

УДК 621.357

*М.Д. Сахненко, В.О. Проскуріна, М.М. Проскурін, С.І. Зюбанова***МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА***Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»**Досліджено магнітні характеристики (коерцитивна сила, індукція та магнітоелектричний коефіцієнт) осадів Fe-Co та фериту. Визначено вплив товщини покриттів феромагнетиком на його магнітні властивості та встановлено, що з ростом товщини покриття збільшується питомою потужністю магнітного поля.***Вступ**

Швидкий розвиток різноманітних радіоелектронних систем – мобільного супутникового зв'язку, навігаційних і телекомунікаційних мереж, сенсорних приладів тощо, значною мірою обумовлений розробкою нових мікроелектронних магнітних компонентів, управління якими можливо як електричним так і магнітним полем [1].

Сучасні дослідження свідчать, що для створення приладів з магнітоелектричними властивостями найбільш придатними матеріалами є залізо та його сплави, а також ферити, причому все більше використовуються металічні порошки. Однак, у зв'язку з мініатюризацією радіотехнічних приладів постає проблема зменшення товщини робочого шару, що можливо при одержанні магнітних плівок електрохімічним способом. Катодний сплав Fe-Co, залежно від умов осадження, проявляє магнітом'які або магнітотверді властивості [2], а формування двошарових структур фериту та сегнетоелектрика характеризуються високими значеннями магнітоелектричного коефіцієнта.

Враховуючи вищезначене, електрохімічне формування двошарових структур на основі феромагнетика та сегнетоелектрика на алюмінії, а також сплавів Fe-Co з широким спектром магнітних характеристик є актуальною задачею сьогодення.

Експериментальна частина

Покриття Fe-Co одержували у гальваностатичному режимі при густині струму 2-9 А/дм² з цитратного електроліту [3]. Магнітні характеристики аналізували з використанням вібраційного магнітометра. В роботі було проведено дослідження залежності питомої потужності магнітного поля від товщини покриття феромагнітною речовиною (феритом) на сплавах алюмінію. Вибір цього показника як критерію магнітних властивостей покриттів обумовлений тим, що він характеризує можливість накопичувати магнітну енергію феромагнетиком, причому вища потужність магнітного поля дозволяє зберігати більший об'єм інформації.

Результати та обговорення

Аналіз даних осцилографічних досліджень алюмінію з феромагнітним покриттям (Рис.1) свідчить, що зі зростанням його товщини збільшується

частота насичення, оскільки чим вища товщина шару фериту потребує меншої частоти проникнення для повного магнітного насичення зразка.

На основі отриманих даних побудовані залежності магнітної індукції покриттів феритом від напруженості зовнішнього магнітного поля – петлі гістерезису.

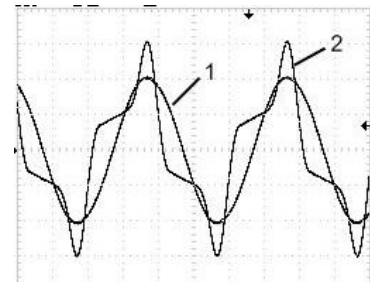


Рис. 1. Залежність зміни напруги на входах осцилографа для покриття феритом товщиною 60 мкм, частота насичення 3000 Гц, де: 1 – напруга на вході, 2 – напруга на виході.

Збільшення товщини покриття феритом не приводить до суттєвих змін геометрії магнітної залежності, але сприяє збільшенню значень напруженості магнітного поля та магнітної індукції. В той же час частота магнітної насиченості зразків із збільшенням товщини падає, що пояснюється скін-ефектом, тобто зменшення частоти сприяє проходженню електричного сигналу на більшу глибину покриття феромагнетиком, що сприяє зростанню швидкості повного насичення фериту.

На основі петель гістерезису розраховано питомою потужність для трьох товщин покриттів при частотах 5 кГц, 4 кГц, 3 кГц, а результати наведено в [4]. Геометрія петель гістерезису магнітоелектричної системи відрізняється від загальновідомої форми для моношарових покриттів сегнетоелектриком або феромагнетиком. У випадку із шаруватим покриттям форма петлі є більш розтягнутою, еліпсоподібною (Рис.2). Така геометрія залежностей, імовірно, пояснюється механічною когезією шару феромагнетика із сегнетоелектричним шаром, тобто проявою магнітоелектричного ефекту. Як відомо [5], магнітоелектричний ефект яка складається із одночасного магнітного та електричного відгуку

системи на магнітне або електричне зовнішнє збудження.

