



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **106353** (13) **U**

(51) МПК (2016.01)

G01B 7/00**G01R 33/02** (2006.01)**H01F 10/10** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ****(21)** Номер заявки: **u 2015 09908****(22)** Дата подання заявки: **12.10.2015****(24)** Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **25.04.2016****(46)** Публікація відомостей
про видачу патенту: **25.04.2016, Бюл.№ 8****(72)** Винахідник(и):**Проценко Іван Юхимович (UA),
Однодворець Лариса Валентинівна (UA),
Непийко Сергій Олексійович (DE),
Шенхенсе Герд (DE),
Кондрахова Дар'я Миколаївна (UA)****(73)** Власник(и):**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми,
40007 (UA)****(54) ЧУТЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ ПЛІВКОВОГО СЕНСОРА МАГНІТНОГО ПОЛЯ****(57)** Реферат:

Чутливий елемент сенсора магнітного поля 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 (O, Cu, Pd або Pt) шарів металів, які поперемінно чергуються.

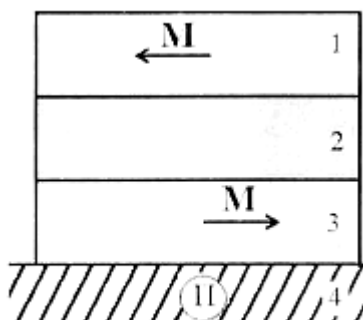


Fig. 1

UA 106353 U

Корисна модель належить до сенсорної техніки, зокрема, до матеріалів чутливих елементів сенсорів магнітного поля, призначених для використання в магнітометрії, а саме, для вимірювання магнітних характеристик, визначення кута повороту і положення об'єкта, вимірювання частоти обертання, деформації зразків.

Останнім часом намітився значний прогрес у формуванні багатошарових плівок та штучно створених магніто-неоднорідних структур як матеріалів для виготовлення чутливих елементів плівкових сенсорів. Тонкоплівкові магніторезистивні матеріали, в яких спостерігається магнітоопір (МО), анізотропний магніторезистивний ефект (АМО) і ефект гігантського магнітоопору (ГМО), широко застосовуються для виготовлення накопичувачів інформації великої ємності, вимірювачів малих і великих електричних струмів, магнітометрів, діагностичних пристроїв.

Багатошарові плівки представляють собою систему, в якій чергуються шари феромагнітних (Fe, Co, Ni, Gd та ін.) і парамагнітних (Cr, Cu, Ag, Au, Pd, Pt та ін.) металів [1-3], товщина яких може становити від одиниць до десятків нанометрів. У таких плівкових матеріалах можлива реалізація ефектів ГМО або АМО, їх унікальні властивості використовуються [4-7] в різних електронних пристроях (магніторезистивні голівки, магнітні і магнітооптичні носії запису інформації, спінові діоди і транзистори), біоелектроніки і детекторній техніці. Ефект ГМО в гранульованих плівкових сплавах немагнітний метал - феромагнітний метал знайшов пояснення в цілому ряді робіт в рамках механізму спин-залежного розсіювання електронів (СЗРЕ) на внутрішніх межах поділу або на поверхні гранул [8-10]. ГМО-матеріали на основі Co і Cu успішно використовуються [11] для детектування деформації і переміщення.

До аналогів даної корисної моделі можна віднести чутливий елемент сенсора механічних величин для роботи при температурі рідкого гелію в сильних магнітних полях, який містить ниткоподібний кристал кремнію р-типу з кристалографічною орієнтацією <111>, легований бором з концентрацією $(1-3) \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ при кімнатній температурі [12]. Крім цього, до аналогів також можна віднести чутливий елемент мікроелектронного терморезистивного сенсора для вимірювання криогенних температур в сильних магнітних полях, що містить шар полікремнію з концентрацією носіїв заряду $(4-5) \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при кімнатній температурі, легowanego бором [13].

До недоліків вищевказаних чутливих елементів сенсорів відносяться складна технологія їх формування та низькотемпературний робочий інтервал.

Найближчим аналогом є чутливий елемент тензодатчика на основі багатошарової металевої плівки [14]. Прототип і корисна модель, що заявляється, мають спільним матеріал чутливого елемента сенсора у вигляді багатошарової металевої плівки, отриманої методом пошарової вакуумної конденсації, на діелектричній підкладці.

