

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Макухи Зінаїди Миколаївни  
«Магнітодеформаційний ефект у плівкових матеріалах на  
основі феромагнітних і немагнітних металів» на здобуття  
наукового ступеня кандидата фізико-математичних  
наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

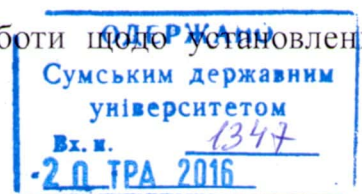
### 1. Актуальність та практичне значення роботи

Дисертаційна робота З. М. Макухи присвячена дослідженню у плівкових металевих структурах магнітодеформаційного ефекту в коефіцієнті тензочутливості, який полягає у відносній зміні коефіцієнта тензочутливості при одночасному впливі на досліджуваний зразок одразу двох зовнішніх факторів – деформації та магнітного поля, та магнітодеформаційного ефекту в МОКЕ. Даний ефект є цікавим з точки зору розширення спектру відомих деформаційних ефектів, розуміння фізичних процесів, що відбуваються у плівкових матеріалах при одночасній дії деформації й магнітного поля; удосконалення чутливих елементів багатофункціональних сенсорів з можливістю контролю декількох параметрів одночасно.

У літературі відомі досить обмежені результати досліджень магнітодеформаційного ефекту, які не дозволяють чітко зрозуміти як на тензорезистивні властивості впливає величина магнітного поля, деформації, матеріал зразка, його загальна товщина або товщина окремих шарів. Саме такі дослідження були проведені у роботі З. М. Макухи, зокрема представлені результати комплексного дослідження структурно-фазових, електрофізичних, тензорезистивних, магнітооптичних та магнітодеформаційних властивостей одношарових плівок та багатошарових плівкових систем на основі феромагнітних (Co, Fe) і немагнітних (Cu, Ag, Au, Pt) металів.

Окрім експериментальних досліджень, у дисертаційній роботі розроблена феноменологічна модель магнітодеформаційного ефекту для двошарових плівкових систем, яка якісно пояснює отримані експериментальні результати та дозволяє прогнозувати поведінку коефіцієнта тензочутливості в умовах одночасного впливу деформації й магнітного поля.

Задачі, які були поставлені та вирішені автором роботи щодо установлення



кореляції між фазовим складом і магнітодеформаційними властивостями в багат шарових плівках на основі Co, Cu (Ag або Au) та Fe і Pt; установлення взаємного впливу магнітного поля та деформації на тензорезистивні (коефіцієнт тензочутливості), магнітні (коерцитивна сила, індукція насичення), магнітооптичні (кут повороту Керра) властивості досліджуваних плівкових систем безумовно є актуальні для розуміння фундаментальних фізичних процесів та практичного використання у мікроелектроніці й сенсорній техніці.

Про актуальність тематики свідчить також те, що робота була виконана у відповідності із держбюджетними темами МОН України № 112U001381 (2012 – 2014 рр.) та № 0115U000689 (2015 – 2017 рр.); міжнародного співробітництва між Сумським державним університетом і Інститутом фізики при Університеті ім. Й. Гуттенберга (м. Майнц, Німеччина) (2013р.).

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

Наведені у дисертаційній роботі наукові положення, теоретичні висновки й практичні рекомендації викладені в логічній послідовності є достатніми та належним чином обґрунтовані й пояснені. Для їх отримання автором були проведені експериментальні дослідження, використовуючи сучасні і апробовані методики, розроблена феноменологічна модель для пояснення експериментальних результатів та прогнозування поведінки плівкової системи, проаналізована велика кількість вітчизняних та зарубіжних літературних джерел з досліджуваної тематики.

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

Результати дисертаційної роботи З. М. Макухи опубліковані в достатній мірі, а саме в 8 статтях у вітчизняних та зарубіжних наукових виданнях, серед них 3 статті, які індексуються наукометричною базою Scopus. Результати роботи достатньо апробовані на Міжнародних та Всеукраїнських конференціях, про що свідчать 11 публікацій у матеріалах конференцій.

У публікаціях відсутні матеріали, що дублюються, автореферат відповідає структурі дисертації, у повній мірі передає її зміст, містить достатню кількість експериментальних результатів.



