

霍尔效应实验报告

崔士强 PB22151743

2023 年 10 月 24 日

1 实验目的

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 实验原理

2.1 霍尔系数的测量

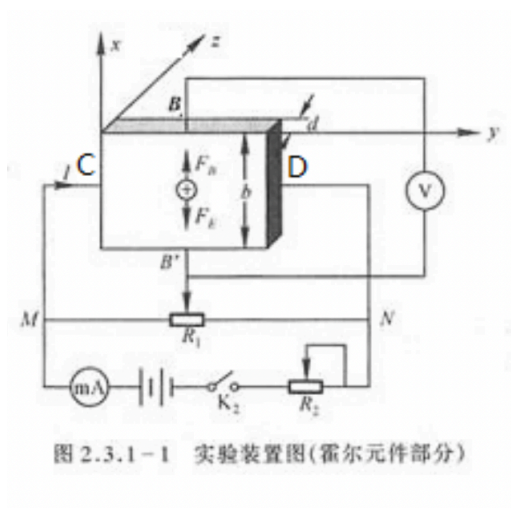


图 1: 实验原理

如图所示，半导体片与电路连接，当 y 方向有电流 I_S 时，半导体片中的载流子受洛伦兹力 F_B 作用，向 x 方向偏移. 设载流子运动速度为 u ，则有：

$$F_B = quB$$

随着电荷累积，薄片 B, B' 两侧产生电场 E ，设电场力为 F_E ，则有：

$$F_E = \frac{qV_{BB'}}{b}$$

平衡时有 $F_E = F_B$ ，即：

$$quB = \frac{qV_{BB'}}{b}$$

设载流子浓度为 n ，有：

$$I_S = bdnqu$$

从而得到

$$V_{BB'} = \frac{1}{nq} \frac{I_S B}{d}$$

令霍尔系数 $R_H = \frac{1}{nq}$ ，则：

$$V_{BB'} = R_H \frac{I_S B}{d}$$

已知磁铁线圈参数为： $\frac{B}{I_M} = 3600\text{Gs/A} = 0.36\text{T/A}$ ，则可以通过 I_S 或 I_M 与 $V_{BB'}$ 的关系来测量 R_H 。在本实验中，为了减少副效应，采取对称测量法，即对于每一组 I_S 和 I_M 的值，分别换向从而测得四组电压值，取其平均值。

2.2 电导率的测量

沿电流方向测量一段距离 L 两端的电压，则有：

$$\frac{V}{I_S} = \rho \frac{L}{bd}$$

即可计算出电导率。已知电导率与载流子浓度 n ，迁移率 μ 之间的关系：

$$\sigma = ne\mu$$

则可以计算出载流子浓度 n 以及迁移率 μ 。

2.3 载流子类型的确定

无论是正电荷还是负电荷，其偏转方向是一致的，因此测量半导体 x 方向两端电压即可得知载流子类型。

3 实验仪器

恒流源，电磁铁，霍尔样品和样品架，铈化铟片，换向开关和接线柱，数字万用表，小磁针。

4 测量记录

4.1 测量六角霍尔片的霍尔系数

$I_S(\text{mA})$	$I_M(\text{A})$	
	+0.45	-0.45
+1.00	2.100	1.984
-1.00	2.096	1.983
+1.50	3.146	2.957
-1.50	3.143	2.958
+2.00	4.178	3.929
-2.00	4.177	3.930
+2.50	5.170	4.864
-2.50	5.165	4.865
+3.00	6.207	5.839
-3.00	6.202	5.840
+3.50	7.241	6.814
-3.50	7.225	6.816
+4.00	8.278	7.791
-4.00	8.271	7.792
+4.50	9.316	8.764
-4.50	9.314	8.766

表 1: 固定 I_M 所得电压 $V_{BB'}$

$I_M(\text{A})$	$I_S(\text{mA})$	
	+4.5	-4.5
+0.100	2.141	2.151
-0.100	1.606	1.605
+0.150	3.060	3.097
-0.150	2.548	2.546
+0.200	4.020	4.070
-0.200	3.519	3.520
+0.250	5.007	5.076
-0.250	4.531	4.529
+0.300	6.018	6.130
-0.300	5.582	5.581
+0.350	7.095	7.172
-0.350	6.620	6.617
+0.400	8.142	8.224
-0.400	7.672	7.667
+0.450	9.209	9.307
-0.450	8.756	8.755

