

压缩包: 004

天津大学物理实验报告

机械学院 2017 年级 机械 专业 4 班 姓名 王祥

成绩

实验日期: 学号 3017201174 同组实验者

实验题目: 霍尔效应及其应用①

一、实验目的

1. 了解霍尔效应原理
2. 学习用霍尔元件测磁场的办法

二、实验仪器设备

霍尔效应实验仪, 特斯拉计, 霍尔磁场测试仪, 亥姆霍兹线圈

三、实验原理

1. 霍尔效应

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的方向产生正负电荷的聚积, 从而形成附加的横向电场。对于图 24-1 所示的半导体试样, 若在 x 方向通以电流 I_s , 在 z 方向加磁场 B , 则在 y 方向即试样 A, A' 电极两侧就开始聚积异号电荷而产生附加的电场。电场的指向取决于试样的导电类型。显然, 该电场是阻止载流子继续向侧面偏移, 当载流子所受的横向电场力 eE_H 与洛伦兹力相等时, 样品两侧电荷的积累就达到平衡, 故有:

$$eE_H = e\vec{v}B \quad (24-1)$$

其中, E_H 为霍尔电场, \vec{v} 是载流子在电流方向上的平均漂移速度。设试样的宽度为 b , 厚度为 d , 载流子浓度为 n , 则

$$I_s = ne\vec{v}bd \quad (24-2)$$

$$\text{由式(24-1)和式(24-2)可得: } U_H = E_H b = \frac{1}{ne} \frac{I_s B}{d} = R_H \frac{I_s B}{d} \quad (24-3)$$

U_H (A, A' 电极之间的电压)即霍尔电压, $R_H = \frac{1}{ne}$ 称为霍尔系数, 是反映材料霍尔效应强弱的重要参量。只要测出 $U_H(V)$, $B(T)$ 并知道 $I_s(A)$ 和 $d(cm)$, 可按下式计算 $R_H(m^3/C)$

$$R_H = \frac{U_H d}{I_s B} \quad (24-4)$$

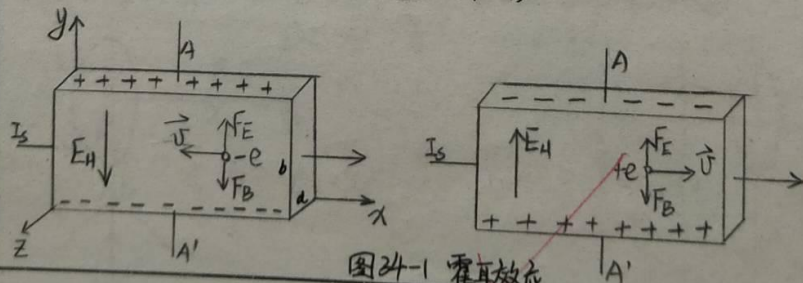


图 24-1 霍尔效应

天津大学物理实验报告

附 页

根据 R_H 可进一步确定以下各量。

(1) 由 R_H 的符号 (或霍尔电压的正负) 判断样品的导电类型。判别的方向是按图 34-1 所示的 I_z 和 B 的方向 (即测量中的 $+I_z$, $+B$) 若测得 $U_H < 0$ (即 A' 的电位低于 A 的电位), 则 R_H 为负, 样品属于 N 型。

(2) 由 R_H 求载流子浓度 n , 即 $n = \frac{1}{R_H e}$ 应该指出这个关系式是假定所有的载流子都具有相同的漂移速度得到的。

(3) 结合电导率的测量, 求载流子的迁移率 μ , 电导率 σ 与载流子浓度 n 及迁移率 μ 之间有如下关系: $\sigma = ne\mu$ (34-5)
即 $\mu = |R_H| \sigma$, 测出 σ 值即可求 μ 。

2. 霍尔效应中的副效应及其消除方法

上述推导是从理想情况出发的, 实际情况要复杂得多。产生上述霍尔效应同时还伴随产生 4 种副效应, 使 U_H 的测量产生系统误差。为便于说明, 画一简图如图 34-2 所示。

