

Винахід відноситься до області радіофізики, а саме, до скануючої ближньопольової зондової мікроскопії і може бути застосований, наприклад, для вимірювання малих неоднорідностей діелектричної проникності $\Delta\epsilon$ при виготовленні високооднорідних діелектричних плівок в надвисокочастотній (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. Відомий пристрій містить генератор, який перестроюється, та коливальну структуру (одномодовий коаксіальний резонатор довжиною $L = \lambda/4$, де λ - довжина хвилі в коаксіальній лінії) з голкою зонду на кінці. Піднесення діелектрика до голки зонду призводить до зміщення резонансної частоти коливальної структури, значення якої визначається шляхом перестроювання генератора для знаходження нового положення максимуму контуру резонансної лінії.

Недоліком аналогу є те, що такий чвертьхвильовий резонатор має тільки одну резонансну моду на одній частоті і тому, при вимірі діелектричної проникності є об'єктів, що мають дисперсію (залежність параметрів від частоти), виникає необхідність змінювати резонатори.

Найближчим до винаходу по технічній суті є пристрій [2] - прототип, що складається з коаксіальної лінії довжиною 1м (багатомодова коливальна структура) з голкою зонда на кінці, та генератора, який перестроюється, зв'язаного з коаксіальною лінією через направлений відгалужувач. Сигнал генератора збуджує ту чи іншу подовжню моду ($n\lambda/2$, де n - номер подовжньої моди) коливальних коаксіальних ліній в діапазоні 0,1-50ГГц, тобто один багатомодовий резонатор заміняє багато одномодових. Відбитий від коаксіальної лінії сигнал подається через направлений відгалужувач на вхід системи реєстрації зсуву резонансної частоти моди, що працює на основі модуляційного методу.

Недоліками прототипу є те, що виміри кожен раз проводяться тільки на одній частоті, а в діапазоні частот вони проводяться послідовно, кожен раз перестроюючи частоту генератора на ту чи іншу подовжню моду, тобто неможливість одночасного вимірювання на різних частотах параметрів діелектричних об'єктів, що мають дисперсію, а також недостатня точність реєстрації зсуву резонансної частоти, що збільшує похибку вимірювання малих неоднорідностей діелектричної проникності $\Delta\epsilon$.

Задачею винаходу є створення пристрою для ближньопольової мікроскопії діелектричних об'єктів з можливістю одночасного вимірювання на різних частотах параметрів діелектричних об'єктів, що мають дисперсію, а також підвищення точності реєстрації зміщення резонансної частоти, що зменшує похибку вимірювання $\Delta\epsilon$.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для ближньопольової мікроскопії діелектричних об'єктів, що має коаксіальну лінію з голкою зонда на кінці, згідно з винаходом додатково містить надвисокочастотний підсилювач, а коаксіальна лінія з голкою зонда на кінці виконана загнutoю таким чином, що її кінець з голкою зонду з'єднано з входом підсилювача, а другий - з його виходом.

Введений новий елемент - надвисокочастотний (НВЧ) підсилювач, що замикає кінці коаксіальної лінії, створює в пристрої новий комутаційний зв'язок. При цьому, вся система виступає в якості багатомодового кільцевого генератора, який одночасно генерує мережу еквідистантних частот подовжніх мод коаксіальної лінії (аналог кільцевого лазера, тільки у НВЧ діапазоні).

Це відрізняє винахід від відомих пристроїв, оскільки тепер ми маємо не тільки багатомодовий резонатор, а й кожна мода ще генерує свою частоту, тобто не потрібно ні змінювати резонатор, як в аналозі, ні перестроювати генератор для вимірювань на різних частотах, як у прототипі - мережа еквідистантних частот генерується автоматично і перекриває діапазон вимірювання, створюючи можливість для одночасного аналізу параметрів досліджуваного діелектричного об'єкта, що має дисперсію. Також не потрібно знаходити положення максимуму контуру лінії резонансу, тому що генерація завжди автоматично виникає на резонансних частотах подовжніх мод, а вимір частоти генерації цифровим частотоміром забезпечує більш високу точність цифрової реєстрації її надмалих зсувів. Крім того, зникає необхідність застосування складних модуляційних систем, що робить пристрій більш високоточним і простим.

Перелік фігур:

На фіг.1 зображена блок-схема запропонованого пристрою, на фіг. 2 показана експериментальне знята залежність зсуву частоти генерації моди від величини діелектричної проникності ϵ вимірюваного об'єкту.

Фіг.1 містить коаксіальну лінію 1 з голкою зонда 2 на її кінці, з'єднану з входом НВЧ-підсилювача 3, вихід якого з'єднаний з іншим кінцем коаксіальної лінії 1 і з входом буферного НВЧ-підсилювача 4, вихід якого з'єднаний з входом розподільчого блоку 5, вихідні сигнали якого вимірюються частотоміром 6 та вольтметром 7.

