**Исследование влияния цинка и хрома на магнитные свойства и фазовое состояние частиц феррита кобальта для биомедицинских применений**

***Ковалев А.Д.1,*** ***Низамов Т.Р.1, Попов В.В.2, Щетинин И.В.1***

*Студент, 2 курс магистратуры*

*1Национальный исследовательский технологический институт МИСИС,   
институт новых материалов, Москва, Россия*

*2Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,   
институт лазерных и плазменных технологий, Москва, Россия*

*E-mail:* [*kovalev.ad@misis.ru*](mailto:kovalev.ad@misis.ru)

За последние десятилетия интерес научного общества к ферритам со структурой шпинели для использования в биомедицине неуклонно растет. Легирование подобных соединений переходными и редкоземельными металлами, а также возможность выбора метода синтезирования позволяют регулировать свойства материала. Благодаря биологической совместимости оксиды со структурой шпинели могут быть использованы как препараты для адресной доставки лекарств, магнитной гипертермии и в качестве контрастных агентов магнитно-резонансной томографии.

Ранее методом нейтронной дифракции было установлено, что соединения Co0.5Fe2.5O4 и CoFe2O4 [1], полученные механохимическим методом, обладают ферримагнитным упорядочением спинов, а степень инверсии соответственно равно 10 % и 20 %. Добавление кобальта привело к повышению коэрцитивной силы и к снижению эффекта гипертермии в наноструктурированных образцах, однако у наночастиц Co0.5Fe2.5O4 увеличилась удельная намагниченность насыщения относительно наночастиц Fe3O4 с 27 A·м2/кг до 40 A·м2/кг.

Одновременное добавление цинка и хрома в Co0.5Fe2.5O4 будет приводить к изменениям катионного распределения в решетке, что повлияет на магнитные свойства материала. Небольшое добавление цинка будет способствовать росту магнитного момента на формульную единицу, осуществляя вытеснение ионов кобальта и железа из октаэдрических позиций. В то же время добавление хрома приводит к понижению температуры Кюри, что позволяет контролировать эффект гипертермии для наночастиц.

Для получения образцов ZnxCrxCo0.5-xFe2.5-xO4 (x = 0.1, 0.2, 0.4) использовались порошки ZnO, Cr2O3, Co3O4, Fe2O3 и Fe. Химический состав порошков проверен на рентгенофлуоресцентном спектрометре Rigaku Supermini200. В планетарной шаровой мельнице Активатор-2S была проведена механическая активация смесей порошков в течение 5 часов. Затем, порошки отжигались в муфельной печи для достижения однофазного состояния. Для получения промежуточных результатов о катионном распределении таким же образом получены соединения ZnxCo0.5-xFe2.5O4 (x = 0.0, 0.2, 0.4) и CrxCo0.5Fe2.5-xO4 (x = 0.2, 0.4).

Фазовый состав исследуемых порошков определен на рентгеновском дифрактометре Rigaku Miniflex600. Установлено, что после механической активации во всех образцах доля фазы со структурой шпинели составило 40 %. Отжиг при 900 ℃ в течение 1 часа увеличил долю фазы шпинели во всех порошках в среднем на 5 %, остальное – гематит. Отжиг при 1200 ℃ в течение 1 часа способствовал дальнейшему образованию шпинельной фазы, в среднем во всех порошках доля составляет 60 %. Измеренные на вибрационном магнетометре VSM-250 магнитные свойства определяются изменениями фазового состава.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №23-73-00114).*

**Литература**

1. Ковалев А.Д., Николенко П.И., Низамов Т.Р., Новиков А.И., Абакумов М.А., Сёмкин М.А., Борисова П.А., Агафонов С.С., Попов В.В., Щетинин И.В. Структура, магнитные свойства и гипертермия наночастиц CoxFe3-xO4, полученных методом высокоэнергетического измельчения //Российские нанотехнологии. – 2025.