

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U004297

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 05-08-2026

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № НСВС/67/26 від 29.09.2026



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Козлов Олексій Анатолійович

2. Oleksii A. Kozlov

Кваліфікація: 104

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0007-4341-195X

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Фізика

Дата захисту: 07-09-2026

Спеціальність за освітою: Фізика та астрономія

Місце роботи здобувача: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 16671

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.19, 29.19.23, 29.19.37, 29.19.39, 29.19.09, 29.19.43

Тема дисертації:

1. Термомагнітні ефекти в багатошарових наноструктурах на основі сильних і розбавлених феромагнетиків та антиферомагнетиків
2. Thermomagnetic effects in multilayer nanostructures based on strong and dilute ferromagnets and antiferromagnets

Реферат/анотація:

1. Козлов О. А. Термомагнітні ефекти в багатошарових наноструктурах на основі сильних і розбавлених феромагнетиків та антиферомагнетиків. — Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія. — НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, 2026. Дисертацію присвячено встановленню фізичних механізмів термічно індукованого перемикачності міжшарового обмінного зв'язку у п'ятишарових магнітних наноструктурах Fe/Cr/FeCr/Cr/Fe (Кюрі-перемикачах), систематизації режимів їхньої роботи та розробці теоретичних моделей, що описують поведінку цих структур у діапазоні температур 200–400 К. Актуальність теми зумовлена потребою створення спінтронних пристроїв із зовнішнім керуванням міжшаровим обмінним зв'язком. У класичних структурах Fe/Cr непряма обмінна

взаємодія РККІ (Рудермана-Кіттеля-Касуя-Йосіди) визначається товщиною спейсера і слабо піддається зовнішньому впливу після виготовлення. Концепція Кюрі-перемикача усуває це обмеження: введення розбавленого ферромагнітного прошарку Fe-Cr з температурою Кюрі поблизу кімнатної забезпечує оборотний перехід між ферромагнітним та антиферромагнітним типами зв'язку. Об'єкт дослідження — є п'ятишарові магнітні наноструктури $\text{Fe}(2)/\text{Cr}(0,4)/\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x(100-x)/\text{Cr}(0,4)/\text{Fe}(2)$ (товщини в нм) з трьома концентраціями заліза в розбавленому прошарку: $x = 17,5$ ат.%, $x = 20$ ат.% та $x = 21$ ат.%, виготовлені методом DC магнетронного розпилення на підкладках Si(100). Від кожного зразка відділено два фрагменти: для магнітометричних вимірювань (VSM, SQUID-VSM) та для літографічного формування мікросмужок та магнетотранспортних досліджень. Методи дослідження: DC-магнетронне розпилення, SQUID-VSM магнітометрія, двопровідні вимірювання магнетоопору на літографічно сформованих мікросмужках, а також макроспінові моделі міжшарового обміну (векторна модель когерентного обертання та колінеарна модель метамагнетика) і моделювання методом Монте-Карло з алгоритмом Метрополіса. Встановлено ефективні температури Кюрі розбавленого прошарку: приблизно 325, 360 та 380 К для $x = 17,5$; 20 та 21 ат.% відповідно. Виявлено відсутність вираженої одновісної анізотропії в площині зразків: петлі гістерезису при різних кутах прикладення поля практично збігаються, що відповідає моделі обертальної анізотропії. Для зразка з $x = 17,5$ ат.% детально простежено оборотний перехід від ферромагнітного (нижче 240 К) до антиферромагнітного (вище 325 К) типу зв'язку. На мікросмужках шириною 9, 7 та 4 мкм уперше підтверджено можливість повністю електричного, безпольового перемикавання магнітного стану при кімнатній температурі за рахунок Джоулевого нагрівання постійним струмом; критична густина струму становить приблизно $1,39 \times 10^{11}$ А/м². Максимальний ефект гігантського магнетоопору сягає 0,2%. Побудовано дві макроспінові моделі, які дозволяють відновити температурні залежності білінійної та біквадратичної констант міжшарового обміну з експериментальних петель гістерезису, а також систематизовано чотири характерні температурні режими роботи Кюрі-перемикача. Отримано аналітичний вираз, що пов'язує ефективний параметр міжшарового зв'язку з магнітною сприйнятливістю розбавленого прошарку. Методом Монте-Карло досліджено вплив кластеризації атомів заліза на магнітну сприйнятливість і температуру переходу; встановлено, що ступінь кластеризації є технологічно керованим параметром оптимізації Кюрі-перемикача. Наукова новизна результатів полягає в експериментальному підтвердженні повністю електричного безпольового перемикавання Кюрі-перемикача, демонстрації ефекту гігантського магнетоопору в такій структурі, встановленні ізотропності магнітної анізотропії та побудові узгоджених теоретичних моделей на макро- та мікрорівні. Практичне значення роботи полягає у демонстрації принципової можливості неруйнівного електричного керування магнітним станом спінового вентиля при кімнатній температурі, що відкриває перспективи застосування в термічно активованій магніторезистивній пам'яті (MRAM) та спин-торк наноосциляторах. За матеріалами дисертації опубліковано 2 статті у наукових виданнях (одна з яких індексується у Scopus та Web of Science, Q1) та 4 тези доповідей на міжнародних і всеукраїнських конференціях. Ключові слова: спинтроніка, міжшаровий обмінний зв'язок, РККІ-взаємодія, Кюрі-перемикач, синтетичні антиферромагнетики, гігантський магнетоопір, анізотропний магнетоопір, обертальна анізотропія, магнітні багатошарові структури, магнітна анізотропія, гетероструктури.

