

霍尔效应及其应用

中国地质大学（武汉）物理实验中心 杨勇
2023.02.15

复习相关基础

材料长度 l ，横截面积 s ，两端电阻 R ，两端电势差 V ，两端间电场强度 E ，通过的电流 I ，载流子平均速度 v ，电流密度 J ，电阻率 ρ ，电导率 σ ，材料单位体积的载流子个数 n ，载流子迁移率 μ ，载流子电量 q

$$1. \text{定律 } R = \frac{V}{I}, \quad R = \rho \frac{l}{s}; \quad \text{定义 } \sigma = \frac{1}{\rho};$$

$$2. \text{定义 } J = \frac{I}{s}; \quad \therefore V = El, \quad \text{可以证明 } J = \sigma E$$

$$3. \text{电流 } I \text{ 与载流子微观参量 } (q, n, v) \text{ 的关系: } I = \frac{dQ}{dt} = \frac{qndV}{dt} = \frac{qn(s \cdot vdt)}{dt} = qnvs$$

$$4. \text{载流子迁移率 } \mu \quad \text{可以证明 } \sigma = nq\mu \rightarrow ne\mu$$

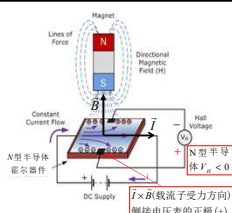
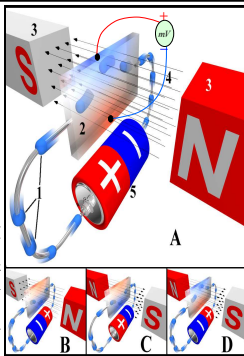
μ 指单位电场强度下载流子平均漂移速度。单位是 米²/(伏·秒)。迁移率反映载流子导电能力的大小，它和载流子（电子或空穴 $q=\pm e$ ）浓度 n 共同决定半导体的电导率 σ ， μ 大则 σ 大，对应 ρ 小，即导电好。

背景介绍



Edwin Hall (1855~1938)

霍尔效应是1879年霍尔 (Hall) 24岁时在美国霍普金斯大学研究生期间，研究关于载流导体在磁场中的受力性质时发现的一种现象。



霍尔效应现象：

金属或半导体薄片通以电流 I ，被放入垂直于电流方向的磁场 B 中，在垂直于磁场和电流的方向上可检测到电势差 V_H 。

霍尔效应原理 (①霍尔电压符号; ②霍尔电压大小)

通过霍尔片的电流 I 对应载流子 q ($q=\pm e$) 的定向运动，载流子 q 在磁场 B 中运动会受洛伦兹力的作用，力的方向是 $I \times B$ ，载流子 q 聚集在受力方向对应的霍尔片P或S一侧，形成静电场 E_H ，后续的载流子 q 在电场力和洛伦兹力共同作用下达到力的平衡：

$$\text{力平衡后达稳定: } f_E = f_B \quad \therefore qE_H = qvB, \quad \therefore \text{霍尔电场 } E_H = vB,$$

$$\therefore \text{霍尔电压 } V_H = bE_H = vbB \quad (1) \quad E_H = vB,$$

$$\therefore \text{霍尔片通过的电流是 } I, \text{ 设载流子浓度是 } n, \text{ 速度是 } v$$

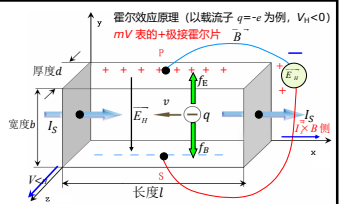
$$\text{①对金属霍尔片: } I = \frac{dQ}{dt} = \frac{qndV}{dt} = \frac{qm(b \cdot d \cdot vdt)}{dt} = nqvbd,$$

$$\therefore vb = \frac{I}{nqd} \quad (2) \quad \text{由(1)(2)式 } V_H = vbB = \frac{I}{nqd} B = \frac{1}{nq} \frac{I \times B}{d}$$

$$\text{规定霍尔片 } I \times B \text{ 方向对应的极板接电压表的 } + \text{ 极, 则不同载流子 } q=\pm e \text{ 导致的霍尔电压也有 } \pm, \quad V_H = \frac{1}{nq} \frac{I \times B}{d}$$

$$\text{②对半导体霍尔片, 考虑载流子的速率分布, 有: } \overline{V_H} = \frac{3\pi}{8nq} \frac{I \times B}{d}$$

$$\text{对金属霍尔系数是: } \frac{1}{nq} = \frac{1}{ne} \quad \text{对半导体霍尔系数是: } \frac{3\pi}{8nq} \quad \text{具体对 N型是 } -\frac{3\pi}{8ne}, \text{ P型是 } \frac{3\pi}{8ne}$$



