

СТРУКТУРА ПОЛЯ В КОАКСИАЛЬНОЙ АПЕРТУРЕ РЕЗОНАТОРНОГО ЗОНДА ДЛЯ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОВОЛНОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Проказа А. М., Шевченко С. В.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
г. Харьков, пр. Ленина 14, 61166, Украина
тел.: (057) 702-13-62, e-mail: meru@kture.kharkov.ua

Аннотация — С помощью численных методов решения уравнений Максвелла изучена структура поля в образце, исследуемом ближнеполевым сканирующим микроволновым микроскопом на датчике основе коаксиального конусообразного резонатора. Определено влияние формы острия резонаторного зонда на распределение электромагнитного поля в образце формы острия, величины тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости материала образца, зазора между микрозондом и образцом.

I. Введение

Важной задачей сканирующей микроволновой микроскопии является увеличение чувствительности и определение оптимальных параметров микроволнового зонда. Одним из наиболее распространенных конструктивов зондов для СММ является коаксиальный микрозондовый резонаторный датчик.

Потери в системе резонатор – образец, которые, в конечном счете, влияют на величину нагруженной добротности резонатора и его рабочую частоту, можно условно разделить на три категории:

- потери из-за конечной проводимости стенок резонатора;
- потери за счет затухания поля в образце;
- потери на излучение [1].

Пространственная разрешающая способность микроскопа определяется размерами зонда, расстоянием до образца, а также структурой полей, возбуждаемых в резонаторе и исследуемом образце: чем глубже проникает поле в образец, тем больший вклад в общие потери вносят потери в образце, однако распределение поля по большей площади одновременно приводит к уменьшению разрешающей способности микроскопа. Чувствительность зависит от величины коэффициента преобразования изменений электрофизических характеристик исследуемого материала в изменение характеристик резонатора и точности измерения этих изменений [2, 3].

Цель работы — анализ влияния изменений электрофизических параметров образца и формы острия зонда на структуру поля в образце и, как следствие, на чувствительность системы в целом.

II. Основная часть

Полученные данные показывают, что прямо под зондом преобладает нормальная составляющая электрического поля. С удалением от центра наблюдается увеличение тангенциальной компоненты.

Выяснено, что форма острия зонда значительно влияет на распределение поля в образце. На рис. 1 показано распределение поля вдоль радиуса образца для зондов с различной формой острия, внешний радиус апертуры резонаторов $R_{21}=600$ мкм, резонансная частота 8 ГГц, зазор между резонатором и образцом отсутствует. На приведенном рисунке видно, что в случае плоского острия зонда радиусом 25 и 50 мкм, поле имеет «трубчатый» характер. Непосредственно под зондом напряженность поля ниже, чем возле краев зонда, в отличие от случая с острием в виде сегмента сферы (радиус острия 50 мкм, высота сегмента 10 и 50 мкм), когда максимум напряженности поля наблюдается непосредственно под зондом. При этом, чем больше высота сегмента, тем выше концентрация поля под зондом. Показано, что непосредственно под зондом преобладает нормальная составляющая, с удалением от центра величина тангенциальной составляющей увеличивается (рис. 2).

средственно под зондом напряженность поля ниже, чем возле краев зонда, в отличие от случая с острием в виде сегмента сферы (радиус острия 50 мкм, высота сегмента 10 и 50 мкм), когда максимум напряженности поля наблюдается непосредственно под зондом. При этом, чем больше высота сегмента, тем выше концентрация поля под зондом. Показано, что непосредственно под зондом преобладает нормальная составляющая, с удалением от центра величина тангенциальной составляющей увеличивается (рис. 2).

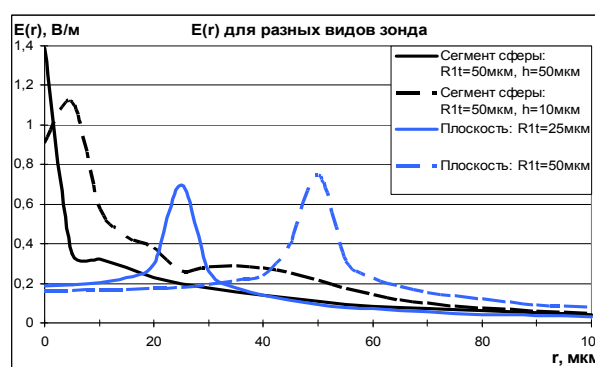


Рис. 1. Распределение напряженности поля на поверхности образца вдоль радиуса с параметрами $tg\delta=10^{-3}$, $\epsilon=2$.

Fig. 1. Radial field density distribution on the sample surface with parameters $tg\delta=10^{-3}$, $\epsilon=2$

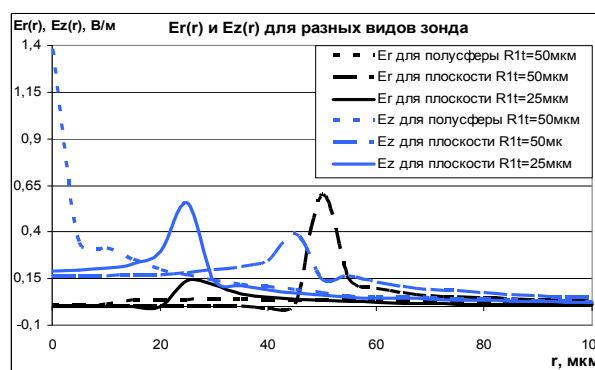


Рис. 2. Распределение нормальной и тангенциальной составляющих электрического поля вдоль радиуса на поверхности образца с параметрами $tg\delta=10^{-3}$, $\epsilon=2$.

Fig. 1. Radial field distribution of normal and tangential field parts on the sample surface with parameters $tg\delta=10^{-3}$, $\epsilon=2$

Увеличение зазора между образцом и резонатором приводит к увеличению доли потерь на излучение в общих потерях в резонаторе. С одной стороны поле проникает в образец не так глубоко и это минимизирует влияние глубоко залегающих неоднород-

ностей, с другой стороны это также снижает добротность системы, а, следовательно, и ее чувствительность. Острие зонда имеет форму сегмента сферы высотой $h=50$ мкм, $R_{11}=50$ мкм, $R_{21}=600$ мкм, резонансная частота 8 ГГц (см. рис. 3).

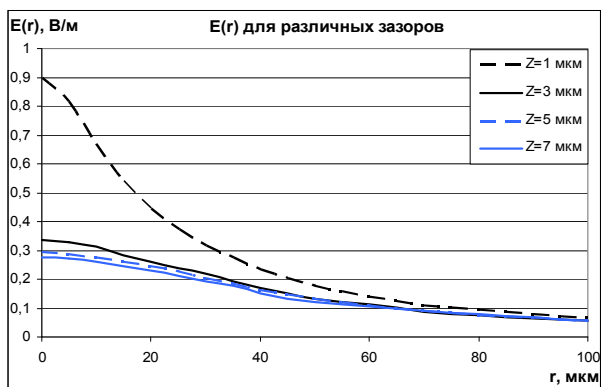


Рис. 3. Распределение поля на поверхности образца вдоль радиуса с параметрами $tg\delta=10^{-3}$, $\epsilon=2$, для зазоров 1; 3; 5; 7 мкм.

Fig. 3. Radial field distribution on the sample surface with parameters $tg\delta=10^{-3}$, $\epsilon=2$, for 1; 3; 5; 7 mkm gap

На рис. 4 показано распределение поля на частоте 8 ГГц вдоль оси образца в зависимости от значений его электрофизических параметров, в частности, для различных ϵ при фиксированном $tg\delta$. Как видим, с увеличением ϵ напряженность электрического поля в образце уменьшается. Этот эффект сильнее проявляется при малых значениях ϵ .

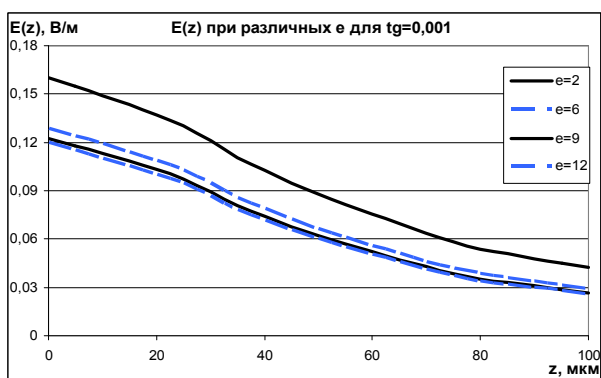


Рис. 4. Распределение поля в образце вдоль оси резонатора для $tg\delta=10^{-3}$ и различных значений ϵ .

Fig. 4. Axial field distribution in sample for $tg\delta=10^{-3}$ and different ϵ .

III. Заключение

Установлена зависимость между электрофизическими параметрами образца и изменением величины и формы поля, проникающего в образец. Апертуру резонатора можно представить в виде излучающей в образец и щель между образцом и резонатором антенны. При увеличении зазора между образцом и резонатором потери на излучение заметно возрастают, что отображается на глубине проникновения поля в образец.

Острие зонда в виде сегмента сферы является предпочтительным по сравнению с плоским, поскольку такая конфигурация обеспечивает единственный максимум напряженности поля – непосредственно под зондом, и, как следствие, большую разрешающую способность.

IV. Список литературы

- [1] Ю. Е. Гордиенко, Ю.И. Гуд, Д.А. Полетаев Вклад колебательных и излучательных потерь в характеристики СВЧ преобразователей с коаксиальной измерительной апертурой.
- [2] Microwave Electronics. Measurements and Materials Characterization / L. F. Chen, C. K. Ong, C. P. Neo et al. – John Wiley & Sons, Ltd., 2004. – 537p
- [3] Rosner B. High-frequency near-field microscopy / B. Rosner, D. V. Van der Weide // Review of Scientific Instruments. – 2002. – v.73, N7. – P. 2505–2525.

THE STRUCTURE OF THE FIELD IN THE COAXIAL APERTURE OF CAVITY PROBE FOR SCANNING MICROWAVE MICROSCOPY

Prokaza A. M., Shevchenko S. V.
Kharkov National University of Radioelectronics
14, Lenin Ave. Kharkov, 61166, Ukraine
Ph.: 068-600-94-28, e-mail: sheva.serg@gmail.com

Abstract — The structure of the field in the sample studied with near-field scanning microwave microscope based on coaxial cone resonator is investigated. Dependencies of changes of a probe tip shape, field distribution with changing electrophysical parameters of sample are obtained.

I. Introduction

One of the most important problems solving by modern science is development of new and upgrading of present methods of noninvasive control of different mediums. The near-field microwave microscopy method allows studying not only physical discontinuities but also chemical ones unlike tunnel or AF microscopy methods.

The instruments of an investigation are measurements of changing operation frequency and quality factor of microscope cavity which depends on losses. Losses can be separated into three parts: cavity walls losses, radiation losses and losses in the sample. Spatial resolution ability is determined by cavity and tip dimensions and gap between cavity and resonator, structure of microwave field.

II. Main Part

The probe shape affects field distribution in the sample. When probe tip shape is flat the field has "tube" form with two maximums.

Increasing of gap between cavity and sample causes increasing radiation losses part in general losses. Fields does not pierce deeply in the sample and affection of deep discontinuities decreases.

III. Conclusion

The dependency between electrophysical sample parameters, frequency and quality factor is established. The aperture of cavity can be represented as an antenna, radiating into the sample and gap between sample and cavity. With increasing the gap radiation losses increase too.

The spherical probe tip shape is preferred in comparison with flat because such configuration supplies only one maximum of field density and better resolution ability.