



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **136613** (13) **U**
(51) МПК
G01R 33/09 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2019 02456	(72) Винахідник(и): Шабельник Юрій Михайлович (UA), Чешко Ірина Володимирівна (UA), Логвинов Андрій Миколайович (UA), Ткач Олена Петрівна (UA), Проценко Сергій Іванович (UA)
(22) Дата подання заявки: 13.03.2019	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.08.2019	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.08.2019, Бюл.№ 16	(73) Власник(и): СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)

(54) ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ МЕТАЛЕВИЙ ЕЛЕМЕНТ ГНУЧКОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ СПІН-КЛАПАННОГО ТИПУ

(57) Реферат:

Функціональний металевий елемент гнучкої електроніки спін-клапанного типу виконаний у вигляді паралелепіпеда із багатошарової металевої плівки, що складається з магнітних і немагнітних шарів металів, на діелектричній підкладці. Багатошарова металева плівка сформована з немагнітного адгезійного шару Cr товщиною 3 нм, двох контактних немагнітних шарів (нижнього і захисного верхнього) Au товщиною по 10 нм, нижнього функціонального магнітного шару Co товщиною 20 нм, додатково відпаленого до 950 К, верхнього функціонального магнітного шару, виконаного у вигляді мультишару $[Co/Cu]_n$, в якому Co і Cu мають товщину по 3 нм, де $n=4-14$ кількість повторів фрагменту мультишару, а також немагнітного шару Si товщиною 6 нм, та отримана методом пошарової конденсації з наступною термообробкою до температури $T_b=700$ К, причому діелектрична підкладка виконана із тефлону товщиною від 0,5 до 2 мм.

UA 136613 U

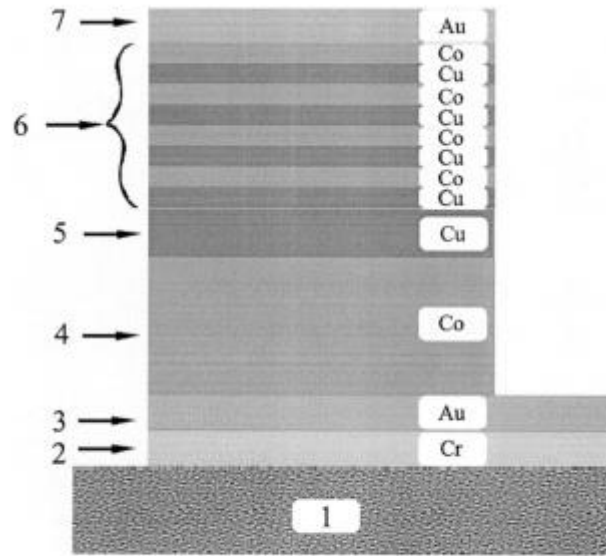


Fig. 1

Корисна модель належить до технологій виготовлення функціональних металевих елементів гнучкої електроніки спін-клапанного типу, направлена на створення нової та вдосконалення існуючої елементної бази пристроїв, робота яких базується на зміні опору металевій наноструктурі під впливом зовнішнього магнітного поля за рахунок спін-залежного розсіювання електронів (СЗРЕ).

Запропонована багатофункціональна структура включає використання лише металевих компонент та може бути використана для потреб гнучкої електроніки при створенні спінових діодів та транзисторів, спінових ізоляторів, комірок оперативної магніторезистивної пам'яті, чутливих елементів сенсорів магнітного поля тощо. Дана модель виготовляється на гнучких вакуумцільних підкладках (наприклад із полістиролу, поліаніонової целюлози, поліефірефіркетону, полінонборнену, 1D вуглецевих наноструктур тощо).

