

КОНУСНЫЕ РЕЗОНАТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ВЫСШИХ ВИДАХ КОЛЕБАНИЙ

Бондаренко И. Н., Галич А. В., Слипченко Н. И., Троицкий С. И.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина
тел.: (057) 702-13-62, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Аннотация — Проведен анализ возможностей использования конических коаксиальных резонансных структур, возбуждаемых на высших высокочастотных видах колебаний, для создания резонаторных измерительных преобразователей для сканирующего микроволнового микроскопа.

I. Введение

При использовании резонаторных измерительных преобразователей (РИП) в сканирующем микроволновом микроскопе (СММ) информационные сигналы представляют собой изменения добротности и сдвиги резонансной частоты, величина которых определяется изменениями величины потерь и диэлектрической проницаемости локального участка поверхности исследуемого материала [1, 2]. При этом, чем выше добротность РИП, тем выше чувствительность измерений.

Функционально, а в большинстве случаев и конструктивно, РИП СММ состоит из двух частей: резонаторной и микрозондовой. Резонаторная должна иметь максимально возможную добротность, а зондовая — максимально локализованную продольную (z-ю) составляющую поля.

Целью работы является анализ возможностей использования конических коаксиальных резонансных структур, возбуждаемых на высших высокочастотных видах колебаний, для создания РИП СММ.

II. Основная часть

Максимальные значения собственной добротности обычно достигаются с помощью объемных СВЧ резонаторов ($\sim 10^3 \dots 10^4$ в зависимости от вида колебаний и используемого материала).

Технологически наиболее удобными в изготовлении являются осесимметричные резонаторы: коаксиальные или цилиндрические.

В конструкции коаксиального конусного четвертьволнового резонатора достаточно просто реализуются колебания на волне ТЕМ типа и плавный переход от резонатора к зонду (рис. 1,а). Недостатком такой конструкции является низкая добротность четвертьволновых резонансов коаксиальной структуры, которые, как правило, даже для теоретических оценок не превышают нескольких тысяч, а на практике с учетом связей и потерь в соединениях могут быть и менее 10^3 .

Как показывает модельный эксперимент, в коническом коаксиальном резонаторе также возможно возбуждение колебаний, отличных от ТЕМ, при увеличении отношения внутреннего диаметра внешнего экранного проводника к диаметру внутреннего (рис. 1,б). Добротность резонатора получается при этом в несколько раз большей, чем для колебаний волн ТЕМ типа. Вариацией угла раскрытия конуса, его длины и отношения соответствующих диаметров проводников можно обеспечить необходимое значение резонансной частоты.

Сравнение и анализ структуры электромагнитных полей в поперечном сечении зоны возбуждения ко-

нического РИП и одного из возможных высших типов волн в коаксиальной линии показывают, что высокочастотный резонансный отклик в коническом коаксиальном РИП можно идентифицировать с низшим видом колебаний H_{111} в цилиндрическом резонаторе.

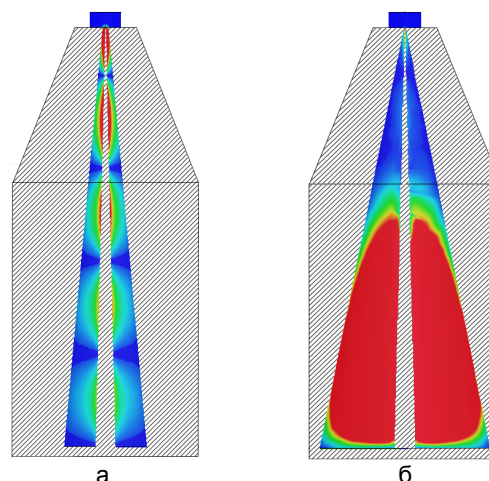


Рис.1 Структура поля E в конусных коаксиальных РИП.

Fig. 1 The structure of E in the conical coaxial RMT

В работе [3] показано, что в таких конических коаксиальных структурах могут существовать также резонансные колебания, структура поля которых похожа на структуру колебаний H_{112} , E_{011} , H_{221} в цилиндрическом резонаторе. Собственная добротность таких колебаний достигает величин порядка 10^4 и выше.

Обеспечение работы рассматриваемых резонансных нерегулярных структур на избранном виде колебаний является довольно сложной электродинамической и технической задачей, поскольку такая структура обладает многомодовостью и может возбуждаться на различных видах колебаний в рабочем диапазоне частот.

Так, например, для коаксиальной нерегулярной структуры с размерами $L = 81$ мм, $R_1 = 16$ мм диапазоне частот 8,01...12,23 ГГц будет возникать 8 резонансов, включая и относительно низкочастотные (до $1,5 \dots 2 \cdot 10^3$) резонансы n -четвертьволновых коаксиальных резонаторов [3].

Количество возможных резонансов в такой структуре может быть сокращено за счет выбора конструкции и места подключения элементов связи, предназначенных для возбуждения выбранного вида колебаний с определенной ориентацией магнитных и электрических составляющих поля.

Экспериментальная проверка результатов численного моделирования осуществлялась путем исследования режимов работы макетного образца конического коаксиального РИП, внешний вид которого приведен на рис. 2.

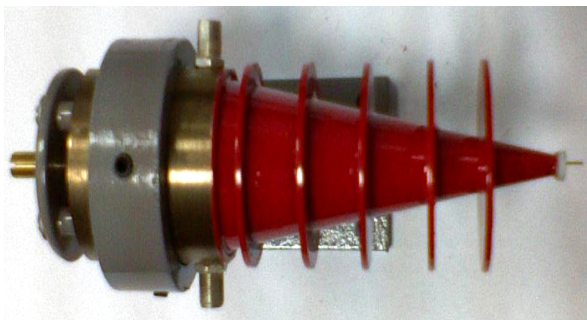


Рис. 2. Внешний вид конического коаксиального РИП.

Fig. 2. The appearance of the conical coaxial RMT

При экспериментальных исследованиях конической коаксиальной структуры (рис. 2) была выявлена возможность ее возбуждения как на четвертьволновых резонансах волны типа ТЕМ ($Q_n \sim 2 \dots 3 \cdot 10^2$), так и на высших видах колебаний типа квази- H_{111} ($Q_n \sim 3 \dots 4 \cdot 10^3$). При этом влияние характеристик образца, размещаемого вблизи зонда, на добротность и резонансную частоту возбуждаемых колебаний проявлялось только для четвертьволновых резонансов. Колебания вида квази- H_{111} возбуждались в конической структуре и без центрального проводника. Связь этого вида резонанса с зондовой частью удалось обеспечить путем размещения аксиального проводника в запредельном участка конуса.

К недостаткам рассматриваемого высокодобротного РИП можно отнести сложность его аналитического описания, что затрудняет предварительный расчет экспериментального образца на заданное значение частоты, а также сложность технологии получения качественных конических поверхностей и соосного высокоточного сопряжения двух конусов (внутреннего проводника и внешнего).

III. Заключение

Результаты, полученные при моделировании и экспериментальных исследованиях РИП на основе конических коаксиальных структур, доказывают возможность построения высокодобротных коаксиальных преобразователей, возбуждаемых на высших видах колебаний, и позволяют разработать высокочувствительные резонаторные преобразователи рассмотренного типа для СММ, что должно привести к повышению чувствительности проводимых с его помощью исследований.

IV. Список литературы

- [1] Chen L. F., Ong C. K., Neo C. P. et al. Microwave Electronics. Measurements and Materials Characterization. John Wiley & Sons, Ltd., 2004. - 537p.
- [2] Anlage, S. M. Talanov V. V., Schwartz A. R. Principles of near-field microwave microscopy // Scanning probe microscopy: electrical and electromechanical phenomena at the nanoscale / edited by S. V. Kalinin, A. Gruverman. - New York: Springer-Verlag, 2007. - V. 1. - P. 215–253.
- [3] Бондаренко И. Н., Галич А. В. Высокодобротный коаксиальный нерегулярный резонаторный измерительный преобразователь // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2011. Вып. 168. С. 108–112.

CONE-SHAPED RESONATOR THE HIGH-ORDER MODE OSCILLATION TRASDUCERS

Bondarenko I. N., Galich A. V.,
Slipchenko N. I., Troitski S. 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 possibilities of using the conic coaxial resonant structures excited in high-Q oscillation modes, for developing resonant measuring transducers for a scanning microwave microscope are analyzed.

I. Introduction

In a scanning microwave microscope (SMM) resonator measuring transducer (RMT) are used. The changes in a Q-factor value and resonant frequency shift of RMT are determined by variations in the value of losses of an dielectric permittivity of the surface local area [1,2]. The measured changes in a Q-factor and the resonant frequency shift are intelligence on the properties of the material being studied. The higher is the RMT Q-factor, the higher is the SMM sensitivity. The SMM RMT structure comprises two parts: resonator and microprobe. The resonator part should provide a maximum Q-factor and the sound part should provide the maximum localized longitudinal Z-th component of the electromagnetic field.

The aim of the paper is to analyze the possibilities of using the conic coaxial resonant structures excited in higher-order oscillation modes for RMT SMM.

II. Main Part

The maximum values of the basic Q-factor of microwave cavity resonators are equal to $10^3 \dots 10^4$ and depend upon the oscillation mode and the resonator housing material. The axis-symmetrical resonator coaxial or cylindrical are the simplest in manufacture.

In the construction of a co-axial conic quarter-wave resonator TEM-wave are excited and a smooth junction from the resonator to the probe (fig. 1,a) is realized. The shortcoming of this construction is the low Q-factor of the quarter-wavelength resonances of coaxial structure which, as a rule, even for theoretical estimations do not exceed several thousand, but in practice they can be less than 10^3 with regard for couplings and losses in connections.

The mathematical experiment indicates that in the conic coaxial resonators the oscillations that differ from TEM a waves are also excited, as the ratio of an internal diameter to external w screen conductor increases. In this case the oscillation Q-factor is several times greater than for oscillations of TEM-waves.

The necessary value of the resonant frequency can be ensured by changing the comparison is made and the structure of electromagnetic oscillations in cross-section of conic RMT excitation zone is analyzed. Besides, one of the possible higher-order oscillation in RMT in the form of the cylindrical coaxial line is considered. It has been revealed that the high Q-factor resonant response in the conical co-axial RMT identified can be identified with lower-order oscillations H_{111} in a cylindrical resonator.

As will be apparent from the comparison and analysis of electromagnetic field structures in a cross-section of the conic RMT excitation zone and one of the possible higher-order waves in the coaxial line, the high-Q-factor resonance response I a conical coaxial RMT can identified with lower order oscillations H_{111} in a cylindrical resonator. The model experiment involving the use a control coaxial resonator indicates that an increase in the ratio between internal and external diameters way also lead to oscillators different from TEM modes (see Fig.1,b). The resonator Q-factor the achieved is by several times higher than for TEM mode oscillations

In [3] it is shown that in such a conic coaxial structures there can also be resonant oscillations whose structure of a field is similar to the structure of oscillations H_{112} , E_{011} , H_{221} in the cylindrical resonator. The basic Q-factor of these oscillations reaches the values of an order of 10^4 and up.

The experimental testing of the numerical simulation results was carried out by investigating the operation conditions of the RMT-prototype conic coaxial structure (Fig. 2).

During the experimental studies of the conic coaxial structure (Fig. 2) possibility of its excitation both in the quarter wave resonant of TEM - waves ($Q_H \sim 2 \dots 3 \cdot 10^2$), and in the higher-order quasi- H_{111} ($Q_H \sim 3 \dots 4 \cdot 10^3$) mode oscillations has revealed. In this context the influence of properties of a specimen placed. Thus characteristics of the sample placed close to the probe, upon Q-factor and resonant frequency of excited oscillations is manifest for quarter-wave resonances. The quasi- H_{111} oscillations were excited in a conic structure without the central conductor. The communication with a probe section and the resonance was provided by disposing an axial conductor in the beyond-cutoff section of the cone.

The disadvantages of the high-Q RMT can be attributed to the complexity of its analytic description. This makes it difficult to perform a preliminary calculation of the prototype at a given frequency. In addition we have the complex technology of producing high-quality conic surfaces and high-precision conjugation of two cones (inner and outer conductors).

III. Conclusion

The results obtained in simulation and experimental studies of RMT on the basis of the conic coaxial structures proved that it was possible to construct the high-Q coaxial transducers excited in the higher-order oscillation modes. This allow developing high-sensitivity resonant transducers of the SMM-type to be studied. This should lead to an increase in resolving power of this scanning microwave microscope.