

ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Сумського
державного університету



В.Д. Карпуша

26 червня 2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації (сукупність наукових статей за науковою тематикою) Пазухи Ірини Михайлівни на тему «Вплив фізичних полів на властивості та електронні процеси у багат шарових і гранульованих плівкових наноматеріалах», поданої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

Призначені рішенням Вченої ради Сумського державного університету (наказ про введення в дію рішень вченої ради СумДУ від 02.06.2025 № 0559 І) рецензенти доктор фіз.-мат. наук, професор Лисенко О.В., доктор фіз.-мат. наук, професор Шпетний І.О., доктор фіз.-мат. наук, доцент Борисюк В.М., розглянувши докторську дисертацію Пазухи Ірини Михайлівни на тему «Вплив фізичних полів на властивості та електронні процеси у багат шарових і гранульованих плівкових наноматеріалах» та наукові публікації, в яких висвітлені основні наукові результати, а також за результатами фахового семінару апробаційної ради за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали (протокол № 8 від 23.06.2025), підготували висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Дослідження останніх років, спрямовані на вивчення особливостей фізичних властивостей нанорозмірних матеріалів, пов'язані з інтенсивним розвитком наноелектроніки та спінтроніки, базові елементи яких (сенсори магнітних полів, елементи оперативної пам'яті, магнітні транзистори тощо) сформовані на основі різного типу структур з нанометровими розмірами. До таких матеріалів належать три- та багат шарові нанокристалічні структури, гранульовані плівкові сплави, феромагнітні наноструктури «метал-діелектрик». Наукова та практична значимість таких матеріалів зумовлена тим, що їх електричними та магнітними властивостями можна керувати за рахунок зміни концентрації компонент, ефективної товщини шарів та умов термообробки, що, у свою чергу, призводить до зміни розміру магнітних наночастинок і, як наслідок, до зміни електропровідності, магнітних та

наночастинок і, як наслідок, до зміни електропровідності, магнітних та магніторезистивних властивостей. Особливої уваги заслуговують структури, в яких спостерігається спін-залежне розсіювання чи тунелювання електронів внаслідок їх широкого прикладного застосування як термостабільних чутливих елементів приладових структур. Використання таких структур уже зумовило створення нових та удосконалення традиційних датчиків (GMR- SDT- GMI-датчики). Крім того, пристрої спінтроники з сенсорними елементами, що базуються на ефекті ГМО, можуть реалізовувати синаптичні функції в нейроморфних обчисленнях, що робить їх потенційними апаратними платформами для штучного інтелекту. Незважаючи на активні дослідження таких структур, багато аспектів їхніх властивостей досі залишаються недостатньо вивченими. До них, зокрема, відносяться інтерпретація явища електропереносу в середовищах метал-діелектрик, пояснення термоелектричних властивостей, температурна стабільність магнітного стану наночастинок як можливих носіїв інформації та можливість формування наночастинок заданої форми. Вирішення цих питань пов'язане з наявністю інформації про мікроструктуру та властивості нанокомпозитів.

Отже, актуальність теми обумовлена інтересом як із фундаментальної, так і з прикладної точки зору до вивчення сучасної проблеми впливу фізичних полів на властивості та електронні процеси у плівкових наноматеріалах. Ця проблема пов'язана з комплексним дослідженням кристалічної структури, фазового складу, розмірних, концентраційних і температурних залежностей магнітоопору, магнітних параметрів та електроопору багатошарових і гранульованих плівок на основі феромагнітних і немагнітних компонентів. Її вирішення відкриває широкі можливості для прогнозування поведінки електрофізичних та магніторезистивних властивостей багатошарових систем зі змінною товщини шарів, гранульованих сплавів зі змінною концентрацією компонент, їх структури, умов отримання та термообробки.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами та темами

Дисертаційна робота виконана на кафедрі електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету. Основні результати були одержані в процесі виконання держбюджетних науково-дослідних робіт: «Вплив фізичних процесів на властивості спін-вентильних структур на основі плівок Fe, Co та Ag, Au, Cu і магнітних наночастинок» (2016–2018 рр.), № 01164U002623, відповідальний виконавець; «Магніторезистивні та магнітооптичні властивості композитних матеріалів з впровадженими наночастинами» (2019–2021 рр.), № 0119U100777, відповідальний виконавець; «Взаємозв'язок між магніторезистивними і магнітними властивостями та електронною структурою багатокомпонентних плівкових сплавів» (2020–2022 рр.), № 0120U102005; «Системи на основі феромагнітних та діелектричних матеріалів із покращеними магнітотранспортними властивостями для приладів спінтроники» (2024 р.),

договір М/85-2024, відповідальний виконавець; та при виконанні індивідуальних Міжнародних грантів за програмами «Magnetism for Ukraine 2022» від IEEE Magnetics Society та УНТЦ (Project number: 9918) та WPI Thematic Program “Mathematics-Magnetism-Materials” (2023-2024 pp.); Міжнародного проєкту за програмою НАТО «Наука заради миру та безпеки» «Ferromagnetic Insulator Systems with Improved Magneto-transport Properties for Spintronic Devices» (2023-2025 pp.) G6131, виконавець.

