课程编号 1800450037

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **得分** | **教师签名** | **批改日期** |
|  |  |  |

**深 圳 大 学 实 验 报 告**

**课程名称：­ 大学物理实验（二）**

**实验名称： 霍尔效应及其应用**

**学 院： 电子与信息工程学院**

**指导教师： 李颖贞**

**报告人： 蔡岱南 组号： 17**

**学号 2022280376 实验地点 致原楼214**

**实验时间： 2023 年 10 月 10 日**

**提交时间： 2023 年 10 月 17 日**

|  |
| --- |
| **一、实验目的**  1、了解产生霍尔效应的物理过程；  2、学习用霍尔元件测量长直螺线管的轴向磁场分布；  3、学习“对称测量法”消除副效应的影响。 |
| 1. **实验原理**   **1、霍尔效应**  **（1）霍尔效应原理**  如图1所示，一块长为*l*、宽为*b*、厚度为*d*的半导体薄片置于磁场中，磁感应强度***B***垂直于半导体薄片，在半导体薄片的横向上加载工作电流*IS*，在薄片的纵向两侧会出现一个电压*UH*，这种现象叫霍尔效应，*UH*称为霍尔电压。实验表明：在磁场不太强时， *UH*与*IS*、***B***成正比，与薄片厚度*d*成反比，即  式中*RH*叫霍尔系数。   |  | | --- | |  | | 图1 霍尔效应原理图 |   霍尔效应可用洛仑兹力来解释。  设半导体薄片内载流子的定向漂移速率为*v*，那么载流子所受洛仑兹力为  在洛仑兹力的作用下，电子向*A’*一侧漂移，结果在*A*、*A’*两侧分别聚集了正负电荷，在*A*、*A’*之间建立了静电场，形成电势差。静电场会阻碍电子的继续漂移，当静电场力和洛仑兹力达到平衡时，电子不再侧向漂移，电势差达到恒定状态，此吋  设载流子浓度为*n*，则电流*IS*和载流子定向漂移速率*v*的关系为  将式(4)代入式(3)得  对比式(1)和式(5)，可知霍尔系数为  式(6)表明，霍尔系数和载流子浓度有关。半导体的载流子浓度比金属导体的载流子浓度小得多。因而半导体的霍尔系数比导体大得多，半导体的霍尔效应较为显著，而导体几乎观察不到该效应。通过测量材料的霍尔系数可以确定材料的载流子浓度，因此霍尔效应是研究载流子浓度的一个重要方法。  由式（5）还可看出，半导体薄片的厚度*d*越小，霍尔效应越显著，所以霍尔器件通常做得很薄。  式(5)中的叫霍尔器件的灵敏度，用表示：  则式(5)可写成  若己知*KH*（—般由仪器生产厂家给出），通过测量霍尔电压*UH*和工作电流*IS*可以求出磁感应强度的大小，这就是霍尔片测磁场的原理。  半导体的载流子有正有负，*A*、*A'*之间的电势差（即霍尔电压）*UH*与载流子的正负有关。与载流子是正（空穴导电——P型半导体）时，载流子定向漂移的速度方向与电流方向相同，洛仑兹力使它向上偏转，结果是*A’*端电势髙于*A*端，如图2(a)所示；当载流子是负（电子导电——N型半导体）时，载流子定向漂移的速度方向与电流方向相反，洛仑兹力使电子向上偏转，结果是*A*端电势高于*A'*端，如图2(b)所示。所以根据霍尔系 数的正负可以判断半导体的导电类型。   |  | | --- | |  | | 图2 霍尔电压与载流子正负之间的关系 |   **（2）霍尔器件的重要参数**  霍尔器件的電要参数包括：  a. 霍尔系数：  b. 霍尔器件的灵敏度：  c. 迁移率、电导率：  在低电场下载流子平均漂移速度*v*和场强***E***成正比，即。比例系数称为迁移率。  场强***E***与电流密度***J***成正比，即，比例系数称为电阻率，电阻率的倒数称为电导率，即。又因为电流密度的大小可得电导率和迁移率之间的关系为 ，进而可得  测出电导率，即可求出迁移率。  **2、对称测量法与附加电动势**  **（1）附加电动势**  将载流半导体薄片置于磁场中，除了会产生霍尔效应外，还会有其他的副效应产生。实际测量霍尔片两侧的电压时，得到的不只是*UH*，还包括副效应产生的附加电动势(如图3所示)。   |  | | --- | |  | | 图3 霍尔效应的附加电动势 |   副效应主要有以下4种：  **a.** 厄廷豪森(Etinghausen)效应引起的电势差*UE*。