

## 霍尔效应

学号: PB22511902 姓名: 王冬雪

### 实验目的

了解霍尔效应原理以及有关霍尔器件对材料要求的知识。学习用“对称测量法”消除副效应影响。根据霍尔电压判断霍尔元件载流子类型。计算载流子的浓度和迁移速度。

### 实验原理

半导体薄片在垂直于它的磁场中,加载电流后定向移动的载流子(设平均速率为 $u$ )受到洛伦兹力 $F_B = quB$ 的作用,发生偏移,产生电荷积累,形成电场。随着电荷逐渐积累,电场力 $F_E = F_B$ ,即 $q\frac{V_{BB'}}{b} = quB$ , $V_{BB'}$ 称为霍尔电压。另一方面,设载流子浓度为 $n$ ,薄片厚度为 $d$ ,则电流强度 $I$ 与 $u$ 的关系为 $I = bdnqu$ 。于是, $V_{BB'} = \frac{1}{nq} \frac{IB}{d}$ ,令 $R = \frac{1}{nq}$ ,则 $V_{BB'} = R \frac{IB}{d}$ , $R$ 称为霍尔系数。在应用中, $V_{BB'} = K_H IB$ , $K_H = \frac{R}{d} = \frac{1}{nqd}$ 称为霍尔元件灵敏度, $I$ 称为控制电流。霍尔效应建立所需时间很短,因此霍尔元件使用交流电或者直流电都可。指示交流电时,得到的霍尔电压也是交变的, $I$ 和 $V_{BB'}$ 应理解为有效值。

在实际应用中,伴随霍尔效应经常存在其他效应。爱廷豪森效应:实际中载流子迁移速率 $u$ 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,向霍尔电场作用力方向偏转,速度大的载流子受到磁场作用力大于霍尔电场作用力,向洛伦兹力方向偏转。这样使得一侧高速载流子较多,相当于温度较高,而另一侧低速载流子较多,相当于温度较低。这种横向温差就是温差电动势 $V_E$ ,这种效应建立需要一定时间,如果采用交流电,可以减小测量误差。此外,在使用霍尔元件时还存在不等位电动势引起的误差,一般可以忽略,也可以用一个电位器加以平衡。我们可以通过改变 $I_S$ 和磁场 $B$ 的方向消除大多数副效应。具体说在规定电流和磁场正反方向后分别测量下列四组不同方向的 $I_S$ 和 $B$ 组合的 $V_{BB'}$ ,然后得到霍尔电压平均值,这样虽然不能消除所有的副效应,但其引入的误差不大,可以忽略不计。

设沿电流方向两点距离为 $L$ ,样品横截面积为 $S = bd$ ,流经样品电流为 $I_S$ ,在零磁场下,测得两点间电压为 $V_{BB'}$ ,根据欧姆定律可算出电导率。

电导率与载流子浓度、迁移率之间有关系: $\sigma = ne\mu$ 。

### 实验仪器

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

### 测量记录

线圈参数: 3500Gs/A

用六脚霍尔片接好线路, 尺寸:  $d=0.5\text{mm}$ ,  $b=4.0\text{mm}$ ,  $L=3.0\text{mm}$

1. 保持  $I_M=0.45\text{A}$  不变

| 表 1 $V_H - I_S$ |                 |                 |                 |                 |                              |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| $I_S/\text{mA}$ | $V_H/\text{mV}$ | $V_H/\text{mV}$ | $V_H/\text{mV}$ | $V_H/\text{mV}$ | $ \overline{V_H} /\text{mV}$ |
| -               | +B, $+I_S$      | -B, $+I_S$      | -B, $-I_S$      | +B, $-I_S$      | -                            |
| 1.00            | -1.6126         | 2.0559          | -2.0509         | 1.6193          | 1.8347                       |
| 1.50            | -2.4809         | 3.1587          | -3.1541         | 2.4884          | 2.8205                       |
| 2.00            | -3.3459         | 4.2561          | -4.2506         | 3.3504          | 3.8008                       |
| 2.50            | -4.2107         | 5.3559          | -5.3496         | 4.2181          | 4.7836                       |
| 3.00            | -5.0431         | 6.4133          | -6.4061         | 5.0505          | 5.7283                       |
| 3.50            | -5.9091         | 7.5126          | -7.5055         | 5.9146          | 6.7105                       |
| 4.00            | -6.7746         | 8.6131          | -8.6063         | 6.7834          | 7.6944                       |
| 4.50            | -7.6413         | 9.7171          | -9.7088         | 7.6516          | 8.6797                       |

