

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U002751

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 22-06-2026

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ ЛНУ ім. Івана Франка № 893 від 10.07.2026 р.



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Коваль (Процак) Марія Віталіївна

2. Mariia V. Koval (Protsak)

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6942-0095

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 105

Назва наукової спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Дата захисту: 23-06-2026

Спеціальність за освітою: Мікро- та наносистемна техніка

Місце роботи здобувача: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 13828

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

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

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.19, 29.31, 29.41

Тема дисертації:

1. Формування та оптичні властивості наноструктур на основі нітридів гафнію та галію.
2. Formation and optical properties of nanostructures based on hafnium and gallium nitrides.

Реферат/анотація:

1. Дисертаційна робота присвячена експериментальному дослідженню формування наноструктур на основі нітриду гафнію (HfN) та нітриду галію (GaN), а також вивченню їхніх структурних, оптичних та електрофізичних властивостей. Нітриди перехідних металів займають провідне місце серед функціональних наноматеріалів завдяки високій теплопровідності, механічній міцності, електропровідності та унікальним оптичним властивостям. Метою роботи є встановлення впливу методів та умов одержання на формування структури наночастинок HfN і тонких плівок GaN, дослідження їхніх оптичних та електрофізичних характеристик і створення ефективних матеріалів для прозорої електроніки. Наночастинки HfN синтезовано методом газоагрегованої системи кластерного джерела з реактивним магнетронним розпиленням. Показано, що зі збільшенням вмісту Np морфологія частинок змінюється від багатограничних частинок Hf до кубічних наночастинок HfN із високою кристалічністю та стехіометричною структурою (fcc). XPS-аналіз виявив формування оксидних оболонок при контакті з повітрям. Виявлено локалізований поверхневий плазмонний резонанс (LSPR) у ближній інфрачервоній області (~970 нм) із чутливістю 166.0 нм·RIU⁻¹, що

перевершує показники золотих сенсорів. При відпалі у надвисокому вакуумі до 750 °C наночастинки зберігали морфологію без коалесценції з покращенням кристалічності. Тонкі плівки GaN отримано методом ВЧ іонно-плазмового розпилення на підкладках із кварцу та сапфіру з буферними підшарами MgAl_{0.01}O_{0.99}, AlN і ZnO. Плівки формуються з нанокристалітів середнім розміром 14.3 нм. Найменші кристаліти і найбільші механічні напруження виявлено у плівках на кварцових підкладках із підшаром MgAl_{0.01}O_{0.99}. Легування Mn збільшує середній діаметр зерен з 85 до 166 нм унаслідок аномального росту вторинних зерен, тоді як легування Tb спричиняє ще більше їх зростання через великий іонний радіус Tb³⁺. Оптична ширина забороненої зони плівок Ga_{1-x}Al_xN зростає від 3.28 до 3.58 еВ при збільшенні вмісту Al від 0 до 7 мол.%. Зсув краю поглинання зумовлений ефектом Бурштейна–Мосса, а його форма апроксимується правилом Урбаха. Досліджено електропровідність плівок GaN залежно від умов осадження; встановлено донорний тип провідності, де основними дефектами є вакансії азоту VN.

2. The dissertation is devoted to the experimental investigation of the formation of nanostructures based on hafnium nitride (HfN) and gallium nitride (GaN), as well as the study of their structural, optical, and electrophysical properties. Transition metal nitrides occupy a leading position among functional nanomaterials due to their high thermal conductivity, mechanical strength, electrical conductivity, and unique optical properties. The aim of the work is to establish the influence of synthesis methods and deposition conditions on the structure formation of HfN nanoparticles and GaN thin films, to investigate their optical and electrophysical characteristics, and to develop effective materials for transparent electronics. HfN nanoparticles were synthesized using a gas aggregation cluster source system with reactive magnetron sputtering. It was shown that with increasing N₂ content, the particle morphology transforms from multifaceted Hf particles to cubic HfN nanoparticles with high crystallinity and stoichiometric structure (fcc). XPS analysis revealed the formation of oxide shells upon exposure to air. A localized surface plasmon resonance (LSPR) was detected in the near-infrared region (~970 nm) with a sensitivity of 166.0 nm·RIU⁻¹, exceeding the performance of gold-based sensors. Upon annealing in ultra-high vacuum up to 750 °C, the nanoparticles retained their morphology without coalescence, while their crystallinity improved. GaN thin films were deposited by RF ion-plasma sputtering on quartz and sapphire substrates with MgAl_{0.01}O_{0.99}, AlN, and ZnO buffer interlayers. The films consist of nanocrystallites with an average size of 14.3 nm. The smallest crystallites and the highest mechanical stresses were observed in films deposited on quartz substrates with an MgAl_{0.01}O_{0.99} buffer layer. Mn doping increases the average grain diameter from 85 to 166 nm due to abnormal secondary grain growth, while Tb doping causes even greater grain enlargement owing to the large ionic radius of Tb³⁺. The optical bandgap of Ga_{1-x}Al_xN films increases from 3.28 to 3.58 eV as the Al content rises from 0 to 7 mol.%. The absorption edge shift is attributed to the Burstein–Moss effect, and its shape is well described by Urbach's rule. The electrical conductivity of GaN films was investigated as a function of deposition conditions; an n-type (donor) conductivity was established, with nitrogen vacancies VN identified as the dominant donor defects.

