

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U001098

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 20-04-2026

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Біляк Роман Васильович

2. Roman V. Biliak

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0005-8848-8606

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 153

Назва наукової спеціальності: Автоматизація та приладобудування. Мікро- та наносистемна техніка

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: 21916 Мікро- та наносистемна техніка (153 Мікро- та наносистемна техніка)

Дата захисту:

Спеціальність за освітою: Фізика конденсованого стану

Місце роботи здобувача: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, 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 12915

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, 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:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 47.09.29, 47.09.48

**Тема дисертації:**

1. Електрофізичні властивості сенсорів Холла на основі квазівільного графену
2. Electrophysical Properties of Hall Sensors Based on Quasi-Free-Standing Graphene

**Реферат:**

1. Біляк Р.В. Електрофізичні властивості сенсорів Холла на основі квазівільного графену – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка». – Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, Львів, 2026. Дисертація присвячена встановленню закономірностей зміни електрофізичних та магніторезистивних характеристик сенсорів Холла на основі квазівільного (QFS) графену на підкладках 4H-SiC. Такі магнітні сенсори здатні функціонувати в екстремальних умовах термоядерних реакторів, космічної техніки та інших середовищах з високими температурами та радіаційним навантаженням. Актуальність дослідження визначається критичною потребою європейського термоядерного реактора DEMO в надійних магнітних сенсорах, здатних працювати при температурах 200-400°C, інтенсивному нейтронному опроміненні (флюенс до 1024-1025 н/м<sup>2</sup>) та потужних електромагнітних полях без можливості обслуговування протягом 2-5 років. Традиційні напівпровідникові сенсори на основі InSb, InAs та GaAs обмежені робочим діапазоном до -50-180°C і деградують при радіаційному опроміненні, що унеможлиблює

їх застосування в термоядерній енергетиці. У дисертації розв'язано важливе наукове завдання: проведено комплексні дослідження електро- та магніторезистивних властивостей сенсорів Холла на основі QFS-графену у інтервалі температур 30–120 °С та магнітного поля з індукцією  $\pm 1$ Тл. Розширено фізичні уявлення щодо впливу структурних особливостей підкладки на анізотропію магніторезистивних властивостей. Розроблено методики компенсації залишкового (offset) сигналу та підвищення точності вимірювань. Зроблено висновок, що прототипи сенсорів Холла на основі QFS-графену на підкладці 4H-SiC з Ti/Au контактами та пасивацією Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, придатні для роботи в екстремальних умовах. Виготовлено магнітовимірювальний зонд. У першому розділі проаналізовано стан проблеми щодо розроблення магнітних діагностичних систем для термоядерного реактора DEMO та обмеження традиційних напівпровідникових сенсорів. Розглянуто фізичні основи ефекту Холла, властивості графену як матеріалу для сенсорної електроніки, методи отримання графену та вплив різних видів опромінення на властивості графену. Особливу увагу приділено QFS графену на підкладках SiC, його фізико-хімічним властивостям та перевагам для створення високочутливих температурностабільних сенсорів Холла. У другому розділі викладено методологію проведених експериментів. Описано технологію виготовлення сенсорів Холла на основі QFS-графену. Наведено методики дослідження контактів графен-метал методом ван дер Пау, дослідження температурної стабільності сенсорів у діапазоні 30–120 °С, використання методу обертового струму для компенсації offset-сигну, вимірювання польових характеристик у діапазоні магнітних полів  $\pm 1$ Тл, спосіб обертання зразків на 360° з кроком 5°. Описано особливості використання приладів Keithley 2182, Keithley 220, електромагніта HMS 7500 та гаусметра G450 та алгоритми обробки даних. У третьому розділі представлено результати комплексних досліджень контактів графен-метал та температурної стабільності сенсорів Холла на основі QFS-графену. Дослідження вольт-амперних характеристик контактів Ti/Au методом ван дер Пау підтвердило їх високу омичність у діапазоні струмів  $\pm 3$  мА з середньою похибкою апроксимації менше 0,2%. Температурні дослідження в діапазоні 30–120 °С виявили виняткову стабільність холлівської напруги з температурним коефіцієнтом зміни сигналу 0,02%/°С для більшості зразків, що підтверджує перспективність використання сенсорів при підвищених температурах. Встановлено слабку температурну залежність паразитного offset-сигналу із переважно лінійним характером та кореляцію між offset-сигналом і поверхневим опором зразків. Зміни поверхневого опору становлять 4–9% у досліджуваному температурному діапазоні. У четвертому розділі представлено результати досліджень польових залежностей та магніторезистивних властивостей сенсорів Холла на основі QFS-графену. Польові дослідження у діапазоні магнітних полів  $\pm 1$  Тл виявили високу лінійність холлівської напруги з середньою похибкою апроксимації 0,09% та стабільну чутливість 70 ВА-1Тл-1. Встановлено квадратичну залежність offset сигналу та поверхневого опору від магнітного поля, що узгоджується з проявом магніторезистивного ефекту. Дослідження магніторезистивних властивостей шляхом обертання зразків на 360° з кроком 5° у магнітному полі 0,5 Тл виявило анізотропію магніторезистивності, зумовлену структурними особливостями QFS-графену на підкладках SiC. Виявлено три типи поведінки: позитивну магніторезистивність (кореляція з  $\cos\theta$ ,  $r \approx 0,9$ ), негативну магніторезистивність (кореляція з  $-\cos\theta$ ,  $r \approx 0,95$ ) та практично повну відсутність ефекту в окремих зразках.

