

霍尔效应及磁阻测量

杨哲元

2023 年 3 月 23 日

目录

1 实验目的	1
2 实验原理	1
2.1 霍尔效应	1
2.2 副效应	1
2.2.1 厄廷好森 (Etinghausen) 效应	1
2.2.2 能斯脱 (Nernst) 效应	1
2.2.3 不等位效应	2
2.2.4 磁电阻效应	2
3 实验仪器	2
4 实验内容及数据处理	3
4.1 一、测量霍尔片的有关参数	3
4.2 三、标定电磁铁磁隙间磁场	4
4.3 * 四、测定磁极间隙磁场分布	5
4.4 五、测量霍尔片载流子迁移率	7
4.5 六、磁电阻特性测量	7
5 实验小结	8
6 原始数据	8

1 实验目的

- 了解霍尔效应的产生原理以及副效应的产生原理；
- 掌握霍尔系数的测量方法，学习消除霍尔副效应的实验方法；
- 研究半导体材料的电阻值随磁场的变化规律。

2 实验原理

2.1 霍尔效应

在长方形薄板中通过电流 (记为 x 轴方向), 并在电流的垂直方向 (z 轴方向) 加上磁场, 那么载流子受洛伦兹力向 y 轴方向偏转, 最终形成霍尔电势差。霍尔发现这个电位差 U_H 即霍尔电压或电势与电流强度 I 及磁感应强度 B 均成正比, 与金属板的厚度 d 成反比, 即

$$U_H = R_H \frac{IB}{d} = K_H IB$$

2.2 副效应

除霍尔效应外, 有其他一些副效应与霍尔效应混在一起, 使霍尔电压的测量产生误差, 需要消除。

2.2.1 厄廷好森 (Etinghausen) 效应

载流子在磁场中运动的动能转化成热能, 导致材料温度升高产生温差电动势 $U_E \propto IB$

2.2.2 能斯脱 (Nernst) 效应

通电流的方向导线和材料的接触电阻可能不同, 或由于电极、半导体材料不同而产生不同的焦耳热。由此导致载流子产生热流并产生电位差 U_N 。

只考虑电阻效应, U_N 仅与 B 的方向有关。

里纪-勒杜克 (Righi-Leduc) 效应热流中载流子速度不同, 也会产生上述 Nernst 效应中的电位差。

2.2.3 不等位效应

不等位效应是使得实验产生误差最大的效应。由于工艺制作方面的精度很难达到足够高, 电势测量点不可能恰好处于同一条电势等位线上, 也即必然会出现电势差 U_0

2.2.4 磁电阻效应

在一定条件下, 导电材料的电阻值 R 随磁感应强度 B 的变化规律称为磁电阻效应

设磁阻器件在磁场为零时电阻及电阻率分别为 $R(0)$ $\rho(0)$, 磁场为 B 时电阻及电阻率分别为 $R(B)$ $\rho(B)$ 通常以电阻率的相对改变量 $\Delta\rho/\rho(0)$ 表示磁阻

$$\Delta\rho = \rho(B) - \rho(0)$$

而

$$\Delta R/R(0) \propto \Delta\rho/\rho(0)$$

其中 $\Delta R = R(B) - R(0)$ 。理论计算和实验都证明了在磁场较弱时, 一般正常磁阻器件的 $\Delta R/R(0)$ 正比于 B^2 , $B > 0.12T$ 时 $\Delta R/R(0)$ 正比于 B

