

УДК

677.027.423.42

РЕДЬКО Я.В., СУПРУН Н.П.

Київський національний університет технологій та дизайну,
Україна

ОСОБЛИВОСТІ МАГНІТОВПОРЯДКОВАНИХ ЧАСТИНОК ЗА ДАНИМИ МЕТОДУ ФЕРОМАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ

***Мета.** Отримання спектрів феромагнітного резонансу зразків синтетичних та природних магнетитів, встановлення взаємозв'язку одержаних сигналів феромагнітного резонансу (ФМР) із магнітними властивостями досліджуваних зразків.*

***Наукова новизна.** Вперше досліджено характеристики магнітовпорядкованих синтетичних та природних магнетитів за даними феромагнітного резонансу і проаналізовано відмінності у спектрах ФМР, що обумовлені різницею у розмірах та, відповідно, властивостей отриманих зразків.*

***Практичне значення.** Метод ФМР виявився ефективним безконтактним методом, який дозволяє визначати розмір та, відповідно, магнітні властивості магнетитів у чистому вигляді. Очікується успішне застосування ФМР для дослідження особливостей магнітокерованих частинок, що містять наноконізпозити на текстильній основі .*

***Ключові слова:** феромагнітний резонанс, наночастинки, магнетит, інтенсивність сигналу ФМР, спектри.*

***Вступ.**Об'єктами досліджень виступили природні та синтетичні магнетити.*

Магнітні властивості зразків природних та синтетичних магнетитів досліджували методом феромагнітного резонансу. Спектри феромагнітного резонансу реєстрували на спектрометрі електронного парамагнітного резонансу, працюючого в трьохсантиметровому діапазоні довжин хвиль (ERS-231, Німеччина).

***Результати дослідження.**Феромагнітний резонанс (ФМР) – це резонансне поглинання зовнішнього електромагнітного випромінювання в феромагнітних речовинах [1]. Феромагнітний резонанс є одним з різновидів магнітного резонансу та проявляється у вибіркового поглинанні феромагнетиком енергії електромагнітного поля при частотах, які*

співпадають з власними частотами ω_0 прецесії магнітних моментів електронної системи феромагнітного зразку у внутрішньому ефективному полі H_{ef} . Особливості резонансних явищ в феромагнетиків визначаються тим, що в цих речовинах розглядаються не окремі ізольовані атоми (з спіновими чи орбітальними моментами), а складна система сильновзаємодіючих електронів. Обмінний характер цієї взаємодії створює велику результуючу намагніченість, а з нею – і велике внутрішнє магнітне поле. В феромагнетиках до основного спінового магнетизму приєднується ще невелика добавка орбітального магнетизму.

Основні характеристики ФМР – резонансні частоти, релаксація, форма та ширина ліній поглинання, нелінійні ефекти – визначаються колективною багатоелектронною природою феромагнетизму [2]. Частота ω_0 залежить від форми зразка, від орієнтації постійного поля відносно вісї симетрії кристала та від температури. Поряд з анізотропією феромагнітного резонансу, що пов'язана з магнітною кристалографічною анізотропією феромагнетиків, виникає ще анізотропія, що пов'язана з формою зразку. Скінченність розмірів зразка призводить до неоднорідності умов резонансу в об'ємі зразка. Перший тип цих неоднорідностей пов'язаний з тим, що завдяки полям розмагнічування, які обумовлені поверхневими «магнітними зарядами», в об'ємі зразка виникають окремі області (домени) з різними напрямками спонтанної намагніченості. Ця доменна структура спричиняє суттєвий вплив на умови резонансу.

Наявність доменної структури в феромагнетиків ускладнює спектр феромагнітного резонансу, призводячи до можливості появи декількох резонансних піків. Отже, основні параметри, що впливають на резонансну частоту феромагнетиків: форма зразка, кристалографічна магнітна анізотропія, доменна структура.

Сpektри ФМР природних та синтетичних магнетитів наведені на рис. 1–4. Ось абсцис на цих рисунках показує значення індукції магнітного поля в Гс, а ось ординат – інтенсивність резонансних сигналів в відносних одиницях.

Відомо [3], що магнітні властивості наноматеріалів залежать існуючого критичного мінімального розміру частинок феромагнетиків (критичний розмір однодоменності), при якому частинки проявляють унікальні специфічні властивості. Цей розмір, в тому числі, залежить від форми частинки феромагнетика. Для частинок магнетиту кубічної форми цей розмір дорівнює 128 нм, при чому, частинка такого розміру має максимальну коерцитивну силу. Розміри природних магнетитів були в межах 100 мкм, а розміри синтетичних наноматеріалів складала в середньому 50 – 100 нм. Намагніченість насичення природних магнетитів складала для різних зразків

70 – 80 А·м²/кг, а намагніченість насичення синтетичних наномагнетитів, синтезованих методом співосадження, була в діапазоні від 55 до 81 А·м²/кг.

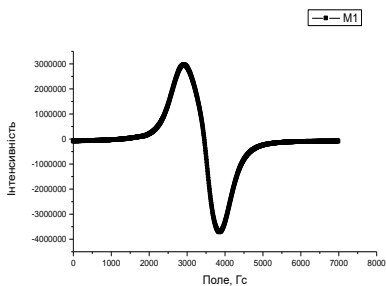


Рис. 1. Спектри феромагнітного резонансу синтетичних магнетитів, розміщених при 0° відносно магнітного поля.

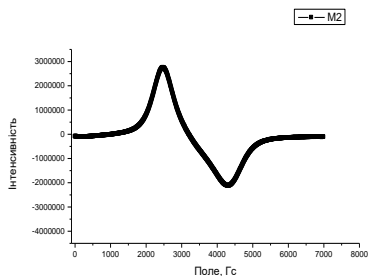


Рис. 2. Спектри феромагнітного резонансу синтетичних магнетитів, розміщених при 90° відносно магнітного поля.

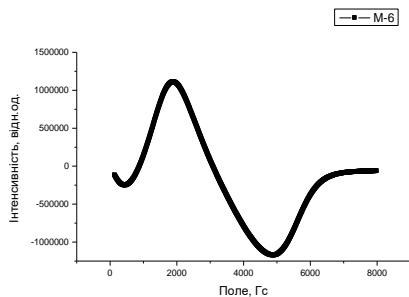


Рис. 3. Спектри феромагнітного резонансу природних магнетитів, розміщених при 0° відносно магнітного поля.

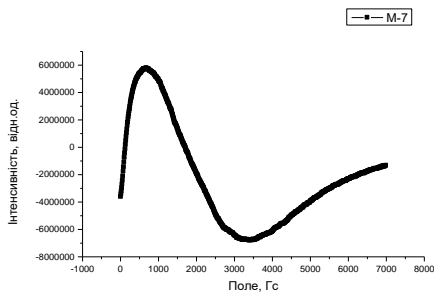


Рис. 4. Спектри феромагнітного резонансу природних магнетитів, розміщених 90° відносно магнітного поля.

В експериментальних дослідженнях показано, що спектри феромагнітного резонансу природних магнетитів демонструють інтенсивний сигнал феромагнітного резонансу в низьких полях (менше 100 мТл). Спектри феромагнітного резонансу синтетичних наномагнетитів сильно відрізняється від природних та проявляють інтенсивний сигнал феромагнітного резонансу в більш високих полях (біля 250 мТл). Відмінність спектрів феромагнітного резонансу природних та синтетичних магнетитів пов'язана з різницею у розмірах та, відповідно, властивостей цих зразків.

Висновок. Таким чином, виявлені особливості властивостей магнітокерованих наномагнетитів, відчиняють широкі перспективи для вирішення проблем сучасного матеріалознавства, пов'язаних зі створенням та дослідженням властивостей нових функціональних текстильних матеріалів із застосуванням методу феромагнітного резонансу.

Список літератури

1. Вонсовский С. В. Ферромагнитный резонанс. М., 1961. 343 с.
2. Ikeya M. New application of electron spin resonance — dating, dosimetry and microscopy. Singapore : World Scientific, 1993. 577 p.
3. Cornell R. M., Schwertmann U. The Iron Oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. Wiley, 2003. – 664 p.