

教师签字

总成绩

8.8

实验(32) 霍尔效应

一. 实验目的

1. 了解霍尔效应的基本原理, 测定霍尔元件灵敏度.
2. 了解测量霍尔电压时存在的系统误差及其消除方法.
3. 了解交流霍尔效应的测量方法.

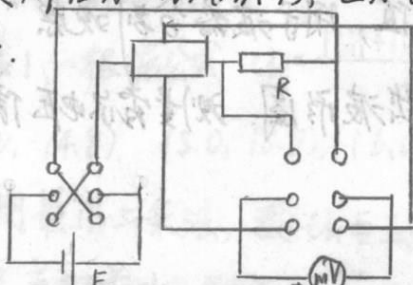
二. 实验原理

1. 霍尔效应: 霍尔效应是由运动的载流子受洛伦兹力作用而引起的. 洛伦兹力使定向运动的载流子发生偏转, 从而导致霍尔片的二端面上产生电荷积累, 形成横向电场. 电场的方向取决于 i , B 的方向及霍尔片的导电类型. 如图为 N 型片的霍尔效应.

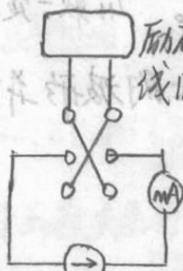
该电场阻止载流子继续偏转, 当霍尔片两侧电荷的积累就达到平衡了, 故有 $eE_H = ev$ 其中 E_H 为霍尔电场强度, v 为载流子在 x 方向上的平均漂移速度.

设霍尔片宽为 b , 厚度为 d , 载流子浓度为 n , 则片中电流 $I_H = nevbd$, 从而有下式 $U_H = E_H b = \frac{1}{ne} \frac{I_H B}{d} = R_H \cdot \frac{I_H B}{d}$, $R_H = \frac{1}{ne}$ 为霍尔系数, 令 $\frac{R_H}{d} = K_H$, 则 $U_H = K_H I_H B$, K_H 称为霍尔元件灵敏度, 单位为 $mV/(mA \cdot T)$. 已知 U_H , I_H , B 的方向, 可以判断霍尔片的导电类型.

2. 实验电路.



三. 实验主要步骤或操作要点



3. 交流霍尔效应.

由于霍尔效应建立电场所需时间极短, 建立霍尔效应所需电流改用交流. 在交流情况下, $U_H = K_H I_H B$ 从形式上仍然成立, 不过式中 U_H 及 I_H 分别为交流霍尔电压与交流霍尔电流峰值 (或有效值).

1. 将电路图与仪器对照, 了解各部分功能.
2. 测试前注意事项:

- (1) 打开及关闭电源开关前, 应先将 I_H 及 I_m 调节钮反时针旋到底 (最小).
- (2) 霍尔片要置于磁场中心位置.

(3) 测量时, 为避免 I_m 开关换向时产生的感生电动势对电路的影响, 要预先设计一个合理的测量顺序, 以减少 I_m 开关换向次数; 测量时, 旋钮调节要轻缓。

3. 测量 $U_H \sim I_H$ 曲线。 I_m 调至 600 mA, 对应不同的 I_H 值, 改变 I_H , I_m 方向测 5 组 U_H 值。 I_H 等间隔取值 (2.0 ~ 9.0 mA)

4. 测量 $U_H \sim I_m$ 曲线, I_H 取 5.0 mA, 改变 I_H , I_m 方向测 5 组 U_H , I_m 等间隔取值 (取值区间 200 mA ~ 900 mA)。

5. 交流霍尔效应。 使用另一台仪器测量交流霍尔器件的 $U_H \sim I_H$ 曲线, 并通过观察示波器的波形计算直流电动机的转速。

(1) 测量 $U_H \sim I_H$ 曲线。

调节电机达到一定转速, 然后调节“电流”, 霍尔电流 I_H 等间隔取值 (区间 1 ~ 10 mA)。 用示波器观察“霍尔电压”输出插口的波形, 测量不同 I_H 下的 U_H 。 B 取 250 mT。