表 2: 固定 I_S 所得电压 $V_{BB'}$

4.2 测量六角霍尔片的电导率

在零磁场下，取 $I_S = 1.00\text{mA}$ ，测得 $V_{B'A'} = -60\text{mV}$ 。

4.3 确定导电类型

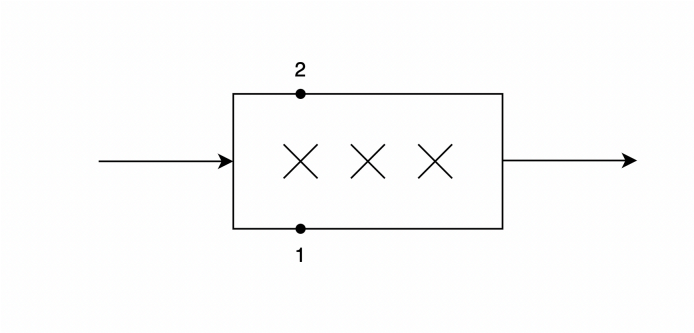


图 2: 示意图

测得 $V_{12} > 0$

4.4 测量铈化钢片的霍尔系数

固定 $I_S = 1\text{mA}$ ，改变 I_M ，测得 V_H 如下：

$I_M(\text{A})$	$V_H(\text{mV})$
0.00	-60.0
0.05	-20.2
0.10	15.3
0.15	46.9
0.20	73.7
0.22	84.8
0.25	92.3
0.27	98.5
0.30	104.0
0.35	115.5
0.40	124.4
0.45	132.3
0.50	141.3
0.55	150.2
0.60	159.4
0.65	167.9
0.70	177.0
0.75	185.4
0.80	194.3

表 3: 固定 $I_S = 1\text{mA}$ 所得电压 V_H

5 分析与讨论

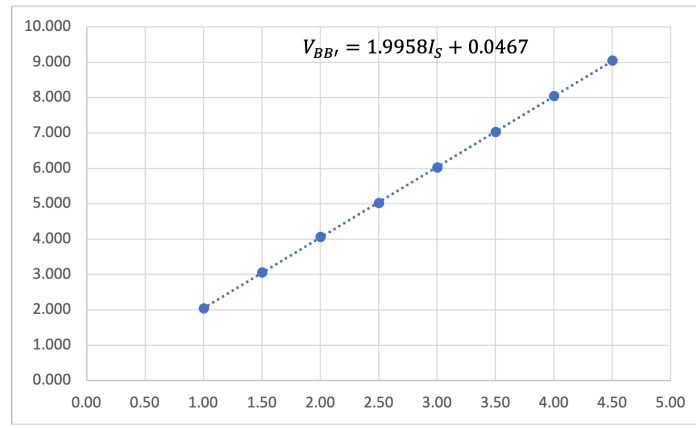
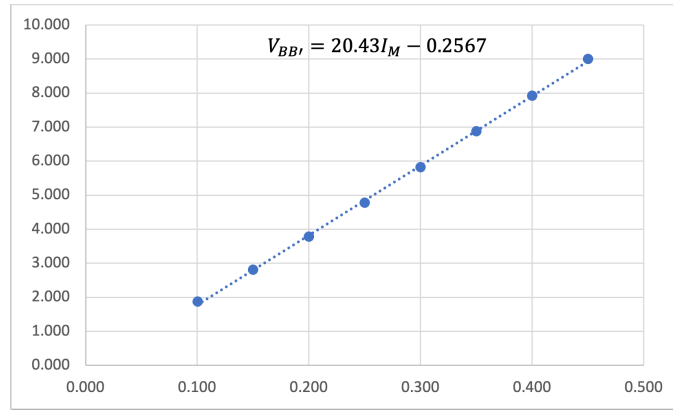
5.1 数据处理

对于 4.1 中的数据，求两次换向所得四个值的平均值，并作线性拟合，结果如下：

$I_S(\text{mA})$	$V_{BB'}(\text{mV})$	$I_M(\text{A})$	$V_{BB'}(\text{mV})$
1.00	2.041	0.100	1.876
1.50	3.051	0.150	2.813
2.00	4.054	0.200	3.782
2.50	5.016	0.250	4.786
3.00	6.022	0.300	5.828
3.50	7.024	0.350	6.876
4.00	8.033	0.400	7.926
4.50	9.040	0.450	9.007

表 4: 固定 $I_M = 0.45\text{A}$ 所得电压 $V_{BB'}$

表 5: 固定 $I_S = 4.5\text{mA}$ 所得电压 $V_{BB'}$

图 3: $V_{BB'}$ 与 I_S 的关系图 4: $V_{BB'}$ 与 I_M 的关系

在图 3 中, 由

$$V_{BB'} = k_1 I_S$$

$$k_1 = \frac{R_H I_M}{d} \times 0.36 \text{T/A}$$

得:

$$R_H = 6.306 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{C}$$

在图 4 中, 由

$$V_{BB'} = k_2 I_M$$

$$k_2 = \frac{R_H I_S}{d} \times 0.36 \text{T/A}$$

得:

