

# 霍尔效应

## 【实验目的】

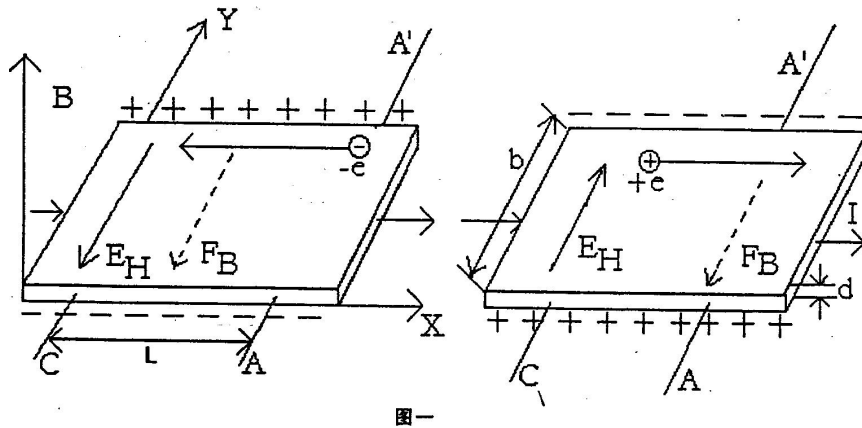
1. 掌握用“对称测量法”消除系统误差的方法。
2. 了解霍尔效应实验原理。
3. 确定被测样品的导电类型及霍尔系数。

## 【实验仪器】

霍尔效应实验装置 SH500 一套。

## 【实验原理】

置于磁场中的载流体，如果电流的方向与磁场方向垂直，则在垂直于电流和磁场的方向上会产生一附加的横向电场。这种现象就称为霍尔效应。霍尔效应从本质上讲，是运动的带电粒子在磁场中受洛仑兹力作用而发生偏转。当带电粒子(电子或空穴)被约束在固体材料中这种偏转就导致垂直于电流和磁场方向上产生正负电荷的聚积，从而形成了附加的横电场。如(图一)所示的半导体样品，若在 X 方向通以电流 I，在 Z 方向上加磁场 B，则在 Y 方向上即样品 AA' 两侧就开始聚积异号电荷而产生附加电场，电场的方向与半导体的导电类型有关。



图一

显然，该电场是阻带电粒子继续向侧面进行偏移的，当带电粒子所受的电场力  $eE_H$  与洛仑兹力  $eVB$  相等时，样品两侧电荷的积累就达到平衡，所以有：

$$eE_H = eVB \quad (1)$$

其中  $E_H$  为霍尔电场， $V$  是载流子在电流方向上的平均漂移速度。如果设样品的宽度为  $b$ ，厚度为  $d$ ，载流子的浓度为  $n$ ，则电流强度为：

$$I = ebdnV \quad (2)$$

由(1)(2)两式可得：

$$V_H = E_H \cdot b = \frac{1}{ne} \cdot \frac{I \cdot B}{d} = R_H \frac{IB}{d} \quad (3)$$

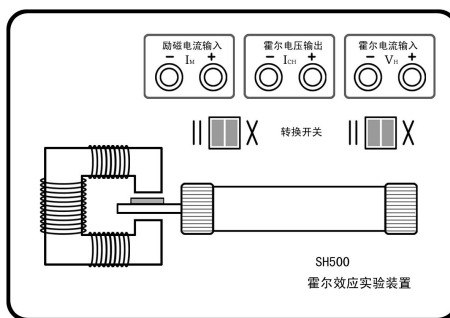
由(3)式可知：霍尔电压(即 A 与 A'之间的电压)与  $I \cdot B$  的乘积成正比，与样品的厚度  $d$  成反比，其比例系数  $R_H = 1 / ne$  称为霍尔系数。它是反映材料霍尔效应强弱的重要参数。以后只要测出霍尔电压  $V_H$ (伏)，以及知道电流强度  $I$ (安)，磁场强度  $B$ (特斯拉)和样品厚度  $d$ (厘米)，则可按(4)式计算出霍尔系数  $R_H$ ( $\text{cm}^3 / \text{库仑}$ )

