

СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В РЕЗОНАТОРНОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Бондаренко И.Н., Гордиенко Ю.Е.

Харьковский национальный университет радиозлектроники
г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина, тел.: (057) 702-13-62, e-mail: meru@kture.kharkov.ua
Ларкин С.Ю.

Научно-производственный концерн НАУКА
г. Киев, пр. 50-летия Октября, 26; , 03148, Украина, тел. +38-044-4820511

Аннотация – Рассмотрены и проанализированы способы формирования информационных сигналов в микроволновой микроскопии при использовании в качестве измерительных преобразователей резонаторных систем с микронзондами. Предложены и исследованы схемные решения систем формирования информационных сигналов, приведены соотношения, описывающие их работу, проведены сравнительные количественные оценки сигналов.

I. Введение

В ближнеполевой микроволновой сканирующей микроскопии (МСМ) пространственная разрешающая способность метода определяется размерами зонда и его расстоянием от поверхности, а чувствительность – величиной коэффициента преобразования изменений электрофизических характеристик исследуемого материала в изменения характеристик резонатора и точностью измерения этих изменений [1, 2].

Основными измеряемыми характеристиками резонаторов являются резонансная частота и добротность. Исходя из диапазона измеряемых значений добротности, резонансной частоты и имеющихся технических возможностей можно выбрать наиболее подходящий способ измерения.

Применительно к МСМ необходимая измерительная информация содержится в изменениях резонансной частоты и добротности от начальных или заданных значений.

Целью работы является обоснование способов измерения сдвигов резонансной частоты и изменений добротности применительно к МСМ.

II. Основная часть

В ходе выполнения работы были апробированы несколько вариантов формирования сигналов сканирования, которые различаются функционированием СВЧ устройства МСМ и последетекторной обработкой.

Первый вариант системы (представленный нижним каналом схемы, приведенной на рис.1) построен на основе генератора с АПЧ по резонансному измерительному преобразователю (РИП) (система АПЧ выделена на схеме пунктирной линией).

При этом сигнал сканирования, связанный с $\delta f/f_0$, выделяется в виде сигнала ошибки после фазового детектора 7.

Величина его в общем случае определяется выражением

$$\frac{\delta f}{f_0} \approx \frac{\delta f_a}{f_0} \approx \frac{\delta U(\delta f_0) \cdot S}{f_0}, \quad (1)$$

где $\delta U(\delta f_0)$ – напряжение сигнала ошибки, используемое для подстройки частоты измерительного генератора; S – крутизна перестройки частоты измерительного генератора.

Сигнал, связанный с $\delta Q/Q$, выделяется в виде напряжения на СВЧ детекторе на частоте 2Ω , усиливается узкополосным услителем и далее поступает на систему обработки.

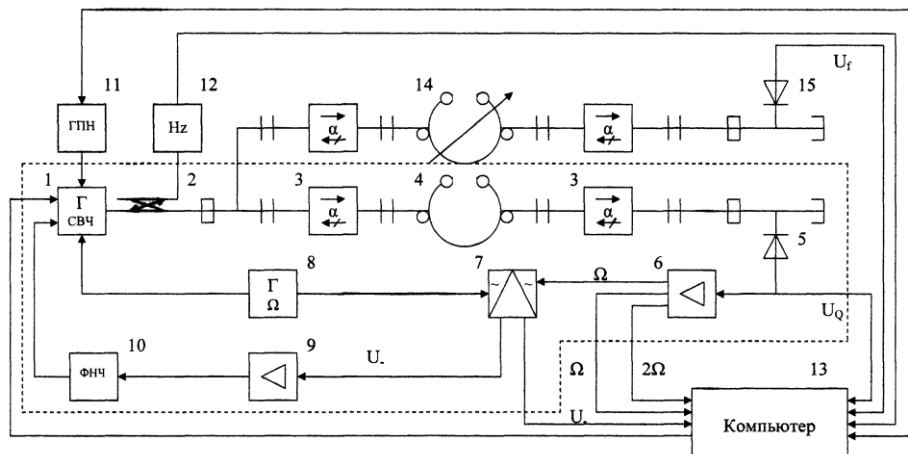


Рис.1. Функциональная схема СВЧ системы на основе генератора с АПЧ по РИП

Fig. 1. Microwave measuring system on the basis of the generator with AFC on cavity measuring transformer

Напряжение сигнала на СВЧ детекторе на частоте 2Ω будет описываться следующим выражением:

$$U_a^{2\Omega} \approx A_0 \cdot 2 \frac{Q_i^2 (\Delta\omega_d)^2}{\omega_0^2}, \quad (2)$$

где $\dot{A}_0 = \frac{4\beta_1\beta_2 \cdot J_0^2(m) \cdot P_e \cdot \hat{E}_n \cdot S_a \cdot R_d}{(1+\beta_1+\beta_2)^2}$; $J_0(m)$ – функция

Бесселя первого рода от аргумента m ; $m = \Delta\omega_d/\Omega$ – индекс частотной модуляции; $\Delta\omega_d$ – девиация частоты измерительного генератора; Ω – частота модуляции; β_1, β_2 – коэффициенты связи; P_e – мощность измерительного СВЧ генератора; K_c – коэффициент передачи согласующих устройств; S_a – коэффициент преобразования детектора; R_d – сопротивление детекторного диода в рабочей точке.

АПЧ измерительного генератора снижает влияние на информационный сигнал шумов, обусловленных частотными флуктуациями генератора, использование сигнала 2Ω позволяет уменьшить составляющую шума детектора, пропорциональную $1/f$, а селективное усиление – полосу усиливаемых шумов.

При $\beta = \beta_1 = \beta_2 = 0,5$; $P_e \approx 1$ мВт; $K_c \approx 0,9$; $J_0^2(m) \approx 0,96$ (при $m = 0,3$); $S_a \sim 1$ мА/мВт; $R_d \sim 10^3$ Ом для амплитудного коэффициента A_0 получим соответственно $\sim 0,215$ В.

Сигнал ошибки на постоянном токе, связанный с величиной δf , пропорционален $(2Q_i \Delta\omega_d/\omega_0)^2$. Оценивая эту величину при $Q_n \sim 10^3$, $\omega_0 \approx 2\pi \cdot 10^{10}$, $\Delta\omega_d \approx 2\pi \cdot 10^3$ получим $\delta U_f \sim 0,8 \cdot 10^{-8}$ В.

Такого же порядка величину можно получить для U_Q , а для δU_Q соответственно $U_Q(\Delta Q/Q)$ В на частоте 2Ω .

В рассматриваемой схеме можно также формирование сигнала $\delta Q/Q$ осуществлять по изменению коэффициента передачи РИП в резонансе.

При этом система АПЧ по РИП используется для поддержания равенства частот измерительного генератора и РИП, а информационный сигнал получается из вариации амплитуды сигнала, проходящего через РИП и детектируемого детектором 5. Информационный сигнал, связанный с величиной δQ , будет значительно больше, чем в первом случае.

Для второго варианта измерительной схемы при тех же технических параметрах, что и в первом случае, получаем $\delta U_f \sim 0,8 \cdot 10^{-8}$ В, $\delta U_Q \sim 5 \cdot 10^{-2} \cdot (\Delta Q/Q)$ В.

Третий вариант формирования сигналов $\delta f/f$ и $\delta Q/Q$ реализуется на основе всей схемы (рис. 1).

Определение величины δQ осуществляется с помощью нижнего канала схемы как в первом случае, а $\delta f/f$ определяется по изменению коэффициента передачи дополнительного настраиваемого высокочастотного резонатора, используемого как дискриминатор.

При этом сигнал, пропорциональный δU_Q , будет порядка $0,8 \cdot 10^{-8}$ В при использовании для анализа сигнала 2Ω (как в первом варианте) и $\sim 5 \cdot 10^{-2} \cdot (\Delta Q/Q)$ В при анализе изменения величины коэффициента передачи (второй вариант измерительной схемы), а сигнал $\delta f \sim 0,4 \cdot 10^{-4}$ В.

III. Заключение

Анализ, проведенный для различных режимов работы рассмотренных схем формирования информационных сигналов резонаторных МСМ, позволяет сформулировать требования к их узлам и элементам, а также к аппаратуре последующей обработки получаемых сигналов.

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] Rosner B., Van der Weide D.V. High-frequency near-field microscopy. Review of Scientific Instruments. 2002. v.73, N7. p. 2505–2525.

INFORMATION SIGNALS FORMATION SYSTEMS IN CAVITY MICROWAVE MICROSCOPY

Bondarenko I.N., Gordienko U.E.
 Kharkov National University of Radioelectronics
 Kharkov, Lenin av., 14, 61166, Ukraine
 Ph.: (057) 702-13-62, e-mail:
 mepu@kture.kharkov.ua
 Larkin S.J.,
 Scientific and industrial concern NAUKA
 2-B, 50-richya Zhouwnya Av., Kyiv, 03148, Ukraine
 Ph.: +380-044-236-10-85

Abstract – Ways of formation of information signals in microwave microscopy are considered and analysed at use as measuring converters cavity systems with microprobes. Circuit decisions of systems of formation of information signals are offered and investigated, the parities describing their work are resulted, comparative quantitative estimations of signals are spent.

I. Introduction

In microwave scanning microscopy (MSM) spatial resolution is defined by the sizes of a probe and its distance from a surface, and sensitivity – by factor of transformation of changes of electrophysical characteristics of an investigated material in changes of characteristics of the cavity and accuracy of measurement of these changes. With reference to MSM the necessary measuring information contains in changes of resonant frequency and quality from initial or preset values.

II. Main Part

During work performance some variants of formation of signals of scanning which differ with functioning of microwave device MSM and detector processing have been approved.

At first system the signal of scanning connected with $\delta f/f_0$, is allocated in the form of a signal of an error after the phase detector.

$$\frac{\delta f}{f_0} \approx \frac{\delta f_a}{f_0} \approx \frac{\delta U(\delta f_0) \cdot S}{f_0}$$

The signal connected with $\delta Q/Q$, is allocated on the detector on frequency 2Ω , amplifies the narrow-band amplifier and further arrives on processing system.

$$U_a^{2\Omega} \approx \dot{A}_0 \cdot 2 \frac{Q_i^2 (\Delta\omega_d)^2}{\omega_0^2}$$

The error signal on a direct current, linked with δf , is proportiona $(2Q_i \Delta\omega_d/\omega_0)^2$ l. Estimating it at $Q_n \sim 10^3$, $\omega_0 \approx 2\pi \cdot 10^{10}$, $\Delta\omega_d \approx 2\pi \cdot 10^3$ we will receive $\delta U_f \sim 0,8 \cdot 10^{-8}$ В. The same order the size can be received for U_Q , and for δU_Q accordingly $U_Q(\Delta Q/Q)$ В on frequency 2Ω .

At the considered scheme it is possible also $\delta Q/Q$ signal formation to carry out on change of transfer factor of CMT at a resonance.

For this variant of the measuring scheme at the same technical parametres, as in the first case, we receive $\delta U_f \sim 0,8 \cdot 10^{-8}$ В, $\delta U_Q \sim 5 \cdot 10^{-2} \cdot (\Delta Q/Q)$ В.

The third variant of formation of signals $\delta f/f$ and $\delta Q/Q$ is realised on the basis of all scheme (fig. 1).

Definition δQ is carried out by means of the bottom channel of the scheme as in the first case, and $\delta f/f$ is defined on change of transfer factor of high quality resonator used as the discriminator.

III. Conclusion

The analysis spent for various operating modes of considered schemes of formation of information signals cavity MSM, allows to formulate requirements to their knots and elements, and also to equipment of the subsequent processing of received signals.