



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 86921

(13) U

(51) МПК

G01N 21/55 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 10104**
(22) Дата подання заявки: **14.08.2013**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.01.2014**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.01.2014, Бюл.№ 1**

(72) Винахідник(и):
Матяш Ігор Євгенович (UA),
Маслов Володимир Петрович (UA),
Прохорович Анатолій Вікторович (UA),
Сердега Борис Кирилович (UA),
Ушенін Юрій Валентинович (UA)
(73) Власник(и):
Матяш Ігор Євгенович,
вул. Прирічна, 17, кв. 116, м. Київ, 04213 (UA),
Маслов Володимир Петрович,
вул. Паньківська, 25, кв. 11, м. Київ, 01032 (UA),
Прохорович Анатолій Вікторович,
вул. Деміївська, 55, кв. 28, м. Київ, 03040 (UA),
Сердега Борис Кирилович,
пр. Перемоги, 12, кв. 72, м. Київ, 01135 (UA),
Ушенін Юрій Валентинович,
вул. Пушкінська, 17/1, смт Глеваха, Київська обл., 08630 (UA)

(54) ПРИСТРІЙ РЕЄСТРАЦІЇ ЗМІНИ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ГАЗОВИХ ТА РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ

(57) Реферат:

Пристрій для реєстрації зміни показника заломлення газових та рідких середовищ на основі детектування явища ППР містить джерело лінійно поляризованого світла, чвертьхвильову фазову пластинку, фотопружний модулятор поляризації, напівциліндр внутрішнього відбивання з резонансно чутливою плівкою золота на відбиваючій поверхні та фотодетектор. Додатково пристрій містить френелівську компенсаційну пластинку, розташовану між напівциліндром і фотодетектором, та встановлену на механічному пристрої, який дає змогу обертати пластинку відносно осі, що перпендикулярна площині падіння зондуєчого випромінювання.

UA 86921 U

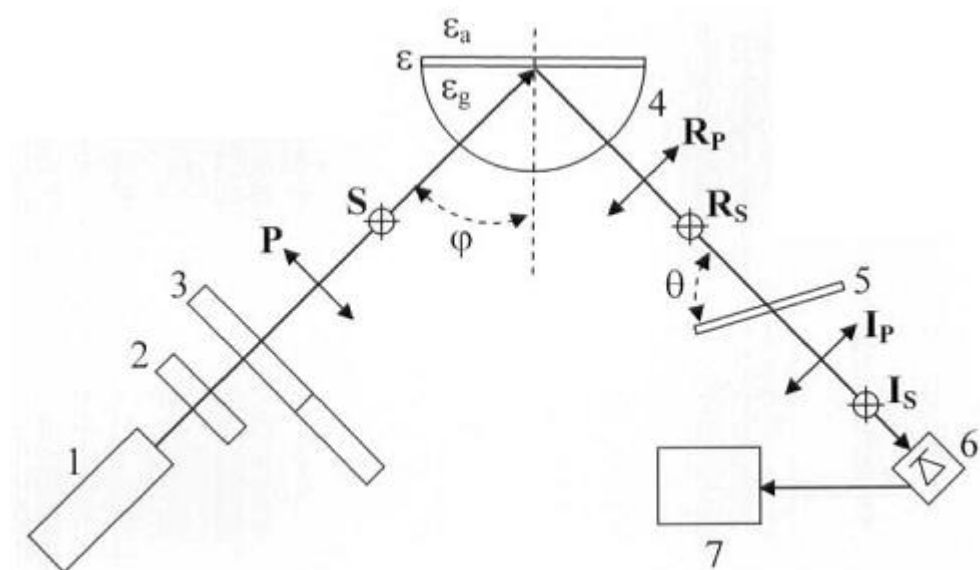


Fig. 1

Запропонована корисна модель належить до галузі оптоелектронних сенсорних пристроїв для дослідження зміни показника заломлення газових та рідких середовищ, функціонування яких ґрунтується на явищі поверхневого плазмонного резонансу (ППР), і може бути використана у дослідженні фізичних та хімічних параметрів середовища (зміни тиску та температури, складу речовин, концентрації їх компонентів, перебігу хімічних та біохімічних реакцій, тощо).

