



УКРАЇНА

(19) UA (11) 20863 (13) U

(51) МПК (2006)

G01R 27/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) КВАЗІОПТИЧНИЙ ДІЕЛЕКТРОМЕТР

1

2

(21) u200609294

(22) 23.08.2006

(24) 15.02.2007

(46) 15.02.2007, Бюл. № 2, 2007 р.

(72) Губін Олексій Іванович, Лавринович Олександр Антонович, Черпак Микола Тимофійович

(73) ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ ІМ. О.Я.УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(57) 1. Квазіоптичний діелектрометр, що містить діелектричний резонатор, виконаний у вигляді диска, з двома торцевими провідними пластинами, надвисокочастотний генератор для збудження хвиль типу "шепочучої галереї" та приймач, який

відрізняється тим, що у резонаторі має місце радіальний отвір радіусом  $r_0 \leq \lambda_p / 2$  (де  $\lambda_p$  - довжина хвилі у рідині) для розміщення в ньому ємності з досліджуваною речовиною.

2. Діелектрометр за п. 1, який відрізняється тим, що резонатор та одна з торцевих провідних пластин мають співвісні отвори, з'єднані з радіальним отвором і розташовані на відстані  $r_1 = R/2$  (де  $R$  - радіус резонатора) від бокової поверхні резонатора, а ємність виконана з можливістю переміщення досліджуваної речовини.

Корисна модель, що пропонується, відноситься до вимірювальної техніки надвисоких частот (НВЧ) в галузі мікрохвильової техніки для визначення комплексної діелектричної проникності та може знайти застосування у таких галузях народного господарства, де діелектрична проникність твердих, порошкоподібних та рідких речовин або розчинів обумовлює їх якість, чи можливість використання у різноманітних пристроях. Знання дійсної  $\epsilon'$  та уявної  $\epsilon''$  частин діелектричної проникності  $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$  досліджуваної речовини є дуже важливим. Воно надає можливість визначити габаритні розміри розроблюваних пристроїв, прогнозувати їх чутливість та частотний діапазон використання. Важливим параметром діелектрометра є об'єм речовини необхідний для вимірювання дійсної та уявної частин діелектричної проникності, а також для визначення динаміки вказаних величин в залежності від частоти, тиску, температури або зміни властивостей досліджуваної речовини, наприклад, при дослідженні потоку рідини чи сипучої речовини. Мінімальна кількість необхідної для дослідження речовини може бути вагомим фактором в біологічних та медичних дослідженнях.

Останнім часом великий розвиток отримали надвисокочастотні (НВЧ) методи для точного вивчення діелектричних властивостей рідких матеріалів, включаючи різні біооб'єкти, що містять воду

[Ахадов Я.Ю. Диэлектрические свойства чистых жидкостей. -М: Изд-во Моск. Авиационного института, 1999. - 412с.]. Саме інформативність діапазону надвисоких частот (НВЧ) дає можливість реєструвати слабкі ефекти у водних розчинах, що пояснюється істотною відмінністю характеристик взаємодії "вільних і "зв'язаних" молекул" води з електромагнітним випромінюванням. У разі малих концентрацій водні розчини є діелектриками з великими втратами ( $\tan \delta \approx 1$ ), для яких стандартні методи вимірювання, як правило, неприйнятні [Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. -М: Физматгиз, 1963. - 404с; Шестопапов В.П., Яцук К.П. Методы измерения диэлектрических проницаемостей вещества на сверхвысоких частотах //Успехи физ. наук. - 1961. - 74. - С.721-755.].

З укороченням довжини хвилі для дослідження різних речовин з діелектричною проникністю та тангенсом кута діелектричних втрат у діапазоні частот 20-300ГГц більш широке застосування знайшли відкриті системи резонаторів, що володіють достатньою чутливістю, зручністю в експлуатації. Добротність їх може досягати достатньо високих значень, що дозволяє з великою точністю виміряти малі значення втрат. З цієї точки зору все більш зручними стають методи вимірювання, засновані на квазіоптичному розповсюдженні хвиль. Серед даного типу систем резонаторів особливо

(13) U

(11) 20863

(19) UA

виділяються квазіоптичні діелектричні резонатори (КДР) з хвилями „шепочучої галереї“, що дозволяють працювати у достатньо широкому діапазоні довжин хвиль [Діелектрические резонаторы. /М.Е. Ильченко, В.Ф. Взятых, Л.Г. Гасанов и др. /Под ред. М.Е. Ильченко. -М: Радио и связь, 1989. - 328с.].