霍尔效应原理 (以载流子 $q=-e$ 为例, $V_H<0$)
mV表的+极接霍尔片P

霍尔电压 V_H 的符号与载流子类型有关，对于N型半导体， $V_H<0$ ；对于P型半导体， $V_H>0$ 。

霍尔电压 V_H 的大小与电流 I 、磁感应强度 B 成正比，与霍尔片的厚度 d 成反比。

霍尔系数 R_H 的定义为： $R_H = \frac{V_H}{IB}$ ，其单位为 m^2/C 。

对于金属， $R_H = \frac{1}{ne}$ ；对于N型半导体， $R_H = -\frac{3\pi}{8ne}$ ；对于P型半导体， $R_H = \frac{3\pi}{8ne}$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 定义为： $K_H = \frac{V_H}{IB}$ ，其单位为 $\text{mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$ 。

对于金属， $K_H = \frac{1}{ned}$ ；对于N型半导体， $K_H = -\frac{3\pi}{8ned}$ ；对于P型半导体， $K_H = \frac{3\pi}{8ned}$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，与厚度 d 成反比。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子类型有关，对于N型半导体， $K_H<0$ ；对于P型半导体， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，对于电子 $n=n_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $n=n_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，对于电子 $n=n_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $n=n_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，对于电子 $n=n_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $n=n_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，对于电子 $n=n_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $n=n_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，对于电子 $n=n_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $n=n_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，对于电子 $n=n_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $n=n_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，对于电子 $n=n_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $n=n_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，对于电子 $n=n_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $n=n_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子浓度 n 成反比，对于电子 $n=n_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $n=n_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子电量 q 成正比，对于电子 $q=-e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $q=+e$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子质量 m 成反比，对于电子 $m=m_e$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $m=m_h$ ， $K_H>0$ 。

霍尔元件的灵敏度 K_H 与载流子速度 v 成正比，对于电子 $v=v_d$ ， $K_H<0$ ；对于空穴 $v=v_h$ ， $K_H>0$ 。

背景介绍

整数量子霍尔效应

1980年，德国物理学家克利青等在研究极低温度和强磁场中的半导体时发现了量子霍尔效应，获得1985年的诺贝尔物理学奖。

分数量子霍尔效应

美籍华裔物理学家崔琦和美国物理学家劳克林、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，获得1998年的诺贝尔物理学奖。

量子反常霍尔效应

2018年度国家自然科学奖一等奖为清华薛其坤院士团队2013年完成的“量子反常霍尔效应的实验发现”。

规定霍尔片 $I \times B$ 方向的极板接电压表的+极，则不同载流子 $q=\pm e$ 导致的霍尔电压也有 \pm ，

金属和N型半导体材料的载流子类型是电子 $-e$ ，P型半导体材料的载流子是空穴 $+e$ ； $e=1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$\text{①霍尔电压 } V_H (\text{mV 或 } V) : \text{ 金属, } \overline{V_H} = \frac{1}{ne} \frac{I \times B}{d} < 0 ; \text{ N型半导体 } \overline{V_H} = -\frac{3\pi}{8ne} \frac{I \times B}{d} < 0 ; \text{ P型 } \overline{V_H} = \frac{3\pi}{8ne} \frac{I \times B}{d} > 0$$

$$\text{②霍尔系数 } R_H (\text{单位: } \text{m}^2/\text{C}) : \text{ 金属的霍尔系数: } R_H = \frac{1}{ne} < 0 ; \text{ 半导体霍尔系数: N型 } R_H = -\frac{3\pi}{8ne} < 0, \text{ P型 } R_H = \frac{3\pi}{8ne} > 0;$$

$$\text{③载流子类型: 霍尔系数为+ (霍尔电压是正) 是P型半导体, 载流子是空穴; 反之载流子是电子 (N型半导体或金属)$$

$$\text{因半导体载流子浓度 } n \text{ 较小, 且N型半导体 } \mu = \sigma / ne \text{ 大 (电子质量小、加速度比空穴大, 速度快), } \mu \text{ 意味着 } \sigma \propto nd, \text{ 会导致霍尔系数大; 且N型 } \sigma \text{ 大即 } \rho \text{ 小, 同尺寸的霍尔片可过电流 } I \text{ 更大, 使 } V_H \text{ 更大更灵敏. } \therefore \text{霍尔器件多用N型半导体.}$$

