В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Однодворець Лариси Валентинівни
«Електрофізичні і магніторезистивні властивості багатошарових та гетерогенних плівкових матеріалів сенсорної техніки»
на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

Актуальність теми дисертації

У дисертаційній роботі Л.В. Однодворець знайшла вирішення наукова проблема галузі плівкового матеріалознавства щодо впливу різних фізичних процесів на електрофізичні, магніторезистивні і магнітооптичні властивості плівкових матеріалів для формування чутливих елементів сенсорної техніки.

Хоча і значні успіхи по дослідженню тонких металевих плівок, що використовуються в сучасних високих технологіях мікроприладобудування, були отриманні в кінці XX ст., проте цей напрямок в науці є важливим і на сьогодні. Особливо актуальними у цьому відношенні є використання мультишарів на основі різних компонентів.

На даний момент вже накопичений великий об'єм експериментальних результатів щодо електрофізичних і магніторезистивних властивостей таких мультишарів і багатокомпонентних плівкових матеріалів на основі різних металевих або напівпровідникових компонент як елементів сенсорів температури, деформації, тиску, лінійних і кутових переміщень та датчиків магнітного поля. Однак складність формування необхідних властивостей полягає не тільки у підборі необхідних компонентів таких мультишарів, а й в тому, що матеріали в складі плівкових багатошарових систем вступають у складну взаємодію з формуванням нових фаз та створенням високоградієнтного розподілу компонентів, що сильно впливає на їх властивості. В такому випадку питання досягнення найбільш ефективних параметрів елементів сенсорних і мікроелектронних приладів є досить актуальним. Маловивченими залишається проблема стосовно механізмів і умов утворення різних фаз, мікроструктури гетерогенних матеріалів, а також концентраційної, температурної і деформаційної залежностей властивостей таких систем.

Таким чином, актуальність дисертаційної роботи Л.В. Однодворець полягає у комплексному дослідженні процесів дифузії, фазоутворення, електрофізичних, магніторезистивних і магнітооптичних властивостей плівкових систем на основі металевих і напівпровідникових компонент як матеріалів чутливих елементів сенсорів різного функціонального призначення; розробці і апробації напівфеноменологічної моделі тензоефекту, результати якої будуть застосовані для кількісного прогнозу тензорезистивних властивостей багатошарових

ОДЕРЖАНО
Сумським державним університетом
Вх. н. 321
09 ЖОТ 2015 20 р.

плівкових матеріалів; аналізі на феноменологічному рівні впливу зовнішнього магнітного поля на ТКО гранульованих плівкових сплавів.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Робота містить вступ, шість розділів, висновки та перелік літературних джерел.

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачу досліджень.

Перший розділ собою огляд літературних даних, в якому узагальнені результати стосовно властивостей та структури багатокомпонентних плівкових матеріалів. На основі цього визначені основну проблематику досліджень у цьому напрямку.

Другий розділ дисертаційної роботи містить формулювання основних етапів та завдань дисертаційної роботи. В цьому розділі описані методи і методики, які використовувались автором та наведені тестові результати досліджень цими методиками відомих, практично вже класичних, систем.

Узагальнення результатів досліджень тензорезистивного ефекту в області пружної і пластичної деформацій для різних типів металевих плівкових матеріалів проведено дисертантом **в третьому розділі** роботи. На основі цих результатів запропоновано ряд макроскопічних і напівфеноменологічних моделей та зроблено висновок про можливість практичного використання матеріалів різних типів як високотемпературних чутливих елементів сенсорів деформації з підвищеними значеннями робочих параметрів.

У четвертому розділі на основі результатів власних досліджень і аналізу літературних даних узагальнені результати стосовно розмірного і концентраційного ефектів в температурному коефіцієнті опору плівкових матеріалів на основі тугоплавких металів, мультишарів із необмеженою (Fe і Pd або Pt) та обмеженою (Fe або Co і Ag) розчинностями компонент з різною концентрацією атомів немагнітного металу. Отримано, результати про максимальну термічну стійкість таких плівкових матеріалів.

Отримані результати дозволили автору роботу зробити висновок про можливість застосування плівкових матеріалів як елементів сенсорів температури і терморезисторів. У цьому ж розділі проаналізовані температурна залежність параметра зерномежового розсіювання електронів в одношарових плівках благородних металів; кореляція між концентрацією s+d електронів і електрофізичними властивостями магнітних (Fe, Co, Ni) і немагнітних (Sc, Ti, Mo, Re, Cr, Cu, Ag, Pd, Pt) металевих плівкових матеріалів як чутливих елементів сенсорів для можливості прогнозування їх робочих параметрів.

