



УКРАЇНА

(19) UA (11) 20949 (13) U
(51) МПК (2006)
G01N 21/55МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

1

2

(21) u200609767

(22) 12.09.2006

(24) 15.02.2007

(46) 15.02.2007, Бюл. № 2, 2007 р.

(72) Сердега Борис Кирилович, Бережинський Леонід Йосипович

(73) Сердега Борис Кирилович, Бережинський Леонід Йосипович

(57) Спосіб вимірювання параметрів поверхневого плазмонного резонансу, що включає опромінення поляризованим світлом резонансно чутливої границі, яка розділяє досліджуване середовище з меншою оптичною густиною від середовища з бі-

льшою оптичною густиною, з боку якого здійснюється опромінення, та вимірювання інтенсивності світла, відбитого від резонансно чутливої границі навколо кута поверхневого плазмонного резонансу, який **відрізняється** тим, що для опромінення резонансно чутливої границі використовують однакові по інтенсивності I_s - та I_p -поляризації, які за допомогою модулятора поляризації змінюють одну з частотою ω , а сигнал фотодетектора, пропорційний різниці інтенсивностей I_s - I_p відбитого світла, реєструють на частоті ω .

Запропонована корисна модель відноситься до області фізичних засобів дослідження середовищ, яким властиві явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР). Ці засоби використовуються при дослідженні взаємодії лінійно поляризованого випромінювання з такими квазічастинками в металах та поляричних напівпровідниках, як поверхневі плазмони. Ці квазічастинки є особливими макроскопічними електромагнітними хвилями, що розповсюджуються вздовж поверхні чи границі поділу відзначених середовищ.

Однією з необхідних умов існування ППР є протилежні знаки діелектричних сталей ϵ речовин по різні боки від поверхні чи границі поділу, тобто одна із них має бути від'ємною. Крім того дисперсійні характеристики ППР такі, що їх довжини хвильових векторів більші, ніж в об'ємних хвилях. Наслідком цього є те, що ППР не можуть згідно із законом збереження імпульсу збуджуватись об'ємними хвилями при лінійних процесах відбиття та заломлення.

Для виконання зазначених умов є кілька середовищ, в яких можливе спостереження ППР. По-перше, діелектрична стала металів, зумовлена внеском вільних електронів, є від'ємною в широкому спектральному діапазоні. Також для багатьох напівпровідників області існування від'ємної ϵ , зумовлені існуванням вільних електронів та дірок, охоплюють досить протяжні спектральні діапазони. Крім того ті області в діелектриках та напівпро-

відниках, що обмежені частотами поперечних та поздовжніх оптичних фононів, також характеризуються від'ємними значеннями ϵ [1].

Розглянемо суть явища ППР на прикладі металів. Візьмемо призму (напівциліндр) повного внутрішнього відбивання [2], на відбиваючій поверхні якої розміщено металеву плівку (срібло, золото, алюміній тощо) відповідної товщини. На цю плівку, що розділяє середовища з діелектричними сталими ϵ_2 (скло) та ϵ_3 (повітря), з боку призми спрямовується Р-поляризований промінь монохроматичного випромінювання (вектор електричного поля E хвилі лежить в площині падіння світла). На поверхні плівки в діапазоні кутів $\theta > \theta_{кр}$, відбувається повне внутрішнє відбиття світла. Але при деякому куті $\theta_{min} > \theta_{кр}$ згідно (1), коли проекція хвильового вектора світлової хвилі на площину металевої плівки збігається по величині з імпульсом плазмону в плівці, тобто коли $k_s = k_p$ (умова поверхневого плазмонного резонансу), інтенсивність відбитого світла стає мінімальною (Фіг.1).

$$\sqrt{\epsilon_2} \sin \theta_{min} = \sqrt{\frac{\epsilon_3 \epsilon_1}{\epsilon_3 + \epsilon_1}} \quad (1)$$

Отримана при кутовому скануванні крива ППР характеризується трьома основними параметрами: положенням мінімуму θ_{min} , півшириною $\Delta\theta_{1/2}$ та величиною відбивання в мінімумі R_{min} . Із однієї ППР кривої можна однозначно визначити 3 пара-

(13) U
(11) 20949
(19) UA

метри плівки металу - показники заломлення, поглинання та товщину (n , k , d) [2].