Аналогом запропонованої корисної моделі є чарунка пам'яті для запису, зберігання та зчитування однібітової інформації [1], що є функціональним елементом магніторезистивної пам'яті з довільним доступом (MRAM), яка реалізована шляхом наноструктурування плівки манганіту з утворенням магнітних гранул. Недоліком цього функціонального елемента є проблема випадкового намагнічення манганітової плівки, що знижує достовірність запису, зберігання, зчитування однібітової інформації. Запропонована корисна модель може виконувати подібні функції, але реалізована на інших фізичних принципах, зокрема спін-залежному розсіюванні електронів у плівкових магнітних металевих багат шарових наноструктурах.

Відомим близьким аналогом для формування подібних функціональних елементів є гетероструктури [2], що складаються з по чергово нанесених магнітних (напівмагнітних) та немагнітних матеріалів. Контактими виступають магнітні матеріали, а між ними розміщується немагнітний прошарок. Недоліком структур Co-Fe-Si-B, Co-Ni-B на основі Co, що розділені прошарком Ni [2], є товщини окремих шарів, які становлять 10-20 нм. Відомо, що максимальна величина магнітоопору (МО) серед металевих наноструктур спостерігається у мультишарах на основі Co і Cu та Fe і Cr. А стабільність характеристик спостерігається в структурах із товщиною окремих шарів до 2-3 нм (див., наприклад, [3-4]), в той час, коли в області більших товщин спостерігається погіршення показників [5].

Одним із варіантів формування плівкових структур із стабільними магніторезистивними характеристиками є псевдо-спін-клапани, що складаються лише з двох магнітних шарів з різною коерцитивністю, які розділені немагнітним прошарком. У роботі [6] розглядаються характеристики модифікованих псевдо-спін-клапанів на основі Co і Cu, коли один з магнітних шарів замінюється мультишаром $[Co/Cu]_n$, що дозволяє збільшити термічну стійкість всієї приладової плівкової структури. Крім цього мультишар у складі такої системи спін-клапанного типу може працювати самостійно, що значно розширює функціональність такої структури, як приладового елемента спінтроники або функціонального елемента гнучкої електроніки.

Також відомий чутливий елемент тензодатчика [7], який конструктивно складається з багат шарової металеві плівки на діелектричній підкладці, отриманої методом пошарової вакуумної конденсації. Недоліками таких чутливих елементів є складність технології виготовлення, недостатня часова стабільність, низькі робочі температури.

Найближчим аналогом є чутливий елемент плівкового сенсора магнітного поля [8], виконаний у вигляді паралелепіпеда з металевого матеріалу багат шарової плівки, на діелектричній підкладці. Багат шарова плівка, принаймні тришарова, складається з магнітних (Fe або Co) і немагнітних (Cr, Cu, Pd або Pt) шарів металів, які поперемінно чергуються.

Цей елемент працює в інтервалі магнітних полів 0-1 Тл і має такі робочі характеристики: величина МО: 0,06 0,30 % (поздовжня геометрія вимірювання); 0,07 0,40 % (поперечна геометрія) і 0,04 0,25 % (перпендикулярна геометрія). Величина анізотропного магнітоопору для різних плівкових систем змінюється в інтервалі 1,5-3,5 %.

Проте чутливий елемент за найближчим аналогом має недолік, який полягає в тому, що багат шарова металева плівка з довільним чергуванням окремих шарів не завжди дозволяє сформувавши матеріал із спін-залежним розсіюванням електронів. Це приводить до нерівномірного перерозподілу магнітної компоненти, що зменшує долю спін-залежного розсіювання в загальну величину опору плівки.

В основу корисної моделі поставлена задача створення нової структури функціонального металевого багат шарового плівкового елемента, що досягається використанням металеві багат шарової плівкової наносистеми спін-клапанного типу у поєднанні з мультишаром, що дозволяє забезпечити вимірювання МО в широкому температурному інтервалі і слабких магнітних полях за рахунок реалізації СЗРЕ.