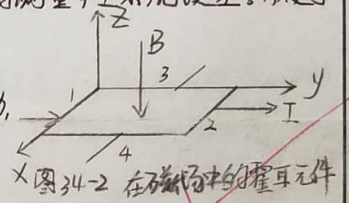
(1) 埃廷斯豪森效应引起的电势差 U_E 。
由于电子实际上并非以同一速度 v 沿 y 轴定向运动, 速度大的电子回转半径大, 能较快地到达接点 3 的侧面, 从而导致 3 侧面较 4 侧面集中较多能量高的电子, 结果 3、4 侧面出现温差, 产生温差电动势 U_E 。
可以证明 $U_E \propto I$, $U_E \propto B$, 容易理解 U_E 的正负和 I 、 B 的方向有关。

(2) 能斯特效应引起的电势差 U_N 。火焊点 1、2 间接触电阻可能不同, 通电发热程度不同, 故 1、2 两点间的温度可能不同, 因此引起热扩散电流。与霍尔效应类似, 该扩散电流也会在 3、4 点间形成电势差 U_N 。若只考虑接触电阻的差异, 则 U_N 的方向仅与 B 有关。

(3) 里吉-勒迪克效应引起的电势差 U_R 。上述热扩散电流的载流子由于速度不同, 根据埃廷斯豪森效应同样的理由, 又会在 3、4 点间形成温差电动势 U_R 。 U_R 的正负仅与 B 的方向有关, 而与 I 的方向无关。

(4) 不等电势效应引起的电势差 U_0 。由于制造上的困难及材料的不均匀性, 3、4 点实际上不可能在同一等势线上。因而只要有电流, 即使没有磁场 B , 3、4 两点间也会出现电势差 U_0 。 U_0 的正负只与电流 I 的方向有关, 而与 B 的方向无关。

综上所述, 在确定的磁场 B 和电流 I 下, 实际测出的电压是霍尔效应电压与副效应产生的附加电场的代数和, 人们可以通过对称测量方法, 即改变 I 和磁场 B 的方向加以消除和减小副效应的影响。在规定的电流 I_z 和磁场 B_z 正、反方向后, 可以测量出由下列四组不同方向的 I_z 和 B_z 组合的电压。



天津大学物理实验报告

机械学院 2017 年级 机械专业 4 班 姓名 王祥 成绩

实验日期: 学号 3017201174 同组实验者

实验题目: 霍尔效应及其应用②

$$+B, +I_s: U_1 = U_H + U_E + U_N + U_R + U_0$$

$$+B, -I_s: U_2 = -U_H - U_E + U_N - U_R - U_0$$

$$-B, -I_s: U_3 = U_H + U_E - U_N - U_R - U_0$$

$$-B, +I_s: U_4 = -U_H - U_E - U_N + U_R + U_0$$

然后求 U_1, U_2, U_3, U_4 的代数平均值:

$$U_H = \frac{1}{4}(U_1 + U_2 + U_3 + U_4) - U_E$$

通过上述测量方法,虽然不能消除所有的负效应,但考虑到它较小,引入的误差不大,可以忽略不计,因此霍尔效应 U_H 可近似为:

$$U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4) \quad (34-6)$$

3. 载流圆线圈的磁场

一半径为 R 通过电流 I 的圆线圈,轴线上磁场分布式为:

$$B = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (34-7)$$

式中 N 为圆线圈的匝数, x 为轴上某一点到圆心 O' 的距离, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 它的分布如图 34-3 所示。

4. 亥姆霍兹线圈轴上的磁场

两个相等同圆线圈彼此平行且共轴,通以同方向电流 I ,理论计算证明:线圈间距 a 等于线圈半径 R 时,两线圈的合磁场在轴上(两线圈圆心连线)附近较大范围内是均匀的。这样的一对线圈称为亥姆霍兹线圈如图 34-4 所示。在中心位置 O 点,磁场强度为:

$$B = \frac{8}{\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N I}{R} \quad (34-8)$$

