

霍尔效应实验的数据处理方法

张改茹

(宁夏医科大学,宁夏 银川 750004)

摘要 本文介绍了霍尔效应实验的原理及方法,对其实验数据通过三种数据处理方法,即平均值法、作图法、直线拟合法进行比较和分析。

关键词 霍尔效应 数据处理 方法

1879年霍尔发现置于磁场中的载流体,如果电流方向与磁场垂直,则在垂直于电流和磁场的方向会产生一附加的横向电场。如今,霍尔效应不但是测定半导体材料电学参数的主要手段,而且随着电子技术的发展,利用该效应制成的霍尔器件,由于结构简单、频率响应宽、寿命长、可靠性高等优点,已广泛用于非电量测量、自动控制 and 信息处理等方面。

许多高校都开设有霍尔效应实验,本文对实验数据通过三种不同的方法进行数据处理、比较和分析,绘制霍尔电压与电流关系图,进而计算出霍尔系数或霍尔元件灵敏度。

1 实验原理

霍尔效应从本质上讲是运动的带电粒子在磁场中受洛伦兹力作用而引起的偏转。当带电粒子(电子或空穴)被约束在固体材料中,这种偏转就导致在垂直电流和磁场方向上产生正负电荷的聚积,从而形成附加的横向电场,即霍尔电场。电场力与洛伦兹力达到平衡,形成稳定电压 V_H 。

$$eV_H = e \frac{V_H}{b}$$

又考虑到(n为载流子浓度)

$$I_s = vdbne$$

所以

$$V_H = \frac{1}{ne} \frac{I_s B}{d}$$

即:

$$V_H = R_H \frac{I_s B}{d} = K_H I_s B$$

即霍尔电压 V_H 与 I_s 、 B 成正比,与霍尔元件的厚度 d 成反比。 $R_H = 1/(ne)$ 称为霍尔系数, $K_H = 1/(ned)$ 称为霍尔元件的灵敏度。 I_s 为流过霍尔元件的电流,即其工作电流。

2 实验方法

霍尔效应实验的主要内容之一是通过测定霍尔电压来完成对霍尔系数的测量,霍尔系数是反映半导体材料霍尔效应强弱的重要参数。在实验产生霍尔电压的同时,也伴随着各种效应,所以实验测量的霍尔电压并不是真正的霍尔电压,而是包含着各种副效应所引起的虚假电压,还包含着由于测量霍尔电压的两个电极点的位置很难做到在一个理想的等势面上,所引起的不等势电位降。清除上述影响因素的方法均可通过对称测量法即改变通过霍尔元件的电流和磁场方向来消除其影响。

通过理论推算得:

$$V_H = \frac{1}{ne} \times \frac{I_s B}{d} = R_H \times \frac{I_s B}{d}$$

其中 R_H 是霍尔系数, I_s 是通过霍尔元件的电流, V_H 是待测量霍尔电压。 B 是垂直于电流方向的磁感应强度, B 的大小由线圈通过的电流 I_M 大小决定,即 $B = CI_M$ 。 C 是线圈所给出的常数, $C =$

2672GS/A。霍尔元件的厚度 $d = 0.026\text{cm}$, ne 是单位体积的载流子浓度。实验是用两套方法测量霍尔电压。方法一是先确定磁感应强度 B 为一常数,即 $I_M = 0.600\text{A}$, $B = CI_M$,保持 V_H 与 I_s 相对应的关系,最后确定 V_H 。方法二是确定 I_s 为常数,进而保持 V_H 与 I_s 的相对应关系,再确定 I_s 。通过上述两种方法得出的数据分别如表1和表2所示。

又公式 $V_H = R_H \times I_s B / d$ 可以看出,只要测出 V_H (伏)及知道 I_s (安), B (高斯), d (厘米),可按下列公式计算 R_H (厘米³/库仑)。

$$R_H = \frac{V_H d}{I_s B} \times 10^8$$

式中的 10^8 是由于磁感应 B 用电磁单位(高斯),而其它各量均用 C.G.S 实用单位而引入。

表1 用方法一得出的实验数据

序号	I_s (mA)	V_1 (mV) +B, + I_s	V_2 (mV) -B, + I_s	V_3 (mV) -B, - I_s	V_4 (mV) +B, - I_s	V_H ? $\frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$ mV ?
1	1.00	28.6	-28.6	28.5	-28.6	28.58
2	1.50	42.8	-42.7	42.7	-42.8	42.75
3	2.00	57.1	-57.0	57.0	-57.1	57.05
4	2.50	71.2	-71.0	71.0	-71.2	71.10
5	3.00	85.5	-85.3	85.3	-85.5	85.40
6	4.00	114.1	-113.7	113.8	-114.0	113.90

