

DH811A 型
微波铁磁共振实验系统
说明书

北京大华无线电仪器厂

目 录

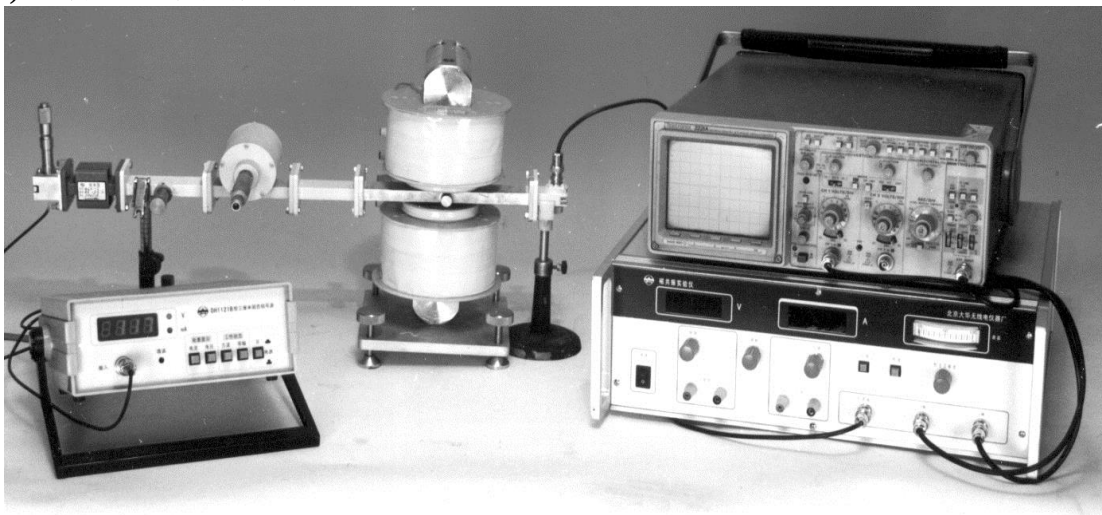
1. 概述.....	2
2. 系统的工作原理.....	2
3. 系统的使用和操作.....	5
4. 系统的成套性.....	8
5. 质量保证.....	8

1. 概述

微波铁磁共振实验系统是根据高等院校近代物理实验教学大纲而设计的一套简单的教学仪器，它适用于物理等专业的学生在微波频段做铁磁材料共振实验。

本仪器可以完成下列实验任务：

- (1) 可观察铁磁材料的共振现象；
- (2) 可测量微波铁氧体的铁磁共振线宽 ΔH ；
- (3) 测量微波铁氧体的朗德因子 g 值；
- (4) 培养学生掌握微波实验系统的调试和测试方法；



微波铁磁共振实验系统工作时的照片

2. 系统的工作原理

2.1 铁磁共振原理

当铁磁体材料同时受到两个相互垂直的磁场，即恒定磁场 H_r 和微波交变磁场 h ，在 H_r 的作用下，铁磁体的磁化强度将围绕 H_r 进动，进动频率为：

$$\omega_r = \gamma H_r$$

其中 γ 为铁磁体材料的旋磁比，其定义为：

$$\gamma = \frac{g\mu_B}{\hbar}$$

其中 μ_B 为玻尔磁子，其定义为： $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$ ，据此可以得出 γ 新关系式：

$$\gamma = \frac{ge}{2m}$$

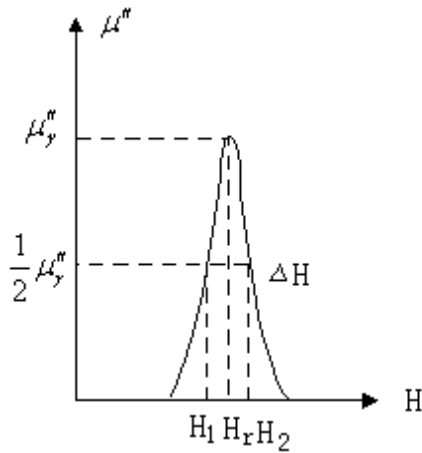
其中 g 为朗德因子， e 、 m 分别电子电量和电子质量，其值分别为 $e=1.6\times 10^{-19}\text{C}$ ； $m=9.1\times 10^{-31}\text{kg}$ 。

由于阻尼作用，磁化强度将趋向于 H_r ，但是如果当微波频率 $\omega=\omega_0$ 时，进动的磁矩从微波场中吸收的能量刚好抵消阻尼所损耗的能量，则进动会稳定地进行，发生共振吸收现象，即铁磁共振现象。此时，铁磁体的磁导张量可表示为：

