

ВИСНОВОК

рецензентів про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційної роботи Салтикова Дмитра Ігоровича «Особливості електротранспорту в плівкових нанорозмірних системах на основі феромагнітних сплавів», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – прикладна фізика та наноматеріали

1. Актуальність теми дослідження

Розвиток тонкоплівкових технологій та їх промислове впровадження стимулює дослідження традиційних та розробку нових нанорозмірних магнітних матеріалів, характеристики яких відповідають вимогам сучасної електроніки. Перспективними функціональними матеріалами для елементів і компонентів мікро- і наноелектроніки та сенсорної техніки є мультишари, багатошарові спін-вентильні структури, багатокомпонентні плівкові плівки та нанокompозити з елементами сплаву на основі Fe і Co. Плівкові сплави на основі Fe та Co – це термостабільні магнітом'які матеріали, в яких реалізується спін-залежне розсіювання електронів провідності, та які мають найбільшу намагніченість насичення порівняно з усіма відомими магнітними сплавами. Інтерес до таких плівкових матеріалів також пов'язаний із можливістю реалізації в них спін-залежного розсіювання електронів провідності. Для практичного використання згаданих структур необхідно здійснити оптимальне поєднання робочих параметрів: величини гігантського магнітоопору (ГМО), магніторезистивної чутливості, магнітного гістерезису, необхідної величини поля перемагнічування і високої температурної стабільності. Для формування нанорозмірних систем із заданими характеристиками, крім ретельно відпрацьованої технології підготовки підкладок і оптимальних режимів нанесення шарів, необхідне розуміння особливостей впливу фазового складу, мікроструктури, дифузійних процесів і магнітної анізотропії на магніторезистивні властивості. Незважаючи на великий об'єм експериментальних та теоретичних досліджень стосовно фізичних властивостей плівкових систем на основі феромагнітних сплавів, залишаються невирішеними питання вивчення електрофізичних і магніторезистивних властивостей тришарових плівкових систем на основі сплаву Fe_xCo_{1-x} з прошарком Cu. Прогнозована зміна властивостей таких матеріалів можлива шляхом оптимізації технології їх отримання, вибору необхідної концентрації компонент, використання спеціальної термомагнітної обробки, що дозволить формувати магніточутливі матеріали з оптимальною величиною магнітоопору, слабким гістерезисом та високою магніточутливістю.

2. Найсуттєвіші результати дисертації, їх достовірність і новизна; значення для теорії і практики

У результаті проведеного дослідження дисертантом отримані такі нові результати:

– уперше для тришарових плівкових систем $Fe_xCo_{1-x}/Cu/Fe_xCo_{1-x}$ вивчені розмірні, температурні (в інтервалі 120 – 700 K) і концентраційні ефекти в

ізотропному магнітоопорі. Установлено, що максимальне значення ізотропного МО за кімнатної температури становить 3,5 % для плівок $\text{Fe}_{0,1}\text{Co}_{0,9}/\text{Cu}/\text{Fe}_{0,1}\text{Co}_{0,9}$ (при $x \cong 0,1$, $d_F = 30$ нм, $d_N = 5$ нм);

– уперше встановлено, що після поетапного термомагнітного відпалювання плівкових систем тришарові структури $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{Cu}/\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{P}$ при температурах 400, 550 і 700 К спостерігається перехід від ізотропного до анізотропного магнітоопору. Показано, що значення граничної температури відпалювання, після якої відбувається зазначений перехід, залежить від товщини прошарку міді та концентрації компонент у феромагнітних шарах;

– показано, що для систем зі спін-залежним розсіюванням електронів амплітуда ефекту ГМО збільшується в 1,2 – 1,5 рази при зменшенні температури від кімнатної до 120 К (до 6% для системи $\text{Fe}_{0,1}\text{Co}_{0,9}/\text{Cu}/\text{Fe}_{0,1}\text{Co}_{0,9}$);

– визначені оптимальні параметри ($d_F = 20 - 40$ нм, $d_N = 5 - 10$ нм) для можливого застосування плівкових матеріалів $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{Cu}/\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}/\text{P}$ як функціональних елементів датчиків магнітного поля.

Результати проведених у роботі систематичних досліджень термо- і магніторезистивних властивостей нанорозмірних систем на основі феромагнітних сплавів розширюють уявлення про фізичні процеси у магніто-неоднорідних функціональних плівкових матеріалах в умовах впливу на них температурних і магнітних полів. Реалізований підхід дозволяє встановити умови формування та подальшого термічного оброблення плівок із високою температурною чутливістю, а також високою магнітною чутливістю і температурною стабільністю з точки зору їх застосування як приладових структур сенсорної електроніки, спін-вентилів тощо.

Залежність чутливості електричного опору до магнітного поля в одно- та тришарових плівкових матеріалах дає можливість установити швидкість реагування датчика на зміну вхідного сигналу та точність вимірювання при детектуванні слабких магнітних полів.

3. Відповідність дисертації зазначеній спеціальності

Дисертаційна робота Салтикова Д. І. відповідає спеціальності 105 – прикладна фізика та наноматеріали, оскільки присвячена комплексному дослідженню електро- і магніторезистивних властивостей плівкових сплавів $\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x}$ та тришарових структур на їх основі з прошарком Cu, та вивченню впливу на них структурно-фазового стану, дифузійних процесів і умов термообробки. Дисертаційна робота виконана на кафедрі електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету і є частиною держбюджетних тем: «Вплив процесів гранулізації і спін-залежного розсіювання електронів на фізичні властивості плівкових твердих розчинів» (2015-2017 рр.) №0115U000689; «Фазовий склад, електрофізичні та магніторезистивні властивості багатокомпонентних (високоентропійних) плівкових сплавів» (2018-2020 рр.), №0118U003580.

