

Твердотельная электроника

УДК 621.372.41

Д.Д. Татарчук, канд. техн. наук, В.І. Молчанов, канд. техн. наук, Ю.В. Діденко, М.С. Сергєєв, Ю.М. Поплавко, д.-р. техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», вул. Політехнічна, 16, м. Київ, 03056, Україна.

Вимірювання НВЧ параметрів матеріалів методом неоднорідного мікросмужкового резонатора

У статті представлено метод вимірювання діелектричної проникності й тангенса кута діелектричних втрат діелектричних матеріалів у мікрохвильовому діапазоні довжин хвиль за допомогою неоднорідного мікросмужкового резонатора. Описано методику вимірювань та конструкцію вимірювальної комірки, наведено теоретичне обґрунтування методу та результати експериментальних досліджень. Бі-бл. 9, рис. 2, табл. 1.

Ключові слова: мікросмужковий резонатор; діелектричні матеріали; резонансна частота; діелектрична проникність; тангенс кута діелектричних втрат; НВЧ параметри.

I. Вступ

Швидкий розвиток інформаційних технологій потребує створення пристроїв зв'язку, принцип дії яких базується на новітніх методах передачі та обробки даних. Розробка таких пристроїв є немислимою без використання нових матеріалів із низкою властивостей, а саме: низьким рівнем діелектричних втрат, високою діелектричною проникністю, високою температурною стабільністю, механічною міцністю, стійкістю до різноманітних зовнішніх впливів, низькою собівартістю тощо. Але створення таких матеріалів є складним технічним завданням, розв'язок якого неможливий без фундаментального дослідження їх фізичних властивостей. Тому дослідження, спрямовані на розробку нових методів вимірювання НВЧ характеристик діелектричних матеріалів, представляють безсумнівний інтерес.

У даний час, існує велика кількість методів дослідження матеріалів у надвисокочастотному діапазоні. Проте, дослідження в цій області не можуть вважатися завершеними, оскільки кожен з методів має недоліки, які обмежують його використання [1-5].

Одним з перспективних методів вимірювання НВЧ параметрів матеріалів може стати метод

неоднорідного мікросмужкового резонатора. Тому метою даної роботи є дослідження можливості використання неоднорідного мікросмужкового резонатора для вимірювання НВЧ параметрів діелектричних матеріалів.

II. Метод неоднорідного мікросмужкового резонатора

Метод неоднорідного мікросмужкового резонатора відноситься до групи резонансних методів вимірювання НВЧ параметрів діелектричних матеріалів [2,3,5]. Дана група методів характеризується високою точністю та базується на вимірюванні резонансної частоти і добротності системи, яка містить досліджуваний зразок. Отримані результати порівнюються з результатами вимірювання резонансної частоти і добротності даної системи (базового резонатора) за відсутності досліджуваного зразка. За значенням зміщення резонансної частоти системи розраховують діелектричну проникність досліджуваного матеріалу, а за зміною добротності системи визначають його тангенс кута діелектричних втрат. Застосування методів з даної групи потребує наявності вимірювальної комірки на основі базового резонатора, характеристики якого відомі.

Для реалізації методу неоднорідного мікросмужкового резонатора було виготовлено комірку (рис. 1), яка представляє собою полосозагроджуючий фільтр на основі мікросмужкового резонатора. Конструкція фільтра така: на металевому електроді 1 розміщено діелектричну підкладку з полікору 2, на яку нанесено мікросмужкову лінію 3 та мікросмужковий опорний резонатор 4. Мікросмужкова лінія та резонатор розділені ємнісною щільною. Досліджуваний зразок 6 розміщується на кінці опорного резонатора та фіксується за допомогою затискача 5. Гвинтом 7 затискач закріплюється на електроді 1 із утворенням електричного зв'язку між ними. Металевий електрод 1 заземлений.

