

**УКРАЇНА**

(19) UA (11) 103393 (13) C2
(51) МПК (2013.01)
G01N 21/41 (2006.01)
H01S 3/00

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**

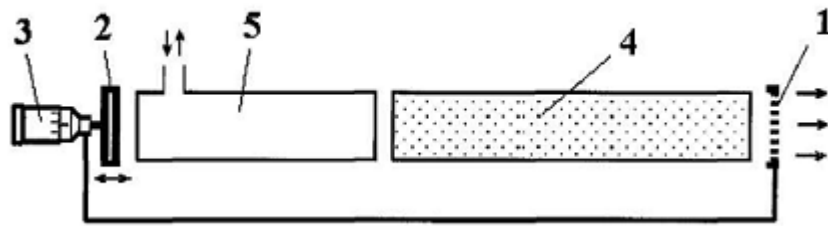
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2011 15456	(72) Винахідник(и): Кісельов Володимир Костянтинович (UA), Дзюбенко Михайло Іванович (UA), Радіонов Володимир Петрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 27.12.2011	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ ІМ. О.Я. УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, вул. Ак. Проскури, 12, м. Харків, 61085 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.10.2013	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 84632 C2; 10.11.2008 SU 792104; 30.12.1980 SU 1550378 A1; 15.03.1990 RU 2065148 C1; 10.08.1996 US 4553841; 19.11.1985 US 3650631; 21.03.1972 DE 3244783 A1; 07.06.1984
(41) Публікація відомостей про заяву: 10.07.2013, Бюл.№ 13	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.10.2013, Бюл.№ 19	

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ПРОЗОРИХ РЕЧОВИН**(57) Реферат:**

Винахід належить до вимірювальної техніки і може бути застосований в рефрактометрії терагерцевого діапазону. За способом визначення показника заломлення прозорих речовин через еталонну речовину з відомим показником заломлення і досліджувану речовину пропускають випромінювання та за різницею фазових швидкостей випромінювання в еталонній і досліджуваній речовинах визначають показник заломлення досліджуваної речовини. Згідно з винаходом, еталонною речовиною і досліджуваною речовиною по черзі заповнюють одну і ту ж кювету, поміщену в резонатор терагерцевого лазера, що працює в одномодовому одночастотному режимі. При цьому переміщують рухоме дзеркало резонатора і резонатор кожний раз для еталонної і досліджуваної речовин налаштовують на резонансну довжину, що відповідає максимуму випромінювання лазера і при якій між рухомим і нерухомим дзеркалами резонатора укладається однакова кількість цілих півхвиль випромінювання. Різницю резонансних довжин резонатора для еталонної і досліджуваної речовин визначають за допомогою механізму переміщення рухомого дзеркала резонатора. Зміни фазових швидкостей випромінювання в еталонній і досліджуваній речовинах визначають за змінами резонансних довжин резонатора, а показник заломлення досліджуваної речовини визначають за відповідною формулою. Спосіб забезпечує вимірювання показника заломлення прозорих речовин в терагерцевому діапазоні, що підвищує точність вимірювань.

UA 103393 C2



Винахід належить до лазерної техніки і може використовуватись для визначення показника заломлення (ПЗ) прозорих речовин в терагерцевому (ТГц) діапазоні.

Актуальність визначення ПЗ у ТГц діапазоні обумовлена інтенсивним освоєнням цього діапазону, що створює необхідність підбору матеріалів і ліній передач, здатних працювати в ТГц діапазоні. Зокрема, при розрахунках квазіоптичних ліній передач потрібно знати ПЗ газів, якими під різними тисками можуть заповнюватися металодіелектричні та порожнисті діелектричні хвилеводи. Використовувати для цих цілей ПЗ, виміряні у видимому діапазоні недоцільно, оскільки значення ПЗ може істотно залежати від частоти випромінювання.

Існує багато способів визначення ПЗ різних речовин, цьому присвячений цілий розділ оптичної техніки - рефрактометрія (Шишловский А.А., Прикладная физическая оптика, М, 1961; Иоффе Б.В., Рефрактометрические методы химии, 2 изд., Л., 1974.). Методи рефрактометрії поділяються на: 1) методи прямого виміру кутів заломлення світла при проходженні ним кордону розділу двох середовищ; 2) методи, в яких використовується явище повного внутрішнього відбиття світла; 3) Інтерференційні методи, 4) фотометричні методи, в яких використовується залежність коефіцієнта відбиття або пропускання світла на межі двох середовищ від співвідношення їх ПЗ; 5) Інші методи (вимір фокусної відстані лінзи і кривизни поверхонь для визначення ПЗ її матеріалу, вимірювання поперечного зміщення променя плоскопаралельною пластиною з досліджуваного матеріалу, та ін.).