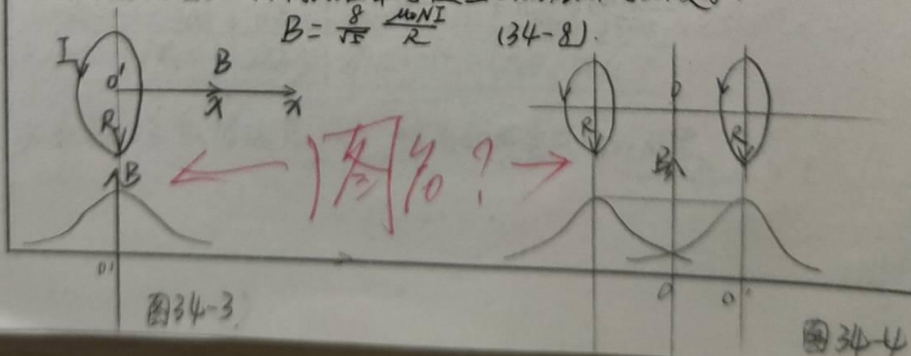


图 34-3

图 34-4

天津大学物理实验报告

附 页

四. 实验内容及要求

1. 实验准备

- (1) 接通测试仪电源, 预热10分钟后, 将此时电流表显示"0.000".
- (2) 测试仪的" I_s 输出"接实验仪的" I_s 输入"; " I_m 输入"接" I_m 输入"并将 I_s 及 I_m 换向开关拨向背离实验者一侧。
- (3) 接通电源, 预热数分钟后, 电流表显示"0.000" (按下测量选择键时) 或"0.000" (放开测量选择键时)

2. 测量

(1) 测绘 $U_H - I_s$ 曲线。顺时针转动 " I_m 调节" 旋钮, 取 $I_m = 0.800A$ 保持不变, 依次取 I_s 取值 $0.300mA, 0.400mA, \dots, 1.800mA$, 采用对称测量法, 即改变 I_s 和 B 的方向。记录相应的 U_H 值, 填入表 34-1。描绘 $U_H - I_s$ 曲线, 验证 U_H 与 I_s 成正比。

(2) 测绘 $U_H - I_m$ 曲线, 取 $I_s = 1.800mA$ 保持不变, I_m 依次取值为 $0.300A, 0.400A, \dots, 0.800A$ 。记录相应的 U_H 值, 填入表 34-2。描绘 $U_H - I_m$ 曲线, 验证 U_H 与 I_m 成正比。

(3) 用特斯拉计测磁场。取 $I_s = 1.800mA, I_m = 0.300A, 0.400A, 0.500A, \dots, 0.800A$, 测量相应的 B 值, 填入表 34-3。

(4) 用式 (34-4) 计算霍尔系数 R_H 并由 R_H 的正负判断样品的导电类型。

(5) 用霍尔元件测量载流线圈轴线上各点磁感应强度。将线圈连接于磁场测试仪上, 先按要求将导线连接好, 电流 I 调节为 $400mA$, 利用霍尔元件开始测量线圈中心轴线上各点的磁感应强度 B , 将测量数据填入表 34-4 中, 并描绘 $B - x$ 曲线。

(6) 亥姆霍兹线圈轴线上磁场分布的测量: 将亥姆霍兹线圈连接于磁场测试仪上, 参量与 (5) 相同。按表 34-5 的指针读数要求改变霍尔元件测量位置, 将测量数据填入表 34-5 中描绘 $B - x$ 曲线, 并说明其特点。

天津大学物理实验报告

机械学院 2017 年级 机械专业 4 班 姓名 王祥 成绩

实验日期: 学号 3017201174 同组实验者

实验题目: 霍尔效应及其应用

五. 数据表格与数据处理。

表 34-1 数据表 1

$I_m = 0.900A$

I_s/mA	U_1/mV $+B, +I_s$	U_2/mV $+B, -I_s$	U_3/mV $-B, -I_s$	U_4/mV $-B, +I_s$	$U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4} / mV$
0.300	-27.1	27.3	-26.9	27.1	-108.4
0.600	-53.2	53.1	-52.5	52.7	-211.5
0.900	-79.3	79.4	-78.6	78.7	-316
1.200	-105.6	105.7	-104.5	104.7	-422.5
1.500	-131.6	131.6	-130.3	130.4	-523.9
1.800	-156.9	156.9	-155.3	155.5	-624.6

表 34-2 数据表 2

$d = 0.5 \times 10^{-3}m$

$I_s = 1.800mA$

I_m/A	U_1/mV $+B, +I_s$	U_2/mV $+B, -I_s$	U_3/mV $-B, -I_s$	U_4/mV $-B, +I_s$	$U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4} / mV$	$R_H = \frac{U_H d}{I_s B} / (\Omega \cdot C^{-1})$
0.300	-53.2	53.3	-51.3	51.5	-209.3	-0.2334
0.400	-70.7	70.8	-68.8	69.0	-279.3	-0.2334
0.500	-88.4	88.4	-86.4	86.6	-349.8	-0.2334
0.600	-105.8	105.8	-103.8	104.1	-419.5	-0.2333
0.700	-123.3	123.3	-121.3	121.5	-489.4	-0.2333
0.800	-140.5	140.6	-138.5	138.6	-558.2	-0.2332

表 34-3 数据表 3

$I_s = 1.800mA$ $B = [0.5854 I_m(mA) - 1.6513]mT$

I_m/A	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800
B/mT	174.0	232.5	291.0	350.0	408.1	466.7

由表 34-2 中数据知 R_H 可知, 样品的导电类型为 N 型

天津大学物理实验报告

附

表34-4 数据表4

$N_0 = 400$ 匝, $I = 0.40A$, $R = 0.100m$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T \cdot m/A$

指针读数/cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
轴向距离/cm	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
磁感应强度 B/μT	372	435	505	582	665	754	837	916	978
$B = \frac{\mu_0 N_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} / \mu T$	413	479	553	634	719	805	883	948	990
相对误差	10%	9%	9%	8%	8%	6%	5%	3%	1%

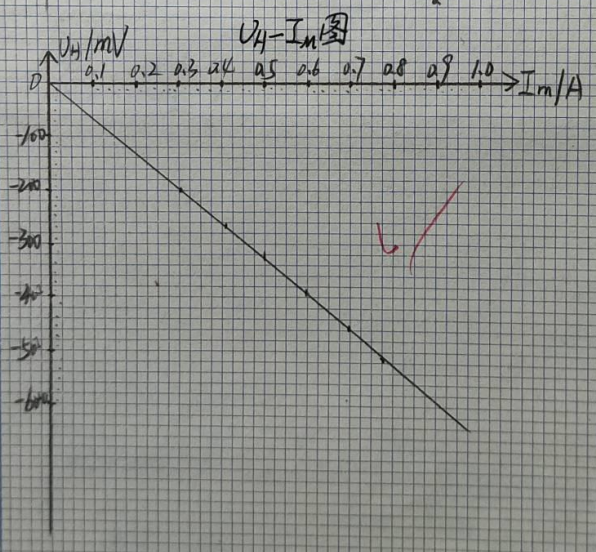
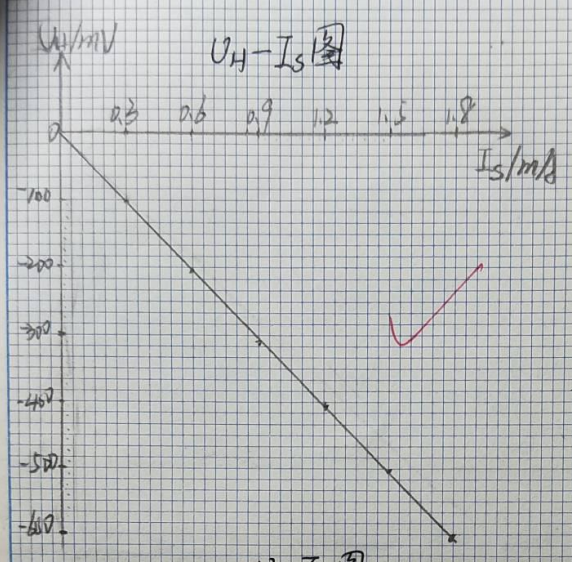
指针读数/cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18
轴向距离/cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8
磁感应强度 B/μT	1011	1015	987	933	859	776	686	604	528
$B = \frac{\mu_0 N_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} / \mu T$	1005	990	948	883	805	719	634	553	479
相对误差	1%	2%	4%	6%	7%	8%	8%	9%	10%

