

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Тищенка Костянтина
Володимировича

«Електромеханічні властивості плівкових матеріалів на основі магнітних металів»
на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

1. Актуальність та практичне значення роботи

У дисертаційній роботі К.В. Тищенка знайшла вирішення наукова проблема у галузі фізики твердого тіла щодо дослідження електромеханічних властивостей дво- і тришарових металевих плівок і плівкових сплавів на основі Fe і Pt, Gd або Ni, встановлено взаємозв'язок між структурно-фазовим станом досліджуваних систем та їх електромеханічними властивостями, а також пояснено фізичні ефекти, які виникають в системах в області пружної, квазіпружної і пластичної деформації.

Хоча дослідження та використання матеріалів у вигляді плівок має місце близько сотні років, а проблемі вивчення їх властивостей та розробці методів одержання присвячена ціла низка робіт, що охоплюють різні аспекти дослідження їх фізичних, механічних та хімічних властивостей, проте на сьогодні ще залишається і постійно виникає ціла низка проблем, що вимагає нагального вирішення і робить дослідження в цьому напрямку досить актуальними. Зокрема, перспективними в цьому відношенні є багатошарові плівкові системи, що в принципі можуть містити шари з різних матеріалів. Такі плівкові системи знаходять досить широке застосування в якості, наприклад, оптичних та магнітооптичних фільтрів.

Інтерес до багатошарових плівкових матеріалів суттєво зріс після відкриття гігантського магнетоопору, який може проявлятися і в багатошарових плівкових системах. Це дало поштовх до розвитку нового розділу фізики – спінтроніки.

Вагомим внеску в напрямку створення багатошарових плівкових систем є роботи співробітників Сумського державного університету. Зокрема, проведені ними дослідження дозволили створити цілу низку багатошарових структур з різних матеріалів з контрольованою структурою та властивостями. Проведені ними дослідження та дослідження науковців всього світу показують, що плівкові



системи на основі феромагнітних (Fe) та парамагнітних (Pt) або рідкоземельних (Gd) металів є перспективними об'єктами для спінтроніки, магнітооптики та систем високощільного зберігання інформації. Перспективу можуть знайти і сплави на основі Ni і Fe (пермалої). Останні сплави у масивному стані використовуються як матеріал елементів високоточних приладів (космічні телескопи, електронні мікроскопи, високостабільні джерела струму). Їх використання у вигляді плівок може призвести до мініатюризації приладів.

Відомо, що на робочі характеристики приладів значною мірою впливають зовнішні фактори (деформації, температура, електричні та магнітні поля). Знаючи характер та величину впливу таких факторів можна спрогнозувати поведінку кінцевого приладу у конкретних зовнішніх умовах та досягти високої стабільності його робочих характеристик. Також відомо, що на фізичні властивості тонких плівок значною мірою впливають розмірні та концентраційні ефекти. Врахування таких фактів дає можливість отримувати плівкові матеріали із наперед заданими властивостями та прогнозованою поведінкою в процесі експлуатації. Хоча на сьогодні досить добре вивчені магнітні та магнітооптичні властивості плівкових систем на основі Fe і Pt та Fe і Gd та сплавів Ni_xFe_{1-x} , проте в напрямку дослідження електромеханічних властивостей та впливу на них структурно-фазового стану існує ціла низка проблем, що потребує вирішення. Зокрема, практично не досліджувались вплив на ці властивості деформацій, що перевищують критичні значення. Ця проблема є досить актуальною для приладів, що використовуються в умовах жорсткої, в механічному розумінні, експлуатації та може виникати при досить тривалому їх використанні внаслідок ефектів старіння.

Це і обумовлює актуальність теми та практичне значення дисертаційної роботи К.В. Тищенка.

1. Загальна характеристика роботи

За своєю структурою дисертаційна робота складається із п'яти розділів.

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** «Методика і техніка експерименту» здобувачем описані методи одержання і дослідження механічних та електромеханічних властивостей плівкових зразків на основі Fe, Ni, Gd і Pt, а також їх структурно-фазового стану. автором описане обладнання для одержання тонких плівок, а також методика дослідження їх електромеханічних властивостей та макронапружень із застосуванням сучасних методів автоматизації та розроблених авторських комп'ютерних програм керування експериментом та обробки даних. Дисертантом також запропоновано методику та програмне забезпечення для аналізу електронограм за спектр інтенсивності зрізу дифракційної картини.

У **третьому розділі** «Фазовий та елементний склад плівок на основі Fe, Pt та Gd і плівкового сплаву NiFe» представлені експериментальні дослідження структури та фазоутворення у свіжосконденсованих плівках досліджуваних в роботі металів. Дисертантом проведено всебічний аналіз отриманих даних, проаналізовано фазоутворення у багатшоравих плівках і плівкових сплавах та зроблено порівняльний аналіз із відомими літературними даними.

В **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень електромеханічних та механічних властивостей плівкових матеріалів на основі Fe, Ni, Pt і Gd. Дисертантом наведені результати досліджень інтегрального та диференціального коефіцієнта тензочутливості для одно-, багатшарових плівок та плівкових сплавів, побудовані розмірні залежності досліджуваних величин та проведено їх аналіз. Також автором вперше описано особливості залежності диференціального коефіцієнта тензочутливості від деформації, а саме, появу локальних максимумів, та зроблено пояснення їх природи.

П'ятий розділ «Нелінійні ефекти в дослідженні електромеханічних властивостей плівкових матеріалів» присвячений аналізу фізичних ефектів, що виникають при експериментальних дослідженнях електромеханічних властивостей тонких плівок та не узгоджуються із класичними теоріями. Зокрема дисертантом запропоновано модель, яка описує природу нелінійностей на деформаційних залежностях диференціального коефіцієнта тензочутливості.

Також пояснено реалізацію аномально малих значень інтегрального коефіцієнта тензочутливості в рамках проведеного аналізу.

2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

У дисертаційній роботі К.В. Тищенка були проведені комплексні дослідження структурно-фазового стану та електромеханічних властивостей дво- і тришарових металевих плівок і плівкових сплавів на основі Fe і Pt, Gd або Ni та проаналізовано їх взаємозв'язок. Зроблено пояснення фізичних ефектів, які виникають в системах в області пружної, квазіпружної і пластичної (критичної) деформацій.

Проаналізовано електромеханічні властивості багатошарових плівок та плівкових сплавів та визначено вплив на них кожної із компонент системи. Зроблено висновки щодо впливу рівня макронапружень на величину коефіцієнта тензочутливості.

У рамках напівфеноменологічного підходу описано причини появи нелінійностей на залежностях диференціального коефіцієнта тензочутливості. Розроблено модель, яка описує причини реалізації аномально малих значень коефіцієнта тензочутливості (до 3-х одиниць) у тонких плівках. Все це дає можливість стверджувати, що наукові положення і висновки роботи достатньо обґрунтовані.

3. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертації відображені у 23-х публікаціях, серед них 9 статей у періодичних наукових виданнях, які відображають основні та додаткові результати дослідження, 7 із яких індексуються науково метричною базою Scopus і 3-х статтях і 11-ти тезах доповідей у матеріалах Міжнародних та Всеукраїнських конференцій.

У публікаціях відсутні матеріали, що дублюються, а автореферат повністю відповідає змісту дисертації.

4. Достовірність та наукова новизна одержаних результатів

Достовірність результатів, отриманих в дисертаційній роботі К.В. Тищенка, обумовлена застосуванням сучасних і апробованих технологічних методик формування плівкових матеріалів, експериментальних методів дослідження їх структури, фазового складу і електромеханічних властивостей.

Коректність результатів підтверджується їх комплексністю, повторюваністю, узгодженням із результатами інших авторів, а запропоновані у роботі моделі якісно пояснюють експериментальні результати.

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

1. Уперше в широкій деформаційній області досліджено та проаналізовано електромеханічні властивості тонких плівок на основі Fe і Gd та Fe і Pt та плівкових сплавів Fe_xNi_{1-x} . Застосування диференційного аналізу до залежностей електропір-деформація дозволило визначити диференційний коефіцієнт тензочутливості та його залежність від деформації. У рамках напівфеноменологічного підходу уперше пояснені причини і закономірності виникнення таких залежностей, зокрема, пояснено особливості виникнення максимуму. Запропоновано модель, яка описує реалізацію електромеханічних ефектів у плівкових матеріалах. Встановлено, що особливості їх поведінки обумовлені нелінійною по деформації зміною електроопору плівок.

2. Встановлено взаємозв'язок між структурно-фазовим станом плівок і їх електромеханічними властивостями. Показано, що зменшення розмірів зерен призводить до зміщення межі переходу від пружної до пластичної деформації ($\epsilon_{п}$) в сторону менших деформацій.

3. На основі експериментальних даних вперше побудовано розмірно-концентраційні залежності коефіцієнта повздовжньої тензочутливості γ_l і межі переходу між типами деформації для дво- та тришарових плівок на основі Fe і Gd, а також плівкових сплавів Fe_xNi_{1-x} .

4. Запропоновано пояснення реалізації аномально малих значень коефіцієнта γ_l (до 3-х одиниць) у тонких плівках.

5. Наукове та практичне значення результатів дисертації

Отримані у роботі результати експериментальних досліджень можуть бути застосовані для розробки електронних компонентів приладів електроніки та чутливих елементів датчиків фізичних величин із наперед заданими властивостями. Запропоновані у роботі методики автоматизації експерименту та програми обробки і аналізу даних забезпечують високоточне проведення

фізичного експерименту з виключенням суб'єктивних факторів впливу на отримувані результати. Запропоновані у роботі моделі розширюють уявлення про фізичні процеси, що виникають під впливом деформації у тонких плівках.

Результати дисертаційних досліджень К.В. Тищенка можуть бути впроваджені у наукових лабораторіях та в навчальний процес у вищих навчальних закладах.