2. Kozlov O. A. Thermomagnetic effects in multilayer nanostructures based on strong and dilute ferromagnets and antiferromagnets. — Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 104 Physics and Astronomy. — Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 2026. The dissertation is devoted to establishing the physical mechanisms of thermally induced switching of the interlayer exchange coupling in five-layer magnetic nanostructures Fe/Cr/FeCr/Cr/Fe (Curie switches), to the systematization of their operating regimes, and to the development of theoretical models describing the behavior of these structures in the temperature range 200-400 K. The relevance of the topic stems from the need to create spintronic devices with external control of the interlayer exchange coupling. In classical Fe/Cr structures, the indirect RKKY exchange interaction (Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida) is determined by the spacer thickness and is weakly susceptible to external influence after fabrication. The Curie-switch concept removes this limitation: introducing a dilute ferromagnetic Fe-Cr interlayer with a Curie temperature near room temperature provides a reversible transition between the ferromagnetic and

antiferromagnetic types of coupling. The object of the study is five-layer magnetic nanostructures $\text{Fe(2)/Cr(0.4)/Fe}_x\text{Cr}_{(100-x)}\text{(0.9)/Cr(0.4)/Fe(2)}$ (thicknesses in nm) with three iron concentrations in the dilute interlayer: $x = 17.5$ at.%, $x = 20$ at.%, and $x = 21$ at.%, fabricated by DC magnetron sputtering on Si(100) substrates. Two fragments were separated from each sample: one for magnetometric measurements (VSM, SQUID-VSM), and one for the lithographic patterning of microstrips and magnetotransport studies. Research methods: DC magnetron sputtering, SQUID-VSM magnetometry, two-probe magnetoresistance measurements on lithographically patterned microstrips, as well as macrospin models of the interlayer exchange (a vector model of coherent rotation and a collinear metamagnet model) and Monte Carlo modeling with the Metropolis algorithm. The effective Curie temperatures of the dilute interlayer were determined: approximately 325, 360 and 380 K for $x = 17.5$, 20 and 21 at.%, respectively. The absence of pronounced uniaxial in-plane anisotropy was found: hysteresis loops at different field angles practically coincide, consistent with a rotatable-anisotropy model. For the sample with $x = 17.5$ at.%, a reversible transition from ferromagnetic (below 240 K) to antiferromagnetic (above 325 K) coupling was traced in detail. On microstrips 9, 7 and 4 micrometers wide, the possibility of fully electrical, field-free switching of the magnetic state at room temperature through Joule heating by a direct current was confirmed for the first time; the critical current density is approximately 1.39×10^{11} A/m². The maximum giant magnetoresistance effect reaches 0.2%. Two macrospin models were built, allowing the temperature dependences of the bilinear and biquadratic interlayer-exchange constants to be recovered from experimental hysteresis loops, and four characteristic temperature regimes of the Curie switch were systematized. An analytical expression relating the effective interlayer-coupling parameter to the magnetic susceptibility of the dilute layer was obtained. Monte Carlo modeling was used to investigate the influence of iron-atom clustering on the magnetic susceptibility and transition temperature; the degree of clustering was shown to be a technologically controllable optimization parameter of the Curie switch. The scientific novelty of the results lies in the experimental confirmation of fully electrical field-free switching of the Curie switch, the demonstration of the giant magnetoresistance effect in such a structure, the establishment of the isotropy of the magnetic anisotropy, and the construction of consistent theoretical models at the macro- and microscale. The practical significance of the work lies in demonstrating the fundamental possibility of nondestructive electrical control of the magnetic state of a spin valve at room temperature, which opens prospects for application in thermally activated magnetoresistive memory (MRAM) and spin-torque nano-oscillators. The dissertation results are published in 2 articles in scientific journals (one of which is indexed in Scopus and Web of Science, Q1) and 4 conference abstracts at international and Ukrainian national conferences. Keywords: spintronics, interlayer exchange coupling, RKKY interaction, Curie switch, synthetic antiferromagnets, giant magnetoresistance, anisotropic magnetoresistance, rotatable anisotropy, magnetic multilayer structures, magnetic anisotropy, heterostructures.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- V. Iurchuk, O. Kozlov, S. Sorokin, S. Zhou, J. Lindner, S. Reshetniak, A. Kravets, D. Polishchuk, V. Korenivski. All-Electrical Operation of a Curie Switch at Room Temperature. *Physical Review Applied*. 2023. Vol. 20, iss. 2, pp. 024009 (8 pp.)