Пристрій працює наступним чином. При піднесенні діелектрика, який вимірюється, до голки зонду 2, в коаксіальну лінію 1 вноситься реактивність, тобто змінюється електрична довжина лінії - L , а таким чином і резонансні частоти подовжніх мод лінії 1. Якщо коефіцієнт підсилення НВЧ-підсилювача 3 достатній для компенсації втрат в коаксіальній лінії 1, тобто виконуються амплітудні умови генерації (а фазові умови для позитивного зворотного зв'язку в довгій лінії завжди є), то в кільці забезпечується режим багатомодової генерації

з частотним інтервалом $\Delta f = v_{\phi} / 2L$ між подовжніми модами $n\lambda/2$, де v_{ϕ} - фазова швидкість розповсюдження електромагнітного поля в коаксіальній лінії. Генерація завжди автоматично виникає на максимумі лінії резонансної моди і таким чином відпадає необхідність застосування складних компенсаційних чи модуляційних схем для визначення частоти цього максимуму, що робить запропоновану схему пристрою дуже простою. Селекція тієї чи іншої моди відбувається в розподільчому блоку 5. Вимір частоти генерації подовжньої моди відбувається цифровим частотоміром 6, а її амплітуди - цифровим вольтметром 7, що забезпечує високу точність цифрової реєстрації зсуву частоти генерації моди, у багато разів перевищуючу точність відомих компенсаційних та модуляційних методик. Буферний НВЧ-підсилювач 4 необхідний для розв'язки коаксіальної лінії від вхідного імпедансу приладів системи реєстрації 5-7 та кабелів до них.

Приклад:

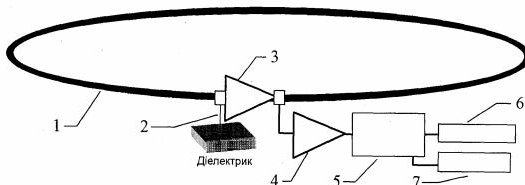
Запропонованим пристроєм були проведені виміри залежності зсуву частоти генерації мод від діелектричної проникності вимірюваного об'єкту. Для вимірів були використані діелектрики з відомими значеннями діелектричної проникності - тefлон, полікор та титанат барію. Результати, показані на фіг.2, дозволяють зробити інтерполяційну оцінку роздільної здатності по $\Delta\varepsilon$ запропонованого пристрою.

Так, виміри, проведені на полікоровій пластині діелектрика з $\varepsilon = 9,6$ показали наступне: піднесення пластини до голки зонда змістило частоту генерації з 3,400322ГГц на 3,399337ГГц, або на 985кГц. Для прискорення процедури рахунку ми працювали з одиницею молодшого розряду частотоміра в 1кГц, при цьому, роздільна здатність індикації $\Delta\varepsilon$ складає приблизно $1 \cdot 10^{-6}$ на одну одиницю молодшого розряду, тобто в цьому режимі система реєстрації, в принципі, у стані розрізняти мільйонні частки зміни ε . Навіть напівповітряний діелектрик - пінопласт зміщує частоту генерації на 10кГц, тобто його $\varepsilon \approx 1,09$, тоді як відомі пристрої до нього зовсім нечутливі. Нами використовувався частотомір ЧЗ-34А з НВЧ блоком ЯЗЧ-51, що дозволяє в цьому частотному діапазоні, при відповідному збільшенні часу рахунку, зменшити одиницю молодшого розряду до 10Гц і таким чином підняти точність індикації $\Delta\varepsilon$ ще на 2 порядки, тобто, в принципі, вимірювати ще на три порядки менші значення ε , ніж у пінопласті.

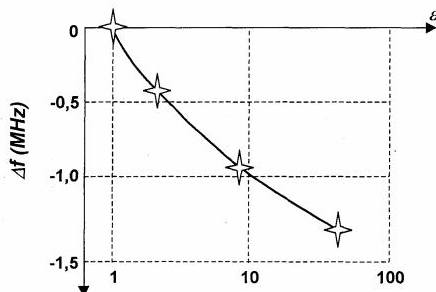
Таким чином, запропонований пристрій одночасно генерує мережу частот подовжніх мод коаксialьної лінії та забезпечує значне збільшення точності реєстрації зміщення їх резонансних частот, тобто забезпечує можливість одночасного вимірювання на різних частотах параметрів діелектричних об'єктів, що мають дисперсію, та значно підвищує роздільну здатність вимірювання малих та надмалих неоднорідностей діелектричної проникності вимірюваних об'єктів.

Джерела інформації

1. Xiao-Dong Xiang, Chen Gao. US Patent No: US 6,173,604 B1, Jan. 16, 2001.
2. D.E. Steinhauer, C.P. Mahacos et al. Applied Physics Letters, November 1999, v.75, No 20, p.3180-3182.



Фіг.1



Фіг.2