

课程编号 1800450037

得分	教师签名	批改日期

# 深 圳 大 学 实 验 报 告

课程名称： 大学物理实验（二）

实验名称： 霍尔效应及其应用

学 院： 电子与信息工程学院

指导教师： 李颖贞

报告人： 蔡岱南 组号： 17

学号 2022280376 实验地点 致原楼 214

实验时间： 2023 年 10 月 10 日

提交时间： 2023 年 10 月 17 日

## 一、实验目的

- 1、了解产生霍尔效应的物理过程；
- 2、学习用霍尔元件测量长直螺线管的轴向磁场分布；
- 3、学习“对称测量法”消除副效应的影响。

## 二、实验原理

### 1、霍尔效应

#### (1) 霍尔效应原理

如图 1 所示，一块长为  $l$ 、宽为  $b$ 、厚度为  $d$  的半导体薄片置于磁场中，磁感应强度  $\mathbf{B}$  垂直于半导体薄片，在半导体薄片的横向上加载工作电流  $I_S$ ，在薄片的纵向两侧会出现一个电压  $U_H$ ，这种现象叫霍尔效应， $U_H$  称为霍尔电压。实验表明：在磁场不太强时， $U_H$  与  $I_S$ 、 $\mathbf{B}$  成正比，与薄片厚度  $d$  成反比，即

$$U_H = R_H \frac{I_S B}{d} \quad (1)$$

式中  $R_H$  叫霍尔系数。

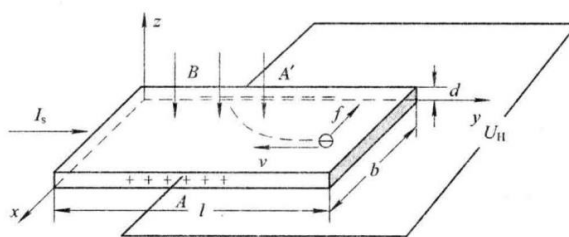


图 1 霍尔效应原理图

霍尔效应可用洛伦兹力来解释。

设半导体薄片内载流子的定向漂移速率为  $v$ ，那么载流子所受洛伦兹力为

$$\mathbf{f} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2)$$

在洛伦兹力的作用下，电子向  $A'$  一侧漂移，结果在  $A$ 、 $A'$  两侧分别聚集了正负电荷，在  $A$ 、 $A'$  之间建立了静电场，形成电势差。静电场会阻碍电子的继续漂移，当静电场力和洛伦兹力达到平衡时，电子不再侧向漂移，电势差达到恒定状态，此时

$$qvB = q \frac{U_H}{b} \quad (3)$$

设载流子浓度为  $n$ ，则电流  $I_S$  和载流子定向漂移速率  $v$  的关系为

$$I_S = avb dn \quad \text{或} \quad v = \frac{I_S}{abdn} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)得

$$U_H = \frac{1}{nq} \frac{I_S B}{d} \quad (5)$$

对比式(1)和式(5)，可知霍尔系数为

$$R_H = \frac{1}{nq} \quad (6)$$

式(6)表明，霍尔系数和载流子浓度有关。半导体的载流子浓度比金属导体的载流子浓度小得多。因而半导体的霍尔系数比导体大得多，半导体的霍尔效应较为显著，而导体几乎观察不到该效应。通过测量材料的霍

尔系数可以确定材料的载流子浓度，因此霍尔效应是研究载流子浓度的一个重要方法。

由式（5）还可看出，半导体薄片的厚度  $d$  越小，霍尔效应越显著，所以霍尔器件通常做得很薄。

式(5)中的  $\frac{1}{nqd}$  叫霍尔器件的灵敏度，用  $K_H$  表示：

$$K_H = \frac{1}{nqd} \quad (7)$$

则式(5)可写成

$$U_H = K_H I_S B \quad (8)$$

若已知  $K_H$ （一般由仪器生产厂家给出），通过测量霍尔电压  $U_H$  和工作电流  $I_S$  可以求出磁感应强度的大小，这就是霍尔片测磁场的原理。

