

大学

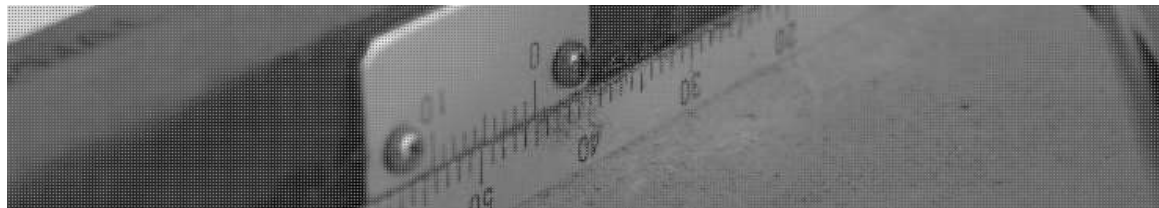
物理实验网络课程

On Line Courses of University Physics Experiments

物理实验课程 &gt;&gt; 通过霍尔效应测量磁场

[首页](#)[网站地图](#)[使用说明](#)[更新日志](#)[联系我们](#)

# 通过霍尔效应测量磁场

[仪器介绍](#) | [习题](#) | [仪器使用维护方法](#) | [问题交流](#)

## 实验简介

在磁场中的载流导体上出现很微电势差的现象是24岁的研究生霍尔（Edwin H. Hall）在1879年发现的，现在称之为霍尔效应。随着半导体物理学的迅猛发展，霍尔系数和电导率的测量已经称为研究半导体材料的主要方法之一。通过实验测量半导体材料的霍尔系数和电导率可以判断材料的导电类型、载流子浓度、载流子迁移率等主要参数。若能测得霍尔系数和电导率随温度变化的关系，还可以求出半导体材料的杂质电离能和材料的禁带宽度。

在霍尔效应发现约100年后，德国物理学家克利青(Klaus von Klitzing)等研究半导体在极低温度和强磁场中发现了量子霍尔效应，它不仅可作为一种新型电阻标准，还可以改进一些基本产量的精确测定，是当代凝聚态物理学和磁学令人惊异的进展之一，克利青为此发现获得1985年诺贝尔物理学奖。其后美籍华裔物理学家崔琦(D. C. Tsui)和施特默( )在更强磁场下研究量子霍尔效应时发现了分数量子霍尔效应。它的发现使人们对宏观量子现象的认识更深入一步，他们为此发现获得了1998年诺贝尔物理学奖。

用霍尔效应之各种传感器，以广泛应用于工业自动化技术、检测技术和信息处理各个方面。本实验的目的是通过用霍尔元件测量磁场，判断霍尔元件载流子类型，计算载流子的浓度和迁移速度，以及了解霍尔效应测试中的各种副效应及消除方法。

## 实验原理

### ■ 通过霍尔效应测量磁场

霍尔效应装置如图2.3.1-1和图2.3.1-2所示。将一个半导体薄片放在垂直于它的磁场中(B的方向沿z轴方向)，当沿y方向的电极A、A'上施加电流I时，薄片内定向移动的载流子(设平均速率为u)受到洛伦兹力 $F_B$ 的作用，

$$F_B = q u B \quad (1)$$

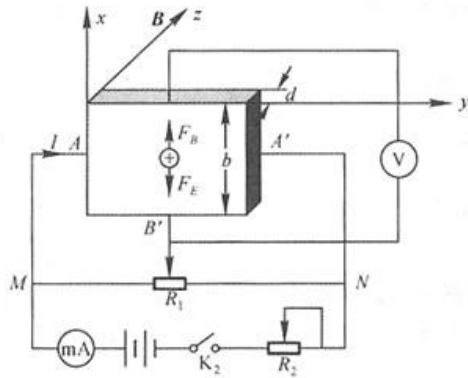


图 2.3.1-1 实验装置图(霍尔元件部分)