$$R_H = \frac{V_H d}{IB} \times 10^4 \quad (4)$$

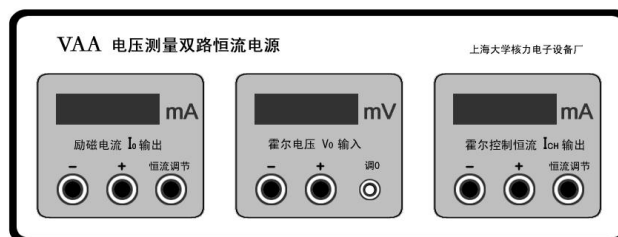
由  $R_H$  的符号或霍尔电压的正负可判断样品的导电类型，差别方法是按图一所示的  $I$  和  $B$  的方向，若测得的  $V_H < 0$  即 A 点电位低于 A'的电位，则  $R_H$  为负，样品为 N 型半导体。反之则为 P 型。

金属导体和不良导体的霍尔系数均很小，而半导体的霍尔系数较大。尤其是 N 型半导体，所以大多数的霍尔器件采用 N 型半导体材料制造。由(3)式我们还可看出霍尔电压的大小与材料的厚度成反比，因而薄膜型的霍尔器件的输出电压比片状的要高得多。就霍尔器件而言其厚度是一定的。所以在实用上采用  $K_H = 1 / ned$  即  $K_H = R_H / d$  来表示霍尔器件的灵敏度， $K_H$  就称为霍尔灵敏度，单位为  $\text{mV}(\text{mA} \cdot \text{T})$ 。目前用高迁移率的锑化钢为材料的薄膜型霍尔器件，其  $K_H$  可高达  $200 \sim 300 \text{mV}(\text{mA} \cdot \text{T})$  而通常的片状硅霍尔器件仅为  $2 \text{mV}(\text{mA} \cdot \text{T})$ 。

### 【仪器介绍】



图二



图三

霍尔效应实验装置由实验台图二和测试仪图三两部分组成。

实验台中有电磁铁，规格 $>0.25\text{T}$ (特斯拉) / A 根据励磁电流  $I_M$  的大小和方向确定磁场的强度和方向，(红线为头，棕线为尾，顺时针绕向，被测样品为硅半导体，厚度为  $d=0.020\text{cm}$ ，AC 间的距离  $l=0.5\text{cm}$ ，样品放置的方位(操作者面对实验台)及电极引线如图四。)

测试仪内有两个直流源、分别供给电磁铁电流  $I_M$  和被测样品电流  $I_s$ ，这两个电流并用一只数字电流表来测量。还有 $-0\sim 200\text{mV}$  的数字电压表测量  $V_H$  及  $V_6$ 。