半导体的载流子有正有负， $A$ 、 $A'$  之间的电势差（即霍尔电压） $U_H$  与载流子的正负有关。与载流子是正（空穴导电——P 型半导体）时，载流子定向漂移的速度方向与电流方向相同，洛仑兹力使它向上偏转，结果是  $A'$  端电势高于  $A$  端，如图 2(a) 所示；当载流子是负（电子导电——N 型半导体）时，载流子定向漂移的速度方向与电流方向相反，洛仑兹力使电子向上偏转，结果是  $A$  端电势高于  $A'$  端，如图 2(b) 所示。所以根据霍尔系数的正负可以判断半导体的导电类型。

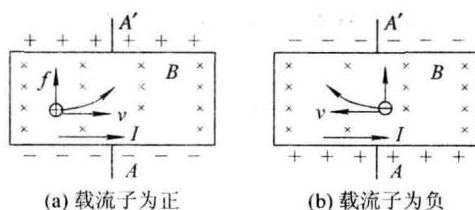


图 2 霍尔电压与载流子正负之间的关系

## （2）霍尔器件的重要参数

霍尔器件的電要参数包括：

a. 霍尔系数：

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

b. 霍尔器件的灵敏度：

$$K_H = \frac{1}{nqd}$$

c. 迁移率、电导率：

在低电下载流子平均漂移速度  $v$  和场强  $E$  成正比，即  $v = \mu E$ 。比例系数  $\mu$  称为迁移率。

场强  $E$  与电流密度  $J$  成正比，即  $E = \rho J$ ，比例系数  $\rho$  称为电阻率，电阻率的倒数称为电导率，即  $\sigma = 1/\rho$ 。

又因为电流密度的大小  $j = ne\bar{v}$ 。可得电导率和迁移率之间的关系为  $\sigma = ne\mu$ ，进而可得

$$\mu = K_H \sigma d \quad (9)$$

测出电导率，即可求出迁移率。

## 2、对称测量法与附加电动势

### （1）附加电动势

将载流半导体薄片置于磁场中，除了会产生霍尔效应外，还会有其他的副效应产生。实际测量霍尔片两侧的电压时，得到的不只是  $U_H$ ，还包括副效应产生的附加电动势(如图 3 所示)。

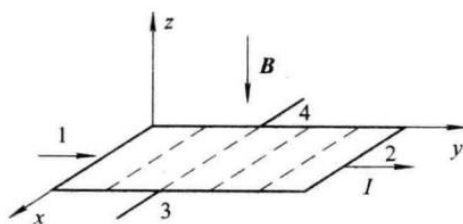


图3 霍尔效应的附加电动势

副效应主要有以下4种：

a. 厄廷豪森(Ettinghausen)效应引起的电势差  $U_E$ 。由于电子实际上并非以同一速度  $v$  沿  $y$  轴负向运动，速度大的电子回转半径大，能较快地到达接点3的侧面。从而导致3侧面较4侧面集中了较多能量高的电子，结果3、4侧面出现温差，产生温差电动势  $E_E$ 。可以证明  $E_E \propto I \cdot B$ ，容易理解  $E_E$  的正负与  $I$  和  $B$  的方向有关。

b. 能斯特(Nernst)效应引起的电势差  $U_N$ 。焊点1、2间的接触电阻可能不同，通电发热程度不同，故1、2两点间的温度可能不同，于是引起热扩散电流。与霍耳效应类似，该热扩散电流也会在3、4点间形成电势差  $U_N$ 。若只考虑接触电阻的差异，则  $U_N$  的方向仅与  $B$  的方向有关。

c. 里纪-勒杜克(Righi-Leduc)效应产生的电势差  $U_{RL}$ 。上述热扩散电流的载流子由于速度不同，根据厄廷豪森效应同样的理由，又会在3、4点间形成温差电动势  $E_{RL}$ 。 $E_{RL}$  的正负仅与  $B$  的方向有关，而与  $I$  的方向无关。

d. 不等电位效应引起的电势差  $U_0$ 。由于制造上的困难及材料的不均匀性，3、4两点实际上不可能在同一条等势线上，因而只要有电流，即使没有磁场  $B$ ，3、4两点间也会出现电势差  $U_0$ 。 $U_0$  的正负只与电流  $I$  的方向有关，而与  $B$  的方向无关。