Відомо, що для дослідження матеріалів з діелектричною проникністю  $\epsilon' = 1-100$  та тангенсом кута діелектричних втрат  $\tan \delta = (\epsilon''/\epsilon') \leq 10^{-1}$  у діапазоні частот 20-300 ГГц доцільно використовувати в діелектрометрах вимірювальний діелектричний резонатор з азимутальними коливаннями [Діелектрические резонаторы /М.Е. Ильченко, В.Ф. Взятых, Л.Г. Гасанов и др.; Под ред. М.Е. Ильченко. -М: Радио и связь, 1989. - 328с.] Вибір матеріалу для виготовлення вимірювального діелектричного резонатора залежить від величин  $\epsilon'$  та  $\epsilon''$  матеріалу, що досліджується. Якщо досліджуються речовини з малими втратами  $\tan \delta \leq 10^{-3}$  та діелектричними проникностями  $\epsilon' \geq 10$ , то й матеріал для виготовлення вимірювального резонатора доцільно вибрати з подібними характеристиками: наприклад, діелектричний дисковий резонатор з лейкосапфіру забезпечує похибку при вимірюванні  $\epsilon' \approx 0,05\%$ , а  $\tan \delta = 1\%$ . Високі точності в таких резонаторах обумовлені їх високою власною добротністю  $Q_0$  в міліметровому діапазоні хвиль ( $Q_0 \sim 10^5$  при кімнатній температурі та  $Q_0 \sim 10^6-10^9$  при температурі рідкого гелію). Недоліками цього матеріалу є анізотропія діелектричної проникності лейкосапфіру ( $\epsilon_{||} = 11,6$ ;  $\epsilon_{\perp} = 9,6$ );, що необхідно брати до уваги в прецизійних вимірюваннях, а також труднощі при обробці цього матеріалу, його твердість дорівнює 9, а питома вага - 4, тому обробку проводять алмазними інструментами.

Відомим є діелектричний резонатор, який дозволяє вимірювати діелектричну проникність рідин, газів та сипучих матеріалів з малими втратами [Ас. СССР №1107072 МКИ<sup>3</sup> G01R 27/26; G01K 7/10, 1984], який виготовлено у вигляді циліндра із високодобротного діелектрика з осовим отвором, кільцевими канавками по боковій поверхні, з'єднаними з осовим отвором радіальними проходами. Недоліками цього пристрою є відносна складність резонатора, велика кількість рідини або газу для повного занурення резонатора в досліджувану речовину, розміри резонатора повинні задовольняти певним умовам, що пов'язують радіус резонатора з довжиною хвилі та діелектричними проникностями матеріалу резонатора та досліджуваної речовини. Діелектрична проникність речовини має бути меншою від проникності матеріалу резонатора.

Відомий пристрій для вимірювання параметрів діелектричних матеріалів [Ас. СССР №991828 МКИ<sup>4</sup> G01R 27/26, 1985]. Він має вимірювальний резонатор у вигляді діелектричного диску з вирізом, поєднаного з надвисокочастотним генератором, та індикатор. Виріз може бути виконаний у вигляді радіальної щілини або отвору, вісь якого паралельна осі діелектричного диску, окрім цього пристрій має механізм, що змінює ширину радіальної щілини. У вимірювальному діелектричному резонаторі збуджується хвиля типу „шепочучої

галереї“, котра двократно вироджена по азимутальному індексу. При розміщенні досліджуваного діелектричного матеріалу в щілині знімається виродження власних коливань, яке властиве резонаторам біжучої хвилі. Кожна з резонансних частот вимірювального резонатора розщеплюється на дві стоячі хвилі, одна з них має пучність поперечного (електричного) поля, а друга - вузол того ж поля в місці знаходження нерегулярності. Недоліком цього пристрою є необхідність виготовлення вимірювальних зразків за розмірами щілини або отвору у резонаторі, досить великі розміри зразків, інакше необхідно враховувати повітряні зазори у щілині чи отворі, що знижує точність вимірювання діелектричної проникності. Не можна на цьому пристрої вимірювати дійсну та уявну частини діелектричної проникності рідин, сипучих та газоподібних речовин.

Найбільш близьким за технічною суттю є квазіоптичний діелектрометр [Патент України №59568 А МКИ<sup>7</sup>, G01R27/26, 2003], який містить вимірювальний діелектричний резонатор, поєднаний з надвисокочастотним генератором для збудження хвиль типу „шепочучої галереї“ та приймачем. У резонаторі, затиснутому двома металевими пластинками з отворами, створена канавка з концентричними боковими поверхнями так, щоб досліджувана речовина, що заповнює цю канавку, взаємодіяла з полем хвилі „шепочучої галереї“, які збуджуються діелектричними хвилеводами. Канавка заповнена вимірювальною речовиною фіксується знизу дном канавки, а зверху - одною з металевих пластин. Спектр резонансних частот кільцевого діелектричного резонатора вимірюється за схемою „на проходження“ при слабкому зв'язку. Експериментальне вимірюються частоти та добротності коливань, що спостерігаються, визначається їх тип, а потім виміряні частоти та добротності порівнюються з теоретичними.

Недоліком цього пристрою є неможливість його використання для дослідження рідин малих об'ємів, до яких можуть відноситись біологічні об'єкти та різні бінарні з'єднання та які мають великі значення діелектричних втрат. При роботі з даним типом резонатора досліджуваній речовині надається форма диска (кільця). В цьому випадку, при роботі з рідкими діелектриками важко забезпечити однорідність досліджуваної речовини, що вимірюється, по товщині, яка порушується унаслідок поверхневого натягнення або утворення пухирців на поверхні в області поля. Ці труднощі особливо виразні у разі рідин, які мають високі діелектричні втрати (наприклад, вода, ацетон та інші). Наявність навіть дуже маленького пухирця повітря в канавці з рідиною може привести до великих погрешностей, що унеможлиблює її дослідження у динамічному режимі.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення квазіоптичного діелектрометра шляхом взаємодії хвилі „шепочучої галереї“ максимальної амплітуди поля з досліджуваною речовиною, що забезпечить підвищення точності вимірювання та розширення діапазону значень діелектричних втрат.

Поставлена задача вирішується тим, що у квазіоптичному діелектрометрі, що містить вимірюва-

льний діелектричний резонатор, виконаний у вигляді диска, з двома торцевими провідними пластинами, надвисокочастотний генератор для збудження хвиль типу "шепочучої галереї" та приймач, згідно корисної моделі, у резонаторі має місце радіальний отвір радіусом  $r_0 \leq \lambda_p/2$  (де  $\lambda_p$  - довжина хвилі у рідині) для розміщення в ньому ємності з досліджуваною речовиною. Резонатор та одна з торцевих провідних пластин можуть мати співвісні отвори, з'єднані з радіальним отвором і розташованими на відстані  $r_1=R/2$  (де  $R$  - радіус резонатора) від бокової поверхні резонатора, а ємність може бути виконана з можливістю переміщення досліджуваної речовини.

Суть корисної моделі пояснюється ілюстраціями: на Фіг.1 зображено діелектрометр за п. 1; на Фіг.2 зображено діелектрометр за п. 2; на Фіг.3 показано порівняння частотного зсуву для досліджуваних рідин (етиловий спирт, ацетон, вода), розташованих у ємності, відносно ємності з повітряним заповненням.

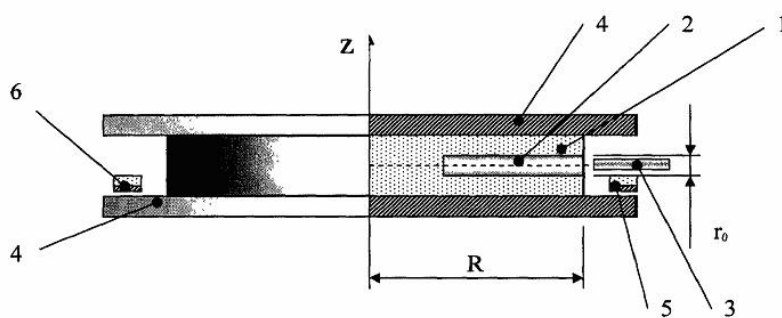
Запропонований квазіоптичний діелектрометр має діелектричний резонатор 1, з радіальним отвором 2 радіусом  $r_0 \leq \lambda_p/2$  (де  $\lambda_p$  - довжина хвилі у рідині) для розміщення в ньому ємності 3 з досліджуваною речовиною, який затиснуто між двома металевими пластинами 4. Для збудження хвиль "шепочучої галереї" у діелектричному резонаторі використовуються дзеркальні хвилеводи 5 та 6, які з одного боку з'єднані з генератором (хвилевод 5), а з другого - з приймачем (хвилевод 6). Висоту  $h$  резонатора 1 вибрано такою, щоб збуджувалися лише коливання з аксіальним числом 1, це виконується за умови  $L \leq \lambda_n$ , де  $\lambda_n$  - довжина хвилі, на якій працює діелектрометр, а радіус вимірювального резонатора  $R = \lambda_n/2\pi$ , де  $\pi$  - число довжин