Проте чутливий елемент за прототипом має недолік, який полягає в тому, що багатошарова металева плівка з довільним чергуванням окремих шарів довільної товщини не завжди дозволяє сформувати матеріал із СЗРЕ, який може бути використаний як чутливий елемент сенсора магнітного поля.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення чутливого елемента сенсора магнітного поля шляхом його виготовлення з тонкої металевої багатошарової плівки, принаймні тришарової, у вигляді магнітний метал/немагнітний метал/магнітний метал, товщиною окремих шарів від 5 до 30 нм, що дозволяє проводити вимірювання магнітоопору (МО) в широкому температурному інтервалі 300-1000 К і слабких магнітних полях 0-1 Тл за рахунок незалежності опору чутливого елемента від орієнтації зовнішнього магнітного поля та його високої термічної стабільності.

Поставлена задача вирішується тим, що в чутливому елементі сенсора магнітного поля, виконаного у формі паралелепіпеда з металевого матеріалу - багатошарової плівки, на діелектричній підкладці, згідно з корисною моделлю, багатошарова плівка, принаймні тришарова, складається з магнітних (Fe або Co) і немагнітних (Cr, Cu, Pd або Pt) шарів металів, які поперемінно чергуються і мають товщину 5-30 нм, та отримана методом пошарової конденсації з подальшою термообробкою в інтервалі температур 300-1000 К.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак корисної моделі і технічним результатом полягає в наступному.

У багатошарових плівках, які можна використовувати як чутливий елемент сенсора магнітного поля, реалізується гранульований стан і, як наслідок, СЗРЕ, що обумовлює незалежність опору чутливого елемента від орієнтації зовнішнього магнітного поля, та його висока термічна стабільність.

Шари товщиною меншою 5 нм є структурно несучільними і це буде обумовлювати їх великий електричний опір, а при товщинах більше 30 нм величина МО буде зменшуватись у

зв'язку із відносно великим розміром кристалітів, що обумовить менш ефективне розсіювання електронів на межах кристалітів.

На фіг. 1 схематично зображена будова чутливого елементу сенсора магнітного поля.

Чутливий елемент представляє собою тришарову плівку, яка складається із двох шарів 1 і 3 магнітного металу (Fe або Co), між якими розташований шар 2 немагнітного металу (Cr, Cu, Pd, або Pt), нанесених пошарово у вакуумі на діелектричну підкладку 4 методом пошарової конденсації з наступною термообробкою в інтервалі температур 300-1000 К. Товщина окремих шарів змінювалась від 5 до 30 нм. Загальна товщина чутливого елемента не перевищувала 100 нм.

Для отримання тришарових плівок використовувалась вакуумна установка типу ВУП-5М (тиск залишкової атмосфери $p=10^{-3}-10^{-4}$ Па). Формування чутливого елементу (фіг. 1) проводилося електронно-променевим (Co) та терморезистивним (Fe, Cr, Pd, Pt) методами на діелектричній підкладці (П).

Швидкість конденсації металів регулювалась зміною величини електричного струму (прилад SM 7020-D) і складала 1,0-1,5 нм/с. Конденсація плівок проводилась з використанням випарників двох типів: тиглів із Al_2O_3 та молібденових човників або дротин, шляхом пошарової конденсації з наступною термообробкою в інтервалі температур $T_b=300-1000$ К протягом трьох термостабілізаційних циклів "нагрів \leftrightarrow охолодження". За допомогою цифрових мультиметрів типу UT70D та UT70B контролювалися відповідно електричний опір (точність $\pm 0,05$ %) плівок та температура (точність ± 1 К) підкладки, при використанні хромель алюмелевої термопари. Експериментальні дані з мультиметрів через інтерфейс RS232 (RS485) передавалися на комп'ютер. Товщини плівок контролювалися in situ методом кварцового резонатора (точність 10 %), для чого використовувалися промисловий резонатор типу РГ-08 з частотою 10 МГц, генератор електричних коливань та частотомір ЧЗ-54. Магнітоопір тришарових плівок досліджувався за допомогою методів високоточної резистометрії за чотириточковою схемою при трьох взаємних орієнтаціях магнітного поля відносно площини підкладки і напрямку протікання струму: поздовжній магнітне поле паралельне струму і зразку ($B \parallel I$, П), поперечний поле перпендикулярно струму та паралельно зразку ($I \perp B \parallel P$) та перпендикулярній лінії магнітної індукції перпендикулярні до струму та зразку ($B \perp I$, П), де B - індукція магнітного поля, I - електричний струм і П - підкладка. Розрахунок максимальних величин МО та АМО проводився за співвідношеннями:

