

FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN THE MODERN WORLD

Proceedings of X International Scientific and Practical Conference

Boston, USA

12-14 May 2021

Boston, USA

2021

UDC 001.1

The 10th International scientific and practical conference “Fundamental and applied research in the modern world” (May 12-14, 2021) BoScience Publisher, Boston, USA. 2021. 778 p.

ISBN 978-1-73981-124-2

The recommended citation for this publication is:

Ivanov I. Analysis of the phaunistic composition of Ukraine // Fundamental and applied research in the modern world. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Boston, USA. 2021. Pp. 21-27. URL: <https://sci-conf.com.ua/x-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-fundamental-and-applied-research-in-the-modern-world-12-14-maya-2021-goda-boston-ssha-arhiv/>.

Editor

Komarytskyy M.L.

Ph.D. in Economics, Associate Professor

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe, Ukraine, Russia and from neighbouring countries and beyond. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science. The collection of scientific articles is for students, postgraduate students, doctoral candidates, teachers, researchers, practitioners and people interested in the trends of modern science development.

e-mail: boston@sci-conf.com.ua

homepage: <https://sci-conf.com.ua>

©2021 Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua” ®

©2021 BoScience Publisher ®

©2021 Authors of the articles

55.	Касумова Аида Закир кызы ФОРМИРОВАНИЕ ЛИДЕРСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ У УПРАВЛЯЮЩИХ МСП.	345
56.	Касьяненко К. М., Сарафанова Д. М. ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ДИЗАЙНУ УПАКОВКИ ПАРФУМІВ.	355
57.	Кізим М. С. ВИЗНАЧЕННЯ НАЙБІЛЬШ ІНФОРМАТИВНИХ ПРОГНОСТИЧНИХ ФАКТОРІВ РИЗИКУ РОЗВИТКУ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ.	359
58.	Кравчук І. М. ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНОЇ ЗРІЛОСТІ В УМОВАХ ВИЩОГО ПРОФЕСІЙНОГО УЧИЛИЩА.	363
59.	Кравченко В. О., Кравченко Ю. А. МАГНІТНІ ДАТЧИКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.	375
60.	Корепанова К. О. ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ МІЖНАРОДНОЇ ІНДУСТРІЇ ДОЗВІЛЛЯ.	383
61.	Коржакова О. О., Семеняк А. В. МОЖЛИВОСТІ ПРОФІЛАКТИКИ ПРЕЕКЛАМПСІЇ.	388
62.	Корнєєв Ю. В., Мельник В. В. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ ЩОДО ЗАХИСТУ ДИКИХ ТВАРИН ВІД ЖОРСТОКОГО ПОВОДЖЕННЯ.	396
63.	Корниенко И. А. ВАНДАЛИЗМ КАК СОЦИАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА.	402
64.	Коркач Ю. В., Кузьмич А. В. УЧАСТЬ САМОВРЯДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ В ПРОЦЕСІ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ РЕГІОНУ.	409
65.	Колісник О. В. ПІДТРИМКА УЧНІВ З ОСОБЛИВИМИ ОСВІТНІМИ ПОТРЕБАМИ В РОБОТІ АСИСТЕНТА ВЧИТЕЛЯ ЗАКЛАДУ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ.	416
66.	Колянова Т. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАПІЗНЕННЯ НА ХАРАКТЕР СТІЙКОСТІ ОСОБЛИВИХ ТОЧОК В МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ ПРИРОДЖЕНОГО ІМУНІТЕТУ.	425
67.	Коновальчук М., Оношко Н. ВИКЛИКИ СУЧАСНОГО СВІТУ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗВИТКУ SOFT SKILLS МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ.	435
68.	Кузема Я. О., Шевченко Т. В. КРИМІНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБИСТОСТІ ЗЛОЧИНЦЯ-РЕЦИДИВІСТА.	445
69.	Лакно О. В., Цівенко О. І., Назаренко А. О. ВІКОВИЙ ДЕФІЦИТ АНДРОГЕНІВ У ЧОЛОВІКІВ З ЦУКРОВИМ ДІАБЕТОМ 2 ТИПУ ТА НА ШЕМИЧНУ ХВОРОБУ СЕРЦЯ.	448