$$\text{④霍尔灵敏度 } K_H (\text{单位: } \text{mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})) : \text{由于霍尔电压反比厚度 } d, \text{ 且成品霍尔器件 } d \text{ 恒定, 常将 } R_H/d \text{ 作为霍尔器件的}$$

$$\text{灵敏度称为霍尔灵敏度 } K_H. \therefore \text{对金属 } K_H = \frac{1}{ned}, \text{ 对半导体 } K_H = \pm \frac{3\pi}{8ned}$$

$$\text{判断载流子类型: 由霍尔电压的正负, } V_H < 0 \text{ 为N型半导体或金属, } V_H > 0 \text{ 为P型半导体}$$

$$\text{N型半导体或金属}$$

$$\text{P型半导体}$$

$$\text{判断载流子类型: 由霍尔电压的正负, } V_H < 0 \text{ 为N型半导体或金属, } V_H > 0 \text{ 为P型半导体}$$

$$\text{N型半导体或金属}$$

$$\text{P型半导体}$$

$$\text{判断载流子类型: 由霍尔电压的正负, } V_H < 0 \text{ 为N型半导体或金属, } V_H > 0 \text{ 为P型半导体}$$

$$\text{N型半导体或金属}$$

$$\text{P型半导体}$$

$$\text{判断载流子类型: 由霍尔电压的正负, } V_H < 0 \text{ 为N型半导体或金属, } V_H > 0 \text{ 为P型半导体}$$

$$\text{N型半导体或金属}$$

$$\text{P型半导体}$$

$$\text{判断载流子类型: 由霍尔电压的正负, } V_H < 0 \text{ 为N型半导体或金属, } V_H > 0 \text{ 为P型半导体}$$

$$\text{N型半导体或金属}$$

$$\text{P型半导体}$$

$$\text{判断载流子类型: 由霍尔电压的正负, } V_H < 0 \text{ 为N型半导体或金属, } V_H > 0 \text{ 为P型半导体}$$

$$\text{N型半导体或金属}$$

$$\text{P型半导体}$$

$$\text{判断载流子类型: 由霍尔电压的正负, } V_H < 0 \text{ 为N型半导体或金属, } V_H > 0 \text{ 为P型半导体}$$

$$\text{N型半导体或金属}$$

$$\text{P型半导体}$$

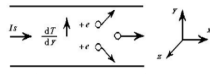
霍尔效应中的副效应

爱廷豪森效应, V_E

能斯特-爱廷豪森

第二 能斯特-爱廷豪森效应

由于材料中载流子速度不同, 速度大于和小于平均速度的载流子在电场与磁场作用下受到的电场力和洛伦兹力不平衡 (例如, 速度大于平均速度的载流子受到的洛伦兹力大于电场力), 将各自朝相反方向偏转, 速度不同则横向动能转化为热能 (撞击材料晶格升温) 也不同, 从而在 y 方向产生温度梯度, 由此温度梯度形成温差电动势 V_E , V_E 方向与 I_s 和 B 方向都有关 (与霍尔电压同!), 该效应较弱。

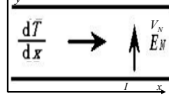


能斯特效应, V_N

爱廷豪森-能斯特效应

第一 能斯特-爱廷豪森效应

沿 x 方向通以电流, 两端电极与样品的接触电阻不同而产生不同的焦耳热, 致使 x 方向产生温度梯度, 这一温度梯度引起一附加的 $\pm x$ 方向的热扩散电流 (例如, 若右侧接触电阻发热大, 则载流子有向 $-x$ 方向扩散运动趋势), 在磁场的作用下, 从而在 y 轴方向产生电位差, 就是能斯特电压 V_N , V_N 方向只与 B 方向有关与 I_s 方向无关。该效应较弱。



实验装置

霍尔片: N 型硅化镓半导体

定义霍尔灵敏度 K_H :

$$K_H = \frac{R_H}{d}, \text{ 对金属 } K_H = \frac{1}{ned}, \text{ 对半导体 } K_H = \frac{3\pi}{8ned}$$

