Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003290

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 05-08-2025

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Качур Наталія Володимирівна
2. Natalia V. Kachur

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0001-6868-8452

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:

Спеціальність за освітою: Проектування, виготовлення та обслуговування авіаційних силових установок

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:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Сектор науки: Академічний

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 10756

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:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Сектор науки: Академічний

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:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Сектор науки: Академічний

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.33.39

Тема дисертації:

1. Фізичні властивості удосконаленого ППР-сенсора з захисним шаром оксиду цинку
2. Physical Properties of the Improved SPR Sensor with a Protective Zinc Oxide Layer

Реферат:

1. Качур Н. В. Фізичні властивості удосконаленого ППР-сенсора з захисним шаром оксиду цинку. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». – Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, 2025. Дисертація присвячена удосконаленню оптичного сенсора з метою підвищення чутливості та продовження строку експлуатації оптичного сенсора на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР) за рахунок нанесення додаткового шару оксиду цинку та вивченню характеристик такого сенсора. Метою дисертаційної роботи є збільшення чутливості та строку

експлуатації сенсора на основі фізичного явища поверхневого плазмонного резонансу. ППР-сенсори широко використовують у медицині, ветеринарії, промисловості та екологічному моніторингу. Найчастіше в якості чутливих шарів ППР-сенсорів використовують золото через його хімічну стійкість та наявність великої кількості вільних носіїв заряду. При тривалому використанні ППР-сенсора чутливе покриття золота деградує і його чутливість зменшується. Тому основними проблемами ППР-сенсорів є збільшення чутливості та тривалості їхньою використання. Одним з основних шляхів вдосконалення ППР-сенсорів є збільшення їхньою чутливості за рахунок нанесення додаткового захисного шару, який дозволяє проводити високотемпературний відпал, зменшити шорсткість та підвищує стійкість золота до деградації. Оксид цинку має температуру плавлення 1975 °C, що більше майже в два рази, ніж для золота — 1064 °C. Коефіцієнт сухого тертя оксиду цинку становить 0,2-0,8. Коефіцієнт сухого тертя золота становить від 0,6 до 2,5, що суттєво більше, ніж для оксиду цинку. Наноплівки оксиду цинку можна наносити за простою золь-гель технологією. Таким чином, оксид цинку є більш міцним матеріалом, ніж золото, і може бути нанесений як захисний наношар за золь-гель технлогією. Розроблено золь-гель технологію, яка дозволяє створювати наноплівкові захисні шари з оксиду цинку. На основі розробленої технології були виготовлені дослідні зразки ППР-сенсорів, які показали покращений відгук на 20%. Експериментально підтверджено, що наношар оксиду цинку, нанесений за золь-гель технологією, захищає чутливий шар золота від відпалу 500 °C та забезпечує стійкість в умовах тертя, в тому числі на підприємствах, де необхідно контролювати однорідність шлікера при виготовленні керамічних виробів. Дослідження показало, що під час одночасного формування оксиду цинку за допомогою золь-гель технології та відпалу при 500 °C протягом 30 хвилин, оксид цинку утворює аморфну плівку товщиною 5 нм. Цей шар ефективно захищає золото від термічного відпалу та знижує рівень мікродеформацій з 1,51% (у початковому стані після вакуумного осадження) до рекордно низького значення 0,005%. Крім того, шорсткість поверхні цієї плівки становить 5 Å, що теж позитивно впливає на показники ППР - вимірювань. Експериментально було показано перспективність використання вдосконаленого ППР-сенсора для контролю суспензій, яка містить непрозорі частки розміром від мікрометрів до нанометрів в промислових умовах. Розроблений ППР-сенсор був використаний для довготривалого дослідження природної води. Було встановлено, що поєднання методу поверхневого плазмонного резонансу та вимірювання провідності дозволяє швидко та об'єктивно характеризувати забруднення природної води. Наукова новизна: 1. Вперше розроблений фізико-технологічний підхід до удосконалення за чутливістю та стійкістю до зносу чутливого золотого покриття ППР-сенсора. 2. Вперше експериментально визначено захисні властивості аморфного золь-гель наношару оксиду цинку на стійкість наношару золота до відпалу. Нанесений наношар оксиду цинку захистив чутливий шар золота при відпалі 400 °C протягом 20 годин. Це дало зменшення внутрішніх напружень до рекордного значення 0,005%, а шорсткості до 5 А. Чутливість розробленого сенсора підвищилась на 20%. 3. Зносостійкість вдосконаленого ППР-сенсора з захисним шаром в умовах сухого тертя бавовняною тканиною при питомому тиску 30 г/см2 підвищилась в 20 разів за рахунок, підвищення механічної міцності, зменшення коефіцієнту тертя та зменшення шорсткості поверхневого шару оксиду цинку в порівнянні з шаром золота. Практичне значення: 1. Розроблено золь-гель технологію нанесення наношарів товщиною 5 нм аморфного оксиду цинку яка ефективно захищає поверхню золотого чутливого шару від структурних змін при відпалі та забезпечує в ньому рекордно низький рівень внутрішніх напружень. 2. Розроблено технологію на прикладі золотого наношару, яка дозволяє мінімізувати поверхневу шорсткість оптичних поверхонь сенсора. 3. Розроблено удосконалений чутливий елемент з підвищеною чутливістю та зносостійкістю, який показав можливість контролю технологічних суспензій та довготривалих досліджень якості природної річкової води.

