

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0825U003317

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 06-08-2025

**Статус:** Запланована

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Кульбачинський Олександр Анатолійович

2. Oleksandr Kulbachynskyi

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-6657-5569

**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:** 105 Прикладна фізика та наноматеріали

**Дата захисту:** 01-10-2025

**Спеціальність за освітою:** Мікро- та наносистемна техніка

**Місце роботи здобувача:** Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05416952

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Київ, 03028, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 10771

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05416952

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Київ, 03028, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

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

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05416952

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Київ, 03028, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 29.19.15, 29.19.31, 47.09.29, 59.14.23, 29.19.11

**Тема дисертації:**

1. Сенсорні структури і матеріали для детектування випромінювання інфрачервоного діапазону спектру
2. Sensor structures and materials for infrared radiation detection

**Реферат:**

1. В дисертації представлені результати досліджень проведених в ході розробки та оптимізації технологічного маршруту виготовлення лавинного фотодіода на основі кремнію, фотодіодних структур на основі антимоніду індію та результати досліджень властивостей тонких плівок ванадій оксиду, як матеріалу для мікроболометричного застосування. Даний перелік матеріалів використовується для детектування в широкому діапазоні інфрачервоного випромінювання. При виконанні дисертаційної роботи були застосовані комплексні підходи для аналізу структури та інтерфейсу досліджуваних об'єктів, і використовувались такі методи, як мас-спектрометрія вторинних іонів, рентгенівська дифрактометрія, атомно-силова мікроскопія, спектроскопія комбінаційного розсіювання, скануюча електронна мікроскопія, рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, вольтамперометрія та інші електрофізичні методи досліджень. Дисертація складається із вступу, трьох основних розділів, висновків та списку використаних джерел. У вступі

дисертаційної роботи висвітлено проблематику, визначено об'єкт та напрями дослідження, обґрунтовано актуальність та наукову новизну роботи, сформульовано мету і завдання, визначено методи дослідження, вказано зв'язок роботи з науковими програмами Інституту, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію наукових результатів, публікації, структуру та обсяг дисертаційної роботи. У першому розділі приведені результати по розробці конструкції та дослідженню параметрів лавинного фотодіода на основі високоомного кремнію. Для прогнозування властивостей лавинного фотодіода проведене інтегроване теоретичне моделювання, параметри для якого визначені шляхом аналізу кремнієвої платівки до та після технологічних операцій. Запропонована оригінальна конструкція та технологія виготовлення, яка апробована на вітчизняних потужностях. Промодельовано та запропоновано використання періодичних металевих ґраток для збудження поверхневого – плазмонного резонансу (ППР), що дозволяє селективно контролювати спектр поглинання в структурі. Показано, що використання золотих наночастинок для збудження ППР дозволяє збільшити поглинання в діапазоні довжин хвиль 0.9-1.1мкм близько на 10%. У другому розділі досліджувались фізичні закономірності формування та властивостей фотодіодних структур на основі антимоніду індію. Проводилось теоретичне моделювання для визначення впливу на поглинання глибини формування області просторового заряду. Розроблялась методика обробки поверхні платівок, яка дозволила отримати платівки із значенням шорсткості менше 1 нм та із збереженою високою кристалічною досконалістю. Оптимізований процес анодного окислення, що дозволяє отримувати однорідний жертвенний шар. Досліджувався методами спектроскопії вторинних іонів профіль імплантованої домішки берилію і визначено глибину залягання р-п переходу. Показано, що для забезпечення оптимального профілю розподілу домішки необхідне використання жертвенного шару в сукупності з двохстадійною іонною імплантацією. Методом рентгенівської дифрактометрії досліджувався вплив іонної імплантації та режимів постімплантаційного відпалу на структурну досконалість кристалічної ґратки, визначено режими відпалу, що максимально забезпечують усунення розупорядкування ґратки. Досліджувався стан поверхні антимоніду індію після пасивації натрій сульфідом, запропонований метод перешкодження деградації пасивуючого шару. Оптимізований технологічний маршрут забезпечив отримання фотодіодних структур зі значеннями добутку диференційного опору на площу, при нульовому зміщенні, на рівні 20000 Ом·см<sup>2</sup>. Третій розділ зосереджений на дослідженні тонких плівок ванадій оксиду. Досліджено вплив умов осадження та термічного відпалу (атмосфера, температура, тип підкладки) на морфологію поверхні, фазовий склад і характеристики фазового переходу у VO<sub>2</sub>-плівках, отриманих методом магнетронного напилення. Розроблено комплексний підхід до аналізу фазового складу тонких плівок VO<sub>2</sub>, який ґрунтується на комбінації резонансної Раман-спектроскопії з варіюванням довжини хвилі збудження та рентгеноструктурного аналізу (XRD), що дозволяє проводити достовірну ідентифікацію як основної VO<sub>2</sub>-фази, так і домішкових фаз V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, V<sub>3</sub>O<sub>7</sub> та V<sub>4</sub>O<sub>9</sub>. Дослідження інтенсивності піку комбінаційного розсіяння 617 см<sup>-1</sup> на синтезованих зразках дало змогу визначити оптимальну температуру відпалу, для отримання фази VO<sub>2</sub>, яка становить 430С. Визначено, що наявність домішкових фаз V<sub>x</sub>O<sub>y</sub> не чинить суттєвого впливу на характеристики ФП основної VO<sub>2</sub> - фази, а ключову роль у поведінці фазового переходу відіграють особливості початкової структури VO<sub>2</sub> та тип підкладки. Досліджено вплив імплантації іонів аргону на структурні та електричні характеристики плівок VO<sub>2</sub>. Найбільші значення негативного температурного коефіцієнту опору були отримані при дозі 1,5×10<sup>14</sup>см<sup>-2</sup>.

