

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Козак Ірини Михайлівни**

**„Термомагнітне керування обмінними взаємодіями в магнітних багат шарових та гранульованих плівкових наноструктурах”,**

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм

На сьогоднішній день ведеться активна наукова і практична робота по створенню нових функціональних матеріалів та елементів на їх основі для потреб сучасної магнітоелектроніки. Одним із невирішених питань у даному напрямку фізики залишається керування магнітними станами нанорозмірних феромагнетиків, які є складовими різноманітних багат шарових спітронних пристроїв – спінових вентилів, елементів магнітної енергонезалежної пам'яті, нанорозмірних осциляторів, без прикладання зовнішнього магнітного поля.

Досліджені в дисертаційній роботі об'єкти – матеріали у вигляді багат шарових та гетерогенних плівкових наноструктур – займають важливе місце у магнітоелектроніці завдяки унікальним фізичним властивостям, зокрема феромагнітним, які проявляються при кімнатній температурі, та розглядаються багатьма дослідниками перспективними для використання. Термічне управління обмінною взаємодією між двома нанорозмірними шарами сильних феромагнетиків через прошарок слабого феромагнетика в структурах вентильного типу, що є предметом дослідження дисертаційної роботи, дозволяє забезпечити можливість керування їх магнітними і транспортними властивостями.

Магнітним наногранульованим структурам притаманні такі фізичні явища, як ефект гігантського магнітоопору, тунельного магнітоопору, гігантського ефекту Холла, магніторефрактивний ефект, що проявляються в них під впливом магнітного поля. Властивості магнітних наногранульованих плівок залежать від матеріалів магнітних гранул, їх розмірів і концентрації, а

також типу немагнітної матриці, що суттєво впливає на міжгранулярну обмінну взаємодію в цих структурах.

При аналізі літератури залишається відкритим цілий ряд питань, тому завданням дисертації було заповнення цих прогалів. Робота була виконана в рамках бюджетних та конкурсних тем у відділі фізики плівок Інституту магнетизму НАН та МОН України.

### **Загальна характеристика дисертації.**

У дисертаційній роботі розв'язується проблема щодо встановлення закономірностей прояву міжшарових та міжгранулярних обмінних взаємодій в багат шарових та гетерогенних магнітних наноструктурах. Відповідно до поставленої мети автором були виконані наступні завдання:

- виготовлені магнітні багат шарові наноструктури з температурно-керованим міжшаровим обміном;
- виготовлені магнітні наногранульовані плівки з різними типами міжгранулярної електронної провідності та міжгранулярних обмінних взаємодій;
- розроблені фізичні основи термічного управління магнітними, електричними і магнітотранспортними властивостями магнітних багат шарових наноструктур;
- досліджено вплив міжгранулярних обмінних взаємодій в магнітних наногранульованих структурах на їх статичні і динамічні магнітні властивості;
- виявлена роль непрямого обміну при встановленні магнітного впорядкування в магнітних наногранульованих плівках.

У *першому розділі* роботи проаналізовано літературні дані щодо фізичних властивостей шаруватих та гетерогенних магнітних структур. Наведено інформацію про обмінні взаємодії в них. Розглянуто методи управління магнітними моментами нанорозмірних ферромагнетиків, наводяться відомості про перемикання магнітних моментів за допомогою

таких параметрів, як електричне поле та температура. Стисло охарактеризовано основні методи виготовлення магнітних наноструктур.

У *другому розділі* представлено експериментальні методи виготовлення багатошарових та гетерогенних плівкових наноструктур та методики дослідження їх магнітних, резонансних та магнітотранспортних властивостей.

*Третій розділ* присвячено дослідженню властивостей багатошарових магнітних наноструктур нового типу, а саме – термомагнітних перемикачів, зокрема дослідженню впливу термомагнітно керованого міжшарового обміну на магнітні властивості багатошарових наноструктур  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Ni}_x\text{Cu}_{100-x}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Mn}_{80}\text{Ir}_{20}$  ( $F_1/f/F_{2\text{ pin}}$ ). В рамках запропонованої феноменологічної моделі теоретично описані термомагнітні ефекти в обмінно зв'язаній тришаровій структурі  $F_1/f/F_{2\text{ pin}}$ . Показано, що магнітне перемикання відбувається при зміні температури або величини магнітного поля. На основі експериментальних досліджень магнітних властивостей магнітометричним та ФМР методами показано, що обмінна взаємодія між зовнішніми феромагнітними шарами є керованою і на пряму залежить від концентрації слабомагнітного прошарку NiCu та його товщини. З магніторезистивних досліджень плівок NiCu вдалося визначити критичну концентрацію сплаву, та отримати інформацію про магнітний стан NiCu (феромагнітний чи парамагнітний).

У *четвертому розділі* приведені результати досліджень обмінних взаємодій в магнітних наногранульованих структурах з різним типом електронної матриці провідності – металевої та металодіелектричної. На основі досліджень методом феромагнітного резонансу вдалося встановити поріг виникнення міжгранульного обміну. Згідно з запропонованою теоретичною моделлю пояснено виникнення непрямого обміну через поляризовану підсистему електронів провідності матриці та визначено параметри (ефективне поле та константу) непрямої обмінної взаємодії для гранул в провідній матриці.