4. Кількість публікацій та повнота опублікування результатів дослідження

Основні матеріали дисертації Салтикова Д. І. достатньо повно відображені у 12 публікаціях: 4 статтях у періодичних фахових наукових журналах, які індексуються БД Scopus, 1 статті і 7 тезах у матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій, що відповідає вимогам Наказу МОН «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» від 23.09.2019 р. № 1220.

1. **Saltykov D.I.** Phase state, crystal structure, diffusion processes and magnetoresistance of three-layer structures based on Fe_xCo_{1-x} ($x \cong 0,5$) and Cu / D.I. Saltykov, Yu.O. Shkurdoda, I.Yu. Protsenko // *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* – 2019. – V. 41, № 5. – P. 595 – 605.

2. **Saltykov D.I.** Temperature Effects in Magnetoresistive Properties of Three-Layer Films Based on $Fe_{80}Co_{20}$ Alloy and Copper / D.I. Saltykov, Yu.O. Shkurdoda, I.Yu. Protsenko // *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii.* – 2019. – V. 10, № 1. – P. 0101 – 0109.

3. **Салтиков Д.І.** Структурно-фазовий стан та електропровідність плівкових структур на основі ОЦК фази сплаву Fe-Co та Cu / Д.І. Салтиков, Ю.О. Шкурдода, І.Ю. Проценко // *Ж. нано-електрон. фіз.* – 2018. – Т. 10, № 3. – С. 03024-1 – 03024-6.

4. **Салтиков Д.І.** Вплив умов термообробки на магніторезистивні властивості тришарових структур $Fe_{0,2}Co_{0,8}/Cu/Fe_{0,2}Co_{0,8}/$ Д.І. Салтиков, Ю.О. Шкурдода, І.Ю. Проценко // *Ж. нано-електрон. фіз.* – 2018. – Т. 10, № 4. – С. 04031-1 – 04031-5.

5. Saltykov D.I. Magnetoresistance of Fe_xCo_{1-x} ($x \cong 0,5$) Film Alloys and Three-Layer Structures Based on them / D.I. Saltykov, Yu.O. Shkurdoda, I.Yu. Protsenko // *Proceedings of 7th International Conference «Nanomaterials: Applications and Properties-2017».* – Sumy: Sumy State University. – 2017. – №2. – P. 02NTF35 (4pp.).

6. **Салтиков Д.І.** Вплив товщини немагнітного прошарку на польові залежності наносистем $Co/Cu/Fe_xNi_{100-x}$ / Д.І. Салтиков // *Матеріали та програма науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка – 2017».* – Суми: СумДУ, 2017. – С. 100.

7. **Салтиков Д.І.** Магніторезистивні властивості плівкового сплаву $Fe_{50}Co_{50}$ / Д.І. Салтиков, І.Ю. Проценко, Ю.О. Шкурдода // *Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЄВРИКА-2017.* – Львів, 2017. – С. А14.

8. **Салтиков Д.І.** Елементний склад плівкових систем на основі Fe_xCo_{1-x} та Cu / Д.І. Салтиков // *Матеріали та програма науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка – 2018».* – Суми: СумДУ, 2018. – С. 67.

9. **Салтиков Д.І.** Магнітоопір тришарових плівок на основі сплаву Fe_xCo_{1-x} ($x \cong 0,2$) та Cu / Д.І. Салтиков, І.Ю. Проценко, Ю.О. Шкурдода // *Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЄВРИКА-2018.* – Львів, 2018. – С. А15.

10. **Салтиков Д.І.** Магніторезистивні властивості тришарових плівок на основі сплаву Fe_xCo_{1-x} та Cu / Д.І. Салтиков // *Матеріали та програма науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка – 2019».* – Суми: СумДУ, 2019. – С. 54.

11. Influence of the Conditions of Heat Treatment and Thickness of the Layers on the Magnetoresistive Properties of Three-layer Films Based on $Fe_{80}Co_{20}$ Alloy and Cu/
D.I. Saltykov, D.V. Poduremne, Yu.O. Shkurdoda, S.I. Protsenko // XVII Міжнародна Фреїківська конференція з фізики і технології тонких плівок та наносистем. – Івано-Франківськ, 2019. – С. 329.

12. **Saltykov D.I.** Phase state, crystal structure of thin films of Fe_xCo_{1-x} alloy and three-layer structures based on it with a Cu layer / D.I. Saltykov, Yu.O. Shkurdoda // X International Conference for Professionals and Young Scientists «Low Temperature Physics» – Kharkiv, 2019. – С.119.

5. Висновок

Вважати, що подана дисертація Салтикова Дмитра Ігоровича на тему «Особливості електротранспорту в плівкових нанорозмірних системах на основі феромагнітних сплавів» за своїм науковим рівнем, актуальністю виконаних досліджень, практичним значенням, обсягом і оформленням повністю відповідає вимогам, передбачених п.10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» від 06.03.2019 року щодо дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 – прикладна фізика та наноматеріали.

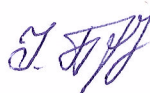
Рецензенти

Професор кафедри електроніки,
загальної та прикладної фізики
Сумського державного університету,
доктор фізико-математичних наук,
професор



Л.В.Одноворець

Доцент кафедри електроніки, загальної
та прикладної фізики Сумського
державного університету, кандидат
фізико-математичних наук, доцент



І.М. Пазуха