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 виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- 1. P. Pleskunov. Refractory Plasmonics of Reactively Sputtered Hafnium Nitride Nanoparticles: Pushing Limits / M. Protsak, Z. Krtouš, T. Košutová, M. Tosca, K. Biliak, V. Červenková, D. Nikitin, J. Hanuš, M. Cieslar, I. Gordeev, M. Dopita, M. Vorochta, J. Kousal, L. Martinu, A. Choukourov // Advanced Optical Materials. – 2024,

V.12, I.13, - 2302715. - DOI: <https://doi.org/10.1002/adom.202302715>.

- 2. K. Biliak, Plasmonic TiN, ZrN, and HfN Nanofluids for Solar-to-Heat Conversion / M. Protsak, P. Pleskunov, D. Nikitin, J. Hanuš, S. Ali-Ogly, J. Šomavársky, M. Tosca, M. Cieslar, T. Košutová, M. Dopita, F. L. Ferreira, and A. Choukourov // ACS Appl. Nano Mater. - 2023, 6, 21642-21651. - DOI: <https://doi.org/10.1021/acsanm.3c03662>.
- 3. Bordun O. M. Synthesis and Structure of Thin GaN Films by Radio-Frequency Sputtering / O. M. Bordun, I. Yo. Kukharskyy, M. V. Protsak, I. I. Medvid, I. M. Kofliuk, Zh. Ya. Tsapovska, D. S. Leonov // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. - 2024. - 22, 2. - P. 287-293. - DOI: 10.15407/nnn.22.02.287
- 4. Bordun O. M. Light dispersion and edge absorption in Ga_{1-x}Al_xN thin films (x = 0; 0.03; 0.07) / O. M. Bordun, I. Yo. Kukharskyy, I. M. Kofliuk, I. I. Medvid and M. V. Protsak // Physics and Chemistry of Solid State. - 2025. - V. 26, No. 2. - P. 203-208. - DOI: 10.15330/pcss.26.2.203-208
- 5. Bordun O. M. The Influence of Substrate and Buffer Layers on the Structure of GaN Thin Films During Radio-Frequency Sputtering / O. M. Bordun, I. Yo. Kukharskyy, M. V. Protsak, I. I. Medvid, I. O. Bordun, I. M. Kofliuk, I. S. Kuz, A. I. Tyslyuk, R. V. Pavlius and D. S. Leonov // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. - 2025. - 23, 3. - P. 771-776. - DOI: <https://doi.org/10.15407/nnn.23.03.0771>
- 6. Bordun O. M. Density of States and Interband Light Absorption in Ga_{1-x}Al_xN (x = 0, 0.03, 0.07) Thin Films / O. M. Bordun, I. Yo. Kukharskyy, I. O. Bordun, I. I. Medvid, I. M. Kofliuk, O.N. Kuz', M. S. Karkulovska, D. S. Leonov, and M. V. Protsak // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. - 2025. - 23, 3. - P. 771-776. - DOI: <https://doi.org/10.15407/nnn.23.04.01085>
- 7. Bordun O. Influence of preparation conditions on the electrical conductivity of GaN thin films / O. Bordun, I. Kukharskyy, M. Protsak, I. Medvid, I. Kofliuk, Zh. Tsapovska // Електроніка та інформаційні технології. - 2025. - Т. 30. - P. 155-162. - DOI: <https://doi.org/10.30970/eli.30.12>.
- 8. Bordun O. M. Influence of Mn²⁺ and Tb³⁺ Activators on the Surface Morphology of GaN Thin Films / O. M. Bordun, I. I. Medvid, I. Yo. Kukharskyy, I. O. Bordun, I. M. Kofliuk, O. Y. Mylyo, V. O. Maksymiv, D. S. Leonov, and M. V. Protsak // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. - 2026. - 24, 1. - P. 173-185. - DOI: <https://doi.org/10.15407/nnn.24.01.00173>
- 9. M.V. Protsak Synthesis of oxide-based conductive luminescent thin films grown by ion-plasma sputtering // Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики Еврика-2020, Україна, Львів, 6-7 травня 2020. - с. В12, усна доповідь.
- 10. M. Protsak, P. Pleskunov, T. Košutova, M. Cieslar, D. Nikitin, K. Biliak, A. Choukourov. Hafnium nitride nanoparticles with tunable morphology and composition by reactive dc magnetron sputtering. NANOCON 2021, Czech Republic, Brno, 20 - 22 of October, 2021 - p. 79, poster.
- 11. M. Protsak, P. Pleskunov, T. Košutová, M. Cieslar, D. Nikitin, K. Biliak, M. Toska, A. Choukourov Optically active hafnium nitride nanoparticles produced by reactive magnetron sputtering // 18th International Conference on Plasma Surface Engineering PSE-2022, Germany, Erfurt, 12-15 September, 2022 - PO1712, poster.
- 12. M. Protsak, S. Ali-Ogly, P. Pleskunov, M. Cieslar, K. Biliak, D. Nikitin, M. Tosca, A. Choukourov. In-flight decoration of gas-aggregated ZrN nanoparticles with Ag using continuous and pulsed magnetron sputtering // European Materials Research Society EMRS-2023 Spring Meeting, France, Strasbourg, May 29 - June 2, 2023. - Abstract 01542, усна доповідь.
- 13. M. Protsak, D. Nikitin, P. Pleskunov, K. Biliak, M. Tosca, L. Bajtošová, Z. Krtouš, A. Choukourov. In-flight synthesis of SiN-covered ZrN Nanoparticles for tunable plasmonics with enhanced stability // 19th International Conference on Plasma Surface Engineering PSE-2024, Germany, Erfurt, 2-5 September, 2024, усна доповідь.
- 14. Bordun O. M. Density of States and Interband Light Absorption in Ga_{1-x}Al_xN (x = 0; 0,03; 0,07) Thin Films / O. M. Bordun, I. O. Bordun, I. Yo. Kukharskyi, I. I. Medvid, I. M. Koflyuk, M. V. Protsak // XX International Freik Conference On Physics And Technology Of Thin Films And Nanosystems, Ivano-Frankivsk , Ukraine, October 06-10, 2025 - Ivano-Frankivsk : Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 2025. - P. 84. -