Відомий спосіб [3] реєстрації ППР використовує ту властивість явища, що полягає у залежності коефіцієнту відбиття лінійно поляризованого світла від кута падіння на поверхню призми (геометрія Кречмана чи Отто). Його суть полягає в тому, що на поверхню призми з металевою плівкою чи з імерсійною плівкою і досліджуванним середовищем спрямовується світловий паралельний пучок Р-поляризації. Інтенсивність відбитого поверхнею світла перетворюється фотодетектором в сигнал, величина якого залежить від кута падіння. При кутовому скануванні призми результатом виміру є крива, що характеризується мінімальним значення сигналу при умові резонансу, та відповідною півшириною (θ_{\min} , $\Delta\theta_{1/2}$).

Основний недолік цього способу полягає в його обмеженій роздільній здатності до визначення кута θ_{\min} , необхідність у точності виміру якого диктується вимогами фізичних задач. Одна із цих вимог полягає у визначенні з високою чутливістю величин діелектричних сталих контактуючих середовищ або їх змін під дією тих чи інших фізичних чинників. Досягненню цієї мети заважає мале значення сигналу при θ_{\min} , особливо коли воно сягає нуля, що має місце при чіткому резонансі.

Відомий аналог способу вимірювання параметрів ППР [4] є більш експресним порівняно з попереднім. Суть способу полягає в тому, що резонансно-чутлива границя опромінюється широким світловим пучком, що покриває певний інтервал кутів падіння і фокусується в одній точці на поверхні призми. При цьому відбите світло у вигляді конуса спрямовується на діафрагму, виготовлену у вигляді лінійки маленьких отворів. За діафрагмою розташовано фотоприймач, що переміщується вздовж лінії розташування отворів таким чином, що на його поверхню падає світло тільки від одного отвору. В цьому випадку кожний отвір відповідає певному куту падіння.

Головним недоліком описаного аналогу є малий кут сканування, який у вузькому діапазоні значень показника заломлення (від 1,33 до 1,38) обмежує вибір досліджуваних середовищ. Крім того велика дискретність вимірів кута, що обумовлена відстанню між отворами, їх діаметром та розмірами фотоприймача, обмежує роздільну здатність способу. Ці недоліки істотно впливають на точність визначення величини θ_{\min} .

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб виміру ППР, наведений в [5], який можна вважати прототипом. Його суть полягає у тому, що резонансно чутливу плівку, яка розміщена на робочій грані призми повного внутрішнього відбивання, опромінюють з боку призми світлом Р-поляризації, інтенсивність відбитого від резонансно чутливої плівки випромінювання реєструють фотодетектором, а за допомогою електронної системи для автоматичного керування механізмом повороту призми визначають значення кута θ_{\min} . Основний недолік цього пристрою полягає в його невисокій швидкодії та нездатності реєструвати кінетичну процесів. Це пов'язано з тим, що на визначення θ_{\min} витрачається певний час. Крім того, необхідність електронної системи для автоматич-

ного слідування за механізмом повороту призми ускладнює конструкцію приладу.

Таким чином, задачею запропонованої корисної моделі є розробка методу підвищеної точності і чутливості для визначення у реальному часі характеристики ППР у середовищі з будь-яким показником заломлення.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі вимірювання параметрів поверхневого плазменного резонансу, що включає опромінення поляризованим світлом резонансно чутливої границі, яка розділяє досліджуване середовище з меншою оптичною густиною від середовища з більшою оптичною густиною, з боку якого здійснюється опромінення, та вимірювання інтенсивності світла, відбитого від резонансно чутливої границі навколо кута поверхневого плазменного резонансу, який відрізняється тим, що для опромінення резонансно чутливої границі використовують однакові по інтенсивності I_s - та I_p -поляризації, які за допомогою модулятора поляризації змінюють одну з частотою ω , а сигнал фотодетектора, пропорційний різниці інтенсивностей I_s - I_p відбитого світла, реєструють на частоті ω .

Позитивний ефект досягається, по перше, завдяки тому, що інтенсивності S- та P- поляризацій, які при відбитті від металевої плівки практично не відрізняються, в околиці кута ППР стають неоднаковими. Так, інтенсивність Р поляризованого світла суттєво зменшується за рахунок взаємодії з поверхневими плазмонами в той час, як інтенсивність S поляризованого світла залишається незмінною. Внаслідок цього виникає різниця інтенсивностей S- та P-поляризацій, яка в кутовій залежності при θ_{\min} приймає максимальну величину (Fig.2). Таким чином сигнал ФД у даному випадку на кілька порядків перевищує рівень шуму, що є підставою для більш точного визначення величин θ_{\min} та $\Delta\theta_{1/2}$, а значить і параметрів плівки металу - n , k , d .