表34-5 数据表5

(坐标原点: 5cm处)

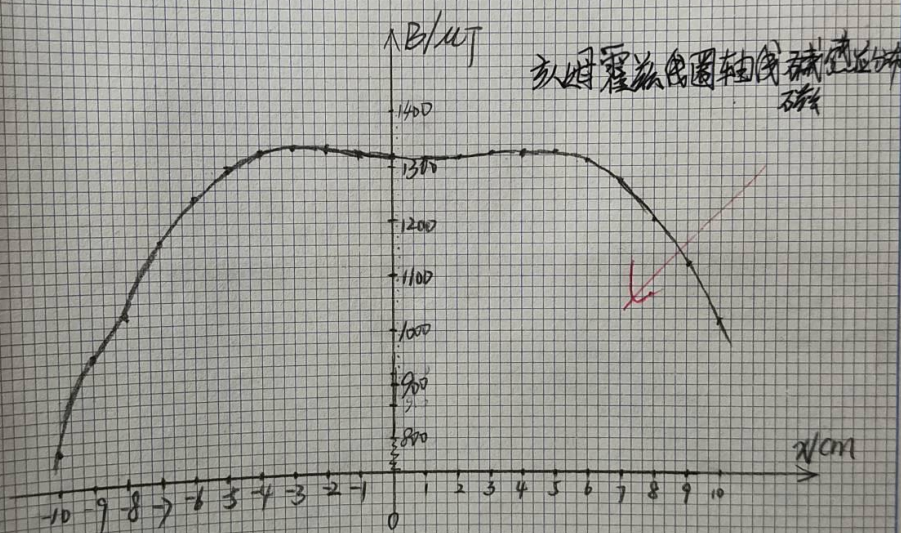
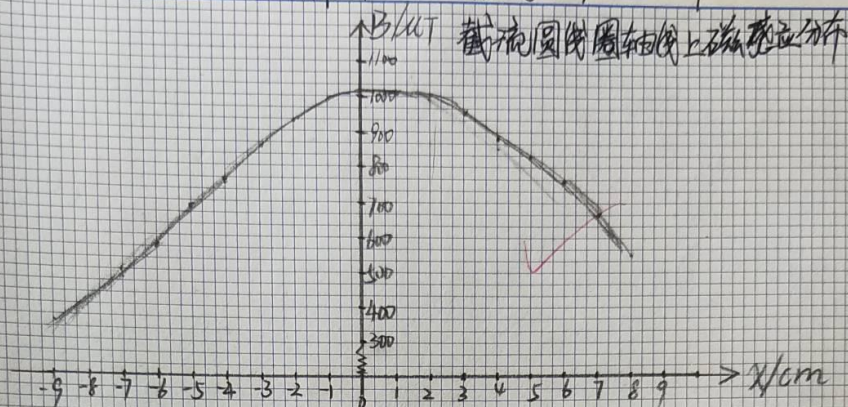
指针读数/cm	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
轴向距离/cm	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
磁感应强度 B/μT	860	969	1072	1166	1243	1296	1327	1338	1334	1325	1317
指针读数/cm	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
轴向距离/cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
磁感应强度 B/μT	1315	1319	1328	1336	1332	1311	1269	1202	1120	1021	

大物实验数据图



霍耳效应及其应用

班级 机械四班 姓名 王祥



特点：大体上关于 $x=0$ 处对称，若 $x=0$ 恰好位于两线圈中心，则中间应为一平台；若靠偏置，可能便有两峰，总体上中心处磁感应强度较大。