П′ятий розділ присвячений вивченню магніторезистивних властивостей плівкових матеріалів Fe/Pd (Pt, Ag) та Co/Ag. Установлено, що плівкові матеріали на основі Fe і Pd або Pt можуть бути ефективними елементами як сенсорів деформації, так і магнітного поля. Дисертантом вивчені процеси фазоутворення плівок метал/напівпровідник при термовідпалюванні і їх властивості як матеріалів омічних контактів і сенсорів магнітного поля із термостабільними характеристиками.

У шостому розділі автором дисертаційної роботи проведено аналіз температурних залежностей питомого опору одношарових металевих плівок при їх різних товщинах на ефективність фононного розсіювання електронів. Отримана розмірна залежність ефективного параметру електрон-фононної взаємодії, яка є результатом двох ефектів - деформацією фононного спектру і дією класичного розмірного ефекту. Проведені розрахунки внеску в питомий опір різної спінової орієнтації електронів. Узагальнені результати стосовно практичного застосування матеріалів у вигляді багатошарових плівок, мультишарів, гранульованих плівкових сплавів, спінових клапанів як елементної бази мікроелектронного приладобудування і сенсорики.

Знайомство з оригінальними результатами дисертаційної роботи дозволяє сформулювати положення, які визначають її **наукову новизну**:

- вперше запропонована напівфеноменологічна модель для коефіцієнта тензочутливості багатошарових плівкових систем, в якій коректно враховується деформаційна залежність не тільки середньої довжини вільного пробігу електронів, але і параметрів електроперенесення;
- досліджені розмірні, температурні і концентраційні ефекти в тензочутливості різних плівкових матеріалів із урахуванням типу деформації, структурного стану, дифузії атомів і фазоутворення в матеріалах формування чутливих елементів сенсорів деформації;
- детально вивчені електрофізичні і магніторезистивні властивості, процеси твердофазного синтезу і упорядкування атомів в плівкових матеріалах на основі Fe і Pd або Pt, що дозволило установити умови формування твердих розчинів і упорядкованих фаз та реалізації ефектів АМО і ГМО;
- вперше проаналізовано питання про чутливість ТКО до зовнішнього магнітного поля в гранульованих плівкових твердих розчинах;
- проведено узагальнення результатів теоретичних і експериментальних досліджень тензорезистивного ефекту в різних типах плівкових матеріалів для термо- і тензорезисторів, елементів сенсорів температури, деформації і магнітного поля.

Практичне значення роботи і рекомендації щодо їх використання

Практична цінність дисертації Л.В. Однодворець не викликає сумнівів, оскільки у роботі реалізований комплексний підхід у дослідженні взаємного зв'язку між фізичними процесами у плівкових матеріалів чутливих елементів сенсорів на основі металів і напівпровідникових матеріалів, та їх електрофізичними, магніторезистивними та магнітооптичними властивостями; установлені фізичні процеси і параметри різних типів плівкових матеріалів, які визначають характер розмірної, температурної і концентраційної залежностей коефіцієнтів тензочутливості у широких діапазонах температури, концентрації і деформації; результати досліджень фазового складу і магніторезистивних властивостей плівок метал/напівпровідник як матеріалів сенсорних і контактних структур дозволили встановити умови формування стабільних магнітних фаз германідів металів; аналітичний аналіз впливу зовнішнього магнітного поля на ТКО дозволяє прогнозувати електрофізичні властивості гранульованих плівкових матеріалів.

Результати проведених досліджень поглиблюють розуміння фізичних процесів і явищ у багатошарових та гетерогенного складу матеріалах мікроелектроніки і сенсорної техніки в умовах дифузії, фазоутворення, впливу температури, деформації і магнітного поля та були впроваджені в навчальний процес СумДУ при викладанні дисциплін «Фізичні основи електроніки», «Прилади та методи дослідження плівкових матеріалів» і «Основи мікроелектроніки».