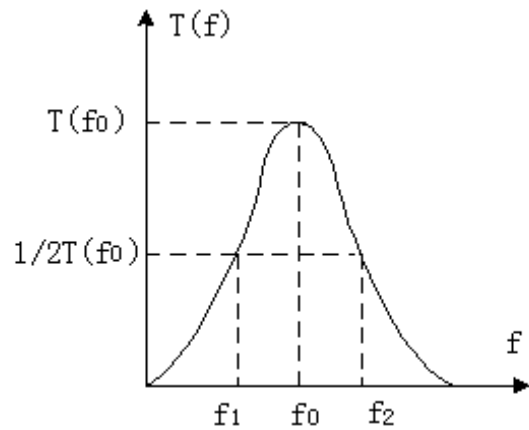
$$\mu = \begin{pmatrix} \mu & -i\kappa & 0 \\ i\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_z \end{pmatrix}$$

其中 μ 和 κ 都是复数。

固定微波的频率 ω_0 ，改变稳恒磁场，当发生共振 $H=H_r$ 时，磁导率张量对角元 μ 的虚部 μ'' 为最大值 μ''_r ，所对应的磁场 H_r 为共振磁场； $\mu''=\mu''_r/2$ 两点所对应的磁场间隔 $\Delta H=|H_2-H_1|$ 称为铁磁共振线宽，标志着磁损耗的大小。铁磁共振曲线如图二所示。



图二 铁磁共振曲线



图三 谐振腔谐振曲线

2.2 传输式谐振腔原理

传输式谐振腔是由一段矩形波金属波导管在两端加上带耦合孔的短路金属片构成。谐振腔的谐振条件是腔长必须为半个波导波长的整数倍。即： $l = \rho \frac{\lambda_g}{2}$ ；

其中 ρ 为任意正整数， l 是谐振腔的长度， λ_g 是波导波长；并且：

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}, \lambda = \frac{c}{f}$$

其中， λ 、 f 为谐振腔的谐振波长和谐振频率， a 为谐振腔宽边长度。

2.2.1 品质因数

谐振腔的固有品质因数 Q_0 定义为： $Q_0 = \omega_0 \frac{\text{谐振时总的储能}}{\text{损耗功率}}$ 。

如果与外电路相耦合，称为有载品质因数 Q_L ，定义为： $\frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_e}$ ， Q_e 为谐振腔的外观品质因数。

2.2.2 谐振曲线

谐振腔的传输系数与频率的关系曲线称为谐振曲线，如图三所示。传输系数

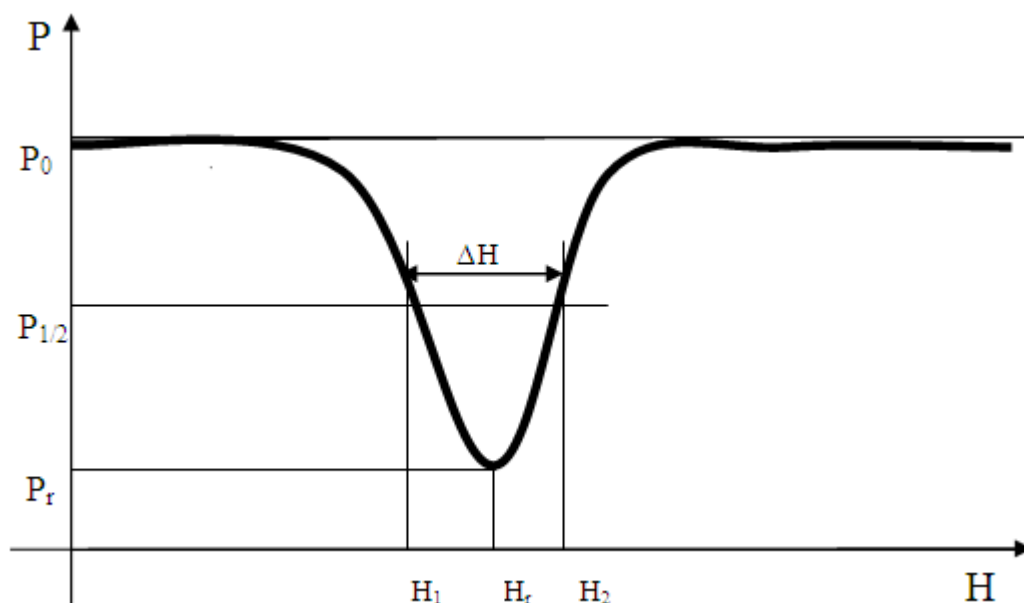
$$T(f) \text{ 定义如下: } T(f) = \frac{p_{\text{出}}(f)}{p_{\text{入}}(f)}。 \text{ 有载品质因数可表示为: } Q_L = \left| \frac{f_0}{f_1 - f_2} \right|;$$