2. Biliak R.V. Electrophysical Properties of Hall Sensors Based on Quasi-Free-Standing Graphene – Qualification Scientific Work in Manuscript Form. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 153 “Micro- and Nanosystem Technology” – National University “Lviv Polytechnic,” Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2026. The dissertation is dedicated to establishing the regularities of changes in the electrophysical and magnetoresistive characteristics of Hall sensors based on quasi-free-standing (QFS) graphene on 4H-SiC substrates. Such magnetic sensors capable of operating under extreme conditions of thermonuclear reactors, space technology, and other high-temperature and high-radiation environments. The relevance of the study is determined by the critical need of the European DEMO fusion reactor for reliable magnetic sensors capable of operating at temperatures of 200–400°C, under intense neutron irradiation (fluence up to 10<sup>24</sup>–10<sup>25</sup> n/m<sup>2</sup>), and in strong electromagnetic fields without maintenance for 2–5 years. Conventional semiconductor sensors based on InSb, InAs, and GaAs are limited to a working range of 110–180°C and degrade under radiation

exposure, which prevents their use in fusion energy and space technologies. The dissertation addresses key scientific tasks: comprehensive studies of the electrical and magnetoresistive properties of Hall sensors based on QFS graphene were conducted in the temperature range of 30–120 °C and magnetic fields with induction of  $\pm 1$  T. The physical understanding of the influence of substrate structural features on the anisotropy of magnetoresistive properties was expanded. Methods for offset signal compensation and measurement accuracy improvement were developed. It was concluded that prototypes of Hall sensors based on QFS graphene on 4H-SiC substrates with Ti/Au contacts and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> passivation are suitable for operation under extreme conditions. A magnetometric probe was fabricated for testing sensors under neutron irradiation. The first chapter analyzes the current state of the problem regarding the development of magnetic diagnostic systems for the DEMO fusion reactor and the limitations of conventional semiconductor sensors. The physical principles of the Hall effect, properties of graphene as a material for sensor electronics, methods of graphene production, and the effects of various types of irradiation on graphene properties are discussed. Particular attention is paid to QFS graphene on SiC substrates, its physicochemical properties, and advantages for the development of highly sensitive and temperature-stable Hall sensors. The second chapter presents the methodology of the conducted experiments. The technology for fabricating Hall sensors based on QFS graphene is described. Methods for investigating graphene–metal contacts using the van der Pauw technique, studying sensor temperature stability in the range of 30–120 °C, using the rotating current method for offset signal compensation, measuring field characteristics in magnetic fields of  $\pm 1$  T, and rotating samples by 360° with a step of 5° are detailed. Specific features of instrumentation Keithley 2182, Keithley 220, electromagnet HMS 7500 and gaussmeter G 450 and data processing algorithms are described. The third chapter presents the results of comprehensive studies of graphene–metal contacts and temperature stability of Hall sensors based on QFS graphene. Investigation of the current–voltage characteristics of Ti/Au contacts using the van der Pauw method confirmed their high ohmic quality in the current range of  $\pm 3$  mA with an average approximation error of less than 0.2%. Temperature studies in the range of 30–120 °C revealed exceptional stability of the Hall voltage with a temperature coefficient of signal variation of 0.02%/°C for most samples, confirming the potential of these sensors for high–temperature operation. A weak temperature dependence of the parasitic offset signal with predominantly linear behavior and a correlation between offset signal and sheet resistance of the samples were