

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U000143

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 05-01-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: наказ №20-ОД від 11.03.2024



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Герус Анна Олегівна

2. Anna Herus

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7420-5485

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: 39026 Фізика (104 Фізика та астрономія)

Дата захисту: 23-02-2024

Спеціальність за освітою: хімічні технології рідкісних розсіяних елементів та матеріалів на їх основі

Місце роботи здобувача: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, 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): ДФ

64.175.012_ID_4416

Повне найменування юридичної особи: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, 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: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.19.17, 29.19.23, 29.41.05

Тема дисертації:

1. Сенсорні властивості дендритних точково-контактних наноструктур
2. Sensory properties of dendritic point-contact nanostructures

Реферат:

1. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «фізика та астрономія». – Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б.І. Веркіна НАН України, Харків, 2023. Об'єкт дослідження – дендритні точково-контакти наноструктури. Предмет дослідження – ефекти нелінійної електропровідності в квантових дендритних точкових контактах Янсона. У першому розділі «Сучасний стан та перспективи розвитку квантових сенсорів, що працюють на принципі зміни електричної провідності» йдеться про фундаментальні основи мікроконтактної спектроскопії (МКС) Янсона та точкових контактів Янсона, які є базовим елементом сучасних квантових сенсорів. Наведено інформацію про моделі точкових контактів Янсона, описано режими протікання струму. Описані принципи детектування газових середовищ. Другий розділ «Методичні особливості досліджень та експериментальне обладнання» розповідає про

особливості процесу створення точкових контактів Янсона та методи дослідження їх характеристик. Наведено опис лабораторного устаткування, описано методологію підготовки електролітів та електродів для створення дендритних точкових контактів Янсона. Описано методологію дисертаційних досліджень в газовому середовищі. У третьому розділі «Квантування провідності – новий селективний механізм детектування газових середовищ» запропоновано нову концепцію селективного детектування в газових та рідких середовищах, основу на формуванні оригінальної квантової системи та реєстрації її енергетичних станів у динамічному режимі за допомогою дендритних точкових контактів Янсона, синтезованих електрохімічним шляхом у досліджуваному середовищі. Синтез нанорозмірних дендритних точкових контактів Янсона виконується в процесі циклічного комутаційного ефекту, який має місце в електроліті, що контактує з середовищем, що аналізується. Провідність дендритних точкових контактів Янсона демонструє квантову поведінку, що визначається оболонковим ефектом. Квантовий оболонковий ефект формує геометрію та обумовлює дискретну зміну структури провідних каналів дендритних точкових контактів Янсона в процесі їх синтезу. Динамічний режим сканування енергетичних станів точково-контактних квантових систем, запропонований у даній роботі, дозволяє розробити універсальний метод для вибіркового виявлення багатьох газоподібних і рідких середовищ, включаючи такі важкі для виявлення речовини, як метан і інертні гази. Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений дослідженню «механізму активації циклічного комутаційного ефекту для квантового селективного детектування за допомогою дендритних точкових контактів Янсона». Розробка квантових селективних сенсорів вимагає детального вивчення природи, кінетичних параметрів і механізмів активації всіх фаз циклічного комутаційного ефекту. Точкові контакти Янсона є основним інструментом для вирішення виникаючих завдань. При розміщенні їх в іонопровідному середовищі провідний канал контакту може функціонувати як електрохімічна безщільна електродна система (БЕС). Аналіз експериментальних даних щодо динаміки електропровідності та часу життя дендритних точкових контактів Янсона під час циклічного комутаційного ефекту дозволяє дослідити особливості процесів, які можуть уможливити реалізацію квантового механізму вибіркового детектування та призвести до підвищення чутливості точково-контактних сенсорів до рідких і газоподібних аналітів. Запропоновано та обговорено математичну модель руйнування аноду дендритних мідних точкових контактів під час циклічного комутаційного ефекту. У п'ятому розділі «Квантовий сенсор – сенсор нового покоління» розглянуто результати досліджень, що були спрямовані на перевірку можливості практичного застосування селективного квантового механізму детектування газових середовищ, який було відкрито при виконанні дисертаційної роботи. Для цього була проведена розробка прототипу нового квантового сенсора. Гістограми провідності, які відповідають квантовим станам дендритних точкових контактів в процесі їх перетворень, є маркером певних середовищ і можуть бути зареєстровані за допомогою прототипу нового квантового сенсора, розробленого в дисертаційній роботі. Дієздатність розробленого прототипу була доведена в експериментах в газових середовищах аргону та оточуючого повітря. Отримані результати забезпечують передумови для розробки квантових сенсорів нового покоління для селективного визначення рідких та газових середовищ. Ключові слова: наноструктура, електрична провідність, мікроконтактна спектроскопія Янсона, мікроконтактний газочутливий ефект, сенсор, дендрит, електричний опір, наноструктурні перетворення, квантування провідності, провідність, транспортні властивості, точкові контакти, квантовий розмірний ефект, скануюча електронна мікроскопія, наноматеріали, квантові ефекти, спектроскопія, Раманівська спектроскопія, транспортні властивості, питомий електричний опір.

