

($U_{\text{зар}} = 3,0$ кВ; $C = 6$ мФ). Результатами серии экспериментов было получение порошкообразных продуктов, которые исследовались методами рентгеновской дифрактометрии (XRD) и просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ).

Структурно-фазовый анализ продуктов серии 1 показал, что порошок состоит из одной фазы – диоксида кремния, дающего на дифрактограмме один аморфный рефлекс. Дифрактограммы второй серии включают в себя рефлексы фазы кубического карбида кремния и кубического кремния, а также рефлекс от фазы аморфного диоксида кремния. Продукты, произведенные в инертной газовой среде, выделяются высоким содержанием фазы кубического SiC.

Подтверждением XRD-анализа являются микроснимки, полученные просвечивающей электронной микроскопией. На рис. 1 изображено скопление частиц продукта синтеза, полученного в системе с воздушной газовой средой. Образовавшиеся частицы соответствуют диоксиду кремния, принимающему сферические формы. В продуктах, образовавшихся в серии экспериментов с воздушно-аргоновой газовой средой камеры-реактора, преобладают сферические частицы диоксида кремния, но также присутствуют объекты, типичные по морфологии для фазы

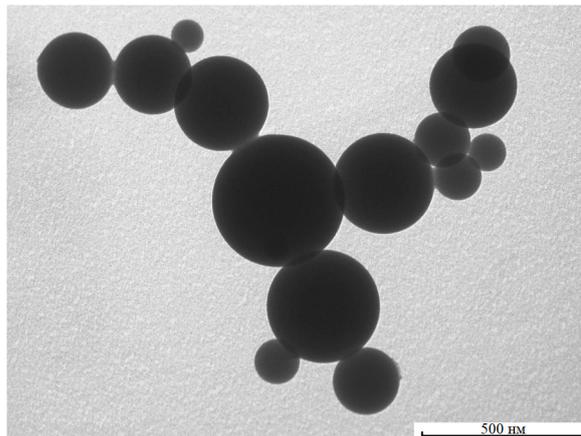


Рис. 1. ТЕМ-снимок продукта, полученного при воздушной среде камеры-реактора

кубического карбида кремния.

Результатом проведенных серий экспериментов стало следующее: получение тройной системы Si–C–N не осуществимо в воздушной атмосфере, поскольку происходит окисление не только углерода, но также и остальных фаз, что приводит к уменьшению содержания карбида кремния в продукте синтеза. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение образования карбонитрида кремния в азотной атмосфере камеры-реактора.

Список литературы

1. Jedrzejowski P. et al. Mechanical and optical properties of hard SiCN coatings prepared by PECVD // *Thin Solid Films*, 2004.– V.447.– С.201–207.
2. Fainer N.I. From organosilicon precursors to multifunctional silicon carbonitride // *Russian Journal of General Chemistry*, 2012.– V.82.– №1.– С.43–52.
3. Sivkov A.A., Pak A.Y. Coaxial magnetoplasma accelerator // *RF Patent*, 2011.– №2431947.

ЛОКАЛЬНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЛИТИЕВОНИОБИЕВОСИЛИКАТНОГО СТЕКЛА ФЕМТОСЕКУНДНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А.С. Наумов, В.И. Савинков, А.С. Липатьев, С.В. Лотарев, Д.М. Шевякина
Научный руководитель – д.х.н., профессор В.Н. Сигаев

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
125480, Россия, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев 20, andreynaim13@mail.ru

Развитие оптоэлектроники, волоконной и интегральной оптики ставит задачу получения стеклообразных материалов с нелинейно-оптическими (НЛО) свойствами в качестве основы активных оптических элементов. Среди методов структурного модифицирования стекол в последнее время все большую популярность приобретает фемтосекундное лазерное облучение

благодаря возможности локального воздействия на материал с точным заданием энергетических и геометрических параметров. Уже сейчас формирование микро- и наноструктур заданной геометрии с отличным от стекломатрицы показателем преломления лежит в основе создания оптических элементов волноводных и микрофлюидных систем [1].

