ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 7, № 2 (2006) С. 256-258

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 7, № 2 (2006) P. 256-258

УДК 537, 531:535,3

ISSN 1729-4428

Т.Д. Бакума, М.П. Мазур

Результати дослідження магнітних властивостей і мікроструктури нікелевих феритів з дозованими добавками алюмінію

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Представлено результати дослідження основних параметрів нікель-алюмінієвої системи феритів таких як: температура Кюрі, коерцитивна сила, питома намагніченість насичення, мікроструктура, пористість, питомий електроопір, в залежності від складу, тангенс діелектричних втрат.

Наведені результати дослідження мікроструктури зразків. Деякі пояснення представлені з точки зору розміщення іонів по підгратках основної матриці.

Це дає можливість вибрати оптимальні концентраційні параметри нікель-алюмінієвої матриці для подальших досліджень. Рекомендувати до впровадження у виробництво.

Ключові слова: феромагнетики, шпінель, кристалічна гратка, питомий опір, коерцитивна сила, температура Кюрі.

Стаття поступила до редакції 07.07.2005; прийнята до друку 15.02.2006

Феритові матеріали особливо ферошпінель на основі Ni мають широкий спектр застосування, як матеріали в електронній та комп'ютерній техніці.

В якості об'єктів була вибрана система Ni-феритів з дозованими добавками :

1) з добавками Al: Основна матриця $NiFe_2O_4$ в яку додавалися трьохвалентні іони Al тобто $NiAl_{0,3}Fe_{1,7-x}O_4$ при цьому „x" змінювалося з інтервалом 0,1;

2) за основу вибиралася система $NiAl_{0,3}Fe_{1,7}O_4$, потім проводилося заміщення іонів Fe іонами In тобто, вивчалася система феритів $NiAl_{0,3}In_xFe_{1,7-x}O_4$.

Зразки даних феритів були одержані за звичайною керамічною технологією [1]. На першому підготовчому етапі відбиралися однофазні зразки, які за даними рентгеноструктурного аналізу, являли собою тверді розчини шпінельної структури.

Результати проведених досліджень вихідної системи NiAl зведені в табл. 1.

Аналізуючи результати досліджень Ni-Al системи феритів слід відмітити зміну параметрів. Помітно знижується температура Кюрі, якщо в чистому нікелевому фериті $T_к = 813$ К то далі при x = 1 відповідно 478 К. Окремо слід розглянути коерцитивну силу величина якої у вихідних взірцях рівна 163,4 $\frac{А}{м}$, то при x = 1, H = 93,7 $\frac{А}{м}$, однак спостерігається нелінійна залежність коерцетивної сили від вмісту іонів алюмінію. При збільшенні вмісту іонів алюмінію в основній матриці нікелю спостерігається незначне зростання величини коерцитивної сили, з подальшим зменшенням. Крім того відбувається зменшення параметру кристалічної гратки і рентгенівської гратки. Рентгенівський аналіз проводився на дифрактометрі ДРОН-2 із використанням K_α-випромінювання заліза. Параметр кристалічної гратки визначався по положенням максимумів (553) і (800). Такі зміни можна пояснити тим, що має місце часткова заміна іонів Fe^{3+} (іонний радіус $r_{Fe} = 0,067$ нм) іонами Al^{3+}($r_{Al} = 0,061$ нм). Така заміна приводить до зменшення довжини зв'язку Me-O, в результаті чого відбувається послаблення обмінної взаємодії між окта- і тетраедричними підгратками. Цим же пояснюється часткове пониження температури Кюрі.

