

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Литвиненко Ярини Миколаївни  
«Фізичні процеси в приладових структурах з перпендикулярною  
магнітною анізотропією»,  
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
зі спеціальності 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

### Актуальність теми дисертації

Використання наноматеріалів у вигляді мультишарів, спін-вентилів та магнітних тунельних переходів з перпендикулярною магнітною анізотропією (ПМА) у якості функціональних елементів приладів супроводжується рядом невирішених проблем, пов'язаних з відсутністю однозначної інформації щодо методики формування цих плівкових структур та особливостей фізичних процесів у них під дією температури, магнітного та електричного полів. Тонкоплівкові структури з перпендикулярною магнітною анізотропією, зокрема тунельні переходи, здобувають популярність при виготовленні сенсорів і пристроїв збереження та запису інформації, оскільки вони дозволяють зменшити фізичні розміри самих приладів та підвищити їх енергоефективність, окрім цього реалізація процесу перенесення спінового моменту в структурах з ПМА відкриває можливість розроблення нового принципу роботи запам'ятовувальних пристроїв.

Оскільки дисертаційна робота Я.М. Литвиненко присвячена дослідженню магнітних та магнітотранспортних властивостей мультишарів Co/Ni з ПМА та спін-вентилів і магнітних тунельних переходів на їх основі, а також тунельних переходів виду V/Fe/MgO/Fe/Co з паралельною та ортогональною взаємною орієнтацією осей легкого намагнічування їх електродів, то тематика дисертаційної роботи є актуальною.

Робота виконувалась в рамках держбюджетних тем Міністерства освіти і науки України та індивідуальних грантів державної програми МОН на стажування в провідних ВНЗ та наукових установах за кордоном і стипендіальної програми уряду Франції для молодих вчених (Університет Лотарингії, м. Нансі, Франція, 2013 – 2014 рр.).



## Характеристика дисертації та наукова новизна результатів

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Першим розділом є літературний огляд, у якому розглядається магнітна анізотропія в тонких плівках, її види і причини виникнення та проведено аналіз фізичних властивостей плівкових структур з перпендикулярною магнітною анізотропією, а також робиться короткий огляд як теоретичних основ процесу тунелювання електронів в тонкоплівкових структурах, так і експериментальних результатів дослідження фізичних властивостей магнітних тунельних переходів. Одержання плівкових зразків та методи їх дослідження розглянуті у другому розділі. Значну увагу приділено методу епітаксійного росту плівок. Наступні два розділи присвячені вивченню структурних, магнітних та магнітотранспортних властивостей спінівентилів та магнітних тунельних переходів на основі мультишарів Co/Ni з перпендикулярною магнітною анізотропією та магнітних і магніторезистивних властивостей епітаксійних тунельних переходів V/Fe/MgO/Fe/Co.

Серед нових наукових результатів, одержаних в дисертації, можна відмітити наступні:

1. У роботі вперше продемонстровано розмірну залежність магнітних властивостей ультратонкої плівки Ni при товщині до 1,2 моноатомного шару в плівковій системі Co/Ni та показано, при якій товщині плівки легка вісь намагнічування орієнтується перпендикулярно площині зразка.

2. Уперше одержано магнітні тунельні переходи на основі аморфного бар'єру з оксиду алюмінію та мультишарів Co/Ni з перпендикулярною магнітною анізотропією при товщині індивідуальних шарів  $d_{Co} = 0,2 - 0,3$  нм та  $d_{Ni} = 0,6$  нм. Показано, що дані структури характеризують почерговим перемагнічуванням електродів при перпендикулярно прикладеному магнітному полі та значенням тунельного магнітоопору 8 % при температурі 300 К.

3. На основі експериментальних результатів показана можливість зміни магнітної анізотропії ультратонкого електроду Fe з перпендикулярною магнітною анізотропією в тунельному переході V/Fe(0,7 нм)/MgO/Fe/Co за

допомогою зміни значення напруги зміщення за умови, що тунелювання електронів відбувається в цей електрод.

4. Знайшли подальший розвиток уявлення про фізичні процеси (часова залежність опору, виникнення ефекту квантової ями та ін.) в приладових структурах у вигляді магнітних тунельних переходів, що має враховуватись при використанні цих структур в якості функціональних елементів приладів.

### **Достовірність результатів та ступінь обґрунтування наукових положень**

Достовірність результатів, одержаних у даній дисертаційній роботі та ступінь обґрунтування наукових положень і висновків обумовлено наступним:

1. Широким спектром сучасних методів одержання зразків та дослідження їх фізичних властивостей (молекулярно-променева епітаксія, фотолітографія, магнетронне розпилення, дифракція високоенергетичних електронів, вібраційної, МОКЕ та надпровідної квантової (SQUID) магнітометрії тощо) з використанням високоточного обладнання.

2. Використанням автоматизованих комплексів та програмного забезпечення при вимірюваннях та обробці результатів досліджень.