Поставлена задача вирішується тим, що у функціональному металевому елементі гнучкої електроніки спін-клапанного типу, що виконаний у вигляді паралелепіпеда із багат шарової металевої плівки, яка складається з магнітних і немагнітних шарів металів, на діелектричній підкладці, згідно з корисною моделлю, багат шарова металева плівка сформована з немагнітного адгезійного шару Cr товщиною 3 нм, двох контактних немагнітних шарів (нижнього і захисного верхнього) Au товщиною по 10 нм, нижнього функціонального магнітного шару Co товщиною 20 нм, додатково відпаленого до 950 К, верхнього функціонального магнітного шару, виконаного у вигляді мультишару $[Co/Cu]_n$, в якому Co і Cu мають товщину по 3 нм, де $n=4-14$ - кількість повторів фрагменту мультишару, а також немагнітного шару Cu товщиною 6 нм, та отримана методом пошарової конденсації з наступною термообробкою до температури $T_b=700$ К, причому діелектрична підкладка виконана із тефлону товщиною від 0,5 до 2 мм.

Гнучкість конструкції надає використання тефлонової підкладки, а металева наноструктура забезпечує стабільність електричних параметрів елемента при різних деформаціях, що дозволяє використання його у різноманітних сенсорних пристроях в широкому температурному інтервалі.

Верхній шар золота забезпечує захист від фізичного зовнішнього впливу та разом з нижнім контактним шаром забезпечує електричний контакт у поперечній або поздовжній геометрії пропускання струму через функціональний елемент. Зазначена вище структура отримується шляхом пошарової конденсації з наступною термообробкою до температури 700 К, що дозволяє працювати функціональному елементу в широкому температурному інтервалі 300-700 К (за рахунок високої термічної стабільності наноструктури) і в магнітних полях 0-0,5 Тл. Товщина 6 і 20 нм функціональних шарів Cu і Co була вибрана з урахуванням максимальної різниці їх коерцитивності на основі попередніх експериментальних досліджень наведених в роботі [9]. Також, згідно з цими дослідженнями, нижній функціональний магнітний шар Co після формування додатково відпалюється до температури 950 К, що закріплює його магнітну доменну структуру та підвищує його магнітожорсткість.

Таким чином забезпечується вимірювання магнітоопору в широкому температурному інтервалі і слабких магнітних полях за рахунок реалізації спін-залежного розсіювання електронів, що обумовлює високу термічну стабільність і незалежність опору чутливого елемента від орієнтації зовнішнього магнітного поля. Гнучкість конструкції дозволяє використовувати функціональний елемент при різних деформаціях.

На фіг. 1 схематично зображена будова функціонального елемента гнучкої електроніки спін-клапанного типу.

На фіг. 2 показано можливі схеми включення функціонального елемента гнучкої електроніки спін-клапанного типу в електричне коло: перпендикулярне (а) та поздовжнє (б) пропускання електричного струму.

На фіг. 3 та 4 наведено залежність величини МО від індукції зовнішнього магнітного поля для плівкових структур спін-клапанного типу.

Конструктивно функціональний металевий елемент гнучкої електроніки спін-клапанного типу складається з тонкої металевої багат шарової плівки у вигляді паралелепіпеда наступної будови: 1 - підкладка (П) тефлон товщиною 0,5-2 мм, 2 - плівка Cr (3 нм) - адгезійний підшар (ПШ), 3 - плівка Au (10 нм) - нижній контактний шар (НКШ), 4 - плівка Co (20 нм) - нижній магнітний функціональний шар (МФШ1), 5 - плівка Cu (6 нм) - немагнітний прошарок (НП), 6 - мультишар $[Co(3\text{ нм})/Cu(3\text{ нм})]_n$, де $n=4-14$ кількість повторів фрагменту мультишару верхній контактний магнітний функціональний шар (МФШ2), 7 - плівка Au (10) - захисний верхній контактний шар (ЗВКШ).