本实验中, 磁阻器件的 $\Delta R/R(0)$ 与工作状态相关, 因此在测量时需要记录工作状态。

3 实验仪器

- 霍尔效应实验仪

- 测试仪
- 万用表
- 导线

4 实验内容及数据处理

仪器编号 11025044; 实验编号 110832——磁场强度 $131.4mT$ 。

4.1 一、测量霍尔片的有关参数

不等位电压 $U_0 = (U_1 + U_2 - U_3 - U_4)/4$ ，测量结果附在表后

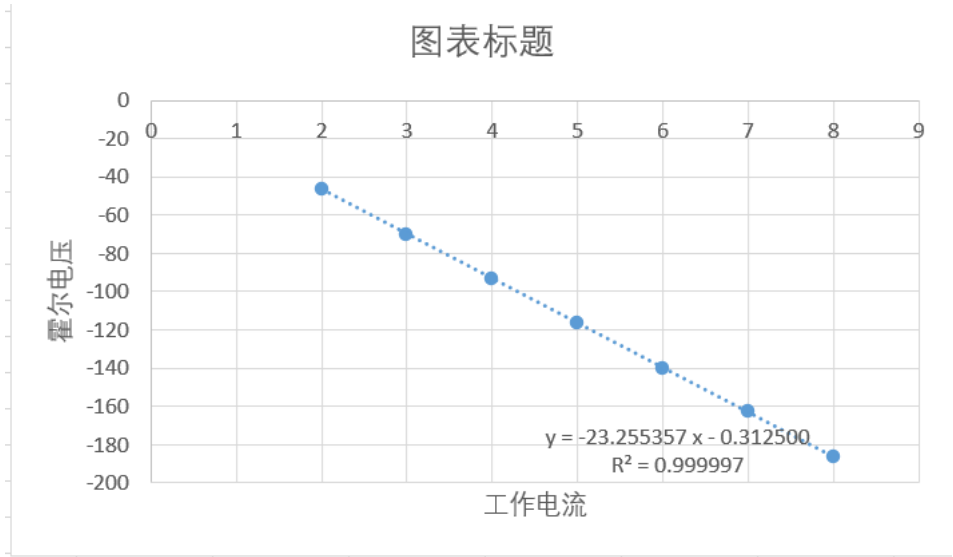
<div>U/mV</div> <div>I/mA</div>	U_1	U_2	U_3	U_4	U_H	U_0
2.00	-47.3	46.8	-46.7	46.5	-46.825	-0.075
3.00	-70.7	70.0	-70.1	69.5	-70.075	-0.025
4.00	-94.4	93.0	-93.5	92.5	-93.35	-0.1
5.00	-118.2	116.0	-116.9	115.2	-116.575	-0.125
6.00	-142.3	138.9	-140.5	138.0	-139.925	-0.225
7.00	-166.3	161.4	-163.8	160.2	-162.925	-0.325
8.00	-191.1	184.2	-187.8	182.7	-186.45	-0.45

利用 Excel 拟合 $U - I$ 关系，得到解析式为

$$U_H = -23.55I - 0.3125$$

误差系数 $r^2 = 0.999997$ 又由理论分析知 $U = K_HIB$, 因此计算得灵敏度 $K_H = -179.2m^2/C$, 霍尔系数为 $R = dK_H = -5.377 \times 10^{-4}m^3/C$. 而载流子浓度 $n = 1/eR_H = 1.16 \times 10^{22}$

图 1: 工作电流和霍尔电压的关系



不确定度计算

仪器不确定度 $\Delta_{\text{仪}} = 10^{-3}$. 而

$$\Delta_{K_H} = t_P(v)S_{\bar{x}} = \frac{t_P(v)}{\sqrt{n}}S_x = 8.927 \times 10^{-7}$$

$$\Delta_{R_H} = t_P(v)S_{\bar{x}} = \frac{t_P(v)}{\sqrt{n}}S_x = 0.2976$$

由此 K_H 的不确定度 $\Delta_{K_H} = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} = 1 \times 10^{-3}$

而 R_H 的不确定度为 $\Delta_{R_H} = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} = 0.2976$

