

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РЕЗОНАТОРНЫХ ЗОНДОВ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОВОЛНОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Гордиенко Ю. Е., Гуд Ю. И., Ларкин С. Ю., Слипченко Н. И.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина
тел.: (057) 702-13-62, e-mail: meru@kture.kharkov.ua

Аннотация — Приводятся результаты численного исследования зависимости фундаментальных сигналов сканирующей микроволновой микроскопии от радиуса и формы острия резонаторного зонда. Показано, что контрастность формируемых изображений практически линейно зависит от радиуса острия как при его сферической, так и конической форме. Этот вскрытый физический аспект особенно важен для прогнозирования развития зондовой сканирующей микроволновой микроскопии.

I. Введение

Одним из широко используемых в настоящее время методов физического исследования наноматериалов является ближнеполевая сканирующая микроскопия [1]. Наиболее перспективное ее направление – зондовая сканирующая микроволновая микроскопия (СММ), базирующаяся на применении резонаторных зондов (РЗ) [2]. Сложной проблемой в СММ является одновременное повышение пространственной разрешающей способности (ПРС) и контрастности формируемых изображений распределения физических параметров объекта контроля [3].

При использовании в СММ резонаторных зондов сигналами измерительной информации являются величины, связанные с изменением добротности и резонансной частоты зонда. В литературе отсутствуют сведения о количественной взаимосвязи величины формируемых сигналов РЗ с радиусом острия зонда, непосредственно определяющего ПРС СММ.

Целью данной работы является выявление такой взаимосвязи и попытка теоретически оценить перспективы повышения разрешающей способности зондовой СММ.

II. Основная часть

В работе [4] была показана возможность построения основ теории зондовой СММ по результатам численного моделирования свойств конусного коаксиального РЗ. Фундаментальными сигналами сканирования при этом являются величины добротности Q и резонансной частоты f РЗ, а также их изменения (ΔQ^{-1} и $\Delta f/f$) относительно этих параметров без объекта контроля ($Q_0=2 \cdot 10^3$; $f_0=7,8$ ГГц).

В данной работе, в первую очередь, исследовалось влияние формы и размеров острия РЗ на распределение поля в объекте с однородным распределением электрических свойств (ε и $\text{tg} \delta$).

Для коаксиальной апертуры РЗ распределение нормальной и тангенциальной к плоскости объекта составляющих поля зависит от формы и радиуса сечения оконечности острия R_{1t} . Для острия сферической формы непосредственно под ним локализуется вклад нормальной компоненты поля. При острие в виде усеченного конуса распределение полного поля РЗ носит «трубчатый» характер с резким переходом от нормальной к объекту поляризации к тангенциальной на периферии острия [5]. Для зондовой СММ функционально важно ближнее поле, формируемое нормальной компонентой.

На рис.1 представлены полученные зависимости $\Delta f/f$, ΔQ^{-1} от радиуса острия R_{1t} . Обращает на себя внимание близкая к линейной зависимость сигналов $\Delta f/f$ и ΔQ^{-1} от R_{1t} .