## (2) 对称测量法消除附加电动势

上述副效应产生的附加电动势叠加在霍尔电压上，在测量中形成系统误差。由于副效应与磁感应强度  $B$  和电流  $I$  的方向有关，测量时可采用“对称测量法”，即通过改变电流  $I$  和磁感应强度  $B$  的方向基本可以消除附加电动势。具体操作如下(测4组数据)：

$$\begin{aligned} +B, +I_S: & U_1 = U_H + E_E + U_N + E_{RL} + U_0 \\ +B, -I_S: & U_2 = -U_H - E_E + U_N + E_{RL} - U_0 \\ -B, -I_S: & U_3 = U_H + E_E - U_N - E_{RL} - U_0 \\ -B, +I_S: & U_4 = -U_H - E_E - U_N - E_{RL} + U_0 \end{aligned}$$

由四组数据可得：

$$U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4} - E_E$$

$E_E$  比  $U_H$  小得多，可略去不计，于是霍尔电压为

$$U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4} \quad (10)$$

## 3、长直螺线管的磁场分布

如图4所示，一密绕螺线管，管内是真空，管长  $l$ ，半径为  $R$ ，单位长度匝数为  $n$ ，当通以电流  $I$  时，则在管内外产生磁场，根据毕奥-萨伐尔定律  $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{Idl \times r}{r^3}$  可求得密绕螺线管内部轴线上磁感应强度为

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 n I (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) \quad (11)$$

其中  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{N} \cdot \text{A}^{-2}$  是真空磁导率。

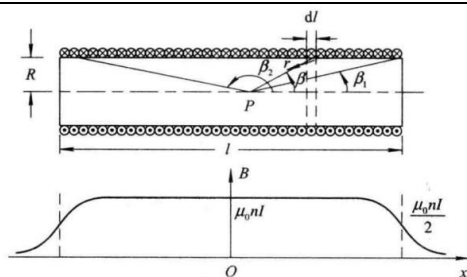


图 4 长直螺线管的磁场分布

当  $l \gg R$  时, 螺线管称为长直螺线管。在远离端点的螺线管内部, 近似地认为式(11)中  $\beta_1 = 0$ ,  $\beta_2 = \pi$ , 则  $B = \mu_0 n I$ , 即在远离端点的螺线管内部的轴线上可视为均匀磁场, 而在长直螺线管的端点处  $B = \frac{1}{2} \mu_0 n I$ 。

### 三、实验仪器

TH—H 霍尔效应实验测试仪、TH—H 霍尔效应实验组合仪

### 四、实验内容与步骤

#### 1、测量试样的 $V_H - I_S$ 和 $V_H - I_M$ 曲线, 确定材料的霍尔系数

(1) 实验仪双刀开关倒向 “ $V_H$ ”, 测试仪功能选择置于 “ $V_H$ ”, 保持  $I_H = 0.5A$  不变, 测绘  $V_H - I_S$  曲线。

(2) 保持  $I_S$  的值不变 ( $I_S = 3.00mA$ ), 确定材料的霍尔系数  $R_H$ 。记录电磁铁规格数值  $k$ , 单位为高斯(Gs/A) 或特斯拉(T/A, 10kGs/A)。

#### 2、测量螺线管轴线上磁场分布 ( $I_H = 0.500A$ , $I_S = 3.00mA$ )

注意纪录线圈的霍尔灵敏度  $K_H$ , 单位  $mV / (mA \cdot T)$

### 五、数据处理

(注: 需从原始数据记录表整理数据到此栏, 再进行数据处理)

### 六、结果陈述

### 七、思考题

### 指导教师批阅意见

### 成绩评定

预习 (20 分)	操作及记录 (40 分)	数据处理与结果陈述 (30 分)	思考题 (10 分)	报告整体 印 象	总分

注：正文统一用 5 号字，标题可大一号，图表名可小一号；

原始数据记录表需单独起页（表格自拟，作为预习报告评分的一部分），提交报告时附在最后；