Відомий аналог пристрою призначено для визначення концентрації біомолекул та молекулярних комплексів [1]. Він містить джерело Р-поляризованого випромінювання (вектор електричного поля світлової хвилі лежить в площині падіння світла), призму повного внутрішнього відбивання, на робочій грані якої розташовано резонансно чутливу плівку, електронну систему для автоматичного керування механізмом повороту призми та фотодетектор інтенсивності світла, відбитого від резонансно чутливої плівки. Р-поляризований промінь монохроматичного випромінювання спрямовується на плівку, що розділяє середовища з діелектричними сталими ε_g (скло) та ε_a (зовнішнє середовище), з боку призми. При певному куті φ_{pr} , коли виконується умова ППР (проекція хвильового вектора світла на площину плівки дорівнює імпульсу плазмону в плівці $k_x = k_{plasmon}$), інтенсивність відбитого світла стає мінімальною тому, що майже вся енергія падаючої світлової хвилі переходить в поверхневу оптичну хвилю (поверхневий плазмон-поляритон). Залежність значення кута ППР φ_{pr} від діелектричних проникливостей матеріалу призми ε_g та середовища ε_a молекули якого контактують з металевою плівкою описується виразом [2]:

$$\sqrt{\varepsilon_g} \sin \varphi_{pr} = \sqrt{\frac{\varepsilon'(\omega)\varepsilon_a}{\varepsilon_a + \varepsilon'(\omega)}}, \quad (1)$$

де $\varepsilon'(\omega)$ - реальна частина діелектричної проникливості металевої плівки. Якщо металева плівка, на яку попередньо нанесено робочий шар певної речовини контактує з біосередовищем, що підлягає ідентифікації та комплементарне до першої речовини, то це приведе до зміни φ_{pr} внаслідок зміни ε_a . З формули (1) видно, що при сталих ε_g та $\varepsilon'(\omega)$ вимірюванням кута плазмонного резонансу φ_{pr} величину ε_a можна розрахувати та на основі калібровочної кривої визначити концентрацію біомолекул у середовищі.

Позитивною характеристикою пристрою є можливість визначення різноманітних молекул та молекулярних комплексів в різних середовищах, оскільки механічна система кутового руху призми працює у досить широкому діапазоні кутів.

Основний недолік цього пристрою полягає в його невисокій швидкодії та нездатності реєструвати кінетику процесів, бо на реєстрацію відповідної частини кутової функції ППР та визначення її мінімуму витрачається певний час.

Як найближчий аналог було взято модуляційно-поляризаційний біосенсор [3], що складається із джерела лінійно поляризованого випромінювання, модулятора поляризації випромінювання, чвертьхвильової фазової пластинки, призми повного внутрішнього відбиття з резонансно чутливою поверхнею та фотодетектора інтенсивності випромінювання, відбитого від резонансно чутливої поверхні. Роль модулятора поляризації з фазовою пластинкою полягає в тому, що за їх допомогою модулюють з частотою ω стан поляризації падаючого світла, таким чином, що резонансно чутлива границя почергово зондується S та P (електричне поле хвилі відповідно перпендикулярне та паралельне площині падіння світла) поляризованим випромінюванням з незмінною інтенсивністю. Завдяки тому, що в діапазоні кута існування плазмового резонансу інтенсивність відбитого світла S та P станів поляризації неоднакова ($R_S - R_P \neq 0$, у фотоприймачі на частоті ω виникає змінний струм, який вимірюється селективним нановольтметром. Таким чином сигнал поляризаційної різниці приймає максимальне значення при куті резонансу φ_{pr} , що забезпечує його перевищення над завадами на декілька порядків і сприяє реєстрації явища ППР з високою достовірністю. Новий вигляд характеристики ППР дає можливість вимірювати інтенсивність відбитого світла при зміні показника заломлення зовнішнього середовища не в максимумі кутової функції при φ_{pr} , а в максимумі її крутизни. Тому незначні зміни кута φ_{pr} , тобто кривої плазмонного резонансу, приводять до значної зміни величини $\rho = R_S - R_P$.

Перевагою даного пристрою є те, що операція повороту призми відносно освітлювальної системи використовується всього один раз для встановлення значення кута φ в діапазоні

лінійної залежності різниці $R_S - R_P$ від ε_a , що спрощує конструкцію приладу та алгоритм проведення вимірювань. Отже, враховуючи високу швидкодію модулятора поляризації, пристрій дозволяє здійснювати експресний аналіз зовнішнього середовища у реальному часі.

Основним недоліком найближчого аналога є недостатня чутливість до зміни показника заломлення зовнішнього середовища, оскільки малі зміни сигналу поляризаційної різниці відносно досить великого початкового знаходяться на рівні похибки реєструючої апаратури.