3. Особистий внесок Пазухи Ірини Михайлівни полягає в поставленні завдань дослідження, виборі експериментальних методик, проведенні досліджень електрофізичних, магніторезистивних властивостей та структурно-фазового стану. Авторка особисто брала участь у проведенні експериментальних досліджень, обробленні та інтерпретації одержаних результатів і підготовці текстів наукових праць [1–62] (пункт 8).

4. Основні положення та результати дисертаційного дослідження. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на таких наукових конференціях і семінарах: Міжнародній конференції «Nanomaterials: Applications & Properties» (м. Львів, 2016 р.; Затока, 2018 р., 2020 р., м. Краків, 2022 р.); Науково-технічній конференції «Фізика, електроніка, електротехніка :: ФЕЕ» (м. Суми, 2018-2023, 2025 pp.); International Conference “Electronics and Applied Physics” (м. Київ, 2022 р., 2017 р.) International Research and Practice Conference “Nanotechnology and Nanomaterials (NANO-2020) (м. Київ, 2020 р.); Міжнародній конференції студентів і молодих учених з теоретичної та експериментальної фізики «ЕВРИКА» (м. Львів, 2020 р.); International Advanced Study Conference “Condensed Matter and Low Temperature Physics 2020” (м. Харків, 2020 р.) XVII International Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (м. Івано-Франківськ, 2019 р., 2017 р.); XII-th International Conference «Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons», ION (Kazimierz Dolny, Poland, 2018); International Conference «Clusters and Nanostructured Materials» (м. Ужгород, 2018 р.); Міжнародній конференції «Сучасні проблеми фізики конденсованого стану» (м. Київ, 2018 р.); International Conference “Electronics and applied physics” (м. Київ, 2017 р.), International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (м. Чернівці, 2017 р.); XIII International Conference of Crystal Chemistry of Intermetallic Compounds (м. Львів, 2016 р.).

5. Достовірність положень, висновків та рекомендацій, що сформовані в дисертаційному дослідженні Пазухи Ірини Михайлівни сумнівів не викликають. Це обумовлено виконанням досліджень на високому методичному рівні з використанням комплексу сучасних експериментальних методів дослідження. Основні наукові положення та висновки, сформульовані в дисертації, логічно впливають із одержаних результатів та є достатньо обґрунтованими. Вони відповідають поставленій

меті та завданням дослідження. Результати досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в наукових міжнародних та фахових виданнях. Про достовірність отриманих результатів свідчить їх взаємоузгодженість та відповідність літературним даним.

6. Наукова новизна одержаних результатів

Проведене в роботі комплексне дослідження кристалічної структури, фазового й елементного складу, електро- та магніторезистивних властивостей плівкових систем дозволило одержати такі нові результати:

1. Уперше на основі комплексного дослідження структурно-фазового стану та концентраційних залежностей питомого опору, температурного коефіцієнту опору та температури заліковування дефектів гранульованих плівкових наноматеріалів на основі $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ і Ag в діапазоні концентрацій немагнітного матеріалу $c_{\text{Ag}} = (5-95)$ ат.% показано, що прояв мінімуму на залежності $\beta(c_{\text{Ag}})$ та максимуму на залежності $\rho(c_{\text{Ag}})$ пов'язаний зі змінами типу та середньої концентрації структурних дефектів (поступовий перехід від дефектів вакансійного типу при $c_{\text{Ag}} = 50$ ат.% до появи дефектів пакування), а також середнього розміру зерен кристалічної структури.

2. На прикладі систем, сформованих на основі $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ і Ag, показано, що зміна методу отримання з одночасної конденсації на пошарову не впливає на структурно-фазовий стан системи, а також характер температурних залежностей питомого опору і ТКО в той же час дозволяє регулювати величину питомого опору і ТКО, змінюючи або концентрацію компонент, або товщину і кількість шарів у системі за рахунок зміни внеску поверхневого, зерномежевого або інтерфейсного розсіювання носіїв заряду в загальну провідність системи.

3. Проведені комплексні дослідження впливу режимів термообробки ($T_{\text{в}} = 300-900$ К), температури вимірювань ($T_{\text{вим}} = 10-300$ К), впливу розмірних ефектів на величину та характер магніторезистивного ефекту гранульованих плівкових наноматеріалів на основі $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ і Ag для діапазону товщин $20 \leq d \leq 100$ нм дозволили реалізувати ізотропний магніторезистивний ефект величиною до 2,5% при вимірюванні за кімнатної температури в магнітному полі індукцією 1,5 Т, забезпечивши умови для ефективного спин-залежного розсіювання.