每台仪器标有霍尔灵敏度: $K_H = 169 \sim 196 \text{ mV/(mA}\cdot\text{T)}$

厚度 $d = 0.2 \text{ mm}$, 宽度 $b = 1.5 \text{ mm}$, 长度 $l = 1.5 \text{ mm}$

本仪器霍尔灵敏度: $K_H = 196 \text{ mV/(mA}\cdot\text{T)}$

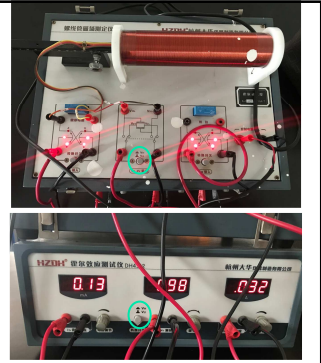
通电螺线管:

有效长 $L = 181 \text{ mm}$, 等效半径 $R = 21 \text{ mm}$, 线圈总匝数

$N = 1800$, 单位长度的线圈匝数为 $n = N/L = 9945 \text{ 匝/m}$

若近似认为是理想无限长螺线管密绕线圈:

$$B = \mu_0 n I_H = \frac{\mu_0 N I_H}{L} \quad V_H = R_H \frac{I_s B}{d} \quad V_H = R_H \frac{\mu_0 N I_s I_H}{L d}$$



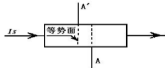
霍尔效应中的副效应

里纪-勒杜克效应, V_{RL}

$$\frac{dT}{dx} \rightarrow \frac{dT}{dy}$$

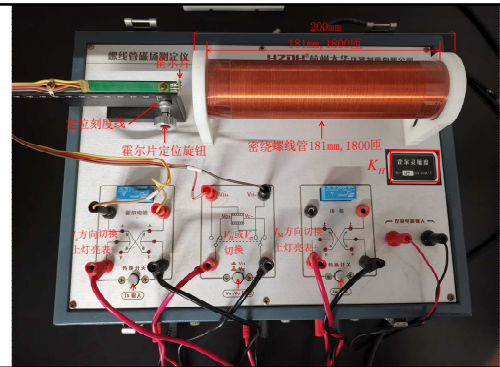
纵向热扩散电流, 在磁场的作用下, 从而在 y 轴方向引起类似爱廷豪森效应, 产生横向温差, 这一横向温差又引起横向电位差, 为里纪-勒杜克电压 V_{RL} , V_{RL} 的方向只与 B 的方向有关。该效应很弱。

不等位效应, V_0



制备霍尔样品时, y 方向的测量电极很难做到处于理想的等位面上, 即使在不加磁场时, 在 A 、 B 两电极间也存在一个由于不等位电势引起的欧姆压降 V_0 , V_0 的方向只与 I_s 的方向有关。该效应可较大。

实验结束后接线不要拆除



霍尔效应中副效应的消除

◆ 爱廷豪森效应 V_E 方向与 I_s 和 B 方向有关 (两霍尔效应, 用对称测量法无法消除!)。

◆ 能斯特效应 V_N 方向只与 B 方向有关。

◆ 里纪-勒杜克效应 V_{RL} 方向只与 B 的方向有关

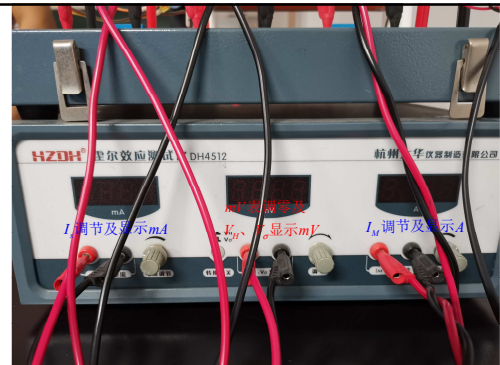
◆ 不等位效应 V_0 方向只与 I_s 的方向有关。

对称测量法

$$\begin{aligned} (+I_s, +B) & V_1 = +V_H + V_E + V_N + V_{RL} + V_0 \\ (-I_s, +B) & V_2 = -V_H - V_E + V_N + V_{RL} - V_0 \\ (-I_s, -B) & V_3 = +V_H + V_E - V_N - V_{RL} - V_0 \\ (+I_s, -B) & V_4 = -V_H - V_E - V_N - V_{RL} + V_0 \end{aligned}$$

$$V_H = \frac{1}{4}(V_1 - V_2 + V_3 - V_4) - V_E \text{ 因为 } V_E \ll V_H, \text{ 所以: } V_H \approx \frac{1}{4}(V_1 - V_2 + V_3 - V_4) \text{ 实际是计算 } V_1, V_2, V_3, V_4 \text{ 绝对值的平均值}$$