Задачею запропонованої корисної моделі є розробка конструкції експресного, модуляційно-поляризаційного пристрою, здатного з підвищеною точністю і чутливістю реєструвати у реальному часі зміни показника заломлення газових та рідких середовищ.

Поставлена задача вирішується тим, що пропонується пристрій для реєстрації зміни показника заломлення газових та рідких середовищ на основі детектування явища ППР, який містить джерело лінійно поляризованого світла, чверть хвильову фазову пластинку, фотопружний модулятор поляризації, напівциліндр внутрішнього відбивання з резонансно чутливою плівкою золота на відбиваючий поверхні та фотодетектор, який, згідно з корисною моделлю, додатково містить френелівську компенсаційну пластинку, що розташована між напівциліндром і фотодетектором, та встановлена на механічному пристрої, який дає змогу обертати пластинку відносно осі, що перпендикулярна площині падіння зондуємого випромінювання.

Схема пристрою показана на фіг. 1. Лінійно поляризоване випромінювання від лазера з лінійним поляризатором на виході (1) чвертьхвильовою фазовою пластинкою (2) перетворюється на циркулярно поляризоване та спрямовується на модулятор поляризації (3). Режим роботи модулятора та його азимутальне положення обирається таким, що напівциліндр внутрішнього відбивання з резонансно чутливою плівкою золота на його відбиваючий поверхні (4) освітлюється по чергово ортогональними лінійно поляризованим світлом, азимуті поляризації яких перпендикулярні та паралельні площині падіння зондуємого випромінювання (s- та p-поляризації). Після відбиття і розповсюдження крізь компенсаційну френелівську пластинку (5) модульоване випромінювання спрямовується на фотодіод (6), що генерує сигнал, змінна компонента якого реєструється синхронно-фазовим нановольтметром (7).

В даному пристрої як компенсаційну френелівську пластинку (5) використовують вирізану з оптичного скла К-8 пластинку товщиною 1 мм з паралельністю площин не гірше 1 кутової хвилини. Поверхні піддавалися стандартній механічній обробці, яка шліфування та полірування абразивами з розмірами гранул, що послідовно зменшувалися. Френелівську пластинку (5) закріплюють у спеціальному механічному пристрої, за допомогою якого пластинку можна повернути на певний кут θ відносно осі, перпендикулярній площині падіння зондуємого випромінювання. Цією дією здійснюється компенсація початкового сигналу поляризаційної різниці відбиття. Операція призведе до того, що будь-які незначні зміни показника заломлення зовнішнього середовища, і відповідно зсув кривої плазмонного резонансу, приводять до значної зміни величини поляризаційної різниці $I_S - I_P$, та появи змінного сигналу U (фіг. 2), що генерується фотодетектором (6) та реєструється на частоті ω синхронно-фазовим нановольтметром (7). Цей сигнал лінійно залежить від зміни показника заломлення зовнішнього середовища Δn , зміну якого можна фіксувати з точністю $\Delta n/n = 10^{-7}$ (фіг. 3). Кут θ встановлюється з точністю 0,2 кутової хвилини, що відповідає компенсації початкового сигналу з точністю ± 2 мкВ. Виміри зміни показника заломлення зовнішнього середовища внаслідок будь-якої фізичної дії або хімічної реакції виконуються точно таким самим чином, як і у випадку найближчого аналога.

Прикладом реалізації є діюча модель пристрою у відповідності з фіг. 1, що створена з використанням таких деталей та приладів:

1 - джерело лінійно поляризованого світла, напівпровідниковий лазер з довжиною хвилі випромінювання $\lambda = 0,65$ мкм з лінійним поляризатором (призма Глана) на виході;

2 - чвертьхвильова фазова пластинка з кристалічного кварцу, вирізана паралельно оптичній осі;

3 - фотопружний модулятор поляризації власного виготовлення. Резонатор виготовлено з п'єзокристалічного кварцу Х зрізу, до якого прикладається напруга в межах до 100 В з частотою 50 кГц. Оптична частина - плавлений кварц, з'єднаний з резонатором на акустичному контакті;

4 - напівциліндр внутрішнього відбиття виготовлений з плавленого кварцу, на відбиваючу поверхню якого методом термічного напилення нанесено золоту плівку товщиною 50 нм;

5 - компенсаційна френелівська пластинка зі скла К-8, товщина пластинки 1 мм, паралельність площин пластинки не гірше 1 кут. хв.;

6 - фотодетектор, фотодіод ФД-9К (кремнієвий);

7 - синхронно-фазовий нановольтметр, unipan lock-in nanovoltmeter type 232B.

