

**МАГНІТООПТИЧНІ ТА МАГНІТОРЕЗИСТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ
ПЛІВКОВИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
НА ОСНОВІ Co I Cu ТА Au**

І.В.Чешко, С.І. Проценко, П. Шіфаловіч*

*Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, Суми, 40007,
Україна*

e-mail: protsenko@aph.sumdu.edu.ua

**Інститут фізики САН, вул. Дубравська, 9, Братислава, 84511, Словаччина*

Запропонована методика формування функціонального елемента спіно-кляпанної структури шляхом пошарової конденсації нанорозмірних Co, Cu, Au та Cr із відповідною послідовністю температурної обробки в процесі осадження. Досліджені магніторезистивні і магнітооптичні властивості та встановлена їх кореляція з структурно-фазовим станом отриманих мікроелектронних структур та їх складових

ВСТУП

Матеріали із спіно-залежним розсіюванням електронів на основі Co і Cu або Au у вигляді мультишарів, плівкових гранульованих сплавів та спіно-кляпанних структур широко застосовуються в сучасному мікроприладуванні та сенсорній техніці [1]. Особливо перспективним є використання таких матеріалів при створенні накопичувачів великої ємності. Відносна простота виготовлення таких структур та широкий спектр можливостей їх застосування пояснює зацікавленість до експериментального і теоретичного дослідження фізичних процесів у даних приладових плівкових структурах. Однак методики виготовлення спіно-кляпанних структур ряду авторів (див., наприклад [2]), базуються лише на результатах дослідження їх магнітотранспортних властивостей, а питанню вивчення особливостей структурно-фазового стану та дифузійних процесів у них та їх зв'язку з електрофізичними властивостями приділено досить мало уваги.

1 ФОРМУВАННЯ СПІНО-КЛЯПАННОЇ СТРУКТУРИ

За результатами дослідження особливостей структурного та фазового стану двошарових плівкових систем на основі матеріалів із спіно-залежним розсіюванням електронів на основі Cu(Au, Ag) і Co[3] нами була вибрана конфігурація функціонального елемента спіно-кляпанної структури у вигляді багатошарової плівкової системи Au(3)/Co(3)/Au(Cu)(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/П (П-підкладка) за аналогією із роботою [4]. Плівкові зразки отримувалися методом термічного випарування в умовах надвисокого вакууму (10^{-7} Па). Як підкладки використовували монокристали Si(001). Робочі магнітні шари Co, що розділені немагнітним прошарком з Cu чи Au товщиною у 6 нм, відрізняються за товщиною: верхнього "м'якого" шару повинна становити приблизно % від товщини нижнього "жорсткого" шару (3 та 20 нм відповідно). Таке поєднання забезпечує функціонування в магнітному полі всього кляпана за схемою, наведені на рис.1. Верхній тонший шар Co більш чутливий до зміни величини магнітного поля, і процес перемагнічування його доменної структури починається при менших значеннях поля. Нижній шар має більший опір до перемагнічування. Явище гігантського магнітоопору (ГМО) саме і проявляється в проміжку величини магнітного поля між початком перемагнічування верхнього і нижнього шару. Причому чим більший цей проміжок, тим більше саме значення ГМО. Допоміжними шарами в нашій структурі є нижній шар Cr, що має велику адгезію і не зміщується

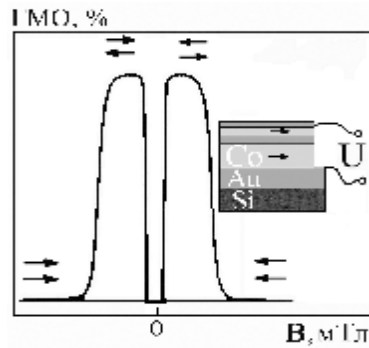


Рисунок 1 – Будова спін-клапана $Au(3)/Co(3)/Au(Cu)(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/\Pi$ та схема його функціонування у магнітному полі. Стрілками зазначені напрямки векторів намагніченості у верхньому і нижньому магнітних шарах

шар отримувався при температурі підкладки 950 К, а верхній - при кімнатній. Підґрунтям для цього стали дослідження магнітооптичного ефекту Керра (МОКЕ) в одношарових плівках Co, отриманих при різних температурах підкладок. Так, коерцитивність плівки, отриманої при високій температурі підкладки, приблизно у 5–6 разів більша, ніж у плівки, отриманої при кімнатній температурі.

2 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТООПТИЧНИХ ТА МАГНІТОРЕЗИСТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Спочатку нами були детально вивчені магнітні характеристики одношарових невідпалених та відпалених до різних температур плівок Co, які мають анізотропію коерцитивності. Максимальна анізотропія спостерігається при початкових низьких температурах відпалювання $T_v=350-500$ К. Це можна пояснити особливостями зміни кристалічної структури одношарових плівок Co. На початковій стадії при низьких температурах у плівках Co починається процес заліковування дефектів, що призводить до покращання доменної структури плівки, що виражається у збільшенні магнітної анізотропії зразка. Суттєвих змін у структурі можна спостерігати при температурах $T_v \geq 600$ К, коли відбувається перехід до ГЦК-ґратки, що супроводжується різким збільшенням середнього розміру кристалітів і коерцитивності та втратою вираженої магнітної анізотропії.

При переході до двошарових систем Cu/Co або Au/Co змінюється зовнішній вигляд сигналу МОКЕ, що підтверджує висновок ряду робіт, і зокрема [4], про утворення твердих розчинів (т.р.) (Cu, Co) та (Au, Co). Так, для систем Au/Co з різною концентрацією атомів Co після термообробки до $T_v=700$ К в усіх випадках характерний нормальних характер залежності МОКЕ у вигляді петлі гістерезису, яка відповідає випадку утворення гранульованого стану Co в матриці т.р. У випадку системи Cu/Co петля гістерезису за формою суттєво не змінюється під час відпалювання зразків до температур $T_v < 800$ К, що пов'язано із утворенням т.р. уже в процесі конденсації. На рис.2 а зображено порівняння форми сигналу МОКЕ для відпалених до 700 К двошарових систем $Au(15)/Co(x)/\Pi$, де $x=5, 20$ та 40 нм, що відповідає різній концентрації атомів Co.

з шаром Au(40 нм), який виконує функції нижнього електричного контакту. Верхній тонкий шар Au (3 нм) також виконує роль електроконтакту і функцію захисного шару всієї структури. Вибір проміжного шару був здійснений з урахуванням того, що в системах з поєднанням Cu/Co і Au/Co спостерігається найвищі значення ГМО. Згідно з запропонованою нами схемою різниця в коерцитивності нижнього «важкого» і верхнього «легкого» шарах Co забезпечується різницею в товщинах. Підсилити різницю в магнітних характеристиках шарів можна за допомогою різної термообробки. Нами було запропоновано отримувати шари Co при різних температурах підкладки. Нижній, більш товстий