4. Показано, що псевдо спин-вентильні структури $\text{Co}(35)/\text{Ag}(d_{\text{Ag}})/\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(25)/\text{П}$ при $d_{\text{Ag}} = 15-20$ нм та структури $\text{Co}(30)/\text{Cu}(5)/\text{Ni}_x\text{Fe}_{100-x}(30)/\text{П}$ при $x < 50$ ат.%, які характеризуються високою термостабільністю магнітних параметрів і магнітоопору в інтервалі температур 300-750 К, чутливістю МО до магнітного поля на рівні до 20%/Тл, задовольняють вимогам, що висувають як до датчиків із високою швидкістю реагування на зміну магнітного потоку, так і датчиків, основною функцією яких є детектування слабких магнітних полів.

5. Уперше проведено дослідження впливу зміни ефективної товщини магнітних та немагнітних шарів багатошарових плівкових структур $[\text{Fe}/\text{SiO}_x]_n$

з ефективними товщинами шарів менше 10 нм на їх структурно-фазовий стан та визначено параметри, за яких відбувається перехід від шаруватої структури до гранульованої, що складається з феромагнітних наночастинок, розділених діелектричними каналами.

6. Уперше на основі отриманих температурних залежностей питомого опору для багатошарових плівкових структур $[\text{Fe}/\text{SiO}_x]$ з ефективними товщинами шарів $d_{\text{Fe}} = 5\text{--}10$ нм та $d_{\text{SiO}_x} = 1\text{--}10$ нм встановлені умови для реалізації таких механізмів провідності: металевий, який обумовлений провідністю через «нескінченні» металеві кластери; діелектричний – обумовлений процесами тунелювання носіїв заряду між окремими наночастинками феромагнітного металу через прошарок діелектрика; перехідний – комбінацію обох вищеописаних механізмів, особливістю якого є можливість отримати як додатній, так і від'ємний ТКО.

7. Уперше проведено дослідження впливу формування структурно-фазового стану в процесі осадження та термообробки на магніторезистивні властивості багатошарових плівкових структур $[\text{Fe}/\text{SiO}_x]_n$. Встановлено, що після відпалювання зразків з $d_{\text{Fe}} = 4\text{--}6$ нм та $d_{\text{SiO}_x} = 5$ нм при температурі 400 К фіксується перехід до ізотропного характеру польових залежностей магнітоопору, що пояснюється тим, що структура таких зразків складається з феромагнітних наночастинок із середніми розмірами 3-5 нм, розділеними діелектричними бар'єрами шириною 1-2 нм.

8. Уперше за результатами дослідження температурних залежностей намагніченості багатошарових плівкових структур $[\text{Fe}(5)/\text{SiO}_x(3)]_5/\text{P}$, отриманих при вимірюванні в процесі охолодження у магнітному полі індукцією 100 мТл та без магнітного поля, показана можливість формування композитних матеріалів із діелектричною аморфною матрицею без вмісту атомів феромагнітних металів, що дозволяє покращити їх термостабільність та магнітні характеристики, які є критичними для тривалої ефективної роботи приладів.

7. Практичне значення отриманих результатів

Результати проведених комплексних експериментальних досліджень поглиблюють розуміння фундаментальних питань щодо впливу фізичних полів на властивості та електронні процеси у багатошарових і гранульованих плівкових наноматеріалах.

Реалізований комплексний підхід щодо впливу розмірного та концентраційного ефектів на електрофізичні, магніторезистивні і магнітні властивостей плівкових наноматеріалів на основі $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та $\text{Ag}(\text{Au})$ за різних умов термообробки, дозволяє ефективно регулювати величину їх питомого опору, температурного коефіцієнту опору, а також ефективність спін-залежного розсіювання, змінюючи або концентрацію компонент, або товщину і кількість шарів в системі, що є необхідною методологічною умовою для формування чутливих елементів сенсорів неелектричних фізичних величин, стабільних за різних умов експлуатації.

Результати вивчення магніторезистивних властивостей псевдо спін-

вентильних структур Co/Ag/Fe та Co/Ag/Ni₈₀Fe₂₀ дали можливість визначити оптимальний порядок чергування та товщину магнітних шарів і немагнітного прошарку, щоб задовольнити вимогам, які висувують як до датчиків із високою швидкістю реагування на зміну магнітного потоку, так і при створенні стабільних датчиків, основною функцією яких є детектування слабких магнітних полів. Виключити вплив високої температури на робочі характеристики в даному випадку можна, підбираючи режим термообробки зразків.