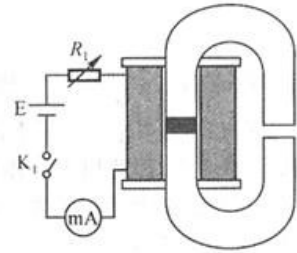


图 2.3.1-2 电磁铁气隙中的磁场

无论载流子是负电荷还是正电荷,  $F_B$  的方向均沿着  $x$  方向, 在磁力的作用下, 载流子发生偏移, 产生电荷积累, 从而在薄片  $B$ 、 $B'$  两侧产生一个电位差  $V_{BB'}$ , 形成一个电场  $E$ 。电场使载流子又受到一个与  $F_B$  方向相反的电场力  $F_E$ ,

$$F_E = q E = q V_{BB'} / b \quad (2)$$

其中  $b$  为薄片宽度,  $F_E$  随着电荷累积而增大, 当达到稳定状态时  $F_E = F_B$ , 即

$$q u B = q V_{BB'} / b \quad (3)$$

这时在  $B$ 、 $B'$  两侧建立的电场称为霍尔电场, 相应的电压称为霍尔电压, 电极  $B$ 、 $B'$  称为霍尔电极。

另一方面, 射载流子浓度为  $n$ , 薄片厚度为  $d$ , 则电流强度  $I$  与  $u$  的关系为:

$$(4)$$

由(3)和(4)可得到

$$(5)$$

另 则

$$(6)$$

$R$  称为霍尔系数, 它体现了材料的霍尔效应大小。根据霍尔效应制作的元件称为霍尔元件。

在应用中, (6)常以如下形式出现:

$$(7)$$

式中  $K_H$  称为霍尔元件灵敏度,  $I$  称为控制电流。

由式(7)可见, 若  $I$ 、 $K_H$  已知, 只要测出霍尔电压  $V_{BB'}$ , 即可算出磁场  $B$  的大小; 并且若知载流子类型 ( $n$  型半导体多数载流子为电子,  $P$  型半导体多数载流子为空穴), 则由  $V_{BB'}$  的正负可测出磁场方向, 反之, 若已知磁场方向, 则可判断载流子类型。

由于霍尔效应建立所需时间很短 (10-12~10-14s), 因此霍尔元件使用交流电或者直流电都可。指示交流电时, 得到的霍尔电压也是交变的, (7)中的  $I$  和  $V_{BB'}$  应理解为有效值。

■ 霍尔效应实验中的付效应

在实际应用中, 伴随霍尔效应经常存在其他效应。例如实际中载流子迁移速率  $u$  服从统计分布规律, 速度小的载流子受到的洛伦兹力小于霍尔电场作用力, 向霍尔电场作用力方向偏转, 速度大的载流子受到磁场作用力大于霍尔电场作用力, 向洛伦兹力方向偏转。这样使得一侧告诉载流子较多, 相当于温度较高, 而另一侧低速载流子较多, 相当于温度较低。这种横向温差就是温差电动势  $V_E$ , 这种现象

称为爱廷豪森效应。这种效应建立需要一定时间，如果采用直流电测量时会因此而给霍尔电压测量带来误差，如果采用交流电，则由于交流变化快使得爱廷豪森效应来不及建立，可以减小测量误差。

此外，在使用霍尔元件时还存在不等位电动势引起的误差，这是因为霍尔电极B、B'不可能绝对对称焊在霍尔片两侧产生的。由于目前生产工艺水平较高，不等位电动势很小，故一般可以忽略，也可以用—个电位器加以平衡(图2.3.1-1中电位器 $R_1$ )。

我们可以通过改变 $I_S$ 和磁场B的方向消除大多数付效应。具体说在规定电流和磁场正反方向后，分别测量下列四组不同方向的 $I_S$ 和B组合的 $V_{BB'}$ ，即

$$+B, +I \quad V_{BB'}=V_1$$

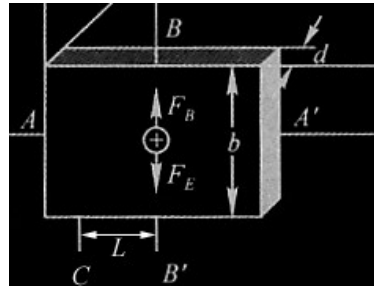
$$-B, +I \quad V_{BB'}=-V_2$$

$$-B, -I \quad V_{BB'}=V_3$$

$$+B, -I \quad V_{BB'}=-V_4$$

然后利用  $\frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$  得到霍尔电压平均值，这样虽然不能消除所有的付效应，但其引入的误差不大，可以忽略不计。

