



УКРАЇНА

(19) UA (11) 65114 (13) U
(51) МПК
H01J 37/27 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СКАНУЮЧИЙ МІКРОХВИЛЬОВИЙ МІКРОСКОП

1

(21) u201106007

(22) 13.05.2011

(24) 25.11.2011

(46) 25.11.2011, Бюл.№ 22, 2011 р.

(72) ГОРДІЄНКО ЮРІЙ ОМЕЛЯНОВИЧ, ЛАРКІН
СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ, НОВІКОВ ЄВГЕН ІВАНОВИЧ
(73) ЛЬВІВСЬКА ФІЛІЯ ЗАКРИТОГО АКЦІОНЕР-
НОГО ТОВАРИСТВА "НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ
КОНЦЕРН "НАУКА", ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ЦЕНТР
"ФОНОН"

(57) 1. Скануючий мікрохвильовий мікроскоп, що
містить НВЧ генератор, резонатор, детектор, блок
обробки інформації, який **відрізняється** тим, що
до резонатора, який виготовлений у формі цилінд-

2

ра, приєднаний коаксіальний вивід, в якому
центральный провідник встановлений паралельно
осі резонатора.

2. Скануючий мікрохвильовий мікроскоп за п. 1,
який **відрізняється** тим, що резонатор і коаксі-
альний вивід виготовлені із твердого діелектрика у
формі двох співвісних циліндрів з металевими по-
криттями на бокових поверхнях і на основах біль-
шого діаметра, а на осі циліндра меншого діамет-
ра розміщений провідник круглого перерізу.

3. Скануючий мікрохвильовий мікроскоп за п. 1,
який **відрізняється** тим, що в кінцевій частині коа-
ксіального виводу центральний і зовнішній провід-
ники виготовлені відповідно у формі конуса й зрі-
заного порожнистого конуса.

Корисна модель належить до галузі вимірюва-
льної техніки, а більш конкретно до засобів НВЧ
діагностики матеріалів і малорозмірних структур.
Корисна модель може використовуватися для ви-
мірювання електрофізичних характеристик напів-
провідників, металів, діелектриків, для діагностики
приладових структур, наприклад, надвеликих інте-
гральних схем, тощо.

Відомий скануючий мікрохвильовий мікроскоп
(Пат. США 7130755), що містить джерело НВЧ ко-
ливань, діелектричний резонатор, зонд всередині
резонатора, вимірювач потужності НВЧ випроміню-
вання, аналізатор спектра та інші вузли обробки
інформативного НВЧ сигналу.

Недоліком даного пристрою є порівняно низь-
ка чутливість до змін параметрів зразка, що пов'я-
зано з відносно невисокою добротністю системи
«резонатор-зонд» через наявність всередині резо-
натора додаткових елементів.

Відомий мікрохвильовий резонатор відкритого
типу з провідною лінією та загостреним зондом і
мікрохвильовий мікроскоп на його основі (US
Patent Application Publication No. 12/583264), який
містить вказаний резонатор, генератор НВЧ сиг-
налу, детектор та інші вузли обробки інформативно-
го сигналу, систему точного переміщення зонда і
контролю відстані між ним і зразком.

Проте вказаний мікрохвильовий мікроскоп має
недостатню чутливість через відносно невисоку
добротність резонатора.

Відомий пристрій вимірювання параметрів ді-
електричних структур з використанням близькопо-
льового мікрохвильового зонда з кінцевою части-
ною у формі зрізаного конуса (Пат. США 7362108).

Недоліком даного пристрою є невисока чутли-
вість до змін параметрів зразка через відносно
невисоку добротність мікрохвильового зонда.

Відомий мікрохвильовий мікроскоп (Пат. США
7511512), що містить генератор НВЧ сигналу, дете-
ктор, зонд у формі порожнього циліндра зі зріза-
ним конусом на кінці.

Цей мікроскоп має відносно невисоку просто-
рову роздільну здатність, оскільки вказаний мікро-
хвильовий зонд неможливо наблизити до дослі-
джуваного зразка на малі відстані, що вдається
при використанні зонда з вістрям на кінці.

Найбільш близьким до корисної моделі, що
пропонується, є скануючий мікрохвильовий мікрос-
коп (патент США 7550963), який містить НВЧ гене-
ратор, резонатор, детектор НВЧ випромінювання,
блок обробки інформації.

Недоліком вказаного скануючого мікрохвильо-
вого мікроскопа є порівняно низька чутливість че-
рез відносно невисоку добротність резонатора, що
не дозволяє контролювати малі змінення елект-

(19) UA (11) 65114 (13) U

рофізичних параметрів матеріалів і структур, що досліджуються.

Задачею корисної моделі є підвищення чутливості мікрохвильового мікроскопа.

Технічний результат досягається тим, що в скануючому мікрохвильовому мікроскопі, що містить НВЧ генератор, резонатор, детектор, блок обробки інформації, згідно корисної моделі, до резонатора, який виготовлено у формі циліндра, приєднано коаксіальний вивід, в якому центральний провідник орієнтовано паралельно осі резонатора.

При цьому резонатор і коаксіальний вивід виготовлено із твердого діелектрика у формі двох співвісних циліндрів з металевими покриттями на бокових поверхнях і на основах більшого діаметра, а на осі циліндра меншого діаметра розміщено провідник круглого перерізу.

В кінцевій частині коаксіального виводу центральний і зовнішній провідники виготовлені відповідно у формі конуса й зрізаного порожнистого конуса.

У даному випадку використовується об'ємний резонатор, що узгоджується з коаксіальним мікрозондом. Вибір мікрозонда у вигляді коаксіального виводу дозволяє формувати підвищену локалізацію електричної компоненти НВЧ поля вздовж нормалі до зразка, що сприяє підвищенню просторового розділення. Використання коаксіального виводу дозволяє досягнути більшого просторового розділення, ніж за допомогою об'ємного резонаторного зонда з апертурою. Просторова роздільна здатність визначається переважно розмірами кінцевої частини центрального провідника коаксіального виводу.

Для отримання високої чутливості резонаторний зонд СММ повинен мати високу власну добротність. Це неможливо досягнути за допомогою тільки коаксіального зонда. Циліндричні об'ємні резонатори мають більш високі значення власної добротності. Пристрій, що пропонується, містить високодобротний циліндричний резонатор, що взаємодіє зі зразком через мікророзмірний коаксіальний вивід. Підвищення чутливості до малих змін параметрів досліджуваних зразків досягнуто завдяки використанню циліндричного об'ємного резонатора з високою добротністю.

Сутність корисної моделі пояснюється кресленнями, де:

на Фіг. 1 подана схема запропонованого мікрохвильового мікроскопа;

на Фіг. 2 поданий заповнений діелектриком монолітний вузол резонатора і коаксіального виводу;

на Фіг. 3 поданий резонатор, об'єднаний з коаксіальним виводом, що закінчується конусом.

Мікрохвильовий мікроскоп (Фіг. 1) містить НВЧ генератор 1 з'єднаний з резонатором 2, пов'язаним з детектором 3, який з'єднано з блоком обробки інформації 4. Блок обробки інформації 4 з'єднаний також з генератором 1. До резонатора 2 приєднаний коаксіальний вивід 5, поблизу якого розміщений досліджуваний зразок 6. Центральний провідник коаксіального виводу орієнтований паралельно осі резонатора.

Пристрій працює таким чином.

За допомогою генератора 1 в резонаторі 2 збуджуються НВЧ коливання. Через коаксіальний вивід 5 НВЧ випромінювання поширюється до встановленого поблизу нього досліджуваного зразка 6 і частково відбивається в зворотному напрямку до коаксіального виводу 5. Об'ємний резонатор, коаксіальний вивід і зразок створюють складну коливальну систему. При скануванні торцем коаксіального виводу різних ділянок зразка з відмінними параметрами змінюється добротність і резонансна частота всієї системи. НВЧ коливання реєструються пов'язаним з резонатором детектором 3 і блоком обробки інформації 4.

Аналіз змін добротності та частоти дає інформацію щодо змінення параметрів досліджуваного зразка, таких як відносна діелектрична проникність, питома електропровідність, тангенс кута діелектричних втрат, тощо. Блок обробки інформації 4 за допомогою системи зворотного зв'язку через детектор 3 керує частотою генератора 1 та здійснює її модуляцію, що дозволяє підтримувати резонансну частоту при її змінюванні та визначати зміни добротності системи.

Потрібна висока власна добротність резонаторного датчика для реєстрації малих відхилень електрофізичних параметрів об'єкта. В запропонованому технічному рішенні це досягнуто за допомогою високодобротного циліндричного резонатора, що взаємодіє зі зразком через мікророзмірний коаксіальний вивід. Підвищення чутливості до малих змін параметрів досліджуваних зразків досягнуто завдяки використанню циліндричного об'ємного резонатора з високою добротністю, а висока просторова роздільна здатність забезпечена використанням коаксіального мікрозонда.

Відповідно до одного з можливих способів настроювання пристрою коаксіальний вивід може бути резонансно налагоджено на робочу частоту і створювати таким чином сумісно з об'ємним резонатором систему зв'язаних резонаторів. В процесі сканування зразка коаксіальний резонатор змінює свою резонансну частоту і добротність, що спричиняє відповідні змінення резонансної частоти і добротності всієї системи.

У мікрохвильовому мікроскопі монолітний вузол із резонатора з коаксіальним виводом (Фіг. 2) може бути виготовлений із твердого діелектрика 7 у вигляді двох співвісних з'єднаних циліндрів з металевим покриттям 8. Центральний провідник коаксіального виводу 9 виготовлений у вигляді провідника круглого перерізу, розміщеного на осі циліндра меншого діаметра. Заповнення діелектриком об'єму резонатора дозволяє зменшити габарити резонаторного мікрозонда, сконцентрувати НВЧ поле всередині резонатора і мінімізувати поглинання в його стінках.

У мікрохвильовому мікроскопі резонатор 2 (Фіг. 3) може бути виконаний у вигляді циліндра з приєднаним коаксіальним виводом, в кінцевій частині якого центральний провідник 9 виготовлено у формі конуса, а зовнішній провідник 10 виготовлено у формі зрізаного порожнистого конуса.

Така конструкція дозволяє досягнути високої просторової роздільної здатності при високої чутливості.

Розглянемо деякі аспекти практичної реалізації описаної конструкції мікрохвильового мікроскопа. Виготовити запропонований в даному винаході об'ємний резонатор з приєднаним коаксіальним виводом можливо з використанням відомих методів і технологічного обладнання НВЧ техніки. Для виготовлення монолітного блока «резонатор-зонд» на основі твердого діелектрика може використовуватися, наприклад, кераміка на основі цирконат-талату барію $Ba(ZrTa)O_3$ з відносною діелектричною проникністю близькою до 30. Покриття на поверхні діелектрика можливо сформувати напленням плівки срібла або іншого металу з високою провідністю.

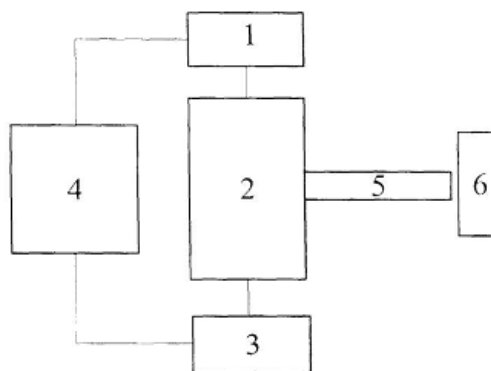
У складі мікрохвильового мікроскопа для отримання НВЧ випромінювання може бути використано стандартні джерела НВЧ сигналів, наприклад генератори HP83620A або HP83623A (Hewlett Packard), що дозволяють одержати сигнали з частотою до 20 ГГц з можливістю електричного керування частотою, модулювання амплітуди та частоти.

Блок обробки інформації в першу чергу призначено для реєстрації змін резонансної частоти та добротності резонансної системи «резонатор - зонд». Опис процесу обробки сигналів і відповідних електронних блоків скануючих мікрохвильових мікроскопів міститься у численних публікаціях (див., наприклад, огляд Anlage S. M. Principles of near-field microwave microscopy/ S. M. Anlage, V. V. Talanov, A. R. Schwartz // Scanning probe microscopy: electrical and electromechanical phenomena at the nanoscale / edited by S. V. Kalinin, A. Gruverman. - New York: Springer-Verlag, 2007. V. 1. P. 215-253.). В багатьох варіантах блока обробки інформації використовується частотна слідуюча система з використанням частотної модуляції для автоматичного підстроювання частоти НВЧ генератора на резонансну частоту системи «резонатор-зонд». Струм і напруга на навантажувальному опорі на виході детектора з пропорційні по-

тужності НВЧ коливань в резонансній системі. Сигнал після цього детектора підсилюється підсилювачем. Деякі конструкції блоків обробки інформації поряд з іншими компонентами містять два фазочутливих синхронних детектора, призначених для вимірювання амплітуди сигналів після згаданого детектора на частоті модуляції НВЧ сигналу генератора та на подвоєної частоті модуляції. Сигнал першого синхронного детектора використовується системою зворотного зв'язку для керування частотою генератора таким чином, щоб вона дорівнювала частоті резонансної системи, сигнал другого синхронного детектора на подвоєної частоті модуляції дозволяє за допомогою спеціалізованого обчислювального модуля або комп'ютера визначити кривизну кривої залежності потужності НВЧ коливань від частоти і пов'язану з нею добротність резонансної системи. Подальша обробка сигналів з врахуванням вихідних параметрів досліджуваних матеріалів дозволяє зв'язати зміни частоти і добротності системи «резонатор - зонд» зі змінами електрофізичних характеристик зразка в процесі сканування його різних ділянок.

Для практичної реалізації блока обробки інформації зручно використовувати в якості його основної складової стандартний аналізатор електричних мереж (векторний мережевий аналізатор), наприклад, HP-8510-C, 8753ES, N5230A виробництва компанії Agilent Technologies (США). Вказані прилади містять частотоміри, підсилювачі, вузли керування частотою, схеми синхронного детектування, вимірювальні генератори та інші основні вузли блока обробки інформації, що дозволяє ефективно вимірювати параметри сигналів та виконувати їх обробку.

Корисна модель може знайти широке застосування у галузі вимірювальної техніки, зокрема у засобах НВЧ діагностики матеріалів і малорозмірних структур. Корисна модель може використовуватися для вимірювання електрофізичних характеристик напівпровідників, металів, діелектриків, для діагностики приладових структур, наприклад, надвеликих інтегральних схем тощо.

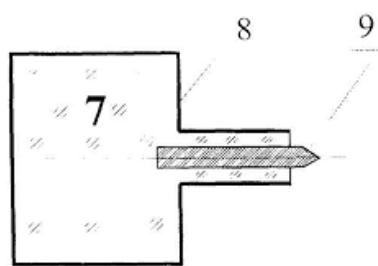


Фіг. 1

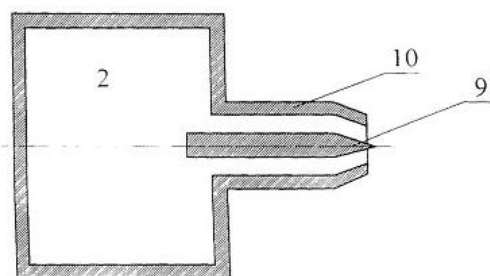
7

65114

8



Фиг. 2



Фиг. 3