Експериментальні та теоретичні дослідження показали, що для гранульованих плівкових наноматеріалів перколяційні параметри досить чутливі до різних аспектів топології провідної фази, таких як розмірність системи, розподіл наночастинок за розмірами, тенденція до формування специфічних структур і т. д. Відповідно, проведення низько- чи високотемпературної обробки зразків можна вважати одним з найефективніших методів зміни питомого опору й температурного коефіцієнт опору й дозволяють зрозуміти як керувати властивостями досліджуваних структур з точки зору їх практичного застосування. Так, наприклад, високотемпературне відпалювання системи [Fe(5)/SiO_x(5)]₅/П до $T_v = 800$ К приводить до того, величина ТКО набуває близьких до нуля значень. У поєднанні з відносно великим питомим опором у $7 \cdot 10^{-7}$ Ом·м, який має система після термообробки, можна говорити про застосування зразків типу феромагнітний метал-діелектрик як матеріалів для високоомних тонкоплівкові резистори з близьким до нуля ТКО.

8. За результатами дисертаційної роботи опубліковано у 62 наукових працях: у 24 статтях у періодичних наукових журналах, що індексуються БД Scopus та/або Web of Science Core Collection (10 статей опубліковано у виданнях з квартилями Q1 і Q2), 1й колективній монографії та 31 науковій праці у матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій, зокрема 5 статтях у виданні, яке індексується БД Scopus та Web of Science Core Collection, та 3х навчальних посібниках та 3х статтях у виданнях, що індексуються БД Scopus та Web of Science Core Collection, що додатково відображають результати роботи.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях, які індексуються наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science:

1. **Pazukha I.M.**, Lohvynov A.M., Tyschenko K.V., Pylypenko O.V., Shkurdoda Yu. O., Komanicky V. Size effects in the electrical conductance of discontinuous thin-film systems based on Fe (FeNi) and SiO // MRS Communication. 2024. Vol. 14, No 1. P.56-62.

2. **Pazukha I.M.**, Dolgov-Gordiichuk S.R., Lohvynov A.M., Tyschenko

K.V., Pylypenko O.V. Peculiarities of magnetoresistive properties of nanostructured $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_x\text{Au}_{1-x}$ thin films: concentration and annealing effects // *Acta Physica Polonica A*. 2023. Vol. 144. P. 69-75

3. **Pazukha I.M.**, Shkurdoda Yu.O. Crystal Structure, Phase State and Magnetoresistive Properties of Nanostructured Thin-Film Systems Based on Permalloy and Noble Metals // *Progress in Physics of Metals*. 2022. Vol. 23. P. 692–713.

4. **Pazukha I.M.**, Lohvynov A.M., Pylypenko O.V. Effect of Au Concentration on Electrophysical Properties of Nanostructured $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_x\text{Au}_{1-x}$ Thin Films // *Applied Physics A*. 2022. Vol. 128, No 9. P. 760.

5. **Pazukha I.M.**, Shchotkin V.V., Pylypenko O.V., Mykytyn V.Z., Shkurdoda Yu.O. Peculiarity of Magnetoresistance of Composite Materials Based on Co and SiO // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2021. Vol. 13. P. 04035.

6. **Pazukha I.M.**, Shkurdoda Yu.O., Petrenko R.M., Lohvynov A.M., Pylypenko O.V. Peculiarities of magnetoresistance of $[\text{Fe}/\text{SiO}]_n$ discontinuous multilayers // *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. 2021. Vol. 33. P. 1119-1124.

7. **Pazukha I.M.**, Shkurdoda Yu.O., Petrenko R.M., Lohvynov A.M., Pylypenko O.V. Size and heat treatment effects in the electrical conduction of the $[\text{Fe}/\text{SiO}]_n$ discontinuous multilayers // *Physica B: Condensed Mater*. 2021. Vol. 618. P. 413171.

8. **Pazukha I.M.**, Petrenko R.M., Shkurdoda Yu.O., Lohvynov A.M., Shchotkin V.V., Dolgov-Gordiichuk S.R., Dekhtyaruk L.V. Electrical conductance and magnetoresistive properties of layered structures based on Fe and SiO // *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*. 2021. Vol. 19, No 1. P. 35-43.

9. **Pazukha I.M.**, Shuliarenko D.O., Pylypenko O.V., Vorobiov S.I., Tkáč V., Čižmár E. Size and heat treatment effects in magnetoresistive properties of Ag-added $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ film systems // *Applied Physics A*. 2021. Vol. 127, No 5. P. 306.

10. **Pazukha I.M.**, Shuliarenko D.O., Dolgov-Gordiichuk S.R., Odnodvoretz L.V. Magnetoresistive Properties of Multilayer Film Systems Based on Permalloy and Silver // *Physics and Chemistry of Solid State*. 2021. Vol. 22, No 1. P. 175-179.

11. Shkurdoda Y.O., **Pazukha I.M.**, Petrenko R.M., Chornous A.M., Dekhtyaruk L.V. Structure and magnetoresistive properties of three-layer thin films of spin-valve type // *Current Applied Physics*. 2020. Vol. 20. P. 788-793.

