

实验十一 利用霍尔效应测磁场

[实验目的]

- 1) 观察霍尔效应现象;
- 2) 掌握利用霍尔效应测磁场的方法。

[实验原理]

利用霍尔效应测磁场的基本原理,将半导体薄片放在垂直于它的磁场 B 中,当有电流 I 流过时,在垂直于 B 和 I 的薄片左、右两侧,产生一个电位差 U_H (图 11-1),这种现象称为霍尔效应。实验表明,在磁场不太强时,霍尔电位差 U_H 与电流强度 I 和磁感应强度 B 成正比,即

$$U_H = K_H IB \quad (11-1)$$

式中, K_H 称霍尔灵敏度,由霍尔片的材料决定,单位是 $\text{mV}/\text{mA} \cdot \text{KGS}$, (mV/mA 并非电阻单位,因 V_H 与 I 方向垂直), B 的单位是千高斯(KGS), I 的单位 mA ,由此得到 V_H 的单位是毫伏。霍尔电位差的正负与霍尔灵敏度的正负, I 及 B 的方向都有关系。当电流或磁场改变方向时,霍尔电位差的正负也随之改变。

若已知 K_H ,由下式可得 B :

$$B = U_H / K_H I \quad (11-2)$$

霍尔效应可用洛伦兹力来说明:因存在磁场,使半导体薄片内移动的电荷(载流子)发生偏转。结果,半导体薄片左右两侧分别积累了正负电荷,形成了电位差。设半导体内载流子平均定向速率为 v ,载流子所带电量为 q ,若电流方向与磁场方向垂直,则它们在磁场中受到的洛伦兹力为 qvB 。当薄片左右两侧积累电荷以后,载流子受到一个相反的力——电场力的作用,该力的大小:

$$qE = qU_H/b$$

式中, E 为电场强度, U_H 为霍尔电位差, b 为半导体薄片宽度(图 11-1)。当两力平衡,达到稳定状态时,

$$qvB = qU_H/b \quad (11-3)$$

设载流子浓度为 n ,则

$$I = nqvbd, v = I/nqbd$$

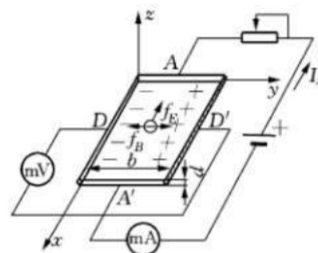


图 11-1 霍尔效应原理图

代入式(11-3)时,得

$$U_H = IB/nqd \quad (11-4)$$

将式(11-4)与式(11-1)比较,霍尔灵敏度为

$$K_H = 1/nqd \quad (11-5)$$

霍尔灵敏度的正负取决于载流子带电的正负。因此,判断出电流 I 、磁场 B 的方向,实验测定 V_H 的正负,就可判断载流子的正负。

[实验方案]

1) 本实验的任务是测量电磁铁空气隙处的磁感应强度并观察霍尔电位差 U_H 随控制电流的变化。测量仪器分集成式和组合式两种。集成式采用数字测量技术,接线与测量均较简单,详见仪器说明书。这里着重介绍组合式,即用 UJ31 型电位差计测量的方法。其中,电磁铁的励磁电流由稳压电源提供。霍尔片的控制电流由于电池提供。 R_1 、 R_2 为电阻箱。霍尔片控制电流的大小 I 由串联的毫安表指示。霍尔电位差 U_H 用 UJ31 型电位差计测量。电路中的双刀换向开关合向不同的方向时,可改变电流的方向,实验时请注意观察开关的结构。图 11-2 是实验的电路图。