电导率测量方法如下图所示。设B'C间距离为L，样品横截面积为 $S=bd$ ，流经样品电流为 $I_S$ ，在零磁场下，测得B'C间电压为 $V_{B'C}$ ，则



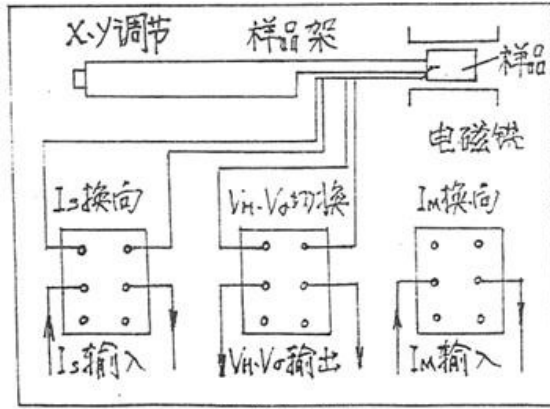
### 学习重点

- 了解霍尔效应原理以及有关霍尔器件对材料要求的知识。
- 学习用“对称测量法”消除付效应影响。
- 根据霍尔电压判断霍尔元件载流子类型，计算载流子的浓度和迁移速度，

### 实验仪器

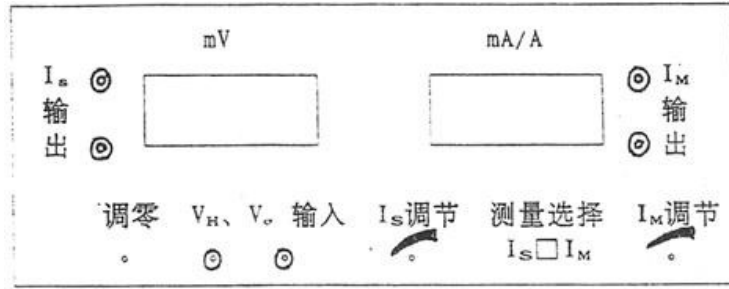
QS-H霍尔效应组合仪，小磁针，测试仪。

- 霍尔效应组合仪包括电磁铁，霍尔样品和样品架，换向开关和接线柱，如下图所示。



霍尔效应组合仪

- 测试仪由励磁恒流源 $I_M$ ，样品工作恒流源 $I_S$ ，数字电流表，数字毫伏表等组成，仪器面板如下图：



测试仪

### 实验内容

将测试仪上 $I_M$ 输出， $I_S$ 输出和 $V_H$ 输入三对接线柱分别与实验台上对应接线柱连接。打开测试仪电源开关，预热数分钟后开始实验。

- 保持 $I_M$ 不变，取 $I_M=0.45A$ ， $I_S$ 取1.00,1.50……,4.50mA，测绘 $V_H-I_S$ 曲线，计算RH。
- 保持 $I_S$ 不变，取 $I_S=4.50mA$ ， $I_M$ 取0.100,0.150……,0.450mA，测绘 $V_H-I_M$ 曲线。
- 在零磁场下，取 $I_S=0.1mA$ ，测 $V_{B'C}$ (即 $V_\delta$ )。
- 确定样品导电类型，并求 $n, \mu, \rho, \sigma$ 。

### 注意事项

- 测试仪开机、关机前将 $I_S, I_M$ 旋钮逆时针转到底，防止输出电流过大。
- $I_S, I_M$ 接线不可颠倒，以防烧坏样品。

### 思考题

- 若磁场不恰好与霍尔元件片底法线一致，对测量结果有何影响，如果用实验方法判断B与元件发现是否一致？
- 能否用霍尔元件片测量交变磁场？

### 设计性内容

- 拟定实验方案, 霍尔元件测量交变磁场的磁感应强度。

[首页](#)

[网站地图](#)

[使用说明](#)

[更新日志](#)

[联系我们](#)