

实验目的

- 1) 了解霍尔效应实验原理及有关霍尔元件对材料要求的知识。
- 2) 学习用“抵消法”消除副效应影响, 测量试样的 U_H-I_S 和 U_H-I_m 曲线。
- 3) 计算霍尔元件霍尔系数并确定试样的半导体类型。

实验原理

1. 霍尔效应

通过电流的半导体在垂直电流方向的磁场作用下, 与电流和磁场垂直的方向上会形成电荷积累和出现电势差的现象称为霍尔效应。

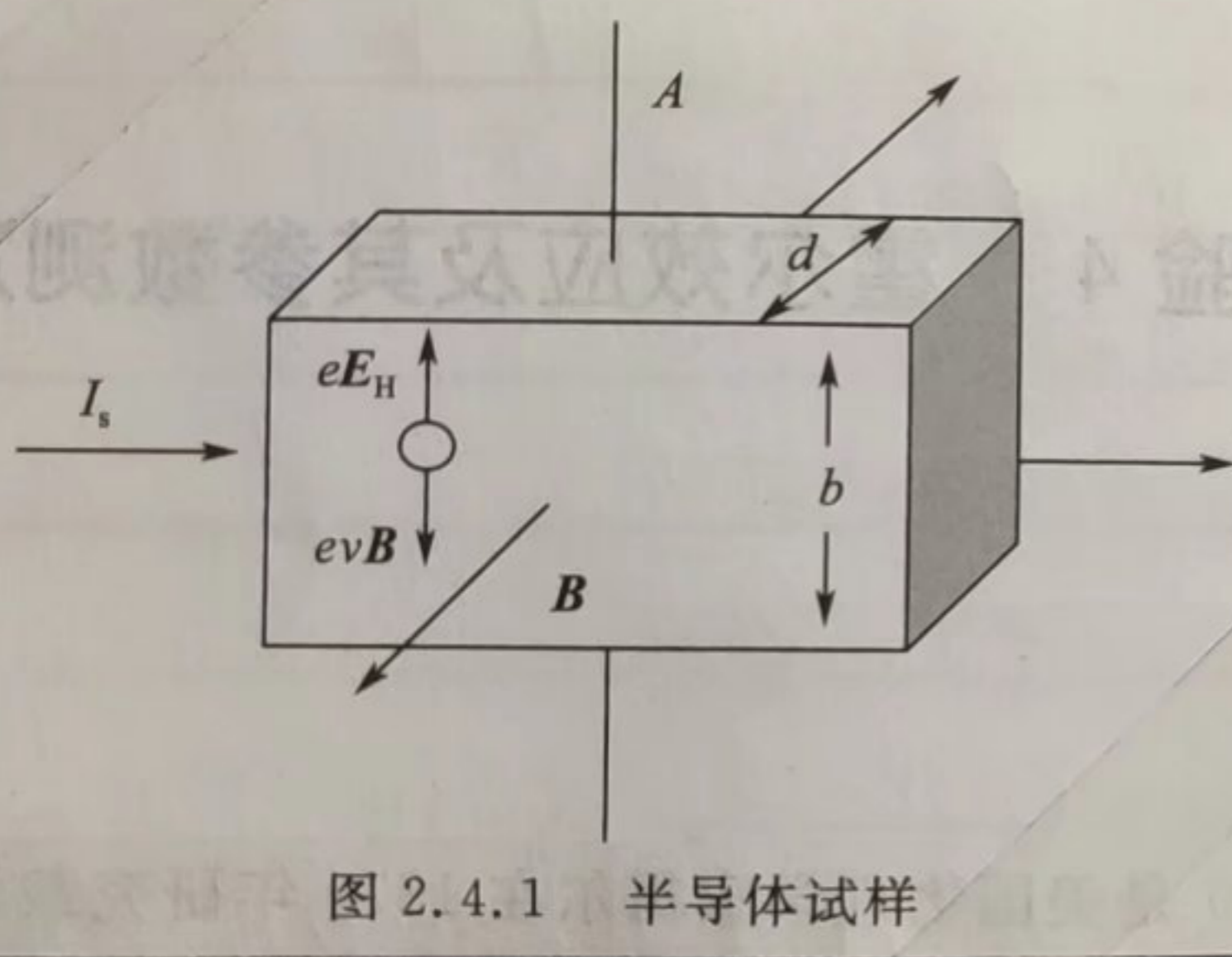


图 2.4.1 半导体试样

$$\begin{aligned} eE_H &= evB \\ I_s &= nevbd \\ \Rightarrow U_H &= E_H b = I_s B / ned \end{aligned}$$

