

霍尔效应实验报告

罗四维^{1,✉}, 蒲其荣^{2,□} and 岳盈^{2,□}¹ 中国科学技术大学少年班学院² 中国科学技术大学物理学院

✉ 学号: PB23000013.

□ 实验指导教师.

本篇实验报告收稿于 2024 年 12 月 1 日, 于 2024 年 12 月 1 日提交.

Abstract

1879 年, Edwin Hall 在 *American Journal of Mathematics* 上发表了他在 On a New Action of the Magnet on Electric Currents 一文, 揭示了在磁场中的载流导体上出现横向电势差的现象, 这一现象被称为霍尔效应. 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成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. 本实验中, 笔者先用直流电计算得到了待测量霍尔元件的电导率 σ , 借助其产生的霍尔效应判断了霍尔元件的半导体导电类型为 n 型, 并计算得到了该霍尔元件的载流子密度 n 和迁移率 μ . 笔者在直流电的霍尔效应中, 采用对称测量法测量霍尔电压, 以减小副效应带来的测量误差. 笔者进一步采用交流电进行同样的霍尔效应实验, 这可以减小爱廷豪森效应带来的测量误差, 并将交流电的相关物理量测量值和直流电进行比较. 除此之外, 笔者还用四脚的铍化铜测量绘制了其 V_H-I_M 图线.

Keywords: 霍尔效应, 霍尔元件, 爱廷豪森效应, 对称测量法, 铍化铜片

1. 引言

在 1879 年, Edwin Hall 在 *American Journal of Mathematics* 上发表了他在 On a New Action of the Magnet on Electric Currents 一文 [1], 揭示了在磁场中的载流导体上出现横向电势差的现象, 这一现象被称为 Hall 效应. 文 [2] 指出, 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成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.

1980 年, 德国物理学家 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 [3], 它不仅可作为一种新型电阻标准, 还可以改进一些基本量的精确测定, 是当代凝聚态物理学和磁学令人惊异的进展之一, Klitzing 为此发现获得 1985 年诺贝尔物理学奖. 在随后的研究中, D. C. Tsui, H. L. Störmer 和 A. C. Gossard 在文 [4] 中发现了分数量子霍尔效应, 他们的发现不仅扩展了对量子霍尔效应的理解, 还揭示了宏观量子现象的复杂性, 他们为此发现获得了 1998 年诺贝尔物理学奖.

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. 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. [2]

在本实验中, 我们将会利用直流电的 Hall 效应判断 Hall 元件的导电类型, 并测量其电导率 σ , 载流子浓度 n , 迁移率 μ , 并用「对称测量法」减小副效应带来的影响. 另外, 我们也将利用如果采用交流电, 则由于交流变化快使得爱廷豪森效应来不及建立, 可以减小爱廷豪森效应带来的测量误差, 并和直流电测试结果进行比较. 我们还利用了四脚的铍化铜测量绘制了其 V_H-I_M 图线.

2. 实验仪器与实验原理

2.1. 实验仪器

实验仪器包含恒流源, 电磁铁, 霍尔样品和样品架, 铍化铜片, 换向开关和接线柱, 数字万用表, 小磁针, 交流电源.[2]

2.2. 实验原理

2.2.1. 霍尔效应

设空间中建立了空间直角坐标系 $Oxyz$, 其中空间中有沿着 z 轴方向的匀强磁场 \mathbf{B} . 将一个半导体薄片放在垂直于它的磁场中, 如果将沿着 y 方向的电极 C 和 D 施加电流 I , 薄片内定向移动的载流子 (平均速率设为 u) 收到洛伦兹力 \mathbf{F}_B 的作用, 其中

