



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **86920** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01N 21/55** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 10103**  
(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) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ГАЗОВИХ ТА РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ

### (57) Реферат:

Спосіб визначення зміни показника заломлення газових та рідких середовищ базується на вимірюванні поверхневого плазмонного резонансу і включає опромінення резонансно чутливої границі, що розділяє досліджуване середовище з меншою оптичною густиною від середовища з більшою оптичною густиною, з боку якого здійснюється опромінення, однаковими по інтенсивності S- та P-поляризаціями, які за допомогою модулятора поляризації змінюють одна одну з частотою  $\omega$ , та вимірювання на цій частоті різниці інтенсивностей  $I_S - I_P$  відбитого від резонансно чутливої границі світла біля кута поверхневого плазмонного резонансу. Початковий сигнал поляризаційної різниці при певному куті повністю компенсується оптичним методом (компенсаційною френелівською пластинкою), та реєструється сигнал фотодетектора лінійно пропорційний зміні оптичних параметрів середовища, що досліджується.

UA 86920 U

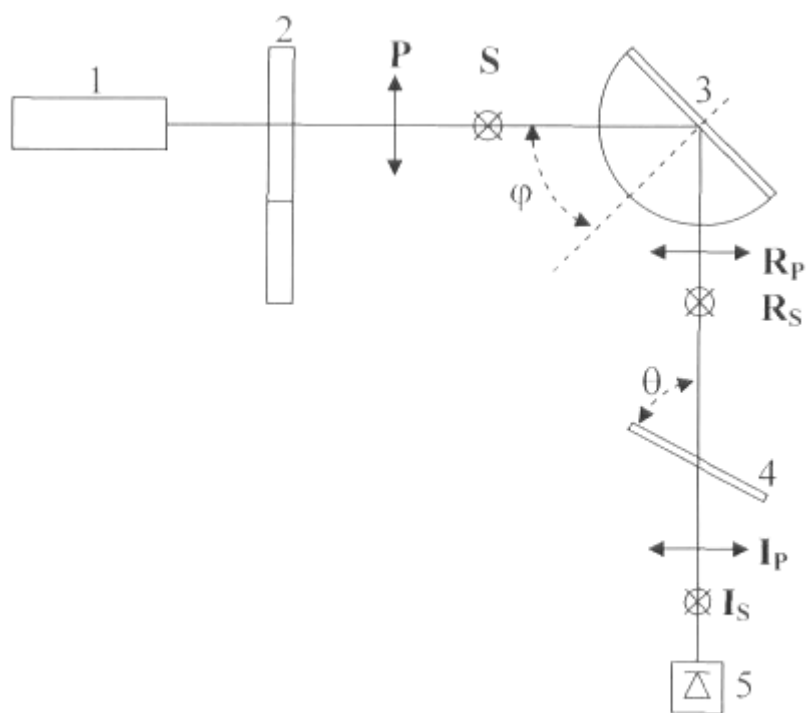


Fig. 1

Запропонована корисна модель належить до області фізичних засобів дослідження зміни показника заломлення газових та рідких середовищ, на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР), і може бути використана у дослідженні навколишнього середовища, складу речовин, концентрації їх складових у харчовій, фармацевтичній промисловості та інше.

Відомий спосіб для виявлення біомолекул та визначення їх концентрації [1] полягає у наступному. Резонансно чутливу плівку із золота з нанесеним елементом хімічної реакції, чутливим до молекул, концентрацію яких треба визначити, розміщують на відбиваючій грані призми повного внутрішнього відбиття, та опромінюють з боку призми монохроматичним світлом Р-поляризації. Інтенсивність відбитого від резонансно чутливої плівки випромінювання реєструють фотодетектором, а за допомогою електронної системи для автоматичного керування механізмом повороту призми отримують залежність інтенсивності відбитого світла

від кута падіння і визначають кут, при якому інтенсивність відбитого світла має мінімум  $\theta_{\min}$ . У випадку, коли на робочий елемент осідають біомолекули, кут, що відповідає мінімуму інтенсивності відбитого світла, змінюється. Знаючи величину зміни кута, за допомогою відповідних математичних обчислень можна визначити кількість біомолекул, що осіла на робочий елемент. Отже, детектування і визначення концентрації біомолекул і молекулярних комплексів полягає в опромінюванні металевої плівки монохроматичним поляризованим світлом з боку призми в широкому діапазоні кутів падіння, який забезпечується механічним поворотом призми, реєстрації фотоприймачем інтенсивності відбитого світла для всього набору кутів падіння і математичну обробку даних вимірювань за спеціально розробленим алгоритмом.

