Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U003484

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 09-12-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ про видачу диплома доктора філософії Калюжному В.В.

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Калюжний Владислав Віталійович
2. Vladyslav V. Kaliuzhnyi

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-2084-6938

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: ні

Шифр наукової спеціальності: 105

Назва наукової спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: 39482 Прикладна фізика та наноматеріали

Дата захисту: 13-02-2025

Спеціальність за освітою: 104 Фізика та астрономія

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

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 7353

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

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

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, буд. 41, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.19.19, 29.19.23, 29.19.31, 29.37.17, 29.03.31, 29.03.35

Тема дисертації:

1. Вплив поляризаційних полів на електричні та оптичні властивості гетероструктур III-нітридів
2. Impact of polarization fields on electrical and optical properties of III-nitride heterostructures

Реферат:

1. Пристрої на основі III-нітридів мають значне поширення у напівпровідниковій техніці. Основними сферами застосування є напівпровідникова оптика (діапазон ультрафіолетового-синього світла), силова електроніка (транзистори з високою рухливістю електронів), високочастотна електроніка (діоди Ганна). Дослідники відкривають нові можливості застосування в інших сферах напівпровідникової техніки. Наприклад, одновимірні структури – нанодроти, можуть застосовуватися як сенсори газів, хімічних сполук у розчинах, та навіть у біосенсориці. Також проводяться роботи по побудові логіці на основі GaN (PMOS, NMOS). Зацікавленість в III-нітридах полягає у їх відмінних електричних, механічних та теплових властивостях. Основний III-нітрид, GaN, є прямозонним та Широкощільовим (E_g~3.46 еВ) напівпровідником із високою теплопровідністю та є хімічно стійким. Нітрид галію є полярним напівпровідником, а тому гетероструктури на його основі мають важливі механічні властивості, наприклад, для створення

транзисторів з високою рухливістю електронів, де основним каналом провідності є двовимірний електронний газ у квантовій ямі, утвореної перерозподілом поляризаційних зарядів на межі інтерфейсу AlGaN/GaN. Також механічні властивості дозволяють виробництво датчиків механічних напружень. Гетероперехід InGaN/GaN застосовується для виготовлення синіх світлодіодів із високою ефективністю. Вирощуванню структур на основі III-нітридів властиві високі температури та тиски. Основними методами є HVPE, MOCVD, що дає кращу якість структур, та епітаксія молекулярним пучком (MBE) для вирощування тонких шарів із малою кількістю домішок та дефектів. Основною проблемою є ненавмисне легування структур атомами Si, O, C, що зазвичай проявляють себе як донори у структурах, особливо при вирощуванні шарів із вмістом Al. Крім внесення додаткової n-провідності, присутність атомів Si погіршує механічні властивості кристалу. Для досягнення необхідних властивостей структур зазвичай використовують додаткові бар'єрні шари з AlN або ізоляційні шари із компенсованого GaN. Попри раннє поширення у напівпровідниковій техніці, електричні, оптичні та механічні властивості III-нітридів все ще широко досліджуються. Наприклад, вплив механічного навантаження на електричні властивості структур не було широко досліджено, хоча у деяких роботах показано можливість використання структур на основі GaN як аксіальних датчиків деформації. Властивості структур можуть значно відрізнятися, оскільки III-нітридам властива висока концентрація дефектів та домішок. У дослідженнях високочастотних властивостей GaN показано значні відмінності в електричних властивостях на відміну від тих, що отримані у низькочастотних експериментах. Нещодавні дослідження гетероструктур методами високочастотної спектроскопії показали відхилення від загальноприйнятої моделі Друде-Лоренца для високочастотної провідності. Результати методів терагерцової спектроскопії показують, що червоне зміщення резонансної частоти плазмонів є більшим порівняно з вищезгаданою моделлю для температур понад 150 K, хоча методи фотолюмінесценції не показали суттєвих відхилень від відомих даних. В останніх роботах це відхилення пояснюють збільшенням ефективної маси електрона. Метою дисертаційної роботи є багатостороннє дослідження електричних та оптичних властивостей низьковимірних гетероструктур III-нітридів під зовнішнім впливом поляризаційних полів: сильне електричні поля, динамічне навантаження, фотозбудження, та вплив терагерцового випромінювання. У дослідженнях, проведених у рамках дисертаційної роботи, було отримано такі наукові результати: Були встановлені фактори, що впливають на термометрію гетерострутур GaN/AlGaN методом мікрораманівської спектроскопії, та враховано вплив додаткових механічних напружень, що виникають при сильних електричних полях, методом рентгеноструктурного аналізу. Було узгоджено результати електричного та оптичних методів для полів до 7 кВ/см. Виявлено, що динамічне навантаження, прикладене до гетероструктури GaN/AlGaN із двовимірним електронним газом, спричиняє зміну у транспортних характеристиках. З досліджень амплітудних характеристик та змін структури під впливом деформації було вперше проведено оцінку енергії збудження носіїв заряду. Було запропоновано модель глибоких донорних центрів (DX-центр) для опису впливу динамічної деформації. Встановлено, що динамічне навантаження також спричиняє зміну електричних характеристик каналу провідності у нанодротах на основі гетеропереходу AlGaN/GaN. Виявлено, що характер змін має характеристику, подібну до впливу УФ випромінювання, із наявністю стійкої провідності, а відносна зміна провідно

