

# 实验十九 霍尔效应—电导率的测定

## 一、实验目的

1. 掌握霍尔效应产生的原理。
2. 了解变温霍尔效应测试系统的使用方法。
3. 掌握测量材料电阻率的基本原理和方法。

## 二、实验原理

### 1. 霍尔效应

霍尔效应是指在外加磁场下,处于导电状态的材料中的载流子由于受洛伦兹力的作用运动发生偏转,在垂直于磁场方向的材料的两端积聚异种电荷的现象。并且当外加磁场一定,电流不变以及温度恒定的情况下,材料在平行磁场两端积聚电荷数达到稳定,因此产生一个恒定电压 $V_H$ ,称为霍尔电压,该值大小由下式表述:

$$V_H = IBR_H / t \quad (1)$$

式中: $V_H$ 单位为V,  $t$ 为样品厚度,单位为m;  $I$ 为通过样品的电流,单位为A;  $B$ 为磁通密度,单位为 $wb/m^2$ ;  $R_H$ 为霍尔系数,与材料的性质有关,单位 $m^2/C$ 。

### 2. 材料的电阻率

材料的电阻率是表征材料导电能力的重要参数,它与材料的几何形状以及材料中所加电流和电压无关。标准样品(直六面体)的电阻率由下式表示:

$$\rho = \frac{twV_\sigma}{IL} (\Omega \cdot m) \quad (2)$$

其中 $V_\sigma$ 为电导电压,单位为V,  $t$ 为样品厚度,单位为m,  $w$ 为样品宽度,单位为m,  $L$ 为样品电位引线之间的距离,单位为m,  $I$ 为通过样品的电流,单位为A。

## 三、实验仪器设备及流程

1. CVM-200 霍尔效应仪。
2. TC-201 温控仪。
3. SV-12 变温恒温仪。
4. 可换向永磁磁铁。

#### 5. 实验样品:

- 1) 美国 Lakeshore 公司 HGT-2100 高灵敏霍尔探头, 工作电流 10mA, 室温下灵敏度为 55-140mV/kG;
- 2) 碲镉汞单晶, 厚 1.11mm, 最大电流 50mA。

## 四、实验操作步骤

### 1. 磁场标定

系统中的 S1 为已在室温下标定过的霍尔探头, 在室温下用开关选择样品 S1, 并使恒温器位于可换向永磁磁铁中心, 恒温器真空抽口垂直于商标面。开机后快速将横流源输出调到 mA, 此时 CVM-200 表的微伏表电压读数即为磁场的特斯拉数。霍尔探头最大电流为 10mA。

### 2. 室温下霍尔测量

将 19 芯电缆与恒温器连接好, 样品电缆选择碲镉汞单晶样品 S2, 调整样品电流到 50.00mA, 开机预热半小时。测量时, 降恒温器放置在磁场正中心, 按下开关  $V_H$ , 测霍尔电压  $V_{H1}$ , 如果电压较小, 改到 200mV 或 20mV 档; 按电流换向开关, 测  $V_{H2}$ ; 将黑色的永磁磁体转 180° 后再测  $V_{H3}$ ; 电流换向, 测  $V_{H4}$ ; 将恒温器水平左移, 使样品处的磁场为 0, 按  $V_M$  开关, 测  $V_{M1}$ ; 按电流换向开关, 测  $V_{M2}$ 。按  $V_N$  开关, 测  $V_{N1}$ ; 按电流换向开关, 测  $V_{N2}$ 。

### 3. 变温测量

取出恒温器中心杆, 注入液氮(依测量点的多少决定加液氮量), 具体注意事项请参见 SV-12 低温恒温器使用说明书。如不想从 80K 低温测起, 可先将控温设定在 270K, 再加液氮并及时插入中心杆, 进行较高温度的控温实验。控温时顺时针转动中心杆至最低位置, 再回旋约 180°~720° 即可通过控温仪设定控温了。等温度控制稳定后。重复测量过程 2, 测得此温度点的各项霍尔参数。改变测定温度, 测另一温度点的霍尔参数。

中心杆旋高则冷量增大, 适于快速降温及较低温度的实验。控温精度与 PID 参数有关, 请适当调整中心杆高度, 以提高不同温区的控温精度。

### 4. 安全注意事项

- (1) 经常检查并保证仪器电接地正常。
- (2) 湿手不能触及过冷表面、液氮漏斗, 防止皮肤冻粘在深冷表面上, 造成严重冻伤! 灌液氮时应戴棉手套。如果发生冻伤, 请立即用大量自来水冲洗, 并按烫伤处理伤口。
- (3) 实验完毕, 一定要拧松、提起中心杆, 防止热膨胀胀坏恒温器。

