

## ВІДГУК

офіційного опонента

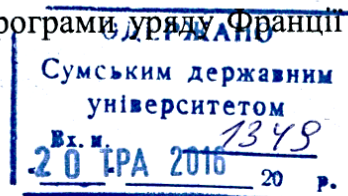
на дисертаційну роботу Литвиненко Ярини Миколаївни  
«Фізичні процеси в приладових структурах з перпендикулярною  
магнітною анізотропією», поданої на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук  
зі спеціальності 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

### Актуальність теми дисертації

Стрімкий розвиток технологій зумовлює необхідність пошуку нових матеріалів для використання в якості функціональних елементів електронних приладів мікро- та наноелектроніки. Зростання ролі комп'ютерної техніки та засобів зв'язку, а отже і об'єму інформації в цілому, потребує зменшення як фізичних розмірів функціональних елементів, так і їх енергоспоживання. Одним із способів, що задовольняє дані вимоги, є використання в пристроях запису та збереження інформації тонкоплівкових структур з перпендикулярною магнітною анізотропією. Окрім цього, дані структури дозволяють реалізувати процес перенесення спінового моменту, що може лягти в основу нового принципу побудови модулів пам'яті.

У дисертаційній роботі Я.М. Литвиненко наведено результати досліджень фізичних властивостей тонкоплівкових функціональних елементів у вигляді спін-вентилів та магнітних тунельних переходів на основі мультишарів Co/Ni з перпендикулярною магнітною анізотропією, а також епітаксійних тунельних переходів виду V/Fe/MgO/Fe/Co з паралельною та ортогональною орієнтацією осей легкого намагнічування їх електродів. Таким чином, на основі сказаного вище можна стверджувати про актуальність обраної теми дисертаційного дослідження.

Про актуальність дисертаційної роботи також свідчить те, що вона виконувалась в рамках двох держбюджетних тем Сумського державного університету, а також проведення значної частини дослідження на базі лабораторій наукової групи «Наномagnetизму і спінтроники» Інституту Жана Ламура Університету Лотарингії (м. Нансі, Франція) за підтримки державної програми МОН України «Навчання студентів і аспірантів та стажування наукових і науково-педагогічних працівників у провідних вищих навчальних закладах та наукових установах за кордоном» в 2012 - 2013 та 2013 - 2014 н. р., а також стипендіальної програми <sup>Уряду Франції</sup> для молодих вчених у 2014 р.



## Наукова новизна

Аналізуючи роботу в цілому варто зазначити, що при її виконанні було проведено комплексне дослідження магнітних тунельних переходів типу Fe/MgO/Fe та структур на основі мультишарів Co/Ni з перпендикулярною магнітною анізотропією (ПМА). При цьому було експериментально одержано ряд нових наукових результатів, з яких, на наш погляд, найбільш вагомими є наступні:

1. Уперше показано, що при товщині епітаксійної плівки Ni 0,6-0,8 моноатомного шару, осадженої на Co товщиною 0,6 нм, відбувається переорієнтація легкої осі намагнічування з паралельної до площини зразка в перпендикулярну в зв'язку з впливом на магнітну анізотропію електронної гібридизації на інтерфейсах Co/Ni та на основі цього запропоновано методику формування мультишарів Co/Ni та спін-вентилів на їх основі.

2. Уперше сформовано магнітні тунельні переходи з електродами на основі мультишарів Co/Ni з ПМА і аморфного бар'єру з оксиду алюмінію з почерговим перемагнічуванням електродів та одержано для даних структур залежності тунельного магнітоопору з його максимальним значенням 8%.

3. При проведенні комплексних досліджень тунельних переходів V/Fe/MgO/Fe/Co зі змінною товщиною нижнього електроду з Fe (2 – 10 нм) було встановлено, що при тунелюванні електронів у нижній електрод інтерфейс V/Fe відіграє роль другого потенціального бар'єру для електронів провідності.

4. На основі дослідження магнітних та магніторезистивних властивостей тунельного переходу V/Fe(0,7 нм)/MgO/Fe/Co з нижнім ПМА-елекτροдом було встановлено залежність інтерфейсної анізотропії шару Fe (0,7 нм) від величини напруги зміщення (тунельного струму) при полярності, за якої тунелювання відбувається в цей шар, а отже було реалізовано процес перенесення спінового моменту.

## Достовірність результатів

### та ступінь обґрунтування наукових положень

Достовірність результатів, одержаних у дисертаційній роботі та ступінь обґрунтування наукових положень забезпечується, у першу чергу, використанням багатьох сучасних методів експериментальних досліджень з використанням

високоточного обладнання (система PPMS, SQUID-магнітометр, комплекс для молекулярно-променевої епітаксії RIBER та ін.), автоматизованих комплексів та комп'ютерних програм під час вимірювань та обробки результатів. Одержані результати були обговорені на 11 конференціях та опубліковані в провідних фахових українських та закордонних виданнях. Всі наукові положення, наведені в роботі, мають добре описане фізичне підґрунтя та узгоджуються з думкою інших авторів.

