

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0821U101769

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 14-06-2021

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Дорожинська Ганна Василівна

2. Dorozhynska Hanna V.

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 152

Назва наукової спеціальності: Автоматизація та приладобудування. Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Не застосовується

Дата захисту: 10-06-2021

Спеціальність за освітою: Фізика

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ 26.002.044

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

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

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

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

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації:

Коди тематичних рубрик: 59.71

Тема дисертації:

1. Підвищення метрологічних характеристик сенсора на основі явища поверхневого плазмонного резонансу
2. Improvement of metrological characteristics of the sensor based on surface plasmon resonance phenomenon

Реферат:

1. Дисертація присвячена підвищенню метрологічних характеристик оптичного сенсора на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР) при використанні комплексного підходу, що включає вдосконалення конструкції сенсора та методу визначення резонансного кута. Доповнено наукові дані щодо важливості врахування впливу шорсткості поверхні металевої плівки та додаткового діелектричного шару на вимірювання резонансного кута ППР-сенсорами та визначено функції перетворення для таких сенсорів. Розроблено алгоритм розрахунку невизначеності вимірювання резонансного кута. Набула подальшого розвитку фізико-математична модель сенсора, яка містить додатковий діелектричний верхній шар з врахуванням шорсткості перехідних шарів в нанометровому діапазоні. Проаналізовано існуючі методи визначення резонансного кута та визначено їх недоліки та переваги. Особлива увага приділена методу середньої лінії та найпоширенішими методами апроксимації поліномами 2-го, 3-го степенів. Удосконалено

метод визначення резонансного кута, який на відміну від відомих, враховує вплив зміни інтенсивності в мінімумі характеристики відбиття сенсора на основі поверхневого плазмонного резонансу. За результатами моделювання для чутливого елемента з додатковим діелектричним шаром було встановлено, що абсолютна похибка вимірювання резонансного кута для вдосконаленого методу була у 9 разів менша, ніж для методу середньої лінії, який в свою чергу дозволяє зменшити абсолютну похибку щонайменше в 2,5 рази у порівнянні з методами апроксимації поліномом. Розроблений метод визначення резонансного кута полягає в визначенні цього кута як точки перетину осі кутів падіння світла та лінії, що проходить через середини відрізків між еквірівневими точками на схилах характеристики відбиття, та зміщення цієї характеристики на величину значення інтенсивності в її мінімумі, що дало можливість зменшити похибку вимірювання резонансного кута щонайменше у 5,5 рази. Вперше встановлено вплив зміни в нанометровому діапазоні шорсткості скляних підкладинок сенсора при електронно-променевої обробці їх поверхні на зміну чутливості внаслідок збільшення крутизни схилів резонансної характеристики відбиття, що дозволило підвищити чутливість по інтенсивності в 1,5 рази. Внаслідок електронно-променевої обробки скляних підкладинок чутливих елементів ППР-сенсорів, які пройшли попередньо механічну обробку, було зменшено шорсткість поверхні металевому шару в 3 рази з 4,67 нм до 1,64 нм, що зменшило півширину характеристики відбиття майже в 2 рази з 0,453 град. до 0,867 град., і як наслідок зменшило абсолютну похибку визначення резонансного кута в 3 рази з 1,8 кут.сек. до 0,58 кут.сек. вдосконалим методом. При цьому характеристика відбиття зсунулась у сторону менших кутів на 0,34 градуси, що розширило діапазон вимірювання ППР-сенсора. Набуло подальшого розвитку дослідження впливу на чутливість сенсора товщини та топології додаткового діелектричного верхнього шару, що дозволило встановити залежність між площею поверхні взаємодії з досліджуваним середовищем та чутливістю сенсора та обрати оптимальну товщину шару. Було проведено експериментальне дослідження вдосконаленого сенсора з шаром політетрафторетилену різної товщини від 5 до 50 нм при взаємодії з насиченими парами розчинників: метанолу, етанолу, ацетону та ізопропанолу. За результатами експерименту було встановлено, що максимальне збільшення чутливості у 2,8 рази забезпечила товщина політетрафторетилену 30 нм. Аналіз поверхні такого сенсора за допомогою атомно-силової мікроскопії дозволив встановити, що причиною зростання чутливості стало збільшення площі поверхні взаємодії з досліджуваним середовищем. Результати досліджень, проведених в роботі, є перспективними для застосування у промисловості, в науковій діяльності та в навчальному процесі. Розглянуто практичне застосування вдосконаленого високочутливого ППР-сенсора з додатковим шаром політетрафторетилену у газовій сенсориці. Вдосконалений метод визначення резонансного кута дозволяє зменшити похибку вимірювання при дослідженні біологічних взаємодій, оскільки цей метод менш чутливий до змін коефіцієнта поглинання світла чи адсорбції тонких поглинаючих шарів.

