

# 各向异性磁电阻的测量

杨峻 物理学院 111120174

## § 1 实验目的

1. 初步了解磁性合金的AMR。
2. 初步掌握室温磁电阻的测量方法。

## § 2 实验原理

### 2.1 各向异性磁电阻(AMR)

一些磁性金属和合金的AMR与技术磁化相对应，即与从退磁状态到趋于磁饱和过程的电阻变化相对应。外加磁场与电流方向的夹角不同，饱和磁化时的电阻率不一样，即有各向异性。通常取外磁场方向与电流方向平行和垂直两种情况测量AMR，即有 $\Delta\rho_{\parallel} = \rho_{\parallel} - \rho(0)$ 和 $\Delta\rho_{\perp} = \rho_{\perp} - \rho(0)$ 。若退磁状态下磁畴是各向同性分布的，畴壁散射变化对磁电阻的贡献较小，将之忽略，则 $\rho(0)$ 与平均值 $\rho_{av} = \frac{\rho_{\parallel} + 2\rho_{\perp}}{3}$ 。

AMR通常定义为：

$$AMR = \frac{\rho_{\parallel} - \rho_{\perp}}{\rho(0)} \quad (1)$$

若 $\rho(0) \neq \rho_{av}$ ，则说明该样品在退磁状态下有磁畴结构，即磁畴分布非完全各向同性。

## § 3 实验描述

### 3.1 实验仪器

亥姆霍兹线圈，电磁铁，大功率恒流电源，大功率扫描电源，精密恒流源，数字微伏表，四探针样品夹具。

### 3.2 实验方法

1. 将样品切成窄条，这在测AMR时是必需的。对磁性合金薄膜，饱和磁化时，样品电阻率有如下关系：

$$\rho(\theta) = \rho(0) + \cos^2 \theta \Delta\rho$$

2. 用非共线四探针法测电阻值。

### 3.3 实验步骤

1. 将样品平行于磁场方向摆放；
2. 打开电源，将精密恒流源调至6 mA，给样品通过恒定电流；
3. 将大功率恒流电源输出电流调至6.00 A，使电磁铁产生磁场；
4. 逐步单向调整大功率恒流电源输出电流至-6.00 A，随时调整电流变化步长，记录调整过程中稳定的电流值和相应的微伏表的电压值；
5. 反向调整大功率恒流电源输出电流由-6.00 A至6.00 A，同上记录数据；
6. 将样品垂直于磁场方向放置，重复(3)~(5)，记录数据；
7. 将所有恒流源输出调至零，关闭电源。

## § 4 实验结果与分析

### 4.1 实验结果

#### 4.1.1 电流与磁场垂直

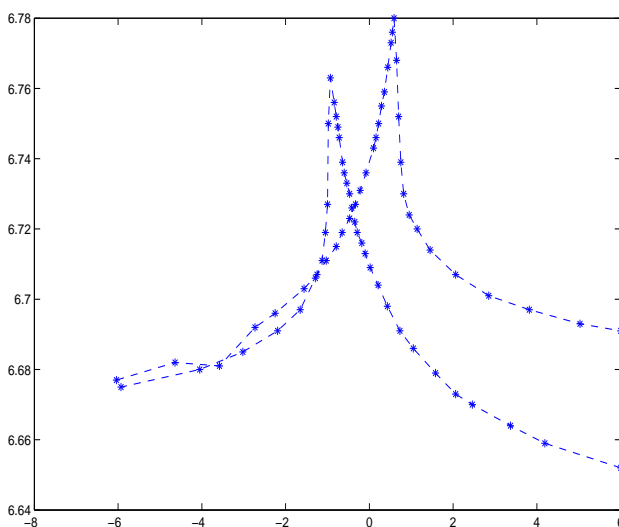


图 1: 样品电流与外磁场垂直时磁电阻曲线

由上图可以看出，两条曲线分别对应着电流增大和减小两种情况下的测的电压随着电流的变化值。由实验可知水平方向电流正比于磁场，而竖直方向电压正比于电阻率，所以上图可以看作是磁场与电流方向垂直时待测样品的AMR曲线。

由上图可以看出，两条峰并没有重合，而且峰值并没有在零点，说明所测得的样品波某磁畴等非完全各向同性，也就是说，薄膜是各向异性的，出现双峰是由于磁滞现象引起的。

由实验数据可以得出两个峰值电压为 $6.763mV$  和 $6.78mV$ 。电压随磁场趋于饱和的四个值为 $6.677mV$ ,  $6.675mV$ ,  $6.691mV$ ,  $6.652mV$ 。分别求平均可以得到 $\bar{U}_0 = 6.772mV$ ,  $\bar{U}_\perp = 6.674mV$ 。由于电流强度为 $6mA$ ,所以相应的磁电阻为 $\bar{R}_0 = 1.1287\Omega$ ,  $\bar{R}_\perp = 1.1123\Omega$ 。