2. The thesis is submitted to obtain the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 104 "Physics and Astronomy". - B.Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, 2023. The object of the study is the nanostructured point-contact sensor. The subject of the study is the effect of nonlinear electrical conductivity in quantum dendritic Yanson point contacts. The first chapter, "Current state and prospects for the development of quantum sensors which operate using the electrical conductivity changing principle", is devoted to the fundamentals of Yanson point-contact spectroscopy, which is the essential element of modern quantum sensors. Information about Yanson's point contact models is provided, current flow modes are described. The principles for the detection of gaseous media are described. The

second chapter, "Methodological features of research and experimental equipment", is about the features of the process of creating Yanson's point contacts and the methods for investigation of their characteristics. The laboratory equipment is described, and the methodology of preparation of electrolytes and electrodes for the creation of Yanson dendritic point contacts is given. The methodology of dissertation research in a gaseous environment is explained. The third chapter, "Conductance quantization as a new selective sensing mechanism in dendritic point contacts", introduces a new concept of selective detection in gaseous and liquid media. This concept is based on forming an original quantum system and registering its energy states in a dynamic mode using dendritic Yanson point contacts synthesized electrochemically in the studied environment. The synthesis of nano-sized dendritic Yanson point contacts is performed in the process of a cyclic switching effect that takes place in the electrolyte in connection with the medium being analyzed. The conductance of dendritic Yanson point contacts exhibits quantum behavior determined by the shell effect. The quantum shell effect shapes the geometry and causes a discrete change in the structure of the conducting channels of Yanson dendritic point contacts in their synthesis. The dynamic mode of scanning the energy states of point-contact quantum systems, proposed in this work, makes it possible to develop a universal method for the selective detection of many gaseous and liquid media, including such difficult-to-detect substances as methane and inert gases. The fourth chapter studies "Activation Mechanism of the Cyclic Switchover Effect for Quantum Selective Detection with Dendritic Yanson Point Contacts". The development of quantum selective sensors requires a detailed analysis of the nature, kinetic parameters, and activation mechanisms of all phases of the cyclic switchover effect. Yanson point contacts are the main tool for solving emerging problems. The conductive contact channel can function as an electrochemical gapless electrode system (GES) when placed in an ion-conducting medium. The analysis of experimental data on the dynamics of electrical conductivity and lifetime of dendritic Yanson point contacts during the cyclic switching effect makes it possible to investigate the features of processes that can ensure the implementation of a quantum mechanism of selective detection and lead to the increased sensitivity of point-contact sensors to liquid and gaseous analytes. A mathematical model of anode destruction of dendritic copper point contacts during the cyclic switchover effect is proposed and discussed. In the fifth chapter, "Quantum sensor – sensor of a new generation", the research results aimed at verifying the possibility of the practical application of the selective quantum mechanism of detection of gaseous media, which was discovered during the dissertation work, were considered. For this purpose, a prototype of a new quantum sensor was developed. Conductivity histograms, which correspond to the quantum states of dendritic point contacts in the process of their transformations, are a marker of certain environment compositions and can be registered using the prototype of a new quantum sensor developed during the study. The performance of the developed prototype was proven during experiments in gas environments of argon and ambient air. The obtained results provide prerequisites for developing -generation quantum sensors to select liquid and gaseous media. Keywords: nanostructure, electric conductivity, Yanson point-contact spectroscopy, point contact gas-sensitive effect, sensor, dendrite, electric resistance, nanostructured transformations, conductance quantization, conductivity, transport properties, point contacts, quantum size effect, scanning electron microscopy, nanomaterials, quantum effects, spectroscopy, Raman spectroscopy, transport properties, electrical resistivity.

