

淮南师范学院实验报告

学院：电子工程学院 专业：物理学 班级:24 物理 1 班

学号:2414050120 姓名 缪雨轩 日期：2025.10.15

一、实验名称：霍尔效应的实验研究

二、实验目的：

- 了解霍尔效应的原理及霍尔元件有关参数的含义及作用；
- 测绘霍尔元件的 $V_H - I_s$ 、 $V_H - I_M$ 曲线，了解霍尔电压 V_H 与霍尔元件控制电流 I_s 、励磁电流 I_M 之间的关系；
- 学习利用霍尔效应测量电磁铁气隙中的磁感应强度 $\vec{B}$ 及磁场分布；
- 学习用“对称交换测量法”消除负效应产生的系统误差。

三、实验原理：

霍尔效应是磁电效应的一种，这一现象是霍尔（A. H. Hall，1855—1938）于 1879 年在研究金属的导电机构时发现的。后来发现半导体、导电流体等也有这种效应，而半导体的霍尔效应比金属强得多，利用这现象制成的各种霍尔元件，广泛地应用于工业自动化技术、检测技术及信息处理等方面。霍尔效应是研究半导体材料性能的基本方法。由于霍尔元件的面积可以做得很小，所以可用它测量某点或缝隙中的磁场。此外，还可以利用这一效应来测量半导体中的载流子浓度及判别半导体的类型等。近年来霍尔效应得到了重要发展，冯·克利青在极强磁场和极低温下观察到了量子霍尔效应，它的应用大大提高了有关基本常数测量的准确性。在工业生产要求自动检测 and 控制的今天，作为敏感元件之一的霍尔器件，会有更广阔的应用前景。了解这一富有实用性的实验，对今后的工作将大有益处。

霍尔效应从本质上讲是运动的带电粒子在磁场中受洛伦兹力作用而引起的偏转。当带电粒子（电子或空穴）被约束在固体材料中，这种偏转就导致在垂直电流和磁场的方向上产生正负电荷的积累，从而形成附加的横向电场。

如图 1 所示，把一载流导体板垂直于磁场 $\vec{B}$ 放置，如果磁场 $\vec{B}$ 垂直于导体板中电流 I_s ，那么在导体中垂直于 $\vec{B}$ 和 I_s 的方向就会出现一定的电势差 V_H ，这一现象叫做霍尔效应， V_H 叫做霍尔电势差（或霍尔电压）。

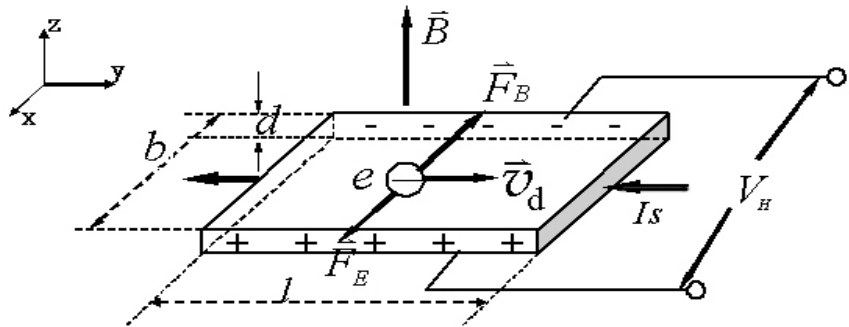


图 1 霍尔效应原理图

本实验用 N 型半导体（其载流子为电子），设它的长为 l ，宽为 b ，厚为 d 。沿 Z 轴正向加一磁场 $\vec{B}$ ，沿 Y 轴正向通一工作电流 I_s ，半导体中的载流子将在 X 方向受到一个洛伦兹力 (如图 2 中所示)

$$\vec{F}_B = e\vec{v}_d \times \vec{B} \tag{1}$$

式中 e 、 $\vec{v}_d$ 分别是载流子的电量和平均漂移速度。载流子受力偏转的结果在 X 方向形成霍尔电势差 V_H （此过程大约在 10^{-13} — 10^{-11} 秒内就完成），从而形成一个霍尔电场 $\vec{E}_H$ 。由于霍尔电场对载流子的作用力 $\vec{F}_E$ 总是与 $\vec{F}_B$ 的方向相反，所以，当 $\vec{F}_E = -\vec{F}_B$ 时，载流子的聚集就达到动态平衡。电场力的大小为