12. **Pazukha I.M.**, Shuliarenko D.O., Pylypenko O.V., Ovrutskyi M.S., Odnodvoretz L.V. Concentration and Size Effects in Electrophysical Properties of Thin Films Based on Permalloy and Silver // *Physics and Chemistry of Solid State*. 2020. Vol. 21, No 2. P. 238-242.

13. **Pazukha I.M.**, Shchotkin V.V., Shkurdoda Yu.O. Structure, Magnetic and Magnetoresistive Properties of Composite Materials Based on Ferromagnetic Metals and Alloys with Different Types of Dielectric Matrix // *Progress in Physics of Metals*. 2019. Vol. 20. P. 692–713.

14. **Pazukha I.M.**, Koloskova O.A., Protsenko S.I. Peculiarities of Magnetoresistive Properties of Co/Ag/Py Pseudo Spin Valves Under Heat Treatment

Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. 2019. Vol.33. P. 1119-1124.

15. **Пазуха І.М.**, Проценко С.І., Чешко І.В., Шкурдода Ю.О. Псевдоспін-вентильні структури: принципи формування, магніті та магніторезистивні властивості : монографія ; за заг. ред. проф. С. І. Проценка та доц. І. М. Пазухи – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 157 с.

16. **Pazukha I.M.**, Shuliarenko D.O., Pylypenko O.V., Odnodvoretz L.V. Concentration and heat treatment effects in magnetoresistive properties of Ag-added $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ film systems // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2019. Vol. 485. P. 89-94.

17. **Pazukha I.M.**, Shuliarenko D.O. Electrophysical Properties of Multilayer Film Systems Based on Permalloy and Silver // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2019. Vol. 11. P. 03030.

18. **Pazukha I.M.**, Shkurdoda Yu.O., Chornous A.M., Dekhtyaruk L.V. Magnetic and Magnetoresistive Properties of Nanocomposites Based on Co and SiO_2 // International Journal of Modern Physics B. 2019. Vol. 33. P. 1950113.

19. Шуляренко Д.О., **Пазуха І.М.**, Пилипенко О.В., Однодворець Л.В. Структурно-фазовий стан та електрофізичні властивості плівкових систем на основі пермаллою і срібла // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. 2018. Т. 16, № 4. С. 0633-0644.

20. **Pazukha I.M.**, Pylypenko O.V., Odnodvoretz L.V. A comprehensive investigation of electrophysical and magnetoresistive properties of thin films based on permalloy and silver // Materials Research Express. 2018. Vol. 5. P. 106409.

21. Shuliarenko D.O., Pylypenko O.V., Tyschenko K.V., **Pazukha I.M.**, Odnodvoretz L.V., Strain Properties of Thin Film Nanostructures Based on Permalloy and Silver // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2018. Vol. 10, No 1. P. 01011.

22. Lytvynenko Ia.M., Fedchenko O.V., Demydenko M.H., Pylypenko O.V., **Pazukha I.M.**, Odnodvoretz L.V., Protsenko S.I. Thermal stability of magnetic characteristics of Co/Ag/Fe and $\text{Co/Ag/Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ spin-valve structures // Vacuum. 2017. Vol.146. P. 169-173.

23. Пилипенко О.В., **Пазуха І.М.**, Овруцький А.С., Однодворець Л.В. Електрофізичні та магніторезистивні властивості плівок сплаву $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ // Ж. нано- та електронної фізики. 2016. Т.8, №3. С. 03022.

24. Литвиненко Я.М., **Пазуха І.М.**, Пилипенко О.В., Бібик В.В. Структурно-фазовий стан, магнеторезистивні та магнетні властивості плівок пермаллою // Металлофізика та новітні технології. 2015. Т.37, № 10. С. 1377 – 1393.

25. Lytvynenko Ia.M., **Pazukha I.M.**, Bibyk V.V. The effect of Co or Ag addition on magnetotransport and magnetic properties of $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ thin films // Vacuum. 2015. Vol. 116. P. 31 – 35.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

26. **Pazukha I.M.**, Lohvynov A.M., Pylypenko O.V., Zhabotynsky V.I., Shkurdoda Yu.O. Size and Heat Treatment Effects in Magnetoresistive Properties of $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{70}\text{Au}_{30}$ Nanostructured Thin-film Materials // Proceedings of the 2022 IEEE 12th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties (NAP).

2022. P. 1-4.

27. **Pazukha I.M.**, Saltykov D.O., Shkurdoda Y.O., Saltykova A.I., Loboda V.B., Shchotkin V.V., Dolgov-Gordiichuk S.R., Dekhtyaruk L.V. Magnetoresistive Effect and Magnetic Parameters of Nanocrystalline Thin-film Alloys Based on Co, Fe and Cu // Proceedings of IEEE International Conference on “Nanomaterials: Applications and Properties” (NAP-2021). 2021. P. 1-4.