2. Devices based on III-nitrides are widely used in semiconductor technology. The main areas of application are semiconductor optics (ultraviolet-blue light range), power electronics (transistors with high electron mobility), and high-frequency electronics (“Gunn diodes”). Researchers are discovering new applications in other areas of semiconductor technology. For example, one-dimensional structures such as nanowires can be used as sensors of gases, chemical compounds in solutions, and even in biosensing. Work is also underway to build logic based on GaN (PMOS, NMOS). The interest in III-nitrides lies in their excellent electrical, mechanical, and thermal properties. The main III-nitride, GaN, is a direct-band and wide-band (Eg~3.46 eV) semiconductor with high thermal conductivity and is chemically stable. Gallium nitride is a polar semiconductor, and therefore heterostructures based on it have important mechanical properties, for example, for creating transistors with high electron mobility, where the main conduction channel is a two-dimensional electron gas in a quantum well formed by the redistribution of polarization charges at the AlGaN/GaN interface. The mechanical properties also allow the

production of mechanical strain sensors. The InGaN/GaN heterojunction is used to manufacture high efficiency blue LEDs. The growth of structures based on III-nitrides is characterized by high temperatures and pressures. The main methods are HVPE, MOCVD, which gives better quality structures, and molecular beam epitaxy (MBE) to grow thin layers with few impurities and defects. The main problem is the unintentional doping of structures with Si, O, C atoms, which usually appear as donors in structures, especially when growing layers with Al content. Additional atoms of Si also degrade mechanical properties of GaN crystalline. In order to achieve the required properties of the structures, additional barrier layers of AlN or insulating layers of compensated GaN are usually used. Despite their early adoption in semiconductor technology, the electrical, optical, and mechanical properties of III-nitrides are still being widely studied. For example, the effect of mechanical deformation on the electrical properties of the structures has not been widely studied, although some works have shown the possibility of using GaN-based structures as axial strain sensors. The properties of the structures can vary significantly because III-nitrides are characterized by a high concentration of defects and impurities. Studies of the high-frequency properties of GaN have shown significant differences in electrical properties in contrast to those obtained in low-frequency experiments. Recent studies of heterostructures by high-frequency spectroscopy have shown deviations from the conventional Drude-Lorentz model for high-frequency conductivity. The results of terahertz spectroscopy show that the redshift of the plasmon resonance frequency is larger compared to the above model for temperatures above 150 K, although photoluminescence methods did not show significant deviations from the known data. In recent studies, this deviation is explained by an increase in the effective mass of the electron. The aim of the thesis is a comprehensive study of the electrical and optical properties of low-dimensional III-nitride heterostructures under the external influence of polarization fields: strong electric fields, dynamic loading, photoexcitation, and terahertz radiation. The following scientific results were obtained for the first time: 1. The factors affecting the thermometry of GaN/AlGaN heterostructures were determined by micro-Raman spectroscopy and the influence of additional mechanical stresses arising from strong electric fields was taken into account by X-ray diffraction analysis. The results of the electrical and optical methods for fields up to 7 kV/cm were aligned. 2. It was found that the dynamic load applied to the GaN/AlGaN heterostructure with a two-dimensional electron gas causes a change in the transport characteristics. From the study of the amplitude characteristics and changes in the structure under the influence of strain, the excitation energy of charge carriers was first estimated. The deep donor center (DX-center) model was proposed to describe the effect of dynamic strain. 3. It was found that dynamic loading also causes a change in the electrical characteristics of the conduction channel in nanowires based on the AlGaN/GaN heterojunction. It was found that the nature of the changes has a characteristic similar to the effect of UV radiation, with the pr

