



УКРАЇНА

(19) UA (11) 16396 (13) U
(51) МПК (2006)
G01R 27/26МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) КВАЗІОПТИЧНИЙ ДІЕЛЕКТРОМЕТР

1

2

(21) u200512889

(22) 30.12.2005

(24) 15.08.2006

(46) 15.08.2006, Бюл. № 8, 2006 р.

(72) Лавринович Олександр Антонович

(73) ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
ІМ. О.Я.УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НА-
УК УКРАЇНИ(57) 1. Квазіоптичний діелектрометр, що містить
вимірювальний діелектричний резонатор, викона-
ний у вигляді диска, з двома торцевими провідни-
ми пластинами, надвисокочастотний генератор
для збудження хвиль типу шепочучої галереї та
приймач, який **відрізняється** тим, що на відстані λ_p , де λ_p - довжина хвилі шепочучої галереї в
резонаторі, від бокової поверхні резонатора має
місце отвір для розміщення в ньому ємності з дос-
ліджуваною речовиною.2. Квазіоптичний діелектрометр за п.1, який **відрі-**
зняється тим, що в одній з провідних пластин,
співвісно з отвором для розміщення досліджуваної
речовини в резонаторі, має місце отвір в якому
розміщено циліндричний резонатор з поршнем
для підстроювання досліджуваного сигналу.3. Квазіоптичний діелектрометр за п.2, який **відрі-**
зняється тим, що 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, науки та медицини, де діелектрична проникність твердих, порошкоподібних та рідких речовин або розчинів обумовлює їх якість, чи можливість використання у різноманітних пристроях.

Знання дійсної ϵ' та уявної ϵ'' 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. Також, не менш 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 при дослідженні різних речовин у тому числі складних біологічних структур, що містять воду [Ахадов Я.Ю. Диелектрические свой-

ства чистых жидкостей. - М.: Изд-во Моск. Авиационного института, 1999. - 412с.], широке розповсюдження отримали надвисокочастотні (НВЧ) методи дослідження [Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. - М.: Физматгиз, 1963. - 404с.]. Серед останніх найпоширенішими об'єктами досліджень є мікроорганізми, біологічні тканини, біополімери та деякі інші. Основною метою таких досліджень є отримання інформації про міжмолекулярні взаємодії і визначення пов'язаних з ними параметрів і характеристик [Девятков Н.Д. Взаимодействие миллиметрового излучения с биологически активными соединениями и полярными жидкостями. // Радиотехника и электроника. - 1978. - 23, №9. - С.1882-1890].

Відомо, що багато біоматеріалів часто є рідинами (кров, лімфа, фізіологічні розчини та ін.), які характеризуються високим значенням діелектричної проникності і мають великі втрати в мікрохвильовому, включаючи міліметровий (мм), діапазон довжин хвиль. У разі малих концентрацій всі розчини, що містять воду є діелектриками з великими втратами ($\text{tg}\delta \approx 1$), 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 диэлектри-

(13) U

(11) 16396

(19) UA

ческих проникаемостей вещества на сверхвысоких частотах // Успехи физ. наук. - 1961. - 74. - С.721-755]. Крім того, їх властивість дуже чутлива до змін температури. Тому необхідна розробка надійних методів вимірювання, які б дозволили визначати властивості досліджуваних об'єктів. До таких методів можна віднести мікрохвильові методи, направлені на вимірювання комплексної діелектричної проникності рідин з великими втратами.

Для вивчення комплексної діелектричної проникності таких матеріалів в мм діапазоні знайшли застосування різні методи, засновані на використанні хвильоводних ліній передачі в широкому діапазоні частот. Проте більшу чутливість мають резонаторні методи, які відрізняються видом резонансної системи та типом збуджуваних в них коливань. Більш висока чутливість їх забезпечується "багатопрохідним характером" взаємодії мікрохвильового поля з досліджуваною речовиною в процесі резонансних вимірювань [Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. - М.: Физматгиз, 1963. - 404с.]. Важливою стає також і можливість проводити вимірювання зразків достатньо малих об'ємів. При вимірюванні ϵ' і $\text{tg}\delta$ речовин з великими втратами застосування таких структур викликає певні труднощі, що наперед пов'язано зі зниженням добротності резонаторів.

На цей час більш широке застосування знайшли відкриті резонаторні системи, що мають достатню чутливість, зручні 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 виділяються квазіоптичні діелектричні резонатори (КДР) з хвилями шепочучої галереї, що дозволяють працювати у достатньо широкому діапазоні довжин хвиль [Диэлектрические 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 діелектричних втрат $\text{tg}\delta = \epsilon''/\epsilon' \lesssim 10^{-1}$ у діапазоні частот 20-300 ГГц доцільно використовувати в діелектрометрах вимірювальний діелектричний резонатор з азимутальними коливаннями [Диэлектрические 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 ϵ' та ϵ'' матеріалу, що досліджується. Якщо досліджуються речовини з малими втратами $\text{tg}\delta \leq 10^{-3}$ та діелектричними проникностями $\epsilon' \geq 10$, то й матеріал для виготовлення вимірювального резонатора доцільно вибирати з подібними характеристиками (наприклад, діелектричний дисковий резонатор з лейкосапфіру забезпечує похибку при вимірюванні $\epsilon' \approx 0,05\%$, а $\text{tg}\delta = 1\%$). Високі точно-

сті у такого резонатора обумовлені його високою власною добротністю Q_0 в міліметровому діапазоні хвиль ($Q_0 \sim 10^5$ при кімнатній температурі та $Q_0 \sim 10^8-10^9$ при температурі рідкого гелію).

Відомий пристрій для вимірювання параметрів діелектричних матеріалів [А.с. СССР №991828 МКИ⁴ G01R27/26, 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.

Відомим є діелектричний резонатор, який дозволяє вимірювати діелектричну проникність рідин, газів та сипучих матеріалів з малими втратами [А.с. СССР №1107072 МКИ³ G01R27/26; G01K7/10, 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.

Найбільш близьким за технічною суттю є квазіоптичний діелектрометр [Патент України №59568А, МКИ¹ 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 металевими отворами, створена канавка з концентричними боковими поверхнями так, щоб досліджувана речовина, що заповнює цю канавку, взаємодіяла з полем хвилі "шепочучої галереї", які збуджуються діелектричними хвилями. 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 досліджування 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 вимірювальний діелектричний резонатор, виконаний у вигляді диска, з двома торцевими провідними пластинами, надвисокочастотний генератор для збудження хвилі типу шепочучої галереї та приймач, згідно корисної моделі, на відстані λ_p (де λ_p - довжина хвилі шепочучої галереї в резонаторі) від бокової поверхні резонатора має місце отвір для розміщення в ньому ємності з досліджуваною речовиною. В одній з провідних пластин, співісно з отвором для розміщення досліджуваної речовини в резонаторі, може бути розміщено отвір і циліндровий резонатор з поршнем для підстроювання досліджуваного сигналу. Ємність виконана з можливістю переміщення досліджуваної речовини через отвір.

Суть корисної моделі пояснюється ілюстраціями: на Фіг.1 зображено схему діелектрометра за п.1; на Фіг.2 зображено схему діелектрометра за п.2 та п.3; на Фіг.3 показано порівняння втрат та частотного зсуву для досліджуваних рідин (етило-

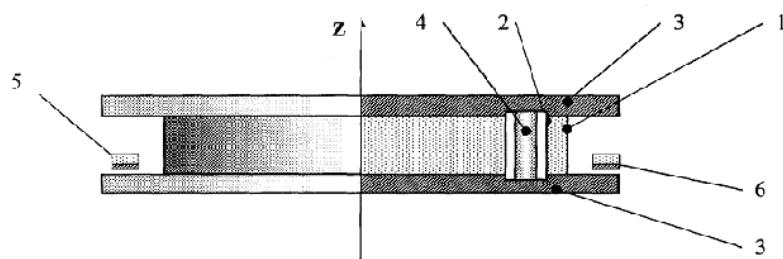
вий спирт, ацетон, вода), розташованих у ємності, відносно ємності з повітряним заповненням.