其中 f_0 为腔的谐振频率， f_1 和 f_2 为半功率点所对应的频率。

2.3 实验原理

本实验系统采用扫场法进行微波铁磁材料的共振实验。即保持微波频率不变，连续改变外磁场，当外磁场与微波频率之间符合一定关系时，可发生射频磁场的能量被吸收的铁磁共振现象。微波铁磁共振实验系统的工作框图如图一。

该实验系统是在三厘米微波频段做铁磁共振实验。信号源输出的微波信号经隔离器、衰减器、波长表等元件进入谐振腔。谐振腔由两端带耦合片的一段矩形直波导构成。当被测铁氧体样品放入谐振腔内微波磁场最大处时，将会引起谐振腔的谐振频率和品质因数变化。当改变外磁场进入铁磁共振区域时，由于样品的铁磁共振损耗，使输出功率降低，从而可测出谐振腔输出功率 P 与外加恒磁场 H 的关系曲线如图四。



图四 谐振腔输出功率与外加磁场关系曲线

图四中， P_0 为远离铁磁共振区时谐振腔的输出功率。 P_r 为出现铁磁共振时谐振腔的输出功率。此时对应的外磁场为 H_r 为共振磁场，其相应的张量导磁率 μ 对角元的虚部 μ'' 达到最大值。根据铁氧体理论，半共振点是指张量导磁率对角元虚部的 $\mu'' = \mu''_{\text{max}}/2$ ，其此处的谐振腔输出功率 $P_{1/2}$ 与 P_0 ， P_r 有如下关系：

$$P_{\frac{1}{2}} = \frac{4P_o}{\left(\sqrt{\frac{P_o}{P_r}} + 1 \right)^2}$$

与 $P_{1/2}$ 对应的外加磁场之差 $|H_2 - H_1|$ 即为铁磁共振线宽 ΔH 。因此可以根据实验作出的图二曲线和上述 $P_{1/2}$ 的公式求出共振线宽 ΔH 。

另外，由 2.1 中铁磁共振条件相关公式可求得 g 因子。

应该注意的是，在进行铁磁共振线宽测量时，必须注意样品的 μ 会使谐振腔的谐振频率发生偏移（频散效应）。要得到准确的共振曲线和线宽，必须在测量时消除频散，使装有样品的谐振腔频率始终与输出谐振腔的微波频率相同（调谐）。因此在逐点测绘铁磁共振曲线，相当于每一个外加的恒磁场都要稍微改变谐振腔的谐振频率，使它与微波频率调谐。

如果在测量时不逐点调谐，样品的频散效应又不能忽略（特别是在 ΔH 较窄的情况下），在正确地考虑了频散的影响后，也可以用修正公式从测量的 $P-H$ 曲线定出 ΔH （修正公式详见教材，本说明书略）。

3.系统的使用和操作

3.1 按图一连接测试系统，先不接两耦合片，将可变衰减器的衰减量放置到最大，磁共振实验仪的磁场调节钮反时针旋到底。（即不加磁场电流）。

3.2 打开微波信号源及磁共振实验仪的电源开关，按要求进行预热 20 分钟。

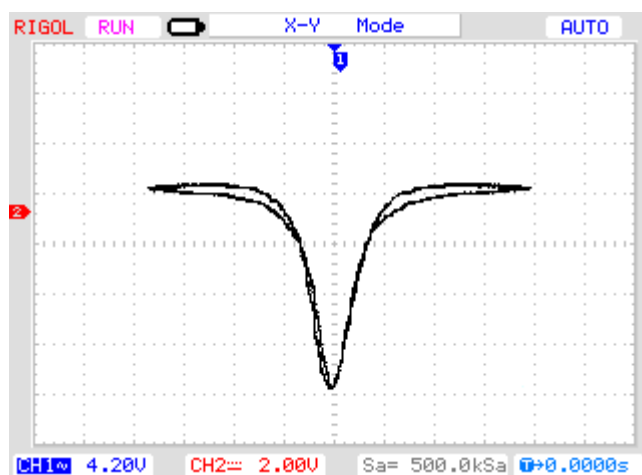
3.3 调节微波频率：将磁共振实验仪按键开关按在的“检波”位置，调节可变衰减器的衰减量，使电表有适当的指示，用波长表测试此时的微波信号频率。（方法是：旋转波长表的测微头，找到电表跌落点，读出测微头读数，查波长表频率刻度表即可确定振荡频率），当信号频率与波长表上所示频率不一致时，则应调节微波信号源的信号振荡频率。使之与波长表上测得的频率相同。测定完频率后，须将波长表刻度旋开谐振点，避免波长表的吸收对实验造成干扰。

