

АНИЗОТРОПНИЙ МАГНІТООПІР В ФЕРОМАГНІТНИХ ТОНКОПЛІВКОВИХ МАТЕРІАЛАХ

Кравченко Володимир Олексійович

к.ф.-м.н., ст. викладач
Сумський національний аграрний університет,
м. Суми, Україна

Кравченко Юлія Анатоліївна

к.ф.-м.н., ст. викладач
Сумський державний університет,
м. Суми, Україна

Вступ. В сучасних системах автоматизації датчики є одними з основних елементів ланцюжка "датчик – пристрій керування - виконавчий пристрій – керований об'єкт. Магніторезистивні датчики мають високу чутливість і дозволяють вимірювати незначні зміни магнітного поля. Ці датчики знайшли своє застосування в магнітометрах, магнітних сканерах, вимірах слабких полів, навігації, компенсації поля Землі, електронних і цифрових компасах, датчиках повороту, переміщення та акселерометрах.

Сучасна промисловість має досить широкий спектр інформаційно-вимірювальних пристроїв і систем, побудованих на основі різних магніторезистивних ефектів. Серед них можна виділити наступні:

- фізичний і геометричний ефекти магнітоопору;
- гігантський магніторезистивний (GMR) ефект;
- магніторезистивний ефект спин-залежного тунелювання (SDT-ефект);
- анізотропний магніторезистивний ефект (AMR-ефект).

Серед цих ефектів на сьогодні найбільше поширення в області побудови магнітних датчиків має отримав AMR-ефект. Така ситуація, в першу чергу, пов'язана з властивими цим датчикам якостями: високою роздільною здатністю, високою чутливістю, можливістю лінеаризації вихідної характеристики датчика в робочому діапазоні, чутливістю до знаку вимірюваного магнітного поля, відносно широким частотним діапазон (до 1000 Гц), широким діапазоном

робочих температур (-60 ... + 150 ° C), низьким опором. Крім цього, до переваг AMR-датчиків можна віднести малі масогабаритні показники, високу технологічність виробництва, відносно низьку вартість, високі показники надійності і терміну експлуатації. Все це вигідно виділяє цей тип магнітних датчиків серед аналогічних пристроїв і значно розширює області і перспективи їх застосування.

Мета роботи. В роботі досліджується зв'язок магніторезистивного ефекту в пермлоєвих плівках з процесами перемагнічування та зміною доменної структури плівки.

Матеріали і методи. Дослідження проводилися на плівкових зразках сплаву, склад якого приблизно відповідає технічному матеріалу, відомому як пермалой 50Н. Такий сплав в масивному стані має високу магнітну проникливість, малу коерцитивну силу (магнітно-м'який) і характеризується значним магніторезистивним ефектом.

Плівки отримували методом електронно-променевого випаровування в умовах високого вакууму. Осадження проводилося на скляні поліровані підкладки за кімнатної температури, після чого зразки піддавалися термообробці з метою стабілізації кристалічної структури та електричних і магнітних властивостей.

Для спостереження доменної структури плівок використовувався ефект Керра, який полягає у тому, що при відбиванні плоскополяризованого світла від феромагнітного дзеркала (феромагнітної плівки) відбувається поворот площини його поляризації на деякий. Напряму повороту площини поляризації залежить від напряму намагніченості феромагнітної плівки, що дозволяє створити контраст між областями з різною намагніченістю (доменами). Перевагою цього методу є те, що він не впливає на процеси перемагнічування та структуру доменних границь. Зразки вміщувалися в однорідне магнітне поле, створене за допомогою кілець Гельмгольца. Опір зразків в ході експерименту фіксувався цифровим вольтметром В7-34А.