$$MO = R(B_s) - R(0) / R(0), \quad (1)$$

$$AMO = 3[R(B_s) - R(0)] / [R(0)_n + 2 R(0)_r], \quad (2)$$

де $R(0)$ і $R(B_s)$ - опір плівки без дії магнітного нуля та у полі насичення відповідно.

Залежності МО від величини індукції магнітного поля були побудовані в автоматизованому режимі за такою схемою: на зовнішні контакти подавався постійний електричний струм величиною 1 мА, напруга знімалася із внутрішніх контактів вольтметром НР-34401А, величина індукції магнітного поля між котушками індуктивності контролювалась датчиком Холла магнітометра НТМ-11S і становила величину до 1,0 Тл. Результати вимірювання досліджуваних величин передавалися по інтерфейсу GPIB-RS-232 з приладів на комп'ютер і оброблялися з використанням програмного забезпечення, що було створене в середовищі LabView. Чутливість МО до величини індукції магнітного поля розраховувалась за співвідношенням:

$$S_B = MO / \Delta B, \quad \% / \text{Тл}. \quad (3)$$

Робочі характеристики і параметри чутливих елементів сенсорів магнітного поля наведені на фіг. 2 та в таблицях 1 і 2.

На фіг.2 наведено залежність величини МО від індукції зовнішнього магнітного поля для плівкової системи Fe(15 нм)/Cr(5 нм)/Fe(15 нм)/П: невідпаленої (а, б) і відпаленої до $T_b=500$ (фіг. 2 в, г) і 900 К (фіг. 2 д, е) у двох геометріях вимірювання поздовжній (фіг. 2 а, в, д) і поперечній (фіг. 2 б, г, е).

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

Таким чином, виготовлення чутливого елемента сенсора магнітного поля з багатшарової плівки, принаймні тришарової, що складається з магнітних і немагнітних шарів металів, товщиною від 5 до 30 нм дозволяє реалізувати спін-залежне розсіювання електронів, що обумовлює високу термічну стабільність і незалежність опору чутливого елемента від орієнтації зовнішнього магнітного поля. Це забезпечує проведення вимірювання магнітоопору в широкому температурному інтервалі 300-1000 К і слабких магнітних полях 0-1 Тл.

Таблиця 1

Робочі параметри чутливого елемента сенсора магнітного поля

Матеріал чутливого елемента	Товщина (d) шарів, нм	МО, % формула (1)			S _B , %/Тл, формула (3)	Області застосування
		орієнтація вектора магнітного поля відносно струму				
		про- дольна	поперечна	перпенди- кулярна		
Fe/Cr/Fe	d _{Fe} =10-20; d _{Cr} =5-20	0,30	0,40	0,10	2,0-2,2	Чутливі елементи індукційних магнітних сенсорів
Fe/Cu/Fe	d _{Fe} =10-20; d _{Cu} =5-20	0,12	0,15	0,05	1,4-2,5	Первинні перетворювачі сенсорів магнітного поля
Fe/Pt/Fe	d _{Fe} =10-30; d _{Pt} =5-25	0,06	0,07	0,04	0,5-1,2	Системи для надщільного запису інформації
Fe/Pd/Fe	d _{Fe} =5-10; d _{Pd} =5-10	0,12	0,10	0,05	0,8-1,0	Системи для надпильного запису інформації
Co/Cu/Co	d _{Co} =5-20; d _{Cu} =5-20	0,25	0,30	0,25	4,0-7,0	Чутливі елементи аналогових та цифрових схем для швидкого реагування на зміну магнітного потоку та АМР-сенсорів
Co/Cr/Co	d _{Co} =5-20; d _{Cr} =5-20	0,10	0,15	0,25	1,6-3,2	Чутливі елементи аналогових або цифрових мікросхем для фіксації зміни магнітного потоку та АМР-сенсорів