Отже, перевагою наведеного технічного рішення є дія механічної системи сканування призми в широкому діапазоні кутів, оскільки це не накладає обмежень на характер середовища і досліджуваних молекул.

Основним недоліком аналога є невисока швидкодія, точність та неможливість реєструвати у реальному часі кінетики процесів, оскільки для визначення мінімуму кривої ППР необхідно зняти відповідну частину кривої відбивання, що займає деякий час.

Найбільш близьким прийнятим за прототип є спосіб вимірювання параметрів поверхневого плазмонного резонансу [2] суть якого полягає в опроміненні надтонкої металевої плівки, яка розділяє досліджуване середовище з меншою оптичною густиною від середовища з більшою оптичною густиною, з боку якого здійснюється опромінення, однаковим по інтенсивності S- та Р-поляризованим світлом, що за допомогою модулятора поляризації змінюються з частотою  $\omega$ , та у вимірюванні сигналу фотодетектора, пропорційного різниці інтенсивностей  $R_S - R_P$  відбитого від границі світла навколо кута поверхневого плазмонного резонансу. Різниця виникає тому що інтенсивність р- поляризованого світла суттєво зменшується в околиці кута ППР за рахунок взаємодії з поверхневими плазмонами, в той час як інтенсивність s- поляризованого світла залишається незмінною.

Позитивним ефектом є те, що внаслідок цього в кутовій залежності різниця інтенсивностей S- та Р-поляризацій при  $\theta_{\min}$  приймає максимальну величину, що є підставою для більш точного визначення величин  $\theta_{\min}$ , а значить і параметрів навколишнього середовища, оскільки сигнал у даному випадку на кілька порядків перевищує рівень власного шуму електронної апаратури.

Недоліком прототипу є те, що незважаючи на високу швидкодію модулятора поляризації (до сотень кГц) спосіб не дозволяє здійснювати реєстрацію динамічної зміни параметрів ППР у реальному часі та неможлива реєстрація малих змін сигналу.

Задачею запропонованої корисної моделі є розробка експресного, модуляційно-поляризаційного способу підвищеної точності і чутливості для визначення у реальному часі зміни показника заломлення газових та рідких середовищ.

Поставлена задача вирішується тим, що пропонується спосіб визначення зміни показника заломлення газових та рідких середовищ, який базується на вимірюванні поверхневого плазмонного резонансу і включає опромінення резонансно чутливої границі, що розділяє досліджуване середовище з меншою оптичною густиною від середовища з більшою оптичною густиною, з боку якого здійснюється опромінення, однаковими по інтенсивності S- та Р-поляризаціями, які за допомогою модулятора поляризації змінюють одна одну з частотою  $\omega$ , та вимірювання на цій частоті різниці інтенсивностей  $I_S - I_P$  відбитого від резонансно чутливої границі світла біля кута поверхневого плазмонного резонансу, який відрізняється тим, що початковий сигнал поляризаційної різниці при певному куті повністю компенсується оптичним

методом (компенсаційною френелівською пластинкою), та реєструється сигнал фотодетектора лінійно пропорційний зміні оптичних параметрів середовища, що досліджується.

Позитивний ефект запропонованої корисної моделі полягає в тому, що прилад може проводити контроль зміни оптичних параметрів середовища під впливом зовнішніх чинників безконтактним диференційним методом у реальному часі за величиною поляризаційної різниці відносно нульового сигналу. Теоретичним розрахунком на основі матричної оптики з використанням формул Френеля [3] було показано та експериментально підтверджено, що запропонована корисна модель здатна фіксувати зміну показника заломлення зовнішнього середовища з точністю  $10^{-7}$ , що відповідає сигналу на рівні 1 мкВ.

Новизна запропонованої корисної моделі обумовлена новою сукупністю відомих та вперше запропонованих операцій-складових та ознак цього технічного рішення, а корисність підвищеною чутливістю модуляційної поляриметрії та безпосередньо способу, а також його високою швидкістю.

Приклад реалізації запропонованого способу у вигляді оптичної схеми установки наведено на фіг. 1. У якості джерела лінійно поляризованого монохроматичного світла використовується напівпровідниковий лазер (1) з довжиною хвилі випромінювання 0.65 мкм. Лінійно поляризований промінь лазера спрямовується на модулятор поляризації (2), роль якого полягає в зміні з частотою  $\omega$  стану поляризації падаючого світла з перпендикулярного на паралельний відносно площини падіння (S- та P-поляризації світла) без зміни його інтенсивності.