Принцип роботи приладу полягає в наступному. Напівпровідниковий лазер з лінійним поляризатором на виході (1) генерує лінійно поляризований промінь, що перетворюється чвертьхвильовою фазовою пластинкою (2) на циркулярно поляризований та спрямовується на фотопружний модулятор поляризації (3). Під час роботи модулятора його резонансна частина внаслідок п'єзоефекту під дією змінної напруги піддається деформації стиснення-розтягнення. А його робоча частина, що з'єднана з резонансною на акустичному контакті, двічі за період стає чверть хвильовою фазовою пластинкою, при цьому її швидка та повільні осі міняються місцями. Це приводить до перетворення циркулярно поляризованого випромінювання в ортогональні лінійні поляризовані хвилі, що змінюють одна одну з частотою модуляції ω . Модулятор поляризації орієнтують так, щоб азимути поля лінійно поляризованого випромінювання були перпендикулярні та паралельні (S та P- поляризації) площині падіння зонduючого випромінювання на напівциліндр внутрішнього відбивання (4). Після відбиття від золотої плівки товщиною 50 нм, що нанесена на відбиваючу площину напівциліндра, світло спрямовується на фотодетектор (6). Завдяки тому, що в діапазоні кута існування плазмового резонансу S та P компоненти світла відбиваються неоднаково, фотодіод генерує змінний сигнал, пропорційний поляризаційній різниці інтенсивностей ($R_S - R_P$), який реєструється на частоті модуляції селективним нановольтметром (7). Оскільки найбільш чутливою до зміни показника заломлення зовнішнього середовища є не зсув максимуму поляризаційної різниці, що має місце при куті резонансу φ_{gr} , а зміна сигналу при найбільшому нахилі кутової залежності, то встановлюється відповідний кут падіння зонduючого випромінювання φ менший за φ_{gr} . Наявність двох ортогонально поляризованих хвиль дає змогу компенсувати початковий сигнал при куті φ оптичним методом (фіг. 2). Френелівська компенсаційна пластинка (5), що розташована між напівциліндром (4) та фотодіодом (6) обертається навколо осі, що перпендикулярна до площини падіння зонduючого випромінювання на кут θ , який однозначно пов'язаний з кутом φ . Тобто, величина кута обертання θ обирається такою, що поляризаційна різниця випромінювання проходячи крізь компенсаційну пластинку стає рівною нулю та описується виразом: $I_S - I_P = R_S * T_{\perp} - R_P * T_{\parallel}$ при обраному куті падіння зонduючого випромінювання φ . T_{\parallel} та T_{\perp} коефіцієнти пропускання компенсаційної пластинки для лінійно поляризованого випромінювання, з азимутом електричного поля хвилі відповідно паралельним та перпендикулярним площині падіння світла.

Отже наявність компенсаційної пластинки призводить до того, що при зміні показника заломлення зовнішнього середовища синхронно-фазовий нановольтметр (7) реєструє сигнал, величина якого є пропорційною цій зміні та вимірюється від нульового значення (фіг. 3). Останнє, в свою чергу, підвищує чутливість запропонованого приладу до зміни оптичних параметрів середовища.

Новизна запропонованої корисної моделі полягає в тому, що вона містить в собі невідомі раніше поєднання та взаємодію відомих оптичних вузлів та механізмів, що створює нові позитивні властивості. А саме: оператор має можливість встановити кут падіння зонduючого випромінювання φ , що відповідає найбільшому нахилу кривої поляризаційної різниці, та встановленням френелівської компенсаційної пластинки на відповідний кут θ , тобто оптичним методом, зробити величину початкового сигналу рівною нулю. Позитивний ефект полягає в тому, що у порівнянні з найближчим аналогом значно підвищується чутливість приладу до зміни показника заломлення зовнішнього середовища та фізичних і хімічних процесів, що викликають цю зміну.

Джерела інформації:

1. Патент України № 46018 "Спосіб детектування та визначення концентрації біомолекул та молекулярних комплексів та пристрій для його здійснення". Ширшов Ю.М., Венгер Є.Ф., Прохорович А.В., Ушенін Ю.В., Мацас Є.П., Чегель В.І., Самойлов А.В. 15.05.2002, бюл. № 5.

2. Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и граница раздела сред. / Под ред. Аграновича В.М., Миллса Д.Л. Москва: Мир. 1985. 525 с.

