

Мы предполагаем, что наночастицы в форме наноцветков, наностолбиков и нанопроволок будут проявлять наилучшие свойства. В статьях сообщается о том, что такие частицы получают сольвотермальным методом из металлического тантала [4], оксида тантала [5], н-бутоксид тантала [6] и хлорида тантала [7].

Общая методика синтеза выглядит следующим образом: в тефлоновом стакане смешивают прекурсор тантала, изопропанол, стабилизатор и гидролизующий агент. Тефлоновый стакан со смесью помещают в автоклав и нагревают до 80–200 °С в течение 12–24 часов. Полученный золь подвергают сушке в сушильном шкафу, после чего продукт прокаливают при 700 °С в течение 2–4 часов.

Данные по гидродинамическим радиусам образцов (рисунок 1) показывают присутствие наноразмерных частиц.

Из полученных дифрактограмм (рисунок 2) видно, что диэтаноламин, в отличие от полиэтиленгликоля (ПЭГ), препятствует образованию

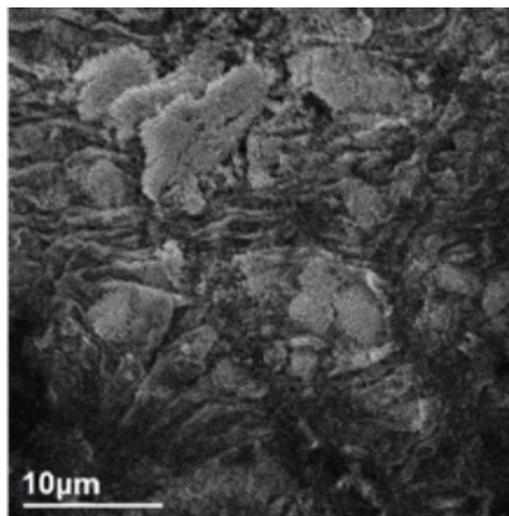


Рис. 3. СЭМ изображение Ta_2O_5 , полученного из $TaCl_5$ с добавлением ПЭГ

кристаллической решетки Ta_2O_5 . С помощью СЭМ было получено изображение наночастиц Ta_2O_5 , синтезированных с добавлением полиэтиленгликоля (рисунок 3).

Список литературы

1. Koshevaya E. // *J. Mater. Chem. B. J. Mater.*, 2020. – Vol. 8. – P. 8337–8345.
2. Bogusz K. // *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2019. – Vol. 538. – P. 286–296.
3. Morozov V. // *Opt. Spectrosc.*, 2018. – Vol. 125 (1). – P. 104–106.
4. Guo Y. // *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, 2018. – Vol. 28. – P. 2473–2483.
5. Lü X. // *Dalton Trans.*, 2012. – Vol. 41. – P. 622–627.
6. Gömpel D. // *J. Mater. Chem. A.*, 2014. – Vol. 2 (21). – P. 8033–8040.
7. Jiang Q. // *J. Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, 2016. – Vol. 122 (4). – P. 1–6.

БИОСОВМЕСТИМЫЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

А.О. Уракова, Р.В. Чернозем, М.А. Сурменова
Научный руководитель – д.т.н., доцент Р.А. Сурменев

Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, rsurmenev@mail.ru

Введение. Применение магнитных носителей для таргетной доставки лекарств в онкологии и лечение заболеваний нервной системы привлекло большое внимание ученых и врачей. Однако, использование одного и того же источника внешнего воздействия (магнитного поля) для доставки и контроля высвобождения лекарства является затруднительным, а возможные локальные изменения физиологических условий не дают гарантии их успешного применения для высво-

бождения лекарства (например, использование изменения pH) [1]. В связи с этим, в последние годы ученые начали активную разработку «умных» гетероструктур, в частности, на основе магнитоэлектрических (МЕ) материалов. МЕ наноструктуры состоят и объединяют в себе преимущества пьезоэлектрических и магнитных/магнитоэлектрических материалов. Для точной адресной доставки МЕ носителей используется внешнее магнитное поле. После осуществления

успешной доставки используется переменное магнитное поле для изменений линейных размеров магнитоотрицательного материала, что, в свою очередь, приводит к деформации пьезоматериала и генерации электрического поля, которое высвобождает лекарство и оказывает воздействие на клетку. Для достижения максимального терапевтического эффекта необходимо проникновение МЕ наночастиц в клетку – одним из ключевых условий является размер наночастиц (менее 100 нм). Также, размеры МЕ наночастиц значительно влияют на их свойства. Кроме того, большинство исследователей используют для изготовления МЕ наноструктур такие токсичные материалы, как кобальт [2, 3] и никель [4].

Таким образом, целью работы является изучение существующих МЕ наноструктур и анализе их свойств для разработки биосовместимых аналогов с контролируемой морфологией и размерами.

Методы синтеза МЕ наноструктур. Основными методами синтеза являются гидротермальный метод [2, 3], послойное получение [1], техника влажного наслоения [5] и метод двух-

ступенчатого электрохимического анодирования [4].

Физические свойства МЕ наноструктур. Как видно из результатов (таблица 1), размеры большинства разработанных МЕ частиц превышают рекомендуемые [1, 4, 5]. Помимо размеров и химического состава, для эффективной адресной доставки, контроля за высвобождением лекарств для достижения терапевтического эффекта важен контроль свойств МЕ наноструктур. Тогда как свойства МЕ наноструктур, включая токсичные $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{BaTiO}_3$ с размерами менее 200 нм, слабо изучены в литературе [2, 3].

Заключение. Проникновение в клетку большинства разработанных МЕ наноструктур не является возможным из-за их размеров. Кроме того, многие из них содержат токсичные элементы, а также их свойства слабо изучены. Следовательно, разработки новых биосовместимых МЕ наноструктур и исследования их свойств высоко востребованы для различных задач биологии и медицины.

Исследование выполнено при поддержке стипендии Президента РФ (СП-509.2021.4) и мегагранта (номер заявки 2020-220-08-9781).

Таблица 1. Параметры и свойства, разработанных МЕ наночастиц

Материал	Размер наночастицы	Магнитные свойства	ζ -потенциал	МЕ коэффициент
$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BaTiO}_3$ [1]	длина – 22 мкм; диаметр – 58 нм (стержни)	–	–36,2 мВ	–
$\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{BaTiO}_3$ [2]	диаметр – 50 нм (сферы)	$0,236 \times 10^6$ А/м	–	$10,25 \text{ мкВ} \times \text{нм}^{-1} \times \text{Э}^{-1}$
$\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{BaTiO}_3$ [3]	диаметр – 30 нм (сферы)	40 эме/Г	–	$0,01 \text{ мкВ} \times \text{нм}^{-1} \times \text{Э}^{-1}$
Ni/PVDF [4]	диаметр – 72 нм; длина – 7 мкм (стержни)	0,057 эме/Г	–24 мВ	–
FeGa/PVDF-TrFE [5]	250 нм (стержни)	–	–	$9,4 \times \text{мкВ} \times \text{нм}^{-1} \times \text{Э}^{-1}$

Список литературы

1. Lu Liu et.al // *Advanced functional materials*, 2020. – Vol. 30. – P. 1910108.
2. Soutik Betal et.al // *Scientific reports*, 2018. – Vol. 8. – P. 1–9.
3. Abhignyan Nagesetti et.al // *Scientific reports*, 2017. – Vol. 8. – P. 1–9.
4. Margarida M et.al // *ACS Applied Bio Materials*, 2021. – Vol. 4. – P. 559–570.
5. Xiang-Zhong Chen et.al // *Advanced functional materials*, 2020. – Vol. 29. – P. 1063–1069.