$$\text{设: } R_H = \frac{1}{ne}$$

$$\text{则: } U_H = R_H I_s B / d$$

$$\text{可得: } R_H = U_H d / (I_s B)$$

R_H 称为霍尔系数, 单位为 m^3/C , 它是反映材料霍尔效应强弱的重要参数。

2. 实验中产生的副效应及消除方法

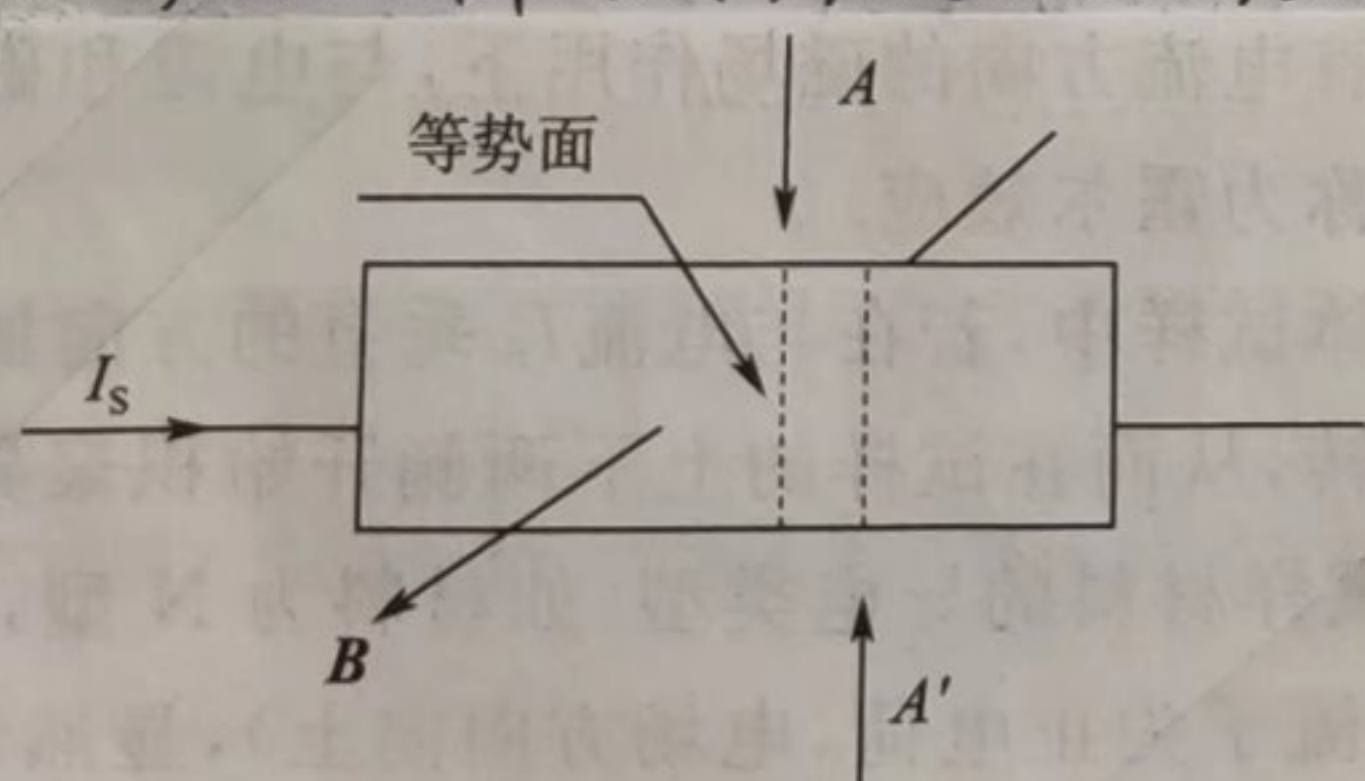


图 2.4.2 不等位电势降

由于 A 和 A' 不对称造成不等位电势降

$$U_0 = I_s r$$

$$\text{因此: } U_{AA'} = U_H + U_0$$

抵消法: 在规定了电流和磁场正、反方向后, 分别测量由下列四组不同组合的 $U_{AA'}$, 然后求其的

代数平均值可消除包括不等位电势降在内的多种副效应的影响。

$$+B, +I_s, U_{AA'} = U_1 = U_H + U_0$$

$$-B, +I_s, U_{AA'} = U_2 = -U_H + U_0$$

$$-B, -I_s, U_{AA'} = U_3 = U_H - U_0$$

$$+B, -I_s, U_{AA'} = U_4 = -U_H - U_0$$

$$\Rightarrow U_H = (U_1 - U_2 + U_3 - U_4) / 4$$

实验仪器 ZKY-HL 霍尔效应螺线管磁场测试仪, ZKY-PQD0100 变温霍尔效应实验仪, ZKY-PC0018 温控电源, ZKY-PF0001 N型组件1, ZKY-PF0004 P型组件1, ZKY-BD0001 双刀双掷开关盒, ZKY-PD011 C型电磁铁, ZKY-BA0060 两芯连接接线, ZKY-BA0023 四芯连接接线。

实验步骤与数据记录 1. 测量室温下 N 型霍尔组件的 R_H 和 n 。

- (1) 将工作电流, 励磁电流调节旋钮逆时针转到底, 使电流最小
- (2) 将测试仪的电压量程设置为高量程, 并将 N 型组件装配到 C 型电磁铁上。
- (3) 将实验仪上的 I_s , I_m 输出换向开关, U_H 的输出开关分别与测试仪上的 I_s , I_m 的输出端, U_H 输入端相连。将 N 型组件的 2, 4 电极与测试仪与 U_H 输出端相连, 接通电源, 预热仪器约 5 min, 并记录下所产生的磁场与励磁电流的比例系数 $C = 249.7$ 及霍尔片的厚度 $d = 1 \mu m$ 。

(5) 保持 $I_m = 400 \text{ mA}$, $t = 27^\circ \text{C}$ 测量数据绘制 $U_H - I_s$ 曲线, 计算 R_H 和 n 。

I_s / mA	U_1 / mV +B, + I_s	U_2 / mV -B, + I_s	U_3 / mV -B, - I_s	U_4 / mV +B, - I_s	U_H / mV	$R_H (\text{m}^3/\text{C})$	$n (\text{m}^{-3})$
1.5	-70.0	70.0	-69.4	69.4	-69.7	4.65×10^{-4}	1.344×10^{22}
2	-92.4	92.4	-92.2	92.2	-92.3	4.62×10^{-4}	1.353×10^{22}
2.5	-114.7	114.7	-115.1	115.1	-114.9	4.60×10^{-4}	1.359×10^{22}
3	-136.7	136.7	-137.1	137.1	-136.9	4.57×10^{-4}	1.368×10^{22}
3.5	-158.1	158.1	-158.4	158.4	-158.25	4.53×10^{-4}	1.380×10^{22}
4	-179.4	179.4	-179.7	179.7	-179.55	4.49×10^{-4}	1.392×10^{22}