established. Changes in sheet resistance were 4–9% within the studied temperature range. The fourth chapter presents the results of field dependencies and magnetoresistive studies of Hall sensors based on QFS graphene. Field studies in magnetic fields of  $\pm 1$  T revealed high linearity of the Hall voltage with an average approximation error of 0.09% and stable sensitivity of 70 V/A·T. A quadratic dependence of the offset signal and sheet resistance on magnetic field was observed, consistent with the manifestation of the magnetoresistive effect. Magnetoresistive properties studied by rotating samples by 360° with a step of 5° in a 0.5 T magnetic field revealed anisotropy of magnetoresistance caused by the structural features of QFS graphene on SiC substrates. Three types of behavior were identified: positive magnetoresistance (correlation with  $\cos\varphi$ ,  $r \approx 0.9$ ), negative magnetoresistance

#### **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:** Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

#### **Публікації:**

- Biliak R., Liakh-Kaguy N., Kost Y. Graphene-based Hall sensors: materials and production approaches // Фізика і хімія твердого тіла = Physics and Chemistry of Solid State. 2025. Т. 26, № 2. Р. 296–306.
- Biliak R. Impact of gamma, neutron, iron, and electron irradiation on structure and properties of graphene // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія : Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2024. № 96. Р. 62–67.
- R. Biliak. Investigation of graphene-metal contacts in Hall sensors based on QFS graphene / F. Shurygin, R. Biliak, N. Liakh-Kaguy, Y. Kost, S. Sukhorebryu, T. Ciuk, S. El-ahmar // Molecular Crystals and Liquid Crystals. 2025. Vol. 2025. P. 1–9.
- R. Biliak. Temperature dependence of the graphene Hall sensor for special applications / F. Shurygin, R. Biliak, N. Liakh-Kaguy, Y. Kost, S. Sukhorebryu, T. Ciuk, S. El-ahmar // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія : Радіотехніка. Радіоапаратобудування 2025. № 100. С. 59–66.
- Bilyak R. Methods of obtaining graphene // Computational Problems of Electrical Engineering. 2023. Vol. 13, № 1. Р. 1–8.
- Біляк Р. В., Лях-кагуй Н. С. Вплив магнітного поля на електричні параметри QFS-графенових сенсорів Холла // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. 2025. № 106. С. 235–248

**Наукова (науково-технічна) продукція:** пристрої; матеріали

**Соціально-економічна спрямованість:** економія енергоресурсів; економія матеріалів; підвищення автоматизації виробничих процесів

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

## VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Лях-Кагуй Наталія Степанівна
2. Natalia S. Liakh-Kaguy

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, 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. Оленич Ігор Богданович
2. Igor 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=BM6l9S0AAAAJ>

**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. Однодворець Лариса Валентинівна
2. Larisa Odnodvoretz

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-8112-1933

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Сумський державний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 05408289

**Місцезнаходження:** вул. Харківська, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## Рецензенти

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Яремчук Ірина Ярославівна
2. Iryna Y. Yaremchuk

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.12.20

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-7072-5950

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Голяка Роман Любомирович

2. Roman L. Holiaka

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.27.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-7720-0372

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

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

Клим Галина Іванівна

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

Клим Галина Іванівна

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Ховерко Юрій Миколайович

**Реєстратор**

Юрченко Тетяна Анатоліївна

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна