

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Макухи Зінаїди Миколаївни  
«Магнітодеформаційний ефект у плівкових матеріалах на основі  
ферромагнітних і немагнітних 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 З.М.Макухи знайшла вирішення наукова проблема в галузі фізики твердого тіла щодо впливу магнітного поля на тензорезистивні властивості плівкових матеріалів на основі ферромагнітних (Co, Fe) та немагнітних (Cu, Ag, Au, Pt) металів, а також впливу деформації на магнітні та магнітооптичні властивості цих плівкових систем.

Розвиток плівкової сенсорики потребує впровадження (або удосконалення уже існуючих) нових приладів і сенсорів електричних величин з можливістю одночасного контролю двох або більше величин, наприклад, деформації, тиску, величину магнітного поля, переміщення і т.п.

Такі прилади можуть бути реалізовані на основі магнітодеформаційного ефекту і функціонально можуть одночасно реєструвати вплив магнітного поля і деформації на фізичні властивості чутливих елементів. Для цього необхідне проведення комплексних досліджень структурно-фазового стану, тензо- і терморезистивних, магнітних, а інколи магнітооптичних властивостей плівкових матеріалів у вигляді одно- і багатопарових (або багатокомпонентних) структур на основі ферромагнітних та немагнітних металів. Поряд з цим, на даний момент відомий обмежений обсяг експериментальних досліджень впливу на фізичні властивості плівкових матеріалів їх деформації у зовнішньому магнітному полі

Дослідження магнітодеформаційного ефекту у плівкових системах на основі ферромагнітних та немагнітних металів дозволяє установити вплив одночасної дії магнітного поля та деформації на такі фізичні параметри як електричний опір, коефіцієнт тензочутливості, коерцитивну силу, кут повороту Керра та поглибити розуміння фізичних процесів, які при цьому відбуваються. Це і обумовлює актуальність теми та практичне значення дисертаційної роботи З. М. Макухи.

ОДЕРЖАНО  
Сумським державним  
університетом  
Вх. н. 1396  
20 ТРА 2016



## **2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.**

У дисертаційній роботі З. М. Макухи були проведені комплексні дослідження структурно-фазового стану, тензорезистивних, магнітодеформаційних і магнітооптичних властивостей плівкових матеріалів на основі Co, Cu (Ag або Au) та Fe і Pt та встановленні певні кореляції між ними.

Встановлена залежність величини коефіцієнта тензочутливості, магнітного коефіцієнта тензочутливості від типу деформації (пружна чи пластична), товщини зразків, матеріалу та типу плівкової системи. Досліджено магнітооптичні властивості плівкових систем і встановлено вплив деформації на їх магнітні (коерцитивна сила, індукція насичення) й магнітооптичні характеристики (кут повороту Керра) плівкових систем. Розроблена феноменологічна модель магнітодеформаційного ефекту в коефіцієнті тензочутливості для двошарових плівок дала змогу розрахувати важливу тензометричну характеристику у вигляді другої похідної питомого опору за деформацією та індукцією магнітного поля, якісно проаналізувати поведінку тонкоплівкового зразка при одночасній дії на нього деформації та магнітного поля. Все це дає можливість стверджувати, що наукові положення і висновки роботи достатньо обґрунтовані. Не викликають сумніву і обґрунтованість рекомендацій стосовно застосування двошарових плівкових металів як тест-об'єктів для емісійного мікроскопу.

## **3. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертації відображені в 19-ти публікаціях, серед них 8 статей у періодичних наукових виданнях, які відображають основні та додаткові результати дослідження (в т.ч. у 3-х статтях, які індексуються наукометричною базою Scopus); 2-х статтях та 9-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 З. М. Макухи, обумовлена застосуванням сучасних і апробованих технологічних методик



формування плівкових матеріалів, експериментальних методів дослідження їх кристалічної структури, фазового складу, електрофізичних, деформаційних і магнітооптичних властивостей;

Коректність результатів підтверджується їх комплексністю, повторюваністю, узгодженням із результатами інших авторів; запропонованою феноменологічною моделлю магнітодеформаційного ефекту в коефіцієнті тензочутливості для двошарових плівок, яка якісно пояснює експериментальні результати.

