

# 实验13 霍尔效应实验

## 一、实验背景知识

在磁场中的载流导体上出现横向电势差的现象是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。



## 霍尔效应的研究

在霍尔效应发现约100年后，1980年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，克利青因此发现获得1985年诺贝尔物理学奖。

1982年，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，他们因此发现获得了1998年诺贝尔物理学奖。

量子反常霍尔效应

## 霍尔效应的应用

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。

用霍尔效应制备的各种传感器，已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。

霍尔器件通过检测磁场变化，转变为电信号输出，可用于监视和测量汽车各部件运行参数的变化。例如位置、[位移](#)、角度、[角速度](#)、[转速](#)等等，并可将这些变量进行二次变换;可测量压力、质量、[液位](#)、[流速](#)、流量等。霍尔器件输出量直接与电控单元接口，可实现自动检测。如今的霍尔器件都可承受一定的振动，可在零下40摄氏度到零上150摄氏度范围内工作，全部密封不受水油污染，完全能够适应汽车的恶劣工作环境

## 二、实验原理

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负效应及消除方法。

### 1. 通过霍尔效应测量磁场

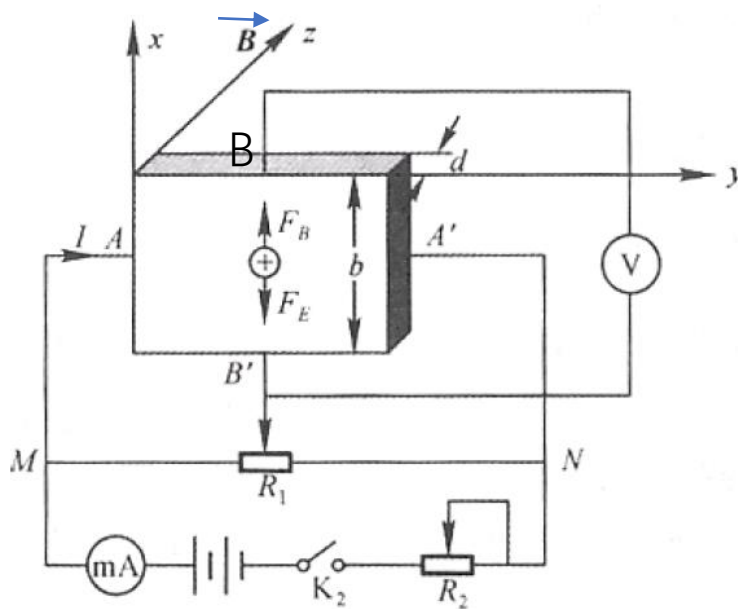
$$F_B = quB, \quad F_E = \frac{V_{BB'}}{b}$$

$$F_B = F_E$$

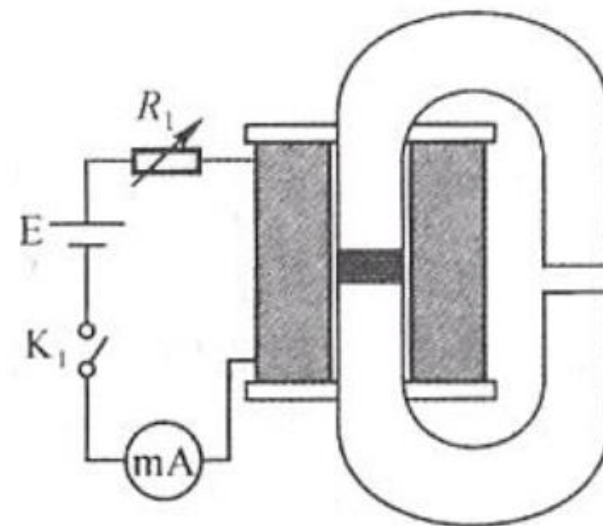
$$I = bdnqu$$

$$V_{BB'} = \frac{1}{nq} \cdot \frac{IB}{d} = R_H \frac{IB}{d}$$

$$R_H = \frac{1}{nq}$$



实验装置图（霍尔元件部分）



电磁铁气隙中的磁场

在霍尔效应应用中，霍尔电势常表示为：

$$V_{BB'} = K_H IB$$

式中  $K_H = \frac{1}{nqd}$  称为霍尔元件的灵敏度,  $I$  称为控制电流

由上式可见，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。

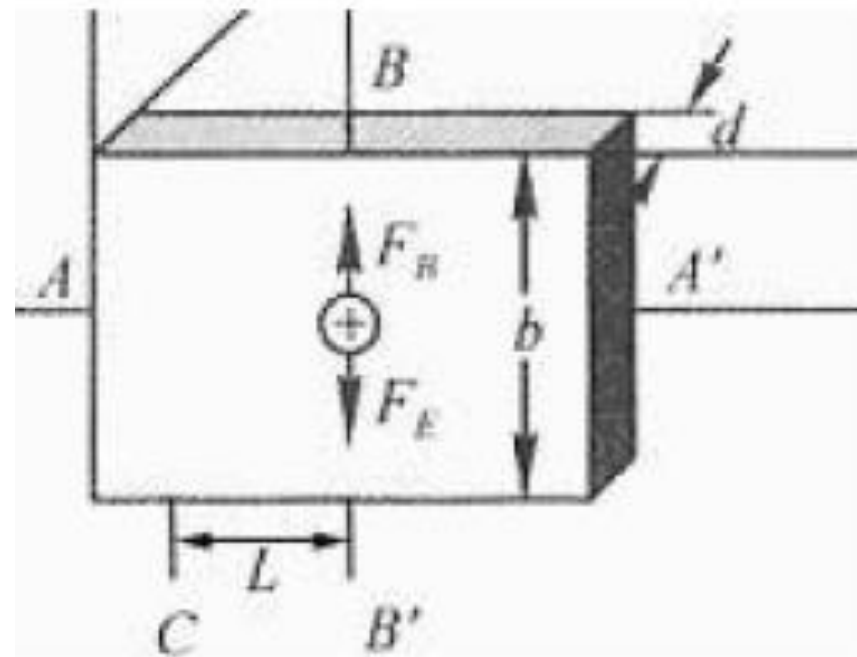
由于霍尔效应建立所需时间很短（ $10^{-12} \sim 10^{-14} \text{s}$ ），因此霍尔元件使用交流电或者直流电都可。使用交流电时，得到的霍尔电压也是交变的，上式中的  $I$  和  $V_{BB'}$  应理解为有效值。

## 2. 电导率的测量

如图所示, 设B'C间距为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间的电压为 $V_{B'C}$  .

$$R = \frac{V_{B'C}}{I_s} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{L}{bd}$$

$$\text{电导率: } \sigma = \frac{L \cdot I_s}{b \cdot d \cdot V_{B'C}}$$



### 3. 霍尔效应实验中的负效应

#### (1) 爱廷豪森效应

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。这样使得一侧高速载流子较多，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。

#### (2) 不等位电动势

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，可以提高生产工艺，或用一个电位器加以平衡(图中电位器 $R_1$ )