由于电子实际上并非以同一速度*v*沿*y*轴负向运动，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侧面集中了较多能量高的电子，结果3、4侧面出现温差，产生温差电动势*EE*。可以证明，容易理解*EE*的正负与*I*和***B***的方向有关。  **b.** 能斯特(Nernst)效应引起的电势差*UN*。焊点1、2间的接触电阻可能不同，通电发热程度不同，故1、2两点间的温度可能不同，于是引起热扩散电流。与霍耳效应类似，该热扩散电流也会在3、4点间形成电势差*UN*。若只考虑接触电阻的差异，则*UN*的方向仅与***B***的方向有关。  c. 里纪-勒杜克(Righi-Leduc)效应产生的电势差*U*RL。上述热扩散电流的载流子由于速度不同，根据厄廷豪森效应同样的理由，又会在3、4点间形成温差电动势*E*RL。*E*RL的正负仅与***B***的方向有关，而与*I*的方向无关。  d. 不等电位效应引起的电势差*U*0。由于制造上的困难及材料的不均匀性，3、4两点实际上不可能在同一条等势线上，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。  **（2）对称测量法消除附加电动势**  上述副效应产生的附加电动势叠加在霍尔电压上，在测量中形成系统误差。由于副效应与磁感应强度***B***和电流*I*的方向有关，测量时可采用“对称测量法”，即通过改变电流*I*和磁感应强度***B***的方向基本可以消除附加电动势。具体操作如下(测4组数据)：  *+ B*，*+ I*S： *U*1 *= U*H *+ E*E *+ U*N *+ E*RL *+ U*0  *+ B*，- *I*S： *U*2 *= - U*H *- E*E *+ U*N *+ E*RL *- U*0  *- B*，*- I*S： *U*3 *= U*H *+ E*E *- U*N *- E*RL *- U*0  *- B*，*+ I*S： *U*4 *= - U*H *- E*E *- U*N *- E*RL *+ U*0  由四组数据可得：  *EE*比*UH*小得多，可略去不计，于是霍尔电压为  **3、长直螺线管的磁场分布**  如图4所示，一密绕螺线管，管内是真空，管长l，半径为R，单位长度匝数为n，当通以电流I时，则在管内外产生磁场，根据毕奥-萨伐尔定律 可求得密绕螺线管内部轴线上磁感应强度为  其中 是真空磁导率。   |  | | --- | |  | | 图4 长直螺线管的磁场分布 |   当l >> R时，螺线管称为长直螺线管。在远离端点的螺线管内部，近似地认为式(11)中,，则，即在远离端点的螺线管内部的轴线上可视为均匀磁场，而在长直螺线管的端点处。 |
| 1. **实验仪器**   **TH—H霍尔效应实验测试仪、TH—H霍尔效应实验组合仪** |
| **四、实验内容与步骤**  **１、测量试样的*VH* -*IS*和*VH* -*IＭ* 曲线，确定材料的霍尔系数。**  （1）实验仪双刀开关倒向“*VH*”，测试仪功能选择置于“*VH*”。  **测绘*VH*—*IS*曲线：**  （2）保持*IM*=0.5A不变，调节*IS*，记录不同*IS*下电流*IS*和磁感应强度***B***的方向分别为*+B,+Is、-B,+Is、B,-Is、+B,-Is*时的电压*V1、V2、V3、V4*。  （3）利用公式 *VH—IS* 曲线。  （4）对*VH—IS* 曲线进行线性拟合，得到霍尔系数。  **测绘*VH*—*IS*曲线：**  （2）保持*IS*的值不变（*IS**=*3.00mA），确定材料的霍尔系数*RH*。记录电磁铁规格数值*k,*单位为高斯(Gs/A)或特斯拉(T/A, 10kGs/A) 。  （3）调节*IM*，记录不同*IM*下电流*IS*和磁感应强度***B***的方向分别为*+B,+Is、-B,+Is、B,-Is、+B,-Is*时的电压*V1、V2、V3、V4*。  （4）利用公式 *VH—IS* 曲线。  （5）对*VH—IM* 曲线进行线性拟合，得到霍尔系数。  **２、测量螺线管轴线上磁场分布。**  （1）调节励磁电流*IM*=0.500A，霍尔片工作电流*IS*=3.00mA并保持不变。记录线圈的霍尔灵敏度*K*H，单位mV/ (mA•T)。  （2）调节霍尔片在螺线管轴线上的位置，记录不同位置下电流*IS*和磁感应强度***B***的方向分别为*+B,+Is、-B,+Is、B,-Is、+B,-Is*时的电压*V1、V2、V3、V4*。  （3）利用公式 。  （4）利用公式*B*=*V*H /(*K*H*I*S) 计算不同位置的磁感应强度。  （5）绘制磁场分布曲线（B-X）。 |
