

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.373.826+535.012.22+535.581

В.А. СВЕТЛИЧНЫЙ<sup>1</sup>, А.И. СТАДНИЧЕНКО<sup>2</sup>, И.Н. ЛАПИН<sup>1</sup>ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ  $\gamma$ -Al(OH)<sub>3</sub> И  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ В ВОДЕ\***Ключевые слова:** импульсная лазерная абляция в жидкости, наночастицы, структура, оксид алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Импульсная лазерная абляция (PLA) в жидкости – уникальный метод получения «чистых» нанокolloидов и ультрадисперсных порошков на их основе [1]. PLA химически активных металлов позволяет инициировать большое количество химических реакций и эффективно влиять на состав и структуру получаемых наночастиц (НЧ) [2, 3]. К таким металлам относится и алюминий с электрохимическим потенциалом – 1.7 В. НЧ различной структуры при абляции были получены при варьировании растворителя, в том числе с добавлением прекурсоров, и длины волны лазерного излучения [4–6]. Для ряда фундаментальных и прикладных задач представляют интерес нанодисперсные материалы на основе алюминия без примесей, характерных для химического синтеза, в частности Al(OH)<sub>3</sub> для применения в медицине в качестве сорбентов и  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, для использования в составе катализаторов. Целью данной работы явилось получение «чистых» наночастиц оксида и гидроксида алюминия методом импульсной лазерной абляции и их характеристика.

Экспериментальные условия PLA для получения дисперсий НЧ приведены в [2]. Для абляции использовалось излучение Nd:YAG-лазера (1064 нм, 7 нс, 20 Гц). Мишень Al имела чистоту 99.5 %, абляция проводилась в дистиллированной воде.

На рис. 1 приведены ПЭМ-фотографии наночастиц, полученных в результате абляции Al.

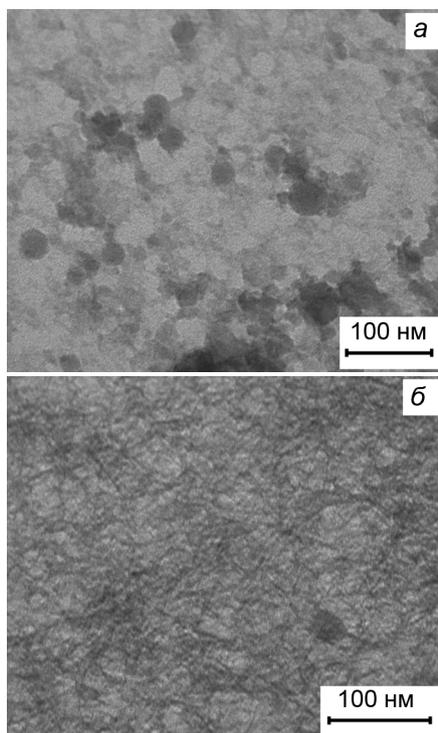


Рис. 1. ПЭМ-фото наночастиц, полученных при PLA алюминия в воде: *а* – свежеприготовленная дисперсия; *б* – дисперсия после 6 ч хранения

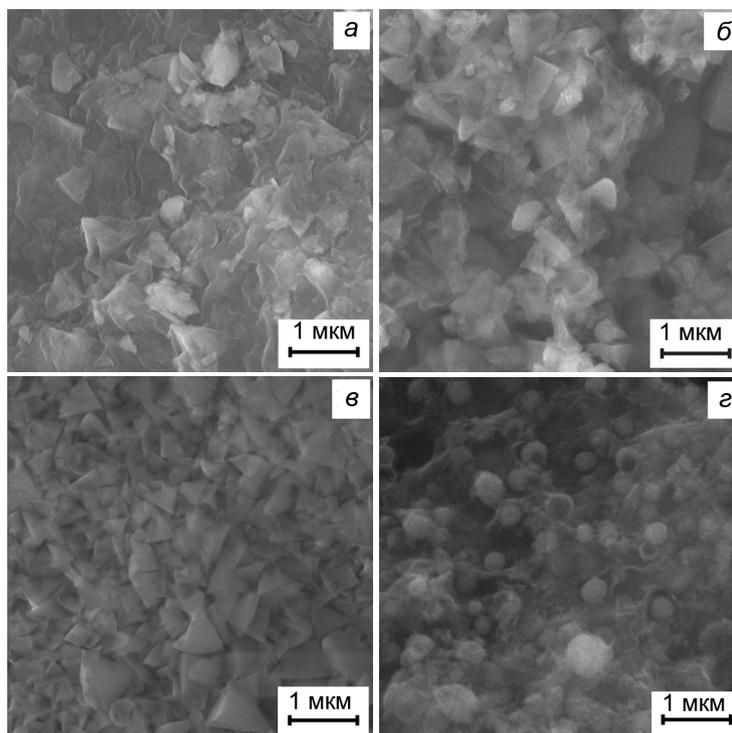


Рис. 2. РЭМ-фото нанопорошков, полученных при PLA алюминия в воде: *а* – исходный порошок после сушки; *б*, *в* – после отжига на воздухе при температуре 300 и 500 °С соответственно; *г* – исходный порошок, полученный при PLA с продувкой раствора воздухом

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-32-50076\_мол\_нр.