Результати та їх обговорення. Для створення магніторезисторів як магніточутливі елементи датчиків використовують тонкі плівки феромагнітних металів і сплавів (найчастіше пермалою) з метою збільшення швидкодії, завадостійкості, чутливості магнітних сенсорів, одержання великого опору та одноосьової анізотропії. При цьому товщина плівки в AMR-датчиках становить лише кілька десятків нанометрів. За цих умов плівка є однодоменною за товщиною, а вектор намагніченості лежить в площині плівки і може здійснювати поворот лише в цій площині.

Фізичною причиною виникнення AMR-ефекту є спін-орбітальна взаємодія електронів, що приводить до їх спін-залежного розсіювання, яке має анізотропний характер і залежить від орієнтації струму і намагніченості. Це призводить до різної середньої довжини вільного пробігу електронів з різними спинами при різних кутах між струмом і намагніченістю, а зміна довжини вільного пробігу проявляється як зміна питомого електричного опору зразка феромагнетика.

При довільному куті α між вектором намагніченості M та струмом зовнішнє магнітне поле з напруженістю H змінює базовий (мінімальний) опір плівки. Зміна опору плівки при цьому описується формулою [1]:

$$R = R_0 + \Delta R_{\max} \cos^2 \alpha ,$$

де ΔR_{\max} – максимальна зміна опору, яка досягається при $\alpha=90^\circ$.

При повороті H в напрямку збільшення α опір зразка зменшується.

У випадку відносно слабких полів для повністю розмагніченого зразка спостерігається збільшення опору при паралельній орієнтації векторів струму та індукції (або напруженості) зовнішнього магнітного поля і зменшення – для взаємно перпендикулярного їх розташування. Після досягнення насичення в області парапроцесу опір феромагнетика повинен зменшуватися для обох конфігурацій, однак наявність спонтанної намагніченості зразка та гістерезису перемагнічення ускладнює характер залежності опору від величини зовнішнього магнітного поля.

Характерною особливістю для повздовжнього і поперечного ефекту магнітоопору плівок пермалою 50Н (сплав FeNi з вмістом Fe 50%) є немонотонний характер зміни опору в залежності від напруженості зовнішнього поля. На польових залежностях величини магнітоопору $\Delta R/R(0)$ спостерігаються екстремуми, які пов'язані з процесами перемагнічування плівки. Про це свідчить той факт, що при повторному намагнічуванні плівки в тому ж напрямку екстремум не спостерігається, а опір монотонно збільшується або зменшується, виходячи на насичення. Прийнято вважати [2], що величина напруженості зовнішнього поля, при якій спостерігається екстремум, рівна коерцитивній силі H_c зразка.

Зважаючи на взаємозв'язок польової залежності опору плівок з процесами їх перемагнічування було проведено дослідження доменної структури плівок FeNi та її зміни в процесі намагнічування зразка з одночасним вимірюванням магнітоопору плівок (рис. 1). При збільшенні напруженості магнітного поля до величини H_c (рис. 1, ділянка A-B) доменна структура плівки не зазнає видимих змін. При подальшому збільшенні величини зовнішнього магнітного поля на краях плівки спостерігається поява клиновидних з доменів протилежною (порівняно з наявними в плівці) полярністю намагніченості. Саме в цей момент опір зразка при повздовжньому МО має найменше значення.

Збільшення поля призводить до росту "нових" доменів, які поступово заповнюють площу плівки, проростаючи від її країв до центру (точка C). В подальшому "нові" домени зникають (точка D), а в плівці залишаються лише невеликі доменні острівці "старої" магнітної структури. Наступне збільшення поля приводить до повного їх зникнення (точка E) і переходу плівки в однодомений стан з протилежною початковою намагніченістю. Починаючи з цього моменту опір плівки практично перестає змінюватися (ділянка E-F) і виходить на насичення або навіть починає зменшуватися (аналогічно залежності масивного матеріалу в області парапроцесу).