6. Зауваження до роботи

1. В першому, оглядовому розділі, доцільно було б ввести окремий розділ, присвячений дослідженням властивостей (в тому числі і електротранспортних) плівкових систем, що виконані в Сумському державному університеті. Хоча публікацій авторів, співробітників СумДУ, в списку літератури досить багато, але, як на мою думку, саме це додатково підкреслило актуальність тематики дисертації та її наукову новизну.

2. Дисертація присвячена дослідженню в основному одно- та багатошарових плівок з чистих металів. Хоча сплави системи Fe-Ni, як було відмічено в актуальності, і можуть виявляти досить цікаві властивості, однак із тексту дисертації не зрозуміло із яких міркувань були досліджено електромеханічні властивості саме сплави цієї системи.

3. В підрозділі 1.3., «Особливості кристалічної структури та процесів фазоутворення в плівкових системах і сплавах на основі Fe», наведено огляд по результатам досліджень кристалічної структури плівкових систем, що досліджуються автором у роботі. В той же час, розділ 3, «Фазовий та елементний склад плівок на основі Fe, Pt та Gd і плівкового сплаву FeNi» присвячений дослідженням структури та складу (елементного та фазового) конкретних плівок, що використані автором для досліджень (практично тих же само за складом). Оскільки цей розділ є досить важливим для аналізу результатів (дає можливість врахувати ті особливості структури, що можуть виникнути за рахунок не контрольованої частини технологічних факторів), а значна частина посилань, що використана в розділі 3 та підрозділі 1.3, співпадають, то, на мою думку, підрозділ 1.3 слід було б перенести в третій розділ, або в окрему його частину, або використати його при обговоренні результатів.

4. Висновки до розділу I висвітлюють результати, розглянуті в огляді, в той же час їх зміст не містить проблемного характеру, який підкреслював би актуальність та новизну тематики дисертації.

5. В підрозділі 2.2.3. «Вимірювання макронапружень у тонких плівках» наявна наступна фраза «Зважаючи на те, що підкладки із полістиролу при великих товщинах осаджуваних на них в процесі вимірювання плівок починали поводити себе нестабільно, для подальших вимірювань було обрано підкладки із сталі», то постає питання: В чому полягає така нестабільність? Крім цього, макронапруження залежать ще й від типу підкладки. Тому їх вплив на електричні властивості повинен аналізуватися для результатів, одержаних для одного типу підкладки в обох вимірюваннях.

6. Нажаль, розшифровка фотометричних, а не дифракційних, як це фігурує в тексті дисертації, кривих інтенсивності плівок Gd (рис.3.4), не дає однозначного підтвердження про фазовий склад цих плівок, оскільки «табличні» положення дифракційних максимумів фаз, що можуть виникати в системах з гадолінієм практично не співпадає з положенням максимумів, що виявляються на фотометричних кривих. Крім цього, на фотометричних кривих від плівок Fe, Ni та Pt присутній максимум при малих d (біля 0.11 нм). Нажаль, причини виникнення цього максимуму не вказані.

7. Запропонована феноменологічна модель стосовно нелінійної по деформації залежності питомого опору в роботі представлена лише у граничних випадках. Цілком зрозуміло, що це пов'язано із громіздкістю співвідношень та великою кількістю емпіричних параметрів, тому в подальшому слід використати більш простіші моделі, з невеликою кількістю параметрів, що можуть легко бути інтерпретовані.

8. Не зрозумілим є той факт, чому при обґрунтуванні аномально малих значень коефіцієнта тензочутливості використано значення коефіцієнта Пуассона рівним 0,5 одиниць, в той час як для більшості металічних систем це значення дещо менше (біля 0.3)

9. У дисертації не обговорено причини відносно малих величин макронапружень у плівках пермалою, які більш ніж на порядок менші у порівнянні із плівками Pt і Gd (рис. 4.16). Як на мою думку, це зумовлено чисто методичними причинами вимірювання макронапружень, пов'язаних з використанням підкладок (див. зауваження 4).

10. Певні зауваження можна виділити і до оформлення роботи, пов'язаних з граматичними, стилістичними та методологічними помилками.

8. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Однак, усі вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Тищенка К.В. Без сумніву, робота представляє собою завершену кваліфікаційну працю, яка базується на значному обсязі експериментального матеріалу, надійності та коректності отриманих результатів. У роботі одержані нові та науково обґрунтовані результати, які розширюють і поглиблюють розуміння фізичних процесів у багатошарових тонких плівках та плівкових сплавах.

Враховуючи актуальність тематики, обґрунтованість і новизну результатів, достовірність висновків та практичну цінність, вважаю, що дисертаційна робота «Електромеханічні властивості плівкових матеріалів на основі магнітних металів» задовольняє встановленим вимогам ДАК МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а саме, пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор, Тищенко Костянтин Володимирович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

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



(Handwritten signature)

М. П. Семенко

(Handwritten signature)