$$\mathbf{F}_B = qu\mathbf{B}. \quad (1)$$

无论载流子的类型如何, 对外表现出正电性还是负电性, 根据左手定则, \mathbf{F}_B 均沿着 x 轴的方向, 在洛伦兹力的作用下, 载流子发生偏移, 产生电荷积累, 从而在薄片的 B 和 B' 两侧形成一个电势差 $V_{BB'}$, 这个电势差产生了一个电场 \mathbf{E} , 与 x 轴平行. 这个产生的电场让载流子又收到了电场力 \mathbf{F}_E 的作用, 这个电场力的方向与 \mathbf{F}_B 相反, 大小满足

$$\mathbf{F}_E = qE = \frac{qV_{BB'}}{b}, \quad (2)$$

其中 b 为半导体薄片的宽度. 随着电荷的积累, \mathbf{F}_E 逐渐增大, 直到达到稳定状态下有 $\mathbf{F}_E = \mathbf{F}_B$, 此时

$$qu\mathbf{B} = \frac{qV_{BB'}}{b}. \quad (3)$$

此时在 B 和 B' 两侧建立的电场 \mathbf{E} 称为霍尔电场, 相应的电压称为霍尔电压, 电极 B 和 B' 称为霍尔电极.

如果半导体的载流子密度为 n , 薄片的厚度为 d , 那么电流强度 I 满足

$$I = bdnqu. \quad (4)$$

根据上面两方程可以得到

$$V_{BB^-} = \frac{1}{nq} \cdot \frac{IB}{d}. \quad (5)$$

如果令霍尔系数 $R_H = \frac{1}{nq}$, 那么

$$V_{BB^-} = R_H \frac{IB}{d}. \quad (6)$$

式中 R_H 被称为霍尔系数, 它体现了材料的霍尔效应大小. 在应用中, 经常写成

$$V_{BB^-} = K_H IB, \quad (7)$$

其中 $K_H = \frac{R_H}{d} = \frac{1}{nqd}$ 被称为霍尔元件灵敏度. 可以看出, 如果 I, K_H 均已知, 只需要测量得到霍尔电压 V_{BB^-} , 就可以得到磁场 B 的大小. 并且, 如果我们知道磁场 B 的方向, 就可以知道半导体的载流子类型, 进而判断半导体的导电类型为 n 型还是 p 型.

注意.

由于霍尔效应建立所需时间很短, 控制电流可以采用直流电或交流电. 如果控制电流 I 为交流电, 得到的霍尔电压也是交变的, 物理量 I, V_{BB^-} 应当取有效值.

2.2.2. 霍尔电压测量时可能的实验误差

在实际应用中, 伴随霍尔效应经常存在其他效应, 我们介绍两种可能产生误差的情况, 分别为爱廷豪森效应和不等位电动势引起的误差, 并介绍减少上述误差的对称测量法.

爱廷豪森效应. 在实际情况下, 载流子的迁移速率 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, 也就是 $F_B < F_E$, 使得其向 F_E 的方向偏转, 速度大的载流子受到磁场作用力大于霍尔电场作用力, 即 $F_B > F_E$, 其向 F_E 方向偏转, 使得 B 和 B' 一侧高速载流子较多, 温度较大; 一侧低速载流子较多, 温度较小. 横向的温度差会产生温差电动势 V_E , 这种现象称为爱廷豪森效应. 因为这种现象的建立需要一定的时间, 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. 在实验中, 我们将采用交流电进行相关测量, 并将测量结果与直流电测量结果比较.

不等位电动势引起的误差. 因为霍尔电极 B 和 B' 不可能绝对对称焊在霍尔片两侧, 所以会产生一个不等位电动势, 进而造成霍尔电压测量的误差.

对称测量法. 因为上面叙述的两种可能产生霍尔效应测量的实验误差, 我们在实验中可以改变控制电流 I_S 和磁场 B 的方向来进行对称测量. 具体地说, 我们分别测量 $+B, +I_S, +B, -I_S, -B, +I_S$ 和 $-B, -I_S$ 下的霍尔电压, 得到霍尔电压平均值, 这种测量方式被称为对称测量法, 可以有效的减小实验误差.

2.2.3. 电导率的测量

下面我们介绍测量霍尔元件电导率 σ 的方法. 设 B' 和 A' 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' 和 A' 间电压为 $V_{B'A'}$, 根据欧姆定律可以求出材料的电

导率满足

$$\sigma = \frac{LI_S}{bdV_{B'A'}}. \quad (8)$$

2.2.4. 迁移率 μ 的计算

迁移率 μ , 载流子密度 n , 和电导率 σ 之间满足关系

$$\sigma = ne\mu. \quad (9)$$

可以借助此关系计算半导体元件的迁移率 μ .

3. 实验过程

3.1. 实验内容

基本内容 I: 判断霍尔元件的导电类型并测量其电导率 σ , 载流子密度 n , 霍尔系数 R_H 和迁移率 μ . 用六脚霍尔片接好线路, 霍尔片的尺寸为 $d = 0.5 \text{ mm}$, $b = 4.0 \text{ mm}$, $L = 3.0 \text{ mm}$.

- 固定 $I_M = 0.45 \text{ A}$ 不变, I_S 在 1.00 mA 至 4.50 mA 间以 0.50 mA 为步长改变, 测量绘制 V_H-I_S 图线, 并计算霍尔系数 R_H .
- 固定 $I_S = 4.50 \text{ mA}$ 不变, I_M 在 0.100 A 至 0.450 A 间以 0.050 A 为步长改变, 测量绘制 V_H-I_M 图线, 并计算霍尔系数 R_H .
- 在零磁场下, 取 $I_S = 1.00 \text{ mA}$, 测量 $V_{B'A'}$.
- 确定样品导电类型, 并求 R_H, n, σ, μ .

注意.

在本实验中, 需要运用对称测量法测量霍尔电压.

基本内容 II: 测绘锑化铋片的 V_H-I_M 图线. 固定 $I_S = 1.00 \text{ mA}$, I_M 在 0 至 0.800 A 之间改变, 测量绘制锑化铋片的 V_H-I_M 图线.

警告.

在本实验中, 不需要改变 I_S, I_M 的方向!

3.2. 注意事项

本实验操作过程中, 需要注意下列事项.

1. I_S, I_M 接线不可颠倒, 以防烧坏样品.
2. 锑化铋片的工作电流小于 3.00 mA , 线圈励磁电流小于 0.800 A .
3. 做锑化铋片的霍尔效应时, 测霍尔电压时万用表的量程不要换档.

4. 实验结果与讨论

4.1. 基本内容 I: 判断霍尔元件的导电类型并测量其电导率 σ , 载流子密度 n , 霍尔系数 R_H 和迁移率 μ .

4.1.1. 固定 $I_M = 0.45 \text{ A}$ 不变, I_S 在 1.00 mA 至 4.50 mA 间以 0.50 mA 为步长改变, 测量绘制 V_H-I_S 图线, 并计算霍尔系数 R_H .

固定 $I_M = 0.45 \text{ A}$ 不变, I_S 在 1.00 mA 至 4.50 mA 间以 0.50 mA 为步长改变, 测量得到 V_1, V_2, V_3, V_4 随着 I_S 变化的数据, 取 V_1, V_2, V_3, V_4 的平均值得到 V_H 随着 I_S 的变化, 数据如表 1 所示. 根据表 1 数据绘制 V_H-I_S 图线如图 1.

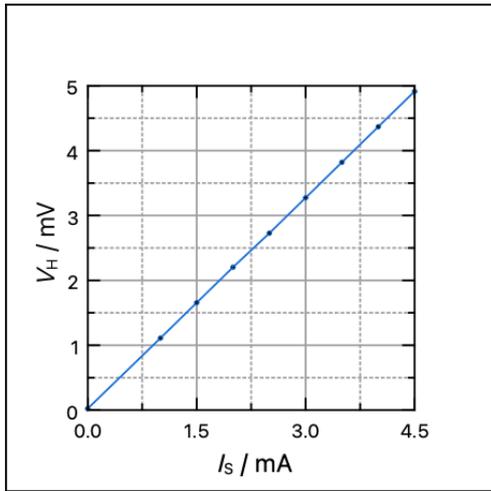


Figure 1. 固定励磁电流 $I_M = 0.45 \text{ A}$ 不变时, 绘制得 V_H-I_S 的关系图线.

利用最小二乘法拟合, 可以得到在 SI 下, V_H 与 I_S 近似满足关系式

$$V_H = 1.08549I_S + 0.0000238181. \quad (\text{SI})$$

决定系数 $R^2 = 0.999987$. 可以认为 V_H 与 I_S 满足正比关系.

下面我们计算霍尔系数 R_H . 根据实验原理,

$$V_H = \frac{R_H B}{d} I_S = \frac{R_H k I_M}{d} I_S. \quad (10)$$

其中 $B = k I_M$, 并且 $k = 1900 \text{ Gs/A}$. 设实验得到 V_H 与 I_S 的比例系数为 K , 则

$$K = \frac{R_H k I_M}{d}, \quad (11)$$

或者

$$R_H = \frac{dK}{k I_M} = \frac{0.5 \times 10^{-3} \text{ m} \times 1.08549 \text{ V/A}}{0.19 \text{ T/A} \times 0.45 \text{ A}} = 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{C}. \quad (12)$$

4.1.2. 固定 $I_S = 4.50 \text{ mA}$ 不变, I_M 在 0.100 A 至 0.450 A 间以 0.050 A 为步长改变, 测量绘制 V_H-I_M 图线, 并计算霍尔系数 R_H .

固定 $I_S = 4.50 \text{ mA}$ 不变, I_M 在 0.100 A 至 0.450 A 间以 0.050 A 为步长改变, 测量得到 V_1, V_2, V_3, V_4 随着 I_S 变化的数据, 取 V_1, V_2, V_3, V_4 的平均得到 V_H 随 I_M 的变化, 数据如表 2 所示. 根据表 2 数据绘制 V_H-I_M 图线如图 2.

I_S / mA	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
V_1 / mV	1.1124	1.6650	2.2112	2.7403	3.2901	3.8420	4.3904	4.9370
V_2 / mV	-1.1035	-1.6482	-2.1919	-2.7118	-3.2552	-3.7989	-4.3458	-4.8890
V_3 / mV	-1.1164	-1.6645	-2.2150	-2.7415	-3.2930	-3.8406	-4.3870	-4.9357
V_4 / mV	1.1046	1.6480	2.1924	2.7135	3.2559	3.8034	4.3496	4.8916
V_H / mV	1.1092	1.6564	2.2026	2.7268	3.2736	3.8212	4.3682	4.9133

Table 1. 固定励磁电流 $I_M = 0.45 \text{ A}$ 不变时, 霍尔电压 V_H 与控制电流 I_S 之间的关系 (对称测量法).

I_M / A	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450
V_1 / mV	1.1367	1.6651	2.2002	2.7430	3.2770	3.8406	4.3614	4.9450
V_2 / mV	-1.0755	-1.6136	-2.1465	-2.6914	-3.2295	-3.7812	-4.3370	-4.9035
V_3 / mV	-1.1288	-1.6690	-2.2050	-2.7304	-3.2861	-3.8132	-4.3947	-4.9170
V_4 / mV	1.0814	1.6204	2.1532	2.6933	3.2360	3.7834	4.3436	4.9071
V_H / mV	1.1056	1.6420	2.1762	2.7145	3.2572	3.8046	4.3592	4.9182

Table 2. 固定控制电流 $I_S = 4.50 \text{ mA}$ 不变时, 霍尔电压 V_H 与励磁电流 I_M 之间的关系 (对称测量法).