Зазвичай ПЗ рідких і твердих тіл визначають з точністю до 10^{-5} на рефрактометрах, в яких визначають граничні кути повного внутрішнього відбиття. Максимальна точність абсолютних вимірів (10^{-10}) досягається на гоніометрах за допомогою методів відхилення променів призмою, яка виготовлена з досліджуваного матеріалу. Це досить трудомісткий спосіб.

Для визначення ПЗ газів і розчинів найбільш зручні інтерференційні методи, які засновані на контролі різниці фазових швидкостей випромінювання в досліджуваній речовині і в еталонній речовині з відомим ПЗ. різницю ПЗ порівнюваних середовищ визначають за кількістю порядків інтерференції променів, що пройшли через ці середовища. Точність інтерференційних методів досягає 10^{-7} - 10^{-8} .

Однак точність і простота більшості способів вимірювання ПЗ втрачаються при вимірах в ТГц діапазоні, де випромінювання невидиме, а приймачів, що по чутливості наближаються до людського ока, поки не існує.

У міліметровому і субміліметровому діапазоні відомі резонаторні способи визначення ПЗ і діелектричної проникності газів та діелектриків (Валитов Р.А., Дюбо С.Ф., Камышан В.В. Техника субмиллиметровых волн. - М., Сов. радио.-1969.-477 с.). Досліджувану речовину поміщають у високودобротний резонатор, в який вводять міліметрове або субміліметрове випромінювання. ПЗ речовини визначають за зміною власної частоти або резонансної довжини резонатора.

Перевагою таких способів є можливість проводити вимірювання в ТГц діапазоні.

Недоліком є низька точність вимірювання ПЗ, недостатня для вимірювання розріджених газів. Для збільшення точності вимірювання потрібно збільшувати повздовжній розмір, що займає досліджувану речовину в резонаторі, і зменшувати смугу резонатора. Однак, збільшення повздовжнього розміру речовини призводить до збільшення загасання випромінювання в речовині і знижує добротність резонатора, що викликає розширення смуги резонатора. Тому резонаторні способи застосовуються в основному для вимірювання плівкових матеріалів, забезпечуючи максимальну точність вимірювання ПЗ порядку 10^{-3} (Власов С.Н., Паршин В.В., Серов Е.А. Методы исследования тонких диэлектрических пленок в миллиметровом диапазоне / Журнал технической физики.-2010. - том 80, вып. 12. - С. 73-79.)

Найбільш близьким з відомих та вибраним прототипом запропонованого винаходу є інтерференційний спосіб визначення ПЗ (А.с. СССР № 792104 от 1980 г; М. Кл.³ N21/41; Способ автоматического измерения коэффициента преломления газа. Е.И. Лебедев, С.В. Манов, А.Л. Ямнов). У даному способі проводять порівняння ПЗ досліджуваної речовини в робочій кюветі з ПЗ в еталонній кюветі, тиск в яких ступінчасто змінюють до вакууму. Обидві кювети встановлені в променях інтерферометра, а різницю фазових швидкостей випромінювання, що проходить через кювети, а отже і різницю ПЗ речовин у цих кюветах визначають за кількістю порядків інтерференції.

Перевагою даного способу є оперативність і достатня точність вимірювання ПЗ газу в широкому діапазоні тисків.

Недоліком даного способу є те, що ним поки що неможливо користуватись в ТГц діапазоні, оскільки поки не існує чутливих ТГц приймачів, здатних контролювати інтерференційні смуги.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалити спосіб визначення ПЗ прозорих речовин шляхом вимірювання різниці фазових швидкостей електромагнітного випромінювання

в цих речовинах таким чином, щоб вимір ПЗ можна було проводити в ТГц діапазоні, що підвищує точність вимірювання.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення показника заломлення прозорих речовин, за яким через еталонну речовину з відомим показником заломлення і досліджувану речовину пропускають випромінювання та за різницею фазових швидкостей випромінювання в еталонній і досліджуваній речовинах визначають показник заломлення досліджуваної речовини, згідно з винаходом, еталонною речовиною і досліджуваною речовиною по черзі заповнюють одну і ту ж кювету, поміщену в резонатор терагерцевого лазера, що працює в одномодовому одночастотному режимі, при цьому, переміщаючи рухоме дзеркало резонатора, резонатор кожний раз для еталонної і досліджуваної речовин налаштовують на резонансну довжину, що відповідає максимуму випромінювання лазера і при якій між рухомих і нерухомих дзеркалами резонатора укладається однакова кількість цілих півхвиль випромінювання, різницю резонансних довжин резонатора для еталонної і досліджуваної речовин визначають за допомогою механізму переміщення рухомого дзеркала резонатора, зміни фазових швидкостей випромінювання в еталонній і досліджуваній речовинах визначають за змінами резонансних довжин резонатора, а показник заломлення досліджуваної речовини визначають за формулою:

$$n_1 = n_2 + \frac{\Delta L}{L_K - \Delta L} \cong n_2 + \frac{\Delta L}{L_K},$$

