

微波共振实验

电子自旋共振和铁磁共振

清华大学近物实验室

微波技术是研究微波信号的产生、传输、变换、发射、接收和测量的一门学科，内容十分丰富。它不仅在通讯、原子能技术、空间技术、量子电子学以及农业生产等方面有着广泛的应用，在科学研究中也是一种重要的观测手段，微波的研究方法和测试设备都与无线电波的不同。

通过做一系列微波方面的实验，对微波技术的相关知识、各种微波元件的使用和工作特性有比较系统的学习和了解，对微波在科研中的应用和研究方法有比较深刻的认识。

微波共振实验

注意事项和说明

1. 微波源的功率没有显示，以晶体检波器检测到的大小作参考。
2. 微波频率用波导管上的微波频率计测量，单位为 **GHz**。微波信号源的频率显示和实际频率有些差别，但可以作为调节频率计的参考。选择微波工作频率时尽量选微波源频率范围内的中间频率。
3. 驻波测量线只在驻波比测量时有用，共振实验中驻波测量线相当于一段波导管。
4. 使用连接各微波元件的固定螺钉时，不要用力过大，以免弯曲变形。
5. 各微波元件之间的连接要整齐、紧密，不能错位，也不能留有空隙，否则微波损耗过大，影响实验结果与测量。
6. 直流磁场的大小由线圈电流计算得到。
7. 观察电子自旋共振信号时，应使样品处于磁场最强处，频率计处于失谐状态，同时加上合适的扫描磁场。

微波电子自旋共振

电子自旋共振（简称 *ESR*），是 1944 年由扎伏伊斯基首先观察到的，它是探测物质中未耦合电子以及它们与周围原子相互作用的非常重要的方法，具有很高的灵敏度和分辨率，并且具有不破坏样品结构的优点，目前它在化学、物理、生物和医学等各方面都获得了广泛的应用。通过微波电子共振实验：

1. 研究了解电子自旋共振现象
2. 学习用微波频段检测电子自旋共振信号的方法
3. 测量 DPPH 中的朗德因子和共振线宽

实验前思考题

1. 微波与无线电波相比，有哪些特点？
2. 频率计的工作原理是什么？如何测量微波频率？
3. 环形器、隔离器、单螺调配器、晶体检波器等微波元件的作用是什么？
4. 电子自旋共振的本质是什么？（原理）
5. 什么是反射式谐振腔？它在本实验的作用是什么？
6. 如何调节可以使谐振腔耦合谐振？如何判断是否谐振？
7. 选择好微波频率后，样品在谐振腔中应放在什么位置？为什么？
8. 测量时为什么微波源选择“等幅”方式？
9. 电子自旋共振与谐振腔耦合谐振的本质区别是什么？在实验中它们有什么关系？

实验回答题

1. 在恒定磁场上迭加交变磁场的目的是什么？若不加扫场，能否观测到 *ESR* 信号？
2. 你观察到的 *ESR* 信号是什么样子的？影响对称性的因素有哪些？分析哪些因素对你的实验结果影响较大？
3. 发生电子自旋共振的磁场有一个范围，观察磁场范围的大小。既然在一定的磁场范围内都可以发生共振，如何比较准确地测量共振磁场？为什么？
4. 改变磁场大小对共振信号有什么影响？分析其原因。

实验内容和步骤

1. 按图接好各部件。注意：可调反射式谐振腔前必须加上带耦合孔的铜片，接入隔离器及环形时要注意其方向。
2. 开启微波源，选择“等幅”方式，预热 30 分钟。
3. 将单螺调配器的探针逆时针旋到螺旋测微器的“0”刻度，不要拧掉。
4. 在微波源频率范围内选定一微波频率（尽量选频率中段），用直读频率计测量微波频率。根据频率，计算波导波长，调节传动装置使样品处于微波磁场最强处。
5. 将检波晶体的输出同时接到微安表和磁共振实验仪的“检波输入”上，用电流表测量微波的大小，调节可调矩形谐振腔的可移动活塞，使谐振腔耦合共振。
6. 调节单螺调配器，使谐振腔匹配。
7. 磁共振实验仪的 X 轴和 Y 轴分别连接接示波器的 CH1 和 CH2，“扫场/检波”按钮选择“扫场”工作状态，扫场幅度可用“灵敏度”旋钮调节大小。改变稳恒磁场的大小，在示波器上搜索电子自旋共振信号。
8. 测量电子自旋共振时磁场的大小。观察共振磁场的范围，样品位置对共振信号的影响，并分析其原因。
9. 根据测量数据计算 DPPH 中电子的 g 因子。

选做实验：

- 1、利用电子自旋共振测量微波波导波长。

微波铁磁共振

铁磁共振 (*FMR*) 观察的对象是铁磁物质中未偶电子, 因此可以说它是铁磁物质中的电子自旋共振。

通过观测铁磁共振测定有关物理量, 可以研究微波材料的物理性质, 同时认识磁共振的一般特性。

实验前思考题

- 1、铁磁共振的本质是什么? (原理)
- 2、什么是透射式谐振腔? 谐振腔的耦合谐振条件是什么?
- 3、如何调节可以使谐振腔耦合谐振? 如何判断是否谐振?
- 4、样品为什么放在谐振腔的电场最弱而磁场最强处? 如何判断样品是否在谐振腔的磁场最强处?

实验回答题

1. 在恒定磁场上迭加交变磁场的目的是什么? 若不加扫场, 能否观测到铁磁共振信号?
2. 根据微波频率和谐振腔的腔长说明谐振时样品处于微波磁场最强处。
3. 测量 $P-B$ 曲线时, 为什么要断开扫场?
4. 你还知道哪些磁共振? 磁共振的一般特性是什么?

实验内容和步骤

1. 按图接好各部件。注意：传输式谐振腔两端都必须加上带耦合孔的铜片，接入隔离器时要注意其方向。
2. 微波源选择“等幅”方式。
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 为偶数。
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，调节微波频率，使谐振腔耦合共振，用直读频率计测量共振频率 f_0 。
5. 用示波器观察铁磁共振信号，并与电子自旋共振信号相比较。
6. 断开扫场，逐点测绘 P - B 曲线。
7. 计算回磁比 γ 、 g 因子，共振线宽及弛豫时间，对数据进行分析。