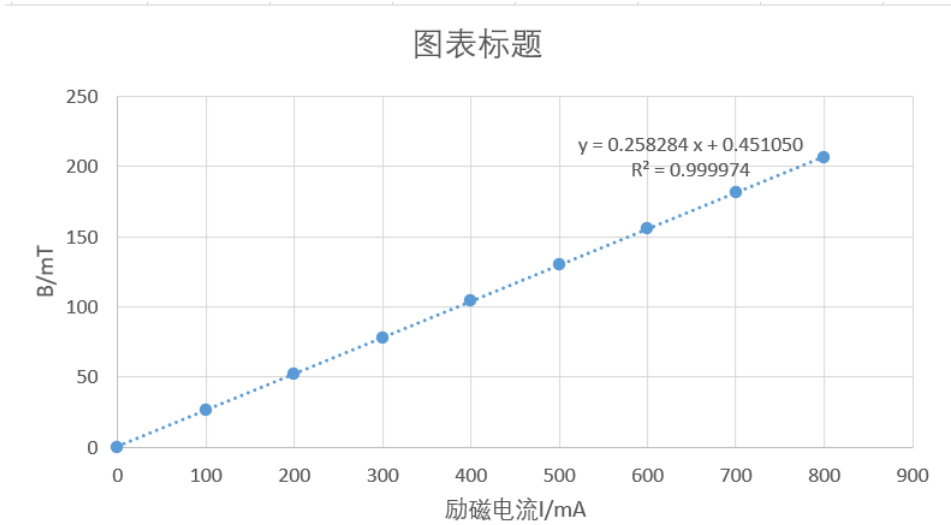
根据测量结果可知，霍尔元件内的载流子为电子。

4.2 三、标定电磁铁磁隙间磁场

标定工作电流 $I=4.00\text{mA}$

<div><div>U/mV</div><div>I_M /mA</div></div>	U_1	U_2	U_3	U_4	U_H	B/mT
0	-0.7	-0.5	-0.7	-0.5	-0.1	0.139
100	-19.8	18.5	-19.0	17.8	-18.775	26.2
200	-38.6	36.3	-37.4	36.6	-37.225	51.9
300	-57.2	55.8	-56.3	54.9	-56.05	78.1
400	-75.8	74.5	-74.6	73.6	-74.625	104.1
500	-94.0	92.6	-93.4	92.4	-93.1	129.9
600	-112.8	111.4	-111.4	110.9	-111.625	155.7
700	-131.1	129.7	-130.1	129.2	-130.025	181.4
800	-149	147.6	-147.9	147.2	-147.925	206.3

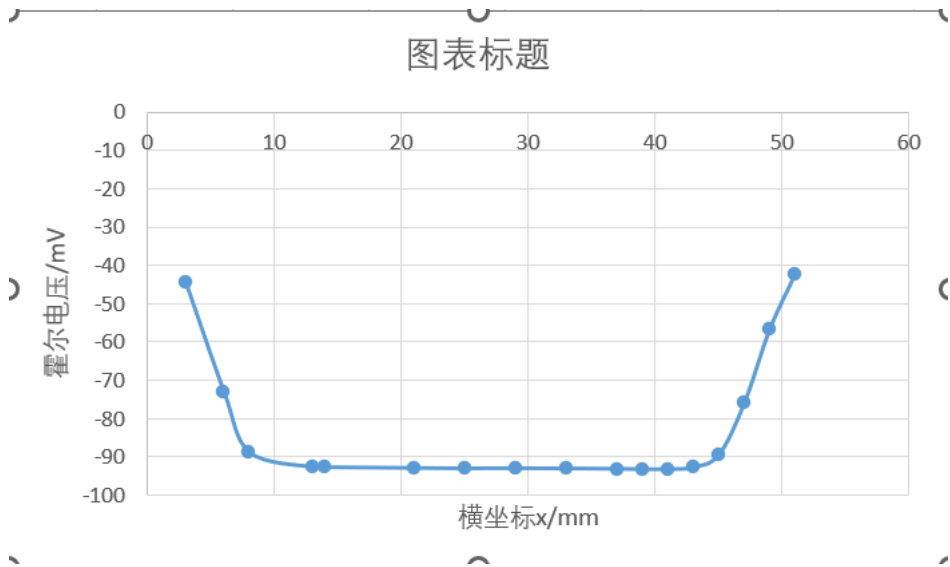
图 2: 励磁电流和霍尔电压的关系



4.3 * 四、测定磁极间隙磁场分布

标定工作电流 $I = 4.00mA$; $I_M = 500mA$ 由图可知水平方向上磁隙间

图 3: 霍尔元件在磁场中的位置和霍尔电压的关系



匀强磁场的分布范围约为 $10mm \sim 43mm$

4.4 五、测量霍尔片载流子迁移率

理论计算知电子迁移速率 $\mu = \frac{I \cdot l}{neSU}$, 其中 $U - I$ 关系测量如下, 求得 I/U 平均值为 0.001323

