

РАЗРАБОТКА БИОСОВМЕСТИМЫХ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ «ЯДРО-ОБОЛОЧКА» НАНОЧАСТИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СИНТЕЗА

П. В. Чернозем, Р. В. Чернозем, А. Л. Холкин, М. А. Сурменова
Научный руководитель – д.т.н., профессор Р. А. Сурменев

*Томский Политехнический Университет
г. Томск, rsurmenev@mail.ru*

Введение. Магнитоэлектрические (МЭ) наночастицы (НЧ) привлекли интерес для применения в тераностике благодаря возможности перераспределения поверхностного заряда во внешнем магнитном поле. Как правило, МЭ НЧ обладают структурой «ядро-оболочка» [1]. Для изготовления ядра используют токсичные элементы (Co, Ni, и т. д.), тогда как в качестве оболочки используют BaTiO_3 или поливинилиденфторид [2], обладающих более низкими пьезооткликами по сравнению с керамикой на основе токсичного Pb [3]. Аналогами могут служить биосовместимые MnFe_2O_4 (MFO) и $\text{Ba}_{0,85}\text{Ca}_{0,15}\text{Zr}_{0,1}\text{Ti}_{0,9}\text{O}_3$ (BCZT), обладающие высокими магнитоэлектрическими и пьезоэлектрическими свойствами, соответственно. Для получения таких НЧ, как правило, используют целый комплекс методов, что приводит к увеличению времени синтеза. Микроволновый гидротермальный метод (МГТ) имеет такие преимущества, как быстрый равномерный нагрев, сниже-

ние времени синтеза, энергоэффективность, что приводит к созданию более тонких микро-/наноструктур с однородной морфологией. Таким образом, цель данной работы заключается в создании новых биосовместимых МЭ НЧ «ядро-оболочка» на основе MFO и BCZT с использованием МГТ для биомедицинских приложений.

Материалы и методы. Магнитоэлектрическое ядро и сегнетоэлектрическая оболочка были получены при 175 °С в течение 30 минут и при 225 °С в течение 3 часов, соответственно. Для формирования оболочки MFO ядра функционализируются лимонной кислотой (CA). После синтеза НЧ промывались при помощи центрифугирования и магнитной сепарации. Структура и фазовый состав НЧ были изучены с помощью метода рентгенофазового анализа (РФА) и спектроскопии комбинационного рассеяния света. Тонкая микроструктура МЭ НЧ была исследована с помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ПЭМВР).

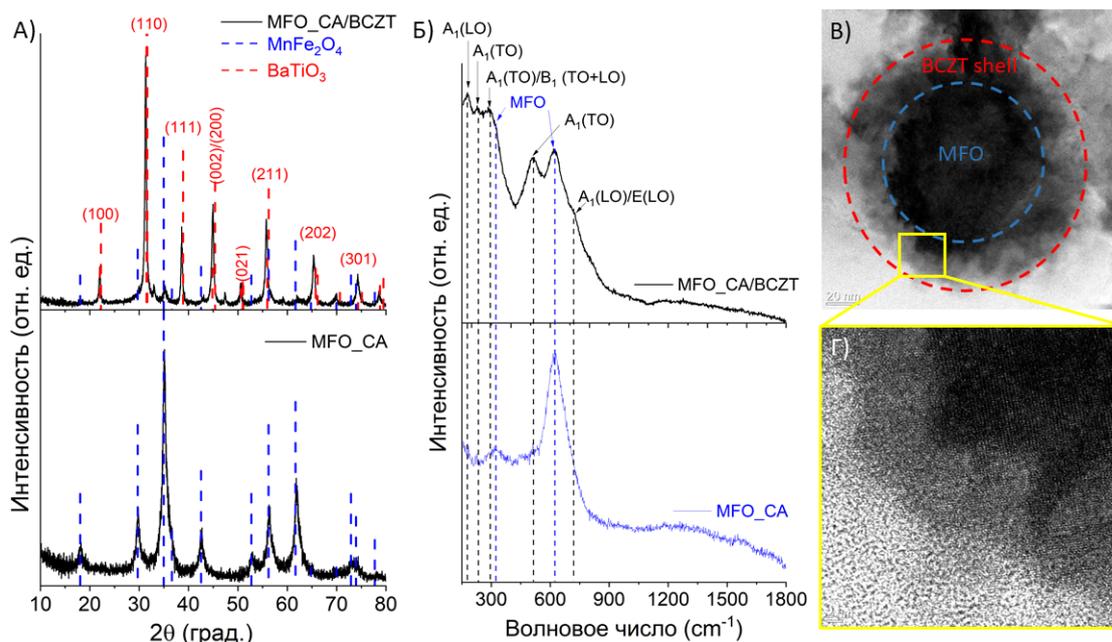


Рис. 1. (А) Дифрактограммы, (Б) спектры комбинационного рассеяния света и (В–Г) ПЭМВР-изображения разработанных МЭ НЧ