#### **4. Достовірність та наукова новизна одержаних результатів**

Достовірність результатів, отриманих дисертантом можна аргументувати такими положеннями:

- використання широкого спектру методів експериментальних досліджень плівкових матеріалів (просвічуюча електронна мікроскопія і електронографія, тензометрія, магнітооптичні та магнітодеформаційні вимірювання та ін.);
- розроблення феноменологічної моделі магнітодеформаційного ефекту у коефіцієнті тензочутливості, яка дозволяє якісно пояснити одержані експериментальні результати магнітодеформаційних досліджень, а також прогнозувати тензорезистивні властивості залежно від прикладеного магнітного поля та поздовжньої деформації;
- коректність результатів підтверджується їх повторюваністю та узгодженням в деяких випадках з результатами, отриманими іншими авторами;

Знайомство з оригінальними результатами третього і четвертого розділів дисертації дозволяє сформулювати положення, які визначають найбільш важливі результати та наукову новизну роботи:

- встановлений вплив типу деформації, матеріалу зразка, його загальної товщини та товщини окремих шарів (концентрації компонент) на величину коефіцієнту тензочутливості, характеру розмірної залежності;
- уперше досліджений вплив магнітного поля та типу деформації на коефіцієнт тензочутливості у одношарових плівках Co та плівкових системах на основі Co і Cu або Ag, показано, що деформування зразків в магнітному полі приводить до відчутної зміни КТ, в порівнянні зі КТ за відсутності дії магнітного поля;
- уперше проведені дослідження магнітодеформаційного ефекту в магнітооптичному ефекті Керра у плівкових структурах на основі Co, Cu (Ag або Au) та Fe і Pt, показаний суттєвий вплив деформації зразків на їх магнітні та магнітооптичні характеристики.

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

Наукове та практичне значення одержаних в роботі результатів не викликає сумнівів, оскільки результати дослідження взаємного впливу зовнішнього магнітного поля та деформації на тензорезистивні властивості є цінними для розуміння фізичних

процесів, які при цьому відбуваються у зразках. Розроблена феноменологічна модель для двошарових плівкових систем дозволила якісно пояснити взаємний вплив магнітного поля і деформації на коефіцієнт тензочутливості. Крім того, одержані результати можуть бути застосовані для покращення та удосконалення роботи багатofункціональних сенсорів з можливістю контролю відразу декількох параметрів одночасно. Більшість отриманих експериментальних результатів мають велику ступінь новизни і їх можна розглядати як певний внесок у проблему накопичення результатів і розуміння класу явищ, які мають назву деформаційних та магнітодеформаційних ефектів.

### **Зауваження до роботи**

1. Не дивлячись на те, що дослідження магнітодеформаційного ефекту носить до великої міри піонерський характер, серйозним недоліком є відносно мала величина зовнішнього магнітного поля (30 мТл) для спостереження і встановлення максимуму.

2. Спроба автора якісно пояснити складність фізичних процесів при реалізації магнітодеформаційного ефекту схематичним зображенням траєкторії електронів (рис. 3.20 на с. 90) має якийсь непереконаливий характер і не може претендувати на повноту інтерпретації магнітодеформаційного ефекту.

3. Для розуміння процесів, які протікають при пластичній деформації зразків, дуже важливо було б провести порівняльні електронно-мікроскопічні дослідження кристалічної структури безпосередньо у колоні мікроскопа, якісні міркування у цьому випадку дають мало інформації і розуміння процесів.

4. Дисертант не пояснив суті фізичних процесів, які протікають у деформованих мультишарах у процесі вимірювання магнітооптичного ефекту Керра.

5. Результати досліджень, які приведені у підрозділі 4.3 щодо прикладного аспекту застосування металевих немагнітних плівок як тест-об'єктів для емісійного мікроскопу, є досить цікавими і актуальними, але, я вважаю, слабо пов'язані з основною метою роботи.

6. Автором в тексті дисертації одночасно використовуються поняття «тензорезистивні властивості» (с. 13, 14) та «деформаційні властивості» (с. 50, с. 124) в тотожних смислах, що, на мою думку, є не зовсім коректним, оскільки ці поняття можуть мати відношення до різних властивостей.



## 6. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Разом з тим, зауваження та недоліки не знижують наукового рівня одержаних результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Без сумніву, вона представляє собою завершену кваліфікаційну працю, в якій одержані нові науковообгрунтовані результати, опубліковані у провідних наукових виданнях, апробовані на конференціях різного рівня.

Оцінюючи дисертацію в цілому, можна відзначити, що за актуальністю теми, обгрунтованістю і достовірністю висновків, новизною, науковим і практичним значенням дисертація Зінаїди Миколаївни Макухи «Магнітодеформаційний ефект у плівкових матеріалах на основі феромагнітних і немагнітних металів», цілком задовольняє вимогам ДАК України до кандидатських дисертацій, зокрема пунктам 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Провідний науковий співробітник відділу  
модельовання радіаційних ефектів та  
мікроструктурних перетворень в  
конструкційних матеріалах Інституту  
прикладної фізики НАН України,  
д.ф.-м.н., професор

*Чепурних*

Г. К. Чепурних

*Зінаїда Миколаївна Макуха № 60*  
*проф., д.ф.-м.н. Чепурних Г.К.*  
*Засвідчую угоди*  
*НАН України*  
*Ворошча О.Т.*



*1999*