Державний реєстраційний номер ДіР: 0117U002294, 0122U001501

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:

- G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, A.V. Savytskyi, A.O. Herus, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, E. Faulques, Conductance quantization as a new selective sensing mechanism in dendritic point contacts, Springer Nature Applied Sciences, 1:244 (2019), Q2
- A. Savytskyi, A. Pospelov, A. Herus, V. Vakula, N. Kalashnyk, E. Faulques, G. Kamarchuk, Portable Device for Multipurpose Research on Dendritic Yanson Point Contacts and Quantum Sensing, Nanomaterials, 13(6), 996 (2023), Q2
- A. Herus, A. Pospelov, A. Savytskyi, Yu. Doronin, V. Vakula, E. Faulques, G. Kamarchuk, Quantum sensor of new generation, Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series Physics, 32, 65-70 (2020)
- G. Kamarchuk, A. Pospelov, A. Savytskyi, V. Gudimenko, V. Vakula, A. Herus, D. Harbuz, L. Kamarchuk, M. F. Pereira, On the prospect of application of point-contact sensors to solving the global security problems: an analytical review, in: M.F. Pereira, A. Apostolakis (Eds), Terahertz (THz), Mid Infrared (MIR) and Near Infrared (NIR) Technologies for Protection of Critical Infrastructures Against Explosives and CBRN, NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics, Springer, Dordrecht, 203-225 (2021) Q4
- A.O. Gerus, A.V. Savitsky, A. P. Pospelov, G. V. Kamarchuk, Evidence for the gas action on the process of dendritic nanoscale point contacts creation, 11 in: VII International Conference for Young Scientists «Low temperature physics», Abstracts book, June 2016, Kharkiv, 173.
- A.O. Gerus, A.V. Savitsky, A. P. Pospelov and G. V. Kamarchuk, A new quantum method for selective detection in gases, in: VIII International Conference for Professionals and Young Scientists "Low Temperature Physics", Conference Program & Abstracts Book, 29 May - 2 June 2017, 136
- A.O. Gerus, A.V. Savitsky, Yu.S. Doronin, A. P. Pospelov and G. V. Kamarchuk. Selective detection of carbon dioxide through the quantum electric conductivity of point contacts, in: IONS Balvanyos 2017, Abstracts book, 25-26 July 2017, Balvanyos, Transylvania, Romania, 86-87.
- A.O. Gerus, A.V. Savitsky, Yu.S. Doronin, A.P. Pospelov, G.V. Kamarchuk. Detection of carbon dioxide through the quantum electric conductivity of point contacts, in: The 18th International Young Scientists Conference "Optics and High Technology Material Science - SPO 2017", 26- 29 October 2017, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, 118.
- А.О. Герус, А.В. Савицький, Ю.С. Доронін, О.П. Поспелов, Г.В. Камарчук. Новий метод визначення рідких та газових середовищ, XIII Міжнародна конференція Фізичні явища в твердих тілах (5-8 грудня 2017 р.), Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, 140.
- A.O. Herus, A.V. Savitsky, A.P. Pospelov, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, G.V. Kamarchuk, Selective detection of gases based on registration of sensor quantum states, in: IX International Conference for Professionals and Young Scientists "Low Temperature Physics", Conference Program & Abstracts Book, 4-8 June 2017, 123
- A.O. Herus, A.V. Savitsky, A.P. Pospelov, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, G.V. Kamarchuk, Identification of gaseous media through the quantum electric conductivity of point contacts, in: VIII International Conference on 12 Optoelectronic Information Technologies, Conference Program & Abstracts Book, 2-4 October 2018, Vinnytsia, Ukraine, 260.
- M. Bofanova, O. Pospelov, A. Herus, G. Kamarchuk, M. Sakhnenko, M. Ved, O. Pletnyov. Modeling of a point-contact dynamic system. In: VIII All-Ukrainian Congress of Electrochemistry and VI scientific and practical seminar of students, graduate students and young scientists "Applied aspects of electrochemical analysis", Lviv, June 4-7, 2018, in: A.O. Omelchuk, R.E. Gladyshevskyi, O.V. Reshetnyak (Eds.), Collection of scientific papers, part 2, Lviv Research and publishing center of the scientific society named after T.G. Shevchenko, 2018, 263-266.
- A. Herus, A. Savytskyi, A. Pospelov, Yu. Doronin, V. Vakula, G. Kamarchuk, Selective detection of methane through quantum electric conductivity of point contacts, in: Advanced Research Workshop "Terahertz, Mid InfraRed and Near InfraRed Technologies for Protection of Critical Infrastructures against Explosives and CBRN", Book of Abstracts, Chateau Liblice, Czech Republic, 5-9 November 2018, P2.

