

## ВІДГУК

### офіційного опонента на дисертаційну роботу Лукієнко Ірини Миколаївни «Особливості магнетооптичних ефектів Кера і Фарадея в багатошарових наноплівках Co/Cu (111)»,

яка подана на здобуття наукового ступеню кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм

В дисертаційній роботі вивчали вплив товщини шарів немагнітного металу на магнетооптичні властивості багатошарових наноплівки «феромагнітний/немагнітний метал», для яких властивим є встановлення при певних товщинах шарів немагнітного металу обмінного зв'язку Рудермана-Кіттеля-Касуї-Іосіда між феромагнітними шарами. Тип зв'язку (феромагнітний чи антиферомагнітний) і його величина залежать від товщини шарів немагнітного металу. Завдяки технологічним можливостям надавати потрібну магнітну жорсткість феромагнітним шарам півки стали широко використовуватись в магнеторезистивних пристроях магнітних сенсорів та в елементах пам'яті. Можливості змінювати обмінні та анізотропні параметри штучних антиферомагнетиків роблять їх привабливими в розробках антиферомагнітної трекової пам'яті, мікрохвильових пристроїв з використанням антиферомагнітних спін-хвильових збуджень. Магнетооптичні методи досліджень тонких магнітних півки є незамінними, і тема дисертаційної роботи - дослідження ефектів Фарадея і Кера в багатошарових наноплівки «феромагнітний/немагнітний метал» в залежності від товщини шарів немагнітного металу є, безумовно, актуальною.

Дисертація Лукієнко І.М. повністю відповідає спеціальності 01.04.11 – магнетизм і складається з анотації, вступу, п'яти розділів з 64 рисунками і 1 таблиці, висновків та списку використаних джерел з 116 найменувань на 13 сторінках та двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 144 сторінки,

У першому розділі дисертації представлено короткий огляд літератури з питань, пов'язаних з фізичними властивостями сандвічевих структур «феромагнітний/немагнітний/феромагнітний метал», з механізмами виникнення ефектів Фарадея і Кера в феромагнітних металах, з особливостями магнетооптичних властивостей багатошарових наноплівки «феромагнітний/немагнітний метал», з впливом електронного квантування в шарах нормального металу на електронний спектр і спектр величини магнетооптичного ефекту Кера.

У другому розділі описано спосіб виготовлення і характеристики досліджуваних в роботі півки  $[\text{Co}(111)/\text{Cu}(111)]_{20}$ . Викладено основні принципи роботи магнетооптичної установки, на якій вимірювались ефекти Фарадея і Кера. Описано метод вимірів магнеторезистивного ефекту, визначення намагніченості півки з вимірів на квантовому магнетометрі і метод отримання зображення поверхні півки за допомогою атомної силової мікроскопії.

У третьому розділі доповідається про результати виконаних в дисертаційній роботі І.М. Лукієнко вимірів магнетопольових залежностей Фарадеєвого кута обертання в півки з різною товщиною шарів міді і обробки залежностей Фарадеєвого кута як функції від товщини шарів немагнітного металу в наближенні ефективного оптичного середовища.

У четвертому розділі викладено результати вимірів магнетопольових залежностей електроопору плівок, які були описані моделями розсіяння електронів провідності на суперпарамагнітних кластерах Со двох розмірів і феромагнітних кобальтових блоках. Цей розділ доповнюють результати низькотемпературних магнітних досліджень однієї з плівок і зображення поверхонь декількох плівок, отриманих методом атомної силової мікроскопії.

У п'ятому розділі описано результати досліджень ефекта Керра - вимірів кутів обертання осі еліпса поляризації при поздовжньому ефекті Керра і аналізу результатів. При апроксимації цих залежностей були використані Ланжевеніві функції і логнормальний розподіл суперпарамагнітних кластерів кобальту за розміром їх магнітного моменту. Доповнюють розділ спектральні виміри еліптичності при ефекті Керра плівки з найбільш аномальними властивостями, проведені в тій самій поздовжній експериментальній геометрії.