Таблиця 2

Величина АМО в чутливому елементі сенсора магнітного поля при кімнатній температурі

Матеріал чутливого елемента	Загальна концентрація атомів магнітної компоненти, ат. %	АМО, % формула (2)
Fe(20)/Cr(10)/Fe(20)/П	82	1,5
Fe(20)/Cr(15)/Fe(20)/П	75	2,2
Co(10)/Cr(5)/Co(20)/П	89	2,9
Co(45)/Cu(25)/Co(20)/П	74	2,3
Fe(30)/Cu(15)/Fe(30)/П	82	1,6
Fe(20)/Cu(10)/Fe(25)/П	79	3,5

Джерела інформації:

1. Reig C. Low-current sensing with specular spin valve structures / C. Reig, D. Ramirez, H.H. Li, P.P. Freitas // IEE Proc. Circuits Dev. Syst. - 2005. - V. 152. - P. 307-311.
2. Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices / M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert, F.N. Vandau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich, J. Chazelas // Phys. Rev. Lett. - 1988. - V. 61. - P. 2472-2475.
3. Enhanced magnetoresistance in layered magnetic-structures with antiferromagnetic interlayer exchange / G. Binasch, P. Grunberg, F. Saurenbach, W. Zinn // Phys. Rev. B. - 1989. - V. 39. - P. 4828-4830.

4. The influence of anisotropy on the magnetoresistance of permalloy-copper-permalloy thin films / R. Ranchal, M. Torija, E. Lopez, M.C. Sanchez, C. Aroca, P. Sanchez // Nanotechnology. B. - 2002. - V. 13. - P. 392-397.
5. Magnetoresistive immunosensor for the detection of Escherichia coli O157:H7 including a microfluidic network / M. Mujika, S. Arana, E. Castaño, M. Tijero, R. Vilarés, J.M. Ruano-Lopez, A. Cruz, L. Sainz, J. Berganza // Biosens. Bioelectron. B. - 2009. - V. 24. - P. 1253-1258.
6. Lopez-Martin A.J. Performance tradeoffs of three novel GMR contactless angle detectors / A.J. Lopez-Martin, A. Carlosena // IEEE Sens. J. B. - 2009. - V.9. - P. 191-198.
7. Giant magnetoresistance in Fe/Cr superlattices with very thin Fe layers / R. Schad, C.D. Potter, P. Bclien // Appl. Phys. Lett. - 1994. - V. 64, № 25. - P. 3500-3502.
8. Parkin S. S. P. Giant magnetoresistance in antiferromagnetic Co/Cu multilayers / S.S.P. Parkin, Z.G. Li, D.J. Smith // Appl. Phys. Lett. - 1991. - V. 58, № 23. - P. 2710-2712.
9. Структурно-фазовий стан, електрофізичні та магнеторезистивні властивості твердих розчинів у плівкових системах на основі Co і Cu або Ag та Fe і Cr або Cu (огляд) / Д.М. Кондрахова, Ю.М. Шабельник, О.В. Синашенко, І.Ю. Проценко // Успехи физ. мет. - 2012. - Т. 13. - С. 241-267.
10. Магнеторезистивні та магнітооптичні властивості плівкових систем із можливим спін-залежним розсіюванням електронів (огляд) / І.Ю. Проценко, І.В. Чешко, Д.М. Кондрахова, О.В. Пилипенко, Ю.М. Шабельник, О.В. Власенко // Успехи физ. мет. - 2013. - Т. 14. - С. 229-255.
11. Pseudo spin-valve with different spacer thickness as sensing elements of mechanical strain / S. Luby, B. Anwarzai, V. Ač, E. Majkova, R. Senderak // Vacuum. - 2012. - V.86. - P. 718-720.
12. Патент України на корисну модель №11353, МПК G01B 7/16, G01L 9/04, G01L 9/06, B64G 9/00. Опубл. 15.12.2005. Бюл. №12.
13. Патент України на корисну модель № 22368, МПК G01K 7/00. Опубл. 25.04.2007. Бюл. №5.
14. Декларативний патент України на винахід № 31144, МПК G01BK 7/16. Опубл. 15.12.2000.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 30 Чутливий елемент сенсора магнітного поля, що виконаний у вигляді паралелепіпеда з металевого матеріалу багатошарової плівки, на діелектричній підкладці, який **відрізняється** тим, що багатошарова плівка, принаймні тришарова, складається з магнітних (Fe або Co) і немагнітних (O, Cu, Pd або Pt) шарів металів, які поперемінно чергуються і мають товщину 5-30 нм, та отримана методом пошарової конденсації з подальшою термообробкою в інтервалі температур 300-1000 К.