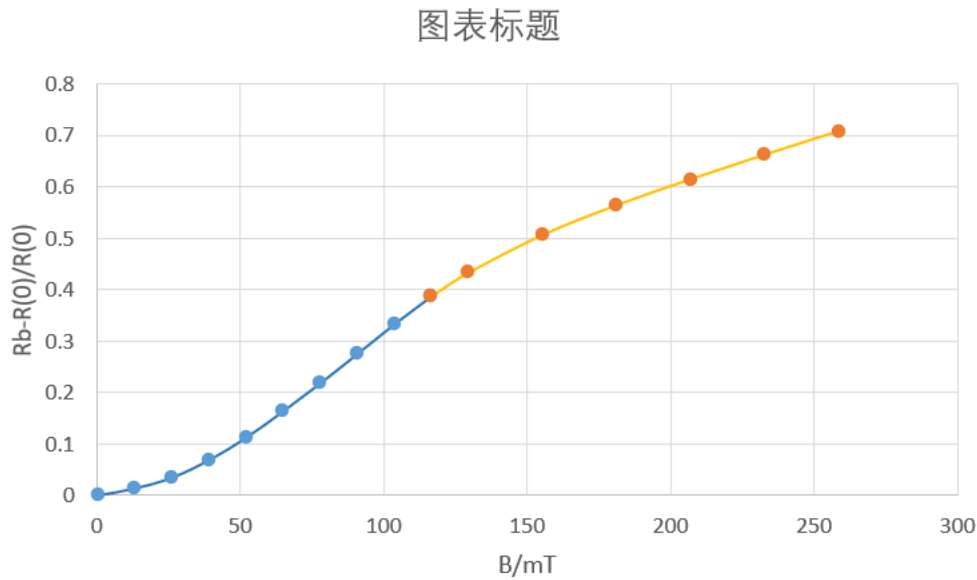
由此可计算出 $\mu = 0.711cm^2/(V \cdot s)$

表 1: 工作电流和对应的电势差

I/mV	1.5	2	3	4	5	6	7
U_{CD} /V	1.1201	1.4939	2.25	3.015	3.79	4.587	5.398

4.5 六、磁电阻特性测量

图 4: 磁电阻特性测量



实验数据如下

表 2: 励磁电流和磁阻变化测量

I_M /mA	0	50	100	150	200	250	300	350
I/mA	0.4599	0.466	0.4758	0.4914	0.5115	0.5352	0.560	0.5865
R(B)	306.6	310.7	317.2	327.6	341	356.8	373.5	391
ΔR /R(0)	0	0.01348	0.03457	0.06849	0.1122	0.1637	0.218	0.275
B/mT	0.4510	13.36	26.3	39.19	52.11	65.02	77.9	90.9
I_M /mA	400	450	500	600	700	800	900	1000
I/mA	0.6131	0.6381	0.6592	0.6929	0.7195	0.7426	0.764	0.786
R	408.7	425.4	439.5	461.9	479.7	495.1	509.7	523.6
ΔR /R(0)	0.3331	0.3874	0.4333	0.5066	0.5645	0.6147	0.662	0.708
B/mT	103.7	116.6	129.5931	155.4	181.2	207.1	232.9	258.7

5 实验小结

- 1 在实验一和实验二中，我得到的测量结果 (U-I) 关系并不完全是正比例关系，而是一次函数关系，且误差较大。分析过后较大的误差应该来自于磁场强度变化 (磁场强度主要受励磁电流的影响，但还随着工作温度升高，磁场也会发生变化，这导致了测量误差)，以及输出工作电流并非恒流 (测量过程中会有 $\pm 1 \sim 2mA$ 的跳变)。
- 2 通过实验，我了解到霍尔电压的测量方法，以及对霍尔效应的应用有了进一步的认识，例如能用来测量半导体材料的载流子浓度和迁移速率等等。

6 原始数据

数学作业纸

姓名: _____ 学号: _____ 班级: _____

日期: _____

实验一:

I_m	U_1	U_2	U_3	U_4
2	-47.3	46.8	-46.7	46.5
3	-70.7	70.0	-69.701	69.5
4	-94.4	93.0	-93.5	92.5
5	-118.2	116.0	-116.9	115.2
6	-142.3	138.9	-140.5	138.0
7	-166.3	161.4	-163.8	160.2
8	-191.1	184.2	-187.8	182.7

实验二:

	U_1	U_2	U_3	U_4
0	-0.7	-0.5	-0.7	-0.5
100	-17.8	18.5	-19.0	17.8
200	-38.6	36.3	-37.4	36.6
300	-57.2	55.8	-56.3	54.9
400	-75.8	74.5	-74.6	73.6
500	-94.0	92.6	-93.4	92.4
600	-112.8	111.4	-111.4	110.9
700	-131.1	129.7	-130.1	129.2
800	-149.0	147.6	-147.9	147.2

实验三:

	U_1	U_2	U_3	U_4
0	50	100	150	200
100	0.4461	0.4758	0.4914	0.5115
200	0.4461	0.4758	0.4914	0.5115
300	0.4461	0.4758	0.4914	0.5115
400	0.4461	0.4758	0.4914	0.5115
500	0.4461	0.4758	0.4914	0.5115
600	0.4461	0.4758	0.4914	0.5115
700	0.4461	0.4758	0.4914	0.5115
800	0.4461	0.4758	0.4914	0.5115

实验四:

I_m/mA	1.5	2	3	4
U/V	1.1201	1.4939	2.2500	3.095

实验五:

I_m/mA	5	6	7
U/V	3.7900	4.5870	5.3980

实验六:

I_m/mA	1.5	2	3	4	5	6	7
U/V	1.1201	1.4939	2.2500	3.095	3.7900	4.5870	5.3980