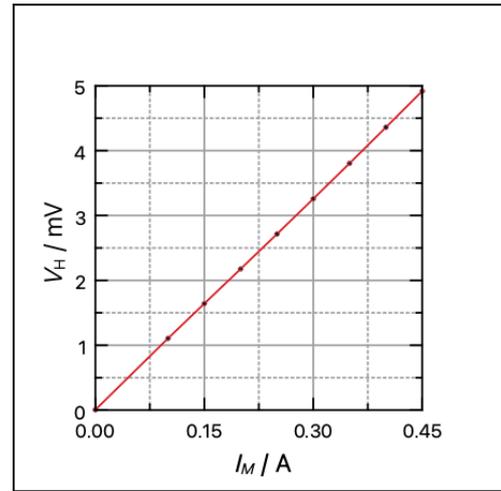


Figure 2. 固定控制电流 $I_S = 4.50 \text{ mA}$ 不变, 绘制得 V_H-I_M 的关系图线.

利用最小二乘法拟合, 得到在 SI 下, V_H 与 I_M 近似满足

$$V_H = 0.0108814I_M + 0.00000479355. \quad (\text{SI})$$

决定系数 $R^2 = 0.999959$. 下面计算霍尔系数. 如果假设 V_H 与 I_M 的比例系数为 K'' , 根据 (10) 式可以得到

$$K'' = \frac{R_H k I_S}{d}. \quad (13)$$

进一步有

$$R_H = \frac{dK''}{k I_S} = \frac{0.5 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0.0108814 \text{ V/A}}{0.19 \text{ T/A} \times 4.5 \times 10^{-3} \text{ A}} = 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{C}. \quad (14)$$

可以发现, 这与先前 (12) 式中得到的霍尔系数 R_H 相同, 进一步证明了实验测量结果的准确性. 在接下来的计算中, 我们就运用测量得到的 $R_H = 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{C}$ 为测量值, 进行 n, μ 的进一步计算.

4.1.3. 在零磁场下, 取 $I_S = 1.00 \text{ mA}$, 测量 $V_{B^-A^-}$.

为了测量待测半导体霍尔元件的电导率 σ , 令 $\mathbf{B} = 0$, 在零磁场下, 取控制电流 $I_S = 1.00 \text{ mA}$, 测量得到沿电流方向电势差

$$V_{B^-A^-} = 55.7514 \text{ mV}. \quad (15)$$

根据测量得到的电势差即可进一步通过

$$\sigma = \frac{LI_S}{bdV_{B^+A^-}} \quad (16)$$

计算半导体霍尔元件的电导率 σ 。

4.1.4. 确定样品导电类型，并求 R_H, n, σ, μ 。

下面我们确定待测半导体霍尔元件的导电类型。在实际实验中，磁场方向 B 垂直于纸面向外，控制电流从左至右， B 电极在 B' 电极的上方。此时无论载流子的种类是电子还是空穴，载流子收到的洛伦兹力均朝下。由于实验测量得到的 V_H 是一个正值，因此下侧极板的电势较低，可以推测得到半导体的载流子为电子，即待测半导体霍尔元件的导电类型为 n 型。我们先计算半导体的电导率 σ 。根据实验原理，有

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{LI_S}{bdV_{B^+A^-}}, \\ &= \frac{3.0 \times 10^{-3} \text{ m} \times 1.00 \times 10^{-3} \text{ A}}{4.0 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0.5 \times 10^{-3} \text{ m} \times 55.7514 \times 10^{-3} \text{ V}}, \\ &= 26.91 \text{ S/m}. \end{aligned} \quad (17)$$

下面计算半导体霍尔元件的载流子密度 n 。根据实验原理得到

$$n = \frac{1}{qR_H} = \frac{1}{1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \times 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{C}} = 1.11 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}. \quad (18)$$

最后根据实验原理得到

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\sigma}{ne} = \sigma R_H, \\ &= 26.91 \text{ S/m} \times 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{C} = 0.171 \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s}). \end{aligned} \quad (19)$$

4.1.5. 基本内容 I 总结

在本实验中，笔者通过分别固定 I_S 与 I_M ，验证了 V_H 分别与 B, I_S 之间的线性关系，并且根据实验原理求出了霍尔系数 $R_H = 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{C}$ ，经过测量得到电导率 $\sigma = 26.91 \text{ S/m}$ ，并且经过计算得到了载流子密度 $n = 1.1 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ ，以及计算得到了半导体霍尔元件的迁移率 $\mu = 0.171 \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 。

