

МИРЭА – Российский Технологический Университет

XXV Международная конференция

НОВОЕ В
МАГНЕТИЗМЕ И
МАГНИТНЫХ
МАТЕРИАЛАХ



СБОРНИК ТРУДОВ



1 – 6 июля 2024 года

Москва

УДК 537.612.3

ББК 222.234

Си34

Си34 **Новое в магнетизме и магнитных материалах. Сборник трудов XXV
Международной конференции 1 – 5 июля 2024 г. – Москва – 2024 – 1000 с.**

ISBN 978-5-4465-1869-2

УДК 538.955, 544.723.212

Наночастицы $Fe_{0.55}Co_{2.45}O_4$: синтез, магнитные и адсорбционные свойства

Иванова О.С.

К.ф.-м.н., с.н.с., Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Эдельман И.С.

Д.ф.-м.н., г.н.с., Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН

Lin Chun-Rong

Professor Department of Applied Physics,
National Pingtung University, Pingtung, Taiwan, R.O.C.

Петров Д.А.

К.ф.-м.н., н.с., Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН

Торопова Е.С.

Магистрант, Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, Красноярск, Россия

Сухачев А.Л.

К.ф.-м.н., н.с., Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН

***Аннотация.** Наночастицы $Fe_{0.55}Co_{2.45}O_4$ синтезированы методом самовозгорания в растворе и подвергнуты термообработке различной длительности при различных температурах T_{treat} от 400 до 800 °С. Как исходные наночастицы, то есть, частицы непосредственно после синтеза, так и прошедшие термообработку являются нанокристаллами шпинели с параметрами, характерными для Co_3O_4 . Температура T_{treat} критически влияет на размеры нанокристаллов и их свойства. Размеры нанокристаллов монотонно возрастают с увеличением T_{treat} от 5.2 нм в исходном образце до 48 нм при $T_{treat} = 800$ °С. Намагниченность и спектры магнитного кругового дихроизма при этом также очень сильно изменяются, но немонотонно. Обнаружена высокая адсорбционная емкость наночастиц по отношению к анионному красителю Конго красный.*

***Ключевые слова:** наночастицы, $Fe_xCo_{3-x}O_4$, магнитные свойства, магнитный круговой дихроизм, адсорбция органических красителей*

$Fe_{0.55}Co_{2.45}O_4$ nanoparticles: synthesis, magnetic and adsorption properties

Ivanova O.S.

PhD, researcher of laboratory of physics of magnetic phenomena
Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russia

Edelman I.S.

Doctor of physical and mathematical Science, Professor
Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS

Lin Chun-Rong

Professor Department of Applied Physics,
National Pingtung University, Pingtung, Taiwan, R.O.C.

Petrov D.A.

PhD, researcher of laboratory of physics of magnetic phenomena
Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS

Toropova E.S.

Master's student, Institute of Engineering Physics and Radioelectronics, Siberian Federal
University, Krasnoyarsk 660041, Russia

Sukhachev A.L.

PhD, researcher of laboratory of physics of magnetic phenomena
Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS

Annotation. *Fe_{0.55}Co_{2.45}O₄ nanoparticles (NPs) were synthesized by combustion method and subjected to heat treatment of various durations at different temperatures T_{treat} from 400 to 800 °C. Both the initial NPs, that is, the particles immediately after synthesis, and those that have undergone heat treatment are spinel nanocrystals with parameters characteristic of Co₃O₄. The T_{treat} temperature critically affects the size of nanocrystals and their properties. The sizes of nanocrystals increase monotonically with increasing T_{treat} from 5.2 nm in the initial sample to 48 nm at $T_{treat} = 800$ °C. The magnetization and magnetic circular dichroism spectra also change very strongly, but non-monotonically. A high adsorption capacity of nanoparticles in relation to the anionic dye Congo red was revealed.*

Keywords: *nanoparticles, Fe_xCo_{3-x}O₄, magnetic properties, magnetic circular dichroism, adsorption of organic dyes*

Наноструктуры ферритов на основе кобальта с общей формулой Fe_xCo_{3-x}O₄ привлекают особое внимание, благодаря высокой магнитной анизотропии кобальта и возможности изменять свойства в широких пределах за счет варьирования условий синтеза [1-3]. Широкие перспективы использования наночастиц (НЧ) этих соединений в технике требуют постоянного поиска способов оптимизации их свойств для конкретных приложений. В настоящей работе изучено влияние дополнительных термообработок в различных режимах на свойства НЧ оксида кобальта с частичным замещением кобальта железом с целью разработки эффективных адсорбентов органических красителей.

Наночастицы (НЧ) Fe_{0.55}Co_{2.45}O₄ получены методом самовозгорания (combustion method) с последующим отжигом синтезированных НЧ в различных режимах. Структурные данные НЧ получены с помощью рентгеновской дифракции и инфракрасной Фурье спектроскопии. Зависимости намагниченности НЧ от внешнего магнитного поля получены с помощью вибрационного магнитометра при комнатной температуре в магнитном поле до 15 кЭ. Для изучения магнитных свойств использована также спектроскопия магнитного кругового дихроизма (МКД). Адсорбционные характеристики НЧ исследованы оптическим методом по отношению к двум типам органических красителей: катионному метиленовому синему (Methylene Blue, MB) и анионному Конго красному (Congo Red, CR).