28. **Pazukha I.M.**, Shuliarenko D.O., Pylypenko O.V. Magnetoresistive Properties of Thin-film Systems Based on Permalloy and Silver // Proceedings of IEEE International Conference on “Nanomaterials: Applications and Properties” (NAP-2020). 2020. Vol. 1. P. 01NMM03.

29. **Pazukha I.M.**, Shuliarenko D.O., Protsenko S.I. Magnetic Properties of Pseudo Spin-Valves Py/Ag/Co // Proceedings of the 2018 IEEE 8th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties (NAP). 2018. Part 3. P. 03TFNMC54.

30. **Pazukha I.M.**, Shabelnyk Yu.M., Kozak I.M., Polek T.I., Shabelnyk T.M., Koloskova O.A. FMR study of the film systems based on magnetic and noble metals // Proceedings of the International Conference Nanomaterials: Applications and Properties. 2016. Vol.5, N. 1. P. 01NTF17.

31. **Пазуха I.M.**, Шкурдода Ю.О. Апробація теоретичної моделі магніторезистивного ефекту гранульованих плівкових матеріалах типу феромагнітний метал-діелектрик та SiO_2 // Матеріали міжнародної конференції молодих вчених «Фізика, електроніка, електротехніка ФЕМ :: 2025». – Суми: Сумський державний університет, Суми, 2025. С. 90-91.

32. Panchoshnyi O., Pazukha I.M., Vinnichenko Yu., Pylypenko O., Shkurdoda Yu. Size effect on electrophysical parameters of Fe/SiO₂ (MgO or HfO₂) discontinuous multilayers // Book of proceedings of the 20th International Conference on Electronics and Applied Physics. – Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2024. – P. 66.

33. Петренко Р.М., Логвинов А.М., Пилипенко О.В., Жаботинський В.І., **Пазуха I.M.**, Шкурдода Ю.О. Магніторезистивні властивості шаруватих структур на основі FeNi та SiO // Матеріали міжнародної конференції молодих вчених «Фізика, електроніка, електротехніка ФЕМ :: 2023». Суми: Сумський державний університет, Суми, 2023. С. 41.

34. Загорулько А.Ю., Петренко Р.М., Логвинов А.М., **Пазуха I.M.**, Шкурдода Ю.О. Структурно-фазовий стан шаруватих структур [Fe/SiO]₅ // Матеріали науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка ФЕМ :: 2022». Суми: Сумський державний університет, Суми, 2022. С. 35.

35. Petrenko R.M., Panchoshnyi O.O., **Pazukha I.M.**, Shkurdoda Yu.O. Heat treatment effect on magnetic parameters of Fe/SiO discontinuous multilayers // Book of proceedings of the 18th International conference on electronics and applied physics. Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2022. P. 41.

36. Shchotkin V.V., **Pazukha I.M.**, Lohvynov A.M., Shkurdoda Yu.O. Heat treatment effect on magnetic parameters of Fe/SiO discontinuous multilayers // Book of proceedings of the 18th International conference on electronics and applied physics. Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2022. P. 48.

37. Щоткін В.В., **Пазуха І.М.** Concentration effect in the magnetoresistive properties of composite materials based on Co and SiO // Матеріали науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка ФЕМ :: 2021». – Суми: Сумський державний університет, Суми, 2021. С. 57.

38. Petrenko R.M., Romas' O.V., **Pazukha I.M.**, Shkurdoda Y.O. Electrical conductivity of multilayer structures based on Fe and SiO // Матеріали міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «ЄВРИКА-2020». Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2020. С. С15.

39. Шуляренко Д.О., Пилипенко О.В., Овруцький М.С., **Пазуха І.М.** Розмірні та температурні ефекти в магніторезистивних властивостях плівкових елементів електроніки на основі пермалою та срібла // Матеріали науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка ФЕМ :: 2020». – Суми: Сумський державний університет, 2020. С. 108.

40. Shuliarenko D.O., **Pazukha I.M.** Size effect in electrophysical properties of thin films based on permalloy and silver // International Research and Practice Conference “Nanotechnology and Nanomaterials (NANO-2020). – Kyiv: LLC «Computer-publishing, information center», 2020. P. 36.

41. Shuliarenko D.O., Ovrutskyi M.S., Pylypenko O.V., **Pazukha I.M.** Size and heat treatment effect in magnetoresistive properties of nanosized structures based on permalloy and silver // Матеріали міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «ЄВРИКА-2020». – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2020. С. А17.