МАГНІТНІ ДАТЧИКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

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

Анотація: В роботі розглянуто фізичні основи роботи та області застосування магнітних датчиків у якості пристроїв автоматики. Проведено порівняння властивостей датчиків на основі ефектів анізотропного (AMR), гігантського (GMR) та тунельного магнітоопору (TMR).

Ключові слова: магнітний датчик, анізотропний магнітоопір, гігантський магнітоопір, тунельний магнітоопір

З розвитком технічних засобів автоматики та автоматизації датчики є одним з основних елементів ланцюжка "датчик – пристрій керування - виконавчий пристрій – керований об'єкт. Основні види класифікації датчиків – за вимірюваним параметром (датчики тиску, витрати, концентрації, рівня, температури, переміщення, вібрації тощо) і за принципом дії (механічні, оптичні, ємнісні, п'єзоелектричні і магнітні та ін.) Магнітні датчики широко застосовуються в банкоматах, детекторах валют, апаратах для зчитування даних магнітної смуги на карті, магнітних сканерах, комп'ютерах, стільникових телефонах. У машинобудуванні та автомобілебудуванні вони використовуються для визначення швидкості, положення обертового вала електродвигуна, зміни лінійного і кутового положення. Використання

магнітних датчиків в електроенергетиці пов'язане з задачами визначення струмів та вимірюванням магнітних полів.

Принцип дії магнітних датчиків базується на магніторезистивному ефекті та ефекті Холла. Магніторезистивний ефект (магнітоопір) в загальному випадку – це зміна електричного опору матеріалу, що викликається магнітним полем. Магніторезистивний ефект буває кількох видів, і кожен з них має різну природу. При конструюванні датчиків найчастіше застосовуються анізотропний магніторезистивний ефект (AMR), ефекти гігантського (GMR) та тунельного (TMR) магнітоопору.

Датчики на основі AMR-ефекту

AMR-ефект був відкритий у 1856 р В. Томсоном (лордом Кельвіном), а складна кількісна теорія ефекту була в цілому побудована в середині ХХ століття. AMR-ефект є за своєю природою квантово-механічним і полягає в зміні опору зразка феромагнітного матеріалу в залежності від кута між напрямком вектора намагніченості зразка і напрямком протікання електричного струму, а також від величини індукції магнітного поля. Крім цього, суттєвим є і те, під яким кутом тече струм по відношенню до деякого виділеного напрямку кристалічної решітки монокристалічного зразка, яке називають віссю легкого намагнічування (уздовж нього початково орієнтовані магнітні домени).

Напрямок осі легкого намагнічування задається при виготовленні датчика методом осадження з підмагнічуванням. Для створення магніторезисторів використовують тонкі плівки феромагнітних металів і сплавів (найчастіше пермалою) з метою одержання великого опору та одноосьової анізотропії. При цьому товщина плівки в AMR-датчиках становить лише кілька десятків нанометрів. З цих умов плівка є однодоменною за товщиною, а вектор намагніченості лежить в площині плівки і може здійснювати поворот лише в цій площині. В якості підкладки використовуються кремній, скло або кераміка. Останнім часом найчастіше використовується кремній, оскільки це дозволяє інтегрувати на єдину підкладку, крім магніторезистора, інші схемні напівпровідникові елементи.

Перпендикулярно осі легкого намагнічування (але також в площині півки) в пермалой лежить вісь важкого намагнічування.

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.