2. Kachur N. V. Physical Properties of an Enhanced SPR Sensor with a Protective Zinc Oxide Layer. – Qualification research paper (manuscript). Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 105 “Applied Physics and Nanomaterials.” – V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2025. This dissertation is devoted to improving an optical sensor in order to enhance its sensitivity and prolong its operational lifetime based on the phenomenon of surface plasmon resonance (SPR) through the application of an additional zinc oxide (ZnO) layer and the study of its characteristics. The aim of the dissertation is

to increase the sensitivity and operational stability of a surface plasmon resonance (SPR) sensor. SPR sensors are widely used in medicine, veterinary science, industry, and environmental monitoring. Gold is commonly used as the sensitive layer in SPR sensors due to its chemical stability and high density of free charge carriers. However, during prolonged use, the gold layer tends to degrade, leading to a loss of sensitivity. Therefore, the main challenges in SPR sensor development are improving their sensitivity and increasing their longevity. One of the most promising strategies is to apply a protective layer that enables high-temperature annealing, reduces surface roughness, and enhances the durability of the gold layer. Zinc oxide has a melting point of 1975□°C, nearly twice that of gold (1064□°C). Its dry friction coefficient ranges from 0.2 to 0.8, while for gold it varies between 0.6 and 2.5, which is significantly higher. ZnO nanocoatings can be applied using a simple sol-gel method. Thus, ZnO is a more mechanically robust material than gold and can be used as a protective nanolayer deposited via sol-gel technology. A sol-gel technology was developed to produce protective nanocoatings of zinc oxide. Experimental SPR sensor samples were fabricated based on the developed technique, showing a 20% improvement in response. It was experimentally confirmed that a ZnO nanolayer deposited using the sol-gel method protects the gold sensitive layer from degradation during annealing at 500□°C and ensures mechanical stability under friction conditions, including in industrial environments where slip casting uniformity must be monitored in ceramic production. The study demonstrated that during the simultaneous formation of zinc oxide via the sol-gel process and annealing at 500□°C for 30 minutes, an amorphous ZnO film of 5□nm thickness is formed. This film effectively protects the gold layer during thermal annealing and reduces the level of microstrain from 1.51% (initial state after vacuum deposition) to a record-low value of 0.005%. Furthermore, the surface roughness of this film was 5□Å, which also positively affects SPR measurement performance. Experimental studies demonstrated the potential of the enhanced SPR sensor for monitoring suspensions containing opaque particles ranging in size from micrometers to nanometers under industrial conditions. The developed SPR sensor was also used for long-term monitoring of natural water. It was established that combining the surface plasmon resonance method with conductivity measurements enables rapid and objective characterization of natural water contamination. Scientific novelty: 1. For the first time, a physical-technological approach was developed to enhance the sensitivity and wear resistance of the gold-sensitive layer in SPR sensors. 2. For the first time, the protective properties of an amorphous ZnO sol-gel nanolayer in enhancing the thermal stability of a gold nanolayer were experimentally demonstrated. The applied ZnO layer protected the gold layer during annealing at 400□°C for 20 hours. This resulted in a reduction of internal stresses to a record-low value of 0.005% and surface roughness to 5□Å. The sensitivity of the developed sensor increased by 20%. 3. The wear resistance of the enhanced SPR sensor with a protective ZnO layer under dry friction conditions with cotton fabric at a specific pressure of 30□g/cm² increased by a factor of 20 due to increased mechanical strength, reduced friction coefficient, and decreased surface roughness of the ZnO layer compared to gold. Practical significance: 1. A sol-gel technology was developed for applying 5□nm-thick amorphous ZnO nanolayers that effectively protect the surface of the gold-sensitive layer from structural changes during annealing and ensure a record-low level of internal stress. 2. A fabrication method was developed, using a gold nanolayer as an example, that minimizes the surface roughness of the sensor's optical interface. 3. An advanced sensitive element with improved sensitivity and wear resistance was developed, demonstrating the capability to monitor technological suspensions and conduct long-term studies of natural river water quality.