(6) 保持 $I_s = 2 \text{ mA}$, $I_m = 50 \text{ mA}$ 不变, 计算各温度下的载流子浓度 n 绘制 $n - t$ 曲线。

$t (^\circ \text{C})$	U_1 / mV +B, + I_s	U_2 / mV -B, + I_s	U_3 / mV -B, - I_s	U_4 / mV +B, - I_s	U_H / mV	$R_H (\text{m}^3/\text{C})$	$n (\text{m}^{-3})$	$R_H (\text{m}^3/\text{C})$	$n (\text{m}^{-3})$
-15	-29.8	29.8	-29.9	29.9	-29.85	1.49×10^{-4}	4.195×10^{22}	-11.9×10^{-4}	0.58×10^{22}
0	-20.7	20.7	-21.4	21.4	-21.05	1.05×10^{-4}	5.952×10^{22}	-8.43×10^{-4}	0.74×10^{22}
20	-13.1	13.1	-13.8	13.8	-13.45	6.7×10^{-5}	9.328×10^{22}	-5.39×10^{-4}	1.16×10^{22}
40	-8.8	8.8	-9.3	9.3	-9.05	4.5×10^{-5}	1.389×10^{23}	-3.62×10^{-4}	1.73×10^{22}
60	-6.0	6.0	-6.4	6.4	-6.2	3.1×10^{-5}	2.016×10^{23}	-2.48×10^{-4}	2.52×10^{22}
80	-4.3	4.3	-4.6	4.6	-4.45	2.2×10^{-5}	2.841×10^{23}	-1.78×10^{-4}	3.51×10^{22}
100	-3.1	3.1	-3.4	3.4	-3.25	1.6×10^{-5}	3.906×10^{23}	-1.30×10^{-4}	4.81×10^{22}
120	-2.4	2.4	-2.6	2.6	-2.5	1.2×10^{-5}	4.808×10^{23}	-1.00×10^{-4}	6.25×10^{22}
140	-1.8	1.8	-2.0	2.0	-1.9	1.0×10^{-5}	6.25×10^{23}	-0.76×10^{-4}	8.22×10^{22}