$$R_H = 6.160 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{C}$$

由

$$\frac{V}{I_S} = \frac{L}{\sigma b d}$$

可得:

$$\sigma = 25 \text{S/m}$$

由图 2 可知，洛伦兹力 \vec{F} 方向向上，因此为 n 型半导体，有：

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

$$\sigma = ne\mu$$

取 R_H 为两次测量结果的平均值 $6.223 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{C}$ 可解得：

$$n = 1.00 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$$

$$\mu = 0.154 \text{m}^2/(\text{Vs})$$

对于铈化钢片，由表 3 数据绘制散点图：

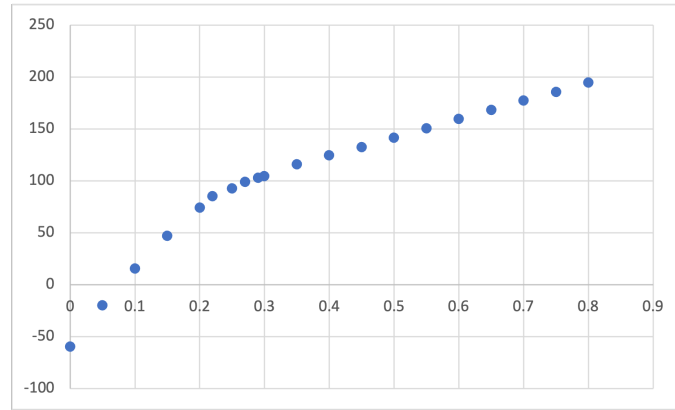


图 5: 铈化钢片 V_H 与 I_M 关系散点图

可以发现 V_H 与 I_M 大致呈现分段的线性关系，分界点大致在 $I_M = 0.22\text{A}$ ，因此分段进行线性拟合，结果如下：

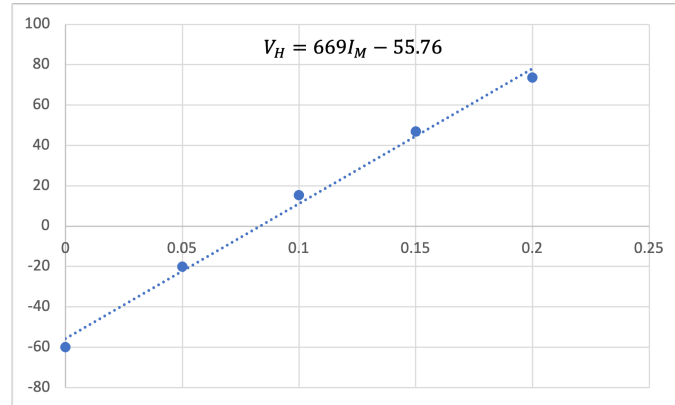


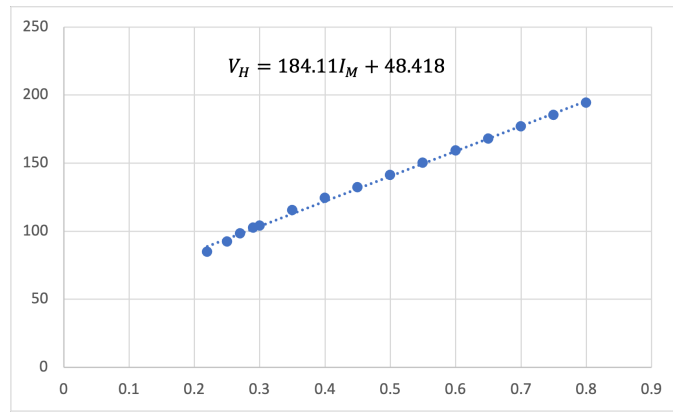
图 6: $I_M < 0.22\text{A}$

由

$$k_3 = \frac{R_{H1} I_S}{d} \times 0.36 \text{T/A}$$

得：

$$R_{H1} = 0.929 \text{m}^3/\text{C}$$

图 7: $I_M > 0.22\text{A}$

由

$$k_4 = \frac{R_{H_2} I_S}{d} \times 0.36\text{T/A}$$

得:

$$R_{H_2} = 0.256\text{m}^3/\text{C}$$

5.2 误差分析

本实验的误差主要来源于以下几点:

1. 测量时仪器读数不稳定;
2. 电极焊接不对称导致的不等位电动势;
3. 载流子速度不一致, 其横向分布也不一致, 同时高速载流子温度较高, 从而形成温差电动势 V_E

同时注意到测量铈化铟片霍尔系数时, $I_M = 0$ 时测得电压并不为 0 (且绝对值并不小), 推测其原因可能是上述第 2 点, 考虑到本实验主要关心线性拟合的斜率, 这对结果无显著影响 (希望如此)。