42. Shchotkin V.V., **Pazukha I.M.** Magnetic Properties of Ferromagnetic-Insulator Composites // International Research and Practice Conference “Nanotechnology and Nanomaterials (NANO-2020). – Kyiv: LLC «Computer-publishing, information center», 2020. P. 480

43. Shchotkin V.V., **Pazukha I.M.** Magnetoresistive comparison of ferromagnetic-insulator nanocomposites for as-deposited and annealed films at the percolation boundary // International Advanced Study Conference «Condensed Matter and Low Temperature Physics 2020» CM<P 2020. - Kharkiv: FOP Panov A.M., 2020. P. 70.

44. Шуляренко Д.О., Долгов-Гордійчук С.Р., Пазуха І.М. Вплив кількості повторів фрагменту Ru/Ag на магніторезистивні властивості компонентів електронних систем // Матеріали науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка ФЕМ :: 2019». – Суми: Сумський державний університет, 2019. С. 81.

45. Shuliarenko D.O., Romas' O.V., **Pazukha I.M.** Electrophysical Properties of Thin Film Systems Based on Permalloy and Silver Prepared by Co-evaporation Technique // Materials XVII international conference on physics and technology of thin films and nanosystems. – Ivano-Frankovsk: Vasyl Stefanyk PNU, 2019. P. 264.

46. Shchotkin V.V., **Pazukha I.M.** Magnetoresistive properties of ferromagnetic-insulator nanocomposites at the percolation boundary // Materials XVII international conference on physics and technology of thin films and nanosystems. – Ivano-Frankovsk: Vasyl Stefanyk PNU, 2019. P. 169.

47. Pylypenko O.V., **Pazukha I.M.** Tenzoresistive Properties of Instrumental

Film Systems Based on Py and Ag // Materials XVII international conference on physics and technology of thin films and nanosystems. – Ivano-Frankovsk: Vasyl Stefanyk PNU, 2019. P. 112.

48. Овруцький М.С., Шуляренко Д.О., **Пазуха І.М.** Тонкоплівковий чутливий елемент датчика магнітного поля на основі $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та Ag // Матеріали науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка: матеріали та програма науково-технічної конференції (ФЕЕ-2018)». – Суми: Сумський державний університет, 2018. – С. 82.

49. Żukowski P., **Pazukha I.**, Shuliarenko D., Protsenko S. Magnetoresistive properties of nanostructured thin film systems based on $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ and Ag // Book of abstract of XII-th International Conference «Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons», ION 2018. – Kazimierz Dolny, Poland, 2018. P. 129.

50. Shuliarenko D.O., **Pazukha I.M.** Effect of the silver addition on magnetoresistive properties of permalloy thin films // Матеріали V Міжнародної конференції «Сучасні проблеми фізики конденсованого стану». – Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2018. С. 104-105.

51. Shuliarenko D.O., **Pazukha I.M.** Electrophysical properties of nanostructured thin film systems based on $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ and Ag // Materials of international meeting “Clusters and Nanostructured Materials (CNM-5)”. – Uzhgorod: Uzhgorod National University, 2018. P. 240.

52. Shchotkin V.V., Shuliarenko D.O., **Pazukha I.M.** Magnetoresistive properties of nanocomposites based on Co and SiO_2 // Materials of international meeting “Clusters and Nanostructured Materials (CNM-5)”. – Uzhgorod, 23-26 October, 2018. P. 229.

53. Odnodvoretz K.S., Shulyarenko D.O., **Pazukha I.M.** Magnetoresistive properties of granular nanostructures based on permalloy and silver // Proceedings of the XIII International conference “Electronics and applied physics”. – Kyiv: Taras Shevchenko National University, 2017. P. 58-59.

54. Koloskova O.A., **Pazukha I.M.**, Odnodvoretz L.V., Protsenko S.I. Effect of annealing on the phase state and magnetoresistive properties of $\text{Co}/\text{Ag}/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ pseudo spin-valve // Materials XVI international conference on physics and technology of thin films and nanosystems. – Ivano-Frankovsk: Vasyl Stefanyk PNU, 2017. P. 285.

55. Koloskova O.A., **Pazukha I.M.**, Protsenko S.I. Structural and magnetoresistive properties of $\text{Co}/\text{Ag}/\text{Py}$ pseudo spin-valve // The International research and practice conference «Nanotechnology and nanomaterials». – Chernivtsi: SME «Burlaka», 2017. P. 86.

56. Koloskova O.A., **Pazukha I.M.** The crystal structures of spin-valves based on $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$, Co and Ag // Collected Abstracts of XIII International Conference of Crystal Chemistry of Intermetallic Compounds. – Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 2016. P. P29.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

57. **Pazukha I.M.**, Protsenko I.Yu. Theoretical methods of investigation of

thin film materials properties: study guide. - Sumy: Sumy State University, 2017. – 102 p.

58. Фізичні властивості плівкових матеріалів мікро- і наноелектроніки : навчальний посібник : у 2 ч. / **І. М. Пазуха**, І. Ю. Проценко, І. В. Чешко ; за заг. ред. проф. І. Ю. Проценка. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – Ч. 1. – 230 с.