AMR-датчики функціонують в двох режимах. В першому датчики працюють в режимі насичення і призначені для вимірювання повороту напрямку вектора напруженості зовнішнього магнітного поля (на цьому базується робота датчиків кута повороту), в другому величина напруженості зовнішнього магнітного поля менша значення, достатнього для насичення. Такий режим називають ненасиченим. Він використовується для побудови порогових та лінійних AMR-датчиків (датчиків з лінійною передавальною характеристикою).

Гістерезис (залежність $M(H)$) при AMR-ефекті також носить анізотропний характер: він зникає вздовж напрямку осі важкого намагнічування і яскраво виражений уздовж осі легкого намагнічування при напрямку струму, що збігається з цією віссю.

В режимі насичення напрямки векторів H і M збігаються. При цьому, вимірюючи напрямок вектора M , можна визначити напрямок вектора зовнішнього поля H .

При довільному куті α між вектором намагніченості M та струмом зовнішнє магнітне поле з напруженістю H змінює базовий (мінімальний) опір півки. На рис. 1 показано залежність зміни опору відносно мінімального як функції кута α для насиченого режиму.

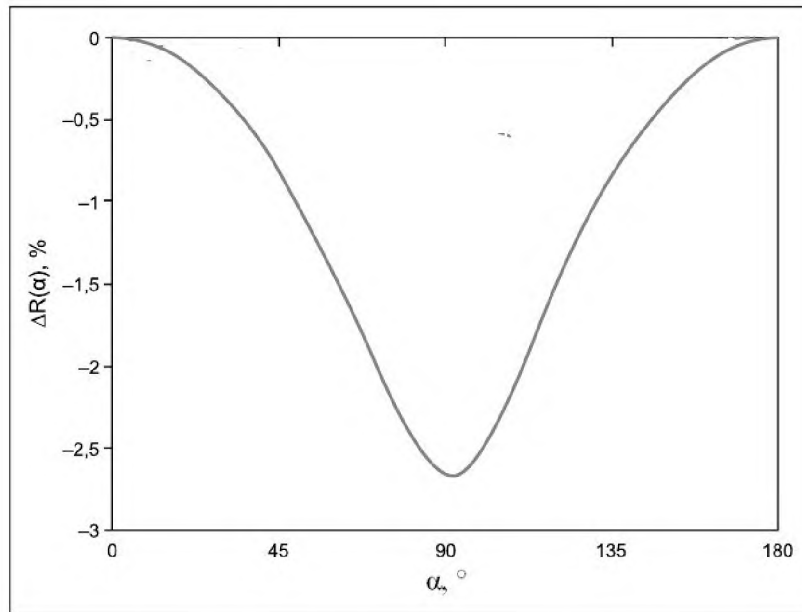


Рис. 1. Залежність зміни опору AMR-датчика в режимі насичення від кута між вектором напруженості магнітного поля і струмом

Форма експериментальної кривої $\Delta R(\alpha)$ для насиченого режиму добре описується формулою:

$$\Delta R(\alpha) = \Delta R_{\max} \cos^2 \alpha ,$$

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

Зміна опору плівки при цьому описується формулою [1]:

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

При повороті Н в напрямку збільшення α опір зразка зменшується.

Якщо зовнішнє поле Н за модулем не досягає значення, потрібного для насичення, то виміряна форма кривої $\Delta R(\alpha)$ відрізняється від наведеної. Цю залежність не можна використати для вимірювання напрямку магнітного поля, однак за нею можна визначати величину зовнішнього поля.

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. Перевагами магніторезистивних датчиків є: широкий діапазон робочих температур ($\pm 100^\circ\text{C}$), відсутність

магнітного дрейфу, простота, надійність, довговічність.