**Наукову новизну** дослідження визначають насамперед наступні результати:

- Виявлено неочікуване досить сильне монотонне збільшення кута Фарадеевого обертання при незмінній сумарній товщині кобальтових шарів, але при збільшенні товщини немагнітних мідних шарів. Це збільшення було описано моделлю ефективного середовища. Було зроблено висновок, що воно спричинене залежністю інтенсивності відбитого світла від товщини мідних шарів та його багатократним відбиванням. Виявлено також різке зменшення ефекту Фарадея в деяких плівках, особливо різке в одній з плівок, яке пов'язується з відокремленням поодиноких атомів кобальту, не зв'язаних в феромагнітні кластери.

- Виявлення зменшення розмірів і збільшення кількості суперпарамагнітних кластерів Со у плівках, де обмінна взаємодія РККІ між феромагнітними шарами є антиферомагнітною, і приведено обґрунтування висновку, що виявлені особливості пов'язані із впливом електронного квантування в шарах міді на формування шарів Со в процесі осадження плівок. Наявність обмінного зв'язку підтверджується зламами на магнетопольових залежностях, що пов'язуються з переходами до спін-хлоп фази.

- Виявлено сильне (в декілька разів) підсилення ефекту Керра в тих плівках, в яких існує обмінний зв'язок між шарами кобальту, а самі шари суттєво фрагментовані.

Результати досліджень, що викладені в дисертації, є **обґрунтованими і достовірними**, оскільки вони були отримані на основі надійно апробованих методів і неодноразово обговорювались на семінарах і міжнародних конференціях.

Матеріали дисертації Лукієнко І. М. **висвітлено** в 5 статтях і пройшли апробацію на 10 профільних міжнародних наукових конференціях. Текст **автореферату** повністю відповідає змісту дисертації.

Дисертація не є вільною від **недоліків**. А саме:

- В розділі 3 обговорюються «провали» на залежності Фарадеевого обертання від товщини шарів міді  $d_{Cu}$ , показані на рис. 3.2. Проте, про наявність «провалу» при  $d_{Cu} = 1,8$  нм свідчить лише одна точка, яка, здається, начебто випадково має значно меншу величину Фарадеевого кута, порівняно з близькими по товщині плівками. На підставі яких даних в цьому випадку здобувач вважає, що провал є? І чому не були проведені додаткові виміри для плівок з проміжною товщиною шарів Cu поблизу  $d_{Cu} = 1,8$  нм?

- При магнетооптичних вимірах використовували дзеркала, які могли змінювати еліптичність світла, яке від них відбивалося. Незрозуміло, як наявність дзеркал

впливало на результати вимірів і які заходи було вжито для мінімізації їх впливу на поляризацію світла при вимірах?

Наведені недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку роботи. Слід зазначити, що дисертація справляє приємне враження. Треба підкреслити особливо той факт, що всі основні результати були одержані у Фізико-технічному інституті низьких температур на установці, яка була вдосконалена за активної участі здобувача.

Дисертація Лукієнко І. М. є завершеною науковою працею, в якій виявлено ефект впливу товщини немагнітних шарів на величини магнетооптичних ефектів Фарадея і Кера в багатошарових плівках  $[Co/Cu]_{20}$  і на розміри суперпарамагнітних формувань в феромагнітних шарах, що має важливе значення для фізики магнетизму. Показано, що спостережені ефекти спричинені опосередкованим впливом електронного розмірного квантування в НМ шарах. За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, обґрунтованістю, достовірністю, новизною та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота Лукієнко І. М. «Особливості магнетооптичних ефектів Кера і Фарадея в багатошарових наноплівках  $Co/Cu(111)$ » повністю відповідає вимогам МОН України, зокрема, п.п. 9, 11 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів», до кандидатських дисертацій, а її автор Лукієнко Ірина Миколаївна заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм.

Офіційний опонент:

член-кореспондент НАН України,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач відділу радіоспектроскопії,  
Інституту радіофізики та електроніки  
імені О.Я. Усикова НАН України

С. І. Тарапов

Підпис

член-кореспондента НАН України,  
доктора фізико-математичних наук,  
професора, завідувача відділу радіоспектроскопії,  
Інституту радіофізики та електроніки  
імені О.Я. Усикова НАН України  
Сергія Івановича Тарапова засвідчую:



т.в.о. ученого секретаря Інституту  
Інституту радіофізики та електроніки  
імені О.Я. Усикова НАН України,  
кандидат фізико-математичних наук

С.С. Пономаренко