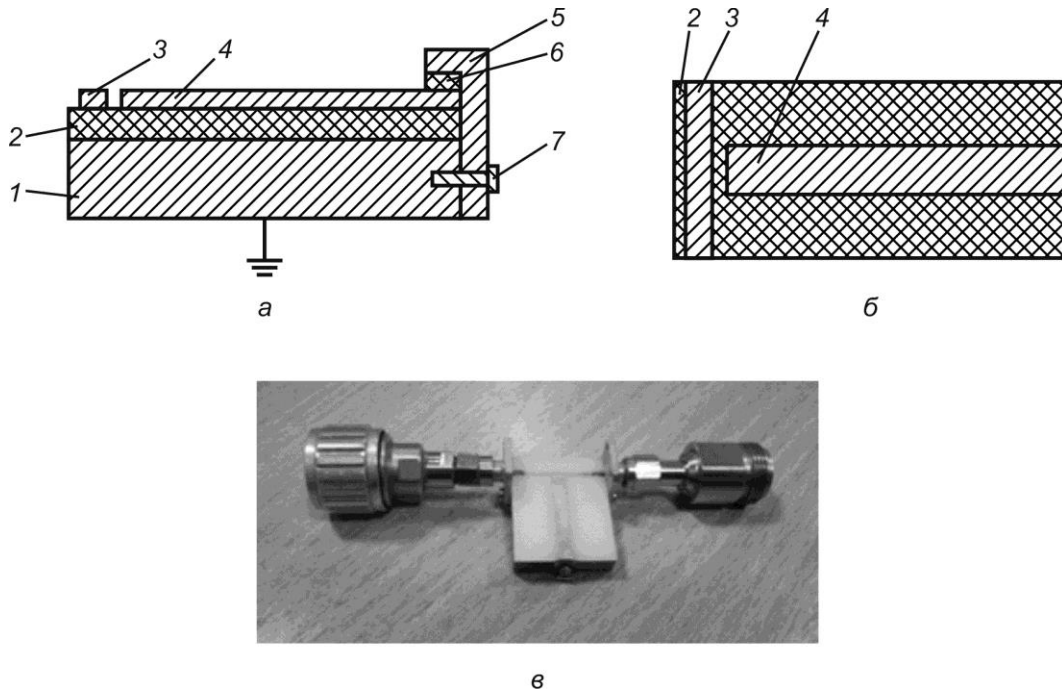


Рис. 1. Структура вимірювальної комірки (а – вид збоку, б – вид зверху без затискача) та її фото (в)

Описана вище вимірювальна комірка за допомогою коаксіального кабелю підключається до панорамного вимірювача (рис. 2).

Відомо, що у випадку малих втрат резонансної частоти мікросмужкового резонатора можуть бути визначені з виразу [6,7]:

$$\frac{1}{2\pi f_0 C} = 2Z_0 \frac{(-1)^{n-1} - \cos(\theta)}{\sin(\theta)},$$

де f_0 – резонансна частота резонатора, Z_0 –

хвильовий опір резонатора, C – ємність резонатора, n – номер резонансної моди, θ – електрична довжина резонатора.

У свою чергу електрична довжина резонатора визначається виразом:

$$\theta = \frac{2\pi f_0 l}{v},$$

де l – довжина резонатора, v – швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі в резонаторі.

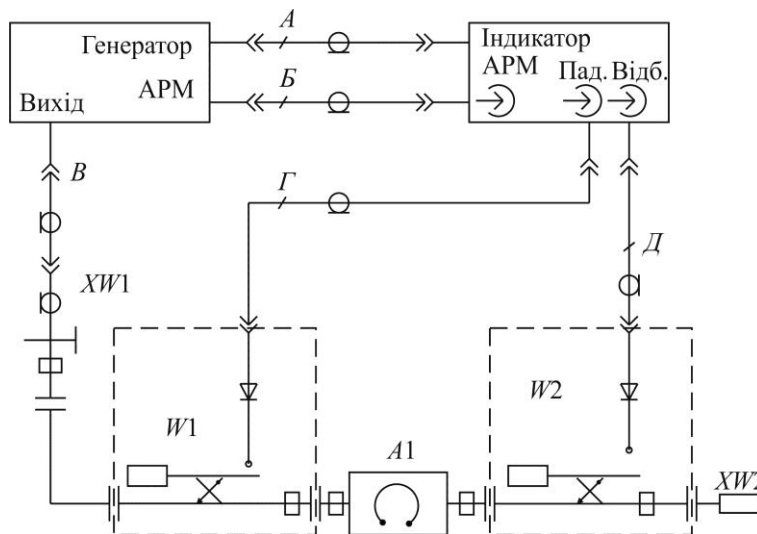


Рис. 2. Схема підключення вимірювальної комірки до панорамного вимірювача: А1 – вимірювальна комірка; W1, W2 – рефлектометри падаючої та відбитої хвиль; XW1 – коаксіальний перехід; XW2 – узгоджене навантаження; А, Б, В, Г, Д – високочастотні кабелі

Таким чином, знаючи характеристики та розміри мікросмужкового резонатора, а також його резонансні частоти без досліджуваного зразка та із зразком можна вирахувати ємність цього зразка, а за розмірами зразка і його ємністю – обчислити діелектричну проникність досліджуваного матеріалу.