Датчики на GMR-ефекті

Магніточутливі елементи з GMR-ефектом формуються на основі наноструктурованих багатошарових тонких плівок. Вони представляють собою багатошарові структури, в яких феромагнітні шари чергуються з немагнітними. Вперше гігантський магнітоопір був виявлений в штучно створеній магнітній надрешітці Fe/Cr у 1988 р. [2]. Величина $\delta = \Delta R/R_0$ ($\Delta R = R(H) - R_0$, де $R(H)$ – опір зразка в зовнішньому магнітному полі напруженістю H , R_0 – опір зразка при відсутності зовнішнього магнітного поля) при $T = 4,2$ К в полі $H \sim 20$ кЕ перевищувала 90% (рис. 2). Аналогічний, хоча й значно менший ефект, одночасно був виявлений у тришаровій системі Fe/Cr/Fe.

У таких мультишарових плівках феромагнітні шари (Fe з товщиною ~ 30 Å) чергувалися з неферомагнітними шарами (Cr з товщиною 9-18 Å). Магнітні моменти феромагнітних атомів в межах одного шару паралельні, а магнітні моменти сусідніх шарів орієнтовані антипаралельно (антиферомагнітно). У магнітному полі, що перевищує деяке поле насичення H_s , і яке прикладене в площині плівки, антиферомагнітний обмінний зв'язок між магнітними моментами шарів Fe руйнується і магнітні моменти різних феромагнітних шарів виявляються паралельними. Магнітне поле, яке викликає цей перехід, складає досить велику величину $H \sim 20$ кЕ. В результаті стрибкоподібної переорієнтації магнітних моментів електричний опір різко зменшується (рис. 2), оскільки його величина при паралельній орієнтації моментів (у феромагнітній структурі) набагато менша, ніж при антипаралельній (в антиферомагнітній структурі).

Механізм гігантського магнітоопору пояснюється неоднаковим розсіюванням двох груп електронів зі спінами, що відрізняються орієнтацією по відношенню до напрямку намагніченості магнітної структури. Для реалізації цього механізму необхідно, щоб середні довжини вільного пробігу істотно розрізнялися для електронів з протилежними напрямками спінів. Така ситуація спостерігається в 3d-феромагнітних металах, де внаслідок обмінного

розщеплення $3d^+$ - і $3d^-$ -зон виникають відмінності в густині незайнятих станів, в які розсіюються електрони із спінами "вгору" і "вниз". Це призводить до появи залежності ймовірності розсіяння від напрямку спіну електронів. В результаті електрони із спіном "вгору" слабо розсіюються, а електрони із спіном "вниз" - сильніше. Розсіюючими центрами для цих електронів є магнітні неоднорідності, дефекти кристалічної решітки, межі зерен, теплові коливання решітки (фонони). Відношення довжин вільного пробігу цих двох груп електронів в мультишарових структурах становить $\sim 5-10$ разів.

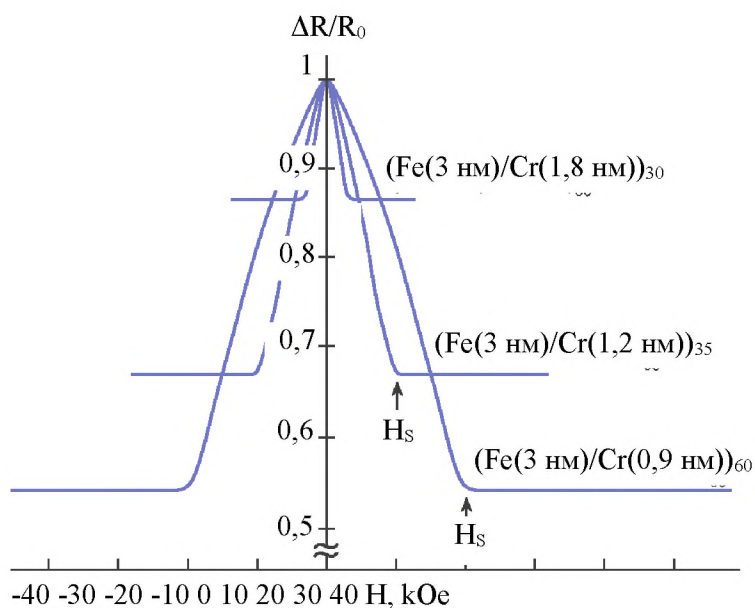


Рис. 2. Відносна зміна опору в магнітному полі для мультишарів Fe/Cr при 4,2 К [2]