Функціональність такої структури забезпечується специфічними властивостями мультишару $[Co(3)/Cu(3)]_n$, підібраними характерними товщинами окремих шарів та режимами їх термообробки. Це обумовлює чутливість електричного опору функціонального елемента до орієнтації та напруженості зовнішнього магнітного поля та його високу термічну стабільність.

Для формування функціонального металевого елемента гнучкої електроніки спін-клапанного типу використовувалась вакуумна установка типу ВУП-5М (тиск залишкової атмосфери $p=10^{-3}-10^{-4}$ Па) електронно-променевим (для шарів Co) та терморезистивним (для шарів Au, Cu, Cr) методами на діелектричну підкладку. Швидкість осадження становила $\omega=0,1-0,2$ нм/с. Контроль фазового складу та структури зразків проводився із використанням електронного мікроскопа ПЕМ-125К. Товщина окремих шарів контролювалась за допомогою кварцового резонатора в процесі конденсації. Для дослідження термічної стабільності фізичних властивостей зразки відпалювалися у вакуумній камері до температури $T_b=700$ К.

Дослідження магнітоопору (МО) запропонованих елементів проводилося при кімнатній температурі з використанням чотириточкової схеми в інтервалі від 0 до 500 мТл [10]. У процесі

вимірювання електричний струм був направлений паралельно площині зразка, а вимірювання магнітоопору здійснювалося у трьох геометріях - поздовжній (лінії магнітної індукції В направлені вздовж напрямку протікання струму), поперечній (лінії В направлені перпендикулярно напрямку протікання струму) та перпендикулярній (лінії В перпендикулярні площині зразка).

5 Величина MO визначалася за співвідношенням:

$$MO = \Delta R / R_0 = (R_B - R_0) / R_0,$$

де R_B і R_0 - опір зразка при заданому полі і при його відсутності.

За отриманим максимальним значенням MO розраховувалася чутливість зразків до магнітного поля за формулою:

10 $S_B = |MO_{max} / \Delta B|,$

де MO_{max} - максимальне значення магнітоопору; ΔB - зміна магнітної індукції від поля насичення B_S до поля розмагнічування.

Робочі характеристики і параметри функціональних елементів наведені на фіг. 2 та 3 і в таблиці 1.

15 На фіг. 3 та 4 наведено залежність величини MO від індукції зовнішнього магнітного поля для плівкових структур спін-клапанного типу $Au(10)/Co(5)/Cu(6)/[Co(3)/Cu(3)]_8/P$ (фіг. 3) та $Au(10)/[Co(3)/Cu(3)]_4/Cu(5)/Co(20)/P$ (фіг. 3) при $T_B=300$ К (фіг. 3 а та фіг. 4 а), 700 К (фіг. 3 б та фіг. 4 б) та 900 К (фіг. 2 в) в перпендикулярній (1), поперечній (2) та поздовжній (3) геометрії вимірювання.

20 Функціональний елемент працює в інтервалі магнітних полів $0-0,5$ Тл і має наступні робочі параметри: максимальні значення MO для перпендикулярної (0,50 %) та поперечної (0,30 %) геометрії спостерігаються при $T_B=900$ К, а для поздовжньої геометрії (0,26 %) - при $T_B=700$ К для плівкової структури $Au(10)/Co(5)/Cu(6)/[Co(3)/Cu(3)]_8/P$. Для структури $Au(10)/[Co(3)/Cu(3)]_4/Cu(5)/Co(20)/P$ значення MO дещо менші і становлять 0,30 %, 0,27 % та 0,12 % відповідно. Така
25 сама ситуація спостерігається і для величини чутливості (S_B), максимальні значення якої становлять $1,4-2,4 \times 10^{-2}$ %/мТл для першого типу структури.