实验结束后接线不要拆除



实验内容及步骤

1、将霍尔片定位在螺线管正中，注意各按键位置（按下两个 V_H 按键）
霍尔片在螺线管最右端刻度13.0mm，在最左215.0mm，设置霍尔片在螺线管正中心的坐标应是：13.0+(215-13.0)/2=114mm（一般是114-115mm）

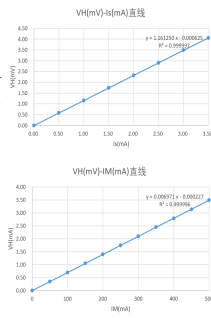
2、 $I_S=0$ ， $I_M=0$ 时，开机，预热后对mV表校零，使 $V_H=0$

3、按表格1(P309)，设定 $I_M=0.5A$ ， I_S 从0开始，每次增加0.5mA，用对称测量法记录对应的 V_H ，研究 V_H 与 I_S 的线性关系，由拟合斜率 K_1 得到 R_{H1}

进行无限长螺线管近似，有：
 $V_H = R_{H1} \frac{\mu_0 N I_M}{L_d} I_S$ $\therefore R_{H1} = 1.16125 \frac{L_d}{\mu_0 N I_M}$
根据Excel拟合： $R_{H1} \frac{\mu_0 N I_M}{L_d} = 1.16125 \therefore R_{H1} = 1.16125 \frac{L_d}{\mu_0 N I_M}$
 $\therefore R_{H1} = 1.16125 \frac{0.181 \times 0.0002}{4\pi \times 10^{-7} \times 1800 \times 0.5} = 0.037169(m^2/C)$

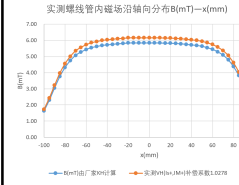
4、按表格2(P309)，设定 $I_S=3mA$ ， I_M 从0开始，每次增加50mA，用对称测量法记录对应的 V_H ，研究 V_H 和 I_M 的线性关系，由拟合的斜率 K_2 得到 R_{H2}

进行无限长螺线管近似，有：
 $V_H = R_{H2} \frac{\mu_0 N I_S}{L_d} I_M$ $\therefore R_{H2} = 0.006971 \frac{L_d}{\mu_0 N I_S}$
根据Excel拟合： $R_{H2} \frac{\mu_0 N I_S}{L_d} = 0.006971 \therefore R_{H2} = 0.006971 \frac{L_d}{\mu_0 N I_S}$
 $\therefore R_{H2} = 0.006971 \frac{0.181 \times 0.0002}{4\pi \times 10^{-7} \times 1800 \times 0.003} = 0.037188(m^2/C)$



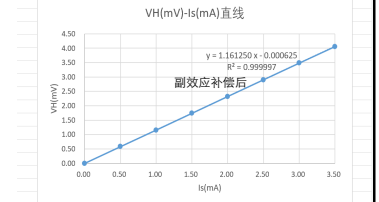
霍尔效应应用

如右图实测结果可见，副效应补偿后的 V_H 比只用 $I_H(I_S+I_M+)$ 大4.060/3.95=1.0278倍
所以对单次只测量 $V_H(I_S+I_M+)$ 代替副效应补偿后的 V_H 需要乘以1.0278系数。



$I_M=500mA$ ，霍尔片在螺线管正中心（刻度 $x=114mm$ ）

$I_S(mA)$	$V_H(I_S+I_M+)$	$V_H(I_S+I_M-)$	$V_H(I_S-I_M-)$	$V_H(I_S-I_M+)$	$V_H(mV)$
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
0.50	0.57	-0.59	0.60	-0.56	0.580
1.00	1.13	-1.18	1.19	-1.13	1.158
1.50	1.70	-1.78	1.78	-1.70	1.740
2.00	2.27	-2.38	2.38	-2.27	2.325
2.50	2.83	-2.98	2.98	-2.83	2.905
3.00	3.39	-3.58	3.58	-3.39	3.485
3.50	3.95	-4.17	4.17	-3.95	4.060



实验内容及步骤

5、由 R_{H1} 和 R_{H2} 计算平均 R_H

$$R_H = \frac{R_{H1} + R_{H2}}{2} = 0.037179 \left(\frac{m^2}{C} \right)$$

6、由半导体表达式 R_H 计算载流子密度 n

$$\text{半导体: } R_H = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{ne} \quad \text{所以载流子密度: } n = \frac{3\pi}{8eR_H} = 1.98 \times 10^{20} / m^3$$