2. 保持  $I_S=4.50\text{mA}$  不变

| 表 2 $V_H - I_M$ |                 |                 |                 |                 |                              |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| $I_M/\text{A}$  | $V_H/\text{mV}$ | $V_H/\text{mV}$ | $V_H/\text{mV}$ | $V_H/\text{mV}$ | $ \overline{V_H} /\text{mV}$ |
| -               | +B, $+I_S$      | -B, $+I_S$      | -B, $-I_S$      | +B, $-I_S$      | -                            |
| 0.100           | -0.8285         | 2.9225          | -2.9142         | 0.8341          | 1.8748                       |
| 0.150           | -1.7683         | 3.8613          | -3.8533         | 1.7718          | 2.8137                       |
| 0.200           | -2.7349         | 4.8262          | -4.8181         | 2.7382          | 3.7794                       |
| 0.250           | -3.7082         | 5.7858          | -5.7750         | 3.7038          | 4.7432                       |

|       |         |        |         |        |        |
|-------|---------|--------|---------|--------|--------|
| 0.300 | -4.6938 | 6.7791 | -6.7710 | 4.6864 | 5.7326 |
| 0.350 | -5.6894 | 7.7602 | -7.7532 | 5.6752 | 6.7195 |
| 0.400 | -6.6474 | 8.7404 | -8.7307 | 6.6557 | 7.6936 |
| 0.450 | -7.6224 | 9.7220 | -9.7147 | 7.6473 | 8.6766 |

3. 在零磁场下，取 $I_S=1.00\text{mA}$

| 表 3 $V_{B'A'}$       |         |          |
|----------------------|---------|----------|
| $I_S$                | +       | -        |
| $V_{B'A'}/\text{mV}$ | 55.8939 | -55.8098 |