#### (3) 地磁或环境的影响

霍尔效应实验中，可以通过改变控制电流 $I_S$ 和磁场 $B$ 的方向消除大多数副效应。

$+B$	$+I$	$V_{BB'}=V_1$
$-B$	$+I$	$V_{BB'}=-V_2$
$-B$	$-I$	$V_{BB'}=V_3$
$+B$	$-I$	$V_{BB'}=-V_4$

$$V_H = V_{BB'} = \frac{|V_1| + |V_2| + |V_3| + |V_4|}{4}$$



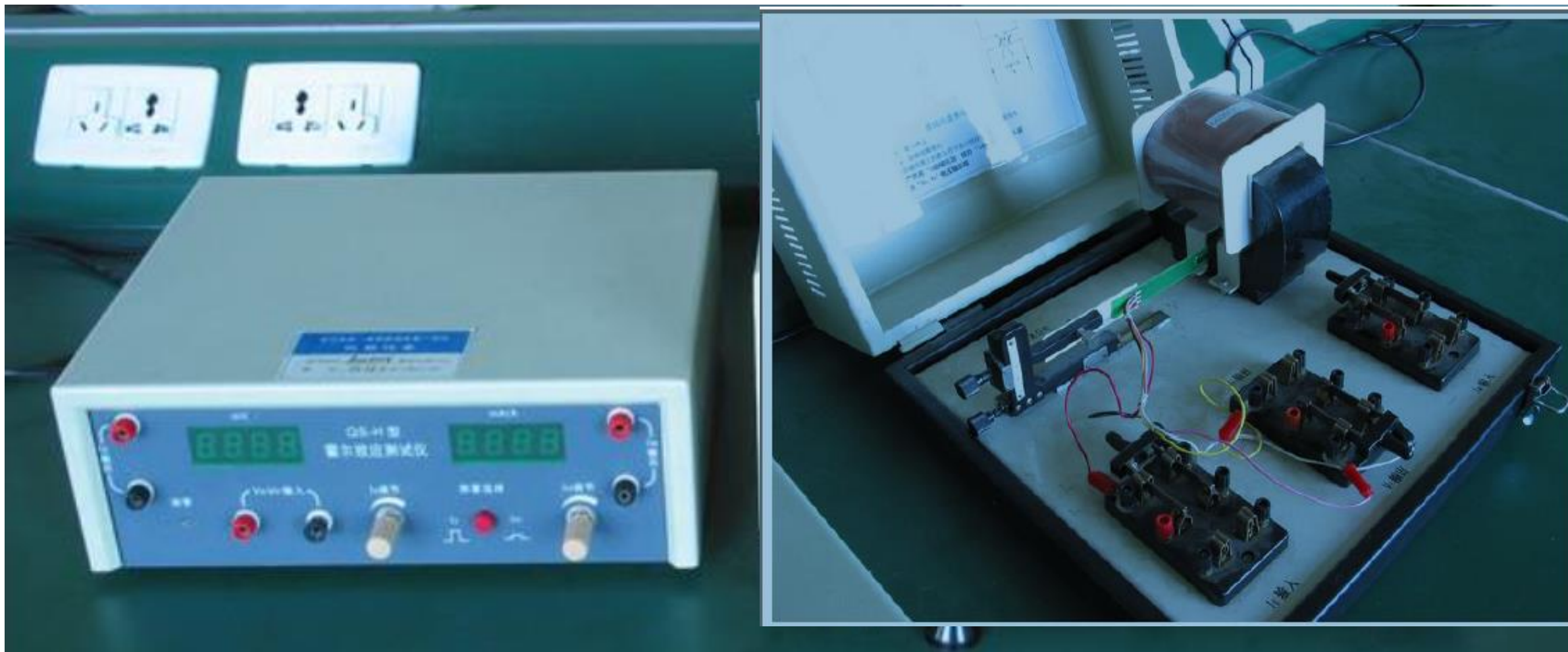
### 三、实验内容

1. 保持 $I_m$ 不变, 取 $I_m=0.45\text{A}$ ,  $I_s$ 取 $1.00, 1.50\cdots, 4.50\text{mA}$ , 测绘 $V_H-I_s$ 曲线, 计算 $R_H$ 。
2. 保持 $I_s$ 不变, 取 $I_s=4.50\text{mA}$ ,  $I_m$ 取 $0.100, 0.150\cdots, 0.450\text{mA}$ , 测绘 $V_H-I_m$ 曲线。
3. 在零磁场下, 取 $I_s=0.1\text{mA}$ , 测 $V_{B'C}$ 。
4. 确定样品导电类型, 并求载流子浓度 $n$ , 迁移率 $\mu$ , 电导率 $\sigma(1/\Omega \cdot \text{cm})$ 。

