



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **40991** (13) **U**
(51) МПК (2009)
G01N 27/72МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ**ОПИС**
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАЛОЇ ШАРУВАТОЇ РЕЧОВИНИ**

1

2

(21) u200815072

(22) 26.12.2008

(24) 27.04.2009

(46) 27.04.2009, Бюл.№ 8, 2009 р.

(72) ВОВЧЕНКО ЛЮДМИЛА ЛЕОНТІЇВНА, UA,
МАЦУЙ ЛЮДМИЛА ЮРІЇВНА, UA, ОЛІЙНИК ВІКТОР
ВАЛЕНТИНОВИЧ, UA, ЛАУНЕЦЬ ВІЛІЄН
ЛЬВОВИЧ, UA, ВОРОНЬКО АНДРІЙ ОЛЕКСАНД-
РОВИЧ, UA(73) ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "ДЕРЖАВНИЙ
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ЦЕНТР "ФОНОН", UA,
ЗАКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО НАУКОВО-
ВИРОБНИЧИЙ КОНЦЕРН "НАУКА", UA(57) Спосіб визначення інтегральної діелектричної
сталості шаруватої речовини, що включає вимірю-
вання положення довільного мінімуму стоячої хви-
лі у хвилеводі, закритому на кінці металевою плас-

тиною з малим електричним опором, та коефіцієнта стоячої хвилі і зсуву того ж мінімуму при розміщенні плоского зразка із досліджуваної речовини у тому ж хвилеводі впритул до металевої пластини, вимірювання діелектричної сталості для двох товщин зразка, який **відрізняється** тим, що додатково вимірюють діелектричну сталість речовин для різних товщин зразка і на основі багатократних вимірювань і розрахунків умовної діелектричної сталості для зразків різної товщини, виготовлених із досліджуваної шаруватої речовини, визначають залежність вимірюваних умовних діелектричних сталостей від товщини зразка, з якої визначають мінімальну товщину зразка, яка однозначно визначає інтегральну діелектричну сталість шаруватої речовини.

Корисна модель відноситься до способів вимірювання електричних параметрів речовини, і може бути використане під час розробки радіоелектронних систем НВЧ-діапазону в різних галузях науки і техніки для потреб розробників радіоелектронної апаратури відповідного діапазону частот, в тому числі при використанні композитів, нанокомпозитів тощо, при створенні засобів захисту від електромагнітного випромінювання, при проведенні наукових досліджень та ін.

Відомі способи визначення електричних параметрів речовини, у яких використовується явище залежності амплітуди та фази електромагнітної хвилі, відбитої від поверхні зразка, виготовленого із досліджуваної речовини [1.А.Ф. Харвей. Техника сверхвысоких частот, пер. с англ., «Сов.радио», 1965, Т.1, с. 311-316, 2. Измерения на сверхвысоких частотах. Перев. С англ. Под ред. В.Б. Штейншлейгера, М., 1952, с. 133].

Ці способи дозволяють вимірювати діелектричну сталість та втрати у досліджуваному матеріалі з необхідною точністю, але вони передбачають однорідність речовини в об'ємі зразка, з якої він виготовлений. Якщо ж зразок неоднорідний за своїми параметрами (густиною, наприклад), то похибка визначення діелектричної сталості такої речовини (у цьому випадку доцільно говорити про якусь середню, інтегральну її величину) може бути

значною і тим більшою, чим тонший зразок виготовлено для проведення вимірювань. При великій товщині неоднорідного зразка порівняно невеликі зміни його розміру не приведуть до значної зміни вимірюваних електричних параметрів.