4.2. 基本内容 II：测绘锑化铟片的 V_H-I_M 图线。

对锑化铟片，固定控制电流 $I_S = 1.00 \text{ mA}$ ，在 0.050 A 至 0.800 A 的范围内改变励磁电流 I_M ，得到对应的霍尔电压 V_H 随着 I_M 变化的数据如表 3。根据表中数据绘制得到的 V_H 关于 I_M 变化的图线如图 3。通过观察图线可以看出，当 I_M 在 0.4 A 以下时， V_H 近似随着 I_M 线性增长；当 I_M 大于 0.4 A 时，图线仍近似为一条直线，但斜率比先前情况更小。

根据图像，可以猜想在 $I_M = 0.4 \text{ A}$ 左右时，元件的霍尔系数 R_H 发生了变化，导致先后斜率不一样。

I_M / A	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400
V_H / mV	31.150	60.654	89.414	117.000	143.705	169.172	192.143	209.926
I_M / A	0.450	0.500	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800
V_H / mV	222.258	232.063	241.506	250.126	258.221	267.052	276.356	289.504

Table 3. 固定控制 $I_S = 1.00 \text{ mA}$ 不变时，锑化铟片霍尔电压 V_H 与励磁电流 I_M 之间的关系。

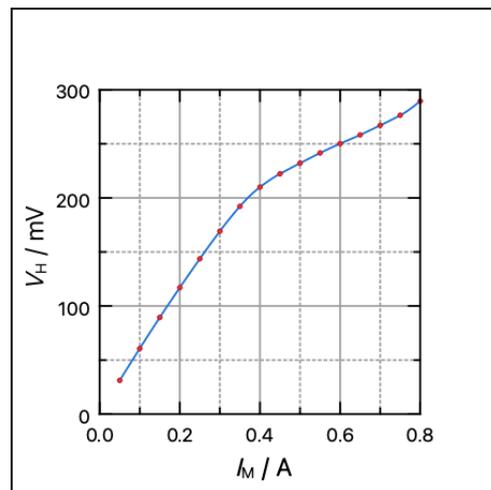


Figure 3. 固定控制电流 $I_S = 1.00 \text{ mA}$ 不变，绘制得 V_H-I_M 的关系图线。

5. 实验结论与思考

通过实验，笔者对六脚半导体霍尔元件，验证了 V_H 关于 I_S 和 I_M 的正比关系，并且计算得到了霍尔半导体元件的霍尔系数 $R_H = 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{C}$ ，经过测量得到电导率 $\sigma = 26.91 \text{ S/m}$ ，并且经过计算得到了载流子密度 $n = 1.1 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ ，以及计算得到了半导体霍尔元件的迁移率 $\mu = 0.171 \text{ m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 。

笔者也测绘了固定控制电流时，锑化铟片的 V_H-I_M 图线，并对图线的拐点进行了分析，可能是由霍尔系数发生改变导致。

6. 致谢

本次实验是我截至目前在大学物理-综合实验 B 课程中，体验最好的一次实验。实验讲义编写地非常清晰、明了，十分方便预习；实验器材兼顾了实用和有趣；岳盈老师细致的指导和关注令我倍感温暖和亲切。感谢大学物理实验中心和第一教学楼的课程设计，感谢岳盈老师的悉心教导，感谢我自己对大学物理实验的热爱。希望我能在这份热爱之下继续努力。