де:

n_1 - показник заломлення досліджуваної речовини,

n_2 - показник заломлення еталонної речовини,

$\Delta L = L_1 - L_2$,

де:

L_1 - резонансна довжина резонатора з досліджуваною речовиною,

L_2 - резонансна довжина резонатора з еталонною речовиною,

L_K - довжина вимірювальної кювети уздовж осі резонатора.

Завдяки тому, що еталонну речовину і досліджувану речовину послідовно поміщають у кювету, встановлену в резонаторі ТГц лазера, зміну фазової швидкості випромінювання в цій кюветі можна визначити по зміні резонансної довжини резонатора. Зміну резонансної довжини контролюють за допомогою механізму переміщення дзеркала. Для визначення ПЗ досліджуваної речовини з похибкою порядку 10^{-6} достатньо, щоб механізм переміщення мав шкалу з похибкою відліку 1 мкм.

Суть способу визначення ПЗ пояснюється ілюстрацією, на якій наведено структурну схему одного з пристроїв, за допомогою якого можна реалізувати запропонований спосіб.

Вимірювальний пристрій складається з лазерного резонатора, утвореного дзеркалами 1, 2. Дзеркало 1 виконано частково прозорим і служить для виведення випромінювання з резонатора. Дзеркало 2 має механізм переміщення 3, завдяки якому воно може переміщуватись уздовж осі резонатора і за допомогою якого здійснюють контроль цього переміщення. Між дзеркалами резонатора розміщено активний елемент 4 та вимірювальну кювету 5. Активний елемент 4 служить для генерації лазерного ТГц випромінювання. У вимірювальну кювету 5 по черзі поміщають еталонну речовину та досліджувану речовину.

Вимірювання проводять наступним чином.

У вимірювальну кювету 5 поміщають еталонну речовину з відомим ПЗ. Здійснюють накачування активної речовини 4. Переміщаючи дзеркало 2 за допомогою механізму переміщення 3, встановлюють максимум потужності лазерної генерації. Це відповідає налаштуванню резонатора на резонансну довжину, коли відстань між дзеркалами 1, 2 дорівнює цілому числу півхвиль ТГц випромінювання. Потім кювету 5 заповнюють досліджуваною речовиною. Це викликає зміну середнього показника заломлення в резонаторі, що призводить до розладу резонатора і до зменшення або повного зникнення лазерної генерації. Для відновлення генерації корегують довжину резонатора. Корегування проводиться переміщенням дзеркала 2 за допомогою механізму переміщення 3 до відновлення максимальної потужності випромінювання. Реєструють величину переміщення за мікрометричною шкалою механізму переміщення 3. Абсолютне значення показника заломлення досліджуваної речовини визначають за формулою:

$$n_1 = n_2 + \frac{\Delta L}{L_K - \Delta L} \cong n_2 + \frac{\Delta L}{L_K},$$

де:

n_1 - показник заломлення досліджуваної речовини,

n_2 - показник заломлення еталонної речовини,

5 $\Delta L = L_1 - L_2$, де: L_1 - резонансна довжина резонатора з досліджуваною речовиною, L_2 - резонансна довжина резонатора з еталонною речовиною,

L_K - довжина вимірювальної кювети уздовж осі резонатора.

При використанні вакууму як еталонної речовини, оскільки ПЗ вакууму =1, розрахункова формула набуває вигляд:

$$10 \quad n_1 = 1 + \frac{\Delta L}{L_K - \Delta L} \cong 1 + \frac{\Delta L}{L_K}.$$

При вимірах ΔL слід суворо контролювати, щоб налаштування на резонансну довжину і для еталонної речовини, і для досліджуваної речовини проводилось для однакової кількості півхвиль випромінювання між дзеркалами. Тому заповнення кювети досліджуваною речовиною необхідно здійснювати поступово, синхронно коригуючи довжину резонатора.