#### 4.1.2 电流与磁场平行

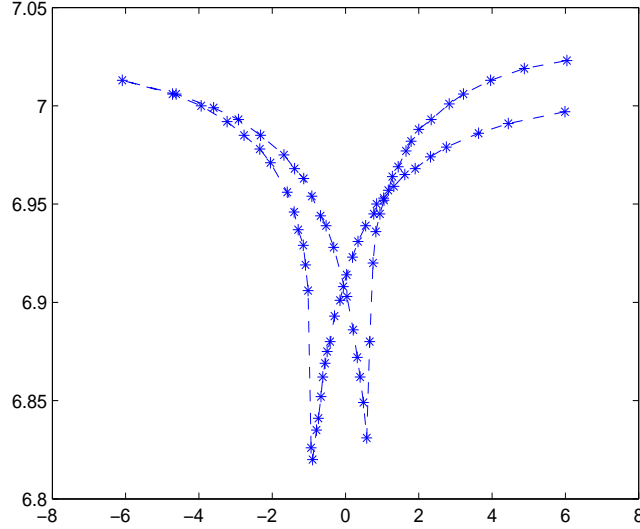


图 2: 样品电流与外磁场平行时磁电阻曲线

由实验数据可以得出两个峰值电压为 $6.820mV$  和 $6.831mV$ 。电压随磁场趋于饱和的四个值为 $6.997mV$ ,  $7.013mV$ ,  $7.013mV$ ,  $7.023mV$ 。分别求平均可以得到 $\bar{U}_0 = 6.8255mV$ ,  $\bar{U}_\parallel = 7.0115mV$ 。由于电流强度为 $6mA$ ,所以相应的磁电阻为 $\bar{R}_0 = 1.1376\Omega$ ,  $\bar{R}_\parallel = 1.1686\Omega$ 。

## 4.2 结果分析

根据前面的计算得到 $\bar{\rho}_0 = 1.1332$ 。

$\Delta\rho_\perp = 0.0209\Omega$ ,  $\Delta\rho_\parallel = 0.0354\Omega$ 。

对于平均值 $\rho_{av}$ ,由公式 $\rho_{av} = \frac{\rho_\parallel + 2\rho_\perp}{3}$ 计算得到 $\rho_{av} = 1.1311\Omega$

从而得到:

$$\frac{\Delta\rho_\perp}{\rho_{av}} = 0.0188 \quad (2)$$

$$\frac{\Delta\rho_\parallel}{\rho_{av}} = 0.0318 \quad (3)$$

所以 $AMR = \frac{\Delta\rho_\parallel - \Delta\rho_\perp}{\rho_{av}} = 0.0130 = 1.3\%$

实验中由于采用了手动调节磁场的大小,通过电流的大小来调节磁场,而在调节过程中,实验仪器的精确度和计数的精确度给实验带来了一定的误差。温度也会影响测量,测量过程中温度是一直变化的,所以会导致测量得到的曲线不对称。另外,磁场是近似认为是均匀场,实际上不是,这也会造成误差。同时在放置样品是与磁场平行或垂直都是目测的,这样也有可能造成测量的结果有误差。

## § 5 思考题

1. 测量AMR后计算出的 $\rho(0)$ ,  $\rho_{av}$ 是否相同, 如不同说明什么问题?

不同, 说明样品在退磁状态下有磁畴结构, 即磁畴分布并非完全各向同性。

2. 按前述步骤手动测出的磁电阻曲线与自动测出的磁电阻曲线有何异同, 为什么?

手动测出的磁电阻曲线相对于自动测出的磁电阻曲线有明显的基线漂移, 即随着测量时间的增加, 测得的曲线明显向高电阻方向移动。原因在于手动测量时间长, 电流通过样品产生的热效应不可忽略, 样品温度有显著升高, 使其电阻率明显变大。

3. 手动测量与自动测量时, 如何更好地选取流过样品的测量电流大小?

手动测量时, 测量电流不应太大, 否则热效应带来的影响过于突出;

自动测量时, 由于测量时间短, 测量电流可以较大, 以达到较好的实验精度。

4. 测量中如何减小热效应对测量的影响?

(a) 测量应尽量迅速;

(b) 测量时样品应处于良好通风环境中;

(c) 必要时可以采用有关的恒温设备。

5. 样品夹具采用材料有何要求?

(a) 对于样品夹具, 接触电阻对实验有影响, 因而对于夹具的材料, 电阻值应该比较小, 尽量减少接触电阻对实验的影响。夹具与样品的接触面积应比较小但必须有良好的接触。

(b) 材料不要具有铁磁性, 在磁场作用下性质不发生变化。