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

Одержані в роботі результати мають як фундаментальне, так і прикладне значення. Фундаментальне значення полягає в тому, що в роботі отримано ряд нових систематичних результатів, які поглиблюють розуміння фізичних процесів в плівкових структурах з перпендикулярною магнітною анізотропією та тунельним ефектом під дією температури, електричного та магнітного полів.

Практичне значення результатів обумовлене тим, що у роботі отримано достатньо повні дані про можливість використання досліджуваних плівкових структур на основі мультишарів Co/Ni та тунельних переходів V/Fe/MgO/Fe/Co для використання в якості функціональних елементів сенсорів та запам'ятовувальних пристроїв.

Одержані у роботі результати можуть бути використані у лабораторіях плівкового матеріалознавства ВНЗ МОН України та наукових установах НАН України, таких як НТУУ КПІ, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, Інститут магнетизму НАН України та МОН України, Інститут прикладної фізики НАН України, Інститут металофізики НАН України та ін.

### **Зауваження до роботи**

До тексту роботи можна зробити наступні зауваження:

1. У третьому розділі вживається поняття моноатомного шару в якості одиниці товщини для плівок Co та Ni, проте не описано як вона визначається або чому відповідає, що не дає можливості чітко визначити товщину плівок у зразках. Також, залишається незрозумілим, наскільки надійними і відтворюваними є дані, що стосуються дослідження властивостей структур із товщиною плівки, меншою за один моношар, оскільки в цьому випадку плівка є острівцевою.

2. Твердження щодо текстурованої структури верхнього електроду в тунельних переходах  $[\text{Co/Ni}]_n/\text{Al}_2\text{O}_3/[\text{Co/Ni}]_n/\text{Pt}/[\text{Co/Pt}]_n$ , осадженого на аморфний шар, було б більш переконливим, якби в роботі були наведені результати мікроскопії або рентгенографії, оскільки внаслідок острівцевого росту на поверхні аморфного шару могло відбутись порушення орієнтованого росту в напрямі (111) і тим самим знизити перпендикулярну магнітну анізотропію у верхньому електроді.

3. У п. 4.2 розділу 4 йде мова про ефект квантової ями на інтерфейсі V/Fe та наголошено, що цей ефект спостерігається при товщинах електроду тунельного переходу в декілька моноатомних шарів, але результати дослідження  $I(U)$ ,  $dI/dU$ ,  $\text{TMO}(U)$  наведено лише для товщини електроду 3 нм, що відповідає приблизно 21 моноатомному шару. Можливо, для дослідження квантового явища варто було використовувати значно менші товщини електроду ( $< 3$  нм), що дозволило б отримати сильніший прояв даного ефекту.

4. У п. 4.3.2 наведено дані щодо впливу напруги зміщення на ефективну константу магнітної анізотропії нижнього електроду в магнітному тунельному переході V/Fe/MgO/Fe/Co. Нажаль, текст дисертаційної роботи містить суперечливі дані щодо природи цього важливого ефекту. З одного боку, автор пише, що спостереження такого ефекту «свідчить про вплив спін-поляризованого тунельного струму на анізотропію шару Fe» (стор. 114 дисертації, 1-й абзац). З іншого боку, у роботі міститься твердження: «Фізичний механізм впливу електричного поля на магнітну анізотропію полягає в зміні відносної заселеності  $3d$ -орбіталей атомів Fe на інтерфейсі Fe/MgO» (стор. 114 дисертації, 2-й абзац). Ці явища (вплив спін-поляризованого струму і вплив електричного поля на заселеність  $3d$ -орбіталей атомів Fe) не є еквівалентними, тому бажано б прийти до однозначного висновку щодо природи даного ефекту.

5. У роботі наведено значну кількість експериментальних результатів, проте відсутнє їх порівняння з теоретичними розрахунками, що могло значно підсилити роботу.

Однак, вказані зауваження в цілому не впливають на наукову цінність одержаних у дисертаційній роботі результатів.

### Висновок щодо відповідності роботи встановленим вимогам

Результати дисертаційної роботи відображені в 18 публікаціях, у тому числі в семи статтях, з яких 6 статей у журналах, що індексуються наукометричною базою даних Scopus, одній статті в матеріалах конференції та 11 тезах доповідей на всеукраїнських та міжнародних конференціях.

Дисертація Я.М. Литвиненко є завершеною в цілому (в межах поставленої задачі) науковою працею, в якій одержано нові науково обгрунтовані результати, що мають фундаментальне і прикладне значення для плівкового матеріалознавства мікро- і наноелектроніки та сенсорики.

За актуальністю, науковим рівнем, новизною одержаних результатів, їх обсягом, достовірністю, обгрунтованістю та практичним значенням дисертаційна робота Я.М. Литвиненко «Фізичні процеси в приладових структурах з перпендикулярною магнітною анізотропією» 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

в.о. завідувача відділу

Інституту магнетизму МОН України та НАН України,

доктор фізико-математичних наук, професор

О. І. Товстолиткін

Підпис О. І. Товстолиткіна засвідчую:

Вчений секретар

Інституту магнетизму НАН України та МОН України,

кандидат фізико-математичних наук



А.О. Хребтов