## 五、数据处理

### 1. 霍尔系数和载流子浓度

霍尔电压的方向与电流方向，磁场方向和载流子类型有关。本系统所提供的碲镉汞单晶在室温下为 n 型载流子导电，在液氮温度为 p 型载流子导电。请于实验前用指南针确定电磁铁极性与电流方向的关系，供实验判断载流子类型用。

进行霍尔测量时，由于存在热电势、电阻压降等副效应，故要在不同电流方向和磁场方向下进行 4 次霍尔电压测量，得到四个值： $V_{H1}$ 、 $V_{H2}$ 、 $V_{H3}$ 、 $V_{H4}$ 。最后霍尔电压取这四个值绝对值的平均值：

$$|V_H| = \frac{1}{4} (|V_{H1}| + |V_{H2}| + |V_{H3}| + |V_{H4}|) \quad (3)$$

然后通过式(1)计算霍尔系数。

对于单一载流子导电的情况，载流子浓度为：

$$n = \frac{10^{19}}{1.6R_H} (\Omega \cdot m) \quad (4)$$

### 2. 电阻率

本仪器中两块样品均为范德堡样品，由于样品的几何形状不同于标准样品(图 1)，其电阻率的表示方法不同于式(2)：

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\pi t}{2f \ln 2} (R_{mp-on} + R_{mn-op}) \\ &= \frac{\pi t}{4If \ln 2} (|V_{M1}| + |V_{M2}| + |V_{N1}| + |V_{N2}|) \end{aligned} \quad (5)$$

其中  $I$  为通过样品的电流(假设在测量过程中使用了同样的样品电流)， $f$  为形状因子，对对称样品引线分布： $f \approx 1$ 。

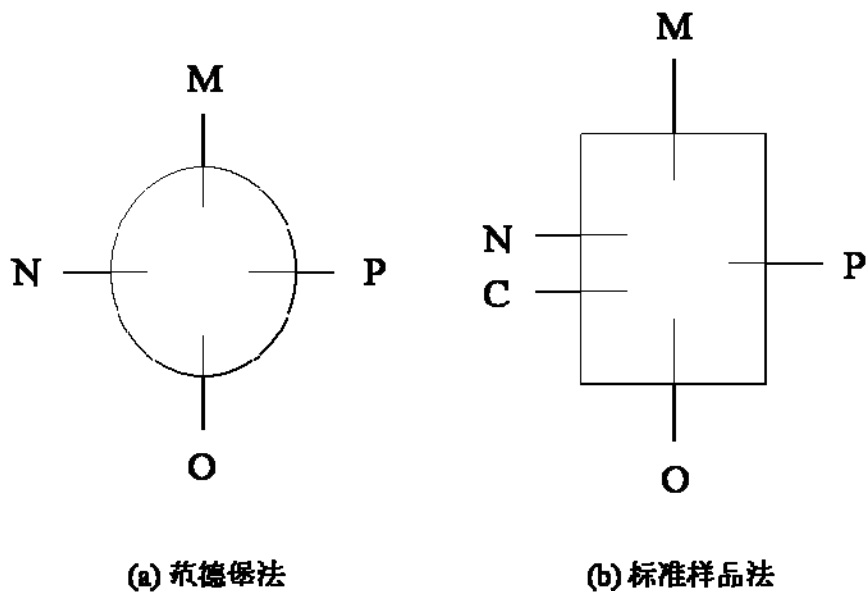


图 1 霍尔测量的样品焊线定义

### 3. 霍尔迁移率

霍尔迁移率可表示为：

$$\mu = R_H / \rho \tag{6}$$

对于混合导电的情况，按照上式计算出来的结果无明确的物理意义，既不代表电子迁移率，也不代表空穴迁移率。

## 六、分析讨论题

1. 如何确定霍尔电场的方向？
2. 霍尔系数是如何定义的？在什麼物质中(导体还是半导体)——霍尔系数强烈地依赖于温度？
3. 分析实验结果，找出霍尔效应与温度的变化规律。  
分析实验结果，判断在不同温度下载流子类型。