### 【实验内容与步骤】

#### 1. 测量方法

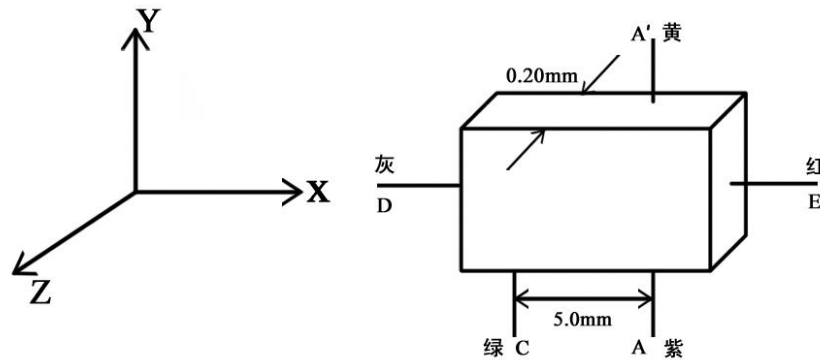


图 四

在产生霍尔效应的同时，还伴随着各种副效应，所以测量时测得的  $V_H$  并不等于真实的霍尔电压，而是包括其他副效应所引起的虚假电压。产生了系统误差。如图五所示的不等势电压降  $V_0$ ，这是由于测量霍尔电压的电极 A, A'不在一个理想的等势面上，因此当有电流  $I_0$  通过时，即使不加磁场也会产生附加电压  $V_0=I_0r$ 。其中  $r$  为 A, A'所在等势面之间的电阻。 $V_0$  的符号与大小只与电流  $I_0$  的方向与大小有关。而与磁场无关，所以在同一电流  $I_0$  下只要把  $I_0$  的方向改变再测一次即可。除  $V_0$  以外，其他副效应引起误差大多可以通过改变电流  $I$  和磁场  $B$  的方向加以消除。具体说就是在规定了电流和磁场正方向后，分别测量由下列四组不同方向的  $I_0$  和  $B$  组合的  $V_{AA'}$ ，即：

$$+B+I \quad V_{AA'}=V_1 \quad -B+I \quad V_{AA'}=-V_2 \quad -B-I \quad V_{AA'}=V_3 \quad +B-I \quad V_{AA'}=-V_4$$

$$\text{则} \quad V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4} \quad (5)$$

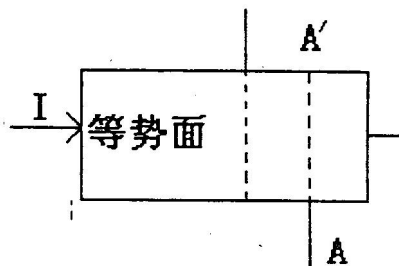
通过上述所谓对称测量法，虽不能完全消除所有副效应引起的误差，但剩下的很小，可以略去不计。

在磁场  $B=0$  时，可以通过测量 AC 之间的电压，从而求出被测样品的电导率  $\sigma$ ，公式为：

$$\sigma = \frac{I \cdot l}{V_{AC} \cdot bd} \quad (6)$$

## 2. 实验内容

- 用对称测量法测定被测样品的霍尔系数  $R_H$ ，并确定导电类型。
- 保持  $I_M$  不变(取  $I_M=0.80A$ )测绘  $V_H-I_{CH}$  曲线，取  $I_{CH}=1.00, 2.00, \dots, 10.0mA$ 。
- 保持  $I_{CH}$  不变，取  $I_{CH}=10mA$ ，测绘  $V_H-I_M$  曲线， $I_M=0.100, 0.200, \dots, 1.00A$ 。
- 在零磁场下，取  $I_{CH}=1.00mA$ ，测  $V_{AC}$ ，求出  $\sigma$  值。



图五

### 【注意事项】

- 测试仪的“ $I_{CH}$  输出”、“ $I_M$  输出”和“ $V_H$  输入”分别接实验台的“ $I_{CH}$  输入”，“ $I_M$  输入”和“ $V_H V_\sigma$  输出”，三对线的联接务必正确不得有误(参阅图二和图三)。
- 测  $V_H-I_{CH}$  和  $V_H-I_M$  关系曲线时，实验台上的  $V_H$ 、 $V_\sigma$  开头均置  $V_H$  一侧，侧  $V_\sigma$  时，应置  $V_\sigma$  一侧。
- 测试仪的“测量选择”按键除了测  $I_{CH}$  时，平时应放置监测  $I_M$  的位置。
- 在实验过程中， $V_H V_\sigma$  开关不宜开路，否则毫伏表输入端开路，而导致无规则跳动或溢出。
- 测试样品性脆易碎，现已调放在磁极的中心位置，不可随意调节  $x$ 、 $y$  位置旋钮以改变样品位置，导致损坏样品。

### 【知识拓展】

置于磁场中的载流体，如果电流方向与磁场垂直，则在垂直于电流和磁场的方向会产生一附加的横向电场，这个现象是霍普金斯大学研究生霍尔于 1879 年发现的，后被称为霍尔效应。如今霍尔效应不但是测定半导体材料电学参数的主要手段，而且利用该效应制成的霍尔器件已广泛用于非电量的电测量、自动控制和信息处理等方面。在工业生产要求自动检测和控制的今天，作为敏感元件之一的霍尔器件，将有更广泛的应用前景。掌握这一富有实用性的实验，对日后的工作将有益处。