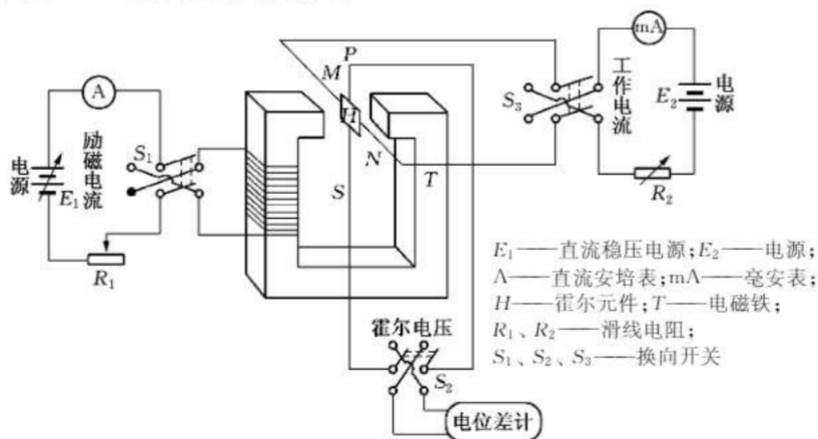


图 11-2 实验电路图

2) 实验中的附效应及其消除。上述的推导过程是理想的情况。事实上,在霍尔效应产生的过程中伴随有各种附效应产生的附加电压叠加在霍尔电位差上,使测得的结果不完全是霍尔电位差,故需采取措施,消除或减小附效应的影响。若依次改变电流、磁场方向(霍尔电压的方向因此也改变),取各测量值的平均值,即可消除大部分的附效应。例如由某种附效应产生的电位差为 U ,它叠加在霍尔电位差上,但它只与磁场方向有关,即改变磁场方向时, U 的正负随之变化。任意设电

流、磁场处于某方向时为正向,测得的电位差为 U_1 ,即

$$(+I, +B) \text{ 时 } U_1 = U_H + U_0$$

若电流方向不变,改变磁场方向,霍尔电位差的方向随之改变,而 U_0 的正负改变。因附效应小于霍尔效应,测得的电位差的正负也发生变化,得

$$(+I, -B) \text{ 时, } -U_2 = -U_H + U_0$$

将上两式相减取平均得

$$U_H = (U_1 + U_2)/2$$

只与磁场方向有关的附效应被消除。同理,只与电流有关的附效应电位差可通过改变电流方向来消除。详细情况列于附录二中。

[实验器材]

UJ31 型电位差计(图见附录)、标准电池、蓄电池(5.7~6.4 V)、稳压电源、检流计、毫安表、干电池(1.5 V)、电池夹、电阻箱、换向开关、导线、霍尔效应测磁场仪。

[内容及要求]

1) 按图 11-2 连接电路,经教师检查后再接通电源(此前所有电源只接一条线。注意:霍尔效应测磁场仪接线板上的 I_H 、 U_H 分别是霍尔电流、电压)。

2) 直接调节稳压电源上的旋钮,调电磁铁励磁电流至实验规定的电流值: $I_0 = 100 \text{ mA}$ 。测量中时刻观察该电流值,使其保持规定值。为避免线圈发热而产生误差,应尽量缩短通电时间(不测量时及时断开开关)。使干电池为霍尔片提供规定的电流。

3) 用电位差计测量霍尔电位差。

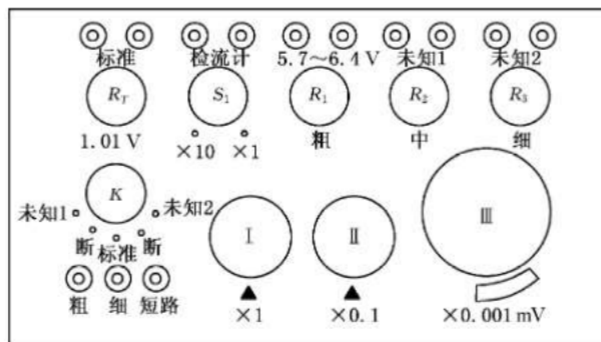


图 11-3 UJ31 型电位差计面板图

[数据处理]

表 11-1 霍尔效应测磁场数据记录

| U_H/mV 方向 \ I_H | 10.00 mA | 8.00 mA | 6.00 mA | 4.00 mA | 2.00 mA |
|------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| +B, +I | | | | | |
| +B, -I | | | | | |
| -B, +I | | | | | |
| -B, -I | | | | | |
| V_H 平均值 | | | | | |

$K_H =$ (见霍尔效应测定仪上的标识)