Запропонований квазіоптичний діелектрометр містить у собі діелектричний вимірювальний резонатор 1 з аксіальним отвором 2, затиснутий між двома металевими пластинами 3. Ємність з досліджуваною речовиною 4 виконана з можливістю дослідження речовини, як фіксованого об'єму, так і для проточної речовини. Дзеркальні хвилеводи 5 та 6 використовуються для збудження хвилі шепочучої галереї у діелектричному резонаторі, які з одного боку з'єднані з генератором (хвилевод 5), а з другого - з приймачем (хвилевод 6). Циліндричний резонатор 7 з поршнем 8 розташовано в провідній пластині співісно з отвором 3 для підстроювання досліджуваного сигналу. Висоту h резонатора 1 вибрано такою, щоб збуджувалися лише коливання з аксіальним числом 1. Ця умова виконується при $L \leq \lambda_n$, де λ_n - довжина хвилі, на якій працює діелектрометр, а радіус вимірювального резонатора $R = \lambda_n / 2\pi$, де n - число довжин хвилі по периметру резонатора.

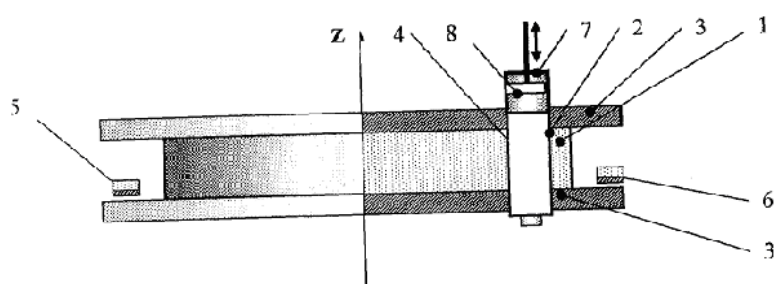
Запропонований пристрій працює таким чином: у діелектричному вимірювальному резонаторі 1 з дзеркальними діелектричними хвилеводами 5 та 6 збуджуються хвилі шепочучої галереї. Спектр резонансних частот резонатора 1 вимірюється за схемою "на проходження" при слабкому зв'язку. Експериментальне вимірюються частоти та добротності коливань, що спостерігаються, визначається їх тип, циліндричним резонатором з поршнем сигнал підстроюється до максимального значення, а потім виміряні частоти та добротності порівнюються з відповідними величинами для резонатора, зразками, виміряними на цьому ж діелектрометрі або порівнюються з теоретично розрахованими.

Запропонований квазіоптичний діелектрометр був виготовлений та випробуваний у діапазоні 37-40 ГГц, діаметр резонатора дорівнював 78 мм, його висота - $L=7,2$ мм, внутрішній діаметр ємності для дослідження речовини змінювався від 0,45 мм до 1,85 мм. Найменший внутрішній діаметр ємності з фторопласту забезпечував мінімальну кількість досліджуваної речовини, що досить вагомо для біофізичних та медико-біологічних досліджень.

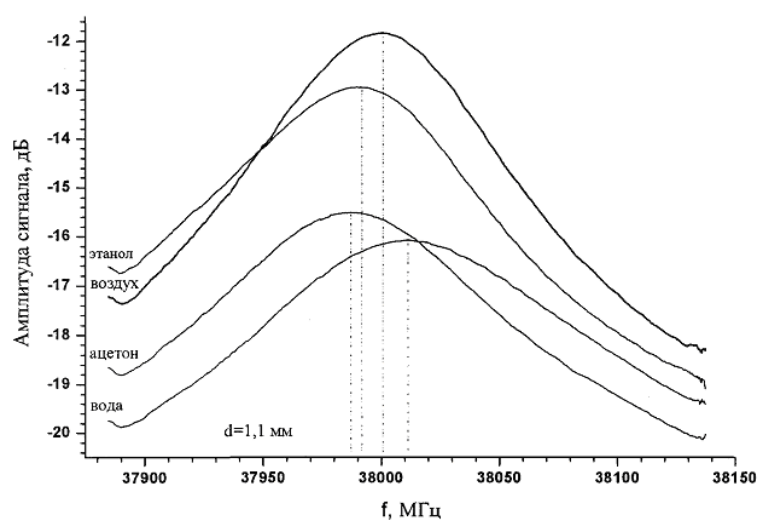
Квазіоптичний діелектрометр було випробувано на рідинах - вода, етиловий спирт, ацетон; а також, вимірювалася концентраційна залежність спирту у воді, в тому числі, в динамічному стані - при проходженні рідини через ємність розташовану у резонаторі.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3