注: $I_M = 0.6\text{A}$

表2 用方法二得出的实验数据

序号	I_M (A)	V_1 (mV) +B, + I_s	V_2 (mV) -B, + I_s	V_3 (mV) -B, - I_s	V_4 (mV) +B, - I_s	V_H ? $\frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$ mV ?
1	0.300	43.3	-42.9	42.9	-43.1	43.05
2	0.400	57.3	-57.1	57.1	-57.3	57.20
3	0.500	71.3	-71.2	71.1	-71.31	71.23
4	0.600	85.3	-85.2	85.2	-85.4	85.28
5	0.700	99.4	-99.1	99.1	-99.3	99.23
6	0.800	113.2	-112.9	112.9	-113.1	113.03

注: $I_s = 3.00\text{mA}$

3 利用三种方法处理实验数据结果

(1) 平均值法

平均值是多次测量后得到的值,该值不一定准确,但能作为一系列测量值的可靠代表。如果测量方法和原理是足够的,或者说相对而言是准确的,那么平均值就是真正值,平均值法是物理实验处理数据的基本手段。

① 方法一

$$R_H = \frac{V_H d}{I_s B} \times 10^8 \text{ (cm}^3/\text{c)}$$

$$\overline{R_H} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 R_{Hi} = 4.62 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{c}$$

$$\overline{\Delta R_H} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 |R_{Hi} - \overline{R_H}| = 0.01 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{c}$$

$$R_H = \overline{R_H} \pm \overline{\Delta R_H} = (4.62 \pm 0.01) \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{c}$$

$$E_{R_H} = \frac{\overline{\Delta R_H}}{\overline{R_H}} \times 100\% = 0.2\%$$

②方法二

$$R_{Hi} = \frac{V_{Hi}d}{I_S C I_{Mi}} \times 10^8 (\text{cm}^3/\text{c})$$

$$\overline{R_H} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 R_{Hi} = 4.617 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{c}$$

$$\overline{\Delta R_H} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 |R_{Hi} - \overline{R_H}| = 0.002 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{c}$$

$$R_H = \overline{R_H} \pm \overline{\Delta R_H} = (4.617 \pm 0.002) \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{c}$$

$$E_{R_H} = \frac{\overline{\Delta R_H}}{\overline{R_H}} \times 100\% = 0.04\%$$

(2)作图法

作图法是数据处理的几何法,也是各变量在实验范围内关系的形象表示法。由曲线的特点和变化规律可建立准确的物理概念和推导出物理规律。依据理论公式 $V_H = R_H I_S R/d$ 按方法一建立 V_H 与 I_S 对应关系,即以 I_S 为横坐标, V_H 为纵坐标,按实验的六个点作出相应直线,如图1所示。按方法二建立 V_H 与 I_M 关系并作出直线,如图2所示。

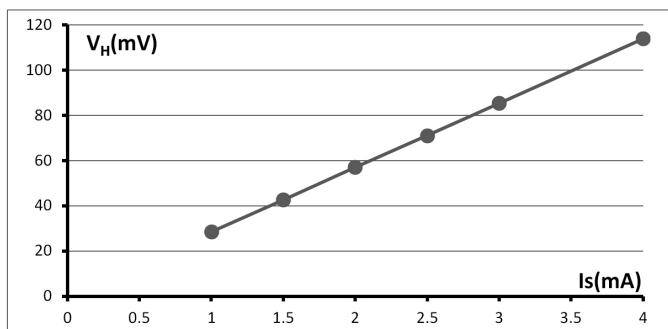


图1 V_H 与 I_S 关系图

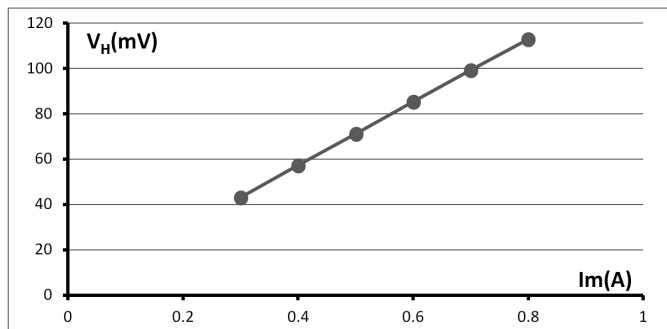


图2 V_H 与 I_M 关系图

(方法一) $\text{tga}=28.50(\text{V/A})$

$$R_H = \frac{V_H}{I_S} \times \frac{d}{B} \times 10^8 = \text{tga} \times \frac{d}{B} \times 10^8 = 4.62 \times 10^4 (\text{cm}^3/\text{c})$$