Таблиця

Магнітні характеристики плівкових структур спін-клапанного типу $Au(10)/[Co(3)/Cu(3)]_n/Cu(5)/Co(20)/P$ з різною кількістю повторів фрагменту мультишару n в поздовжній геометрії вимірювання при різних температурах відпалювання

N	T_B , К	ΔB , мТл	$S_B \times 10^2$, %/мТл
2	300	37,4	0,1
	700	129,8	0,1
	900	78,0	0,1
4	300	15,3	1,2
	700	78,4	0,3
	900	123,2	0,2

30 Малі значення чутливості S_B наносистем спін-клапанного типу з використанням мультишарів на основі Co і Cu при більших значеннях MO (таблиця) пов'язані з високою швидкістю переключення з одного магнітного стану в інший.

Таким чином, виготовлення функціонального елемента гнучкої електроніки спін-клапанного типу, у якому один з конструктивних шарів складається з мультишару за наведеною конструкцією та технологією виготовлення дозволяє використовувати його у різноманітних
35 сенсорних пристроях в широкому температурному інтервалі.

Джерела інформації:

1. Патент України на корисну модель № 40781, МПК G01B 7/00, G01R 33/00. Опубл. 27.04.2009. Бюл. № 8.

2. Патент України на корисну модель № 78575, МПК G01R 33/09. Опубл. 25.03.2013. Бюл. № 6.
40

3. Pazukha I.M. Fe/Cr and Cu/Cr film pressure-sensitive elements / I.M. Pazukha, I.Y. Protsenko // Tech. Phys. - 2010. - V. 55, № 4. - P. 571-575.

4. Spin-dependent thermal transport perpendicular to the planes of Co/Cu multilayers / J. Kimling, R.B. Wilson, K. Rott, J. Kimling, G. Reiss, D.G. Cahill // Phys. Rev. B - 2015. - V. 91. - P. 144405.

5. Singha A.K. On the formation of disordered solid solutions in multi-component alloys / A.K. Singha, A. Subramaniam // J. Alloy. Compd. - 2014. - V.587. - P. 113-119.
45

6. 90° magnetic coupling in a NiFe/FeMn/biased NiFe multilayer spin valve component investigated by polarized neutron reflectometry / S.J. Callori, J. Bertinshaw, D.L. Cortie, J.W. Cai, A.P. Le Brun, T. Zhu, F. Klose // J. Appl. Phys. - 2014. - V. 116. - P. 033909.

7. Деклараційний патент України на винахід № 31144, МПК G01BK 7/16. Опубл. 15.12.2000.

5 8. Патент України на корисну модель № 106353, МПК G01B 7/00. Опубл. 25.04.2016. Бюл. № 8.

9. Cheshko I. Magneto-optical and magnetoresistive properties of Co/Cu(Au)-based spin-valve structures / I. Cheshko, S. Protsenko, L. Odnodvoretz // Technical Physics Letters. - 2009. - V. 35, № 10. - P. 903-905.

10 10. Магніторезистивні властивості спін-вентильних структур на основі Co та Cu або Au / М.Г. Демиденко, С.І. Проценко, Д.М. Костюк, І.В. Чешко // Ж. нано- та електрон. фіз. - 2011. - Т. 3, № 4. - С. 106-113.