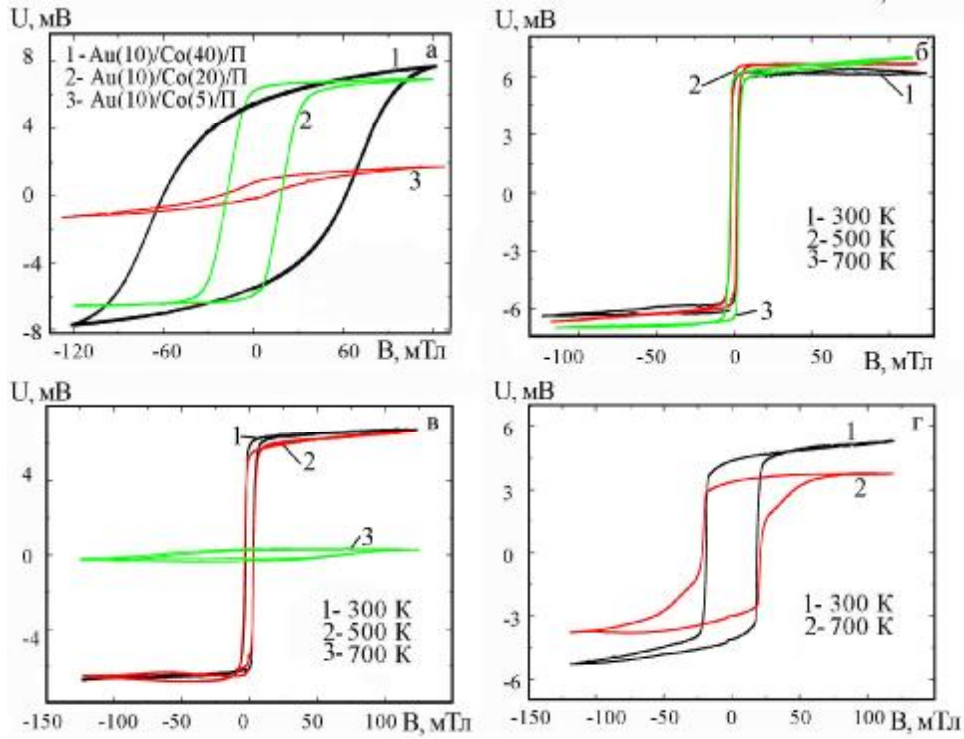


Рисунок 2 - МОКЕ для систем: Au(15)/Co/Pt ($T_e=700$ К) (а);
 Au(5)/Co(3)/Cu(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/Pt (б);
 Au(5)/Co(3)/Au(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/Pt (в);
 Au(5)/Co(3)/Cu(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/Pt (г)
 (нижній шар Со отриманий при температурі підкладки $T_n=950$ К)

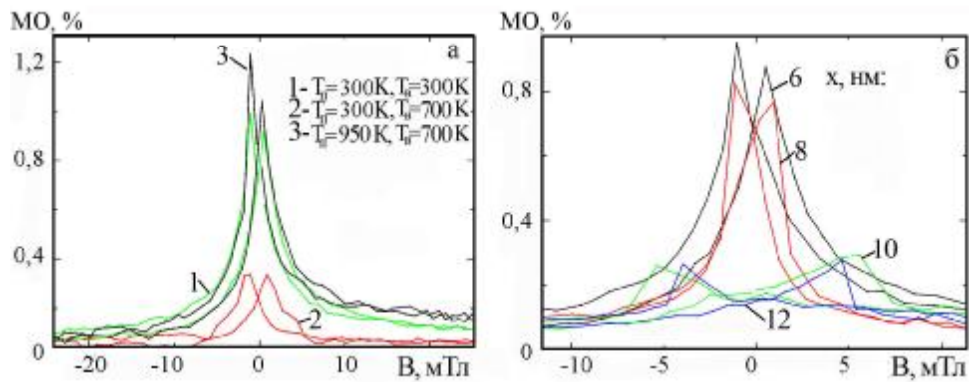


Рисунок 3 - МО для функціональних елементів спин-клапанних структур:
 Au(5)/Co(3)/Cu(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/Pt при різних температурах відпалювання (а);
 Au(5)/Co(3)/Cu(x)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/Pt з різною товщиною прошарку x (б)

У спіно-клапанних структурах із прошарком Cu або Au (рис.2 б, в) залежність МОКЕ визначається нижнім «жорстким» шаром Co. Відпалювання систем із шаром Cu не призводить до суттєвих змін, оскільки процеси утворення т.р. відбулися при конденсації. Значні зміни залежності МОКЕ від індукції магнітного поля спостерігається при відпалюванні спіно-клапана з шаром Au до температури 700 К. Це, очевидно, відбувається внаслідок утворення т.р. (Au, Co) у всьому об'ємі плівки.