Наукова (науково-технічна) продукція: матеріали

Соціально-економічна спрямованість: економія матеріалів

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впровадження не планується

Зв'язок з науковими темами: 0124U002035

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бордун Олег Михайлович

2. Oleh M. Bordun

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6816-7235

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 6603117351;

<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=1H2P87EAAAAJ>; Web of Science Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/FMD-7818-2019>

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Мягkota Степан Васильович

2. Stepan V. Myagkota

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.10

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4746-2494

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 6603050931;

<https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=SAE2-B8AAAAJ>; Web of Science Researcher ID:

<https://www.webofscience.com/wos/author/record/FMD-5773-2022>

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

Код за ЄДРПОУ: 00492990

Місцезнаходження: вул. Пекарська, Львів, 79010, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Малинич Сергій Захарович

2. Serhii Z. Malynych

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6261-8493

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 6507289843; Web of Science Researcher ID: B-3648-2019;
<https://scholar.google.com/citations?user=pWOOtB0AAAAAJ&hl=uk&oi=ao>

Повне найменування юридичної особи: Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Код за ЄДРПОУ: 08410370

Місцезнаходження: вул. Героїв Майдану, Львів, 79012, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство оборони України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Оленич Ігор Богданович

2. Ihor B. Olenych

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.10

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6642-0222

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 6506030300; Web of Science Researcher ID: FNS-8396-2022;
<https://scholar.google.com/citations?user=BM6l9S0AAAAAJ&hl=uk>

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лучечко Андрій Петрович

2. Andrii P. Luchechko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.10

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3816-505X

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 8913991500; Web of Science Researcher ID: R-4227-2017;
<https://scholar.google.com/citations?user=A27eaPIAAAAJ&hl=uk&oi=ao>

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

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

Брезвін Руслан Степанович

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

Брезвін Руслан Степанович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Жак Ольга Володимирівна

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна