



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 60519

(13) A

(51) 7 G01B7/34

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ БЛИЖНЬОПОЛЬОВОЇ МІКРОСКОПІЇ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

1

2

(21) 2002119038

(22) 13 11 2002

(24) 15 10 2003

(46) 15 10 2003, Бюл. № 10, 2003 р.

(72) Сидоренко Володимир Семенович, Гайдай
Юрій Олексійович, Сінкевич Олег Володимиро-
вич, Жила Сергій Валерійович(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

(57) Пристрій для ближньопольової мікроскопії діелектричних об'єктів, що містить коливальну структуру з двома петлями зв'язку і голкою зонда на кінці та генератор, зв'язаний з першою петлею зв'язку, який відрізняється тим, що генератор має додатковий вхід, який з'єднано з другою петлею зв'язку

Винахід відноситься до області радіофізики, а саме, до скануючої ближньопольової зондової мікроскопії і може бути застосований для вимірювання малих неоднорідностей діелектричної проникності $\Delta\epsilon$ різних об'єктів в наукових дослідженнях, та для удосконалення технології виготовлення високо однорідних діелектричних шарів в НВЧ та нанотехнології.

Відомі пристрої - зондові ближньопольові мікрохвильові мікроскопи для вимірювання топографії розподілу неоднорідностей діелектричної проникності об'єктів $\Delta\epsilon$ в тому чи іншому частотному діапазоні з наступною комп'ютерною візуалізацією їх на екрані монітора [1] - аналог, що має генератор, який перестроюється, коливальну структуру з петлею зв'язку та голкою зонду на кінці. Піднесення голки зонду до діелектрика призводить до зміщення резонансної частоти коливальної структури, значення якої визначається шляхом перестройки генератора для знаходження максимуму контуру резонансної лінії.

Недоліком таких пристроїв є те, що при вимірюванні малих та надмалих неоднорідностей діелектричної проникності ($\Delta\epsilon$), контур резонансної лінії майже не зміщується відносно свого вихідного положення, і індикація такого малого зміщення викликає значні труднощі. Для підвищення точності індикації застосовуються різні компенсаційні [2] та модуляційні [3] методи.

Найближчим до винаходу по технічній суті є пристрій [4] - прототип, цю складається з генератора, який перестроюється, та коливальної структури з двома петлями зв'язку і голкою зонду на

кінці. Сигнал генератора, який перестроюється, збуджує за допомогою першої петлі зв'язку коливальну структуру з зондом на кінці і далі подається через інвертор фази на перший вхід фазового детектора. На другий вхід фазового детектора подається з другої петлі зв'язку відбитий сигнал коливальної структури. Коли частота генератора, який перестроюється, збігається з резонансною частотою коливальної структури, різниця фаз збуджуючого та відбитого сигналів на обох петлях зв'язку дорівнює нулю, а на обох входах фазового детектора вона, відповідно, дорівнює $\pi/2$, що призводить до компенсації цих сигналів на виході фазового детектора. Смуга частот в зоні компенсації при достатній чутливості тракту може бути на декілька порядків вужче смуги частот контура резонансної лінії коливальної структури, що призводить до відповідного збільшення чутливості системи до малих змін $\Delta\epsilon$.

Недоліками прототипу є недостатня точність реєстрації резонансної частоти і низька стабільність тракту для виміру малих та надмалих неоднорідностей $\Delta\epsilon$. В мікрохвильовому діапазоні інверсію фази можна точно виконати тільки на одній частоті, для зміни якої інвертор необхідно перестроювати. А для знаходження резонансної частоти коливальної структури генератор треба перестроювати в певному діапазоні частот і, при цьому, точна інверсія порушується. Крім того, для таких інверторів характерна значна температурна нестабільність, яка призводить до утворення додаткової похибки за рахунок того, що компенсація в фазовому детекторі відбувається вже не на резо-

(13) A

(11) 60519

(19) UA

нансній частоті коливальної структури. Таким чином, система видає помилкове значення частоти резонанса, а отже і похибку вимірювання $\Delta\epsilon$.

Задачею винаходу є створення пристрою для ближньопольової мікроскопії діелектричних об'єктів з високою роздільною здатністю по $\Delta\epsilon$ шляхом введення коливальної структури з двома петлями зв'язку і голкою зонда на кінці до складу коливального контуру генератора, що забезпечує збільшення точності виміру малих та надмалих значень $\Delta\epsilon$ за рахунок підвищення стабільності тракту і зменшення похибки реєстрації резонансної частоти коливальної структури.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для ближньопольової мікроскопії діелектричних об'єктів, що містить коливальну структуру з двома петлями зв'язку і голкою зонда на кінці та генератор, зв'язаний з першою петлею зв'язку, у відповідності з винаходом, генератор має додатковий вхід, який з'єднано з другою петлею зв'язку.

Додатковий вхід генератора, з'єднаний з другою петлею зв'язку, створює в пристрої новий комутаційний зв'язок. Це вигідно відрізняє винахід від прототипу і аналогів, оскільки тепер не потрібно знаходити положення максимуму контуру лінії резонансу, тому що генерація завжди автоматично виникає точно на резонансній частоті. Вимір частоти генерації цифровим частотоміром забезпечує високу точність цифрової реєстрації і надмалих зсувів. Крім того, використання резонансної структури з двома петлями зв'язку замість фазового детектора вилучає з тракту нестабільний елемент - інвертор. Таким чином, зникає необхідність застосування складних компенсаційних схем, що робить пристрій високоточним і, крім того, простим.

На фіг. зображена блок-схема пристрою, яка складається з коливальної структури 1 з двома петлями зв'язку 2, 3 і зондом 4 на кінці, генератора 5, вихід якого з'єднаний з першою петлею зв'язку 2, цифрового частотоміра 6 та цифрового вольтметра 7, лінії зв'язку 8, що з'єднує другу петлю зв'язку 3 з додатковим входом генератора 9.

Пристрій працює наступним чином. Діелектрик, який вимірюється, підноситься до голки зонду 4. Вихідний сигнал генератора 5 поступає на першу петлю зв'язку 2 і збуджує електромагнітні коливання коливальної структури 1. Відбитий від коливальної структури 1 сигнал через другу петлю зв'язку 3 і введений новий комутаційний зв'язок 8 надходить на не інвертуючий додатковий вхід генератора 9 і утворює в генераторі позитивний зворотний зв'язок через коливальну структуру 1. Максимум позитивного зворотного зв'язку, а отже і частота генерації, визначається максимумом контуру лінії резонансу коливальної структури 1. При переміщенні голки зонда 4 вздовж поверхні діелектрика, який вимірюється, резонансна частота ко-

ливальної структури 1 змінюється, тобто змінюється і частота генерації, яка завжди автоматично виникає точно на резонансній частоті коливальної структури. Таким чином відбувається відслідковування найменших змін $\Delta\epsilon$. Частотомір 7, підключений до виходу генератора 6, з високою точністю вимірює найменші зсуви частоти генерації, реєструючи найменші зміни неоднорідностей $\Delta\epsilon$ діелектрика, який вимірюється. При наявності втрат в цьому діелектрику, зростають втрати коливальної структури 1, тобто зменшується величина позитивного зворотного зв'язку. Це призводить до зменшення амплітуди генерації, вимірюючи яку за допомогою вольтметра 8, визначаємо величину втрат - $\text{tg}\delta$.

Виміри, проведені на полікоровій пластині з $\epsilon = 9,6$ показали наступні результати піднесення пластини до голки зонду змінює частоту генерації з 3,600553 ГГц до 3,599631 ГГц, тобто на 948 кГц, що забезпечує можливість обчислення величини ϵ з великою точністю. Для прискорення процедури рахування ми працювали з одиницею молодшого розряду частотоміра в 1 кГц, при цьому, роздільна здатність індикації по $\Delta\epsilon$ становить приблизно $0,9 \cdot 10^{-3}$ на одну одиницю молодшого розряду, тобто в цьому режимі реєстрації пристрій у змозі розрізняти тисячні долі зміни ϵ . Нами використовувався частотомір ЧЗ-34А з НВЧ блоком ЯЗЧ-51, що дозволяє в цьому частотному діапазоні, при відповідному збільшенні часу рахування, зменшити одиницю молодшого розряду до 10 Гц, тобто підняти точність реєстрації ще на 2 порядки - до однієї сотисячної долі зміни ϵ , тобто пристрій має великий запас по точності, яка на декілька порядків перевищує точність вимірювання ϵ і прототипу і аналогів.

Таким чином, запропонований пристрій забезпечує значне збільшення точності реєстрації зменшення резонансної частоти коливальної структури, підвищує стабільність тракту, тобто зменшує похибку виміру величини діелектричної проникності, і, таким чином, значно підвищує роздільну здатність вимірювання малих та надмалих неоднорідностей величини діелектричної проникності діелектриків.

Джерела інформації

1 D E Steinhauer, C P Vlahacos et al. Applied Physics Letters, November 1999, v 75, No 20 p 3180-3182

2 M Golosovsky D Davidov Applied Physics Letters, March 1996, v 68, No 11, p 1579-1581

3 C P Vlahacos, D E Steinhauer et al. Applied Physics Letters, April 1998, v 72, No 14, p 1778-1780

4 Xiao-Dong Xiang, Chen Gao US Patent No US 6,173,604 B1, Jan 16, 2001



Fig. 1. Schematic diagram of the system.

Fig.