При зворотному зменшенні напруженості магнітного поля до нуля перебудови доменної структури не спостерігається, а опір плівки зменшується,

не повторюючи при цьому "прямий" (при зростанні напруженості магнітного поля) хід залежності $R(H)$ (рис.1 – пунктирна лінія). Таким чином, гістерезис магнітоопору пов'язаний зі зміною доменної структури плівки.

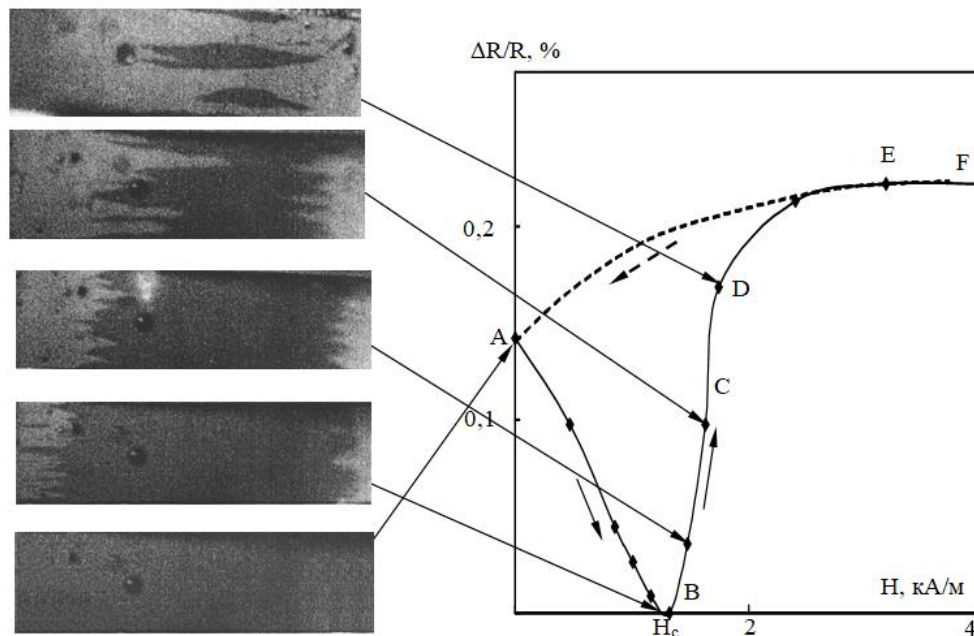


Рис. 1. Зв'язок повздовжнього магнітоопору та доменної структури для плівки пермалою 50Н

Разом з тим такий взаємозв'язок зміни опору і доменної структури показує, що визначене за екстремумом на залежності $\Delta R/R(0)$ значення H_c є дещо заниженим, оскільки повністю розмагнічений стан плівки відповідає тій точці на середній частині ділянки В-Е, де площа протилежно намагнічених доменів однакова. Враховуючи різкий характер збільшення опору на цій ділянці та малий діапазон зміни напруженості магнітного поля, у якому відбувається перемагнічення, можна прийняти це значення напруженості магнітного поля за H_c .

Висновки. Вивчення AMR-ефекту в тонких плівках в сукупності з дослідженням доменної структури плівки показало наявність їх тісного взаємозв'язку. Для пояснення характеру зміни опору феромагнітної плівки в магнітному полі, що є важливим при створенні датчиків на AMR-ефекті

(особливо при їх роботі в ненасиченому режимі), необхідно враховувати цей факт. Разом з цим вивчення зміни електричного опору в магнітному полі дає можливість оцінки ряду магнітних параметрів матеріалу, зокрема, його коерцитивної сили та поля, необхідного для насичення феромагнетика.

Список літератури

1. Борисов А. Современные АМР-датчики для детектирования скорости, положения и слабых магнитных полей // Компоненты и технологии.- 2006.- №7.- С.65-70.

2. Буравихин В. А. Практикум по магнетизму: уч. пособие / Буравихин В.А., Шелковников В.Н., Карабанова В.П. – М.: Высшая школа, 1979. - 197 с.