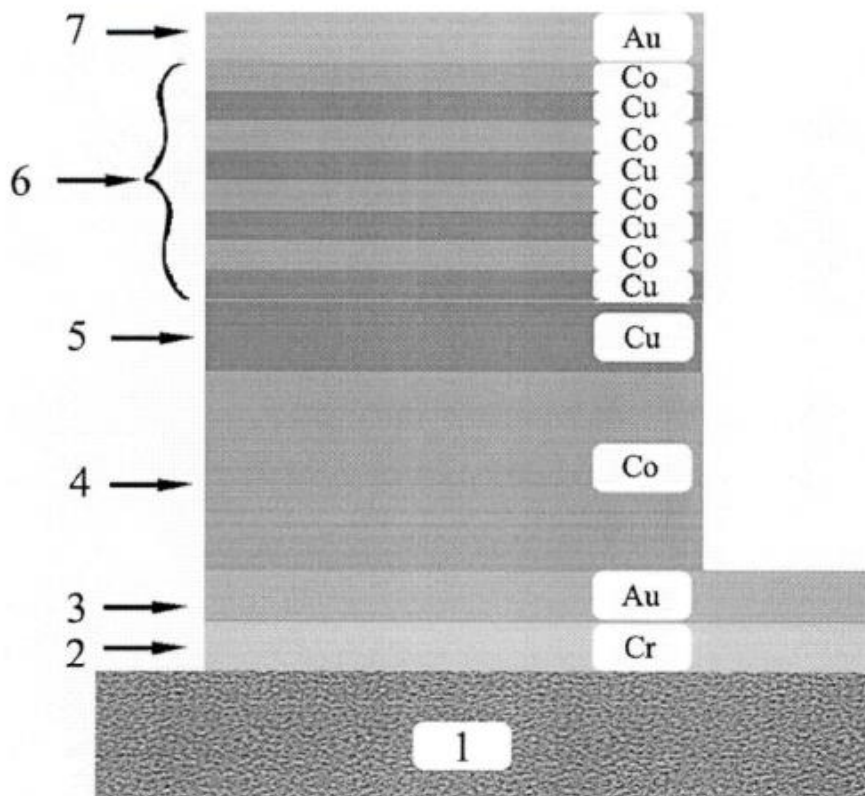
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

15

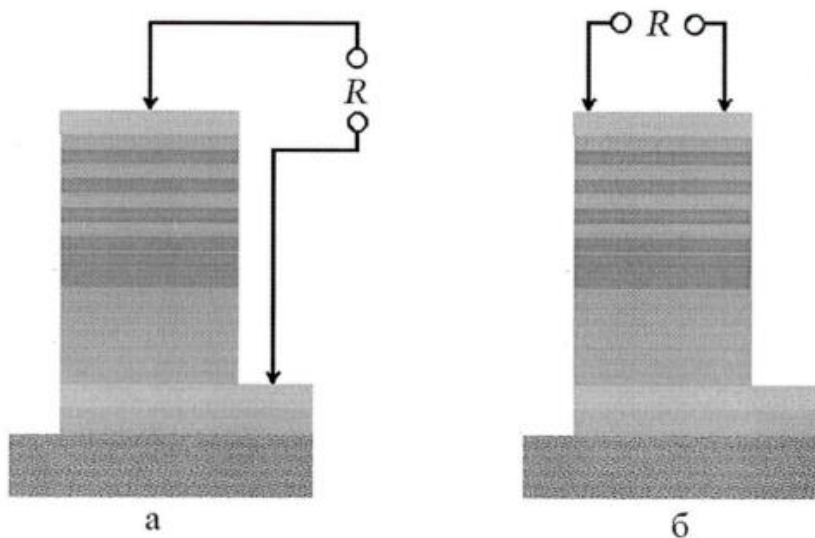
Функціональний металевий елемент гнучкої електроніки спін-клапанного типу, що виконаний у вигляді паралелепіпеда із багат шарової металевої плівки, що складається з магнітних і немагнітних шарів металів, на діелектричній підкладці, який **відрізняється** тим, що багат шарова металева плівка сформована з немагнітного адгезійного шару Cr товщиною 3 нм, двох контактних немагнітних шарів (нижнього і захисного верхнього) Au товщиною по 10 нм, нижнього функціонального магнітного шару Co товщиною 20 нм, додатково відпаленого до 950 К, верхнього функціонального магнітного шару, виконаного у вигляді мультишару [Co/Cu]_n, в якому Co і Cu мають товщину по 3 нм, де n=4-14 кількість повторів фрагменту мультишару, а також немагнітного шару Cu товщиною 6 нм, та отримана методом пошарової конденсації з наступною термообробкою до температури T_в=700 К, причому діелектрична підкладка виконана із тефлону товщиною від 0,5 до 2 мм.