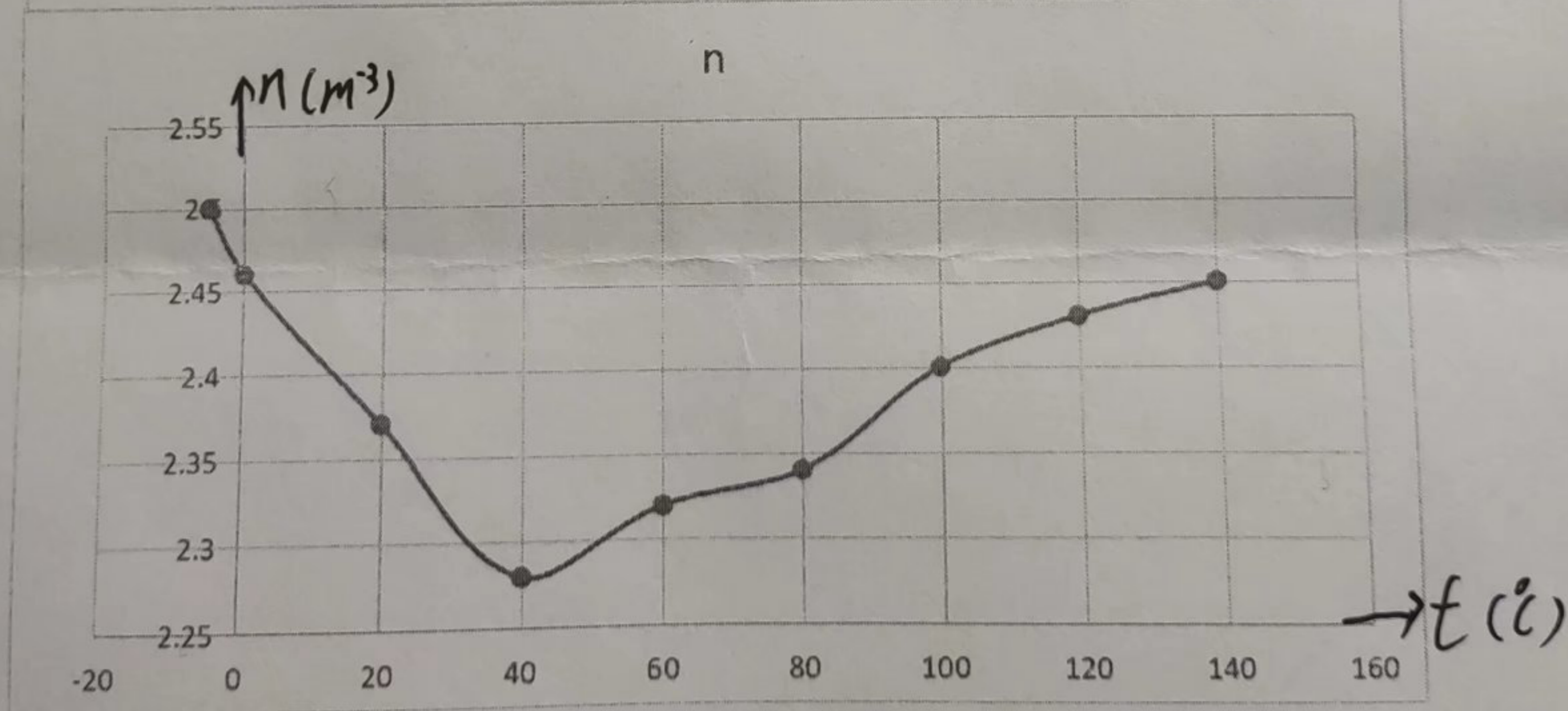
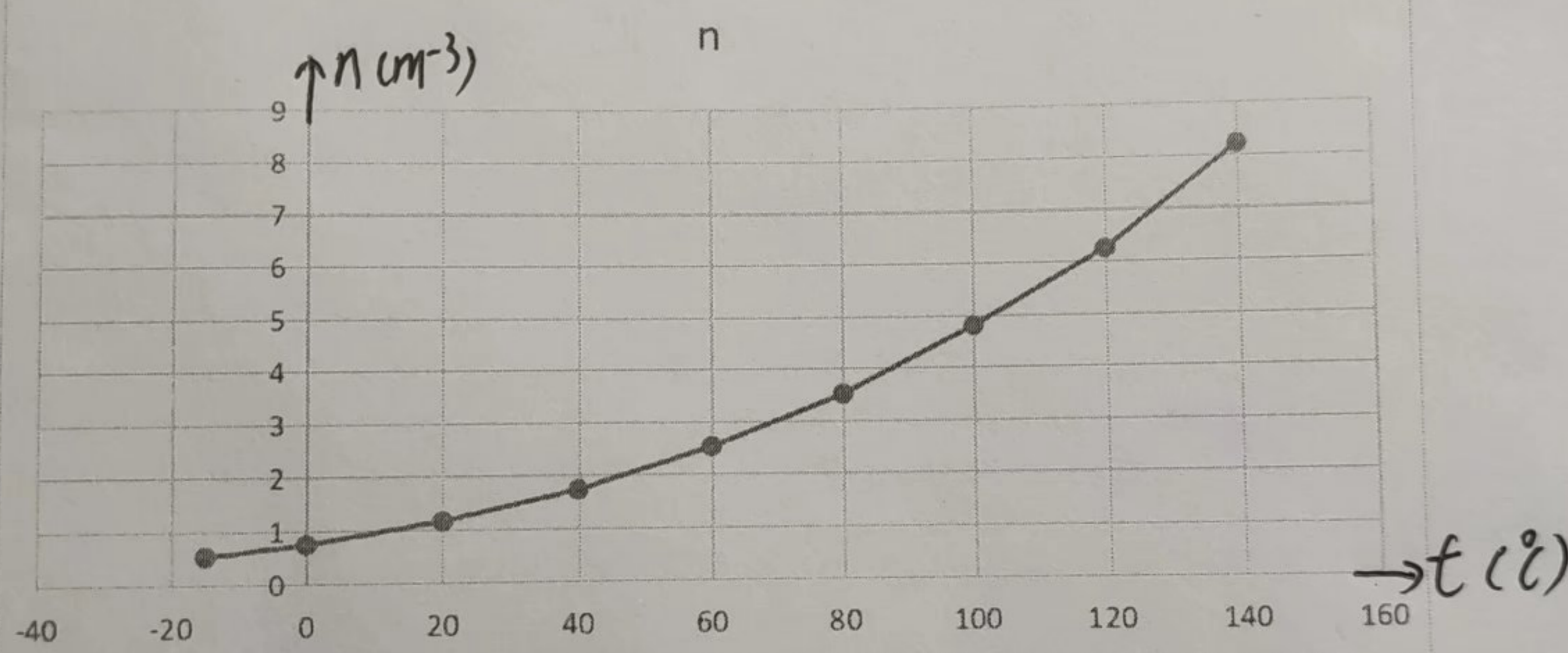
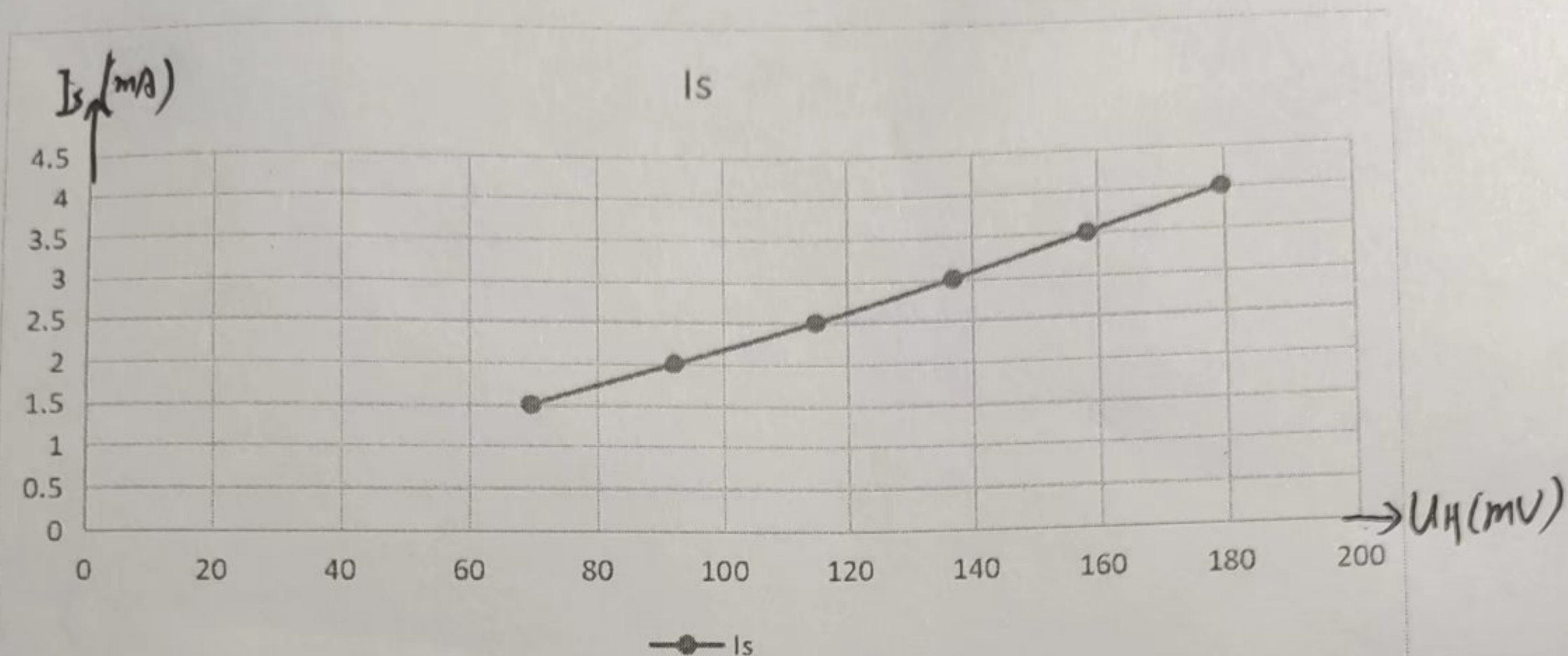
更换为 P 型霍尔组件, 霍尔片的厚度 $d = 500 \mu m$, 保持 $I_s = 15 \text{ mA}$, $I_m = 1000 \text{ mA}$ 不变测量从 (7) 数据计算载流子浓度 n 并绘制 $n - t$ 曲线。