Далі модульоване випромінювання спрямовується на призму (напівциліндр) повного внутрішнього відбиття (3), на робочій грані якої розташовано резонансно чутливу плівку металу, що розділяє середовища з діелектричними сталими  $\epsilon_q$  (скло) та  $\epsilon_a$  (зовнішнє середовище) та товщиною значно менше ніж довжина світлової хвилі (золото товщиною 50 нм). На поверхні плівки відбувається відбиття світла згідно закону дзеркального відбиття, але при куті падіння в

околі  $\Phi_{pr}$ , що відповідає поверхневому плазмонному резонансу інтенсивність  $R_p$  - компоненти випромінювання різко падає за рахунок взаємодії з поверхневими плазмонами в той час, як інтенсивність  $R_s$  компоненти не змінюється. Мінімальною інтенсивність відбитого р-поляризованого випромінювання стає коли проекція хвильового вектора світлової хвилі на площину металевої плівки дорівнює імпульсу плазмону в плівці, тобто коли  $k_x = k_p$  (умова поверхневого плазмонного резонансу). Тобто, залежність значення кута поверхневого плазмонного резонансу  $\Phi_{pr}$  від діелектричних проникливостей матеріалу призми  $\epsilon_q$  та середовища  $\epsilon_a$ , молекули якого контактують з металевою плівкою визначається формулою [4]:

$$\sqrt{\epsilon_q} \sin \Phi_{pr} = \sqrt{\frac{\epsilon'(\omega)\omega_a}{\epsilon_a + \epsilon'(\omega)}},$$

де  $\epsilon'(\omega)$  - реальна частина комплексної діелектричної проникливості металевої плівки.

Найбільш чутливим до зміни показника заломлення зовнішнього середовища  $\epsilon_a$  є реєстрація інтенсивності поляризаційної різниці ( $R_s - R_p$ ) не в максимумі кутової функції при  $\Phi_{pr}$ , а в куті  $\Phi$ , де кутова характеристика плазмонного резонансу до осі абсцис має найбільшу крутизну (фіг. 2). Ще більше підвищується чутливість апаратури до зміни величини  $\epsilon_a$  при досягненні оптичним шляхом нульового значення початкового сигналу, що можливо завдяки наявності двох поляризацій. Відбите випромінювання проходить крізь френелівську компенсаційну пластинку (4), що повертається відносно осі перпендикулярній площині падіння зондуємого випромінювання на певний кут  $\theta$ . Його величина підбирається таким чином, щоб поляризаційна різниця, що в даному випадку описується виразом:  $I_s - I_p = R_s * T_{\perp} - R_p * T_{\parallel}$ ,

дорівнювала нулю при вибраному куті падіння зондуємого випромінювання  $\Phi$ ,  $T_{\parallel}$  та  $T_{\perp}$  коефіцієнти пропускання компенсаційної пластинки для лінійно поляризованого випромінювання, з азимутом електричного поля хвилі відповідно паралельним та перпендикулярним площині падіння світла. В цьому випадку, будь-які незначні зміни кривої плазмонного резонансу, приводять до значної зміни величини поляризаційної різниці  $I_s - I_p$ , та появи змінного сигналу U, що генерується фото детектором (5) та реєструється на частоті  $\omega$  синхронно-фазовим нановольтметром. Цей сигнал лінійно залежить від зміни показника

заломлення зовнішнього середовища принаймні у діапазоні величин від 0 до  $10^{-3}$ , що було експериментально доведено (фіг. 3).

Послідовність операцій у запропонованому способі є наступною. На призму (напівциліндр) повного внутрішнього відбивання з золотою плівкою на відбиваючий поверхні спрямовується лінійно поляризоване випромінювання з площиною поляризації, азимут якої за допомогою модулятора поляризації періодично з частотою  $\omega$  змінюється на ортогональний (S- та P-поляризації світла). Вимірюється кутова залежність інтенсивності поляризаційної різниці ( $R_S - R_P$ ) в околі кута резонансу  $\varphi_{pr}$ , та визначається кут  $\Phi$  при якому залежність має найбільший нахил. Після повороту призми (напівциліндра) на визначений кут між нею та фотодетектором встановлюється френелівська компенсаційна пластинка під кутом  $\theta$ , що призведе до оптичної компенсації сигналу поляризаційної різниці  $I_S - I_P = 0$ . При зміні показника заломлення зовнішнього середовища через будь-яку фізичну або хімічну причину буде виникати сигнал, що реєструється у реальному часі та в достатньо широкому діапазоні лінійно залежить від вказаної зміни. Коефіцієнт пропорційності визначається додатковим експериментом при контрольованій зміні параметрів зовнішнього середовища.