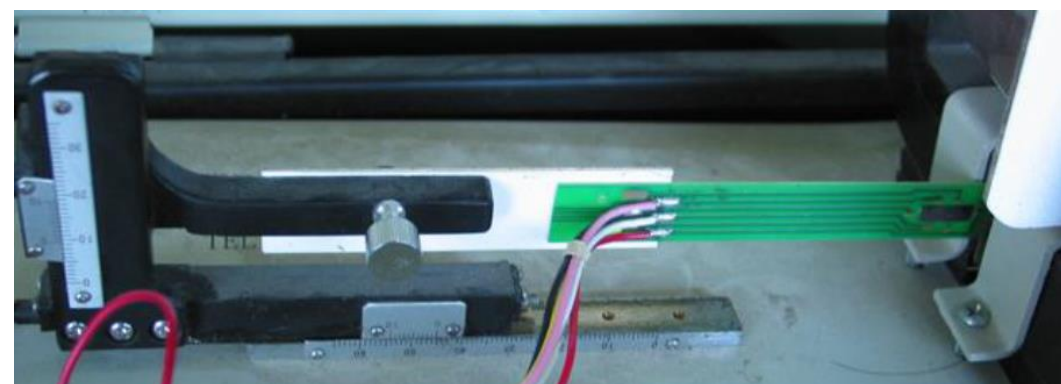
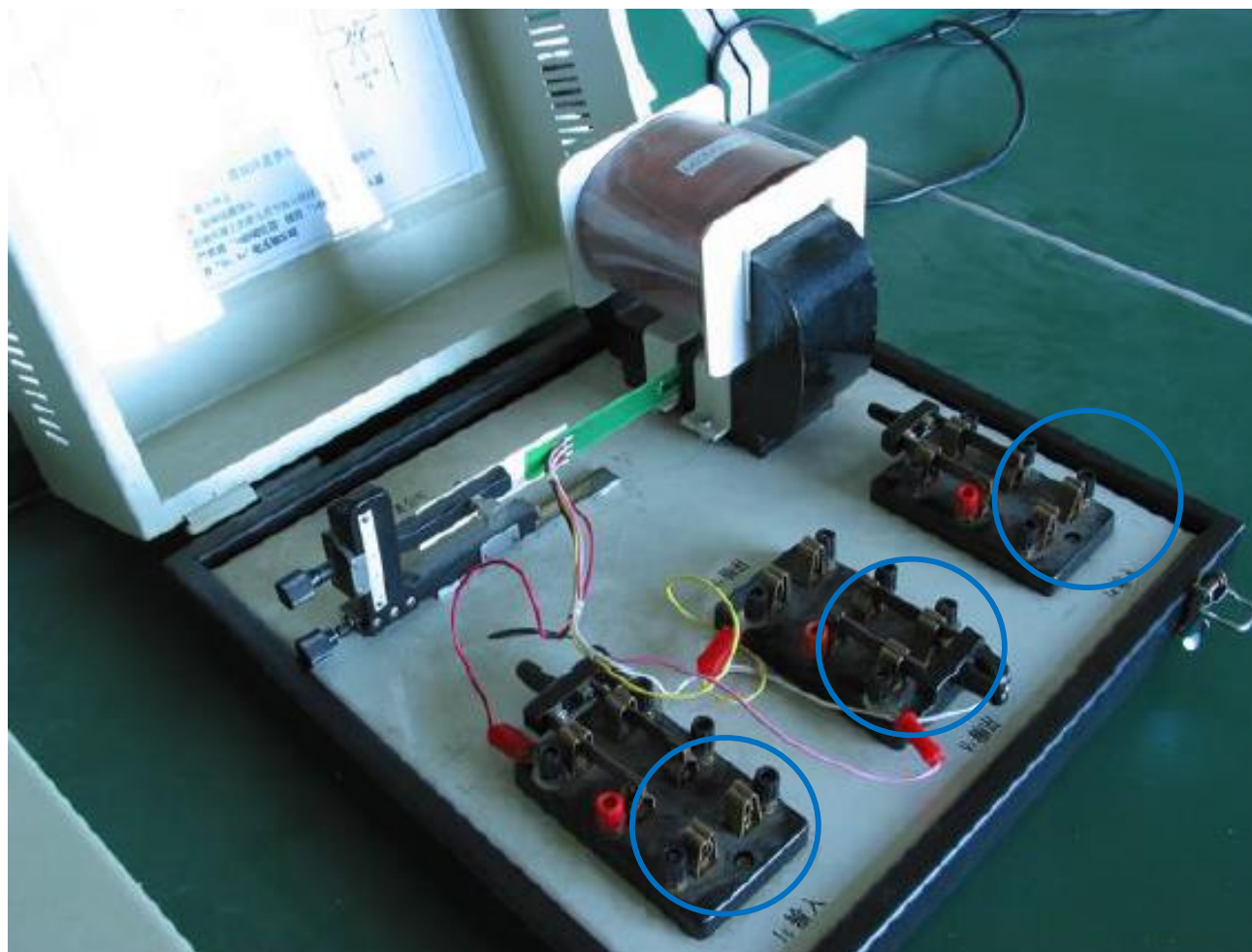
$$\text{电导率: } \sigma = \frac{L \cdot I_s}{b \cdot d \cdot V_{B'C}}$$

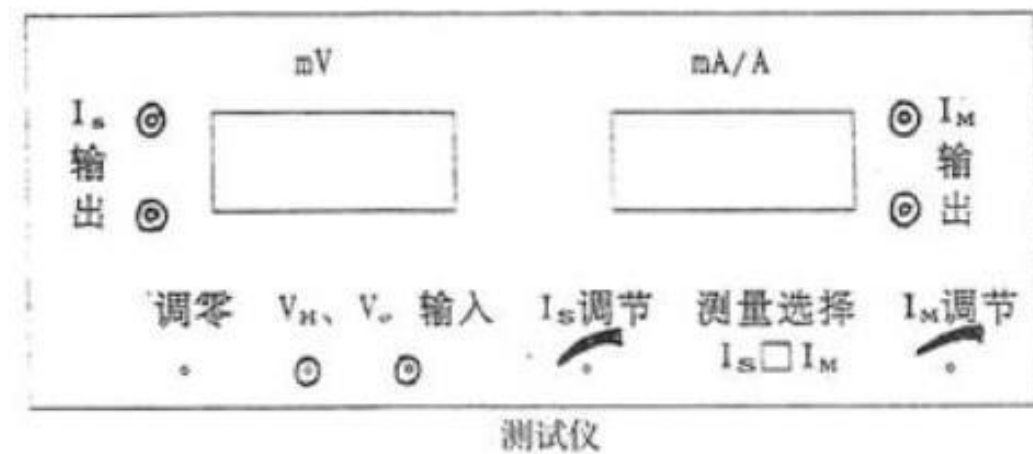
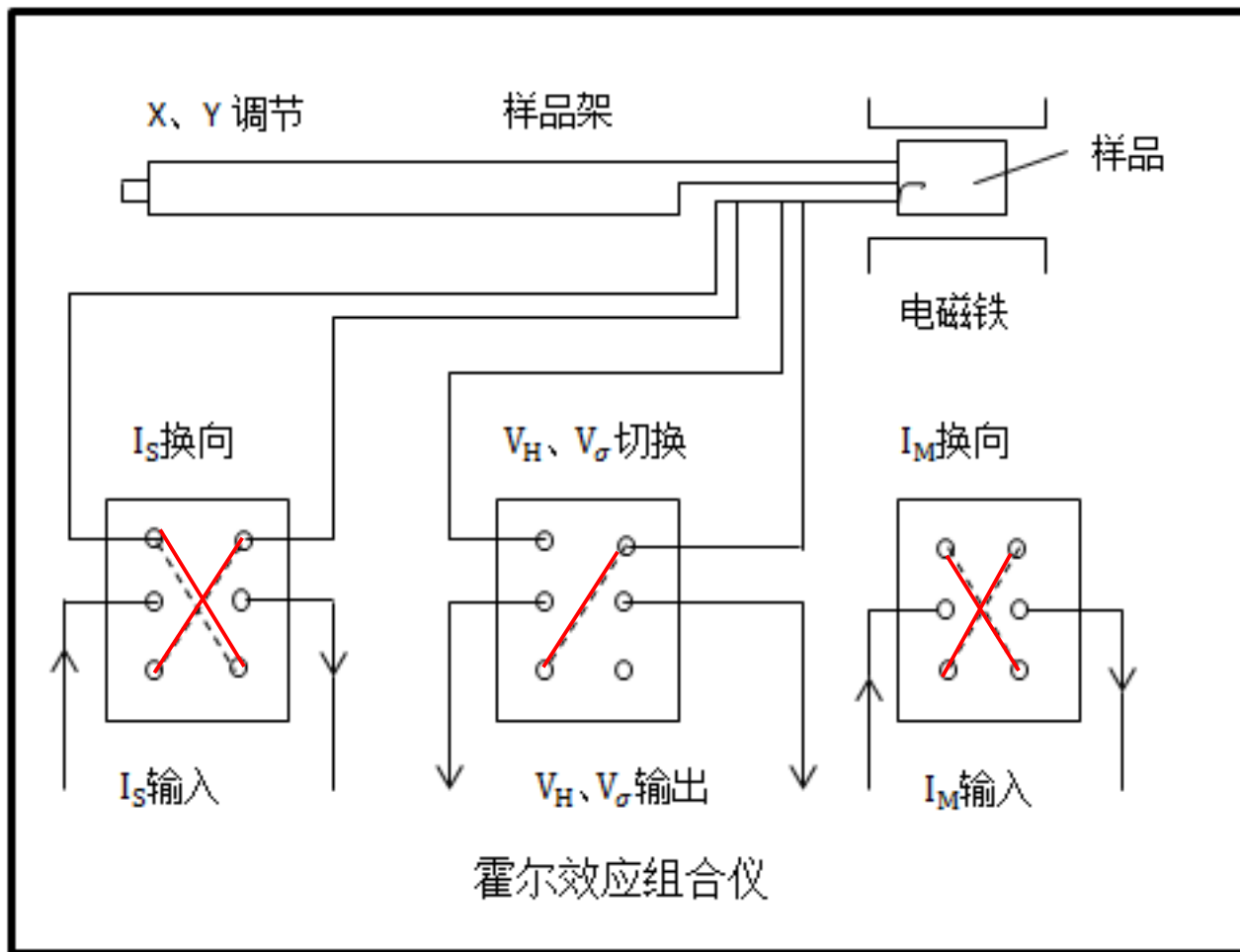
$$\text{迁移率: } \mu = \frac{\sigma}{nq}$$