Сразу после получения дисперсии наблюдается достаточное количество сферических наночастиц металлического алюминия (рис. 1, а), которые в течение нескольких часов переходят в гидроксид (рис. 1, б). Нанодисперсный порошок гидроксида состоит из плоских чешуйчатых структур (рис. 2, а) и имеет кристаллическую структуру гиббсита  $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$  (рис. 3, кривая 1). Его отжиг сопровождается испарением несвязанной воды до 120 °С и, с 200 до 300 °С, интенсивным окислением (рис. 4). В результате формируется оксид низкой степени кристалличности, который представляет собой  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Дальнейший отжиг до температур выше 1000 °С приводит к формированию термодинамически стабильной кристаллической структуры  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  [6]. Полученный при отжиге 500 °С нанопорошок  $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$  состоит из хорошо ограниченных частиц пирамидальной формы (рис. 2, в). Стоит отметить, что для всех образцов наблюдается наличие металлической фазы Al, связанной с наличием незначительного количества крупных частиц (< %), которые не окисляются при отжиге до 500 °С.

Оксидные частицы формируются при PLA в воде и в результате продувания раствора воздухом. В этом случае частицы имеют сферическую форму (рис. 2, з), а в образце присутствует значительное количество аморфного гидроксида алюминия.

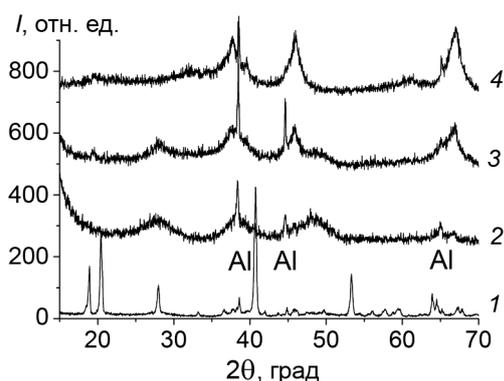


Рис. 3. Дифрактограммы порошков, полученных PLA Al в  $\text{H}_2\text{O}$ : кр. 1 – исходный образец; кр. 2 – то же с продувкой воздухом при PLA; кр. 3 – после отжига на 300 °С; кр. 4 – на 500 °С

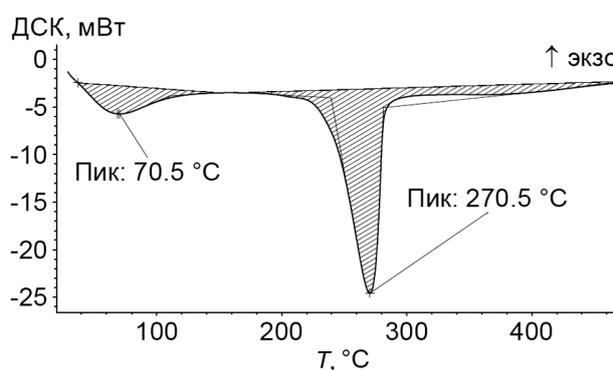


Рис. 4. Термограмма порошка гидроксида алюминия, приготовленного при сушке дисперсии, полученной PLA алюминия в воде

Таким образом, с помощью метода импульсной лазерной абляции в воде, без применения каких-либо прекурсоров, получены «чистые» наночастицы  $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$  и  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , исследована их морфология и структура. Данные материалы в виде дисперсий и порошков будут использованы в качестве компонентов при получении и исследовании катализаторов окисления угарного газа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Laser Ablation in Liquids: Principles and Applications in the Preparation of Nanomaterials / ed. by G. Yang. – Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., 2012. – 1164 p.
2. Светличный В. А., Лапин И. Н. // Изв. вузов. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 5 – С. 86–91.
3. Sasaki T., Shimizu Y., and Koshizaki N. // J. Photochem. Photobiol. A. – 2006. – V. 182. – P. 335–341.
4. Viau G., Collière V., Lacroix L.-M., and Shafiev G. A. // Chem. Phys. Lett. – 2011. – V. 501. – P. 419–422.
5. Lee S., Shin J. H., and Choi M. Y. // J. Nanopart. Res. – 2013. – V. 15. – Art. No. 1473. – P. 1–8.
6. Gondal M. A., Fasasi T. A., Mekki A., et al. // Nanosci. Nanotechnol. Lett. – 2016. – V. 8. – No. 11. – P. 953–960.

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup> Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Поступило в редакцию 09.12.16.