

НАНОЧАСТИЦЫ МАГНЕТИТА, ЛЕГИРОВАННЫЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ: СИНТЕЗ, СТРУКТУРНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА

А. В. Руткаускас^{1*}, О. Н. Лис¹, С. Е. Кичанов¹, Б. А. Абдурахимов¹, Е. В. Лукин¹,
Д. П. Козленко¹, Г. С. Римский², А. Л. Желудкевич²

¹Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь

*E-mail: ranton@nf.jinr.ru

Объемные и наноструктурированные ферриты с кристаллической структурой типа шпинели (AFe_2O_4) активно изучаются на протяжении многих десятилетий ввиду их привлекательности как с фундаментальной, так и с практической точек зрения. Такие соединения обладают широким спектром физических явлений: высокое удельное электрическое сопротивление, низкие электрические потери, высокая химическая стабильность, магнитные фазовые переходы различного типа, эффекты геометрической фрустрации и многое другое. Это делает возможным широкого технологического применения ферритов в качестве материалов для трансформаторов, солнечных элементов, биомедицине, магнитных сенсорах, катализаторах, системах доставки лекарств, электронных и магнитных компонентах.

В зависимости от химического состава и размеров наночастиц ферриты со структурой шпинели обладают разным распределением катионов в тетраэдрической (А) и октаэдрической (В) координации кислорода. В частности, может быть реализован случай, когда ионы Fe^{3+} находятся в позициях А, а также имеется смесь ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} , расположенных в позициях В. При легировании переходными металлами или щелочными элементами в позициях А или В или создании вакансий в структуре кубической шпинели, магнитные взаимодействия между ионами железа изменяются. Это приводит к существенным изменениям физических свойств этих ферритов. Следует отметить, что изменения физических свойств материала можно добиться применением высокого давления. Давление вызывает контролируемую настройку межатомных расстояний и валентных углов, что приводит к изменениям физических свойств оксидов феррита.

В нашей работе были изучены наноструктурированные образцы магнетита с 2,5% легированием редкоземельными ионами Sm, Dy, La и Lu методами рентгеновской и нейтронной дифракции, малоуглового рентгеновского рассеяния и магнитных измерений. Все легированные наноструктурированные образцы магнетита имеют кубическую фазу со структурой шпинели $\text{Fd}\bar{3}m$, размер наночастиц составляет от 20 до 32 нм. Легирующие редкоземельные ионы в основном занимают октаэдрические позиции в кислородном узле. Размер наночастиц зависит от типа легированной редкоземельной ионы из-за разницы в ионном радиусе. Данные нейтронной дифракции показали, что магнитная структура легированных наночастиц магнетита является ферримагнитной. Магнитные измерения показали наличие суперпарамагнитного состояния во всех легированных наночастицах магнетита. Магнитные измерения показали наличие суперпарамагнитного состояния во всех легированных наночастицах магнетита. Предполагается, что заметные изменения структурных и магнитных свойств наночастиц магнетита по сравнению с объемным веществом связаны в первую очередь с дефектной структурой на поверхности этих наночастиц и влиянием на нее легирования редкоземельными ионами.

Работа выполнена при поддержке совместных грантов Российского научного фонда (РНФ) № 24-42-10003, <https://rscf.ru/project/24-42-10003/> и Белорусского фонда фундаментальных исследований, БФБР T23РНФМ-023.