参考文献

- [1] Hall, E. H. (1879). On a New Action of the Magnet on Electric Currents. *American Journal of Mathematics*, **2**(3), 287–292. <https://doi.org/10.2307/2369245>
- [2] 大学物理实验中心. 霍尔效应实验讲义.
- [3] K. von Klitzing, G. Dorda, and J. P. P. W. Pepper. (1980). The Quantized Hall Effect. *Physical Review Letters* **45**,494. [https://doi.org/10.1016/0378-4363\(84\)90170-0](https://doi.org/10.1016/0378-4363(84)90170-0).
- [4] Tsui, D. C., Störmer, H. L., and Gossard, A. C. (1982). Two-dimensional magnetotransport in the extreme quantum limit. *Physical Review Letters*, **48**(22), 1559-1562. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.48.1559>

附录：包含签字的实验原始数据

D232300013 霍尔效应

1. 霍尔元件


 + 绿 蓝
 - 棕 红

(1) $I_M = 0.45 \text{ A}$ 时

I_S / mA	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
V_{H1} / mV	1.1124	1.6650	2.2112	2.7403	3.2901	3.8420	4.3944	4.9370
$-V_{H2} / \text{mV}$	-1.1035	-1.6442	-2.1819	-2.7118	-3.2552	-3.7987	-4.3408	-4.8850
$-V_{H3} / \text{mV}$	-1.1164	-1.6645	-2.2050	-2.7445	-3.2930	-3.8406	-4.3870	-4.9357
V_{H4} / mV	1.1046	1.6480	2.1929	2.7335	3.2557	3.8034	4.3496	4.8966
V_H / mV								

(2) $I_S = 4.50 \text{ mA}$ 时

I_M / mA	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450
$V_{H1} / \mu\text{V}$	1.1367	1.6651	2.2002	2.7430	3.2770	3.8406	4.3614	4.9450
$-V_{H2} / \mu\text{V}$	-1.0755	-1.6136	-2.1465	-2.6714	-3.2295	-3.7812	-4.3370	-4.9035
$-V_{H3} / \mu\text{V}$	-1.1288	-1.6690	-2.2050	-2.7304	-3.2881	-3.8152	-4.3747	-4.9170
$V_{H4} / \mu\text{V}$	1.0814	1.6204	2.1532	2.6933	3.2360	3.7834	4.3436	4.9071
$V_H / \mu\text{V}$								

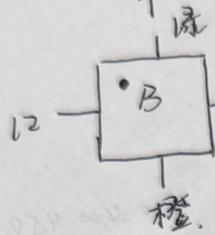
(3) 霍尔电压下 $I_S = 1.00 \text{ mA}$ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

沿电流方向电势差 V_{xx} / mV 55.780 55.774 55.754

(4) 导电类型为 n 型 (电导率)

$R_H =$
 $n =$
 $\sigma =$
 $\mu =$

2. 纯铁铜片 $V_H - I_M$ 图式数据测量 ($I_S = 1.00 \text{ mA}$)



I_M / A	0.050	0.100	0.150	0.200	0.250
V_H / mV	31.1520	60.6538	89.4135	117.0002	143.705
I_M / A	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500
V_H / mV	169.172	192.143	209.926	222.258	232.063
I_M / A	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750
V_H / mV	241.506	256.126	258.221	267.052	276.356
I_M / A	0.800				
V_H / mV	289.564				

3. [高阶内容] 用交流电进一步减小误差
用低频信号发生器提供 2000 Hz 交流电 (I_S 控制电流)

(2) 测量霍尔电压 ($I_M = 200 \text{ mA}$) 且 $R = 340.440 \Omega$ $k\Omega$

I_S / mA	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
V_H / mV	1.480	1.663	1.890	2.144	2.425	2.709	3.006	3.315
V_S / mV	0.340	0.510	0.680	0.850	1.020	1.190	1.360	1.530
V_{PP} / V	0.979	1.469	1.958	2.448	2.938	3.427	3.917	4.406

(2) 与磁场的关系. 恒流 $I_S = 4 \text{ mA}$ 对应 $V_{PP} = 4.406 \text{ V}$

I_M / mA	40	60	80	100	120	140	160	180	200
V_H / mV	1.566	1.714	1.895	2.109	2.328	2.557	2.801	3.051	3.307

$\frac{V_H}{I_M}$