3. Патент України № 26551 "Модуляційно-поляризаційний біосенсор". Бережинський Л.Й., Матяш І.Є., Маслов В.П., Руденко С.П., Сердега Б.К., Ушенін Ю.В. 25.09.2007, бюл. № 15.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій для реєстрації зміни показника заломлення газових та рідких середовищ на основі детектування явища ППР, який містить джерело лінійно поляризованого світла, чвертьхвильову

- 5 фазову пластинку, фотопружний модулятор поляризації, напівциліндр внутрішнього відбивання з резонансно чутливою плівкою золота на відбиваючій поверхні та фотодетектор, який **відрізняється** тим, що додатково містить френелівську компенсаційну пластинку, розташовану між напівциліндром і фотодетектором, та встановлену на механічному пристрої, який дає змогу обертати пластинку відносно осі, що перпендикулярна площині падіння зонduючого випромінювання.

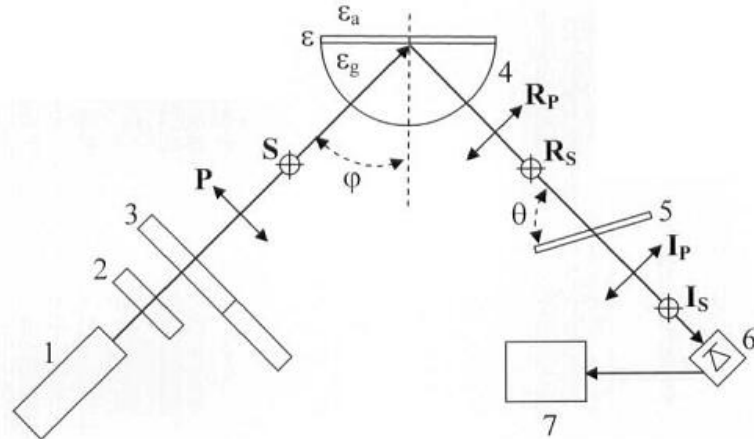


Fig. 1

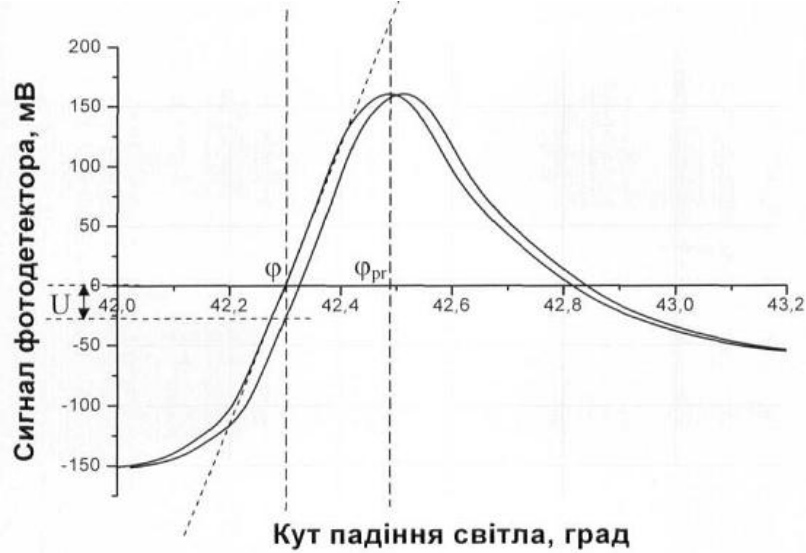
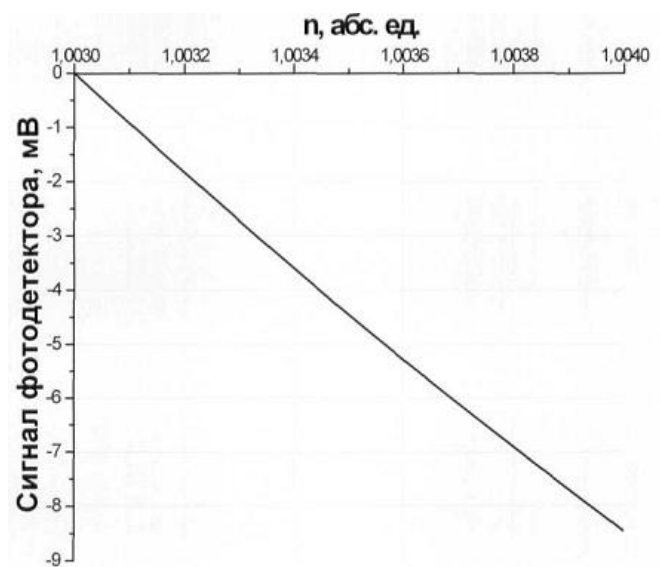


Fig. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601