4. 确定样品导电类型

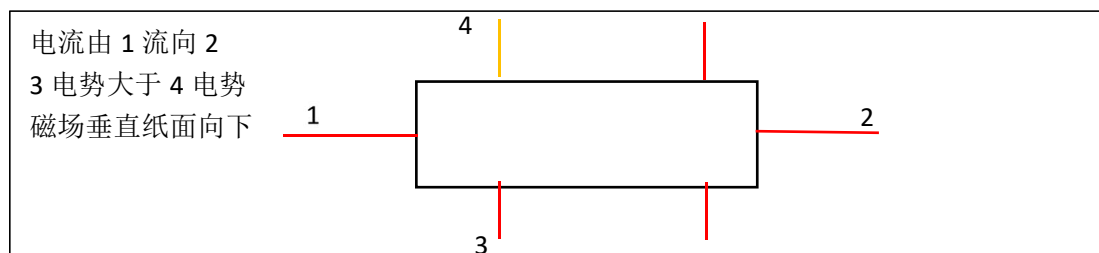


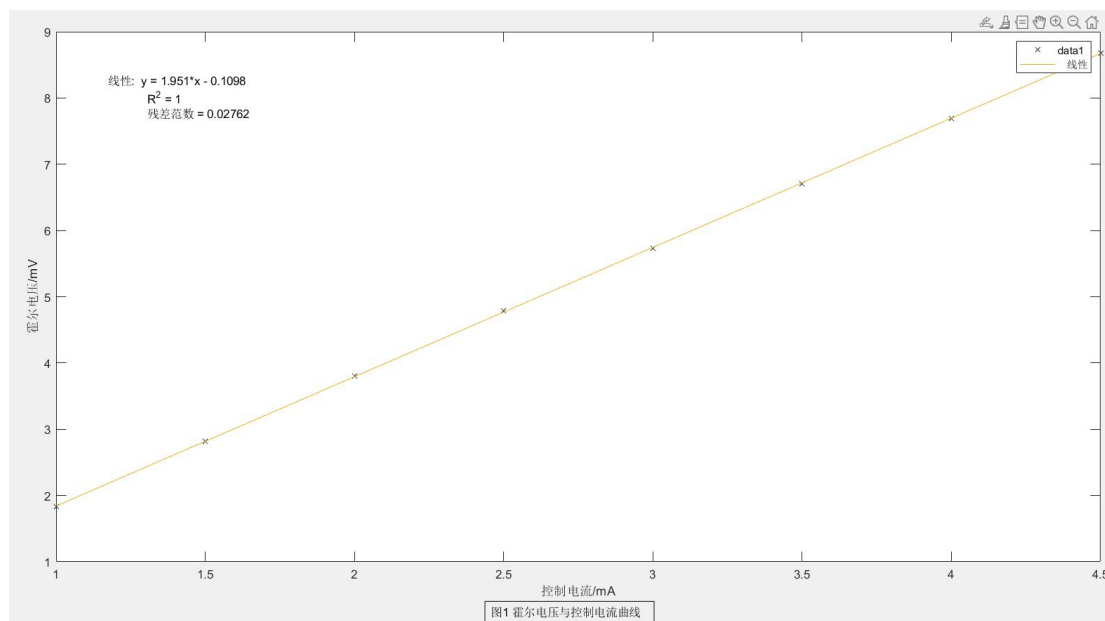
图 0 霍尔片示意图

5. 取 $I_S=4.50\text{mA}$

| 表 4 四角碲化铋片的 $V_H - I_M$ |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $I_M/\text{A}$          | 0.04   | 0.08   | 0.12   | 0.16   | 0.20   | 0.24   | 0.28   | 0.32   | 0.36   | 0.40   |
| $V_H/\text{V}$          | 0.1997 | 0.3244 | 0.4437 | 0.5591 | 0.6596 | 0.7340 | 0.7805 | 0.8178 | 0.8506 | 0.8789 |
| $I_M/\text{A}$          | 0.44   | 0.48   | 0.52   | 0.56   | 0.60   | 0.64   | 0.68   | 0.72   | 0.76   | 0.80   |
| $V_H/\text{V}$          | 0.9056 | 0.9330 | 0.9630 | 0.9923 | 1.0206 | 1.0494 | 1.0788 | 1.1094 | 1.1392 | 1.1702 |
| $V_H/\text{V}$          | 0.1997 | 0.3244 | 0.4437 | 0.5591 | 0.6596 | 0.7340 | 0.7805 | 0.8178 | 0.8506 | 0.8789 |
| $I_M/\text{A}$          | 0.44   | 0.48   | 0.52   | 0.56   | 0.60   | 0.64   | 0.68   | 0.72   | 0.76   | 0.80   |
| $V_H/\text{V}$          | 0.9056 | 0.9330 | 0.9630 | 0.9923 | 1.0206 | 1.0494 | 1.0788 | 1.1094 | 1.1392 | 1.1702 |