根据所测数据, 求出 B 及 ΔB 。

[附录 I] UJ31 型电位差计的使用方法

1) 图 11-3 是 UJ31 型电位差计面板图, 接线前先将转换开关 K 拨在“断”的位置, 并将粗、细、短路三个按钮全松开。调节温度补偿器 R_T , 使其指示值等于标准电池的电动势。

2) 按图 11-2 接线, 注意电源和电池的极性。将标准电池、蓄电池接到电位差计上。

校准: 实验开始时应先校准电位差计的工作电流。将量程开关按被测值大小放在 $\times 1$ 或 $\times 10$ 挡, 将 K 拨在“标准”, 按下“粗”钮依次旋转粗、中、细 3 个电位器, (即调节 R_1, R_2, R_3), 使检流计近似指零; 再将“细”钮按下, 仔细调节 R_2, R_3 , 使检流计指零, 即为校准。在测量过程中, 每测一次霍尔电位差之前, 都要重新校准电位差计的工作电流(使用中蓄电池电源的微小电位降落都会影响到测量的结果, 你甚至可以直接看到蓄电池电源的电压降落引起的检流计偏转), 按下粗调旋钮。

3) 测量: 将 K 拨在“未知 1”或“未知 2”, 并配合量程开关, 依次旋转 $\times 1$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 0.001$ mV 三个测量盘, 并使检流计指零; 然后, 再按下“细调”旋钮, 仔细调节, 此时读数即为实测值。

[附录 II] 霍尔效应实验中的附效应及其消除

霍尔效应实验中主要的附效应有:

1. 厄廷好森效应

由于半导体内载流子的速度不相等, 慢的将比快的载流子受到较大的偏转。而慢的载流子的能量比快载流子的能量小, 从而它们偏向的那边变得比对边冷些。

霍尔电极(金属)与霍尔片(半导体)材料不同,因此两极间产生温差电动势叠加在霍尔电位差上,如同霍尔效应一样,由此产生的电位差 V_E 与磁场 B , 电流 I 的方向都有关系,不能与霍尔电位分开。

2. 能斯特效应

由于霍尔片两端与电极的接触电阻不同,通横向电流以后,在霍尔片两端产生的焦耳热也不同,两端的温度就不相同。受热流影响而扩散的载流子会受到磁场的作用而偏转,在霍尔片上、下两侧产生电位差 U_N , 这个效应和霍尔效应相似,但横向载流子的运动不是由于横向电流,而是由于横向热流造成,因此与电流方向无关。 U_N 正负端的位置只与 B 的方向有关。

另外,还有里纪-勒杜克效应(只与磁场有关),不等位电位差(只与电流有关)。以上各种附效应与 B , I 的方向有关。在测量时,改变 B , I 的方向,将各次测得的左右两电极间的电位差取平均值,就可消除附效应的影响。设电流磁场取某方向(为正)时,所有附效应与霍尔效应产生的电位差均为正(若有负结果一样)用数学式表示各种附效应的消除方法如下:

$$\begin{aligned} (+B, +I)U_1 &= U_H + U_E + U_N + U_R + U_O \\ (+B, -I)U_2 &= -U_H - U_E + U_N + U_R - U_O \\ (-B, -I)U_3 &= U_H + U_E - U_N - U_R - U_O \\ (-B, +I)U_4 &= -U_H - U_E - U_N - U_R + U_O \end{aligned}$$

则
$$U_1 - U_2 + U_3 - U_4 = 4(U_H + U_E)$$

其中厄廷好森效应引起的电位差 U_E 无法同时消除,但一般 U_E 较小可以忽略。所以得

$$U_H = (U_1 - U_2 + U_3 - U_4)/4, \text{ 或 } U_H = (|U_1| + |U_2| + |U_3| + |U_4|)/4 \quad (11-6)$$

式(11-6)即为求霍尔电位差的计算式。实验时在同一控制电流下,电位差计测量的就是 $|U_1|$, $|U_2|$, $|U_3|$, $|U_4|$ 。在精密测量中,可采用交流磁场和交流电流,使霍尔片左右两侧来不及产生温差,也可用恒温槽来避免各种效应的影响。