



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93969** (13) **U**  
(51) МПК (2014.01)  
**G01N 27/90** (2006.01)  
**G01N 22/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2014 04525</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>28.04.2014</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>27.10.2014</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.10.2014, Бюл.№ 20</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Хорошайло Юрій Євгенійович (UA), Світличний Віталій Анатольєвич (UA), Міняйло Олександр Дмитрович (UA), Лямін Євгеній Олександрович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166 (UA)</b></p>
--	--

**(54) ДВОПАРАМЕТРОВИЙ СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК**

**(57) Реферат:**

Двопараметровий спосіб контролю якості тонких плівок включає одночасне визначення електропровідності і товщини тонких плівок за допомогою електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону. Визначення електропровідності і товщини здійснюють для тонких неферромагнітних плівок, причому для виміру електропровідності, необхідно як перетворювач використовувати циліндричний резонатор НВЧ, у якому вимірювальний отвір відповідає лінії тангенціального або нульового тангенціального струму, як реєстровану величину використовують потужність, що пройшла через резонатор, в циліндричному резонаторі досліджуваній зразок заміщає увесь торець пристрою, перебудову резонатора здійснюють за допомогою рухливого безконтактного поршня, а для виміру товщини тонкої неферромагнітної плівці використовують двокотушковий вихрострумний перетворювач, аксіальне розташування перетворювача пристрою дозволяє одночасно отримувати інформацію з одного місця досліджуваного зразка, при цьому інформаційні сигнали з обох перетворювачів детектуються і надходять у блоки обробки сигналів для представлення в цифровому вигляді.

UA 93969 U



Корисна модель належить до засобів неруйнівного вихорострумowego контролю і може бути використана для дефектоскопії електропровідних матеріалів та виробів.

Відомий двопараметровий спосіб контролю виробів (Патент РФ №2305280, МПК G01N27/90 (2006.01), G01B7/06 (2006.01), надрук. 27.08.2007р.), який полягає в тому, що вихорострумний перетворювач включають в паралельний коливальний контур, на який подають імпульси збудливого змінного струму, амплітуду вихідного сигналу перетворювача порівнюють з пороговим рівнем, а посилений сигнал розбалансу використовують для регулювання амплітуди імпульсів збудливого струму і як один з інформативних параметрів контрольованого виробу, частоту імпульсів збудливого струму лінійно збільшують в діапазоні контролю, виділяють момент зміни знака різниці фаз між збудливим струмом і вихідним сигналом вихорострумowego перетворювача, потім повільно зменшують частоту збудливого струму до моменту появи початкового знака різниці фаз, після чого вимірюють частоту імпульсів збудливого струму і використовують її як другий інформативний параметр при вимірі контрольованої величини.

До недоліків цього способу належить його вузька спеціалізація, яка полягає в тому, що цей спосіб дозволяє здійснювати виміри товщини немагнітних і діелектричних покриттів на феромагнітній основі, без виміру електропровідності покриттів.

Відомий спосіб виміру товщини неферомагнітних металевих плівок, що полягає у тому, що вимірювані плівки розташовують на фіксованій відстані у робочому проміжку вихорострумowego перетворювача (ВСП) екранного типу, збуджують одну з індуктивних котушок ВСП за допомогою генератора й по амплітуді напруги на іншій індуктивній котушці визначають товщину плівок [А.С. СССР №1078237 МКИ G01B7/06, надрук. 07.03.1984р.]

Але даним способом неможливо контролювати товщину у випадку, якщо ВСП знаходиться над плівкою або понад нею, крім того, неможливо контролювати електропровідність плівок.

Відомий спосіб вихорострумowego виміру товщини тонких неферомагнітних металевих покриттів (Патент РФ №2456589 МПК G01N27/90 надрук. 20.07.2012р.), що полягає в тому, що для зондувань подають гармонійний сигнал вибраної частоти на обмотку збудження, встановлену у середині феритового сердечника, знімають сигнали з однакових вимірювальної і компенсаційної обмоток, встановлених на протилежних кінцях феритового сердечника, знаходять їх різницевий сигнал і вимірюють його фазу  $\varphi$ , при зондуваннях об'єкта вимірів притискають до нього кінець феритового стержня з вимірювальною обмоткою, вибирають оптимальну  $f_{\text{опт}}$  частоту обмотки збудження із співвідношення

$f_{\text{опт}} = (0,3 \dots 0,7) / (\pi \mu_0 \sigma_{\text{п}} T_{\text{пмакс}}^2)$   $f_{\text{опт}} = (0,3 \dots 0,7) / (\pi \mu_0 \sigma_{\text{п}} T_{\text{пмакс}}^2)$ , де  $\mu_0$  - магнітний постійний;  $\sigma_{\text{п}}$  - електропровідність покриття;  $T_{\text{пмакс}}$  - максимальна товщина покриття, до початку вимірів

балансиують вимірювальну і компенсаційну обмотки, домагаючись нульового різницевого сигналу за відсутності об'єкта вимірів, встановлюють прокладку з неферомагнітного металу, близького по електропровідності до матеріалу покриття між феритовим стержнем і об'єктом вимірів, товщину прокладки вибирають так, щоб при орієнтовно відомих параметрах досліджуваного об'єкта і феритового стержня з обмотками, забезпечити максимальну розрахункову чутливість амплітудно-фазових характеристик різницевого сигналу від товщини покриття об'єкта, при зондуванні вимірюють додатково амплітуду  $A$  різницевого сигналу, градуують вимірник, для чого зондують мірні об'єкти, що мають характеристики, близькі до досліджуваного об'єкта, з декілька відомими товщинами  $T_{\text{п}}$  покриття і при декілька відомих значення зазору  $h$  між феритовим стрижнем з прокладкою і поверхнею мірних об'єктів зберігають залежність амплітуди і фаз різницевого сигналів від товщини покриття і проміжків  $A, \varphi(T_{\text{пмакс}}, h)$ , зондують досліджуваний об'єкт, обчислюють товщину покриття  $T_{\text{п}}$ , проміжок  $h$  між феритовим стержнем з прокладкою і поверхнею покриття об'єкта по вимірних значеннях амплітуди  $A$  і фази  $\varphi$  різницевого сигналу, використовуючи залежність  $A, \varphi(T_{\text{пмакс}}, h)$ .

До недоліків цього способу належить трудомісткість, необхідність використання заздалегідь підготовленої прокладки з неферомагнітного металу, близького по електропровідності до матеріалу покриття, неможливість виміру значення електропровідності покриття.

Найбільш близьким аналогом є спосіб визначення електропровідності і товщини напівпровідникових шарів на поверхні діелектрика (Патент РФ № 2439541, МПК G01N27/00 надрук. 10.01.2012р.). Технічним результатом винаходу є можливість одночасного визначення електропровідності і товщини ( $d, \sigma$ ), напівпровідникового шару. Запропонований спосіб полягає в опроміненні структури напівпровідникового шару випромінюванням НВЧ - діапазону і виміру частотної залежності коефіцієнта відображення електромагнітного випромінювання НВЧ - діапазону у вибраному частотному діапазоні при першому і другому значеннях температури, знаходженні параметрів напівпровідникового шару ( $d, \sigma$ ), при яких теоретична частотна

залежність коефіцієнта відображення електромагнітного випромінювання найбільш близька до вимірної, і використовуючи відомі температурні залежності, визначають шукану пару значень параметрів ( $d$ ,  $\sigma$ ), при якій теоретична частотна залежності коефіцієнта відображення електромагнітного випромінювання найбільш близька до вимірної й при другому значенні температури.

До недоліків цього способу належить неможливість швидкодіючого сканування великих площ, багатократності виміру контрольованих параметрів, неможливості визначення електропровідності і товщини тонких неферромагнітних плівок.

В основу корисної моделі поставлена задача створення способу контролю, що забезпечує не лише одночасний вимір товщини тонких неферромагнітних плівок  $d$ , їх електропровідності  $\sigma$ , але і забезпечення високої точності виміру електропровідності, високої відтворюваності результатів, неруйнівності і локальності вимірів. Визначення товщини  $d$  забезпечує вихрострумний перетворювач накладного типу, для забезпечення виміру електропровідності, необхідно в якості перетворювача використати НВЧ резонатор, у якому можливе виконання вимірвальної отвору по лінії тангенціального або нульового тангенціального струму, а як реєстрованої величини - зміну минулої через резонатор потужності.

Поставлена задача вирішується таким чином. Згідно з корисною моделлю, для виміру електропровідності тонких неферромагнітних плівок, використовують циліндричний резонатор НВЧ, його перебудову здійснюють за допомогою рухливого безконтактного поршня, а для виміру товщини тонкої неферромагнітної плівки використовують двокотушковий вихрострумний перетворювач, аксіальне розташування перетворювачів пристрою дозволяє одночасно отримувати інформацію з одного і того ж місця досліджуваного зразка, при цьому інформаційні сигнали з обох перетворювачів кожен по своєму каналу надходять на блоки обробки сигналу для представлення в цифровий вид.

На кресленні представлена схема, де показано: 1 - НВЧ резонатор, що конструктивно входить у резонансну систему НВЧ генератора на лавинно-пролітному діоді, який для виключення взаємного впливу перетворювачів розташований в порожнині феритового сердечника 2, на якому намотані збудлива котушка 3 і вимірвальна котушка 4. Таке розташування перетворювачів дозволяє отримати інформацію одного і того ж місця об'єкта контролю, що сприяє підвищенню точності виміру.

Таким чином, комбінований перетворювач одночасно використовує два перетворювачі, а саме: вихрострумний, який забезпечує отримання інформації про товщину і циліндричний НВЧ резонатор на хвилі  $H_{01n}$ , що дозволяє вимірювати електропровідність тонкої неферромагнітної плівки. Останній перетворювач має наступні переваги: по-перше, в такому НВЧ резонаторі досліджуваний зразок заміщає увесь торець перетворювача, і внаслідок відсутності на торці радіальних струмів забезпечується абсолютна безконтактність вимірів, тобто вплив міри притиснення тонкої неферромагнітної плівки до стінок резонатора повністю виключається, по-друге, конструктивною особливістю цього перетворювача є можливість його перебудови за допомогою рухливого безконтактного поршня, оскільки відсутні струми, поточні з торцевих поверхонь і, отже, дефекти контакту поршень, що третє, не позначаються на добротності резонатора.

Використання резонатора, що перебудовується, дозволяє застосовувати генератор, працюючий на фіксованій частоті, що забезпечує можливість частотної стабілізації і, отже, отримання високої точності вимірів.

У більшості розроблених пристроїв контроль електропровідності здійснюється по зміні добротності порожнистого резонатора і резонатора з об'єктом контролю. Проте визначення електропровідності  $\sigma$  у такий спосіб характеризується великою випадковою погрішністю через відсутність простих методів виміру добротності на НВЧ з точністю вище 10 %. Тому для визначення  $\sigma$  доцільно вимірювати зміну минулої через резонатор потужності. Цей спосіб не вимагає визначення добротності при кожному вимірі, а потребує лише одноразового встановлення її значення для резонатора без тонкої неферромагнітної плівки і періодичної перевірки міри постійності добротності.

Для встановлення в загальному вигляді взаємозв'язку зміни, що пройшла через перетворювач резонатора НВЧ потужності з величиною електропровідності об'єкта контролю скористаємося наступним вираженням передачі потужності через резонатор прохідного типу.

$$P_0 = P \frac{4\eta_0^2}{(1 + 2\eta_0)^2}, \quad (1)$$

де  $P_0$  - потужність на виході резонатора,  $P$  - потужність на вході резонатора,  $\eta_0$  - коефіцієнт зв'язку ідентичних облаштувань зв'язку резонатора з хвилеводами.

Для  $\eta_0$  справедливо наступне вираження

$$\eta_0 = \frac{P_{\text{св.о}}}{P_{\text{пот.о}}}, \quad (2)$$

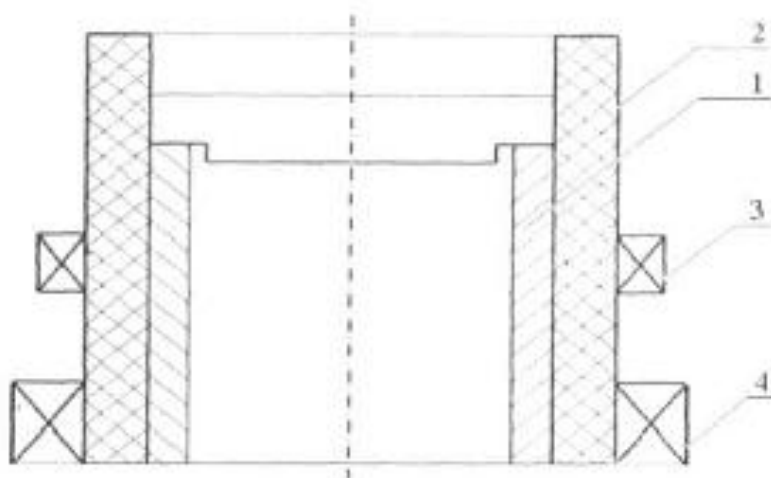
де  $P_{\text{св.о}}$  - безрозмірна величина, що характеризує втрати НВЧ потужності, що запасається в резонаторі на зв'язок,  $P_{\text{пот.о}}$  - безрозмірна величина втрат потужності усередині резонатора.

5 Інформаційні сигнали з обох перетворювачів детектуються і кожен по своєму каналу надходять на блоки обробки сигналів для представлення в цифровому вигляді.

Технічним результатом є те, що пропонується спосіб контролю, забезпечує високу точність визначення значення електропровідності і товщини тонких неферромагнітних плівок, дозволяє розширити діапазон виміру, підвищує достовірність і продуктивність контролю, забезпечує  
10 високу відтворюваність результатів, неруйнівність і локальність вимірів.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

15 Двопараметровий спосіб контролю якості тонких плівок, який включає одночасне визначення електропровідності і товщини тонких плівок за допомогою електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону, який **відрізняється** тим, що визначення електропровідності і товщини здійснюють для тонких неферромагнітних плівок, причому для виміру електропровідності, необхідно як перетворювач використовувати циліндричний резонатор НВЧ, у якому  
20 вимірювальний отвір відповідає лінії тангенціального або нульового тангенціального струму, як реєстровану величину використовують потужність, що пройшла через резонатор, в циліндричному резонаторі досліджуваний зразок заміщає увесь торець пристрою, перебудову резонатора здійснюють за допомогою рухливого безконтактного поршня, а для виміру товщини тонкої неферромагнітної плівки використовують двокотушковий вихрострумивий перетворювач,  
25 аксіальне розташування перетворювача пристрою дозволяє одночасно отримувати інформацію з одного місця досліджуваного зразка, при цьому інформаційні сигнали з обох перетворювачів детектуються і надходять у блоки обробки сигналів для представлення в цифровому вигляді.




---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601