## 分析与讨论

根据表 1，绘制  $V_H - I_S$  曲线如下图：



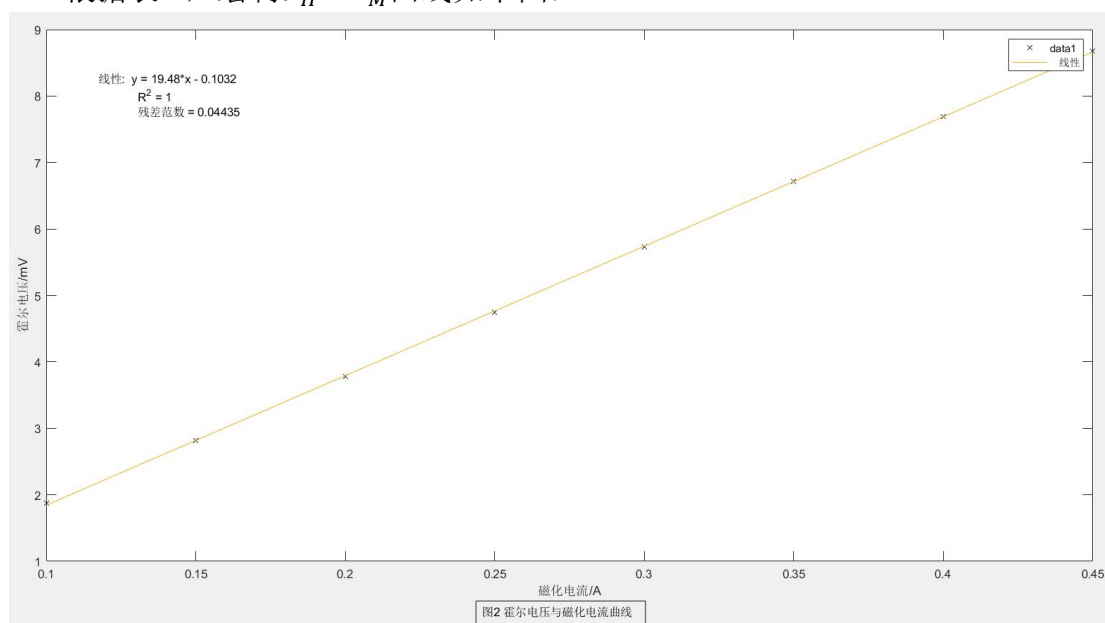
由图 1，得

$$V_H = 1.951 \Omega \cdot T/m \times I_S - 0.1098 mV$$

由于  $I_M = 0.45 A$ ，所以  $B = I_M \times 3500 Gs/A = 0.1575 T$ ，所以

$$R_H = \frac{1.951 \Omega \cdot T/m \times d}{B} = 6.194 \times 10^{-3} m^3/C$$

根据表 2，绘制  $V_H - I_M$  曲线如下图：



由图 2，得

$$V_H = 19.48 m\Omega \cdot T/m \times I_M - 0.1032 mV$$

所以，

$$R_H = \frac{19.48 m\Omega \cdot T/m \times d}{3500 Gs/A \times I_S} = 6.184 \times 10^{-3} m^3/C$$

由表 3,  $\overline{V_{B'A'}} = 55.85185mV$ 。

由图 0, 电流由 1 流向 2, 3 电势大于 4 电势, 磁场垂直纸面向下, 知载流子为电子, 样品导电类型为 n 型。

由上述数据,  $\overline{R_H} = 6.189 \times 10^{-3} m^3/C$ 。

载流子浓度

$$n = \frac{1}{q\overline{R_H}} = 1.010 \times 10^{21} m^{-3}$$

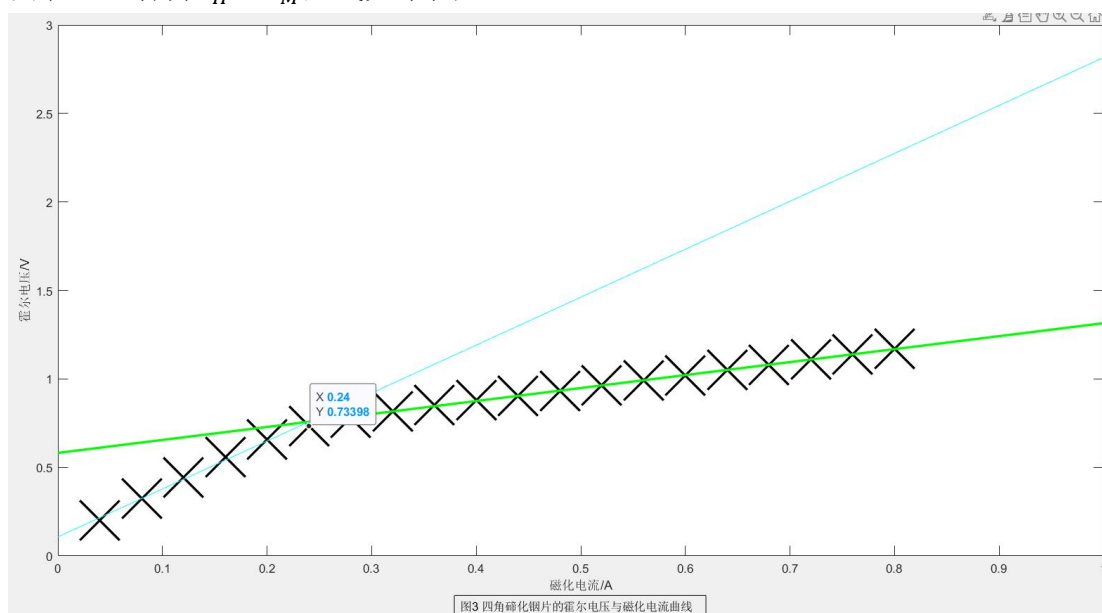
电导率为

$$\sigma = \frac{I_S L}{\overline{V_{B'A'}} b d} = 120.86 (\Omega \cdot m)^{-1}$$

迁移率为

$$\mu = \frac{\sigma}{ne} = 0.74 m^2/(V \cdot s)$$

由表 4, 绘制  $V_H - I_M$  曲线如下图:



由图 3 可看出四角碲化钢片的  $V_H - I_M$  曲线在磁场为 1000Gs 附近霍尔系数发生改变。