



(19) **UA** (11) **59 568** (13) **A**
(51)МПК⁷ **G 01R 27/26**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
УКРАИНЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ДЕКЛАРАЦИОННОМУ ПАТЕНТУ УКРАИНЫ

(21), (22) Заявка: 2002086550, 06.08.2002

(24) Дата начала действия патента: 15.09.2003

(46) Дата публикации: 15.09.2003

(72) Изобретатель:

Баранник Александр Анатольевич, UA,
Прокопенко Юрий Владимирович, UA,
Смирнова Тамара Александровна, UA,
Филиппов Юрий Федорович, UA,
Черпак Николай Тимофеевич, UA

(73) Патентовладелец:

ИНСТИТУТ РАДИОФИЗИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ
ИМ. А.Я. УСИКОВА НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ, UA

(54) КВАЗИОПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

(57) Реферат:

Предлагаемый квазиоптический измеритель диэлектрической проницаемости содержит измерительный диэлектрический резонатор, генератор и приемник сверхвысокочастотных колебаний. Вход резонатора соединен с выходом генератора, а выход соединен с входом приемника. Резонатор имеет канавку с концентрическими поверхностями шириной $a \leq 0,5R$, расположенной на расстоянии $b \leq \lambda$ от

боковой поверхности резонатора, где R - радиус резонатора, λ - длина волны. Торцевые части резонатора закрыты пластинами из электропроводного материала.

Официальный бюлетень "Промышленная собственность". Книга 1 "Изобретения, полезные модели, топографии интегральных микросхем", 2003, N 9, 15.09.2003. Государственный департамент интеллектуальной собственности Министерства образования и науки Украины.

У
А
5
9
5
6
8

У
А
5
9
5
6
8



(19) **UA** (11) **59 568** (13) **A**
(51) Int. Cl.⁷ **G 01R 27/26**

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF
UKRAINE

STATE DEPARTMENT OF INTELLECTUAL
PROPERTY

(12) **DESCRIPTION OF DECLARATIVE PATENT OF UKRAINE FOR INVENTION**

(21), (22) Application: 2002086550, 06.08.2002

(24) Effective date for property rights: 15.09.2003

(46) Publication date: 15.09.2003

(72) Inventor:

Barannyk Oleksandr Anatoliiovych, UA,
Prokopenko Yurii Volodymyrovych, UA,
Smyrnova Tamara Oleksandrivna, UA,
Filippov Yurii Fedorovych, UA,
Cherpak Mykola Tymofiiiovych, UA

(73) Proprietor:

O.Y. USYKOV INSTITUTE OF RADIOPHYSICS
AND ELECTRONICS OF THE NATIONAL
ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE, UA

(54) **QUASI-OPTICAL DIELECTRIC CONSTANT METER**

(57) Abstract:

The proposed quasi-optical dielectric constant meter contains a measuring dielectric resonator, a microwave oscillator and a microwave receiver. The input of the resonator is connected to the output of the generator, and the output of the resonator is connected to the input of the receiver. The resonator has a groove with concentric surfaces of width $a \leq 0,5R$, which is arranged at a distance $b \leq \lambda$ from the side surface

of the resonator, where R is the radius of the resonator, and λ is the radiation wavelength. The end parts of the resonator are closed with plates made of conducting material.

Official bulletin "Industrial property". Book 1 "Inventions, utility models, topographies of integrated circuits", 2003, N 9, 15.09.2003. State Department of Intellectual Property of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

U
A
5
9
5
6
8
A

A
5
9
5
6
8
A



(19) **UA** (11) **59 568** (13) **A**
(51)МПК ⁷ **G 01R 27/26**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

(12) ОПИС ВИНАХОДУ ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ УКРАЇНИ

(21), (22) Дані стосовно заявки:
2002086550, 06.08.2002

(24) Дата набуття чинності: 15.09.2003

(46) Публікація відомостей про видачу патенту
(декларційного патенту): 15.09.2003

(72) Винахідник(и):

Баранник Олександр Анатольович, UA,
Прокопенко Юрій Володимирович, UA,
Смирнова Тамара Олександрівна, UA,
Філіпов Юрій Федорович, UA,
Черпак Микола Тимофійович, UA

(73) Власник(и):

ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНИКИ ІМ.
О.Я. УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ, UA

(54) КВАЗІОПТИЧНИЙ ДІЕЛЕКТРОМЕТР

(57) Реферат:

Квазіоптичний діелектрометр містить вимірювальний діелектричний резонатор, з'єднаний з надвисокочастотним генератором для збудження хвиль типу "шепочучої галереї" та приймачем. У резонаторі утворена канавка з

концентричними боковими поверхнями шириною $A \leq 0,5R$ на відстані $b \ll \lambda$ від бокової поверхні резонатора (де R - радіус резонатора, λ - довжина хвилі "шепочучої галереї"), а торці резонатора закриті провідними пластинами.

U A 5 9 5 6 8 A

U A 5 9 5 6 8 A

Опис винаходу

Винахід, що пропонується, належить до галузі мікрохвильової техніки для визначення комплексної діелектричної проникності у мікрохвильовому діапазоні та може застосовуватися у будь-якій області народного господарства, де діелектрична проникність обумовлює параметри твердих, порошкоподібних та рідких речовин.

Вимірювання діелектричної проникності являється і технічною задачею для визначення дійсної та уявної частин діелектричної проникності E' та E'' , відповідно, заново створених речовин, і науково-дослідною задачею визначення залежностей компонент тензора діелектричної проникності речовини від частоти, температури, тиску та т. ін. Окремо слід наголосити на доцільності вимірювань діелектричної проникності у мікрохвильовому діапазоні води та водних розчинів, у тому числі біорозчинів. Методом мікрохвильової діелектрометрії досліджуються електричні характеристики фракцій крові, жовчі та т. ін. [Кузнецов А. Н., Турковский И. И., Волкова И. А. КВЧ-диелектрометрия биологических жидкостей в условиях нарушенного водного обмена. // Биофизика. 2001. т. 46, №6, с. 1122 - 1125].

Для дослідження діелектричних властивостей речовини у мікрохвильовому діапазоні найчастіше використовуються резонансні методи. Спостерігають та порівнюють резонансні частоти та добротності резонатора без зразка та з ним. Різниця описаних методів полягає лише в типах використовуваних резонаторів, формах зразків, способах їх розміщення в резонаторах, методиці досліджень [А. А. Брандт. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. М: Физматиз., 1963, с. 88 - 144]. Задача визначення дійсної частини діелектричної проникності E' та кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta(\text{tg}\delta = E''/2E')$ зводиться до розв'язання рівнянь електромагнітного поля для тої чи іншої конфігурації резонатора. Цей розв'язок має враховувати вплив дослідного зразка діелектрика, який вмонтовано у резонаторі. Строго задача розв'язана лише для найпростіших форм резонаторів - прямокутного, циліндричного та коаксіального, При великих значеннях діелектричної проникності та кута діелектричних втрат доводиться використовувати досліджувані зразки, які заповнюють лише невелику частину об'єму резонатора, та наближені методи розрахунку.

Квазіоптичні діелектричні резонатори(КДР) [А. А. Баранник, Ю. В. Прокопенко, Т. А. Смирнова, Ю. Ф. Филиппов, Н. Т. Черпак. Кольцевой квазиоптический резонатор с проводящими торцевыми стенками. Сб. Радиофизика и электроники. 2001. №2. ИРЭ. Харьков, с. 201 - 205] дозволяють вимірювати комплексну діелектричну проникність діелектрика, з якого виготовлено КДР, при цьому можливо послідовно визначати структуру поля в резонаторі та, відповідно, знаходити комплексні власні частоти із перших принципів, а саме - із рівнянь Максвелла. Вивчення спектра резонансних частот КДР з внутрішнім отвором, що заповнений повітрям або іншим діелектриком, показує, що хвилі типу "шепочучої галереї" поширюються в ньому поки межа між прошарками співпадає з внутрішньою каустикою резонатора.

Відомий пристрій для вимірювання параметрів діелектричних матеріалів [А. с. СССР №991828, М. Кл². G 01 R 27/26, 1976] має вимірювальний резонатор у вигляді диска з вирізом або отвором, вісь якого паралельна осі діелектричного диска, поєднаного з високочастотним генератором та індикатором. Досліджувана речовина розміщується у вирізі та змінює характеристики резонатора. Інтервал частот між резонансами та різниця їх смуг пропускання реєструється індикатором і дозволяє знайти діелектричні параметри досліджуваного матеріалу.

Перевага такого пристрою у тому, що у діелектричному резонаторі виріз за відсутністю струмів провідності значно менше впливає на властивості вимірювального резонатора, ніж виріз або роз'єм - у порожнистих металевих резонаторах.

Недоліком цього пристрою є: виродження власних коливань за рахунок нерегулярності, яку утворює щілина або отвір та, відповідно, загушення спектра. При введенні діелектрика, що досліджується, в щілину(або отвір) досить важко слідкувати за зміщенням частот. Для отримання високої точності E' матеріалу, що досліджується, мусить не дуже відрізнятись від E' матеріалу диска, а E'' , взагалі має бути малим, інакше ширина резонансних кривих сильно збільшується, а амплітуда їх - зменшується. Альтернативою може бути зменшення досліджуваного зразка, та відповідне звуження щілини, що ставить додаткові умови стосовно E' дослідного матеріалу, інакше знижується точність вимірювань.

Відомим є діелектричний резонатор, який дозволяє вимірювати діелектричну проникність рідин, газів та порошкоподібних матеріалів [А. с. СССР №1107072, М. Кл³. G 01 R 27/26; G 01 R 7/10, 1984], який виготовлено у вигляді циліндра із високодобротного діелектрика з осьовим отвором, кільцевими канавками по боковій поверхні, з'єднаними з осьовим отвором радіальними проходами. Розміри циліндра повинні задовольняти певним умовам, що пов'язують радіус резонатора з довжиною хвилі та діелектричними проникностями матеріалу резонатора та досліджуваної речовини. Недоліком цього пристрою є відносна складність резонатора, велика кількість рідини або газу, щоб резонатор можна було занурити у досліджувану речовину, та ще бажана прокачка рідини або газу, щоб уникнути повітряних бульбашок. Окрім цього, цей пристрій також має обмеження по E' та E'' досліджуваних речовин.

Найбільш близьким по технічній суті аналогом(прототипом) є пристрій для вимірювання комплексної діелектричної проникності матеріалів у мікрохвильовому діапазоні [А. с. СССР №1626136, М. Кл⁵. G 01 R 27/26, 1991]. Цей пристрій має вимірювальний діелектричний резонатор, поєднаний з надвисокочастотним генератором та індикатором, при цьому вимірювальний діелектричний резонатор виконано у вигляді диска, у якому вздовж радіуса від бокової поверхні прорізани дві щілини під кутом $\Theta = \pi/2$. У вимірювальному діелектричному резонаторі збуджується хвиля типу "шепочучої галереї", котра двократно вироджена по азимуту. Неоднорідність в резонаторі у вигляді одної щілини знімає виродження по азимуту та розщеплює кожен резонансний пік на два. Друга щілина, яка прорізана під кутом $\Theta = \pi/2$ відносно першої компенсує розщеплення.

Введення у другу щілину досліджуваного матеріалу приводить до розщеплення резонансів з непарним азимутальним індексом n . Величина розщеплення монотонно зростає зі збільшенням E' . Радіус, висота резонатора, довжина та ширина щілини вибираються із визначених співвідношень, пов'язаних з діелектричною проникністю резонатора.

Адитивною якістю цього пристрою є нечутливість до розмірів поверхні зразків у вигляді пластин та плівок, що дає змогу обміряти зразки локально по їх поверхні при наявності в них структурних змін.

Недоліком цього пристрою є необхідність градування з використанням пластин з відомими діелектричними проникностями. Крім того, на результати вимірювань впливає температура навколишнього середовища, тому що діелектричні проникності досліджуваного зразка та еталона можуть мати різні температурні залежності.

В основу запропонованого пристрою поставлена задача: в квазіоптичному діелектрометрі шляхом розміщення досліджуваної речовини концентричним прошарком у вимірювальному резонаторі та порівняння експериментально виміряних та теоретично розрахованих резонансних характеристик діелектричного дискового резонатора з провідними торцевими стінками забезпечити підвищення точності вимірювань та розширення діапазону значень E' , що вимірюється, а також можливість досліджень динаміки змін діелектричної проникності для речовин, що протікають через канавку у резонаторі.

Поставлена задача розв'язується таким чином: у квазіоптичному діелектрометрі, що містить вимірювальний діелектричний резонатор, поєднаний з надвисокочастотним генератором для збудження хвиль типу "шепочучої галереї" та приймачем, створюється в резонаторі канавка з концентричними боковими поверхнями так, щоб досліджувана речовина, що заповнює цю канавку, взаємодіяла з полем хвилі "шепочучої галереї". Канавку слід розміщувати так, щоб її зовнішня сторона заходила в область каустики хвилі "шепочучої галереї". Підвищення точності вимірювання забезпечується строгим розв'язком електродинамічної задачі.

Суть винаходу пояснюють ілюстрації: на фіг.1 зображено схему діелектрометра, на фіг.2 та фіг.3 показано порівняння теоретичних залежностей різниці резонансних частот Δf_{ns0} коливань резонатора з досліджуваною речовиною та без неї від розмірів канавки для різних значень E' та $\operatorname{tg} \delta$ досліджуваних речовин, та експериментально виміряних тих же залежностей для одної з речовин, що нами досліджувались (для даного прикладу $n = 36$; $s = 1$).

Запропонований квазіоптичний діелектрометр містить у собі діелектричний резонатор 1 з утвореною канавкою 2, затиснутий між двома металевими пластинами 3, які мають технологічні отвори 4. Канавка заповнюється вимірювальною речовиною, яка фіксується знизу дном канавки, а зверху - одною з металевих пластин, між якими затиснуто резонатор. Отвори в металевих пластинах закриті заглушками 5 із того ж металу, що і пластини, якщо вимірюються діелектричні параметри речовини, що знаходиться в канавці за п.1, або підключаються до трубопроводу, де переміщується вимірювана рідина, газ або сипуча речовина в разі використання винаходу за п.2. Дзеркальні діелектричні хвилеводи 6, закриті з одного боку узгодженими навантаженнями 7, а з другого - під'єднані до генератора та приймача, відповідно, призначені для збудження резонатора. Висота диска L вибирається такою, щоб аксіальний номер коливань, що спостерігаються, був не більший $1(L \leq \lambda)$, а радіус диска $R = \lambda/2\pi n$, де n - число довжин хвиль по периметру резонатора. Зовнішній діаметр канавки знаходиться на відстані $\leq \lambda$ від периметра резонатора, а внутрішній може досягати $0,5R$ резонатора так, щоб зручно було закріплювати металеві пластини, які екранують торці вимірювального резонатора. Для виготовлення резонатора слід вибирати матеріал з малими діелектричними втратами ($\operatorname{tg} \delta \leq 10^{-3}$), величина його діелектричної проникності (E') може бути довільною, механічні характеристики краще такі, що дають змогу обробляти виріб станком.

Запропонований пристрій працює таким чином: в діелектричному резонаторі 1 дзеркальними діелектричними хвилеводами 2 збуджуються хвилі "шепочучої галереї". Спектр резонансних частот кільцевого діелектричного резонатора (КДР) вимірювався по схемі "на проходження" при слабкому зв'язку. Експериментально вимірюються частоти та добротності коливань, що спостерігаються, визначається їх тип, а потім виміряні частоти та добротності порівнюються з теоретично розрахованими спектральними характеристиками радіально-двошарового резонатора. З цією метою розроблено спеціальну програму, котра дозволяє проводити розрахунки та порівняння з експериментальними результатами на комп'ютері.

Запропонований квазіоптичний діелектрометр був виготовлений та випробуваний у діапазоні 30 - 60 ГГц, діаметр резонатора дорівнював 78 мм, його висота - 7 мм, внутрішній діаметр канавки дорівнював 50 мм, а зовнішній під час досліджень змінювався від 52 до 72 мм. Крок зміни ширини канавки зменшувався при наближенні її зовнішньої поверхні до лінії каустики. Глибина канавки змінювалась від 1 до 6 мм. Канавка може залишатися пустою, тоді в розрахунках E' внутрішнього шару резонатора дорівнює 1, що дає змогу визначити або уточнити E' матеріалу резонатора. Потім канавка заповнюється речовиною, що досліджується.

Квазіоптичний діелектрометр був випробуваний на твердих речовинах з E' , виміряних іншими методами або добре відомими з літератури - лейкосапфірі, спеціальній пластмасі; рідинах - спирті, гліцерині, веретенному маслі, бензині. Квазіоптичний діелектрометр за зміною вимірюваної діелектричної проникності фіксує різні сорти бензину.

Формула винаходу

1. Квазіоптичний діелектрометр, що містить вимірювальний діелектричний резонатор, з'єднаний з надвисокочастотним генератором для збудження хвиль типу "шепочучої галереї" та приймачем, який відрізняється тим, що у резонаторі утворена канавка з концентричними боковими поверхнями

шириною $A \leq 0,5R$ на відстані $b \leq \lambda$ від бокової поверхні резонатора (де R - радіус резонатора, λ - довжина хвилі "шепучої галереї"), а торці резонатора закриті провідними пластинами.

5 2. Квазіоптичний діелектрометр за п. 1, який відрізняється тим, що в провідних пластинах, які закривають торці резонатора, виконано отвори.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

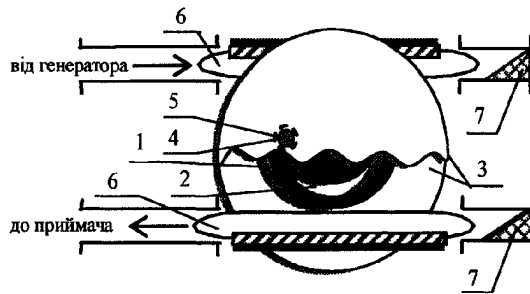
55

60

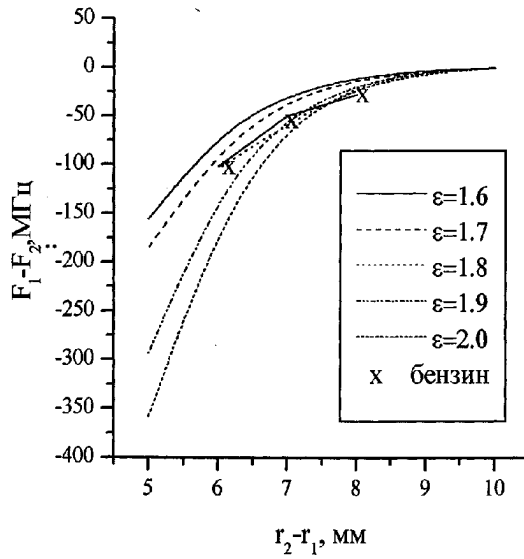
65

U
A
5
9
5
6
8
A

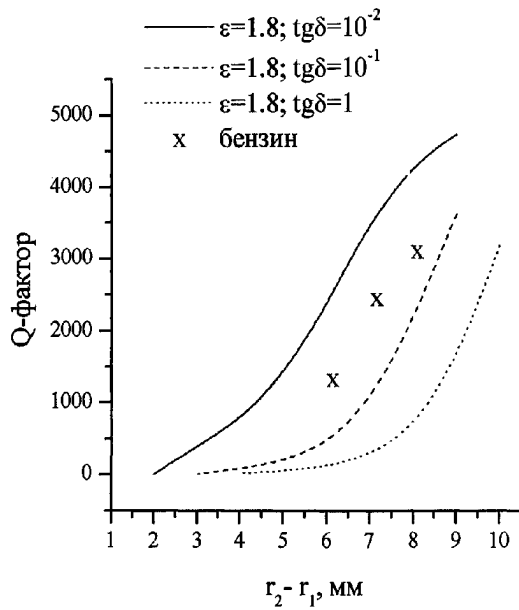
A
5
9
5
6
8
A



Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3.

Офіційний бюлетень "Промислова власність". Книга 1 "Винаходи, корисні моделі, топографії інтегральних мікросхем", 2003, N 9, 15.09.2003. Державний департамент інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України.