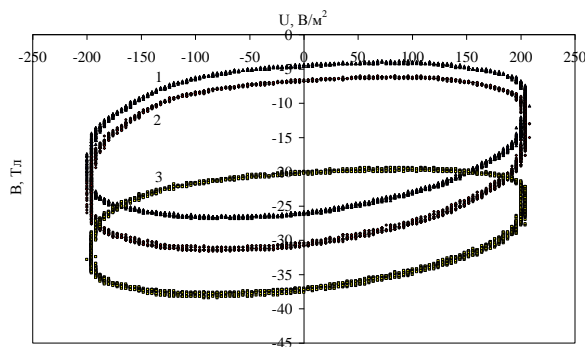


Рис. 2. Петлі гістерезису для шаруватої системи Al/Al_2O_3 , $ZnOFe_2O_4/Ba_{0.8}Sr_{0.2}Zr_{0.05}Ti_{0.95}O_3$, при товщині шарів, мкм: ферит – 40, сегнетоелектрик – 80. Температура, °С: 45(1), 55(2), 65(3).

Виходячи з цього, шарувата структура системи Al/Al_2O_3 , $ZnOFe_2O_4/Ba_{0.8}Sr_{0.2}Zr_{0.05}Ti_{0.95}O_3$ характеризується суперпозицією відгуку електричної поляризації сегнетоелектрику на магнітний відгук фериту, що і спричиняє деформацію форми петлі гістерезису.

Електролітичні покриття Fe-Co з різним вмістом компонентів мають високі значення намагніченості насичення 0,16–0,17 Тл порівняно з металургійними сплавами (максимум припадає на склад $Fe_{60}Co_{40}$ і становить 0,19 Тл). Це пов'язано із включенням в покриття оксидних сполук, про що свідчать результати рентгенофазового аналізу плівок. Встановлено, що зі збільшенням товщини покриттів $Fe_{60}Co_{40}$ зростають до 0,17 Тл значення намагніченості, а коерцитивна сила зменшується (рис. 3). Зміна коерцитивної сили з товщиною являє собою сумарний ефект, обумовлений змінням складу, розміру та просторової орієнтації кристалітів, внутрішніх напружень, що виникають в процесі формування плівки. Для покриттів $Fe_{60}Co_{40}$ товщиною 0,1 мкм значення H_c є найвищим, а відповідна петля гістерезису набуває квадратної форми, що відповідає "тонкоплівковому" стану.

MAGNETIC PROPERTIES OF THE COATINGS BASED ON IRON

M.D. Sakhnenko, V.O. Proskurina, M.M. Proskurin, S.I. Zubabova

The magnetic properties (coercive force, induction and magneto ratio) of the Fe-Co and ferrite coatings are investigated. The ferromagnetic coatings thickness influence on its magnetic properties is defined and it's found out that with the increasing of the coating Fe-Co thickness the power density of the magnetic field increases also.

Key words: magnetoelectric properties; coercive force; iron based electrolytic coatings; ferromagnets; ferroelectrics.

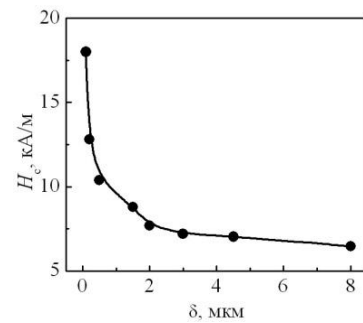


Рис. 3. Залежність коерцитивної сили H_c від товщини покриття сплавом Fe-Co, $\omega_{Fe} = \text{мас.} 60\%$

Висновки

Зростання товщини шару феромагнетика від 25 до 45 мкм приводить до підвищення питомої потужності магнітного поля зі 170 до $360 \text{ A} \cdot \text{м}^{-1}$ завдяки збільшенню кількості та розмірів доменів у структурі покриття. Результати досліджень властивостей покриттів феритом та сегнетоелектриком шаруватої структури підтверджують наявність магнітоелектричного резонансу. Найвище значення коерцитивної сили для покриття Fe-Co з вмістом заліза 60 мас.% досягається за товщини до 1 мкм, що дозволяє рекомендувати такі плівки як магнітні нанорозмірні матеріали.

Список літератури:

1. Marcelli R. Coupled magnetostatic volume wave straight edge resonators for multipole microwave filtering / R. Marcelli, M. Rossi // *IEEE Trans. Magn.* – 1995. – V.31, № 6. – P. 3476 – 3478.
2. Influence of Magnetic Fields on Autocatalytic Deposition of Co-Fe Thin Films / C. Borioli, S. Franz, P. L. Cavallotti [and others] // *Journal of The Electrochemical Society.* – 2010. – Vol. 157, № 8. – P. 437–442.
3. Патент 49037 Україна, МПК7 C 25 D 3/56. Електроліт для нанесення сплаву ферум – кобальт / Ведь М. В., Сахненко М. Д., Савченко В. О.; опубл. 12.04.2010, Бюл. № 7.
4. Электрохимический синтез слоистых структур из активных диэлектриков / Н. Н. Прокурин, Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь // *Вестник БГУ.* – 2013. – Вып. 9. – С. 145–151.
5. Nan C. Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status, and future directions / C. Nan, M.I. Bichurin, S. Dong et al // *J. Appl. Phys.* – 2008. – V.103. – P. 31 – 35.