Державний реєстраційний номер ДіР: 0121U108511

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:

- A.V. Fedorenko, N.V. Kachur, V.P. Maslov Wear resistance of sensors based on surface plasmon resonance phenomenon. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics, 2023. V. 26, No 2. P. 242-246
- Н. В. Качур, Г. В. Дорожинська, Г. В. Дорожинський, В. П. Маслов, А. В. Федоренко Перспективи та тенденції розвитку приладів та методів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу в інфрачервоному діапазоні (огляд). Optoelectron. Semicond. Tech., 2022. 57, 7-17
- AV Fedorenko, KM Bozhko, NV Kachur, AV Kosiakovskiy, VP Maslov Optical and electrical properties of zinc oxide nanofilms deposited using the sol-gel method. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics, 2024, V. 27 (1), 117-123
- A Fedorenko, N Kachur, O Sulima, V Maslov. Protective properties of ZnO nanofilm against wear and mechanical damage of sensitive SPR sensor element. Functional materials, 2024, V. 31 (2), 199-204
- G.V. Dorozinsky, N.V. Kachur, H.V. Dorozinska, A.V. Fedorenko, I.V. Yatsenko, V.P. Maslov Highly-sensitive to n-hexane vapors SPR sensor with an additional ZnO layer. Opt Quant Electron, 2024, V. 56, 1213
- P. Lytvyn, O. Gudimenko, V. Maslov, A. Korchovyi, N. Kachur Influence of amorphous zinc oxide on structural changes in a gold nanolayer after annealing. Thin Solid Films, 2024, V. 806, 140518
- A.V. Fedorenko, V.P. Maslov, H.V. Dorozinska, N.V. Kachur Prospective directions for the implementation of sol-gel technology in the synthesis of zinc oxide nanoscale films in SPR sensors. Optoelectron. Semicond. Tech., 2024, V. 59, 16-27

Наукова (науково-технічна) продукція: технології; методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: економія матеріалів

Охоронні документи на ОПІВ:

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки

1. В.П. Маслов, Н.В. Качур, Г.В. Дорожинська, А.В. Федоренко Спосіб виготовлення чутливого елемента поверхневого плазмонного резонансу. Патент України на винахід №128297 від 29.05.2024 р. 2. В.П. Маслов, Н.В. Качур, Г.В. Дорожинський, Г.В. Дорожинська, А.В. Федоренко, А.В. Самойлов, Р.В. Христосенко Золь-гель спосіб формування плівок оксиду цинку. Патент України на корисну модель №154699 від 06.12.2023 р.

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0121U108511

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Маслов Володимир Петрович

2. Volodymyr Maslov

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.02.01

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0001-7795-6156

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:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Сектор науки: Академічний

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Воронов Сергій Олександрович
2. Sergiy Voronov

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.27.01, 05.27.02

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0002-0053-0381

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Сектор науки: Університетський

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Науменко Антоніна Прокопіївна
2. Antonina Naumenko

Кваліфікація: к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.05

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0001-5131-1544

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

Сектор науки: Університетський

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Євтух Анатолій Антонович
2. Anatoliy Evtukh

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

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0003-3527-9585

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:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Сектор науки: Академічний

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Данько Віктор Андрійович
2. Viktor Dan'ko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.01

Ідентифікатор ORCHID 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:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Сектор науки: Академічний

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