Виходячи із експериментальних результатів слід відмітити що, значно зростає питомий опір (табл. 1) з $0,13\times10^6$ Ом×м (x = 0) до $0,39\times10^6$ Ом×м (при x = 1) при заміщенні іонів заліза іонами алюмінію в октаедричній підгратці нікелевого фериту. Для пояснення цього факту можна використати теорію Вервея [1, 4], згідно якої провідність феритних систем може бути обумовлена обміном електронами різновалентних іонів, які знаходяться в однакових кристалографічних позиціях і другий факт, що величина питомого опору залежить від порисності, яка збільшується, що спостерігається (рис. 1) лінія (III), яка в % збільшується від 1% (x = 0) до 10% (при x = 1). В той же час можна допустити, що збільшення питомого електроопору в Ni-Al системі може бути

Таблиця 1

Залежність тангенса кута діелектричних втрат $tg\delta_\varepsilon$, температури Кюрі T_θ (K), коерцитивної сили H_c (А/м), питомої намагніченості насичення $\delta\left(\frac{Тл \cdot м^3}{кг}\right)$, питомого електроопору $\rho(Ом \cdot м)$ від складу нікелевого фероалюмінату.

Склад	$tg\delta_\varepsilon$	T_θ, K	H_c, $\frac{А}{м}$	σ, $\frac{Тл \cdot м^3}{кг}$	ρ, Ом м
$NiFe_2O_4$	0,22	813	163,4	5,0	$0{,}13.10^6$
$NiAl_{0,1}Fe_{1,9}O_4$	0,18	-	-	4,82	$0{,}19.10^6$
$NiAl_{0,2}Fe_{1,8}O_4$	-	-	-	4,50	$0{,}98.10^6$
$NiAl_{0,3}Fe_{1,7}O_4$	0,15	783	140,0	4,30	$0{,}36.10^7$
$NiAl_{0,4}Fe_{1,6}O_4$	-	-	-	4,21	$0{,}99.10^7$
$NiAl_{0,5}Fe_{1,5}O_4$	0,11	683	87,9	3,83	$0{,}10.10^8$
$NiAl_{0,6}Fe_{1,4}O_4$	-	-	-	3,50	$0{,}32.10^8$
$NiAl_{0,7}Fe_{1,3}O_4$	0,09	593	-	3,07	$0{,}71.10^8$
$NiAl_{0,8}Fe_{1,2}O_4$	0,11	-	84,0	2,83	$0{,}95.10^9$
$NiAl_{0,9}Fe_{1,1}O_4$	0,12	-	-	2,80	$0{,}27.10^{10}$
$NiAlFeO_4$	0,14	478	93,7	2,71	$0{,}39.10^{11}$
$NiAl_{1,2}Fe_{0,8}O_4$	0,12	443	101,3	1,01	$0{,}58.10^{12}$
$NiAl_{1,4}Fe_{0,6}O_4$	0,13	-	-	0,00	$0{,}74.10^{12}$
$NiAl_{1,6}Fe_{0,4}O_4$	0,14	-	-	-	$0{,}15.10^{13}$
$NiAl_{1,8}Fe_{0,2}O_4$	0,15	-	-	-	$0{,}19.10^{13}$
Похибка	±0,02	±5	±0,2	±0,03	

обумовлено флуктуаціями густини в основній матриці та частковою зміною зовнішнього оточення іонів заліза і нікелю.

При збільшенні вмісту іонів алюмінію в фериті нікелю, питома намагніченість насичення поступово падає, що, за двох підгратковою теорією Нееля можна пояснити таким чином: магнітні іони алюмінію заміщають магнітні іони заліза переважно в октаєдричній підгратці. Проходе поступова зміна магнітних властивостей в дослідженій системі, змінюється характер сил міжатомної взаємодії. [2, 3]

Вивчення мікроструктури проводилося на шліфах термічного травлення за допомогою мікроскопа (при збільшенні ×600.).Слід відмітити, що структура рівномірна і чітко видно зерна, форма яких в більшості округло-вугловата, багатогранна. Дослідження мікроструктури дозволяє зробити висновки, виведення іонів алюмінію в матрицю нікелевого фериту призводе спочатку до збільшення середнього розміру зерен, а потім до їх зменшення (рис. 1).