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

1. Уперше проведені дослідження магнітодеформаційного ефекту в областях пружної та пластичної деформації одношарових плівок Co та двошарових на основі Co і Cu або Ag; встановлено вплив магнітного поля та типу деформації на коефіцієнт тензочутливості;

2. Здійснений подальший розвиток феноменологічної моделі магнітодеформаційного ефекту в коефіцієнті тензочутливості для випадку двошарових плівкових систем;

3. Вперше проведені дослідження впливу деформації на магнітні й магнітооптичні властивості плівкових систем на основі Co, Cu (Ag або Au) та Fe і Pt, зокрема коерцитивну силу, кут повороту Керра, доменну структуру.

## **5. Наукове та практичне значення результатів дисертації**

Отримані результати експериментальних досліджень щодо взаємної дії магнітного поля та деформації на тензорезистивні, магнітні й магнітооптичні характеристики плівкових матеріалів можуть бути використані для розробки або удосконалення чутливих елементів багатофункціональних сенсорів деформації, тиску, магнітного поля, переміщення і т.п. Розроблена феноменологічна модель магнітодеформаційного ефекту в коефіцієнті тензочутливості для двошарових плівкових систем дає можливість прогнозувати поведінку КТ залежно від величини прикладеної деформації та магнітного поля. Весь комплекс отриманих результатів із великим ступенем новизни сприяє розширенню уявлень про фізичні процеси в металевих плівках при одночасній дії магнітних та механічних полів. Результати дисертаційних досліджень З. М. Макухи можуть бути впроваджені в навчальних процес у

вищих навчальних закладах. Основні результати пройшли апробацію на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях, що також підтверджує їх практичну направленість.

## 6. Зауваження до роботи

1. В роботі було б бажано одержати експериментальні залежності напруження-деформація плівкових систем та порівняти ці залежності з деформаційними залежностями електричних та магнітооптичних параметрів.
2. Застосування поняття «магнітодеформаційний ефект в МОКЕ» не зовсім коректне, оскільки магнітодеформаційний ефект в магнітооптичному ефекті Керра означає зміну кута повороту Керра при деформації зразка, можливо доцільніше було б назвати його як «деформаційний ефект в МОКЕ».
3. В роботі вплив деформації на ефект Керра проводився до величини деформації, що складала в максимумі 10%. Як відомо, така велика деформація обумовлює не тільки пластичні ефекти в плівках, але в більшості металічних систем перевищує межу міцності. Однак ця обставина не врахована і не оговорюється при аналізі результатів МОКЕ.
4. Запропонована феноменологічна модель для магнітодеформаційного ефекту у двошарових плівках не знайшла свого порівняння із експериментальними результатами за винятком аналізу двох граничних випадків.
5. Не знайшов свого пояснення магнітодеформаційний ефект Керра, оскільки якісний аналіз у рамках співвідношення для ефекту Фарадея не дозволяє оцінити внесок доменної структури і її трансформації при деформації в ефект Керра.
6. Результати експериментальних досліджень магнітодеформаційного ефекту в коефіцієнті тензочутливості двошарових плівок Co/Cu і Co/Ag представлені у вигляді деформаційних залежностей на рис. 3.21 та рис. 3.22 (с. 92 – 93) та узагальнені в табл. 4.2 (с. 126), що ускладнює їх сприймання. Було б доцільно привести розмірну залежність для цих плівкових зразків, як це зроблено для одношарових плівок Co на рис. 3.19 (с. 89), що покращило б візуальне сприйняття результатів.



## 7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Усі вказані зауваження, на наш погляд, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи З. М. Макухи. 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 обгрунтовані результати, які розширюють та поглиблюють розуміння фізичних процесів у плівкових структурах за умови одночасної дії магнітного поля та деформації.

Враховуючи актуальність тематики, обгрунтованість і новизну результатів, достовірність висновків та практичну цінність вважаю, що дисертаційна робота «Магнітодеформаційний ефект у плівкових матеріалах на основі феромагнітних і немагнітних 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, Зінаїда Миколаївна Макуха, 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



М.П. Семенко

ПІДПИС ЗАСВІАЧУЮ  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР НАЧ  
КАРАУЛЬНА Н.В.  
18.05.2018