| 五、数据处理  **１、测量试样的*VH* -*IS*和*VH* -*IＭ* 曲线，确定材料的霍尔系数。**  励磁线圈参数*K*= 4.35 KGs•A-1  霍尔片厚度 *d*  = 0.5 mm  **（1）保持励磁电流*IM*（*IM*=0.500A）不变，测绘*VH*—*IS*曲线：**  数据记录表格：   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | *IS/*mA | *V*1*/*mV | *V*2*/*mV | *V*3*/*mV | *V*4*/*mV |  | | +*B*,+*Is* | -*B*,+*Is* | -*B*,-*Is* | +*B*,-*Is* | | 1.00 | -2.70 | 2.73 | -2.71 | 2.69 | 2.7075 | | 1.50 | -4.03 | 4.10 | -4.07 | 4.03 | 4.0575 | | 2.00 | -5.37 | 5.44 | -5.42 | 5.37 | 5.4 | | 2.50 | -6.70 | 6.78 | -6.76 | 6.70 | 6.735 | | 3.00 | -8.05 | 8.14 | -8.12 | 8.05 | 8.09 | | 3.50 | -9.41 | 9.53 | -9.50 | 9.37 | 9.4525 | | 4.00 | -10.71 | 10.86 | -10.83 | 10.70 | 10.775 |   以IS=1.00mA为例，根据公式：  同理计算其他*VH*。  对*VH* -*IS*曲线进行线性拟合：   |  | | --- | |  | | 图5 霍尔电压VH（mV）与霍尔片工作电流IS（mA）的关系曲线  日期：2023年10月10日 |   线性拟合结果：  由式(1)和*B=K IM* 可得：  对比式(12)和式(13)可得：  即为所求霍尔系数。  **（2）保持霍尔片工作电流*IS*的值不变（*IS**=*3.00mA），测绘*VH*—*IＭ*曲线：**  数据记录表格：   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | *IM/*A | *V*1*/*mV | *V*2*/*mV | *V*3*/*mV | *V*4*/*mV |  | | +*B*,+*Is* | -*B*,+*Is* | -*B*,-*Is* | +*B*,-*Is* | | 0.300 | -4.85 | 4.93 | -4.90 | 4.82 | 4.875 | | 0.400 | -6.44 | 6.53 | -6.52 | 6.42 | 6.4775 | | 0.500 | -8.05 | 8.11 | -8.10 | 8.06 | 8.08 | | 0.600 | -9.66 | 9.76 | -9.73 | 9.67 | 9.705 | | 0.700 | -11.25 | 11.34 | -11.32 | 11.27 | 11.295 | | 0.800 | -12.87 | 12.91 | -12.89 | 12.88 | 12.8875 |   以IM=0.300A为例，根据公式：  同理计算其他*VH*。  对*VH* -*IS*曲线进行线性拟合：   |  | | --- | |  | | 图6 霍尔电压VH（mV）与励磁电流IM（A）的关系曲线  日期：2023年10月10日 |   线性拟合结果：  由式(1)和*B=K IM* 可得：  对比式(14)和式(15)可得：  即为所求霍尔系数。  **２、测量螺线管轴线上磁场分布。