2. The dissertation is devoted to increase of metrological characteristics of the optical sensor based on surface plasmon resonance phenomenon (SPR) at use of the complex approach including improvement of a design of the sensor and a method of definition of a resonant angle. The scientific data on the importance of taking into account the influence of the surface roughness of the metal film and the additional dielectric layer on the measurement of the resonance angle by SPR sensors are supplemented and the transformation functions for such sensors are determined. An algorithm for calculating the uncertainty of resonance angle measurement has been developed. The physico-mathematical model of the sensor, which contains an additional dielectric upper layer taking into account the roughness of the transition layers in the nanometer range, was further developed. The existing methods of determining the resonance angle are analyzed and their disadvantages and advantages are determined. Particular attention is paid to the most common methods, namely: the method of approximation by polynomials of 2nd and 3rd degrees, as well as the method of the middle line. Improved the method of determining the resonance angle, which, in contrast to the known methods, takes into account the effect of changing the intensity in the minimum reflection characteristics of the sensor based on surface plasmon resonance. According to the simulation results for the sensitive element with an additional dielectric layer, it was found that the absolute error of resonance angle measurement for the advanced method was 9 times less than for the midline method, which in turn reduces the absolute error by at least 2.5 times compared with polynomial approximation methods.

Developed method of determining the resonant angle consists in determining this angle as the point of intersection of the axis of angles of incidence of light and a line passing through the midpoints of segments between equivalent points on the slopes of the reflection characteristic, and shifting this characteristic which made it possible to reduce the measurement error of the resonance angle by at least 5.5 times. For the first time the influence of the change in the nanometer roughness range of the sensor glass substrates during electron beam treatment of their surface on the change in sensitivity due to the increase in the slope of the resonant reflection characteristics, which increased the sensitivity by 1.5 times. As a result of electron beam treatment of glass substrates of sensitive elements of SPR sensors, which have undergone pre-machining, the surface roughness of the metal layer was reduced by 3 times from 4.67 nm to 1.64 nm, which reduced the half-width of the reflection characteristic by almost 2 times from 0.453 deg. to 0.867 deg., and as a consequence reduced the absolute error of determining the resonant angle in 3 times from 1.8 arc.sec. up to 0.58 arc.sec. for the advanced method. At the same time, the reflection characteristic shifted towards smaller angles by 0.34 degrees, which expanded the measurement range of the SPR sensor. The study of the influence on the sensitivity of the thickness sensor and the topology of the additional dielectric upper layer was further developed, which allowed finding the relationship between the surface area of interaction with the studied medium and the sensitivity of the sensor to choose the optimal layer thickness. An experimental study of an advanced sensor with a layer of polytetrafluoroethylene of different thickness from 5 to 50 nm when interacting with saturated pairs of solvents: methanol, ethanol, acetone and isopropanol. According to the results of the experiment, it was found that the maximum increase in sensitivity by 2.8 times was provided by the thickness of polytetrafluoroethylene at 30 nm. Analysis of the surface of such a sensor using atomic force microscopy revealed that the reason for the increase in sensitivity was an increase in the surface area of interaction with the studied medium. The results of research conducted in the work are promising for use in industry, research and educational process. The practical application of an advanced high-sensitivity SPR sensor with an additional layer of polytetrafluoroethylene in a gas sensor is considered. The improved method of determining the resonance angle allows reducing the measurement error in the study of biological interactions, because this method is less sensitive to changes in the light absorption coefficient or adsorption of thin absorbing layers.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:

Підсумки дослідження:

Публікації:

Наукова (науково-технічна) продукція:

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації:

Зв'язок з науковими темами:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Маслов Володимир Петрович

2. Maslov Volodymyr Petrovych

Кваліфікація: д.т.н., 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Квасніков Володимир Павлович

2. Kvasnikov Volodymyr Pavlovych

Кваліфікація: д.т.н., 05.11.01

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Себко Вадим Вадимович

2. Sebko Vadym Vadymovych

Кваліфікація: д.т.н., 05.11.13

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Боровицький Володимир Миколайович

2. Borovytskyi Volodymyr Mykolaiovych

Кваліфікація: д.т.н., 05.11.07

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Куц Юрій Васильович

2. Kuts Yuriy Vasylovych

Кваліфікація: д.т.н., 05.11.16

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VIII. Заключні відомості

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

Тимчик Григорій Семенович

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

Тимчик Григорій Семенович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Реєстратор

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



Юрченко Т.А.