(2) 测量直流电动机转速。 I_H 取一定数值, 用示波器分别观察“霍尔电压”“放大信号”和“TTL”插口上的波形并画出波形图。 测量霍尔电压信号的周期, 计算电动机的转速。

四. 实验数据

$U_H \sim I_H$ 曲线数据 ($I_M = 600 \text{ mA}$) (表1)

$I_H (\text{mA})$	$U_1 (\text{mV})$ + I_H +B	$U_2 (\text{mV})$ - I_H +B	$U_3 (\text{mV})$ - I_H -B	$U_4 (\text{mV})$ + I_H -B
3.0	12.3	-12.3	9.9	-9.9
4.0	16.5	-16.5	13.2	-13.2
5.0	20.6	-20.6	16.5	-16.5
6.0	24.7	-24.7	19.6	-19.6
7.0	28.8	-28.8	22.9	-22.9

$U_H \sim B$ 曲线数据 ($I_H = 5.0 \text{ mA}$) (表2)

$I_M (\text{mA})$	$U_1 (\text{mV})$ + I_H +B	$U_2 (\text{mV})$ - I_H +B	$B (\text{mT})$
300	11.4	-11.4	75
400	14.4	-14.4	100
500	17.4	-17.4	125
600	20.6	-20.6	150
700	23.7	-23.7	175

交流 $U_H \sim I_H$ 曲线 ($K_H = 167 \text{ mV/mA} \cdot \text{T}$) (表3)

$I_H (\text{mA})$	$U_H (\text{mV})$
3.0	60
4.0	80
5.0	90
6.0	100
7.0	110

霍尔电压信号周期为 $2 \text{ ms} \times 6.4 \text{ 格} = 12.8 \text{ ms}$

五. 数据处理

1. 直流 $U_H \sim I_H$ 曲线

由表1, 根据公式 $U_H = \frac{|U_1| + |U_2| + |U_3| + |U_4|}{4}$, 计算可得五个点坐标分别为 (3.0, 11.1), (4.0, 14.8), (5.0, 18.5), (6.0, 22.2) 和 (7.0, 25.9).

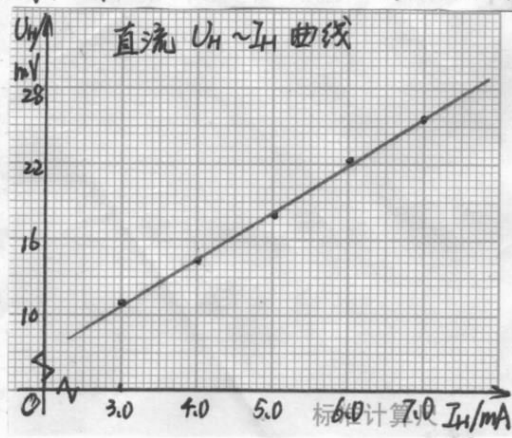
利用最小二乘法, 设 U_H 与 I_H 的函数关系为 $U_H = k \cdot I_H + b$, 为使各测试点 U_H 的偏差平方和最小, 即应使下式取最小值

$$\sum_{i=1}^n U_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (kx_i + b)]^2$$

$$\therefore \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial k} \left(\sum_{i=1}^n U_i^2 \right) &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - b - kx_i) x_i = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \left(\sum_{i=1}^n U_i^2 \right) &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - b - kx_i) = 0 \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial k} \left(\sum_{i=1}^n U_i^2 \right) &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - b - kx_i) x_i = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \left(\sum_{i=1}^n U_i^2 \right) &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - b - kx_i) = 0 \end{aligned} \right.$$

$$\text{整理得} \quad \begin{cases} k = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{x} \bar{y}}{(\bar{x})^2 - \bar{x}^2} \\ b = \bar{y} - k\bar{x} \end{cases}$$



此处 y 对应 U_H , x 对应 I_H , 代入数据进行计算.

$$\bar{I}_H = 5.0 \text{ mA} \quad \bar{U}_H = 18.5 \text{ mV} \quad \overline{I_H \cdot U_H} = \frac{1}{5} \times (33.3 + 59.2 + 92.5 + 133.2 + 181.3)$$

$$(\bar{I}_H)^2 = 25.0 \text{ mA}^2$$

$$= 99.9$$

$$\bar{I}_H^2 = \frac{1}{5} (9 + 16 + 25 + 36 + 49) = 27.0 \text{ mA}^2 \quad \therefore k = \frac{5.0 \times 18.5 - 99.9}{(25.0 - 27.0)} = 3.70$$

$$b = 18.5 - 3.70 \times 5.0 = 0 \quad \therefore U_H = 3.70 I_H$$

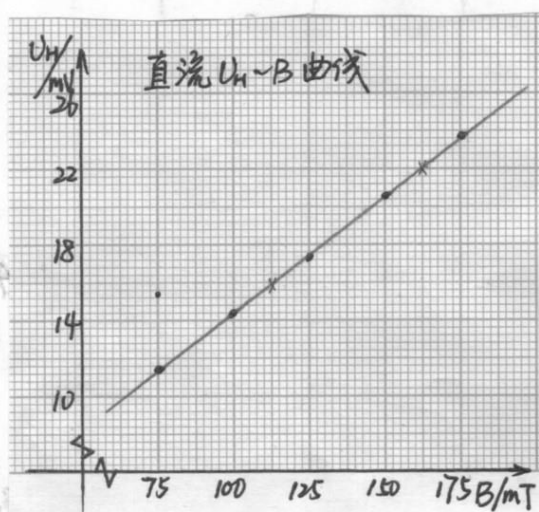
$$\text{而 } U_H = K_H I_H B$$

$$\therefore K_H B = 3.70$$

$$K_H = \frac{3.70}{\frac{1}{4} \times 600 \times 10^{-3}} = 24.7 \text{ (mV/(mA}\cdot\text{T))}$$

2. 直流 $U_H \sim B$ 曲线

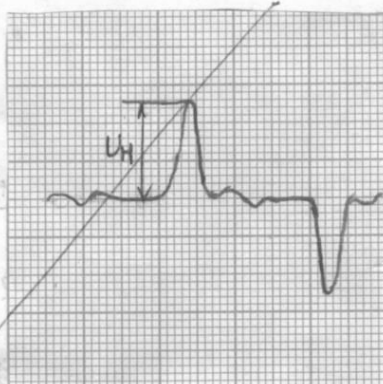
由表 2, 根据公式 $U_H = \frac{U_{H1} + U_{H2}}{2}$, 计算可得五个点坐标为 (75, 11.4), (100, 14.4), (125, 17.4), (150, 20.6) 和 (175, 23.7), 用描点法作出 $U_H \sim B$ 曲线如图所示.



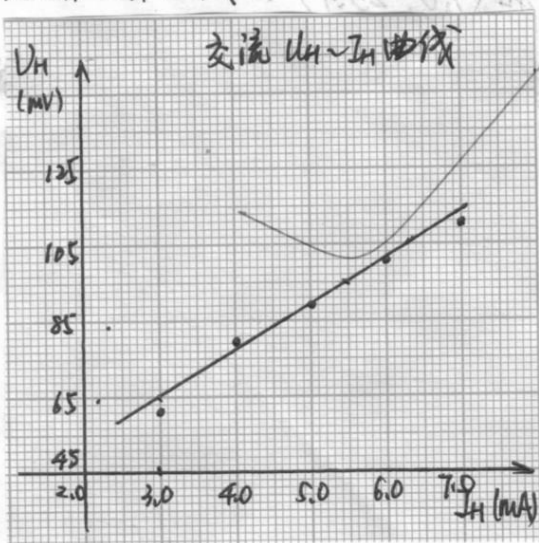
根据观察, 曲线经过点 (112.5, 16) 和 (162.5, 22)

$$\therefore \text{斜率 } k' = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{22 - 16}{162.5 - 112.5} = 0.12$$

$$\text{又 } k' = K_H' I_H \quad \therefore K_H' = \frac{k'}{I_H} = \frac{0.12}{5 \times 10^{-3}} = 24.0 \text{ mV/(mA}\cdot\text{T)}$$



3. 交流 $U_H \sim I_H$ 曲线



电动机周期为 12.8 ms.

$$\therefore \text{转速} = \frac{60 \times 10^3}{12.8} = 4687.5 \text{ (转/分钟)}$$

$\therefore U_H = K_H I_H B$ 曲线斜率为 k .

$$k = \frac{95 - 65}{5.5 - 3.0} = 12 \quad \therefore B = \frac{k}{K_H} = \frac{12 \times 10^3}{167} = 71.9 \text{ (mT)}$$

六. 实验结论及现象分析

误差分析：本实验有四种误差，其中有三种是可以通过不同情况下的测量消除的。

1. 电极不等势：只与 I_H 的方向有关，在测量霍尔电压 U_H 时，可以通过改变励磁电流 I_H 的方向予以消除。应用公式 $U_H = \frac{1}{4} (|U_1| + |U_2| + |U_3| + |U_4|)$ 可消除误差。

2. 爱廷豪森效应（温差电动势）， U_E 正比于 $I_H B$ ，其符号与 I_H 和 B 的关系跟 U_H 相同，所以不能消除。但在非大电流、非强磁场下 $U_H \gg U_E$ ，故 U_E 可忽略。

3. 能斯特效应：两引线接点处接触电阻不同，两接点间有热流，它在磁场作用下在 A, A' 间产生电势差 U_N ，只与磁场方向有关，改变 I_H 方向测量即可。

4. 里纪-勒杜克效应：只与磁场方向有关，改变 I_H 方向，测量即可。

实验结论：

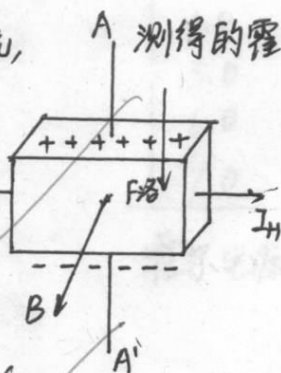
1. 当霍尔电流保持恒定，改变励磁电流时，测得的霍尔电压随励磁电流的增加而增加，通过作图发现二者也满足线性关系。

2. 当励磁电流保持恒定，改变霍尔电流，通过作图发现二者也满足线性关系。

七. 讨论问题

1. 如图为 n 型半导体的 B 的方向

2. 计算直流载流子浓度 ($d=2\mu m$)。



根据实验1得 $K_H = 24.7 \text{ mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$ 而 $R_H = K_H \times d = 24.7 \times 2 \times 10^{-6}$
 $= 4.94 \times 10^{-5} \text{ (m}^3/\text{C)}$

$$n = \frac{1}{R_H e} = \frac{1}{4.94 \times 10^{-5} \times 1.602 \times 10^{-19}} \\ = 1.26 \times 10^{23} / \text{m}^3$$

3. 曲线2所描述的是当 I_H 恒定时， $U_H \sim B$ 曲线的斜率，改变 B 的方向是为了消除电极不等势导致的误差，该误差只影响图线的截距而不影响其斜率，所以没有必要改变 B 的方向再测量。

4. 电极不等势造成的误差可通过改变 B 的方向来消除，设准确值为 U ，误差为 ΔU ，则 $U_1 = U + \Delta U$ ， $U_2 = -U + \Delta U$ \therefore 二式相加即得

电极不等势 $U' = \frac{1}{2} (U_1 + U_2)$ 这电极不等势也

图2的截距为电极不等势

太大了吧！