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Нові речовини і матеріали

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Не застосовується

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- • V. V. Korotyeyev, V. A. Kochelap, V. V Kaliuzhnyi, and A. E. Belyaev. High-frequency conductivity and temperature dependence of electron effective mass in AlGaN/GaN heterostructures. (2022). Applied Physics Letters, 120(25), 252103. https://doi.org/10.1063/5.0093292
- • A. V. Naumov, V. V. Kaliuzhnyi, S. A. Vitusevich, H. Hardtdegen, and A. E. Belyaev. Electron transport in AlGaN/GaN HEMT-like nanowires: Effect of depletion and UV excitation. (2021). Semicond. Physics, Quantum Electron. Optoelectron., 24(4), pp. 407–412. https://doi.org/10.15407/SPQEO24.04.407
- • Ya.M. Olikh, M.D. Tymochko, V.V. Kaliuzhnyi, A.E. Belyaev. PECULIARITIES OF ACOUSTIC INDUCED CHANGES OF ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS IN GaN/Al0.2Ga0.8N/GaN/AlN HETEROSTRUCTURES. (2020). Optoelektronìka ta napìvprovìdnikova Teh., 55, pp. 109–116.

https://doi.org/10.15407/iopt.2020.55.109

- • S. Vitusevich, I. M. Nasieka, A. V. Naumov, V. V. Kalyuzhnyi, O. I. Liubchenko, I. O. Antypov, M. I. Boyko, A. E. Belyaev. Thermometry of AlGaN/GaN 2D Channels at High Electric Fields Using Electrical and Optical Methods. (2023). Adv. Electron. Mater., 9(6), 2201330. https://doi.org/10.1002/AELM.202201330
- • V. V. Kaliuzhnyi, O. I. Liubchenko, M. D. Tymochko, Y. M. Olikh, V. P. Kladko, and A. E. Belyaev. Investigation of Traps in AlGaN/GaN Heterostructures by Ultrasonic Vibrations. (2021). Ukr. J. Phys., 66(12), p. 1058. https://doi.org/10.15407/UJPE66.12.1058
- • Ya. M. Olikh, M. D. Tymochko, V. P. Kladko, O. I. Liubchenko, A. E. Belyaev, V. V. Kaliuzhnyi. SIGNIFICANCE OF DX-CENTERS FOR ACOUSTIC INDUCED RECONSTRUCTION PROCESSES OF DEFECTS IN GaN/AlGaN. (2021) Optoelektronìka ta napìvprovìdnikova Teh., 56, pp. 61–70. https://doi.org/10.15407/IOPT.2021.56.061

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: 0123U100485 0120U102512

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бєляєв Олександр Євгенович
2. Alexander E. Belyaev

Кваліфікація: д.ф.-м.н., академік НАНУ, 01.04.10

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9639-6625

Додаткова інформація:

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

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, Київ, 03028, 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. Порошин Володимир Миколайович

2. Vladimir M. Poroshin

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8217-3949

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут фізики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417302

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 46, Київ, 03680, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кондратенко Сергій Вікторович
2. Kondratenko Serhii V.

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

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Код за ЄДРПОУ: 02070944

Місцезнаходження: вул. Володимирська, буд. 60, Київ, 01033, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кухтарук Сергій Миколайович
2. Kukhtaruk Serhii M.

Кваліфікація: к.ф.-м.н., с.д., 01.04.10

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, буд. 41, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кудрик Ярослав Ярославович
2. Yaroslav Y. Kudryk

Кваліфікація: к.т.н., с.н.с., 05.27.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5551-2922

Додаткова інформація:

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

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Стронський Олександр Володимирович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Стронський Олександр Володимирович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Пономаренко Валентина Володимирівна
Реєстратор	УкрІНТЕІ

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності

Юрченко Тетяна Анатоліївна