

Відгук
офіційного опонента на дисертацію Коломійця Володимира
Миколайовича «Структура, електро- та магніторезистивні властивості
багатошарових плівкових структур на основі феромагнітних металів»,
поданої на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності
01.04.07 – фізика твердого тіла

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Коломійця В.М. присвячена комплексним дослідженням структурно-фазового стану тришарових плівкових систем, що складаються з феромагнітних металів, розділених немагнітними прошарками, та електрофізичних і магніторезистивних характеристик таких структур (питомий опір, температурний коефіцієнт опору (ТКО), гігантський магнітоопір (ГМО) тощо), а також виявленню впливу на ці характеристики температурних умов конденсації і відпалювання, розмірних ефектів та ролі додаткових шарів.

Значні успіхи в отриманні й дослідженні тонких металевих плівок, які були досягнуті в кінці ХХ ст., спричинили відкриття низки нових фізичних явищ (спін-залежне розсіювання електронів провідності, осцилююча обмінна взаємодія тощо), дослідження яких залишається актуальним і на сьогодні. Розвиток плівкових технологій дозволив синтезувати абсолютно нові багатокомпонентні матеріали з контрольованими властивостями, серед яких можна виділити металічні багатошарові структури. Найбільш відомим ефектом, який реалізується в таких об'єктах є ефект ГМО, обумовлений саме спін-залежним розсіюванням носіїв заряду, і залежить від типу магнітного впорядкування (паралельного чи антипаралельного) суміжних феромагнітних шарів у плівці. Значний інтерес до цього явища пов'язаний, перш за все з можливістю його практичного використання. На сьогодні на основі структур з ГМО вже розроблені запам'ятовуючі пристрої нового покоління, сенсори магнітного поля, кутові датчики тощо.

Отже дослідження структури, електрофізичних та магніторезистивних властивостей таких плівкових систем, встановлення взаємозв'язку між ними, виявлення впливу зовнішніх чинників (відпалювання в різних умовах) на ці характеристики є досить актуальною задачею.

Загальна характеристика роботи

В дисертаційній роботі Коломійця В.М. наведена низка експериментальних результатів, що піддані аналізу з точки зору різних моделей та теорій.



В першому розділі наведено глибокий та критичний аналіз виконаних наукових досліджень в напрямку теми дисертаційної роботи. Його глибина свідчить про достатню обізнаність дисертанта в цьому напрямку. На основі такого аналізу і були сформульовані напрямки подальших досліджень.

У другому розділі здобувачем описані методики отримання плівкових зразків та методи їх дослідження. Використана методика отримання плівкових систем у високому вакуумі (тиск залишкових газів 10^{-6} Па) за допомогою електронно-променевої і резистивних випарників забезпечували достатню відтворюваність їх фізичних властивостей. Для вивчення структури, елементного складу, рельєфу поверхні зразків використовувалися сучасні методи досліджень, а саме: просвітлювальна електронна мікроскопія, дифракція електронів, вторинно-іонна мас-спектрометрія, атомно-силова мікроскопія. Для визначення магнітних параметрів (коерцитивна сила, поле насичення) застосовувалися, як методи прямого (магнітостатичні вимірювання), так і непрямого (магніторезистивні вимірювання) визначення величини цих параметрів.

Таким чином робота Коломійця В.М. є комплексною, бо в ній використовувалися, як різноманітні експериментальні методики, так і розрахунково-теоретичні моделі, що свідчить про достовірність здобутих у дисертаційній роботі результатів.

Наукова новизна

В розділах 3 – 5 здобувач описує нові результати, які отримані в ході виконання дисертаційної роботи. До найбільш важливих з них можна віднести такі:

1. Здобувач одержав дані про структурні характеристики досліджених плівкових систем, а також їх елементний склад, в тому числі й розподіл елементів по товщині. Це дало змогу обґрунтовано пояснювати закономірності зміни електрофізичних та магніторезистивних властивостей плівок в залежності від температури підкладки при конденсації, термообробки, концентрації металів-компонент тощо.

2. Досліджено вплив параметрів плівок (товщин феромагнітних плівок та немагнітних прошарків, їх структури, що формується в процесі різних умов формування (температура підкладки) та відпалювання) на особливості переходу з анізотропного магнітоопору (АМО), властивого звичайним металам феромагнетикам, до систем з ефектом ГМО. Встановлено оптимальні режими виготовлення плівкових зразків Co/Cu(Ag)/Fe, що дозволило отримати зразки з ефектом ГМО, у яких магнетоопір становить близько 1,2% та 1,5% при 300 К та 150 К, відповідно.