$$F_E = eE_H = eV_H/b \tag{2}$$

设霍尔元件中载流子的浓度为 n ，则电流强度为 $I_s = env_d bd$ ，因此有

$$v_d = I_s/enbd \tag{3}$$

于是洛伦兹力的大小可表示为

$$F_B = ev_d B = I_s B/nbd \tag{4}$$

由 $F_B = F_E$ 可得

$$V_H = I_s B/ned \tag{5}$$

令

$$R_H = 1/ne \tag{6}$$

R_H 称为霍尔系数，它是反映材料霍尔效应强弱的重要参数。于是有

$$V_H = R_H I_S B / d \tag{7}$$

若令

$$K_H = R_H / d = 1/ned \tag{8}$$

则有

$$V_H = K_H I_S B \tag{9}$$

K_H 称为霍尔灵敏度，对一定的霍尔元件是一个常数。它的大小与材料的性质以及元件的尺寸有关，它表示霍尔元件在单位磁感应强度和单位控制电流强度下的霍尔电压的大小。

利用（9）式，如果磁场的磁感应强度 B 为已知，测出通过霍尔元件的工作电流 I_S 和相应的 V_H ，就可以测定该元件的灵敏度 K_H

$$K_H = V_H / I_S B$$

反之，如果霍尔元件的灵敏度 K_H 已知，只要测得了 I_S 和 V_H ，就可测定霍尔元件所在处的磁场 B 。

由（6）式可知，霍尔系数 R_H 与载流子的浓度 n 成反比，由于半导体中载流子的浓度小于金属，所以半导体的霍尔效应比金属显著。又由（6）和（7）有

$$n = I_S B / ed V_H \tag{10}$$

因此知道了 V_H 、 I_S 、 B 、 d 就可以计算出该材料的载流子浓度。

如果半导体为 N 型（载流子为电子），则 K_H 为负， V_H 也为负；若半导体为 P 型半导体（载流子为空穴）， K_H 为正， V_H 也为正。因此，利用霍尔系数的正、负可以判断半导体的导电类型。如果知道了载流子的类型，就可以由 V_H 的正、负确定磁场的方向。

由（7）、（8）和（9）式可知，如果霍尔元件的灵敏度 K_H 已知，测得了控制电流 I_S 和产生的霍尔电压 V_H ，则可测定霍尔元件所在处的磁感应强度为 $B = \frac{V_H}{I_S K_H}$ 。

高斯计就是利用霍尔效应来测定磁感应强度 B 值的仪器。它是选定霍尔元件，即 K_H 已确定，

保持控制电流 I_S 不变，则霍尔电压 V_H 与被测磁感应强度 B 成正比。如按照霍尔电压的大小，预先在仪器面板上标定出高斯刻度，则使用时由指针示值就可直接读出磁感应强度 B 值。

由（7）式知

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

因此将待测的厚度为 d 的半导体样品，放在均匀磁场中，通以控制电流 I_S ，测出霍尔电压 V_H ，

再用高斯计测出磁感应强度 B 值，就可测定样品的霍尔系数 R_H 。又因 $R_H = \frac{1}{ne}$ （或 $\frac{1}{pe}$ ），故可以

通过测定霍尔系数来确定半导体材料的载流子浓度 n （或 p ）（ n 和 p 分别为电子浓度和空穴浓度）。

严格地说，在半导体中载流子的漂移运动速度并不完全相同，考虑到载流子速度的统计分布，并认为多数载流子的浓度与迁移率之积远大于少数载流子的浓度与迁移率之积，可得半导体霍尔系

数的公式中还应引入一个霍尔因子 r_H ，即

$$R_H = \frac{r_H}{ne} \text{ (或 } \frac{r_H}{pe} \text{)}$$

普通物理实验中常用 N 型 Si、N 型 Ge、InSb 和 InAs 等半导体材料的霍尔元件在室温下测量，霍尔

因子 $r_H = \frac{3}{8} \pi \approx 1.18$ ，所以

$$R_H = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{ne}$$

式中， $e = 1.602 \times 10^{-19}$ 库仑。

四、主要仪器设备：HL-10 型霍尔效应仪；QS 型霍尔效应实验测试仪；DH4512 型霍尔效应实验仪

五、实验步骤：

1. 测试仪面板上的“ I_S 输出”、“ I_M 输出”和“ V_H 输入”三对接线柱分别与实验仪上的三对相应的接线柱连接好。具体操作：

（1）霍尔效应测试仪面板右下方供给励磁电流 I_M （0—1000mA）的直流恒流源输出端（ I_M 输出）

接霍尔效应实验仪上电磁铁线圈电流的输入端

（2）霍尔效应测试仪面板左下方供给霍尔元件控制（工作）电流 I_S 的直流恒流源（0—10mA）输出

端（ I_S 输出）接霍尔效应实验仪上霍尔元件工作电流输入端

（3）霍尔效应实验仪上霍尔元件的霍尔电压 V_H 输出端接霍尔效应测试仪中部下方的霍尔电压输入

端（ V_H 输入）

2. 开机前将 I_S 、 I_M 调节旋钮逆时针方向旋到底，使其输出电流趋于最小状态。测量前将实验仪上的三个换向开关 K_1 、 K_2 、 K_3 断开。

3. 将霍尔元件调至电磁铁气隙内的中心位置附近，将 K_1 、 K_2 、 K_3 电键均倒向下方接通电路（此时为“+”）。

4. 保持励磁电流 I_M =1000mA 不变，、改变工作电流，调节 I_S =1.00、2.00、3.00、4.00、5.00、6.00、7.00、8.00、9.00、10.00mA，并分别改变 $\vec{B}$ 、 I_S 的方向，测出相应的霍尔电势差 V_H ，填入表 1。根据测量数据绘出 $I_S \sim V_H$ 曲线，验证线性关系。