15 При визначенні ПЗ газів як еталонної речовини зручно використовувати вакуум, а при визначенні ПЗ рідин - достатньо використовувати повітря.

Запропонований спосіб дозволяє визначати ПЗ у ТГц діапазоні і забезпечує точність на кілька порядків вище, ніж способи, в яких використовується пасивний резонатор. Це пояснюється тим, що смуга активного резонатора може бути на багато порядків вужче смуги пасивного резонатора аналогічних розмірів, а позовжній розмір досліджуваної речовини можна значно збільшити, компенсуючи загасання випромінювання в ньому збільшенням зони активної речовини.

25 Попередні експериментальні дослідження довели, що у звичайному лабораторному HCN лазері з довжиною хвилі випромінювання $\lambda = 337$ мкм і з довжиною вимірювальної ділянки їм зміна резонансної довжини на 1 мкм відповідає зміні показника заломлення на 10^{-6} . Отже, у вимірювальній установці на базі такого лазера точність вимірювання ПЗ може бути близько 10^{-6} при використанні вимірювальної кювети довжиною їм і пристрою переміщення дзеркала з точністю відліку 1 мкм. Точність вимірювання може бути збільшена ще, принаймні, на 1-2 порядки за рахунок використання більш точного вимірювача переміщення і ще на порядок за рахунок збільшення вимірювальної ділянки. Загальна максимальна довжина лазерного резонатора обмежується умовами одночастотної генерації. Для резонатора HCN лазера суто одночастотний режим генерації можливий до довжини ~12 метрів, а розрізнити пік одночастотного випромінювання можна приблизно до 25 м. Отже, точність вимірювання показника заломлення може бути доведена до 10^{-9} , що перевищує можливості більшості відомих способів виміру ПЗ навіть у видимому діапазоні.

35 Запропонованим способом можна проводити вимірювання не тільки в ТГц діапазоні, але також і в інших діапазонах, наприклад в інфрачервоному діапазоні. Однак, гранична довжина резонатора, що забезпечує одномодовий одночастотний режим генерації для лазерів інфрачервоного діапазону, значно зменшується. Також зменшується довжина вимірювальної кювети, а отже і точність вимірювання.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

45 Спосіб визначення показника заломлення прозорих речовин, за яким через еталонну речовину з відомим показником заломлення і досліджувану речовину пропускають випромінювання та за різницею фазових швидкостей випромінювання в еталонній і досліджуваній речовинах визначають показник заломлення досліджуваної речовини, який **відрізняється** тим, що еталонною речовиною і досліджуваною речовиною по черзі заповнюють одну і ту ж кювету, поміщену в резонатор терагерцевого лазера, що працює в одномодовому одночастотному режимі, при цьому переміщують рухоме дзеркало резонатора і резонатор кожний раз для еталонної і досліджуваної речовин налаштовують на резонансну довжину, що відповідає максимуму випромінювання лазера і при якій між рухомим і нерухомим дзеркалами резонатора укладається однакова кількість цілих півхвиль випромінювання, різницю резонансних довжин резонатора для еталонної і досліджуваної речовин визначають за допомогою механізму переміщення рухомого дзеркала резонатора, зміни фазових швидкостей випромінювання в еталонній і досліджуваній речовинах визначають за змінами резонансних довжин резонатора, а показник заломлення досліджуваної речовини визначають за формулою:

$$n_1 = n_2 + \frac{\Delta L}{L_K - \Delta L} \cong n_2 + \frac{\Delta L}{L_K},$$

де:

n_1 - показник заломлення досліджуваної речовини,

n_2 - показник заломлення еталонної речовини,

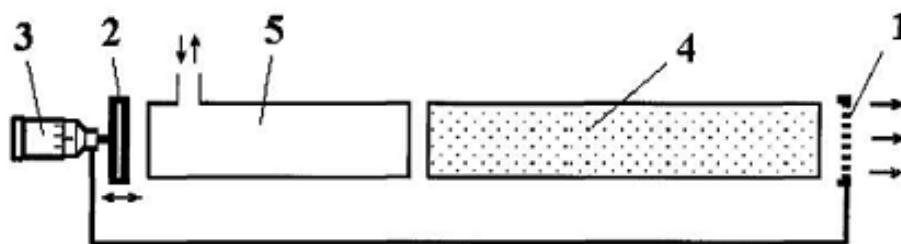
5 $\Delta L = L_1 - L_2,$

де:

L_1 - резонансна довжина резонатора з досліджуваною речовиною,

L_2 - резонансна довжина резонатора з еталонною речовиною,

L_K - довжина вимірювальної кювети уздовж осі резонатора.



Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

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