

用谐振腔微扰法测量微波介质特性

微波技术中广泛使用各种微波材料，其中包括电介质和铁氧体材料。微波介质材料的介电特性的测量，对于研究材料的微波特性和制作微波器件，获得材料的结构信息以促进新材料的研制，以及促进现代尖端技术(吸收材料和微波遥感)等都有重要意义。

实验目的

1. 了解谐振腔的基本知识。
2. 学习用谐振腔法测量介质特性的原理和方法

本实验是采用反射式矩形谐振腔来测量微波介质特性的。反射式谐振腔是把一段标准矩形波导管的一端加上带有耦合孔的金属板，另一端加上封闭的金属板，构成谐振腔，具有储能、选频等特性。

谐振条件：谐振腔发生谐振时，腔长必须是半个波导波长的整数倍，此时，电磁波在腔内连续反射，产生驻波。

谐振腔的有载品质因数 Q_L 由下式确定：

$$Q_L = \frac{f_0}{|f_1 - f_2|}$$

式中： f_0 为腔的谐振频率， f_1 、 f_2 分别为半功率点频率。谐振腔的 Q 值越高，谐振曲线越窄，因此 Q 值的高低除了表示谐振腔效率的高低之外，还表示频率选择性的好坏。

如果在矩形谐振腔内插入一样品棒，样品在腔中电场作用下就会极化，并在极化的过程中产生能量损失，因此，谐振腔的谐振频率和品质因数将会变化。

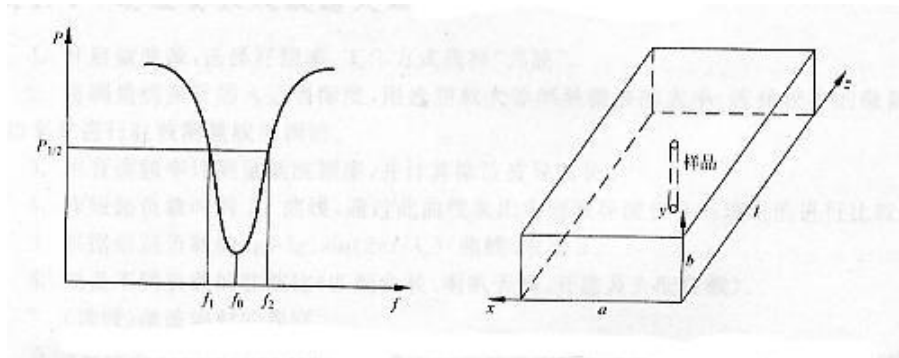


图 1 反射式谐振腔谐振曲线

图 2 微扰法 TE_{10n} 模式矩形腔示意图

电介质在交变电场下，其介电常数 ϵ 为复数， ϵ' 和介电损耗正切 $\tan \delta$ 可由下列关系式表示：

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'', \quad \tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}, \quad (15)$$

其中： ϵ' 和 ϵ'' 分别表示 ϵ 的实部和虚部。

选择 TE_{10n} (n 为奇数) 的谐振腔，将样品置于谐振腔内微波电场最强而磁场最弱处，即 $x = a/2$ ， $z = l/2$ 处，且样品棒的轴向与 y 轴平行，如图 2 所示。

假设：

1. 样品棒的横向尺寸 d (圆形的直径或正方形的边长) 与棒长 l 相比小得多 (一般 $d/h < 1/10$)， y 方向的退磁场可以忽略。

2. 介质棒样品体积 V_s 远小于谐振腔体积 V_0 ，则可以认为除样品所在处的电磁场发生变化外，其余部分的电磁场保持不变，因此可以把样品看成一个微扰，则样品中的电场与外电场相等。

这样根据谐振腔的微扰理论可得下列关系式

$$\frac{f_s - f_0}{f_0} = -2(\epsilon' - 1) \frac{V_s}{V_0}$$

$$\Delta \frac{1}{Q_L} = 4\epsilon'' \frac{V_s}{V_0}$$

式中： f_0, f_s 分别为谐振腔放入样品前后的谐振频率， $\Delta (1/Q_L)$ 为样品放入前后谐振腔的有载品质因数的倒数的变化，即

$$\Delta\left(\frac{1}{Q_L}\right) = \frac{1}{Q_{LS}} - \frac{1}{Q_{L0}}$$

Q_{L0}, Q_{LS} 分别为放入样品前后的谐振腔有载品质因数。

实验装置

微波信号源最好要用扫源，也可用其他带有窄带扫频的信号源

晶体检波器接头最好是满足平方律检波的，这时检波电流表示相对功率($I \propto P$)。

检波指示器用来测量反射式谐振腔的输出功率，量程 $0 \sim 100 \mu A$ 。（推荐品种：DH2510 型）

微波的频率用波长表测量刻度，通过查表确定微波信号的频率。

用晶体检波器测量微波信号时，为获得最高的检波效率，它都装有一可调短路活塞，调节其位置，可使检波管处于微波的波腹。改变微波频率时，也应改变晶体检波器短路活塞位置，使检波管一直处于微波波腹的位置。

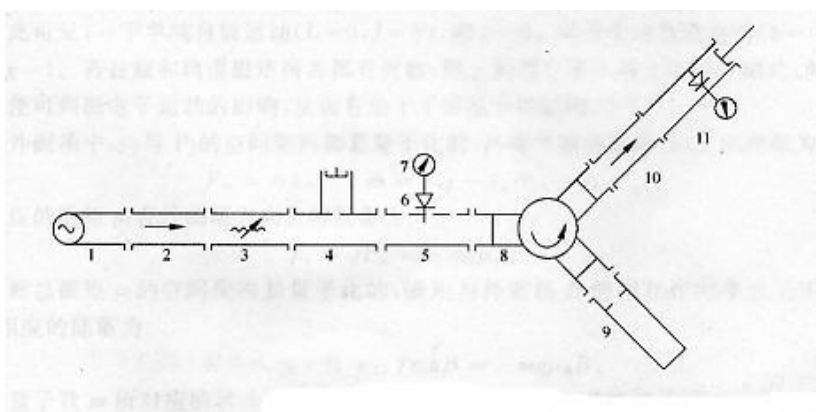


图 17 试验装置示意图

- 1—微波信号源 2—隔离器 3—衰减器 4—波长表 5—测量线 6—测量线晶体
7—选频放大器 8—环形器 9—反射式谐振腔 10—隔离器 11—晶体检波器

实验内容

1. 按图接好各部件。注意：反射式谐振腔前必须加上带耦合孔的耦合片，接入隔离器及环形器时要注意其方向。

2. 开启微波信号源，选择“等幅”方式，预热 30 分钟。

3. 测量谐振腔的长度，根据公式计算它的谐振频率，一定要保证 n 为奇数。

4. 将检波晶体的输出接到电流表上，用电流表测量微波的大小，在计算的谐振频率附近微调微波频率，使谐振腔共振，用直读频率计测量共振频率。

5. 测量空腔的有载品质因数，注意： f_1, f_2 与 f_0 的差别很小，约 0.003GHz 。

6. 加载样品，重新寻找其谐振频率，测量其品质因数。

7. 测量介质棒及谐振腔的体积。

8. 计算介质棒的介电常数和介电损耗角正切。

2.4 思考题

1. 如何判断谐振腔是否谐振?
2. 本实验中, 谐振腔谐振时, 为什么"必须是奇数?

矩形谐振腔的谐振频率, 理论公式为:

$$f_{mnp} = \frac{k}{2\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2}$$