59. Фізичні властивості плівкових матеріалів мікро- і наноелектроніки : навчальний посібник : у 2 ч. / **І. М. Пазуха**, І. Ю. Проценко, І. В. Чешко ; за заг. ред. проф. І. Ю. Проценка. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – Ч. 2. – 212 с.

60. Saltykov D.I., Shumakova N.I., **Pazukha I.M.**, Shkurdoda Yu.O., Protsenko S.I. The Effect of the Structural-Phase State and Diffusion Processes on Electrical Conductivity of Nanocrystalline $\text{Fe}_x\text{Co}_{100-x}/\text{Cu}/\text{Fe}_x\text{Co}_{100-x}$ Thin Films ($0 < x < 100$) // Crystal Research and Technology. - 2020. – V. 55. – P. 2000071.

61. Saltykov D.I., Protsenko S.I., **Pazukha I.M.**, Shkurdoda Yu.O. Concentration and heat treatment effects on magnetoresistive properties of three-layer film systems based on $\text{Fe}_x\text{Co}_{100-x}$ and Cu // Thin Solid Films. – 2020. – V. 176. – P. 138422.

62. Тищенко К.В., Пазуха І.М., Шабельник Т.М., Проценко І.Ю. Електрофізичні властивості нанокристалічних плівок платини // Ж. нано- та електронної фізики. 2013. Т.5, №1. С. 01029.

Наведені публікації містять результати безпосередньої роботи здобувача на окремих етапах дослідження, повною мірою відображають основні положення та висновки роботи. Авторська участь здобувача в опублікованих наукових працях погоджена зі співавторами.

9. Дисертаційна робота (сукупність наукових статей за науковою тематикою) відповідає спеціальності 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем, а саме напряму досліджень «Фізичні основи технології нових видів матеріалів (магнітодіелектриків, напівпровідників, плазми тощо) для розроблення нових приладів (елементів) різного призначення» зазначеному у паспорті спеціальності.

УХВАЛИЛИ:

1. Дисертаційна робота (сукупність наукових статей за науковою тематикою) Пазухи Ірини Михайлівни на тему: «Вплив фізичних полів на властивості та електронні процеси у багатошарових і гранульованих плівкових наноматеріалах» є завершеною науковою працею, яка містить нові науково обгрунтовані експериментальні результати щодо вирішення наукової проблеми впливу фізичних полів на властивості та електронні процеси у плівкових наноматеріалах, пов'язаної з комплексним дослідженням кристалічної структури, фазового складу, розмірних, концентраційних і температурних залежностей магнітоопору, магнітних параметрів та електроопору багатошарових і гранульованих плівок на

характеризується єдністю змісту, відповідає принципам академічної доброчесності і свідчить про особистий внесок здобувачки в науку.

2. У 62 наукових працях автора, зокрема у 24 статтях у періодичних наукових журналах, що індексуються БД Scopus та/або Web of Science Core Collection (10 статей опубліковано у виданнях з квартилями Q1 і Q2), колективній монографії, 31 науковій праці в матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій, зокрема 5 статтях у виданні, яке індексується БД Scopus та Web of Science Core Collection, 3 навчальних посібниках та 3 статтях у виданнях, що додатково відображають результати роботи, в повній мірі висвітлено зміст дисертації.

3. Дисертаційна робота Пазухи Ірини Михайлівни на тему: «Вплив фізичних полів на властивості та електронні процеси у багатошарових і гранульованих плівкових наноматеріалах» за актуальністю проблеми, методичними підходами, обсягом, ґрунтовністю аналізу та інтерпретацією отриманих даних, повнотою викладу принципів наукових положень, науково-теоретичним та практичним значенням повністю відповідає вимогам пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 р.

4. З урахуванням значення виконаної роботи та актуальності проведених досліджень дисертаційна робота Пазухи Ірини Михайлівни на тему: «Вплив фізичних полів на властивості та електронні процеси у багатошарових і гранульованих плівкових наноматеріалах» рекомендується до представлення на розгляд у спеціалізовану вчену раду Д 55.051.02 на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Рецензенти:

Професор кафедри прикладної математики
та моделювання складних систем
Сумського державного університету,
доктор фіз.-мат. наук, професор



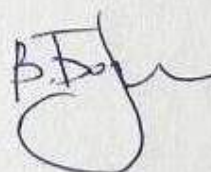
Олександр ЛИСЕНКО

Доцент кафедри електроніки,
загальної та прикладної фізики
Сумського державного університету,
доктор фіз.-мат. наук, професор



Ігор ШПЕТНИЙ

Доцент кафедри комп'ютеризованих
систем управління
Сумського державного університету,
доктор фіз.-мат. наук, доцент



Вадим БОРИСЮК