3. Дисертантом показано, що для систем Co/Cu/Fe ($d_{Cu} = (7 - 15)$ нм) та Co/Ag/Fe ($d_{Ag} = (12 - 17)$ нм) відпалювання при $T_{відп} = 700$ К не призводить до переходу ГМО в АМО.

4. Здобувачем вперше встановлено, що для плівок системи Co/Cu/Fe, які отримані за температури підкладки при конденсації 400 К (з АМО у вихідному стані), після відпалювання при 550 К відбувається перехід до ГМО. Зазвичай, внаслідок втрати індивідуальності немагнітного прошарку при відпалюванні та виникнення внаслідок цього обмінної взаємодії між феромагнітними шарами, ефект ГМО подавляється.

5. Проведено паралельні дослідження магнітних характеристик (петель гістерезису) та магнітоопору на одних і тих же зразках, що дозволило дисертанту запропонувати методу визначення коерцитивної сили та поля насичення з результатів вимірювання магнітоопору.

6. Запропоновано співвідношення для визначення максимальної величини анізотропії ГМО та проведено її апробацію.

Достовірність результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень

Достовірність результатів, які одержав дисертант, обґрунтовується наступним:

1. Коректно підібраними умовами осадження та контролю плівкових зразків у методі термічного вакуумного напилення.

2. Використанням сучасних методик дослідження (електронна мікроскопія та електронографія, прямі магнітостатичні вимірювання, атомно-силова мікроскопія тощо).

3. Узгодженням експериментальних результатів та розрахункових моделей з сучасними уявленнями про структуру, електро- та магніторезистивні властивості плівкових систем.

4. Комплексним підходом до аналізу особливостей електрофізичних та магніто-резистивних властивостей плівкових систем з урахуванням інформації про їх структурно-фазовий стан та дифузійні процеси.

5. Достатнім рівнем апробації та високий статус наукових видань, в яких висвітлені результати роботи

Практичне значення результатів роботи і рекомендації щодо їх використання

Отримані у роботі результати можуть бути використані у лабораторіях плівкового матеріалознавства, як ряду вищих навчальних закладів МОН України, так і дослідницьких установ НАН України.

Їх практичне значення, у першу чергу, полягає в тому, що виявлені закономірності можуть бути використані при розробці плівкових елементів – резисторів, датчиків магнітного поля тощо. Результати впливу температури підкладки при конденсації і температури відпалювання на структуру, електрофізичні та магніторезистивні властивості плівкових систем, можуть бути використані при вирішенні питань часової стабільності властивостей цих матеріалів. Фундаментальне значення отриманих у роботі результатів полягає в подальшому накопиченню експериментальних даних стосовно впливу структурно-фазового стану, процесів дифузії, додаткових шарів та температури обробки на ефект ГМО в багатокомпонентних плівкових системах. Ці результати розширюють та поглиблюють розуміння фізичних процесів у плівкових матеріалах в умовах впливу на них температурних та магнітних полів.

Наукові результати, які лежать в основі дисертації Коломійця В.М., пройшли всебічну апробацію на наукових конференціях, у тому числі й міжнародних, вони повно відображені в 22 публікаціях, включаючи 7 статей, надрукованих у фахових журналах та монографію.

Зауваження до роботи

Однак робота, на мою думку, має деякі недоліки.

1. При описанні методики дослідження введено величину магнітоопору як: $\Delta R/R(H) = (R(0) - R(H))/R(H)$ (рівняння (2.6)). Проте експериментальні результати приведені для магнітоопору, що визначається величиною $\Delta R/R_0$. Тому незрозумілим є, який вираз використовується для представлення експериментальних результатів, у вигляді рівняння (2.6), або більш традиційного визначення магнітоопору $\Delta R/R(0) = (R(0) - R(H))/R(0)$.

2. Структурні, електро- та магніторезистивні властивості, їх склад досліджувалися на різного роду підкладках, як за складом, так і структурою (монокристалічні, полікристалічні, аморфні), що обумовлено тими чи іншими особливостями методик досліджень. Проте, досить добре відомий той факт, що на властивості та структуру плівок, особливо тонких, значною мірою впливає тип підкладки. Ця обставина практично не розглядається в роботі при порівнянні результатів експериментів, одержаних для однотипних плівок на різних підкладках.