(方法二) $\text{tga}=142.36(\text{V/A})$

$$R_H = \frac{d}{I_S C} \times \frac{V_H}{I_M} \times 10^8 = \frac{d}{I_S C} \text{tga} \times 10^8 = 4.62 \times 10^4 (\text{cm}^3/\text{c})$$

(3)直线拟合法

用直线拟合法中的分段最佳斜率平均法确定最佳斜率是一种计算简单,精度最高的简易方法。

表3 通过 V_H 与 I_S 的对应关系测定数据

序号	1	2	3	4	5	6
$V_H(\text{mV})$	28.28	42.75	57.05	71.10	85.40	113.90
$I_S(\text{mA})$	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00

现在我们把两个端点,两个居间点分别与 I_S 测量值区间中心的等间距对,求出每个对点的斜率,即三个独立的近似值以 m_A, m_B, m_C 表示。而最佳的直线斜率则是这些独立近似值的加权平均值。

$$\text{两个端点的斜率 } m_A = \frac{V_{H6} - V_{H1}}{I_{S6} - I_{S1}} = 28.44$$

$$\text{两个居间点的斜率 } m_B = \frac{V_{H5} - V_{H2}}{I_{S5} - I_{S2}} = 28.43$$

$$\text{两个中心点的斜率 } m_C = \frac{V_{H4} - V_{H3}}{I_{S4} - I_{S3}} = 28.10$$

$$\text{最佳斜率 } m = \frac{1}{35} [25m_A + 9m_B + m_C] = 28.43$$

$$\text{霍尔系数 } R_H = m \frac{d}{b} \times 10^8 = 4.61 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{c}$$

表4 通过 V_H 与 I_M 对应关系测量的数据

序号	1	2	3	4	5	6
$V_H(\text{mV})$	43.05	57.20	71.23	85.28	99.23	113.03
$I_M(\text{A})$	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800

采用同样方法求出每个对点的斜率,即三个堵点的近似值,用 m_A, m_B, m_C 表示。

$$\text{两个端点的斜率 } m_A = \frac{V_{H6} - V_{H1}}{I_{M6} - I_{M1}} = 139.96$$

$$\text{两个居间点的斜率 } m_B = \frac{V_{H5} - V_{H2}}{I_{M5} - I_{M2}} = 140.10$$

$$\text{两个中心点的斜率 } m_C = \frac{V_{H4} - V_{H3}}{I_{M4} - I_{M3}} = 140.50$$

$$\text{最佳斜率 } m = \frac{1}{35} [25m_A + 9m_B + m_C] = 140.01$$

霍尔系数:

$$R_H = \frac{V_H d}{I_S B} \times 10^8 = \frac{V_H d}{I_S C I_M} \times 10^8 = \frac{V_H d}{I_S I_M C} \times 10^8$$

$$= m \frac{d}{I_S C} \times 10^8 = 4.54 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{c}$$

4 结束语

上述三种方法作为霍尔效应实验数据处理的基本方法其原理是一致的。平均值法的实质是求平均斜率,作图法的实质是求更精确的斜率,直线拟合法是求最佳斜率。

参考文献

- [1]唐伟跃.医用物理学[M].高等教育出版社,2015.
- [2]徐龙海.物理学[M].科学出版社,2011.
- [3]张国恒,魏秀芳.大学物理实验[M].科学出版社,2015.
- [4]曲华,邹进和,董三壮.霍尔效应实验及数据处理[J].大学物理实验,1998(11).
- [5]魏奶萍.霍尔效应法测量通电双圆线圈磁场的实验[J].大学物理实验,2016(02).
- [6]郭悦韶.MATLAB 曲线拟合在霍尔效应实验中的应用[J].实验室科学,2013(08).