

ДИСКУССИИ

УДК 535.39-14

О РЕЗОНАНСНОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ НЕПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СУБМИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

В. В. Мериакри и Е. Ф. Ушаткин

В работе [1] описана резонансная методика измерения модуля \sqrt{R} и фазы φ коэффициента отражения от поверхности диэлектрического образца на субмиллиметровых волнах. С помощью этой методики в [1, 2] измерялись температурные зависимости R и φ кристаллов KDP.

Однако в [1] в формуле для набега фазы Θ волны в резонаторе допущена ошибка, приводящая к неверному определению φ . Правильное выражение для Θ имеет вид

$$\Theta = \frac{4\pi d}{\lambda} + \varphi_0 + \varphi, \quad (1)$$

т. е. в [1, 2] значения φ (а при относительных измерениях изменения φ) занижены в два раза.

Кроме того, приведенные в [1, 2] погрешности измерения ($\Delta R/R < 1\%$, $\Delta\varphi = -0.1^\circ$) нам представляются заниженными по следующим причинам.

1. В формуле для коэффициента отражения от резонатора (R_p) необходимо учитывать паразитные отраженные и рассеянные линзами, диафрагмами и другими элементами измерительного тракта волны. Известно (см., например, [3, 4], где по аналогичной методике определялись потери в волноводном резонаторе), что указанные паразитные волны принципиально ограничивают точность измерений.

Считая паразитные волны плоскими, а их амплитуды $\sqrt{R_k}$ ($k = 1, 2, \dots$) малыми по сравнению с амплитудой падающей волны, можно записать коэффициент отражения системы в виде

$$R_p^* = \left| \sqrt{R_p} + \sum_k \sqrt{R_k} \exp(i\psi_k) \right|^2, \quad (2)$$

где R_p то же, что в [1] с учетом (1), ψ_k — разности фаз паразитных и отраженной от резонатора волн.

Чем меньше R_p , тем существеннее влияние паразитных волн на измеряемую величину R_p^* . При величине R_p , сравнимой с уровнем паразитных волн, формула для расчета погрешностей, приведенная в [1], перестает быть справедливой. С другой стороны, из (2) следует, что величина резонансного минимума $R_{p\text{мин}}^*$ и его положение на оси длин волн ($\lambda_{\text{мин}}$) не являются однозначными функциями R и φ , т. е. измеренным значениям $R_{p\text{мин}}^*$ и $\lambda_{\text{мин}}$ соответствует область значений R и φ в зависимости от случайных параметров R_k и ψ_k . Связанные с этим погрешности (при $k=1$, $R_{p\text{мин}}^* = 0$) равны:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pm 2 \frac{1 - R_0}{\sqrt{R_0}} \sqrt{R_{p1}}, \quad (3)$$

$$\Delta\varphi = \pm \frac{1 - R_0}{\sqrt{R_0}} \sqrt{R_{p1}}. \quad (4)$$

Причем если минимальна погрешность измерения φ , то максимальна — R , и наоборот.

В [1] отмечалось, что лишь при определенных условиях минимум R_p^* составлял 10^{-4} от максимального и определялся паразитными переотражениями от элементов квазиоптического тракта, т. е., как видно из (2), уровень паразитных волн по крайней мере больше 10^{-4} . Тогда из (3), (4) получаем ($R_0=0.4$): $\Delta R/R > 1.9\%$, $\Delta\varphi > 0.54^\circ$, что существенно превышает приводимые в [1, 2] значения.

2. Кроме рассмотренного в п. 1 источника погрешностей, следует, на наш взгляд, учесть пространственную неоднородность толщины резонатора (малые перекосы образца

и решетки, неплоскость последней) что приводит к увеличению резонансного минимума и расширению резонансной кривой; частотную дисперсию DR_0 и φ_0 решетки [5, 6]; тепловое расширение кварцевых шайб и проволочек решетки; дискретность измерения частоты генератора.

Таким образом, необходимы уточнение погрешностей методики [1] и соответствующая корректировка результатов измерений R и φ исследованных в [1, 2] кристаллов.

Литература

- [1] А. А. Волков, Н. А. Ирисова, Г. В. Козлов. *Опт. и спектр.*, 40, 386, 1976.
- [2] А. А. Волков, Н. А. Ирисова, Г. В. Козлов, Ю. В. Шалдин. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 39, 836, 1975.
- [3] Ю. Н. Казанцев, В. В. Мериакри. *Радиотехника и электроника*, 4, 131, 1959.
- [4] Ю. Н. Казанцев. *Радиотехника и электроника*, 6, 241, 1961.
- [5] А. М. Сивов. *Радиотехника и электроника*, 6, 483, 1961.
- [6] Л. А. Вайнштейн. *Электродинамика больших мощностей*, сб. 2. Изд. АН СССР, М., 1963.

Поступило в Редакцию 3 мая 1976 г.

УДК 535.39

ПО ПОВОДУ ПИСЬМА В. В. МЕРИАКРИ И Е. Ф. УШАТКИНА

А. А. Волков, Н. А. Ирисова и Г. В. Козлов

В работах [1, 2] дано описание предложенного нами метода определения диэлектрических характеристик поглощающих веществ, основанного на измерении модуля \sqrt{R} и фазы φ коэффициента отражения исследуемого образца. В измерениях регистрируется сигнал, отраженный от открытого резонатора, задним зеркалом которого является плоская поверхность образца, а в качестве переднего полупрозрачного зеркала используется проволочная сетка с хорошо известными параметрами. Полученные в эксперименте характеристики резонатора — резонансная частота и добротность — позволяют судить о свойствах его зеркал, т. е. рассчитать диэлектрические параметры образца.

Данный метод позволяет изучать вещества с практически сколь угодно большими коэффициентами поглощения и это, по нашему мнению, открывает, например, новые возможности для исследования температурных зависимостей диэлектрических характеристик сегнетоэлектриков в особенности при температурах, близких к фазовым переходам.

Однако в формуле для определения $\Delta\varphi$ образца нами была допущена ошибка, что привело к завышенным результатам в определении ϵ' и ϵ'' кристалла KDP при сохранении общего вида их температурных зависимостей.

Что же касается замечаний авторов письма относительно точностей определения R и φ , то они, по-видимому, основаны на недоразумении. Авторы письма выбрали для своих оценок весьма неблагоприятную ситуацию, когда наряду с полезным сигналом на приемник попадает равный ему по величине паразитный сигнал. При этом разбирается случай, далеко не самый удачный для применения резонаторного метода, когда измеряемый коэффициент отражения сравнительно мал ($R \sim 0.4$). Даже в этих условиях, как видно из письма, резонаторный метод приводит к вполне приемлемым точностям в определении R и φ ($\sim 2\%$ для R и $\sim 0.5^\circ$ для φ), которые в большинстве случаев едва ли могут быть получены с помощью более простых прямых измерений T и R . Но главное состоит в том, что при измерениях предложенным резонаторным методом вовсе нет необходимости работать с предельно малыми уровнями полезного сигнала. Варьируя параметры переднего сетчатого зеркала, т. е. выбирая сетки с нужным R_0 , можно в широких пределах изменять глубину резонансного минимума и тем самым делать его удобным для регистрации. В наших работах, как правило, глубина минимума изменялась в пределах 10^{-3} — 10^{-2} . В то же время нами всегда уделялось внимание устранению паразитного излучения, уровень которого в любых экспериментах не превышал 10^{-4} .

Литература

- [1] А. А. Волков, Н. А. Ирисова, Г. В. Козлов. *Опт. и спектр.*, 49, 386, 1976.
- [2] А. А. Волков. Автореф. канд. дисс., ФИАН, 1975.

Поступило в Редакцию 15 декабря 1976 г.