

стицы оксидных наполнителей, которые быстро появляются в реакционной системе.

Проведен анализ дериватографических кривых потери массы пленочных композитных образцов и скорости потери массы в неизотермических условиях. Изучены стадии термоокислительной деструкции эпоксидно-оксидных композитов аминного отверждения. Исследования показали, что ведение смесевых неорганических наполнителей положительно отражается на устойчивости композитов к термоокислитель-

ной деградации. В присутствии неорганического комбинированного наполнителя (ZrO_2/TiO_2 , ZrO_2/SiO_2) заметно снижается скорость потери массы композитов, причем с увеличением степени наполнения скорость деструкции уменьшается. Стабилизирующее влияние неорганических наполнителей обусловлено антиоксидантным действием оксидов в составе эпоксидных композитов: существенно снижается скорость развившегося окисления субстрата.

Список литературы

1. Verma C., Olasunkanmi L.O., Akpan E.D., Quraishi M.A., Dagdag O., El Gouri M., Sherif El-S. M., Ebenso E.E. // *React. Funct. Polym.* – 2020. – V. 156. – 104741.
2. Kumar K., Ghosh P.K., Kumar A., Singh O. // *J. Mater. Eng. Perform.* – 2021. – V. 30. – № 1. – P. 145–153.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ МИКРОВОЛНОВОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО *in situ* СИНТЕЗА НА СТРУКТУРУ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ $MnFe_2O_4$

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

Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет
г. Томск

polinachernozem@gmail.com

Введение. Наноразмерные ферриты MFe_2O_4 ($M = Mn, Co, Zn, Mg$ и др.) привлекли исследовательский интерес благодаря уникальным электрическим, каталитическим и магнитным свойствам [1]. $MnFe_2O_4$ (MFO) является перспективным кандидатом для различных биомедицинских применений за счет лучшей биосовместимости среди других ферритов (например, $CoFe_2O_4$) [2]. Для разработки наночастиц (НЧ) MFO используются такие методы как золь-гель, соосаждение или гидротермальный (ГТ) [3]. ГТ метод является одним из наиболее перспективных благодаря возможности точно контролировать морфологию и размер НЧ. В свою очередь, микроволновый ГТ (МГТ) метод позволяет сократить продолжительность синтеза и обеспечить гомогенный рост НЧ [4]. Однако, независимо от метода синтеза может происходить агломерация НЧ. Для уменьшения агломерации используется *in situ* синтез в присутствии поверхностно-активных веществ, таких как биосовместимая гидрофильная лимонная кислота

(СА), которая часто используется для получения коллоидных НЧ [5].

Таким образом, **цель работы** заключается в разработке коллоидных магнитных НЧ MFO, полученных МГТ *in situ* синтезом, и исследовании их структуры и магнитных свойств.

Материалы и методы. НЧ MFO были получены МГТ *in situ* синтезом при 175 °С в течение 30 мин (MFO-CA 30 m), 1 ч (MFO-CA 1h) и 3 ч (MFO-CA 3h). Для стабилизации НЧ MFO добавлялась СА в автоклавируемый раствор $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (35 мМ) и $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ (17,5 мМ). Для отделения немагнитной фазы образцы после синтеза промываются при помощи магнитной сепарации и центрифугирования. С помощью методов спектроскопии комбинационного рассеяния света (СКРС) и рентгенофазового анализа (РФА) были изучены структура и фазовый состав НЧ. Для изучения их магнитных свойств был использован метод вибрационной магнитометрии.

Результаты и их анализ. Анализ результатов СКРС и РФА показал типичные пики шпинели для всех образцов. Однако установлено повышение содержания примесей оксида железа (маггемит, гематит) при увеличении продолжительности синтеза с 30 мин до 3 ч. Также увеличение продолжительности синтеза с 30 мин до 3 ч привело к уменьшению удельной намагниченности насыщения НЧ MFO с $43,4 \pm 0,7$ до $33,9 \pm 2,0$ эме/г (рис. 1), соответственно. Данные значения намагниченности сопоставимы с аналогами на основе потенциально токсичных материалов, например, CoFe_2O_4 [2]. Стабильность коллоидного раствора НЧ MFO была установлена путем хранения в холодильнике в течение 24 ч.

Закключение. В результате исследования разработаны магнитные коллоидные НЧ на основе биосовместимого MFO, являющиеся перспективными для применения в биомедицине, за счет контролируемого размера, магнитными свойствами и коллоидной стабильностью.

Авторы выражают благодарность за помощь в измерениях к.т.н. Д. В. Вагнеру. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-588 от 1.06.2021), а также гранта РНФ № 23-23-00511.

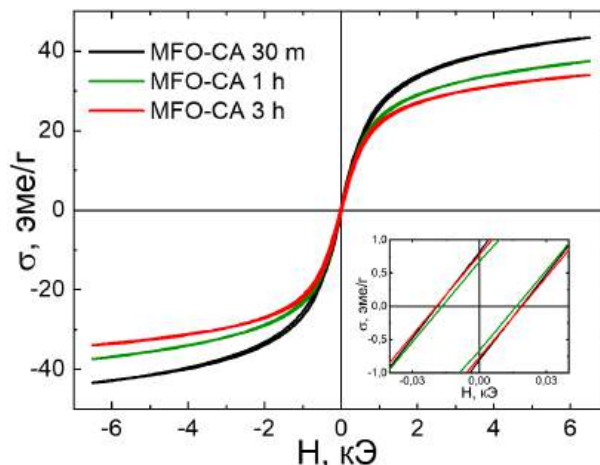


Рис. 1. Петли магнитного гистерезиса разработанных НЧ MFO

Список литературы

1. Akhlaghi N., et al. // *J. Ind. Eng. Chem.* – 2021. – V. 103. – P. 292–304.
2. Giannousi K., et al. // *Eur. J. Inorg. Chem.* – 2019. – V. 2019. – P. 1895–1903.
3. Hashim M., et al. // *J. Alloys Compd.* – 2015. – V. 642. – P. 70–77.
4. Kharisov B., et al. // *Microwaves: microwave-assisted hydrothermal synthesis of nanoparticles.* – FL, USA: CRC Press, 2016. – P. 588–599.
5. Dheyab M.A., et al. // *Sci. Rep.* – 2020. – V. 10. – P. 10793.

МЕТОД ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ПОВЕРХНОСТЬ ПОЛИМЕРА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕНСОРОВ

Д. Л. Чешев, И. Р. Абдрахимов

Научный руководитель – Ph.D., профессор ИШХБМТ Е. С. Шеремет

ФГАОУ ВО Национальный Исследовательский Томский Политехнический университет
Россия, Томск, проспект Ленина, 30
dimascabal@gmail.com

Изготовление гибких датчиков, обычно, основано на 2-х подходах: замешивание проводящих материалов в полимерную матрицу, или формирование проводящего паттерна сенсора на поверхности полимерной подложки методом печати. Таким образом удастся получить гибкие чувствительные сенсоры. Однако оба подхода имеют свои недостатки. Например, замешивание проводящего материала в структуру полимера позволяет создать очень гибкие, устойчивые

к растяжению и чувствительные сенсоры [1]. Тем не менее, такой подход лишает возможности локализации сенсора в определенном месте подложки, а также ограничивает возможности миниатюризации сенсора. С другой стороны, формирование проводящего паттерна на поверхности подложки позволяет управлять формой и размером структуры, тем самым влияя на чувствительность и механическую устойчивость сенсора [2]. Из недостатков можно выделить