Однак особливі складнощі при визначенні електромагнітних параметрів речовини виникають у випадку, якщо речовина являє собою шарувату структуру. Для спрощення розглянемо найпростішу шарувату структуру, яка являє собою структуру із двох плоских діелектричних пластин з різними діелектричними сталими ϵ_1 та ϵ_2 , і товщиною d_1 та d_2 кожна, і нехай $\epsilon_1 < \epsilon_2$. Якщо товщини пластин однакові, то вимірювана інтегральна діелектрична сталість матеріалу такої структури наближено, звичайно, буде дорівнювати половині суми ϵ_1 та ϵ_2 . Якщо сумарну товщину $d_1 + d_2$ зразка зменшити з боку пластини d_1 , то вимірювана інтегральна діелектрична сталість ϵ , що очевидно, суттєво відрізняється, наблизившись до ϵ_2 . При подальшому зменшенні товщини зразка, матимемо однакові значення вимірюваної інтегральної діелектричної сталості $\epsilon = \epsilon_2$. Якщо зразок складатиметься з великої кількості шарів, які, взагалі кажучи, можуть мати різні товщини і діелектричні сталості, то зміна товщини такого зразка не повинна привести до помітної зміни сумарної діелектричної сталості. Для простоти припускаємо, що електромагнітна хвиля падає на зразок

(19) **UA** (11) **40991** (13) **U**

під прямим кутом до поверхонь шарів. Саме така ситуація цікава для практичного використання.

Таким чином, при вимірюванні електричних параметрів шаруватих речовин треба мати на увазі, що зразки, виготовлені із них, не можуть мати довільно малу товщину - їх товщина має суттєво перевищувати відповідний розмір пари шарів $d_1 + d_2$. Відповідно і в практичному використанні товщина шару покриття, наприклад, не повинна бути меншою за товщину, яка значно більша за $d_1 + d_2$, інакше електричні параметри покриття будуть невідомі. Але визначити на практиці величину $d_1 + d_2$ найчастіше дуже складно, а то й неможливо.

Найбільш близьким за сутністю до запропонованого є спосіб, [А.Ф. Харвей. Техника сверхвысоких частот, пер. с англ., «Сов.радио», 1965, т. 1, с. 311-316] визначення інтегральної діелектричної сталої шаруватої речовини, що включає вимірювання положення довільного мінімуму стоячої хвилі у хвилеводі, закритому на кінці металевою пластинною з малим електричним опором, та коефіцієнта стоячої хвилі та зсув того ж мінімуму при розміщенні плоского зразка із досліджуваної речовини у тому ж хвилеводі впритул до металевої пластини, і вимірювання діелектричної сталої для двох товщин зразка. Таким чином у відомому способі здійснюють вимірювання відомим (Харвей) способом діелектричної сталої двох виготовлених із однієї речовини пластин різної товщини, які повністю перекривають переріз хвилеводу, - якщо діелектрична стала матеріалу зразків зовсім невідома, та однієї пластини довільної товщини - якщо величина діелектричної сталої речовини наближено відома.

У цьому способі не накладаються обмеження на товщину зразка, але вимагається, щоб матеріал зразка був однорідним. Відповідно до цього способу із досліджуваної речовини виготовлюється зразок у вигляді тонкої пластини, яка вміщується у хвилевід перпендикулярно до його вісі і повністю перекриває його переріз. Кінець хвилеводу перекривається плоскою високо-провідною пластинною (короткозамикачем), до якої щільно дотикається своєю поверхнею зразок. В процесі вимірювань із кожним зразком виконуються два експерименти на вибраній частоті випромінювання. У першому пластини з діелектриком у коротко замкнутому хвилеводі відсутня, а у другому - присутня. В обох випадках за допомогою вимірювальної лінії максимально точно реєструється положення довільного мінімуму стоячої хвилі, а в другому ще і коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ). Зсув мінімуму стоячої хвилі при внесенні у хвилевід діелектричної пластини та величина КСХ дозволяють визначити діелектричну сталу та втрати у речовині, з якої виготовлено зразок. Оскільки остаточне значення діелектричної сталої визначається в результаті вирішення нелінійного рівняння типу

$$Tg(u)/u = K, \quad (1)$$

де: u та K є функціями діелектричної сталої ϵ , частоти НВЧ випромінювання f та товщини пластини d , яке має безліч розв'язків, то для вирішення проблеми неоднозначності, якщо величина ϵ хоча б наближено невідома, необхідно виконати вимірювання для 2-х зразків різної товщини із дослі-

джуваної речовини. Знайшовши необхідну кількість розв'язків рівняння (1) для кожного із зразків, серед них знайдемо невідому величину u , яка однакова для любого із них. Це і буде той розв'язок, який визначає невідому діелектричну сталу речовини.