5. 霍尔元件仍位于气隙的中心，保持工作电流 I_S =10.00mA 不变，调节 I_M =100、200、300、400、500、600、700、800、900、1000mA，分别测量霍尔电压 V_H ，填入表 2，并绘出 $I_M \sim V_H$ 曲线，验证线性关系范围，分析当 I_M 达到一定值以后， $I_M \sim V_H$ 直线斜率变化的原因。

6. 将霍尔元件置于电磁铁的中心，调节 I_M =1000mA、 I_S =10.00mA。使霍尔元件从中心向边缘移动，每隔 5mm 选一个点测出相应的霍尔电压 V_H ，填入表 3。根据已知的霍尔灵敏度 K_H 值（见仪器标注），由公式求出磁感应强度 B 的大小：

$$B = \frac{V_H}{K_H I_S}$$

六、原始数据记录：

表 1 测量霍尔电压 V_H 与工作电流 I_S 的关系（ $I_M = 500mA$ ，磁场保持不变）

$I_S(mA)$	$V_1\ (mV)$ $+ I_M + I_S$	$V_2\ (mV)$ $- I_M + I_S$	$V_3\ (mV)$ $- I_M - I_S$	$V_4\ (mV)$ $+ I_M - I_S$	V_H $= \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}\ (mV)$
0.3	9.87	-9.60	9.57	-9.79	9.7075
0.6	19.46	-19.72	19.08	-19.46	19.43
0.9	29.16	-28.62	28.65	-29.13	28.89
1.2	38.93	-38.18	38.24	-38.98	38.5825
1.5	48.67	-47.85	47.81	-48.72	48.2625
1.8	58.44	-57.36	57.29	-58.39	57.87
2.1	68.12	-66.86	61.81	-68.07	66.215
2.4	77.81	-76.36	76.40	-77.73	77.075
2.7	87.51	-85.88	85.94	-87.54	86.7175
3.0	97.22	-95.52	95.48	-97.25	96.3675

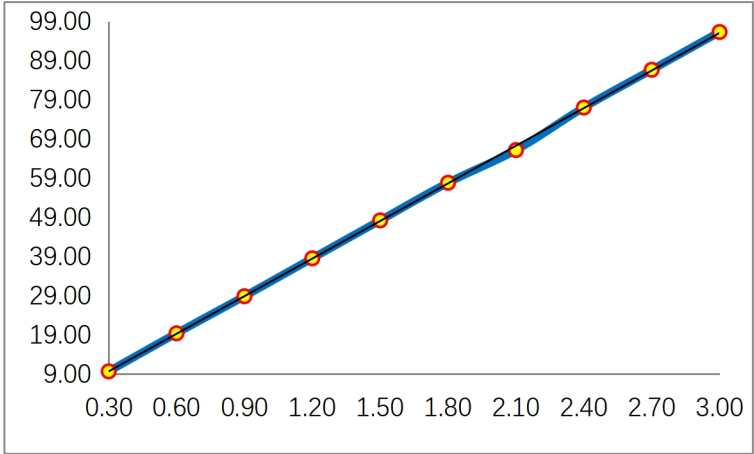
表 2 测量霍尔电压 V_H 与励磁电流 I_M 的关系（ $I_S = 3.0\ mA$ ）

$I_M(mA)$	$V_1\ (mV)$ $+ I_M + I_S$	$V_2\ (mV)$ $- I_M + I_S$	$V_3\ (mV)$ $- I_M - I_S$	$V_4\ (mV)$ $+ I_M - I_S$	V_H $= \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}\ (mV)$
50	297.2	297.2	-297.3	-297.3	0
100	297.2	297.2	-297.3	-297.4	0.025
150	297.2	297.2	-297.3	-297.4	0.025
200	297.2	297.2	-297.3	-297.4	0.025
250	297.3	297.2	-297.3	-297.4	0.05
300	297.3	297.2	-297.3	-297.5	0.075
350	297.3	297.2	-297.3	-297.5	0.075
400	297.4	297.2	-297.3	-297.5	0.1
450	297.4	297.2	-297.4	-297.6	0.1
500	297.4	297.2	-297.4	-297.6	0.1