## 四、实验设备



实验装置由QS-H型霍尔效应实验仪和QS-H型霍尔效应测试仪两部分组成





$I_S$  为工作电流 (控制电流)

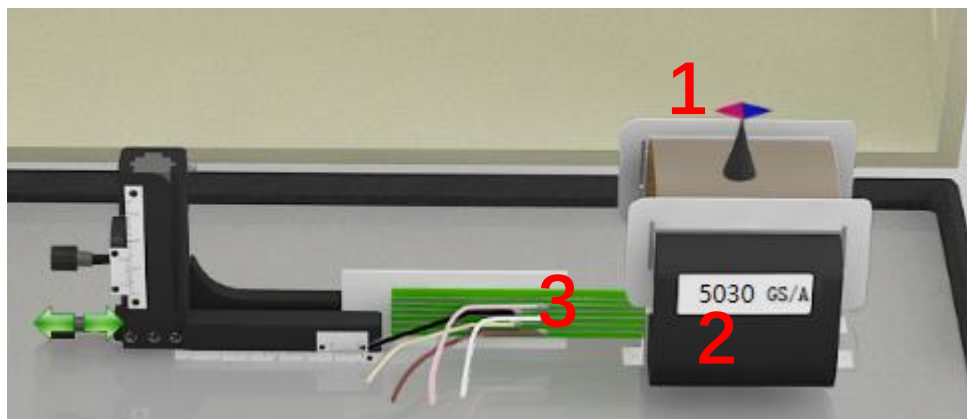
$I_m$  为励磁电流,  $I_m \propto B$

$V_H$  为霍尔电势差

$V_S$  为不等位电势差



## 五、实验操作和注意事项

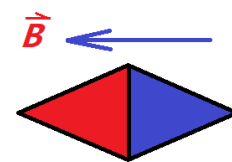


霍尔元件片详细图