Але такий спосіб визначення електромагнітних параметрів, як уже наголошувалось вище, принципово не підходить для випадку шаруватих речовин, бо тільки при товщинах зразків, які більші деякої мінімальної товщини d_{\min} , отримаємо однакові розв'язки u рівняння (1), які не залежатимуть від товщини зразка d .

Очевидно також, що ця величина d_{\min} залежатиме від частоти, на якій виконуються вимірювання, від електромагнітних параметрів, орієнтації відносно напрямку розповсюдження електромагнітної хвилі та розмірів складових, які утворюють шарувату структуру, від їх відносної густини. Таким чином, електромагнітні параметри (усереднені, діючі, інтегральні, ефективні, що тут одне і те ж) шаруватої речовини має сенс вводити тільки у випадках, коли шар цієї речовини більший за деяке мінімальне значення d_{\min} , своє для кожної конкретної речовини.

Якщо ж $d < d_{\min}$, то, якщо це потрібно, також може бути визначеною, наприклад, ефективна діелектрична стала, але вона буде справедливою тільки для даної товщини (і частоти) зразка із шаруватої речовини.

Задачею корисної моделі є визначення мінімальної товщини зразка, для визначення інтегральної діелектричної сталої шаруватої речовини придатної.

Технічний результат досягається тим, що у способі визначення інтегральної діелектричної сталої шаруватої речовини, що включає вимірювання положення довільного мінімуму стоячої хвилі у хвилеводі, закритому на кінці металевою пластинною з малим електричним опором, та коефіцієнта стоячої хвилі та зсув того ж мінімуму при розміщенні плоского зразка із досліджуваної речовини у тому ж хвилеводі впритул до металевої пластини, і вимірювання діелектричної сталої для двох товщин зразка, згідно корисної моделі додатково вимірюють діелектричну сталу речовин для різних товщин зразка і на основі багатократних вимірювань і розрахунків умовної діелектричної сталої для зразків різної товщини, виготовлених із досліджуваної шаруватої речовини, визначають залежність вимірюваних умовних діелектричних сталих від товщини зразка із якої визначають мінімальну товщину зразка, яка однозначно визначає інтегральну діелектричну сталу шаруватої речовини.

Таким чином запропонованим способом вимірюється діелектрична стала декількох різних по товщині зразків із досліджуваної речовини і знаходиться та мінімальна товщина зразка, діелектрична стала якого і буде відповідати невідомій ефективній сталій речовини.

Спосіб реалізується наступним шляхом:

- із досліджуваної речовини виготовлюється зразок товщиною $\lambda_{\text{вв}}/4 \leq d < \lambda_{\text{вв}}/2$, поперечні розміри якого мають бути максимально близькими до перерізу хвилеводу;

- на вибраній частоті НВЧ випромінювання вимірюються необхідні для визначення діелектричної сталої величини: зсув мінімуму стоячої хвилі закороченого хвилеводу з діелектричною пластиною відносно того ж мінімуму, але без пластини діелектрика, а також коефіцієнт стоячої хвилі у хвилеводі зі зразком;

- використовуючи отримані експериментальні дані, знаходяться декілька розв'язків рівняння (1) і вираховуються відповідні значення діелектричної сталої [1];

- потім зменшити товщину зразка на величину близьку до 0,1мм і повторити вимірювання та розрахунки. Якщо початкова товщина зразка вибрана правильно, то серед розв'язків, знайдених для зразків з різною товщиною, знайдуться два однакові. В протилежному випадку збільшити початкову товщину зразка;

- повторити цю процедуру стільки разів, поки для двох зразків з найближчою товщиною серед отриманих розв'язків рівняння (1) не знайдеться двох однакових. Саме більша товщина зразка із останніх двох і є найменшою, що придатна для отримання експериментальних даних для розрахунків діелектричної сталої даної речовини, а отримане рішення для зразка з цією товщиною може бути використане для обрахунку інтегральної діелектричної сталої даної шаруватої речовини. Очевидно, що для іншої речовини мінімальна товщина експериментального зразка і номер кореня рівняння (1) можуть бути іншими.