Таким чином, в порівнянні з прототипом, запропонована корисна модель має значно збільшу точність і чутливість до зміни показника заломлення зовнішнього середовища завдяки тому, що використано високочастотну модуляцію стану поляризації зонduючого випромінювання та великі за інтенсивністю світлові потоки, реєстрацію величини корисного сигналу від "нульового" рівня, а також вимірювання в тій області кутової функції плазмонного резонансу, де залежність інтенсивності відбитого світла від кута падіння має найбільший нахил. Також, на відміну від прототипу, запропонований спосіб, враховуючи високу швидкодію модулятора поляризації, дозволяє здійснювати експресний аналіз зміни показника заломлення зовнішнього середовища у реальному часі.

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. Патент України № 20949 "Спосіб вимірювання параметрів поверхневого плазмонного резонансу". Бережинський Л.Й., Сердега Б.К. 15.02.2007, бюл. №2.

3. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет / Пер. с англ. Москва: Мир. 1981. 583 с.

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

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення зміни показника заломлення газових та рідких середовищ, який базується на вимірюванні поверхневого плазмонного резонансу і включає опромінення резонансно чутливої границі, що розділяє досліджуване середовище з меншою оптичною густиною від середовища з більшою оптичною густиною, з боку якого здійснюється опромінення, однаковими по інтенсивності S- та P-поляризаціями, які за допомогою модулятора поляризації змінюють одна одну з частотою  $\omega$ , та вимірювання на цій частоті різниці інтенсивностей  $I_S - I_P$  відбитого від резонансно чутливої границі світла біля кута поверхневого плазмонного резонансу, який відрізняється тим, що початковий сигнал поляризаційної різниці при певному куті повністю компенсується оптичним методом (компенсаційною френелівською пластинкою), та реєструється сигнал фотодетектора лінійно пропорційний зміні оптичних параметрів середовища, що досліджується.