20

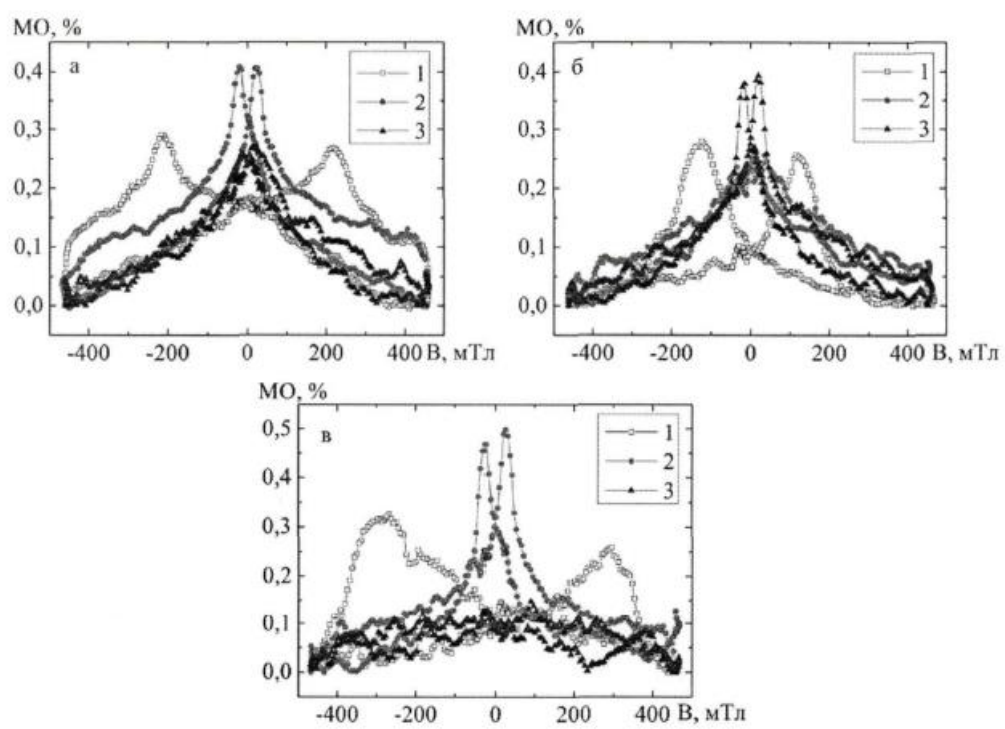
25



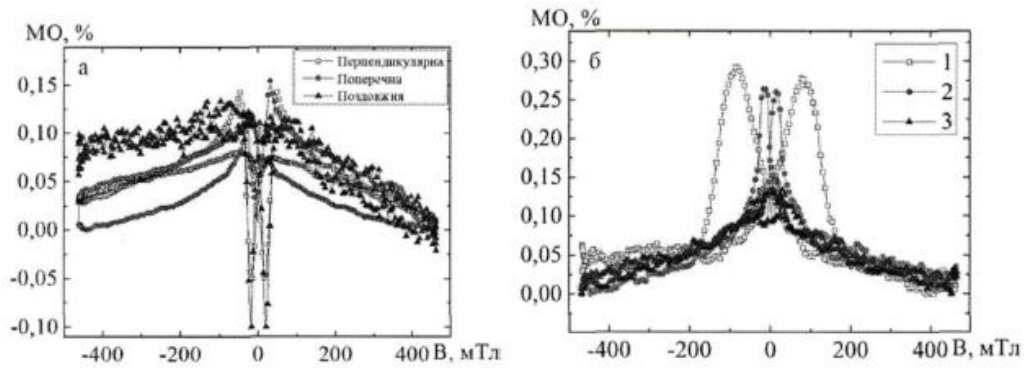
Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка С. Чулій

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601