Висока швидкодія модулятора поляризації (в нашому випадку частота модуляції 50кГц) дозволяє здійснювати динамічну реєстрацію параметрів ППР у реальному часі. Величина частоти модуляції ω не має принципового значення і може бути використана в межах від десятків Гц до сотень кГц. Вона обумовлюється механічними та електричними властивостями пристрою, що здійснює модуляцію поляризації.

Оскільки кут падіння світла на металеву плівку при даному способі виміру кривої ППР нічим не обмежується, то в залежності від значення ε_2 завжди знайдеться таке значення кута θ_{\min} , при якому буде спостерігатись ППР. Таким чином, спосіб дозволяє вимірювати характеристику ППР для середовища з будь-яким значенням ϕ (або показника заломлення).

Оптична схема установки, на якій здійснена реалізація запропонованого способу наведено на Fig.1, де використано:

- лазер ЛГН-113 як джерело світла, довжина хвилі лінійно поляризованого випромінювання $\lambda=0.63$ або 1.15мкм, виготовлення підприємства «Укрлазер», м. Львів;

- МП - модулятор поляризації власного виготовлення у вигляді пластинки з ізотропного матеріалу, з'єднаної з пластинкою із кристалічного ква-

рцу

- НЦ - напівциліндр повного внутрішнього відбиття власного виготовлення із скла К-8, на робочу поверхню якого термічним випаровуванням нанесено шар золота товщиною біля 50нм;

- ФД - кремнієвий фотодіод ФД-9К.

Лінійно поляризований промінь лазера спрямовується на модулятор поляризації МП, який перетворює азимут поляризації з частотою 50кГц з паралельного на перпендикулярний відносно площини падіння (S- та Р-поляризації світла). Після відбиття від робочої поверхні напівциліндра світло спрямовується на фотодетектор ФД. Завдяки тому, що в діапазоні кута існування плазмонного резонансу коефіцієнт відбиття Р-компоненти світла змінюється відносно незмінної S-компоненти, модуляцією поляризації виділяється різниця їх інтенсивностей, сигнал якої з фотодетектора вимірюється селективним вольтметром. Кутова залежність сигналу фотодетектора в таких умовах реєстрації ППР наведена на Фіг.2.

Об'єктами для використання способу можуть бути метали, напівпровідники та діелектрики. Тому можливі області застосування запропонованого способу - науково-конструкторські та учбові лабораторії. Крім того, цей спосіб може бути взято за

основу при розробці і створенні різних приладів, робота яких базується на використанні явища поверхневого плазмонного резонансу.

Література

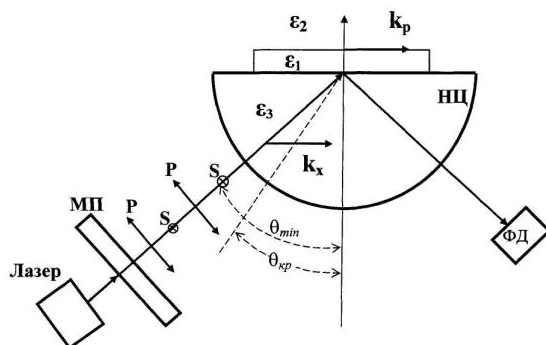
1. Дмитрук Н.Л., Литовченко В.Г., Стрижевский В.Л. Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках. Киев.: Наук, думка, 1989.-376с.

2. Жижин Г.Н., Москалева М.А., Шонина Е.В., Яковлев В.А. Распространение поверхностных электромагнитных волн по металлическим поверхностям. В кн. В.М. Аграновича и Д.Л. Милса «Поверхностные поляритоны». М. «Наука». 1985.

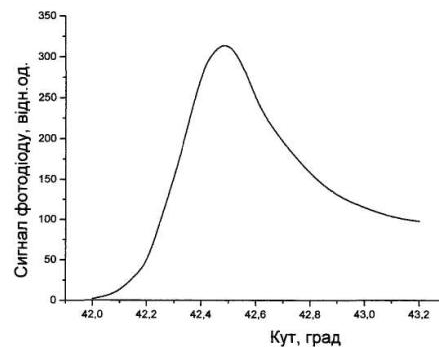
3. Kretshman E. Die Bestimmung optischer Konstanten von Metallen durch Änderung von Oberflächen Plasmaschwingungen.// Appl. Phys.-1971.-241, №4.-S.313-324.

4. 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.

5. Chinowsky T.M., Yee S.S. Capillary surface plasmon resonance sensor and multisensors. US Patent 6.480.282. November, 12, 2002.



Фіг. 1.



Фіг. 2.