Характер зміни коерцитивної сили можна пояснити теорією Гуденафа. В свій час [5] він

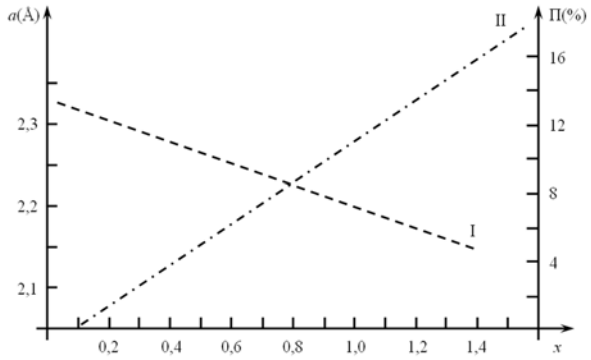

Рис. 1. Залежність параметра кристалічної гратки *a* (I), пористості П (II) від кількості іонів активаторів в системі $NiAl_xFe_{2x}O_4$

допустив що, в полікристалічному феромагнетику кожне зерно являє собою монокристал, оточений немагнітним або слабомагнітним прошарком. Грані зерен розділяють кристаліти з різним напрямом намагніченості. В результаті на межах зерен виникають магнітні полюси, які утворюються внаслідок нерівномірного розподілу цих зерен на поверхневі полюси і перешкоджають зміщенню меж

зерен. Виходячи з цього коерцитивна сила прямо пропорційна внутрішнім напругам і обернено пропорційна розмірам зерен. Характер зміни намагніченості насичення (табл. 1) показує, що це положення співпадає з результатами вивчення мікроструктури феритових зразків нікель-алюмінієвої матриці фериту.

Висновки

1. Введення іонів алюмінію у вказаних концентраційних межах в основну матрицю нікелевого фериту приводе до зміни параметру кристалічної гратки.
2. Всі зразки являють собою однофазні тверді розчини нікелевої структури.
3. Магнітні властивості обумовлені перерозподілом іонів в основній матриці в окта і тетра підгратках.
4. Введення іонів алюмінію в нікелевий ферит дозволяє одержати покращену феритну систему, де поєднується достатня коерцитивна сила, електричні та магнітні властивості.

Бакума Т.Д. – кандидат фізико-математичних наук;
Мазур М.П. – кандидат фізико-математичних наук.

[1] Е.О. Журакевський, П.П. Китичок. *Електронные состояния у феромагнетиков*. К., Наукова думка, 280 с. (1985).
[2] П.П. Зарін, Т.Д. Бакума. Гамма-резонансні спектри поглинання заліза в ітрій-індієвих гранатах. *XIV матеріали Міжнародної міжвузівської школи-семінару "Методи і засоби технічної діагностики"*, Івано-Франківськ, (1997).
[3] Т.Д. Бакума, П.П. Зарін, М.О. Бакума, О.Є Федоров. Ядерні гамма-резонансні дослідження Ni-Al феромагнетиків шпінельної структури // *Фізика і хімія твердого тіла*, **2**(4), сс. 723-725 (2001).
[4] Т.Д. Бакума, М.Є. Сімків. Результати дослідження феритових матеріалів на основі Ni-Al шпінелі // *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції "Динаміка наукових досліджень"*, Наука і освіта, Дніпропетровськ, сс. 33-35 (2004).
[5] Д.В. Гуденаф. *Магнетизм и химическая связь*. М., Металургия, 325 с (1968).

T.D. Bakuma, M.P. Mazur

Results of Research of Magnetic Properties and Microstructure of Nickel Ferrite with the Dosed Additions of Aluminium

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

The results of research of basic parameters of the nickel-aluminum system of ferrites are presented such as: Curie temperature, coercitive force, specific magnetization of saturation, microstructure, porosity, specific electric resistance, depending on composition, tangent of dielectric losses.

The results of research of microstructure of standards are presented. Some explanations are given from the point of view of placing of ions in sublittice of basic matrix.

This enables to choose the optimum concentration parameters of nickel-aluminum matrix for further research. It can be recommend for implementation into production.