Сутність способу пояснюється кресленням та графіками:

- на Фіг.1 приведена спрощена схема вимірювання діелектричної сталої, де P_n , $P_{оп}$, $P_{оз}$ падаюча на зразок та відбиті від передньої та задньої поверхні зразка хвилі;

- на Фіг.2 приведені залежності виміряної інтегральної діелектричної сталої плоского зразка із шаруватої речовини від його товщини (для перших коренів рівняння 1).

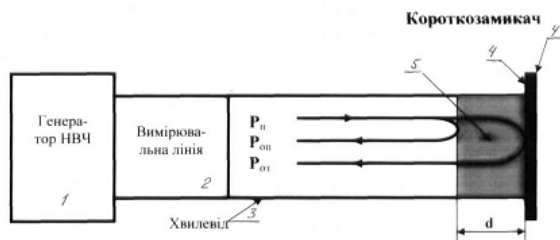
Схема вимірювання діелектричної талої (Фіг.1) містить генератор НВЧ 1, вимірювальну лінію 2, хвилевід 3, короткозамикач 4, зразок 5 товщиною d. Схема працює наступним чином: електромагніт-

на хвиля P_n з відомою частотою від генератора НВЧ 1 через вимірювальну лінію 2 направляється у закритий на кінці короткозамикачем 4 хвилевід 3 і за допомогою вимірювальної лінії 2 визначається положення $X_{кз}$ довільного мінімуму стоячої хвилі. Потім перед короткозамикачем розміщується зразок 5 із шаруватої речовини (шаруватого діелектрика)

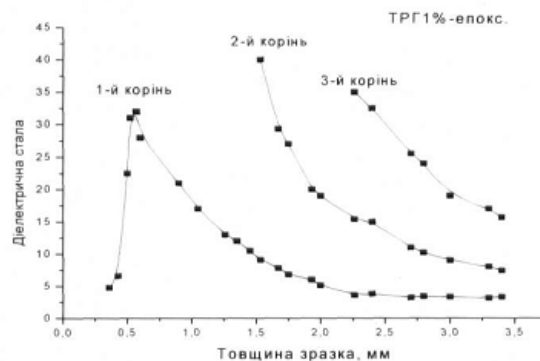
Результати визначення мінімальної товщини зразка та розрахунку діелектричної сталої шаруватої речовини приведено на Фіг.2, яка являє собою композит, що складається із 1% терморозширеного графіту (ТРГ) у епоксидній смолі ЕД20. ТРГ був подрібнений майже до нанорозмірів і в основній масі являв собою частинки (в більшості за формою близькі до платівок), з довжинами від сотень нанометрів до одиниць мікронів. Із малюнка легко установити, що для композиту ТРГ 1%-епоксидна смола товщина зразка від 2,2мм і вище дозволяє виміряти відносну інтегральну діелектричну сталу цього композиту, яка з точністю до $\pm 5\%$ дорівнює 3,4. Інші корені (на Фіг.2 показані 2-й та 3-й) рівняння (1) з ростом товщини зразка прямують до 1-го і при достатньо великій (теоретично - при нескінченній) товщині співпадуть з ним.

Для інших речовин (для композиту ТРГ-епокс., наприклад, але з іншою концентрацією ТРГ) подібні залежності будуть іншими, але суть їх не зміниться, тобто спосіб визначення мінімально необхідної товщини зразка для проведення вимірювань та визначення діелектричної сталої шаруватої речовини буде таким, як описано вище.

Запропонований спосіб дозволяє експериментально визначити мінімальну товщину зразка із шаруватої речовини, для якої з необхідною точністю можуть бути виміряні інтегральні електричні параметри. Корисна модель, що пропонується, може бути використана під час розробки радіоелектронних систем НВЧ-діапазону в різних галузях науки і техніки для потреб розробників радіоелектронної апаратури відповідного діапазону частот, в тому числі при використанні композитів, нанокompозитів тощо, при створенні засобів захисту від електромагнітного випромінювання, при проведенні наукових досліджень та ін.



Фіг. 1



Фіг. 2