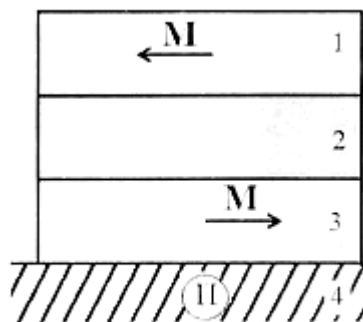
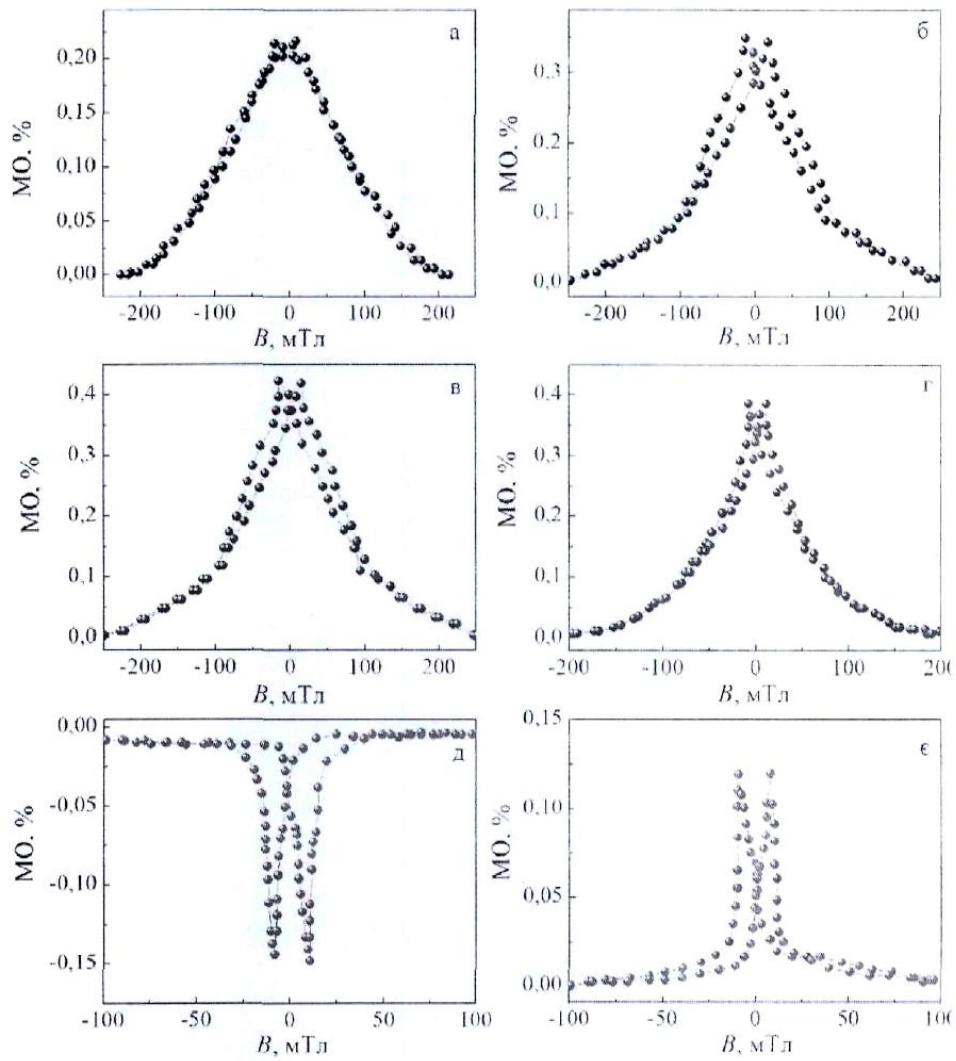


Fig. 1



Фіг.2.

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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