$t (^\circ \text{C})$	U_1 / mV +B, + I_s	U_2 / mV -B, + I_s	U_3 / mV -B, - I_s	U_4 / mV +B, - I_s	U_H / mV	$R_H (\text{m}^3/\text{C})$	$n (\text{m}^{-3})$
-5	2.1	-2.3	1.4	-1.6	1.85	2.40×10^{-3}	2.50×10^{21}
0	2.2	-2.4	1.4	-1.6	1.9	2.54×10^{-3}	2.46×10^{21}
20	2.5	-2.5	1.4	-1.5	1.975	2.64×10^{-3}	2.37×10^{21}
40	2.9	-2.7	1.4	-1.2	2.05	2.74×10^{-3}	2.28×10^{21}
60	3.2	-2.8	1.2	-0.8	2	2.67×10^{-3}	2.34×10^{21}
80	3.5	-2.9	1.1	-0.5	2	2.67×10^{-3}	2.34×10^{21}
100	3.7	-2.9	1.0	-0.2	1.95	2.80×10^{-3}	2.40×10^{21}
120	4.0	-2.9	0.9	0.1	1.925	2.84×10^{-3}	2.41×10^{21}
140	4.3	-2.9	0.9	0.4	1.925	2.87×10^{-3}	2.45×10^{21}