Достовірність результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень

Достовірність і обґрунтованість результатів, наукових положень і висновків дисертаційної роботи можна аргументувати такими положеннями:

- застосуванням сучасних і апробованих технологічних методик формування і термічного оброблення плівкових матеріалів, експериментальних методів дослідження їх кристалічної структури, фазового складу, дифузійних процесів, електрофізичних, магніторезистивних і магнітооптичних властивостей;
- коректність результатів підтверджується їх комплексністю і повторюваністю;
- відповідністю експериментальних результатів і розрахункових на основі напівфеноменологічної моделі для коефіцієнта тензочутливості багатошарових плівок;
- узгодженням отриманих результатів досліджень із результатами інших авторів.

Основні результати дисертації викладені в 26 статтях у фахових виданнях, у т.ч. 4-х оглядах і 14 роботах, які індексуються науковометричною базою Scopus, колективній монографії, главі у книзі видавництва «Springer». Широка апробація результатів роботи також є критерієм достовірності результатів. У публікаціях відсутні матеріали, що дублюються, а автореферат повністю відповідає змісту дисертації.

Зауваження до роботи

1. На деформаційних залежностях опору для плівкових систем на основі Ni і Mo (рис. 3.5, позиції б, г) і плівок на основі Re, Fe або Mo (рис.3.7, позиції а, в) вказані інтервали пружної і пластичної деформації, хоча чітко виражених особливостей на залежностях не спостерігається і тому інформація про величину деформації переходу носить лише якісний характер.

2. Рис.4.17 показує, що якщо для масивних конденсатів має місце деяка кореляція між величиною ТКО та концентрацією s+d електронів, то у випадку КТ ніякої залежності не спостерігається. Виникає запитання, чому концентрація електронів не впливає на величину КТ, у той час як у випадку ТКО спостерігається майже лінійна залежність.

3. На рис.5.2 представлена схема т.зв. магнітних інтерфейсів, які, на думку дисертанта, стабілізуються у плівкових системах на основі Fe і Pd або Pt. Ця гіпотеза дозволяє пояснити механізм реалізації ефекту ГМО в таких плівкових системах. Оскільки товщини як магнітних, так і немагнітних шарів були менші або порядка 10 нм, то виникає сумнів стосовно можливості утворення цих інтерфейсів. Це не обгрунтовується в роботі.

4. Не знайшла пояснення відносно мала величина ГМО плівкових матеріалів на основі Fe(Co) і Pd(Pt), отриманих методом пошарової конденсації із подальшою термообробкою (рис.5.3, 5.11), що може бути пов’язана із неупорядкованістю т.р., їх наноструктурою, відсутністю магнітної поляризації в атомах Pd або Pt. Можливо усі ці фактори в сукупності приводять до малих значень ГМО?

5. Залишилось незрозумілим питання, на основі яких міркувань автором були очікувані підвищені значення КТ у плівках гетерогенного складу порівняно із металевими системами. Які стосовно цього відомі теоретичні або експериментальні дані?

6. Останнє загальне зауваження має стилістичний характер: автором на рис. 3.1 б невдало вибраний масштаб, тому доцільно було б об’єднати позиції а і б даного рисунку. У тексті роботи дисертантом одночасно використовуються терміни «термообробка» (стор. 24, 60, 74, 92, 167, 173), «термовідпалювання»

(стор.65, 81, 173, 177, 184) і «відпалювання» (стор. 168, 183, 187), що може сприйматися як різні процеси.

Загальний висновок

Однак, вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Л.В.Однодворець. Без сумніву, вона представляє собою завершену кваліфікаційну працю, яка базується на значному об'ємі експериментального і теоретичного матеріалу, важливості, надійності та коректності отриманих результатів. У дисертаційній роботі отримав подальший розвиток напрям досліджень в галузі плівкового матеріалознавства стосовно фізичних процесів у багатокомпонентних і гетерогенних плівкових матеріалах та їх взаємозв'язку з електрофізичними, магніторезистивними і магнітооптичними властивостями.

Оцінюючи дисертацію в цілому, вважаю, що за актуальністю теми, обґрунтованістю і достовірністю висновків, новизною, науковим і практичним значенням дисертаційна робота «Електрофізичні і магніторезистивні властивості багатошарових та гетерогенних плівкових матеріалів сенсорної техніки» задовольняє встановленим вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а саме, пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор, Однодворець Лариса Валентинівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Офіційний опонент,
професор кафедри фізики металів
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка, доктор
фізико-математичних наук М.П. Семенько

Підпис Семенька М.П. засвідчую:

Декан фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка проф. Макарець М.В.