3. Оригінальністю, комплексністю та повторюваністю одержаних результатів та їх узгодженістю з роботами інших авторів.

### **Практичне значення результатів роботи і рекомендації щодо їх використання**

Практична цінність дисертації Литвиненко Я.М. не викликає сумнівів, оскільки у роботі обґрунтовано можливість використання спін-вентилів і магнітних тунельних переходів на основі мультишарів Co/Ni з перпендикулярною магнітною анізотропією, а також епітаксійних структур V/Fe/MgO/Fe/Co в якості функціональних елементів сенсорики та пристроїв запису та збереження інформації. Одержані у роботі результати можуть бути використані у лабораторіях плівкового матеріалознавства ВНЗ МОН України та

наукових установах НАН України, таких як НТУ КПІ, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, Інститут прикладної фізики НАН України, Інститут металофізики НАН України, Інститут магнетизму НАН та МОН України та ін.

### Зауваження до роботи

До тексту роботи можна висловити такі зауваження та побажання:

1. У висновках до першого розділу доцільно було б навести перелік тих задач дослідження фізичних властивостей матеріалів з перпендикулярною магнітною анізотропією та тонкоплівкових структур на їх основі, який з'ясовано на основі літературного огляду і які потребують подальшого розгляду в оригінальних розділах даної дисертації.

2. Результати досліджень плівок трикомпонентних сплавів на основі Fe, Ni, Co або Ag в цілому є оригінальними, але в загальному, варто зазначити, що такі та подібні дослідження проводились раніше й іншими дослідниками. Зокрема, досить добре відомі концентраційні залежності магнітних властивостей плівок сплавів  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_x\text{Ag}_{1-x}$  та  $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_x\text{Co}_{1-x}$  як в полікристалічному, так і в текстурованому стані. На мою думку, дослідження цих плівкових сплавів слабо пов'язані з основною метою дисертаційної роботи, яка досягнута при дослідженні тонкоплівкових структур, розглянутих у роботі.

3. При дослідженні магнітних тунельних переходів на основі мультишарів Co/Ni з перпендикулярною магнітною анізотропією та аморфного бар'єру  $\text{Al}_2\text{O}_3$  було використано лише одну товщину бар'єру - 2,5 нм та одержано відносно незначне значення ТМО (8 %). З огляду на високе значення опору бар'єру, який становить приблизно 425 кОм, можливо, доцільним було використовувати менші товщини бар'єрного шару або провести дослідження залежності ТМО від товщини бар'єру та встановити оптимальну його товщину для одержання вищих значень ТМО.

4. Як недолік роботи варто зазначити, що робота виглядала більш переконливо, якщо б автор при обговоренні експериментальних результатів досліджень магнітних та магніторезистивних властивостей використовував

існуючі теоретичні моделі та провів порівняння експериментальних та розрахункових значень.

5. Не зважаючи на те, що одержані в дисертаційній роботі результати мають практичне значення, було б доцільно розглянути конкретний приклад використання хоча б однієї з досліджуваних плівкових систем в якості функціонального елементу сенсору або елементарної комірки пам'яті з порівнянням їх фізичних параметрів із вже використовуваними матеріалами.

Однак усі вказані зауваження не мають суттєвого значення, а носять, скоріш, рекомендаційний характер і не можуть вплинути на загальну позитивну оцінку дисертації Я.М. Литвиненко.

### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Я.М. Литвиненко є завершеною науковою працею, що побудована на значній за обсягом роботі автора. У цій роботі одержані нові, науково обґрунтовані експериментальні результати, що дозволяють вирішити важливі практичні питання та завдання, які пов'язані з дослідженням фізичних процесів у плівкових структурах для функціональних елементів спінтронних приладів.

Результати дисертації відображені в 18 публікаціях, у тому числі в 7 статтях (із них 6 статей в журналах, що індексуються наукометричною базою даних Scopus) та 11 тезах доповідей на всеукраїнських та міжнародних конференціях. Зміст автореферату повністю відображує суть дисертаційної роботи та її спеціальність.

Таким чином, за актуальністю теми, новизною одержаних результатів, їх науковим рівнем та обсягом, обґрунтованістю та достовірністю висновків і положень, науковим і практичним значенням дисертація Литвиненко Я.М. відповідає встановленим вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема пунктам 9, 11, 12 і 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор Литвиненко Ярина Миколаївна заслуговує на

присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Офіційний опонент,  
провідний науковий співробітник  
відділу моделювання радіаційних ефектів та  
мікроструктурних перетворень  
у конструкційних матеріалах  
Інституту прикладної фізики НАН України,  
д. ф.-м. н., професор

Г.К. Чепурних

Підпис Чепурних Г.К засвідчую:

Вчений секретар ІПФ НАНУ,  
к. ф.-м. н.



О.І. Ворошило