$$R_H = U_H d / I_s B$$

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

实验数据处理



实验结论

- 1) 当霍尔电压保持恒定, 改变励磁电流时, 测量得到的霍尔电压随励磁电流的增加而增加。
- 2) 当励磁电流保持恒定, 改变霍尔电流时, 测量得到的霍尔电压随霍尔电流的增加而增加。通过作图发现二者满足线性关系。

实验讨论

注意事项:

- 1) 只有在接通负载时, 恒流源才能输出电流, 数显表才有相应显示。
- 2) 由于励磁电流较大, 所以千万不能将 I_m 和 I_s 接错, 否则励磁电流将烧坏霍尔元件。
- 3) 霍尔元件及二维移动尺容易折断变形, 应注意避免受挤压、碰撞等。实验前应检查两者及电磁铁是否松动、移位, 并加以调整。
- 4) 为了不使电磁铁因过热而受到损害, 或影响测量精度, 除在短时间内读取有关数据, 通以励磁电流 I_m 外, 其余时间最好断开励磁电流的开关。

误差分析:

- 1) 两个霍尔电势极不可能绝对对称地焊在霍尔片两侧, 由此会产生副效应, 所以测量时利用抵消法消除部分副效应, 但不可能完全消除, 故存在误差。
- 2) 除 U_H 外存在由热效应和热磁效应所引起的各种副效应, (爱廷霍森效应, 里纪-勒杜克效应及能斯特效应等)
- 3) 温控仪温度变化有延迟, 若在数值稳定前测量, 会导致误差。

思考题

1) 什么是霍尔效应, 产生霍尔效应应具备哪些条件?