- Козлов, О. Вплив розподілу Fe в шарі FeCr на магнітну поведінку кюрі перемикача Fe/Cr/FeCr/Cr/Fe. Фізика та освітні технології, 2026 (1), с.3–8.
- O. Kozlov, V. Kalita, S. Reshetniak, A. Kravets. Thermally Controlled Interlayer Exchange Coupling in Magnetic Multilayers: Electrical Curie Switching and Field-Induced Anisotropy Effects. IEEE 43rd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, 27–30.04.2026. P.13.
- O. Kozlov, S. Reshetniak, A. Kravets, V. Korenivski, V. Kalita. Current Induced Switching of Interlayer Exchange in Spin Valves at Room Temperature. Узб.: Міжнародна конференція «Modern Problems of Solid-State Physics and Magnetism» in memory of Academician Viktor G. Baryakhtar, Kyiv, 24–26.09.2025. P. 145–146.
- О.А. Козлов, В.М. Калита, С.О. Решетняк. Методи управління опором структур з гігантським та тунельним магнетоопором за допомогою струму. Узб.: Збірник праць XXIII Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Історія розвитку науки, техніки та освіти», Київ, 2025 р. С.127–131.
- О.А. Козлов, Ю.Б. Скирта, С.О. Решетняк. До історії термоелектрики. У зб.: Збірник праць XIX Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Історія розвитку науки, техніки та освіти» за темою «Фізика та формування нової світової реальності», Київ, 2021 р. С. 79–81.

Наукова (науково-технічна) продукція: пристрої; матеріали; методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впровадження не планується

Зв'язок з науковими темами: 0125U001625

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Решетняк Сергій Олександрович

2. Serhii O. Reshetniak

Кваліфікація: д.ф.-м.н., професор, 01.04.11

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-2316-5396

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кравець Анатолій Федорович

2. Anatolii F. Kravets

Кваліфікація: д. ф.-м. н., 01.04.11

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8754-3152

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут магнетизму імені В. Г. Бар'яхтара Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23494128

Місцезнаходження: бульв. Академіка Вернадського, Київ, 03142, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Прокопенко Олександр Володимирович

2. Oleksandr V. Prokopenko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4378-0866

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Код за ЄДРПОУ: 02070944

Місцезнаходження: вул. Володимирська, Київ, 01033, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Герасимчук Ігор Вікторович

2. Ihor V. Herasymchuk

Кваліфікація: д. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2208-7050

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут магнетизму імені В. Г. Бар'яхтара Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23494128

Місцезнаходження: бульв. Академіка Вернадського, Київ, 03142, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Куліш Володимир Вікторович

2. Volodymyr V. Kulish

Кваліфікація: д. ф.-м. н., доц., 01.04.11

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0302-7009

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Джежеря Юрій Іванович

2. Yurii I. Dzhezheria

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1560-9567

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Горобець Оксана Юріївна

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Горобець Оксана Юріївна

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Козлов Олексій Анатолійович

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна