

电磁铁匝数 $N = 1616$ ，比例系数 $C = 249.7 \text{mT/A}$ ，霍尔组件厚度 0.000001m

原始记录

室温环境

陈安想

$I_m = 400 \text{mA}$ ， $t = 26.3^\circ\text{C}$ 表2.4.1测绘结果， U_H 和 R_H 不需要填写，于课后计算

I_s/mA	$+B, +I_s$	$-B, +I_s$	$-B, -I_s$	$+B, -I_s$	U_H/mV	$R_H/(\Omega^\circ\text{C})$
0.5	-17.2	17.8	-17.3	17.2	17.2 -17.3	
1	-34.7	35.1	-34.9	34.8	34.8 -34.9	
1.5	-52.0	52.3	-52.2	51.8	52.0 -52.1	
2	-69.2	69.5	-69.3	68.9	-69.2	
2.5	-85.9	86.7	-86.3	85.8	-86.2	
3	-102.7	103.3	-103.2	102.6	-103.0	

$I_s = 2 \text{mA}$ ， $I_m = 50 \text{mA}$ 表2.4.2测绘结果， U_H 和 n 不需要填写，于课后计算

$t/^\circ\text{C}$	$+B, +I_s$	$-B, +I_s$	$-B, -I_s$	$+B, -I_s$	U_H/mV	n/m^{-3}
-20	-17.2	17.5	-17.4	16.3		
0	-12.0	18.2	-18.2	12.2		
20	-8.9	12.5	-12.4	9.0		
40	-6.3	6.9	-6.9	6.4		
60	-4.7	5.0	-5.0	4.7		
80	-3.5	3.7	-3.7	3.5		
100	-2.6	2.8	-2.8	2.7		
120	-2.0	2.2	-2.1	2.1		

实际实验课未要求测绘p型霍尔组件，以上数据均基于n型霍尔组件；

测绘数据未经检验，仅供参考。实验时请以自身测绘结果为准，照搬数据可能被判不合格。

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的影响。
- 3) 计算霍尔元件的霍尔系数和载流子浓度, 绘制 $U_H - I_S$ 曲线和 $n - t$ 曲线。

实验原理

1. 霍尔效应: 当电流通过半导体时, 若在垂直于电流的方向施加一个磁场, 会在半导体的两侧产生一个与电流和磁场方向均垂直的电压。

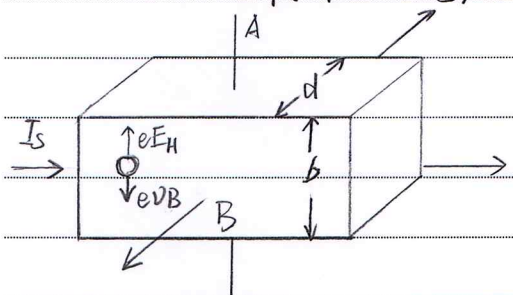


图 2.4.1 半导体试样

如图 2.4.1, 若在电流 I_S 垂直方向上加上磁场 B , 则载流子在洛伦兹力的作用下会发生偏转, 从而在试样的上下两侧开始聚集异号的电荷, 产生相应的附加电场 E_H 。

载流子持续偏移, 电场强度 E_H 逐渐增大, 电场力随之增强, 最终与洛伦兹力平衡。此时载流子的横向漂移停止, E_H 达到一个稳定值。

平衡状态下, 有 $eE_H = e v B$ } 联立得 $U_H = \frac{I_S \cdot B}{n e d}$, 即霍尔电压

$I_S = n q S v = n e b d v$ 设 $R_H = \frac{1}{n e}$, $K_H = \frac{1}{n e d}$, 则式化为 $U_H = \frac{R_H I_S \cdot B}{d} = K_H \cdot I_S \cdot B$

称 $R_H = \frac{1}{n e}$ 为霍尔系数 (单位为 m^3/C); $K_H = \frac{1}{n e d}$ 为霍尔灵敏度, 反映了霍尔效应的强弱

2. 实验中产生的副效应及消除方法

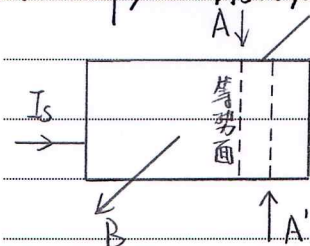


图 2.4.2 电位势降

副效应: 如图 2.4.2, 霍尔元件的两个输出电极 A 和 A' , 由于工艺限制, 并不完全对称, 导致电流通过时, 即使没有磁场也会产生附加电压 $U_0 = I_S \cdot r$, 其中 r 为 AA' 间的电阻。所以, $U_{AA'} = U_H + U_0$

抵消法: 在规定了电流和磁场方向后, 分别测量下列不同组合的 $U_{AA'}$, 然后求其代数平均值, 即可减小误差

$+B, +I_S$	$U_{AA'} = U_1 = U_H + U_0$
$-B, +I_S$	$U_{AA'} = U_2 = -U_H + U_0$
$-B, -I_S$	$U_{AA'} = U_3 = U_H - U_0$
$+B, -I_S$	$U_{AA'} = U_4 = -U_H - U_0$

求出 U_1, U_2, U_3, U_4 的代数平均值, 即 $U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4}$

实验仪器 ZKY-HC 霍尔效应测试仪、ZKY-PQD0100 变温霍尔效应实验仪
ZKY-PC0018 温控电源、PF0001 N型霍尔组件1、ZKY-BD0001 双刀双掷开关盒

实验步骤与数据记录

(1) 正确连接各组件，测量室温下 n 型霍尔组件的 R_H 和 n 。

① 将工作电流、励磁电流调节旋钮顺时针旋转多圈，使电流最小。

② 将 n 型霍尔组件正确装配到 C 型电磁铁上，霍尔电压输入端与霍尔组件电极 4、2 相连，双刀双掷开关盒 I_S 输出端与霍尔组件电极 1、3 相连，开关盒 I_m 输出端与电磁铁 I_m 输入端相连。

③ 记录仪器铭牌参数：电磁铁比例系数 $C = 249.7 \text{ mT/A}$ ，霍尔组件厚度 $d = 1 \mu\text{m}$ 。

④ 接通电源，保持 $I_m = 400 \text{ mA}$ 不变，接通风扇电源以维持霍尔组件温度于室温。

U_1, U_2, U_3, U_4 测量结果见	I_S / mA	U_1 / mV	U_2 / mV	U_3 / mV	U_4 / mV	U_H / mV	R_H / Ω	n / m^{-3}
原始数据，由于篇幅原因，这里	0.5	-17.2	17.4	-17.3	17.2	-17.3	3.46×10^{-4}	1.85×10^{22}
只呈现计算后的 U_H, R_H, n 。	1	-34.7	35.1	-34.9	34.8	-34.9	3.49×10^{-4}	1.788×10^{22}
I_S 依次取 0.5 mA, 1 mA, 1.5 mA,	1.5	-52.0	52.3	-52.2	51.8	-52.1	3.48×10^{-4}	1.796×10^{22}
2 mA, 2.5 mA, 3 mA 进行测量，	2	-69.2	69.5	-69.3	68.9	-69.2	3.463×10^{-4}	1.802×10^{22}
结果如右表所示。	2.5	-85.9	86.7	-86.3	85.8	-86.2	3.452×10^{-4}	1.809×10^{22}
	3	-102.7	103.3	-103.2	102.6	-103.0	3.437×10^{-4}	1.817×10^{22}

(2) 接入温控电源，测试 n 型霍尔组件的载流子浓度。

① 正确连接温控电源的温度传

感器接口、功率电源接口。

② 打开温控电源开关，预热

5 min

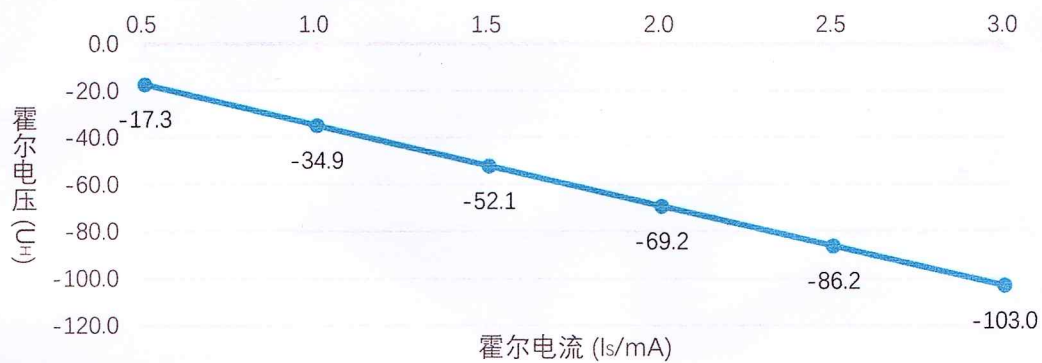
③ 保持 $I_S = 2 \text{ mA}$, $I_m = 50 \text{ mA}$

不变，改变温度进行测

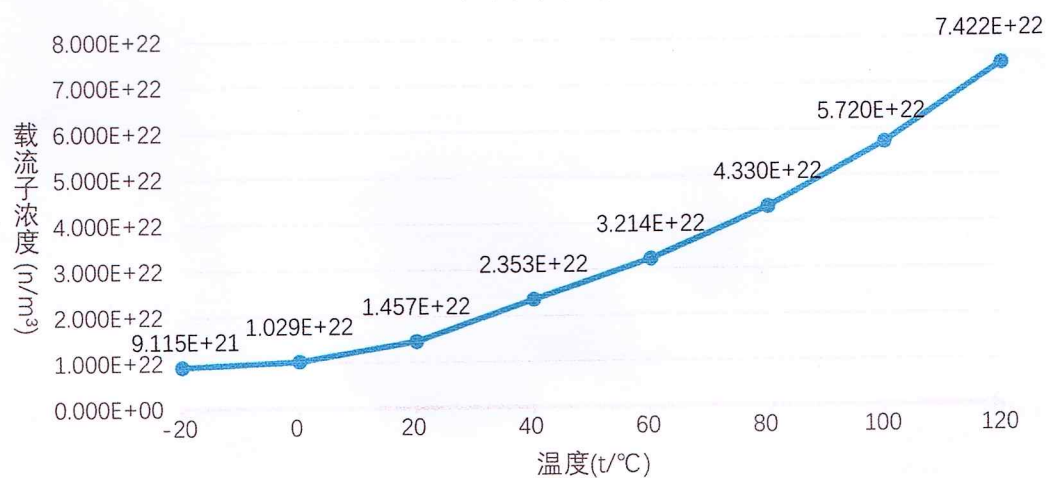
量，结果如右表所示。

$t / ^\circ\text{C}$	U_1 / mV	U_2 / mV	U_3 / mV	U_4 / mV	U_H / mV	n / m^{-3}
-20	-17.2	17.5	-17.4	16.3	-17.1	0.912×10^{22}
0	-12.0	18.2	-18.2	12.2	-15.2	1.029×10^{22}
20	-8.9	12.5	-12.4	9.0	-10.7	1.457×10^{22}
40	-6.3	6.9	-6.9	6.4	-6.6	2.353×10^{22}
60	-4.7	5.0	-5.0	4.7	-4.9	3.214×10^{22}
80	-3.5	3.7	-3.7	3.5	-3.6	4.330×10^{21}
100	-2.6	2.8	-2.8	2.7	-2.7	5.720×10^{21}
120	-2.0	2.2	-2.1	2.1	-2.1	7.422×10^{21}

UH - IS 关系曲线表



n - t 关系曲线表



实验结论

- ① 在该实验条件下, 通过霍尔组件(n型)的电流越大, 霍尔电压的绝对值越大。
- ② 在该实验条件下, 温度升高时霍尔电阻逐渐减小, 霍尔电压的绝对值逐渐减小, 载流子浓度逐渐增大且有增速加快的趋势。

实验讨论

- 实验误差:
- (1) 仪器误差: 仪器的测量精度不足或仪器产生的磁场不均匀。
 - (2) 操作误差:
 - ① 实验中电流通过样品时接触不良或接触电阻较大, 导致电流测量值不准确;
 - ② 实验样品在不同区域的温度不均匀, 可能导致样品中载流子浓度不一致。
 - (3) 副效应: 除 U_H 以外, 存在由热效应和热磁效应所引起的各种副效应(爱庭霍森效应, 里纪-勒杜克效应及能斯特效应等)

霍尔元件的基本工作原理: 当电流通过半导体材料时, 载流子沿电流方向运动。若此时在垂直于电流方向施加磁场, 载流子受洛伦兹力影响向材料两侧偏移形成电荷堆积, 进而在垂直于电流和磁场的方向产生一个稳定的微小电压, 称霍尔电压。

霍尔效应的应用: 通过上述原理, 霍尔元件实现了磁场到电信号的转换, 成为现代电子系统中广泛使用的传感器之一。

电流传感器: 通过检测电流产生的磁场间接测量电流大小。

转速检测: 利用旋转磁体触发霍尔开关, 计算转速和转数。

位置开关: 检测磁性物体的存在或位置变化。

思考题

(1) 产生霍尔效应要具备哪些条件？

① 导体或半导体材料

② 电流通过材料

③ 垂直于电流方向的磁场

(2) 怎样利用 I_s 、 B 的方向及 U_H 的极性判断试样的导电类型？

I_s 、 B ：使用右手定则，右手四指指向电流方向，手掌指向磁场方向，大拇指指向即为霍尔电压方向。根据霍尔电压极性可确定导电类型。

U_H 极性： U_H 极性为负，说明载流子是电子（n型半导体或金属）

U_H 极性为正，说明载流子是空穴（p型半导体）

(3) 若磁场 B 与霍尔组件的法线方向不一致，对测量结果有何影响？

① 霍尔电压的有效分量会减小，导致测量的霍尔电压值减小。

② 当磁场方向不一致时，霍尔电压的方向和大小将不再完全由电流和磁场的相对方向，可能导致测量结果的偏差。

(4) 能否用霍尔元件测量交变磁场？若能，应如何测量

可以测量交变磁场。但若交变磁场频率过高，霍尔元件可能无法及时响应。