3. Температурні коефіцієнти різнотипних матеріалів як мультишарових плівок, так і підкладок можуть суттєво відрізнятися. Зазвичай при осадженні та відпалі це обумовлює виникнення плосконапруженого (або можливо і об'ємонапруженого) стану, що сильно може впливати на властивості, дифузійні процеси, структуру. Однак в роботі ця обставина практично не аналізується.

Було б бажано визначити, або принаймні оцінити, величину мікронапружень, що може виникати в такому випадку.

4. Розглядаючи вплив температури підкладки при конденсації на структурні характеристики та фізичні властивості плівок, здобувачем не вказано чи змінюється швидкість конденсації металів при підвищенні температури підкладки (і якщо змінюється, то як).

5. В роботі визначено концентраційних профілі матеріалів, з яких складаються плівки. Проте не наведено результатів про профілі домішкових атомів, що напевне виявляються методом ВІМС у плівках внаслідок наявності залишкових газів у вакуумній камері, часткового випаровування матеріалу тиглів, дифузійних процесів від підкладки в плівку тощо.

6. При дослідженні топології поверхні плівок методом АСМ було отримано, що максимальний перепад профілю поверхні для невідпалених плівок Fe складає 40 нм, а для системи плівок Cu(15нм)/Fe(30нм) – 20 нм, тобто величина, що є близькою до товщини плівок. Однак в роботі не приділено уваги, що є причиною такого великого (відносно товщини плівок) максимального перепаду профілю поверхні.

7. В роботі проведено дослідження петель гістерезису ряду плівок з різними магніторезистивними властивостями, що дозволило з гістерезису польових залежностей магнетоопору визначати коерцитивну силу, поле насичення. Було б бажано провести аналіз і інших параметрів петель гістерезису та їх взаємозв'язок з магнеторезистивними властивостями.

8. У тексті дисертації зустрічаються ряд помилок методичного плану, таких як у першому зауваженні, та наступних:

а) Безперечно, досліджувані системи є системами в яких реалізується, або в принципі може реалізуватися явище ГМО. Однак, навіть в тому випадку, коли за загальними прикметами польова залежність магнетоопору обумовлена ефектом ГМО, говорить що одержано величину ГМО 1.5-2% є некоректним, оскільки це значення є аж ніяк не «гігантським». Більш коректніше говорити: «спостерігався ефект ГМО з магнетоопором...».

б) При обґрунтуванні методу напилення плівок сказано, що звичайний термічний метод для плівок із Cu, Ag та Cr було використано через те, що ці метали характеризуються порівняно низькою температурою топлення, що цілком справедливо для перших двох металів, але не правильно для Cr, оскільки його температура топлення є досить високою, і, за звичай, цей метал випаровується внаслідок сублімації із твердого стану.

в) В тексті часто путаються такі поняття, як високий, надвисокий вакуум, безмасляне середовище. Адже відомо, що ці терміни мають своє конкретне значення, а прилад ВУП-5М обладнаний дифузійним високовакуумним насосом, що не може забезпечувати рівень надвисокого вакууму та безмасляне середовище.

9. У тексті дисертації зустрічаються граматичні та стилістичні помилки, такі як відсутні або зайві розділові знаки, неправильне написання деяких слів, некоректна побудова речень.

Загальний висновок

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Результати наукових досліджень автора достатньо повно викладені у фахових виданнях, що входять до переліку ДАК України. Автореферат і опубліковані роботи правильно відображають основний зміст дисертаційної роботи. Дисертація Коломійця В.М. є завершеною науково-дослідницькою роботою, у якій отримані нові науково-обґрунтовані результати, які в сукупності є суттєвими для розвитку фізики тонких плівок та плівкового матеріалознавства як складової частини фізики твердого тіла.

Таким чином, за актуальністю тематики, за новизною отриманих результатів, їх обсягом, достовірністю та обґрунтованістю, науковим і практичним значенням розглянута дисертаційна робота цілком відповідає вимогам ДАК України щодо кандидатських дисертацій, зокрема пунктам 11, 13 та 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор Коломієць Володимир Миколайович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,
проф. кафедри фізики металів
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка,
докт. фіз.-мат. наук, доц.

М.П. Семенко

Підпис Семенька М.П. засвідчую:

Декан фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



проф. Макарець М.В.