3.4 将耦合片按图一接入系统，微调信号振荡频率，使调谐电表指示最大。

3.5 利用示波器直接观察铁磁共振信号按以下步骤进行：

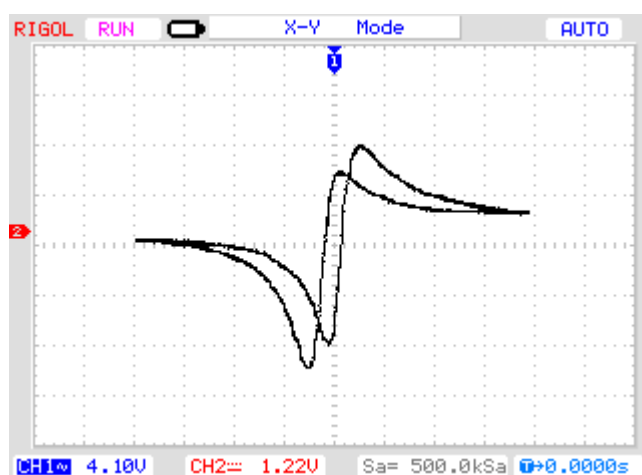
- (1) 将白色外壳的单晶样品装到谐振腔内，将扫场接线与电磁铁扫场接线柱相连，将“扫场”选钮旋到正时针最大。
- (2) 磁共振实验仪的 X 轴与 Y 轴输出接到示波器的 X、Y 轴上，磁共振实验仪按键按在“扫场”位置，示波器选到 X—Y 工作方式。

- (3)调节示波器 X 轴输入灵敏度，使荧光屏的 X 轴的扫描有适当显示，Y 轴输入放置 20mV 位置。
- (4) 调节磁场电流在 1.7A 左右时，在示波器上即可观察到磁共振谐振信号，如图五。若波形幅度太大，可改变 Y 轴输入的灵敏度。



图五 磁共振谐振信号

- (5)如两个共振信号幅度相差较大，可移动样品谐振腔在磁场中的位置，同时观察磁共振谐振信号的变化，使之满意为止。
- (6)如两个共振信号出现图六图形，应微微调节微波信号源的频率，使谐振图形的上翘部分下压，调节“相位”旋钮，可使两个共振信号移动到合适的位置，使之满意为止。



图六 磁共振色散信号

3.6 铁磁共振曲线的制作：

- (1)将半透明外壳的多晶样品放入谐振腔内，并将谐振腔放到磁场中心位置（如果做此项目前，已进行过 3.5 项目的试验，就不需要动谐振腔在磁场中的位置）。

去掉扫场接线。磁共振实验仪的按键按到“检波”位置，缓缓顺时针转动磁共振实验仪的磁场调节钮，加大磁场电流，当电表指示最小的时，即铁磁共振吸收点。

- (2) 传输式谐振腔的输出功率可以用晶体检波器作相对指示，这是因为本系统微波信号源功率较小，晶体检波器的检波律符合平方律，即检波电流与输入功率成正比，故检波指示可作为铁磁共振曲线的纵坐标。
- (3) 磁共振实验仪的磁场钮是调节外加磁场大小用的，它通过改变磁场线圈中的电流来达到这个要求。而这个电流的大小与磁场成正比，所以，铁磁共振曲线的横坐标可以用磁共振实验仪的电流指示来代表磁场的大小。
- (4) 从电流 1.2A 起，逐点记录磁共振实验仪的磁场电流表读数与检波指示的对应关系，在坐标纸上描绘出连续的曲线，即可得到铁磁共振曲线。按图四所示的样子，从求得数据所画的曲线上找出共振磁场 H_r 和线宽 ΔH 。操作熟练后，在只要求共振磁场 H_r 和线宽 ΔH 时，就不必逐点测量，由 P_r 处可知 H_r ；由 P_0 和 P_r 求出 $P_{1/2}$ ，找出与 $P_{1/2}$ 对应的两个 H ，即可求出线宽 ΔH 。
- (5) 如有条件，检波输出可接直流数字电压表。可以使铁磁共振曲线的纵坐标 P_0 提高显示精度。