С точки зрения кристаллизационных, физико-химических и технологических свойств значительный интерес представляют ниобий-содержащие стекла. Среди ниобатов, которые могут быть выделены в стеклах литиево-ниобиево-силикатной (ЛНС) системы, наиболее привлекателен сегнетоэлектрический кристалл LiNbO_3 , обладающий огромной квадратичной оптической восприимчивостью и широко используемый в современных оптоэлектронных устройствах. Перспективность метода локальной кристаллизации ЛНС стекол под действием лазерного пучка подтверждают работы последних лет, в которых были получены точечные и протяженные микрокристаллические, а также периодические нанокристаллические структуры [2–3].

Для лазерного модифицирования синтезировано стекло состава, мол. %: Li_2O – 33, Nb_2O_5 – 33, SiO_2 – 34. Источником фемтосекундного лазерного излучения был выбран лазер Pharos SP, генерирующий на длине волны 1030 нм импульсы длительностью 180 фс, энергией до 5 мкДж и частотой следования 200 кГц. Для получения перетяжки лазерного пучка с эллиптическим сечением использовали цилиндрическую линзу с фокусным расстоянием $f = -400$ мм, которую устанавливали перед фокусирующим объективом.

Полученные кристаллические каналы были изучены с помощью поляризационного оптического микроскопа Olympus VX61 с приставкой микроанализа двулучепреломления Abrio Microbirefringence. Спектроскопия комбина-

ционного рассеяния света (КРС) проводилась с использованием конфокального КРС-микроспектрометра «ИНТЕГРА Спектра». Спектры КР, полученные от модифицированных участков стекла, хорошо согласуются со спектрами КР кристаллического LiNbO_3 [4] с учетом наличия в спектрах компоненты от ЛНС стекла.

Данные поляризационной оптической микроскопии и спектроскопии КР позволяют сделать вывод о том, что полярная ось кристаллов LiNbO_3 , выращенных в объеме стекла ЛНС под действием фемтосекундного лазерного излучения, параллельна поверхности образца.

Формирование однородных кристаллических каналов LiNbO_3 в стекле состава, мол. %: Li_2O – 33, Nb_2O_5 – 33, SiO_2 – 34, было реализовано при помощи Гауссова и эллиптического лазерного пучка при различных режимах лазерной обработки. Установлено, что размер и качество полученных кристаллических структур существенно зависят от параметров лазерной обработки. В кристаллических каналах, выращенных эллиптической перетяжкой лазерного пучка, медленная ось двулучепреломления, в их центральной части, зависит от поляризации лазерного излучения, что позволяет говорить об определяющей роли геометрии лазерного пучка в процессе лазерной кристаллизации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 16-33-60081, 16-33-01050, 16-03-00541) и Министерства образования и науки РФ (грант № 14.Z50.31.0009).

Список литературы

1. Righini G.C., Chiappini A. *Glass optical waveguides: a review of fabrication techniques // Optical Engineering, 2014. – Vol.53. – Is.7. – P.071819.*
2. J. Cao, L. Mazerolles, M. Lancry, F. Brisset, B. Poumellec *Modifications in lithium niobium silicate glass by femtosecond laser direct writing: morphology, crystallization, and nanostructure // J. Optical Society of America, 2017. – Vol.34. – Is.1. – P.160–168.*
3. K. Veenhuizen, S. McAnany, D. Nolan, B. Aitken, V. Dierolf, H. Jain *Fabrication of graded index single crystal in glass // Scientific reports, 2017. – Vol.7. – P.44327.*
4. S. Sanna, S. Neufeld, M. Rusing, G. Berth, A. Zrenner, W.G. Schmidt *Raman scattering efficiency in LiTaO_3 and LiNbO_3 crystals // J. American Physical Society, 2015. – Vol.91. – Is.22. – P.224302.*