GMR-датчики знаходять застосування для зчитування інформації, детектування лінійного, обертального переміщення або зміщення об'єктів, регулювання моменту впорскування палива, визначення положення важеля керування двигуном і ін. У промисловому обладнанні вони використовуються для виявлення намагнічених об'єктів, отворів в пластинах феромагнетиків, реєстрації присутності або відсутності провідних елементів, наявності в них дефектів, для вимірювання електричного струму. В медицині вони використовуються для контролю магнітних полів, контролю положення тіла, для отримання біопроб та вивчення ДНК або концентрації антитіл в крові

пацієнта.

Датчики на основі TMR-ефекту

Датчики виготовляються з використанням тонкоплівкової технології. Вони являють собою тонкоплівковий елемент, в якому бар'єрний шар діелектрика знаходиться між двома феромагнітними шарами (вільним і з рпн-переходом). Магнітна орієнтація шару з рпн-переходом задана жорстко, а орієнтація вільного шару може змінюватися відповідно до напрямку зовнішнього магнітного поля. Електричний опір TMR-елемента змінний і залежить від магнітної орієнтації вільного шару. Коли магнітні орієнтації вільного шару і шару з рпн-переходом паралельні, опір мінімальний, і через бар'єрний шар тече найбільший струм. В іншому випадку, коли магнітні орієнтації вільного шару і шару з рпн-переходом антипаралельні, опір стає великим, і струм через бар'єрний шар практично не йде (рис. 3). Елементи TMR мають ідеальні резистивні характеристики, які практично повністю запобігають рух електронів через бар'єрний шар. На відміну від GMR-датчиків, в яких струм проходить вздовж шарів, в TMR-пристроях проходження струмі відбувається в поперечному до площини плівки напрямку.

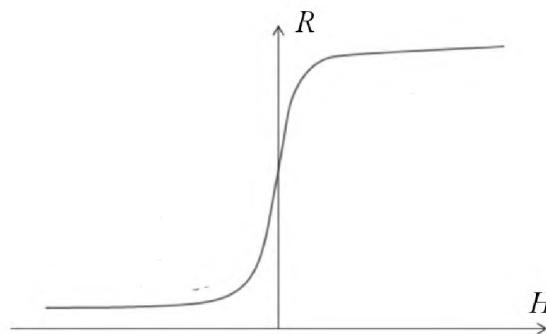


Рис.3. Зміна опору TMR-датчика

Пристрої такого типу використовуються в якості зчитуючих головок жорстких дисків. Датчики TMR знаходять застосування також як датчики положення: кут повороту рульового колеса, відкриття педалі, відкриття дросельної заслінки, положення двигунів склоочисників тощо. Датчики TMR застосовуються, зокрема, в колонках рульового управління автомобілів для

підвищення точності парковки в автоматичному режимі і реалізації повністю автономного водіння.

До переваг таких датчиків відноситься висока точність вимірювань при низькому ступені зносу, менший температурний дрейф, більш повільне старіння, компактність конструкції, низький рівень споживання енергії, діапазон чутливості (від 0° до 360°).

Порівняння характеристик AMR, GMR та TMR-датчиків показує, що для останніх зміна опору має найбільше значення (порядку 3% для AMR, 12% для GMR і до 100% для TMR-ефекту). Разом з цим датчики на AMR мають більш просту будову і меншу вартість, а їх передавальна характеристика може бути зведена до лінійної за рахунок з'єднання кількох датчиків, що розширює можливості їх застосування.

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. Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices / Baibich M.N., Broto J.M., Fert A. et all. // Phys. Rev. Lett. – 1988. – 61, № 21. – P. 2472-2476.