

БЛИЖНЕПОЛЕВОЙ СВЧ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ КОНУСНОГО КООКСИАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА

Гордиенко Ю. Е., Слипченко Н. И., Яцкив А. М.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
г. Харьков, пр. Ленина 14, 61009, Украина
тел.: +38 (057) 7021362, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Аннотация — В работе рассматривается модель СВЧ датчика на основе конусного коаксиального резонатора. Выполнена численная оценка влияния радиуса апертуры на распределение полей в диагностируемом объекте и приведена зависимость исходной добротности от рабочей частоты в определенном дискрете частот.

I. Введение

В технике неразрушающего контроля материалов и объектов широко используются СВЧ датчики коаксиального типа с торцевой измерительной апертурой. В настоящее время особое внимание исследователей привлекают их резонаторные варианты для ближнеполевой сканирующей микроволновой микроскопии (БПММС) [1].

Достигнутые экспериментально результаты оценки метрологических свойств таких датчиков свидетельствуют о наличии проблемы одновременного повышения их чувствительности и пространственной разрешающей способности в широком диапазоне значений СВЧ электрических параметров материалов (ВТСП, проводники, полупроводники, диэлектрики).

Целью работы является определение возможности использования СВЧ коаксиального датчика на основе конусного резонатора в решении указанной проблемы.

II. Основная часть

Важнейшими преимуществами апертурных коаксиальных СВЧ резонаторных датчиков перед объемными являются возможность достижения высокого пространственного разрешения (до 0,1 мкм) и широкий частотный диапазон практической реализации от 0,1 до 35 ГГц. При этом пространственная разрешающая способность ограничивается в первую очередь добротностью резонатора.

Следует отметить, что резонатор в апертурных коаксиальных датчиках является четвертьволновым, поэтому его добротность в отсутствие объекта контроля определяется как СВЧ потерями в стенках, так и потерями на излучение в свободное пространство. Нами в [2, 3] показано, что потери на излучение сильно зависят от геометрии апертуры и могут превышать потери в стенках.

В БПММС размеры апертуры существенно меньше (в $10^4 \dots 10^6$ раз) рабочей длины волны, поэтому для повышения рабочей добротности поперечные размеры накопительной части резонатора превышают апертурные, а длина его выбирается в несколько половин.

Если исходить из известного соотношения для добротности полуволнового коаксиального резонатора

$$Q_{00} = \frac{L_0}{2\delta_{\text{нб}}} \left[1 + \frac{L_0(R_{2t}^{-1} + R_{1t}^{-1})}{2 \ln \frac{R_{2t}}{R_{1t}}} \right]^{-1}, \quad (1)$$

то нетрудно убедиться, что для реального соотношения $R_2 \ll L_0$

$$Q_{00} = \frac{R_2}{\delta_{\text{нб}}} \frac{\ln \frac{R_{2t}}{R_{1t}}}{\left(1 + 2 \frac{R_{2t}}{R_{1t}} \right)}, \quad (2)$$

Откуда с учетом взаимосвязи пространственной разрешающей способности с величиной R_{1t} возникает вывод о целесообразности конусного конструктива коаксиального резонаторного датчика апертурного типа. При таком конструктиве (рис. 1) накопительная часть I обеспечивает одновременное повышение добротности и согласование ее с малоразмерной апертурой II, обеспечивающей заданную пространственную разрешающую способность.

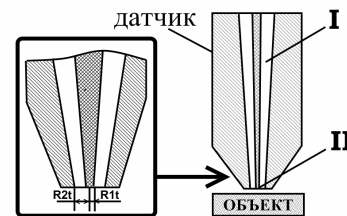


Рис.1. Общий вид модели.

Fig.1. General view of model

Выражение для исходной добротности апертурного датчика будет отличаться от (1), (2) вкладом потерь на излучение в апертуру

$$Q_{00} = \frac{1}{Q_{00}^{-1} + \frac{P_{\text{изл}}}{\omega \mu_0 \int_{V_{\text{про}}} H_{\phi}^2 dv}}, \quad (3)$$

Откуда видно, что реально повышать Q_{00} изложенным приемом целесообразно до выполнения условия

$$Q_{00}^{-1} \ll \frac{P_{\text{изл}}}{\omega \mu_0 \int_{V_{\text{про}}} H_{\phi}^2 dv}. \quad (4)$$

В БПММС важно также реализовывать исследования на нескольких разнесенных частотах для выделения неоднородности электропроводимости на фоне общих СВЧ потерь в материале.

Коаксиальные резонаторные датчики в этом отношении выгодно отличаются от «одночастотных» объемных. Нетрудно оценить, что они позволяют иметь следующий дискрет рабочих частот

$$f_{\bar{i}} = \left(\frac{2n_i + 1}{2n_s + 1} \right) f_s, \quad (5)$$

Конусность датчика при этом сглаживает рассогласованность накопительной части с апертурной при переходе на другую рабочую частоту.

Выражение (3) практически сложно исследовать в аналитическом виде. Поэтому оценки метрологических параметров и свойств датчика целесообразно

осуществлять путем численных исследований. В работе все численные исследования выполнены на основе метода конечных элементов для решения уравнений Максвелла и реальных граничных условий в электродинамической системе датчик-объект (рис. 1).

На рис. 2 приведены зависимости исходной добротности Q_{00} датчика от рабочей частоты из указанного выше дискрета. Зависимости одновременно иллюстрируют влияние раскрытия апертуры на значение исходной добротности Q_{00} .

При расчетах оценивалась ненагруженная добротность. Электропроводность стенок выбрана для меди ($\sigma = 5,6 \cdot 10^5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$).

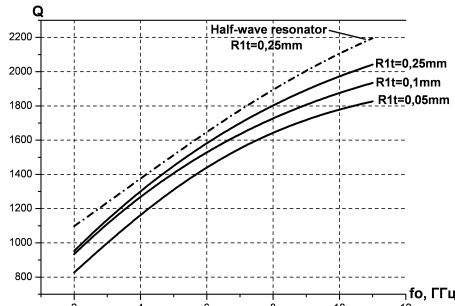


Рис. 2. Зависимость исходной добротности Q_{00} от рабочей частоты f_0 .

Fig. 2. Characteristic curve of Q_{00} vs operating frequency f_0

Здесь же представлена зависимость ненагруженной добротности полуволнового коаксиального резонатора на основе конусного конструктива (рис. 1) от рабочей частоты. Сравнение с четвертьволновым вариантом хорошо отражает вклад потерь на излучение и их зависимость от геометрии апертуры.

На рис. 3 представлено распределение полей E , E_z и E_r основного вида колебаний ТЕМ на частоте $f_0 = 7,89 \text{ ГГц}$ в зависимости от r и z при различных R_{1t} .

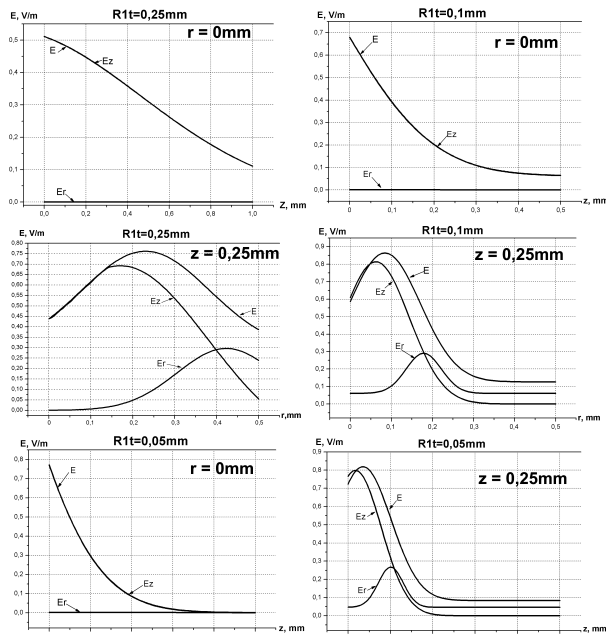


Рис. 3. Распределение полей E , E_z и E_r в конусном коаксиальном резонаторе в зависимости от размеров радиуса R_{1t} .

Fig. 3. Field distribution E , E_z and E_r versus radius R_{1t} , in cone coaxial resonator

Из этих зависимостей следует, что уменьшение радиуса центрального проводника в апертуре увеличивает вклад E_z -компоненты в полное электрическое поле колебания в апертуре. Глубина «провисания» электрического поля в полупространстве уменьшается с уменьшением R_{1t}/R_{2t} .

III. Заключение

В ходе работы была рассмотрена модель СВЧ датчика на основе конусного коаксиального резонатора и определена возможность применения такого датчика при решении задач БПММС. Проведенные вычисления позволяют определить оптимальные размеры апертуры датчика, которые могут быть использованы для дальнейшей оптимизации конструктива датчика.

IV. Список литературы

- [1] Chen L. F., Ong C. K., Neo C. P., Varadan V. V., Varadan V. K. Microwave Electronics: Measurement and Materials Characterization, 2004, p. 280 — 284
- [2] Гордиенко Ю. Е., Петров В. В. Численная оценка потерь на излучение в СВЧ резонаторных датчиках с коаксиальной апертурой // Радиотехника — 2006. — № 146.
- [3] Гордиенко Ю. Е. Ближнеполевая сканирующая сверхвысокочастотная микродиагностика объектов в технологии электроники // Нові технології. 2002. №1. С.3 — 6.

NEAR-FIELD MICROWAVE PROBE ON THE BASIS OF CONE COAXIAL RESONATOR

Gordienko Y. E., Slipchenko N. I., Yatskiv A. M.
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Lenin avenue 14, 61009, Ukraine
Ph.: +38(057)7021362, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Abstract — In present work a model of microwave probe based on the cone coaxial resonator is considered. The numeric evaluation of influence of aperture radius on field distribution in diagnosed object is fulfilled and dependence of initial high quality on operating frequency in certain frequency range is explained.

I. Introduction

In equipment of nondestructive testing of materials and objects the coaxial microwave probes with the frontal measuring aperture are widely used. At present analysts pay special attention to the resonators for the near-field scanning microwave microscopy (NFSMM) [1].

II. Main Part

The general view of model is shown on fig. 1.

In work all numerical researches are made on the basis of finite element analysis of Maxwell equations and real boundary conditions of the probe-object in the system of electrodynamics.

Characteristic curves on fig. 2, 3 illustrate dependence Q_{00} from f_0 and modulus of distribution of electric intensity E , E_z and E_r versus R_{1t} in the cone coaxial resonator.

III. Conclusion

The model of microwave probe based on the cone coaxial resonator has been investigated and an opportunity of application of such probe in problem solving of NFSMM has been examined. The done calculations allow defining the optimum sizes of the aperture of probe which might be used for further optimization of its construction.