Рентгеновские дифрактограммы (рис. 1а) порошков НЧ, полученных при всех режимах термообработки содержат одинаковые рефлексы, характерные для структуры шпинели Co₃O₄ (pdf card 00-043-1003). Температура термообработки оказывает критическое влияние на размер нанокристаллов, который изменяется, практически, на порядок при использованном температурном интервале. В то же время длительность термообработки не оказывает значительного влияния на этот параметр.

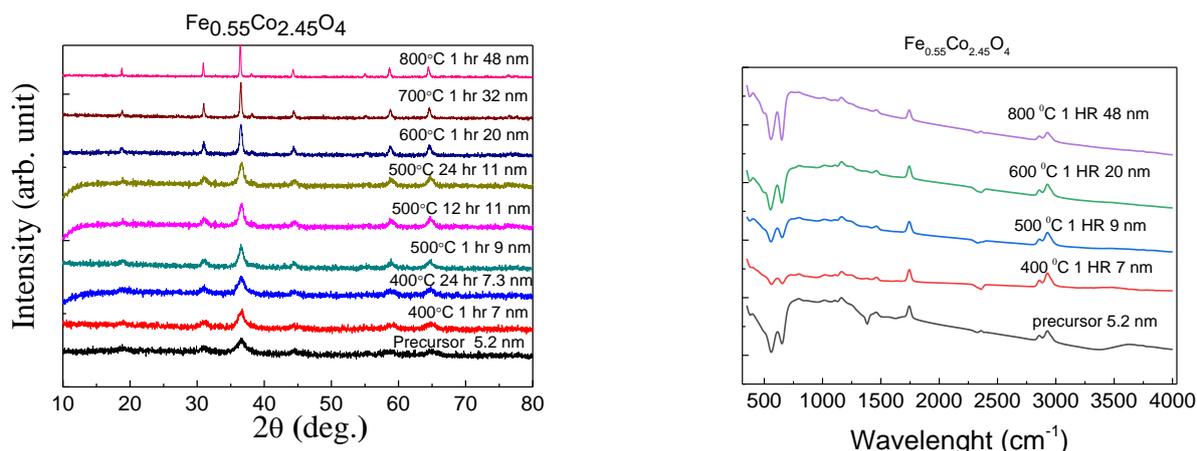


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы (слева) и Фурье трансформанты ИК спектров (справа) исходного порошка НЧ (precursor) и после термообработки в различных режимах.

Фурье инфракрасные спектры всех режимов термообработки подобны друг другу и аналогичным спектрам, полученным для эпитаксиальных пленок FeCo_2O_4 в работе [4], в которой выделяли три пика: ν_1 при 482 см^{-1} , обусловленный колебанием октаэдрической связи $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{O}$, ν_2 при 550 см^{-1} , связанный с колебанием октаэдрической связи $\text{Co}^{3+} \rightarrow \text{O}$, и ν_3 при 645 см^{-1} , происходящий от колебания тетраэдрической связи $\text{Co}^{2+} \rightarrow \text{O}$. В нашей ситуации хорошо разрешены пики ν_2 и ν_3 с центрами тяжести при 556 и 648 см^{-1} . Отсутствие пика ν_1 , по-видимому, можно связать с малым количеством железа в образце по сравнению с FeCo_2O_4 , представленным в работе [4].

Термообработка очень сильно влияет на магнитные характеристики и на спектры МКД, но не монотонным образом. В исходном образце и при температурах обработки от 400 до 600 °C намагниченность весьма мала и ее полевые зависимости близки к супер-парамагнитному типу, сигнал МКД также мал и его спектры, практически, одинаковы для всех четырех случаев. Термообработка при 700 °C приводит к резкому возрастанию намагниченности, появлению гистерезиса и изменению формы спектра МКД. Последний становится похожим на спектр недиагональной компоненты ϵ'' тензора диэлектрической проницаемости тонкой эпитаксиальной пленки FeCo_2O_4 (рис.6 в [5]).

Адсорбционная емкость наночастиц определяли по изменению интенсивности в спектрах оптического поглощения красителей на длинах волн 664 нм для MB и 500 нм для CR до и после взаимодействия наночастиц с растворами красителей. Для всех наночастиц выявлена предпочтительная адсорбция анионного красителя - CR. При этом с увеличением температуры и времени термической обработки адсорбционная емкость частиц уменьшается. Так, если для исходного образца (5.2 нм) за 9 мин взаимодействия наночастиц и раствора красителя CR степень удаления красителя составляет более 90% , то для образца, обработанного при 500 °C в течении 1 часа (9 нм), за такое же время взаимодействия удаляется только 56% молекул красителя из раствора.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда №23-22-10025, <https://rscf.ru/project/23-22-10025/>, Красноярского краевого фонда науки.

Список использованной литературы:

1. V.C.S.S.V. Pradeep, S.K. Alla, A. Sharma, et al. // Inorg. Chem. Comm. – 2022. – 142. – 109698.
2. C. N. Yonti, P. K. Tsobnang, R. L. Fomekong, et al. // Nanomaterials– 2021. – 11. – 2833.
3. S. Senthia, V. Ratchagar, T. Thangeeswari, et al. // Digest J. Nanomat. Biostruc. – 2023. – 18. – 1235-1247.
4. J. Xie, C. Zhen, L. Xu, et al. // Cryst. Eng. Comm. – 2022. – 24. – 83-94.
5. S. Wang, H. Onoda, J. Harbovsky, et al. // J. Magn. Soc. Jpn. – 2023. – 47. – 137-143.