Для оценки магнитных свойств НЧ был использован метод вибрационной магнитометрии.

Результаты и их анализ. Анализ РФА выявил отсутствие примесей и наличие типичных пиков шпинели $MnFe_2O_4$ и перовскита (рис. 1а). Кроме того, спектроскопия комбинационного рассеяния света позволила подтвердить формирование нецентросимметричных сегнетоэлектрических фаз BCZT, как тетрагональная, орторомбическая и псевдокубическая (рис. 1б). Анализ ПЭМВР-изображений позволил подтвердить успешное формирование структуры «ядро-оболочка» для полученных МЭ НЧ на основе MFO и BCZT (рис. 1в–г). Измеренная

намагниченность MFO_CA и MFO_CA/BCZT составила $41,4 \pm 1,2$ и $6,1 \pm 0,2$ эме/Г, соответственно. По своим размерам и магнитным свойствам, разработанные МЭ НЧ сопоставимы с аналогами на основе токсичных материалов, содержащих Co, например, $CoFe_2O_4$ [4].

Заключение. В результате исследования разработанные МЭ НЧ системы «ядро-оболочка» на основе биосовместимых MFO и BCZT являются перспективными для тераностики

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-588 от 1.06.2021), а также гранта РФФИ № 23-23-00511.

Список литературы

1. Abraham A. R., et al. // *J. Phys. Chem. C.*, 2017. – V. 121. – № 8. – P. 4352–4362.
2. Mushtaq F., et al. // *Adv. Funct. Mater.*, 2019. – V. 29. – № 12. – P. 1808135.
3. Sen S., et al. // *J. of Phys. Chem. B.*, 2014. – V. 118. – № 40. – P. 11667–11676.
4. Moosavi S., et al. // *Ceramics International*, 2017. – V. 43. – № 10. – P. 7889–7894.

СОРБЦИОННОЕ УДАЛЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О. В. Чертихина, А. А. Филаткина

Научный руководитель – Ph.D., доцент Е. В. Галунин

Тюменский государственный университет

625003, г. Тюмень ул. Володарского, 6, stud000226364@study.utmn.ru.

Введение

В последние годы остро встает вопрос о качестве потребляемой воды. Поэтому исследования, направленные на разработку новых сорбционных материалов, которые способны удалять различные поллютанты до предельно допустимых значений, являются актуальными [1]. Одними из таких материалов являются наноструктурированные материалы, такие как углеродные нанотрубки, графены, оксиды графена и другие [2].

Поэтому целью данной работы является изучение механизма сорбции тяжелых металлов (Cd^{2+}) на наноструктурном материале (оксид графена с добавлением карбоксиметилцеллюлозы (ОГ/КМЦ)).

Практическая часть

В данной работе в пробы, содержащие 0,01–0,10 г наноструктурного сорбента (ОГ/КМЦ, производство ООО «НаноТехЦентр»,

РФ, Тамбов), приливали 30 мл $Cd(NO_3)_2$ максимальной концентрации по Cd^{2+} 100 мг/л (в зависимости от типа эксперимента). На основании содержания поллютанта в жидкой фазе до и после процесса сорбции вычисляли адсорбционную емкость наноматериала.

Было проведено три типа эксперимента в статическом режиме: 1) определение оптимальной массы навески сорбента (эффект массы); 2) определение кинетики процесса (эффект контакта фаз, или эффект времени); и 3) построение изотермы адсорбции (эффект концентрации поллютанта).

Результаты и обсуждение

Было обнаружено, что максимальное значение сорбционной емкости ОГ/КМЦ (53,64 мг/г) наблюдается при массе навески 0,01 г (эту массу брали для последующих экспериментов). Такое значение емкости превосходит сорбционную емкость некоторых традиционных материалов (в частности, глины, с которой по ионам кадмия