**  霍尔片工作电流*IS*= 3.00 mA , 励磁电流*IM*= 0.500 A,  霍尔元件灵敏度*KH*= 165 mV/mA•T  数据记录表格：   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | X/cm | *V*1*/*mV | *V*2*/*mV | *V*3*/*mV | *V*4*/*mV | *VH*/mV | *B*/T | | +*B*,+*Is* | -*B*,+*Is* | -*B*,-*Is* | +*B*,-*Is* | | 0 | 0.62 | -0.24 | 0.26 | -0.60 | 0.43 | 8.69×10-4 | | 0.5 | 0.76 | -0.38 | 0.39 | -0.75 | 0.57 | 1.15×10-3 | | 1 | 0.97 | -0.58 | 0.59 | -0.95 | 0.77 | 1.56×10-3 | | 1.5 | 1.23 | -0.85 | 0.86 | -1.24 | 1.05 | 2.11×10-3 | | 2 | 1.58 | -1.19 | 1.20 | -1.57 | 1.39 | 2.80×10-3 | | 3 | 2.24 | -1.85 | 1.86 | -2.24 | 2.05 | 4.14×10-3 | | 5 | 2.89 | -2.48 | 2.49 | -2.87 | 2.68 | 5.42×10-3 | | 7 | 3.05 | -2.65 | 2.66 | -3.05 | 2.85 | 5.76×10-3 | | 11 | 3.12 | -2.72 | 2.73 | -3.12 | 2.92 | 5.90×10-3 | | 15 | 3.08 | -2.68 | 2.69 | -3.07 | 2.88 | 5.82×10-3 | | 17 | 2.96 | -2.57 | 2.58 | -2.97 | 2.77 | 5.60×10-3 | | 19 | 2.56 | -2.16 | 2.17 | -2.54 | 2.36 | 4.76×10-3 | | 20 | 2.04 | -1.63 | 1.65 | -2.01 | 1.83 | 3.70×10-3 | | 21 | 1.35 | -0.95 | 0.97 | -1.33 | 1.15 | 2.32×10-3 | | 21.5 | 1.04 | -0.65 | 0.66 | -1.03 | 0.85 | 1.71×10-3 | | 22 | 0.82 | -0.44 | 0.45 | -0.80 | 0.63 | 1.27×10-3 | | 22.5 | 0.66 | -0.28 | 0.29 | -0.65 | 0.47 | 9.49×10-4 | | 23 | 0.55 | -0.17 | 0.18 | -0.53 | 0.36 | 7.22×10-4 |   以X=0cm 处为例，根据公式：  根据公式*B*=*V*H /(*K*H*I*S)：  同理计算其他*VH* 和B。  绘制螺线管轴线上的磁场分布曲线：   |  | | --- | |  | | 图7 螺线管轴线上磁场分布曲线  日期：2023年10月10日 | |
| 六、结果陈述  1、*VH*—*IS*曲线和*VH*—*IM*曲线分别如图5和图6所示。  根据*VH*—*IS*曲线，分析得到实验材料的霍尔系数为；  根据*VH*—*IM*曲线，分析得到实验材料的霍尔系数为；  2、螺线管轴线上磁场分布曲线如图7所示。从磁场分布曲线可以看出，远离端点的位置（5-17cm）磁感应强度B大致相同；越靠近两端，磁感应强度B越小。 |
| **七、思考题**  **1.如果磁感应强度 B不垂直于霍尔片，对测量结果有何影响? 如何由实验判断 B与霍尔片是否垂直?**  答：霍尔片感应到的是磁场的垂直分量，如果不垂直，会比实际的值小。  将霍尔片绕轴线方向左右旋转，观察示数大小变化，当时数最大时，就是B垂直于霍尔片。  **2.霍尔效应有哪些应用，试举一例，并简单阐述其原理。**  答：霍尔效应在汽车工业中的应用：转向角度传感器。  原理：转向角度传感器使用磁场传感器来测量车辆的转向角度。霍尔元件被安装在转向机构附近，感知转向机构的磁场变化。当驾驶员转动方向盘时，转向机构会引起磁场的改变，从而产生相应的霍尔电压。转向角度传感器通过测量霍尔电压的变化来确定方向盘的旋转角度，并将该信息传递给车辆的电子控制单元（ECU）。这些数据用于辅助驾驶系统、电动助力转向系统和稳定控制系统等，以实现更精确和响应迅速的车辆转向控制。 |
| **指导教师批阅意见** |
| **成绩评定**     |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 预习  （20分） | 操作及记录  （40分） | 数据处理与结果陈述（30分） | 思考题  （10分） | 报告整体  印 象 | 总分 | |  |  |  |  |  |  | |