хвиль по периметру резонатора. Ємність 3 може бути виконана з можливістю дослідження речовини, як фіксованого об'єму за п. 1 формули, так і для проточної речовини через отвори у резонаторі 7 та металевій пластині 8, розташовані на відстані  $r_1=R/2$  (де  $R$  - радіус резонатора) від бокової поверхні резонатора і з'єднані з радіальним отвором 2 у разі використання формули за п. 2.

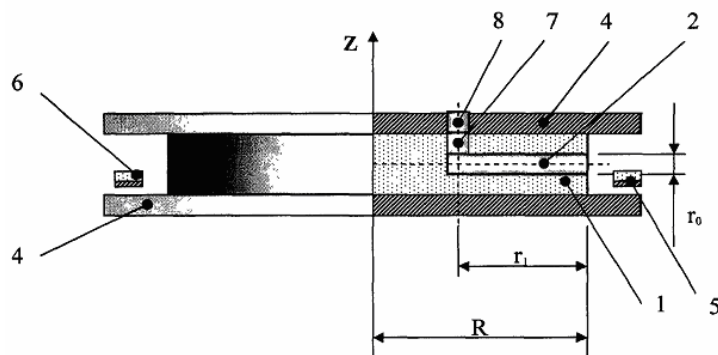
Запропонований пристрій працює таким чином: у діелектричному резонаторі 1 з дзеркальними діелектричними хвилеводами 5 та 6 збуджуються хвилі "шепочучої галереї". Спектр резонансних частот резонатора 1 вимірюється за схемою „на проходження” при слабкому зв'язку. Експериментальне вимірюються частоти та добротності коливань, що спостерігаються, визначається їх тип, а потім виміряні частоти та добротності порівнюються з відповідними величинами для резонатора - зразками, виміряними на цьому ж діелектрометрі, або порівнюються з теоретично розрахованими, що дає можливість, в подальшому, отримувати діелектричні характеристики досліджуваних речовин.

Запропонований квазіоптичний діелектрометр було виготовлено та випробувано у діапазоні 36,5-41,0 ГГц, діаметр резонатора дорівнював 78 мм, його висота -  $L = 7,2$  мм, внутрішній діаметр ємності для дослідження речовини змінювався від 0,3 мм до 2,6 мм. Найменший внутрішній діаметр ємності з фторопласту забезпечував мінімальну кількість досліджуваної речовини, що досить вагомо для біофізичних та медико-біологічних досліджень.

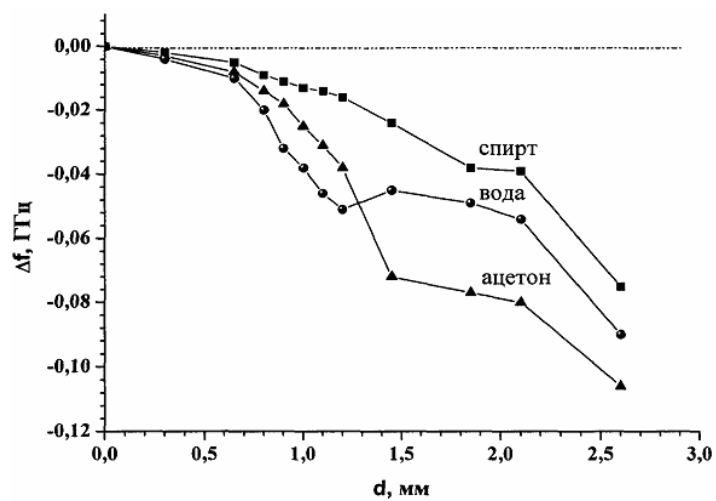
Квазіоптичний діелектрометр було випробувано на рідинах - вода, етиловий спирт, ацетон, в тому числі, в динамічному стані - при проходженні рідини через ємність розташовану у резонаторі.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3