A: 工作电流输入负极 B: 霍尔电压输出负极 C: 工作电流输入正极 D: 不等位电势输出正极 E: 霍尔电压输出正极, 同时为不等位电势输出负极



1、小磁针（**1**）的偏转方向判断磁场方向，**蓝色**为S极（进），**红色**为N（出）



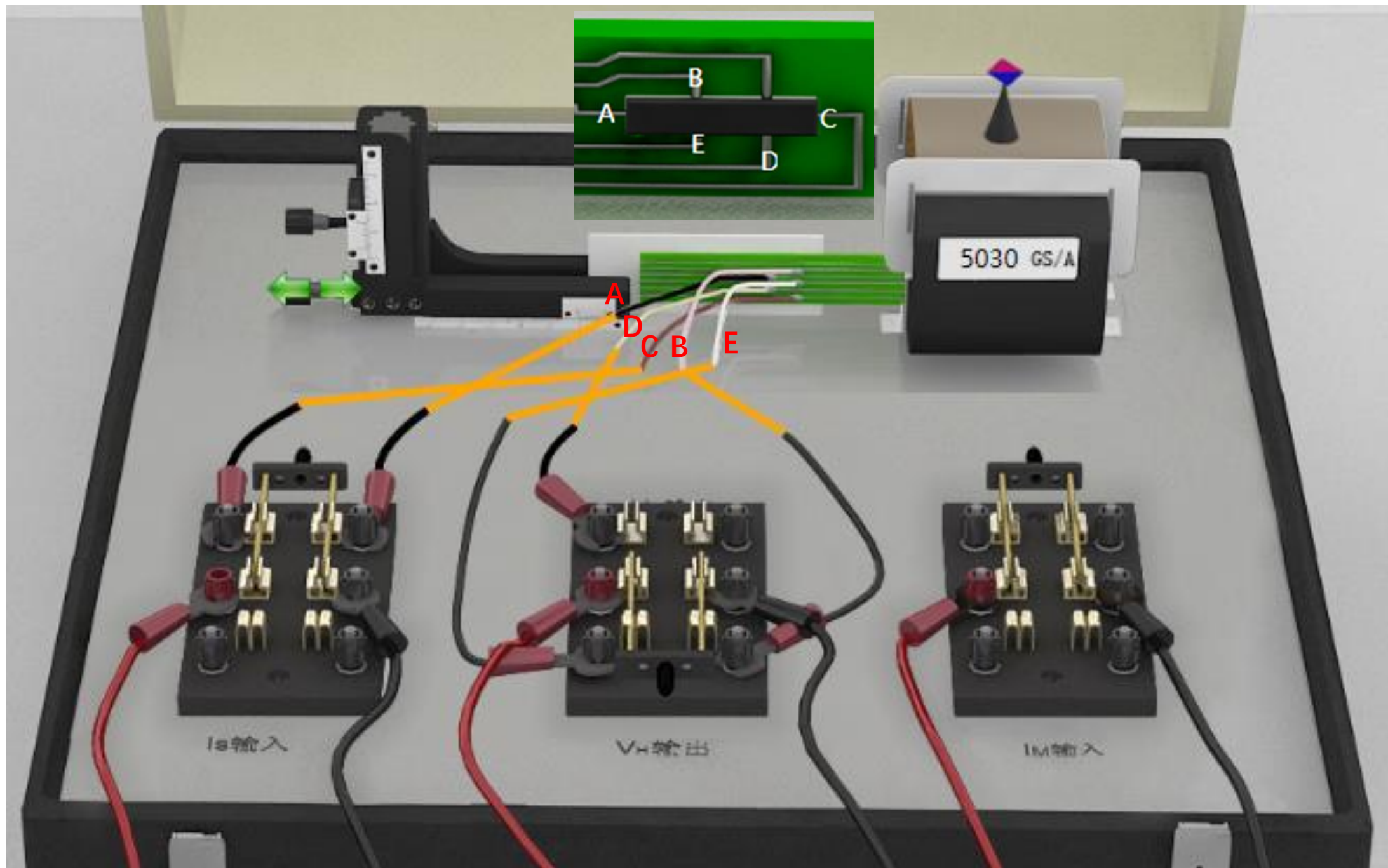
$$1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$$

2、磁场大小与励磁电流大小的关系：5030 Gs/A(不同次实验数据会不同)  
3、双击霍尔元件片（**3**）后，会现元件参数（不同次实验参数会不同）  
与接线详细图