通过电流的半导体在垂直电流方向的磁场作用下, 与电流和磁场垂直的方向上会形成电荷累积和出现电势差的现象称为霍尔效应。条件: 电流通过一个位于磁场中的导体, 半导体或导体, 沿某方向的磁场, 沿某方向的电流。

2) 若磁场 B 不与霍尔片的法线方向一致, 对结果有何影响?

磁场 B 与霍尔片不一致说明磁感线与霍尔元件不垂直, 这样在测量元件电势差时会导致测量值不是最大电势差, 这样会导致 B 偏小。

3) 能否用霍尔元件测量交变磁场? 怎样测量?

能, 必须使用霍尔元件的线性区, 测量才比较准确。霍尔元件的输出电压 = 输入电流 \times 磁场强度。 $U_H = K_H I_s B$ 霍尔电势差 U_H 与电流 I_s 及 B 成正比。磁感应强度 B 是与励磁电流 I_s 方向垂直的磁场分量。霍尔电势可以实时反映交变磁场的磁感应强度的大小和极性。

4) 用什么方法消除其中的副效应的影响? 并简述其原理?

存在 U_H 外还存在爱廷霍森效应、里纪-勒杜克效应及能斯特效应等。除个别副效应外, 均可通过抵消法, 即改变 I_s 和磁场 B 的方向加以消除。

分别测出四组不同方向的 I_s 和 B 组合的 $U_{AA'}$ 后求出 U_1, U_2, U_3, U_4 的代数平均值

$U_H = (U_1 - U_2 + U_3 - U_4) / 4$ 虽不能消除所有副效应, 但其引入的误差不大可忽略不计。

原始记录	U_1/mV	U_2/mV	U_3/mV	U_4/mV	$U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4} / mV$
I_s / mA	$+B, +I_s$	$-B, +I_s$	$-B, -I_s$	$+B, -I_s$	
1.5	-70.0	70.0	-69.4	69.4	-69.7
2	-92.4	92.4	-92.2	92.2	-92.3
2.5	-114.7	114.7	-115.1	115.1	-114.9
3	-136.7	136.7	-137.1	137.1	-136.9 -136.9
3.5	-158.1	158.1	-158.4	158.4	-158.25
4	-179.4	179.4	-179.4	179.4	-179.55

$t(^{\circ}C)$	U_1	U_2	U_3	U_4	$U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4} / mV$
	$+B, +I_s$	$-B, +I_s$	$-B, -I_s$	$+B, -I_s$	
-15	-29.8	29.8	-29.9	29.2	-29.85
0	-20.7	20.7	-21.4	21.4	-21.05
20	-13.1	13.1	-13.8	13.8	-13.45
40	-8.8	8.8	-9.3	9.3	-9.05
60	-6.0	6.0	-6.4	6.4	-6.2
80	-4.3	4.3	-4.6	4.6	-4.45
100	-3.1	3.1	-3.4	3.4	-3.25
120	-2.4	2.4	-2.6	2.6	-2.5
140	-1.8	1.8	-2.0	2.0	-1.9

$t(^{\circ}C)$	U_1	U_2	U_3	U_4	$U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4} / mV$
	$+B, +I_s$	$-B, +I_s$	$-B, -I_s$	$+B, -I_s$	
-5	2.1	-2.3	1.4	-1.6	1.85
0	2.2	-2.4	1.4	-1.6	1.9
20	2.5	-2.5	1.5	-1.5	1.975
40	2.9	-2.7	1.4	-1.2	2.050
60	3.2	-2.8	1.2	-0.8	2
80	3.0 3.5	-2.9	1.1	-0.5	2
100	3.7	2.2 -2.9	1.0	-0.2	1.725
120	4.0	-2.9	0.9	0.1	1.975
140	4.3	-2.9	0.9	0.4	2.125