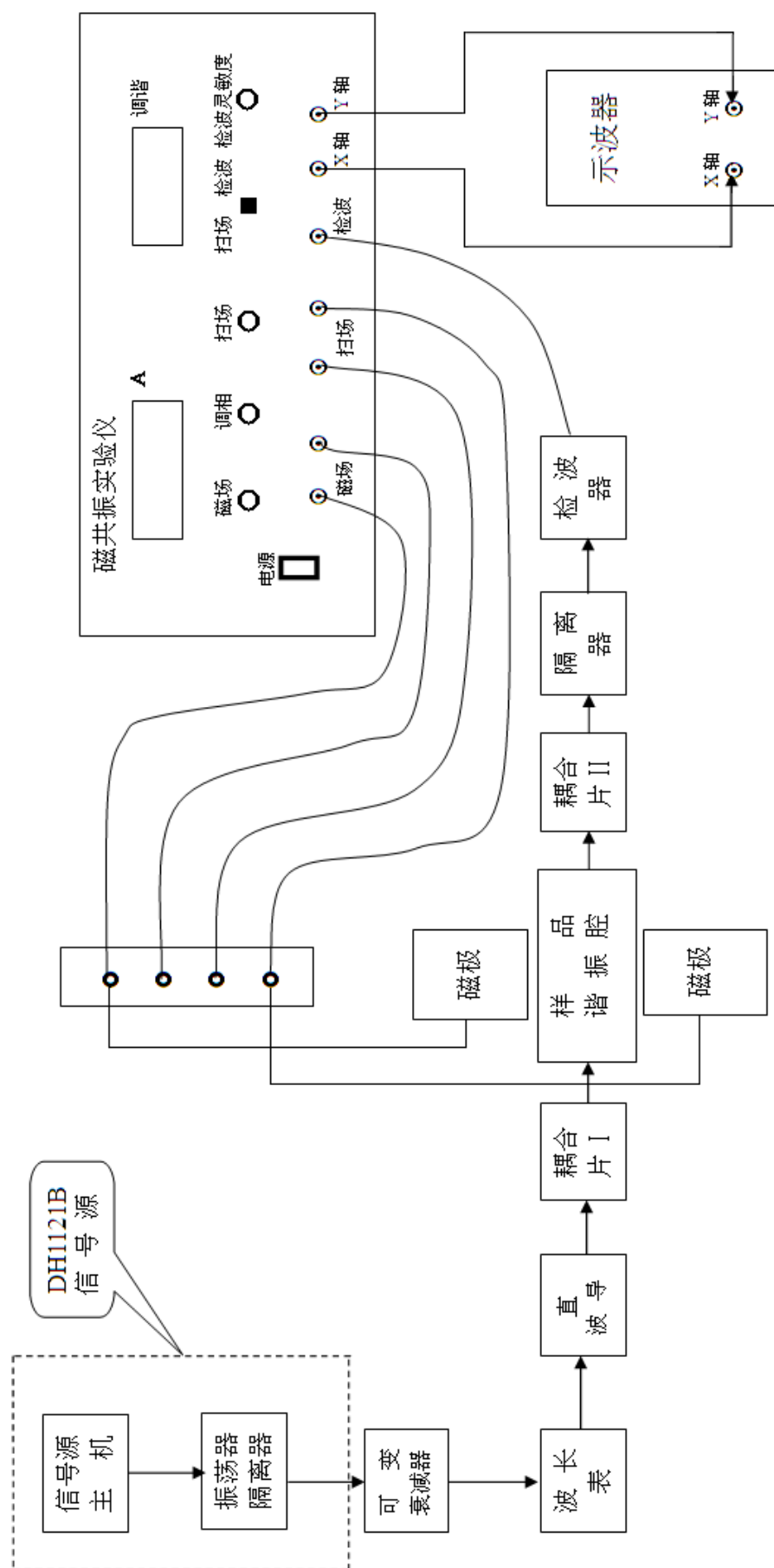
注：本系统附带的铁氧体小球样品 ΔH 约 200~250 oe，外磁场强度最大 4500 oe。

4. 系统的成套性

序号	名称	数量	备注
1	微波固态信号源	1	
2	样品谐振腔	1	
3	可变衰减器	1	
4	单晶样品	1	白色外壳
5	多晶样品	1	半透明外壳
6	波长表	1	
7	耦合片	2	
8	隔离器	1	
9	直波导	1	
10	检波器	1	
11	电磁铁	1	
12	磁共振实验仪	1	
13	波导夹	4	
14	波导支架	3	
15	螺钉	20 套	
16	说明书	1	

5. 质量保证

自发货之日起十八个月内,如用户遵守运输、贮存和使用规则,而产品质量低于技术条件的规定,本厂负责免费修理。



图一 微波铁磁共振实验系统框图