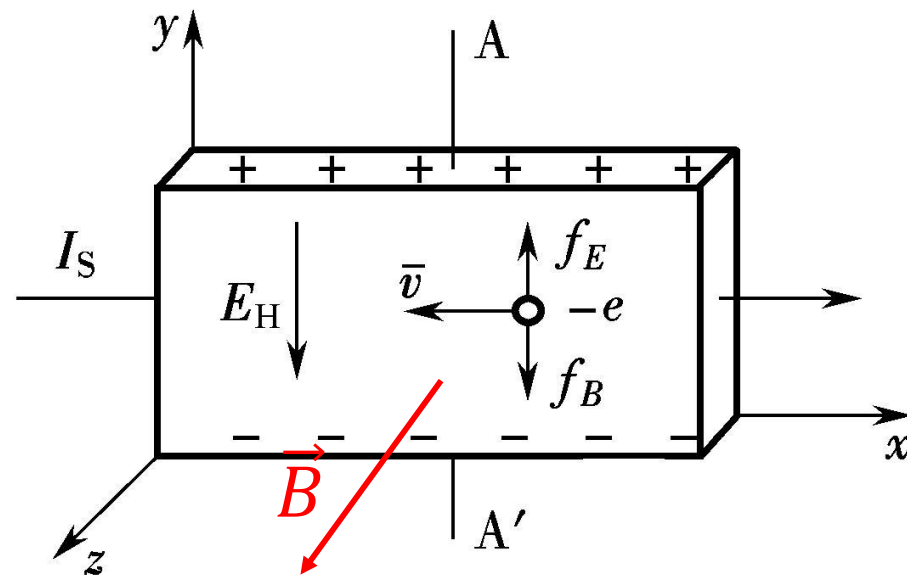
A: 工作电流输入负极 B: 霍尔电压输出负极 C: 工作电流输入正极 D: 不等位电势输出正极 E: 霍尔电压输出正极, 同时为不等位电势输出负极



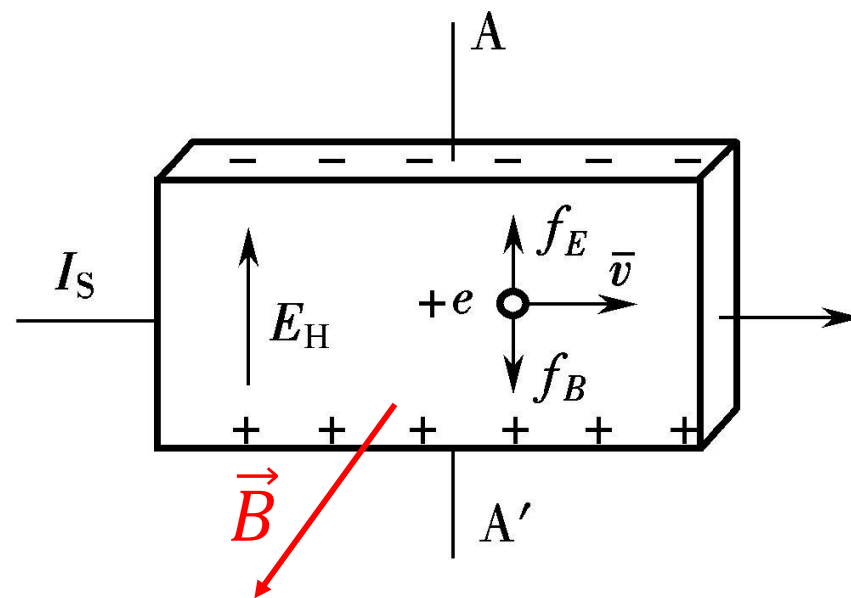
霍尔元件片规格: L:2.724mm b:3.632mm d:0.4954mm



载流子偏转方向:  $\vec{I} \times \vec{B}$



***n* 型**



***p* 型**



## 思考题

1. 若磁场不恰好与霍尔元件片的法线一致，对测量结果有何影响，如何用实验方法判断 $B$ 与元件法线是否一致？
2. 能否用霍尔元件片测量交变磁场？