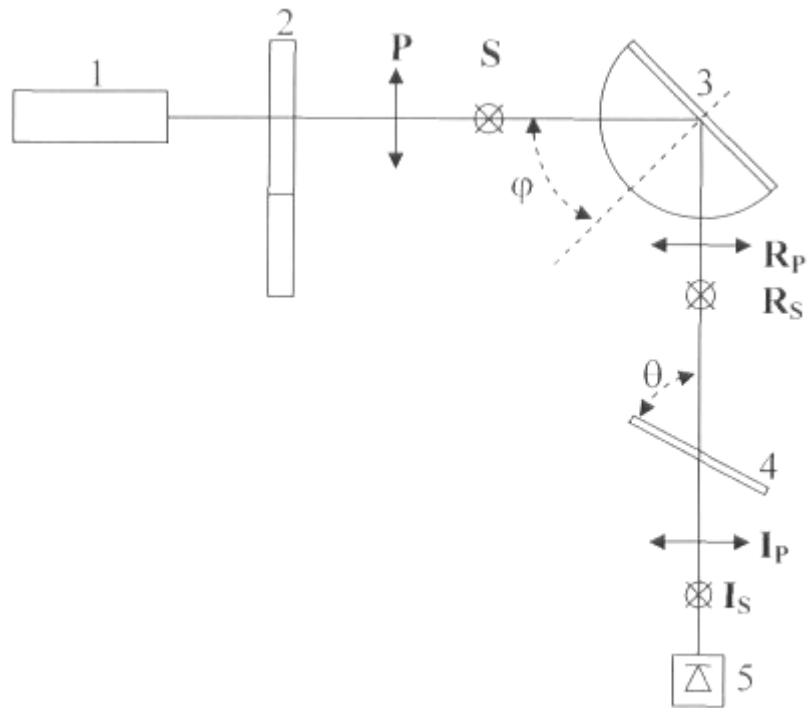


Fig. 1

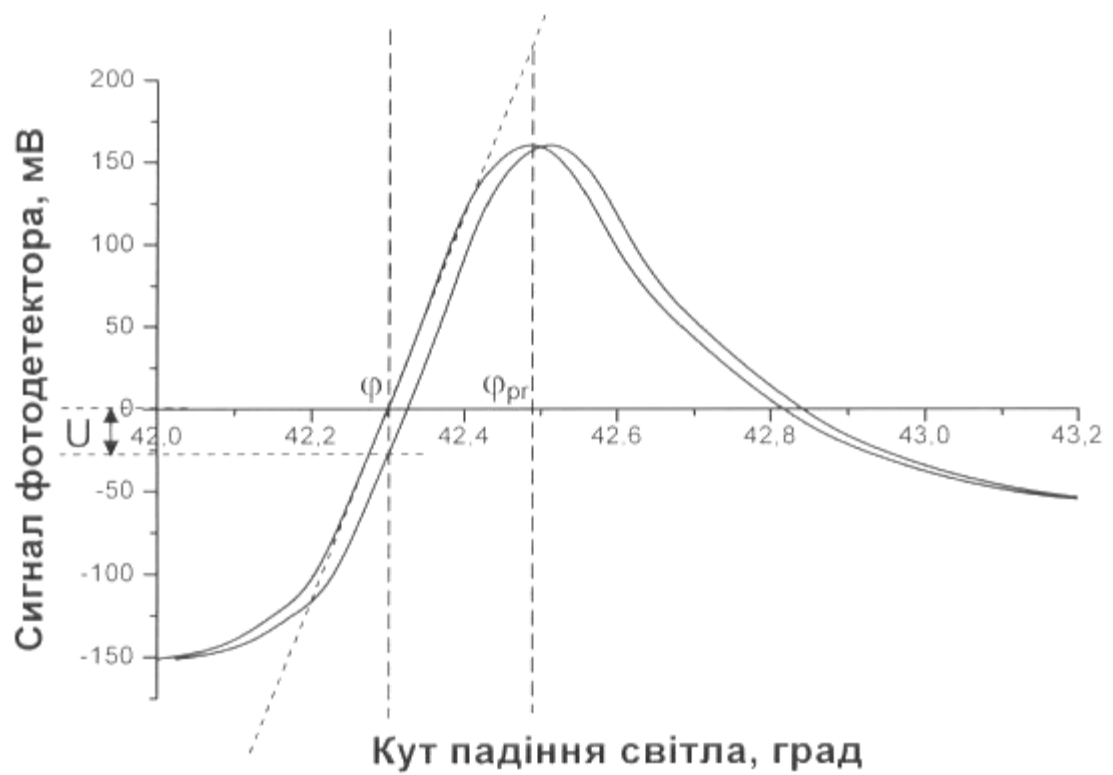
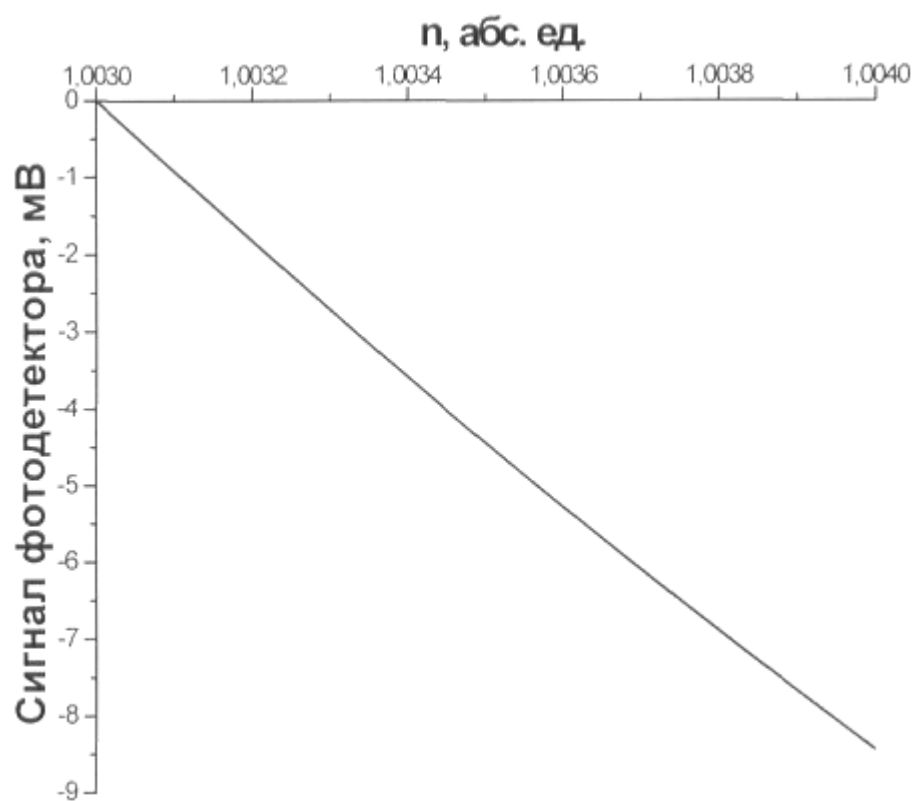


Fig. 2



Фіг. 3

---

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

---

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