющимися составами, оптимальным считался следующий состав ВОРН: 31 %  $C_3H_6O$ : 35 %  $H_2O$ : 34 %  $Y(NO_3)_3$ .

Также было исследовано влияние массовой доли воздушно-плазменного теплоносителя на температуру адиабатического горения ВОРН для определения оптимального режима исследуемого процесса. Считается, что полное сгорание раствора наблюдается в составах с температурой адиабатического горения выше 1200 °С [1]. Эта температура важна для устранения образования углерода в конденсированной фазе и повышения чистоты порошка. Оптимальным оказалось соотношение 69 % воздух : 31 % ВОРН.

### Список литературы

1. Новоселов И. Ю., Каренгин А. Г., Кокарев Г. Г. Плазменная утилизация и магнитная сепарация иловых отложений бассейнов выдержки ТВЭЛов // *Известия вузов. Физика*, 2014. – Т. 57. – № 2/2. – С. 17–21.
2. Бернадинер М. Н., Шурыгин А. П. *Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов*. – М.: Химия, 1990. – 304 с.

## ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ 3-D ПЕЧАТИ

Д. А. Ткачев, Я. А. Дубкова, Я. Ю. Верхошанский

Научный руководитель – д.х.н., заведующий лабораторией химических технологий В. И. Сачков

*Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, d.tkachev11@gmail.com*

Разработка зарядов сложной формы для твердотопливных ракетных двигателей является актуальной научно-технической задачей. За счет усовершенствования геометрии заряда, возможно направленное варьирование его энерго-тяговых характеристик [1]. Проблемой является то, что стандартные подходы в изготовлении зарядов сложной формы на основе высокоэнергетических материалов (ВЭМ) представляют собой трудоемкие технологические процессы, сопряженные с изготовлением дорогостоящих формообразующих оснасток. Наиболее перспективный вариант решения данной проблемы – применение аддитивных технологий, для чего необходима разработка составов ВЭМ, подходящих для формирования изделий с использованием аддитивных методов [2].

В настоящей работе представлены результаты разработки и исследований составов ВЭМ для проекционной стереолитографической 3-D

Эксперименты проводились с использованием высокочастотного факельного плазмотрона; было установлено, что порошок, полученный плазмохимическим синтезом из ВОРН, по многим параметрам (размер ОКР, удельная площадь поверхности) сопоставим с порошком, синтезированным из ВРН. В то же время включение органических компонентов в ВРН повышает производительность порошка в 2,5–4 раза и снижает потребление энергии, необходимой для получения 1 кг порошка, в 5–8 раз.

Учитывая полученные результаты, плазмохимический синтез оксида иттрия из ВОРН является энергоэффективным методом для получения нанопорошков оксидов других редкоземельных металлов в промышленных масштабах.

печати на основе связующего, представленного смесью акрилатов с фотоиницирующей добавкой, обеспечивающей полимеризацию состава при воздействии УФ-излучения в диапазоне 395–405 нм; и окислителя – перхлората аммония (ПХА). Изучены закономерности полимеризации разработанных составов в зависимости от времени воздействия УФ-излучения. Проведены ТК/ДСК исследования полимеризованных образцов ВЭМ. С использованием метода стереолитографической 3-D печати путем послойного отверждения получены образцы изделий на основе разработанного высокоэнергетического состава. Проведены исследования структуры (рисунок 1), механических свойств, скорости и характера горения аддитивных образцов ВЭМ.

Согласно представленным на рисунке 1 изображениям, микроструктура поперечного сечения аддитивного образца ВЭМ характеризуется высокой пористостью с равномерно распреде-