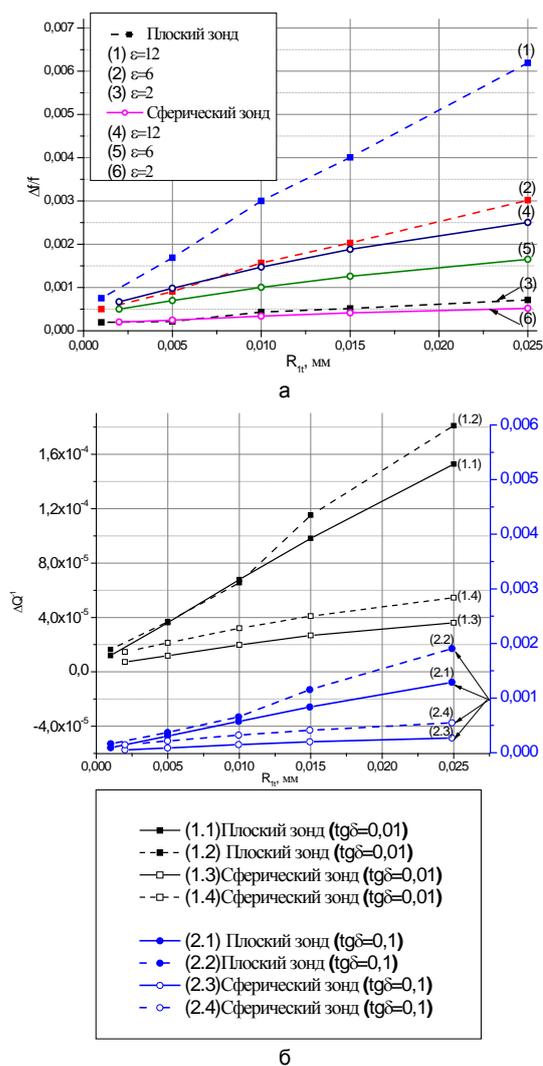


Рис. 1. Графики зависимости величин $\Delta f/f$ и ΔQ^{-1} для различных размеров и форм острия.

Fig. 1. Graphs of values of $\Delta f/f$ and ΔQ^{-1} for different sizes and shapes of the tip

Отдельно рассмотрен вопрос корреляции рассматриваемых зависимостей с теорией малых возмущений. С этой целью на рис.1,б представлены пунктиром графики $\Delta Q^{-1}=\varphi(R_{1t})$, полученные в соответствии с данной теорией, на основе рассчитанных значений $\Delta f/f$, а сплошными линиями – графики на основе прямого вычисления значения ΔQ^{-1} .

Четко видно, что с увеличением R_{1t} и $\text{tg} \delta$ объекта, теория малых возмущений не соответствует точным вычислениям при разных формах острия.

Для полноты физической картины на рис. 2 приведены зависимости характеристик преобразования РЗ по сигналам, связанным с изменением его добротности, от радиуса сечения сферического и конусного острия.

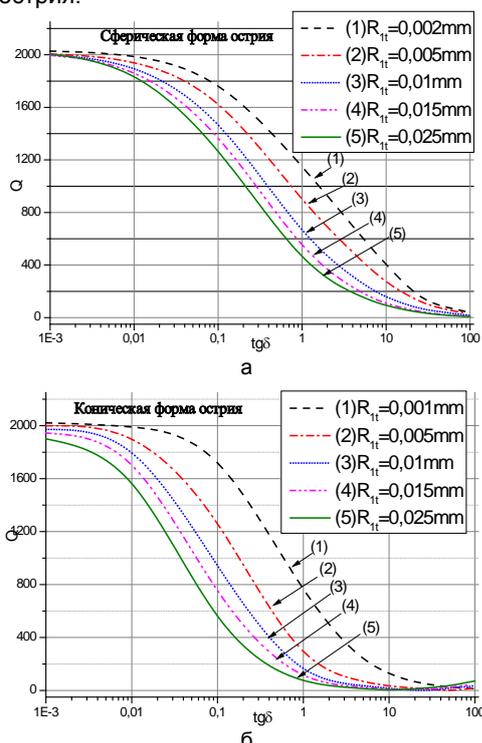


Рис. 2. Графики зависимости добротности РЗ от $\text{tg}\delta$ объекта для различных значений $R_{\text{тп}}$ и его формы.

Fig. 2. Graphs of $Q(\text{tg}\delta)$ of RP for different values of $R_{\text{тп}}$ and its form

III. Заключение

В результате проведенных исследований РЗ для СММ и зависимости формируемых с их помощью сигналов сканирования от формы и радиуса сечения острия можно сделать следующие выводы:

- для острия в форме усеченного конуса характерна «трубчатость» распределения поля в измерительной апертуре. При сферичной форме острия ближнее поле зонда локализуется в объекте непосредственно под острием с сечением области локализации меньше $R_{\text{тп}}$;

- зависимость сигналов сканирования от $R_{\text{тп}}$ носит квазилинейный характер, что ослабляет проблему одновременного повышения ПРС и контрастности СММ. Физическая интерпретация этого факта связана с концентрацией поля под острием зонда, что особенно проявляется при его сферической форме;

- оценка сигналов сканирования показывает неприемлемость теории малых возмущений для интерпретации и реконструкции изображений в технике СММ. Для этих целей необходимо применять прямые численные методы анализа с последующей аналитической аппроксимацией результатов.

IV. Список литературы

- [1] *Scanning probe microscopy: electrical and electromechanical phenomena at the nanoscale* / edited by S.V. Kalinin, A. Gruverman. New York: Springer-Verlag. 2007. 980 p.
- [2] *Anlage S.M., Steinhauer D.E., Feenstra B.J. et al. Near-field microwave microscopy of materials properties // Microwave Superconductivity / edited by H. Weinstock, M. Nisenoff. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 2001. P. 239–269.*

- [3] *Imtiaz F., Anlage S.M. Effect of tip geometry on contrast and spatial resolution of the near-field microwave microscope // Journal of Applied Physics. 2006. Vol. 100. P. 1–8.*
- [4] *Гордиенко Ю.Е., Ларкин С.Ю., Яцкив А.М. Ближнеполевой СВЧ датчик на основе конусного коаксиального резонатора // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. X.: ХНУРЭ. 2009. №159. С. 309–314.*
- [5] *Gordienko Y.E., Larkin S.Y., Prokaza A.M. Electromagnetic properties of resonator microprobe for the scanning microwave microscopy // Telecommunications and Radio Engineering. 2011. Vol. 70. P. 1333–1342.*

RESOLUTION OF CAVITY PROBES OF SCANNING MICROWAVE MICROSCOPY

Gordienko Yu. E., Gud Yu. I., Larkin S. Yu., Slipchenko N. I.

Kharkov National University of Radioelektroniks
Kharkov, Lenin av., 14, 61166, Ukraine

Ph.: (057) 702-13-62, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Abstract — The results on numerical studies of the dependence of the fundamental signal scanning microwave microscopy upon the radius of tip shape of the cavity probe are described.

I. Introduction

The fundamental signals of measurement data are the values associated with a change in quality factor and resonance frequency of the probe used in a scanning microwave microscopy (SMM) of the resonator probe (RP) are discussed. There are no data of quantitative interrelation of signals generated from the RP probe tip radius, which directly determines the spatial resolution of the SMM described in the literature.

The aim of this paper is to identify such interactions and to theoretically evaluate the prospects for improving the resolution of the SMM scanning probe.

II. Main Part

In this paper the influence of shape and size of tip the RP at the field's distribution in an object with in the field distribution in an object of electrical properties was studied.

For a coaxial probe aperture, the distribution of the normal and tangential to the plane of the object field components depends on the shape and radius of the tip section $R_{\text{тп}}$. For a spherical tip, the contribution of the normal component of the field was localized directly below it. The tip is the form of a truncated cone in the distribution of the RP total field has a character of "pipe". In this case in the periphery of the tip a sharp transition is observed from normal polarization to the object toward the tangential polarization of total field. The near-field is important for the SMM which is generated by a normal component.

The problem of correlations of examined dependences with the theory of small perturbations had been considered separately. It is found that if an increase in the $\text{tg}\delta$ object and $R_{\text{тп}}$ takes place, the theory of small perturbations will not correspond to exact calculations with different forms of the tips.

III. Conclusion

The study resulted in the RP for the SMM and the scanning signals depending on the shape and radius of the tip. The following conclusion can be drawn:

- the tip is form of truncated cone in the distribution of the RP total field and has the character of "pipe". For a spherical tip, the near-field is localized in an object directly under the probe tip;

- dependence of the signals from the scanning $R_{\text{тп}}$ is quasi-linear, which simplifies the solution of the problem while increasing the spatial resolution and contrast of the SMM. The physical interpretation of this fact is related to the concentration field at the tip probe, which is particularly evident in its spherical shape.