Рівень діелектричних втрат у досліджуваному матеріалі можна обчислити за таким виразом:

$$\frac{1}{Q_{\Sigma}} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_s},$$

де $\frac{1}{Q_{\Sigma}}$ – втрати у резонаторі із досліджуваним

зразком, $\frac{1}{Q_0}$ – втрати у базовому резонаторі,

$\frac{1}{Q_s}$ – втрати у досліджуваному зразку, $\frac{1}{Q_m}$ –

втрати у металі затискача.

Для перевірки описаного методу було проведено вимірювання НВЧ діелектричної проникності та тангенса кута діелектричних втрат керамічних діелектричних матеріалів. Результати експериментальних досліджень наведені у табл.1.

Таблиця 1. НВЧ параметри керамічних діелектриків

Матеріал	Експериментальні дані		Довідкові дані [8,9]	
	ϵ	$\text{tg } \delta \cdot 10^4$	ϵ	$\text{tg } \delta \cdot 10^4$
TiO ₂	103	5,6	100	1,5...6
CaTiO ₃	143	9,4	150	6...18
SrTiO ₃	285	15	270...290	12...20

Як видно з табл. 1, експериментальні дані добре узгоджуються з наведеними у літературі.

Висновки

Отримані результати показують, що запропонований метод дозволяє вимірювати НВЧ параметри матеріалів з достатньою для практичного використання точністю. Похибка вимірювань може бути зменшена шляхом збільшення точності вимірювання геометричних розмірів зразка, чого можна досягти двома шляхами: за рахунок вимірювання розмірів зразка більш точним (і більш дорогим) методом або вибором для вимірювання максимально можливого розміру зразка (цей розмір обмежений діапазоном частот, у якому проводиться вимірювання, а також вибором відповідної моди зразка).

Список використаних джерел

1. *Поплавко Ю.М.* Мікрохвильова діелектрична спектроскопія / Ю. М. Поплавко, В. І. Молчанов, В. А. Казміренко. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 304 с.
2. *Диденко Ю.В.* СВЧ методы измерения параметров диэлектрических материалов на основе составного диэлектрического резонатора / Ю.В. Диденко, В.И. Молчанов, В.М. Пашков, Д.Д. Татарчук, Д.А. Шмыгин // Electronics and Communications. – 2014. – Т. 19. – №6(83). – С. 14–20.
3. *Татарчук Д.Д.* Вимірювання НВЧ параметрів матеріалів методом діелектричного резонатора Е-типу / Д.Д. Татарчук // Електроника и связь. – 2002. – №14. – С. 22–23.
4. *Pashkov V.* Measurement of dielectric films microwave parameters / V. Pashkov, V. Bovtun, Y. Prokopenko, M. Kempa, V. Molchanov, et al. // Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo'2009): Proc. of 19th Int. Crimean Conf. (Sept. 2009, Sevastopol, Ukraine). – Sevastopol, 2009. – PP. 769–770.
5. *Молчанов В.И.* Измерение СВЧ параметров диэлектрических материалов методом тонкого диэлектрического резонатора / В.И. Молчанов, В.М. Пашков, Д.Д. Татарчук, А.С. Франчук // Electronics and Communications. – 2015. – Vol. 20. – №1(84). – PP. 23–26.
6. Новый подход к построению фильтров, перестраиваемых варикапами [Текст] / А. В. Захаров, М. Е. Ильченко // Радиотехника и электроника. – 2010. – Т. 55, № 12. – С. 1523–1531.
7. Добротность сегнетоэлектрических конденсаторов, используемых в перестраиваемых фильтрах сверхвысоких частот [Текст] / А. В. Захаров [и др.] // Радиотехника и электроника. – 2011. – Т. 56, № 8. – С. 1017–1022.
8. Handbook of Condensed Matter and Materials Data / Editors W. Martienssen, H. Warlimont. – Berlin – Heidelberg : Springer, 2005. – 1124 p.
9. *Безбородов Ю.М.* Фильтры СВЧ на диэлектрических резонаторах / Ю. М. Безбородов, Т. Н. Нарытник, В. Б. Фёдоров. – Киев: Техника, 1989. – 184 с.

Поступила в редакцию 25 декабря 2015 г.

УДК 621.372.41

Д.Д. Татарчук, канд. техн. наук, **В.И. Молчанов**, канд. техн. наук, **Ю.В. Диденко**, **М.С. Сергеев**,
Ю.М. Поплавко, д.-р. техн. наук

Национальный технический университет Украины «КПИ»,
ул. Политехническая, 16, г. Киев, 03056, Украина.

Измерение СВЧ параметров материалов методом неоднородного микрополоскового резонатора

В статье представлен метод измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь диэлектрических материалов в микроволновом диапазоне длин волн с помощью неоднородного микрополоскового резонатора. Описаны методика измерений и конструкция измерительной ячейки, приведены теоретическое обоснование метода и результаты экспериментальных исследований. Библ. 9, рис. 2, табл. 1.

Ключевые слова: микрополосковый резонатор; диэлектрические материалы; резонансная частота; диэлектрическая проницаемость; тангенс угла диэлектрических потерь; СВЧ параметры.

UDC 621.372.41

D. Tatarchuk, Ph.D., **V. Molchanov**, Ph.D., **Y. Didenko**, **M. Serhieiev**, **Y. Poplavko**, Dr.Sc.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»,
st. Polytechnique, 16, Kyiv, 03056, Ukraine.

Measuring of the microwave materials parameters on the base of the inhomogeneous microstrip resonator method

In this paper the method for measuring the dielectric constant and dielectric loss tangent of the dielectric material in the microwave range of wavelengths using the inhomogeneous microstrip resonator is presented. The measurement technique and the design of the measuring cell are described, the theoretical basis of the method and results of experimental studies are given. Reference 9, figures 2, tables 1.

Keywords: microstrip resonators; dielectric materials; resonant frequency; dielectric permittivity; dielectric loss tangent angle; microwave parameters.

References

1. Poplavko, Y. M., Molchanov, V. I., Kazmirenko, V. A. (2011). Microwave dielectric spectroscopy. Kyiv, NTUU "KPI". P. 304. (Ukr)
2. Didenko, Y. V., Molchanov, V. I., Pashkov, V. M., Tatarchuk, D. D., Shmygin, D. A. (2014). The microwave methods of measuring the parameters of the dielectric materials based on composite dielectric resonator. Electronics and Communications. Vol. 19, No. 6(83), pp. 14 – 20. (Rus)
3. Tatarchuk, D. D. (2002). The measurement microwave parameters of materials by E-Type dielectric resonator method. Electronics and Communications. Vol. 14, pp. 22 – 23. (Ukr)
4. Pashkov, V., Bovtun, V., Prokopenko, Y., Kempa, M., Molchanov, V. et al. (2009). Measurement of dielectric films microwave parameters. Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo'2009) : Proc. of 19th Int. Crimean Conf. (Sept. 2009, Sevastopol, Ukraine). PP. 769 – 770.
5. Molchanov, V. I., Pashkov, V. M., Tatarchuk, D. D., Franchuk, A. S. (2015). The measurement of dielectric materials microwave parameters by thin dielectric resonator method. Electronics and Communications. Vol. 20, no. 1(84), pp. 23 – 26. (Rus)
6. Zakharov, A. V., Ilchenko, M. E. (2010). A new approach to the construction of filters tunable by varactors. Radio Engineering and Electronics. Vol. 55, no. 12, pp. 1523 – 1531. (Rus)
7. Zakharov, A. V. et al. (2011). The quality factor of the ferroelectric capacitor used in microwave tunable filters. Radio Engineering and Electronics. Vol. 56, no. 8, pp. 1017 – 1022. (Rus)
8. Martienssen, W., Warlimont, H. (eds.) (2005). Handbook of Condensed Matter and Materials Data. Berlin – Heidelberg, Springer. P. 1124.
9. Bezborodov, Y. M., Narytnik, T. N., Fedorov, V. B. (1989). Microwave filters based on dielectric resonators. Kyiv, Tekhnika. P. 184.