- А. Герус. Сучасні квантові наноприлади для аналізу рідких та газових середовищ, in: XV All-Ukrainian student science conference "Physics and technological progress", V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv 2019, 12.
- A. Herus, A. Savytskyi, A. Pospelov, Yu. Doronin, V. Vakula, G. Kamarchuk, Highly selective nanodevices based on conductance quantization of dendritic point contacts in gases and liquid media, in: X International Conference for Professionals and Young Scientists "Low Temperature Physics", Abstracts Book & Conference Program, June 3-7, 2019, 106.
- A. Herus, O.P. Pospelov, G.V. Kamarchuk, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, V. Vakula, The peculiarities of point-contact nanostructure behavior in ion-conducting media, in: International research and practice conference: NANO- 2019, Abstract book, 27-30 August 2019, Lviv, Ukraine, 409.
- A. Herus, A. Savytskyi, A. Pospelov, Yu. Doronin, V. Vakula, E. Faulques, G. Kamarchuk, A new quantum approach to selective detection in gases and liquid media, in: OSA Frontiers in optics, 15-19 September 2019, Washington, District of Columbia, USA, JTU3A.55.
- А.О. Герус, А.В.Савицький, О.П. Поспелов, Ю.С. Доронін, В.Л. Вакула, Г.В. Камарчук. Квантовий сенсор для селективного визначення рідких та газових середовищ, в: Тези доповідей "XIV Міжнародна наукова конференція Фізичні явища в твердих тілах", Харків, Україна, 3-5 грудня 2019 року, 36.
- A. Herus, A.V. Savytskyi, A.P. Pospelov, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, E. Faulques, G.V. Kamarchuk, Quantized conductance of dendritic point contacts as a new sensing mechanism for selective nanodevices, in: International Advanced Study Conference "Condensed Matter and Low Temperature Physics 2020", Abstracts book, 8-14 June 2020, Kharkiv, Ukraine, 103.
- A. Herus, A.V. Savytskyi, G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, E. Faulques, A new operating principle of selective detection in gases, in: XII International Conference "Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials" (ICEPOM-12), 1-5 June 2020, Kamianets-Podilskyi, Ukraine, 258.
- A.P. Pospelov, G.V. Kamarchuk, A.O. Herus, N.D. Sakhnenko, M. Ved, V.L. Vakula, Activation mechanism of the cyclic switchover effect for quantum selective detection with dendritic Yanson point contacts, In: O. Fesenko, L. Yatsenko (Eds), Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications, Springer Proceedings in Physics, vol. 246, Springer, Cham, 2021, 627-639.
- A. Herus, A.V. Savytskyi, A.P. Pospelov, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, E. Faulques, G.V. Kamarchuk, Study of the mechanism of the cyclic switchover effect for quantum sensing with dendritic Yanson point contacts, in: II International Advanced Study Conference "Condensed Matter and Low 14 Temperature Physics", Abstracts book, 6-12 June 2021, Kharkiv, Ukraine, 131.
- A. Herus, A.V. Savytskyi, A.P. Pospelov, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, E. Faulques, G.V. Kamarchuk, Highly selective multifunctional gas detector for gas and liquid media, in: "International workshop for young scientists "Functional materials for technical and biomedical applications", Abstracts book, 6-10 September 2021, Kharkiv, Ukraine, 39.

Наукова (науково-технічна) продукція: матеріали

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; поліпшення якості життя та здоров'я населення, ефективності діагностики та лікування хворих

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впровадження не планується

Зв'язок з науковими темами: 0117U002294, 0122U001501

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Камарчук Геннадій Васильович
2. Hennadii Kamarchuk

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, с.н.с., 01.04.07**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1105-8019**Додаткова інформація:** Scopus Author Identifier 6603094828**Повне найменування юридичної особи:** Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України**Код за ЄДРПОУ:** 03534601**Місцезнаходження:** проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, 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. Рогачова Олена Іванівна
2. Olena Rogachova

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.10**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7584-656X**Додаткова інформація:** Scopus Author Identifier 7005275119**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"**Код за ЄДРПОУ:** 02071180**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України**Ідентифікатор ROR:****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Хаджай Георгій Ярославович
2. Georgii Khadzhai

Кваліфікація: к.ф.-м.н., с.н.с., 01.04.07**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1257-8702

Додаткова інформація: Scopus Author Identifier 6506908246

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Соловйов Андрій Львович

2. Andrii Solovjov

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8858-1177

Додаткова інформація: Scopus Author Identifier: 6602101023; Web of Science ResearcherID: DXJ-8868-2022

Повне найменування юридичної особи: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Квітницька Оксана Євгеніна

2. Oksana Kvitnitskaaya

Кваліфікація: к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0281-2905

Додаткова інформація: Scopus Author Identifier 36096752600

Повне найменування юридичної особи: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

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

Долбин Олександр Вітольдович

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

Долбин Олександр Вітольдович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Калиненко Олександр Миколайович

Реєстратор

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна