

微波开放型介质谐振器介电参数的测试*

陈赐海 骆超艺 黄振宇 肖芬

(厦门大学物理系 厦门 361005)

摘要 讨论了平行板开放型介质谐振器技术,建立自动化测试系统,实现对高介低损的微波陶瓷材料复介电常数高效测量。结果表明,该系统测试精度较高、重复性好,样品制作简单,可满足微波介质陶瓷材料测量的实际需要。

关键词 介电参数 介质谐振器 变分法 自动化测试

Measurement of Complex Permittivity for Dielectric Ceramics at Microwave Frequencies

Chen Cihai Luo Chaoyi Huang Zhenyu Xiao Fen

(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract A technique about two open-parallel conducting plate dielectric resonator is discussed. Based on it, an automatic test system for the measurement of complex permittivity for dielectric ceramics is built up. It is shown that both the precision and repetition of the system are quite good with relatively simple-shape samples. The system can satisfy the requirement of microwave dielectric ceramics testing.

Key words Dielectric parameter Dielectric resonator Variational methods Automatic test

方法可以实现对高Q值材料复介电常数,尤其是对损耗正切的精确测量。

1 引言

微波陶瓷介电参数主要有:相对介电常数 ϵ' (以下简称介电常数)、介质损耗 $\tan\delta$ 、谐振频率温度系数 τ_0 。对于高介电常数和高Q值陶瓷,准确测量其介电参数是研究材料微波特性和设计电子陶瓷器件的重要前提,也是测试的难点。一般采用方法是两端面短路的平行板介质谐振器法^[1],但介质样品端面与两金属导电板直接接触,传导损耗的影响较大,对于低 $\tan\delta$ 陶瓷材料测量引入较大的误差。

2 测试原理

为减少传导损耗,提高测量精度,采用开放型介质谐振器法,即把样品和金属板对称拉开一段距离,形成TE_{01δ}谐振模式。利用网络分析仪测量其谐振曲线参数,结合数值计算方法求解,由于减少了传导损耗,该

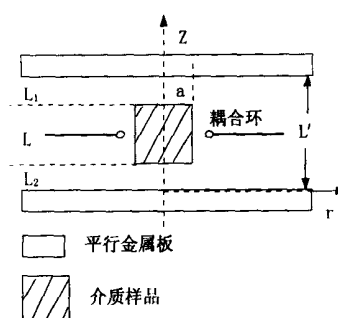


图1 介质谐振器

2.1 测试装置

测试装置由两块圆形金属平板、调高装置、基架和三维可调的耦合装置组成,侧视如图1所示。半径为a的圆柱样品轴对称放于两大金属平板之间。样品用介电常数为2.0的细薄圆环支撑,空气和支柱损耗可以忽略。

* 国家863计划(2001AA 325100)资助项目。

2.2 理论分析

设两金属板间距小于谐振频率对应的自由空间半波长,即没有辐射损耗。利用变分法,把两金属板包含的空间分成(I) $r < a$ 和(II) $r > a$ 两部分,考虑电磁场在 $r = a$ 处的连续性,求解Helmholtz方程。分析轴对称模式 $TE_{01\delta}$ ^[21],得到谐振频率和介电常数关系的矩阵方程:

$$\det W(f_0, \epsilon, D, L_1, L_2) = 0 \quad (1)$$

式中: $D = 2 * a$ 为样品直径。通过数值算法,求解方程,算出样品的介电常数。

当谐振时,绝大部分的能量储存在样品中,为准确测出样品 Q 值 ($Q^{-1} = \tan \delta$),采用 Kaifetz 等提出的方法^[31],考虑到传导损耗的影响,可得:

$$Q_c = \frac{f_0}{2 \left(-\frac{\Delta f_0}{\Delta L_1} \right) \delta} \quad (2)$$

式中: δ 是导体的趋肤深度, Q_c 是表征总的传导损耗的 Q 值。应用微扰法,可得:

$$Q_d = \frac{1}{\tan \delta \left(-\frac{\Delta f_0}{\Delta \epsilon} \right) 2\epsilon} \quad (3)$$

联合 $1/Q_u = 1/Q_c + 1/Q_d$, 可得样品损耗 $\tan \delta$

2.3 自动化测试系统

测试系统如图2所示,硬件主要由Agilent 矢量网络分析仪、计算机、GPB to USB 适配器、平行板介质谐振器测试装置等组成。软件部分主要是自动测试系统程序。

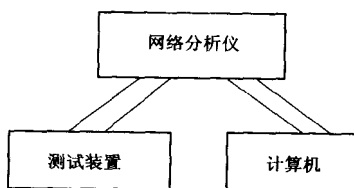


图2 测试系统框图

通过GPB卡实现对分析仪的操作和控制,替代传统人工操作方式,最大可能地排除人为因素造成的测量误差。测试程序在Agilent VEE 环境下开发,是具有友好交互界面的图形可视化程序。程序可实现对测量数据的自动读取、计算、存储和显示的功能。

实践证明,自动测试系统提高了测试效率,使得微波介质陶瓷材料介电参数测量变得简单、直观,并能保证测试精度,有一定的实用性。

3 实验结果

利用介质谐振器介电参数自动测试系统,对多种介质谐振器复介电常数进行测试,取 $L_1 = L_2$, 部分实测结果如表1所示。对同一样品测量结果如表2所示。从测试结果可知:平均值 $\epsilon' = 19.88$ (参考值 $\epsilon' = 18 \sim 22$), $\tan \delta = 8.05 * 10^{-5}$ 。重复测量相对误差为: $\Delta \epsilon' / \epsilon' = 0.01\%$; $\Delta \tan \delta / \tan \delta = 0.2\%$ 。

表1 多种样品测量结果 ($L_2 = 3.100\text{mm}$)

| 编号 | f_0 (GHz) | ϵ' | $\tan \delta$ |
|----|-------------|-------------|-----------------------|
| 1 | 5.6576 | 19.8500 | 8.05×10^{-5} |
| 2 | 2.9096 | 90.8980 | 8.50×10^{-4} |
| 3 | 4.8667 | 36.0960 | 1.32×10^{-4} |
| 4 | 4.8949 | 35.9750 | 1.51×10^{-4} |

表2 单个样品测量结果

| L_2 (mm) | 4.000 | 5.000 | 6.000 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|
| ϵ' | 19.8750 | 19.8760 | 19.8790 |
| $\tan \delta (\times 10^{-5})$ | 8.05 | 8.04 | 8.05 |

4 结论

利用平行板开放型介质谐振器技术,在图形化编程软件和大量网络分析仪支持下,建立自动化测试系统,实现对微波介质陶瓷材料进行复介电常数的高效率测试。结果表明:使用该系统测试精度较高、重复性好,样品制作简单,对样品进行无损检测,满足微波介质陶瓷材料测试的实际需要。

参考文献

- 唐宗熙 介质谐振器介电参数频响特性及频率温度参数的测量[J] 计量学报, 2002, 23(1): 57~ 61
- M. Jaworski, M. W. Pospieszalski An accurate solution of the cylindrical dielectric resonator problem [J] IEEE Trans Microwave Theory Tech, July, 1979, MTT-27: 639~ 643
- D. Kajfez Incremental frequency rule for computing the Q-factor of a shielded TE_{0mp} dielectric resonator [J] IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1984, MTT-32: 941~ 943