Таким чином, система з прошарком Cu більш стійка до впливу температури. Доказом цього може бути залежність на рис.2 г для системи Au(5)/Co(3)/Cu(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/П (нижній шар Co(20) отриманий при $T_{\text{п}}=950$ К). Після відпалювання до $T_{\text{в}}=700$ К форма петлі гістерезису стає «сходиноподібною», що свідчить про швидкодію функціонального елемента в магнітному полі, що може забезпечити, наприклад, його роботу в діодному режимі або в режимі переключень.

На рис. 3 а наведено залежність магнітоопору $MO=(R(H)-R(0))/R(0)$ для функціональних елементів Au(5)/Co(3)/Cu(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/П при різних температурах відпалювання. При кімнатній температурі вимірювання $MO = 1 - 1,2\%$, що дає можливість стверджувати про наявність ознак ГМО в даному функціональному елементі. На рис.3 б зображені залежності МО для спіно-клапанних структур з різною товщиною прошарку Cu. При його товщині в 6 нм спостерігається максимальне значення МО у вузькому діапазоні магнітних полів. Це може бути пов'язано з осциляційною залежністю МО від товщини немагнітного прошарку.

ВИСНОВКИ

За результатами вивчення структурно-фазового стану спіно-клапанних систем на основі Co і Cu та Au запропонована методика формування спіно-клапанних структур у вигляді плівкової системи Au(3)/Co(3)/Au(Cu)(6)/Co(20)/Au(40)/Cr(3)/П з певною послідовністю температурної обробки магнітних шарів. Результати дослідження МОКЕ підтверджує правильність вибраної методики. У даних спіно-клапанних структурах спостерігається величина МО в 1,2 % з ознаками ГМО при кімнатній температурі вимірювання.

Автори виражають щире подяку д-ру наук Є. Майковій за участь у обговоренні результатів досліджень. Робота виконана в рамках спільного проекту про науково-технічне співробітництво між Сумським державним університетом і Інститутом фізики Словацької академії наук (м. Братислава).

SUMMARY

MAGNETOOPTICAL AND MAGNETORESISTIVE PROPERTIES OF THIN FILM FUNCTIONAL ELEMENT Co AND Cu OR Au BASED

*I.V.Cheshko, S.I.Protsenko, P. Shiffalovich**

Sumy State University, R.-Korsakov st., 2, Sumy, 40007, Ukraine

** Institute of Physic SAN, Dubravka st., 9, Bratislava, 84511, Slovakia*

Method of formation of spin-valves structures functional elements by layerwise condensation of Au, Co, Cu and Cr nanolayers with due order temperature processing changes during condensation was proposed. Magnetoresistive, magneto optic properties and correlation with phase state of given microelectronics structure and components of this systems were investigated.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tanaka M. Spintronics: recent progress and tomorrow's challenges // J. Crystal Growth. - 2005. - Vol.278. - P. 25-37.
2. Spin-valve effect in soft ferromagnetic sandwiches / B. Dieny, V.S. Speriosu, B.A. Gurney et al. // J. Magn. Magn. Mater. - 1998. - Vol.93 - P.101-104.
3. Структурно-фазовий стан, стабільність інтерфейсів та електрофізичні властивості двошарових плівкових систем / С.І. Проценко, І.В. Чешко, Д.В. Великодний та ін. // Успехи физ. метал. - 2007. -Т.8, №4. - С. 247-278.
4. Low noise magnetoresistive sensors for current measurement and compasses / M. Pinnetier-Lecoeur, C. Fermon, A. de Vismes et al. // J. Magn. Magn. Mater. - 2007. - Vol.316. - P.246 - 248.

Проценко С.І., кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри прикладної фізики;

Чешко І.В., асистент кафедри прикладної фізики;

Шіфаловіч П., доктор філософії, науковий співробітник Відділення мультишарів та наночастинок

Надійшла до редакції 28 листопада 2008 р.