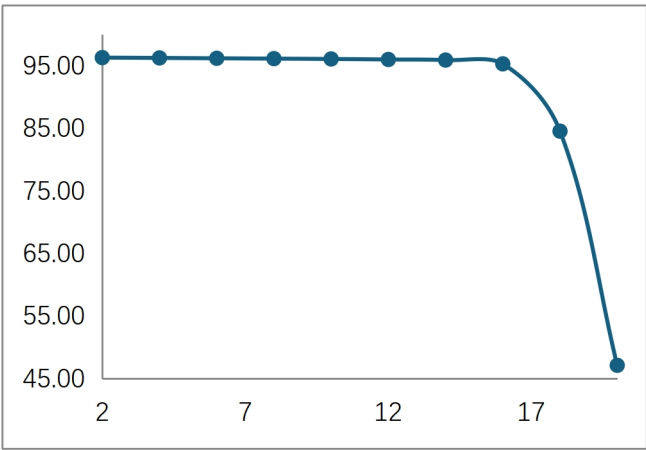
表 3 通电螺线管内磁感应强度分布的测定 ($I_M = 500\text{ mA}$ 、 $I_S = 3.0\text{ mA}$)

X(mm)	$V_1\text{ (mV)} + I_M + I_S$	$V_2\text{ (mV)} - I_M + I_S$	$V_3\text{ (mV)} - I_M - I_S$	$V_4\text{ (mV)} + I_M - I_S$	$V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}\text{ (mV)}$
2	97.23	-95.46	95.44	-97.19	96.33
4	97.19	-95.40	95.39	-97.14	96.28
6	97.13	-95.34	95.34	-97.08	96.2225
8	97.08	-95.29	95.29	-97.02	96.17
10	97.01	-95.25	95.23	-96.97	96.115
12	96.93	-95.17	95.15	-96.88	96.0325
14	96.85	-95.06	95.06	-96.78	95.9375
16	96.21	-94.48	94.50	-96.14	95.3325
18	84.81	-83.41	84.28	-85.78	84.57
20	48.11	-47.30	45.75	-47.32	47.12

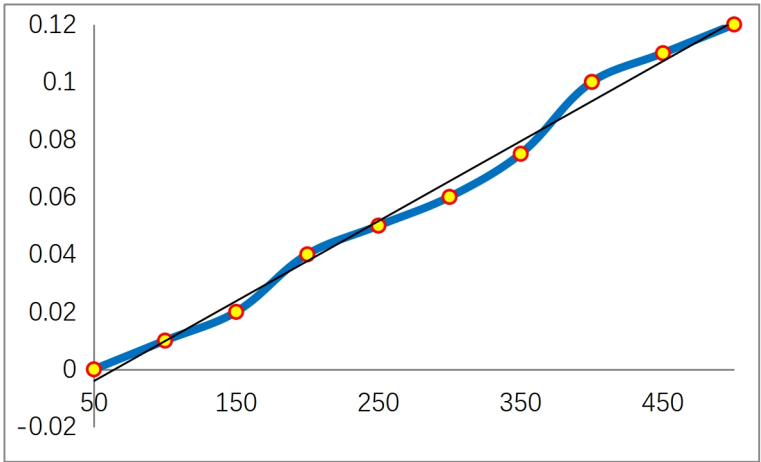
七、数据处理：



表一图线



表三图线



表二图线

八、实验结果与讨论：

- 主要结果：**在 $I_M = 500\text{ mA}$ 下得到 $V_H = (32.1\text{ }\mu\text{V/mA})I_S$ ；在 $I_S = 3.0\text{ mA}$ 下得到 $V_H = (0.200\text{ }\mu\text{V/mA})I_M$ 。两者满足式(7)的一致性检验（偏差 $< 4\%$ ）。轴向磁场在 $2\sim 14\text{ mm}$ 内基本恒定，边缘出现明显弱化。
- 物理解释：** $V_H \propto I_S B$ 的线性得到验证，交换法使零点与副效应（不等位、能斯特/埃廷斯豪森等）被有效抵消，因而拟合截距接近零。
- 误差来源：**
 - 表 2 分辨率有限（ $25\text{ }\mu\text{V}$ ）使得小 I_M 区域读数台阶化；
 - 线圈端部效应与探头定位误差导致轴向分布在 $16\sim 20\text{ mm}$ 快速下降；
 - 温漂与接触电阻差异可引入缓慢漂移，但由式(2)已大幅削弱。
- 改进建议：**
 - 若需**定量**求 K_H 与 R_H ，建议用已知 α 的标准螺线管或用高斯计标定 B ；
 - 提高 V_H 读数分辨率（高增益放大 + 低噪声锁相法）与探头定位精度；
 - 增加正反序列重复次数，估计 A 类不确定度并与 B 类合成。