7、计算霍尔灵敏度 K_H

$$K_H = \frac{3\pi}{8ned} = \frac{R_H}{d} = \frac{0.0372}{0.0002} = 186(V/A \cdot T)$$

与厂家提供的 $K_H = 196(mV / mA \cdot T)$ 大致相当。粗略处理时可以由厂家提供的 K_H 快速估算 $R_H = dK_H$

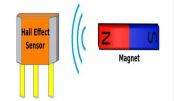
霍尔效应应用

1、测量载流子类型和浓度（半导体、材料、矿物学）

根据霍尔电压公式，以及在外加磁场中测量的霍尔电压可以判断传导载流子的类型与浓度，这种方式被广泛的利用于半导体中掺杂载体的性质与浓度的测量，也是矿物学研究途径。

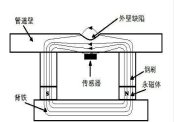
2、霍尔效应测量磁场、测量电流

在工业、国防和科学研究中，例如在粒子回旋器、受控热核反应、同位素分离、地球资源探测、地震监测和磁性材料研究等方面，经常要对磁场进行测量，测量磁场的方法主要有核磁共振法、霍尔效应法和感应法等。



3、电磁无损探伤、应力监测

霍尔效应无损探伤方法安全、可靠、实用，并能实现无速度影响检测，因此，被应用在设备故障诊断、材料缺陷检测之中。其探伤原理是建立在铁磁性材料的高磁导率特性之上。采用霍尔元件检测该泄漏磁场的信号变化，可以有效地检测出缺陷存在。



实验内容及步骤

8、用已知霍尔系数的霍尔器件测量螺线管磁场分布

取 $I_S=3mA$ ， $I_M=0.5A$ ，并保持 I_S 、 I_M 不变，从螺线管左端至右端，每隔10mm改变霍尔元件位置，测量螺线管轴线上各点的霍尔电压，求出轴线上各点的磁感应强度，绘制螺线管轴线上磁场的分布曲线，与理论值对比。

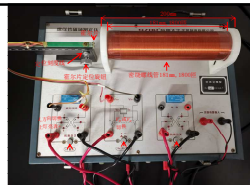
注：书上P309表：霍尔化直接为直接用单次 I_S 、 I_M 均正向的 V_H ，未进行副效应补偿。

$$V_H = R_H \frac{I_B}{d} \therefore B = \frac{d}{I_S R_H} V_H$$

密绕螺线管内磁场理论值：由比萨定律可以推导半径 R ，长度 L ，单位长度匝数 n 的磁场，以管正中为坐标0点，左右对称：

$$B = \frac{\mu_0}{2} n I (\cos \beta_1 - \cos \beta_2)$$

$$B = \frac{\mu_0}{2} n I \left(\frac{L/2-x}{\sqrt{(L/2-x)^2 + R^2}} + \frac{L/2+x}{\sqrt{(L/2+x)^2 + R^2}} \right)$$



实验注意事项

●霍尔元件轻脆易碎，必须防止受压、挤、扭、碰撞等。

●霍尔元件的工作电流（mA级）和电磁铁的励磁电流（A级）要严格区分，绝对不能接错！

●实验前先将电流两旋钮逆时针方向旋转到底，再开机，并先调零。注意仪器两处 V_H 、 V_G 的位置。

●实验过程中要避免霍尔元件长时间受热。

思考题

●霍尔元件为什么都用半导体材料制成而不用金属材料？为什么更多采用N型半导体？还可以从哪些方面提高霍尔元件的灵敏度？

●本实验怎样消除副作用的影响？还有什么实验中采用类似方法来消除系统误差？

●本实验为什么需要避免霍尔元件长时间通电受热？

●本实验怎样消除地磁场的影响？

●霍尔片的厚度 d ，宽度 b ，和长度 L 如何影响霍尔电压？（辩证关系）

●本实验所用螺线管显然不是无限长，可能导致的误差是多少？

●霍尔效应常用于研究材料的载流子类型（例如磁铁矿的载流子类型可能与成矿条件有关），所用微伏表正负极应如何接线？

●设计用霍尔效应测量导线电流的方案

●设计霍尔效应磁极测试仪（电子指南针）

●设计霍尔接近报警器

●设计霍尔转速计