2. The dissertation presents the results of research conducted during the development and optimization of the technological route for the manufacture of silicon-based avalanche photodiodes, photodiode structures based on indium antimonide, and the results of research on the properties of thin vanadium oxide films as a material for microbolometric applications. This list of materials is used for detection in a wide range of infrared radiation. In the dissertation, comprehensive approaches were used to analyze the structure and interface of the objects under study, and methods such as secondary ion mass spectrometry, X-ray diffraction, atomic force microscopy, Raman spectroscopy, scanning electron microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, voltammetry, and other electrophysical research methods. The dissertation consists of an introduction, three main sections, conclusions, and a list of references. The introduction to the dissertation highlights the issues, defines the object and directions

of research, justifies the relevance and scientific novelty of the work, formulates the purpose and objectives, defines the research methods, indicates the connection of the work with the scientific programs of the Institute, provides information about the personal contribution of the applicant, the testing of scientific results, publications, and the structure and scope of the dissertation. The first chapter presents the results of the design development and research of the parameters of an avalanche photodiode based on high-resistance silicon. To predict the properties of the avalanche photodiode, integrated theoretical modeling was performed, the parameters for which were determined by analyzing the silicon wafer before and after technological operations. An original design and manufacturing technology was proposed, which was tested at domestic facilities. The use of periodic metal gratings for exciting surface plasmon resonance was modeled and proposed, which allows selective control of the absorption spectrum in the structure. The use of gold nanoparticles has been investigated, which allows increasing absorption in the wavelength range of 0.9-1.1  $\mu\text{m}$  by about 10%. The second chapter investigates the physical laws governing the formation and properties of photodiode structures based on indium antimonide. Theoretical modeling was performed to determine the effect of the depth of the space charge region on absorption. A method for processing the surface of wafers was developed, which made it possible to obtain wafers with a roughness value of below 1 nm and with preserved high crystalline perfection. The anodic oxidation process was optimized, which allows obtaining a homogeneous sacrificial layer. The profile of the implanted beryllium impurity was studied using secondary ion spectrometry, and the depth of the p-n junction was determined. It was shown that to ensure an optimal impurity distribution profile, it is necessary to use a sacrificial layer in combination with two-stage ion implantation. The effect of ion implantation and post-implantation annealing modes on the crystal lattice was studied by X-ray diffraction, and annealing modes that ensure the elimination of lattice disorder were determined. The state of the indium antimonide surface after passivation with sodium sulfide was studied, and a method for preventing degradation of the passivation layer was proposed. The optimized technological route ensured the production of photodiode structures with values of the product of differential resistance per area, at zero bias, at the level of 20,000  $\text{Ohm}\cdot\text{cm}^2$ . The third chapter focuses on the study of thin vanadium oxide films. The influence of deposition and thermal annealing conditions (atmosphere, temperature, substrate type) on the surface morphology, phase composition, and phase transition characteristics in  $\text{VO}_2$  films obtained by magnetron sputtering was investigated. A comprehensive approach to the analysis of the phase composition of  $\text{VO}_2$  thin films has been developed, based on a combination of resonance Raman spectroscopy with varying excitation wavelengths and X-ray diffraction (XRD), which allows reliable identification of both the main  $\text{VO}_2$  phase and the impurity phases  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{V}_3\text{O}_7$ , and  $\text{V}_4\text{O}_9$ . The study of the intensity of the 617  $\text{cm}^{-1}$  combination scattering peak on the synthesized samples made it possible to determine the optimal annealing temperature for obtaining the  $\text{VO}_2$  phase, which is 430°C. It was determined that the presence of impurity phases  $\text{V}_x\text{O}_y$  does not significantly affect the characteristics of the main  $\text{VO}_2$  phase, and that the key role in the behavior of the phase transition is played by the features of the initial structure of  $\text{VO}_2$  and the type of substrate. The effect of argon ion implantation on the structural and electrical characteristics of  $\text{VO}_2$  films was investigated. The highest values of the negative temperature coefficient of resistance were obtained at a dose of  $1.5 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ .

**Державний реєстраційний номер ДіР:** РК 0120U000021, РК 0220U002583

**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:**

- Sapon S.V, Romaniuk B.M., Melnik V.P., Dubikovskiy O.V., Kulbachynskiy O.A., Oberemok O.S., Maksimenko Z.V., Kosulya O.V., Korotyeyev V.V., Sokolov V.N., Bychok A.V. Si-based n ++ -p - -p + -p - -p ++ avalanche diode: Self-consistent modeling for infrared optoelectronic applications. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2024;27(4):457-465. DOI: <https://doi.org/10.15407/spqeo27.04.457>
- Sapon S.V., Boltovets M.S., Kulbachynskiy O.A., Zabudsky V.V., Golenkov O.G., Korotyeyev V.V., Efremov A.A. Properties of InSb photodiodes fabricated by ion implantation. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2024;27(3):356-365. doi:10.15407/spqeo27.03.356. DOI: <https://doi.org/10.15407/spqeo27.03.356>
- Dzhagan V.M., Valakh M.Ya., Isaieva O.F., Yukhymchuk V.O., Stadnik O.A., Gudymenko O.Yo., Lytvyn P.M., Kulbachynskiy O.A., Yefanov V.S., Romanyuk B.M., Melnik V.P. Raman fingerprints of different vanadium oxides as impurity phases in VO<sub>2</sub> films. Optical Materials. 2024; 148: 114894 <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2024.114894>
- Efremov A.A., Romaniuk B.M., Melnyk V.P., Stadnik O.A., Sabov T.M., Kulbachinskiy O.A., Dubikovskiy O.V. Study of fractality nature in VO<sub>2</sub> films and its influence on metal-insulator phase transition. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics; 2024. V. 27, No 1. P. 028-039. DOI: <https://doi.org/10.15407/spqeo27.01.028>
- Liubchenko O., Kladko V., Melnik V., Romanyuk B., Gudymenko O., Sabov T., Dubikovskiy O., Maksimenko Z., Kosulya O., Kulbachynskiy O. Ar-implanted vanadium dioxide thin film with the reduced phase transition temperature. Materials Letters. 2022. V.314: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.131895>
- Lytvyn P.M., Dzhagan V.M., Valakh M.Ya., Korchovyi A.A., Isaieva O.F., Stadnik O.A., Kulbachynskiy O.A., Gudymenko O.Yo., Romanyuk B.M., Melnik V.P. Nanomechanical properties of polycrystalline vanadium oxide thin films of different phase composition. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2023. V. 26, No 4. P. 388-397 DOI: <https://doi.org/10.15407/spqeo26.04.388>
- Kladko V.P., Melnik V.P., Liubchenko O.I., Romanyuk B.M., Gudymenko O.Yo., Sabov T.M., Dubikovskiy O.V., Maksimenko Z.V., Kosulya O.V., Kulbachynskiy O.A., Lytvyn P.M., Efremov O.O. Phase transition in vanadium oxide films formed by multistep deposition. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics, 2021. V. 24, No 4. P. 362-371. <https://doi.org/10.15407/spqeo24.04.362>
- Matyash I., Minailova I., Gudymenko O., Sabov T., Dubikovskiy O., Kosulya O., Kulbachynskiy O., Lytvyn P.. Optical Properties of Vanadium Oxide Films. J Nano- Electron Phys. 2023;15(6):06008. [https://doi.org/10.21272/jnep.15\(6\).06008](https://doi.org/10.21272/jnep.15(6).06008)

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

**Соціально-економічна спрямованість:** збільшення обсягів виробництва

**Охоронні документи на ОПВ:**

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки

Патенти на корисну модель: № 149983 від 22.12.2021, № 151485 від 03.08.2022

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** PK 0121U108465, PK 0121U108529, PK 0124U001089, PK 0122U000583, PK 0123U100458

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Мельник Віктор Павлович

2. Melnyk Viktor P.

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

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05416952

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Київ, 03028, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Пилипчук Олександр Сергійович

2. Oleksandr S. Pylypchuk

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., с.д., 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-0136-0799

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут фізики Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417302

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Київ, 03680, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Григоруk Валерій Іванович

2. Valerij I. Grygoruk

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

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-0229-317X

**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:**

### **Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Редько Роман Анатолійович

2. Roman A. Redko

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., с.д., 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9036-5852

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05416952

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Київ, 03028, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Саріков Андрій Вікторович

2. Andrii V. Sarikov

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., с.д., 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9123-7203

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05416952

**Місцезнаходження:** проспект Науки, Київ, 03028, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## **VIII. Заключні відомості**

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

Цибрій Зіновія Федорівна

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

Цибрій Зіновія Федорівна

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Пономаренко Валентина Володимирівна

**Реєстратор**

Юрченко Тетяна Анатоліївна

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна