课程编号 1800450060

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **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**

**实验名称： 实验1 霍尔效应及其应用**

**学 院： 机电与控制工程学院**

**指导教师： 毛峰**

**报告人： 黄俊钦 组号： 17**

**学号 2019112067 实验地点 214**

**实验时间： 2020 年 11 月 25 日**

**提交时间： 2020年12月2日**

|  |
| --- |
| **一、实验目的**  (1)掌握霍尔效应的原理，了解霍尔器件的相关知识如导电类型、载流子浓度、迁移率等，了解霍尔器件的工作特性。  (2)学习使用霍尔器件测磁场的方法，并进一步了解霍尔器件的特性及工作条件。  (3)学习一种实验方法，即用“对称测量法”消除副效应的影响，测量试样的*VH*—*IS*和*VH*—*IＭ*曲线。 |
| 二、实验原理  **1.霍尔效应原理**  **如图所示，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与工作电流Is、磁感应强度的大小B成正比，与薄片厚度d成反比，即**  **式中RH叫霍尔系数**    **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**  **因v和B垂直，所以，在洛伦兹力的作用下、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，此时**  **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**  **将式子合并得**  **对比式子，可知霍尔系数为**  **根据霍尔系数公式表明，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。**  **式中叫霍尔器件的灵敏度，用KH表示：**  **则可写成**  **若已知KH(一般由仪器生产厂家给出)，通过测量霍尔电压UH和工作电流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)U与载流子的正负有关。**   1. **当载流子是正(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＇端电势高于A端，如图(a)所示** 2. **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(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。**     **2.霍尔器件的重要参数**  **霍尔器件的重要参数包括：**  **1．霍尔系数：**  **2.霍尔器件的灵敏度：**  **3.迁移率、电导率：**  **在低电场下载流子平均漂移速度和场强E成正比，即，比例系数μ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**  **(二)长直螺线管的场分布**  **如图所示，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，根据毕奥一萨伐尔定律，可求得密绕螺线管内部轴线上磁感应强度的大小为**  **其中是真空磁导率**      **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**  **中β1=0，β2=，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**  **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(如图所示)。**    **副效应主要有以下4种:**  **(1)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。**  **(2)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U。若只考虑接触电阻的差异，则UN的方向仅与B的方向有关。**  **(3)里纪一勒杜克( Righi- Leduc)效应产生的电势差URL。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ERL。ERL的正负仅与B的方向有关，而与I的方向无关。**  **(4)不等电位效应引起的电势差Uo。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Uo。Uo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):**  **由四组数据可得**  **E比U小得多，可略去不计，于是霍尔电压为** |
| 1. 实验仪器：   **1.TH-H型霍尔效应实验仪**    **(1)电磁铁。**  **电磁铁产生的磁感应强度大小可由B=KIM计算，其中:IM为励磁电流;K为线圈励磁参数，单位为千高斯每安培(KGS・A-1，1KGS・A-1=10-4T)，K＞3.00KGS・A-1(K的具体数值标定在线包上)，磁铁线包引线有星标者为头，绕线方向为顺时针(操作者面对实验仪)。根据励磁电流IM流向可确定磁场的方向。**  **(2)样品、样品架。**  **样品材料为N型半导体硅单晶片。根据空脚的位置不同，样品分两种形式，分别如图所示。样品的几何尺寸为:厚度d=0.5mm，宽度b=4.0mm，A、C电极间距l=3.0mm、样品有三对电极，其中A、A’或C、C’用于测量霍尔电压UH，A、C或A‘、C‘用于测量电导，D、E为样品工作电流电极。**    **样品架具有x-y调节功能及读数装置，可调节样品位置。**  **(3)电流和电压。**  **“IS输入”:实验时与测试仪的“IS输出”相连，IS是霍尔片的工作电流**  **“IM输入”:实验时与测试仪的“IM输出”相连，IM是电磁铁的励磁电流**  **“UH、Uσ.”输出”:实验时与测试仪的＂UH、Uσ.输入”相连，UH是霍尔片尔电压、Uσ是零磁场的情况下，加载工作电流后霍尔片引脚A、C或A‘、C‘之间的电压。**  **(4) IS和IM换向开关及UH和Uσ测量选择开关。**  **IS和IM换向开关投向上方，视IS及IM均为正值，反之为负值; UH和Uσ测量选开关投向上方测UH，投向下方测Uσ。**  **注：电导σ的测量方法:在零磁场的情况下，加载工作电流IS (可取IS =2mA、不宜太大，以免毫伏表超量程)，通过测量A、C或A‘、C‘的电压Uσ，可由下式求得电导率**  **（二）TH-H型霍尔效应测试仪**    **1.主要技术指标**  **(1)“IS输出”:提供样品工作电流源。输出电流为0～10mA，连续可调，调节精度可达10μA。最大输出负载电压12V.实验时与实验仪的“IS输入”相连**  **(2)“IM输出”:励磁电流源。输出电流为0-1A，连续可调，调节精度可达1mA。最大输出负载电压25V，实验时与实验仪的“IM输入”相连。**  **(3)“IS、IM显示”:数字电流表。精度不低于5％。输出工作电流IS、和励磁电流IM的两组电流源彼此独立，但由同一只数字电流表进行显示，通过“测量选择”按键控制显示IS或IM:按钮按下去显示IM，旋动“IM调节”旋钮可控制IM输出的大小;再次按下按钮，按钮将弹起来，显示IS，旋动“IS调节”旋钮，可控制IS输出的大小。**  **(4)“UH、Uσ显示”:直流数字电压表，用于测量霍尔片输出电压UH和Uσ，UH和Uσ通过“功能选择”开关由同一只数字电压表进行测量。电压表零位可通过“调零”电位器进行调整。电压表测量范围为士20mV和士200mV**  **2.使用注意事项**  **(1)仪器开机、关机前应将“IS输出”、“IM输出”旋钮逆时针调到最小**  **(2)霍尔片的工作电流只允许几个mA，决不可以将“IM输出”接到“IS输入”上，否则将损坏霍尔片;**  **(3) 霍尔片性脆易碎，电极甚细易断，且不可修复，严防撞击或用手触摸，切勿随意改动y向高度，以免霍尔片与磁极摩擦而受损。**    **（三）TH-S型螺线管测定仪**    **主要技术指标如下：**  **(1)螺线管：长度为L=28cm，线圈外径为2.7cm，匝密度n（匝/米）标注在实验仪上；**  **(2)横向互补轴向调节x1、x2:先调节x1使测距尺读数从1.0cm到14.0cm，再调节x2使测距尺读数从1.0cm到14.0cm，全程28cm。霍尔片探头位置将从螺线管最右端移到最左端。若取螺线管中心为坐标原点，测距尺指示和探头位置的关系如表测距尺指示和探头位置的关系所示。**    **(3)纵向y调节架:仪器出厂前探测杆中心轴线与螺线管内孔轴线已进行了调整，因此实验中无需调节y旋钮。** |
| 四、实验内容：  **(一)霍尔器件输出持性的測量**  **(1)保持励磁电流IM不变(相当于保持磁场不变)，研究霍尔片输出电压UH和工作电流的关系。提示:为避免毫伏表超出量程，IM可取0.500A以下，IS取值范围可设在4mA以内。**  **(2)保持工作电流IS不变，研究霍尔片输出UH和磁感应强度的关系。提示: IM的取值范围可设在0.8A以内。**  **(3)由上述测量数据确定材料的霍尔系数RH和霍尔器件的灵敏度KH。**  **(二)利用霍尔器件测量长直螺线管的磁场分布**  **由可知，已知霍尔器件的灵敏度KH (KH的值由仪器生产厂家给出，在仪器上有标识)，只要测出UH，就可以测出磁感应强度的大小B。合理选取霍尔器件的工作电流和励磁电流，测绘出长直螺线管内部轴线上的磁场分布。**  **注意事项:(1) IS不可太大，以免损坏霍尔片，保持在6mA左右即可;(2) IM选取0.600A以下，太大会使螺线管过度发热或使电压表过载。**  **(三)迁移率的测量(选做)**  **在零磁场的情况下，取IS=2mA，将实验仪“UH、Uσ输出”换向开关倒向“Uσ”，将测试仪的“功能选择”开关倒向Uσ，测A、C或A‘、C‘的电压Uσ，由式求得电导率，再由求出迁移率。** |
| 五、数据记录：  组号： 17 姓名 黄俊钦  实验1、测量霍尔片的输出特性，确定样品的霍尔系数   1. 保持励磁电流*IM*（*IM*=0.500A）不变,将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．  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | *IS/*mA | *V*1*/*mV | *V*2*/*mV | *V*3*/*mV | *V*4*/*mV | *V*H=(*V*1*-V*2+*V*3*-V*4)/4 /mV | | +*B*,+*Is* | -*B*,+*Is* | -*B*,-*Is* | +*B*,-*Is* |  | | 1.00 | 1.00 | -0.78 | 0.81 | -0.98 | 0.89 | | 1.50 | 1.50 | -1.17 | 1.20 | -1.47 | 1.34 | | 2.00 | 1.96 | -1.61 | 1.55 | -2.01 | 1.78 | | 2.50 | 2.45 | -2.01 | 1.93 | -2.53 | 2.23 | | 3.00 | 2.94 | -2.41 | 2.31 | -3.03 | 2.67 | | 3.50 | 3.42 | -2.80 | 2.71 | -3.53 | 3.12 | | 4.00 | 3.91 | -3.22 | 3.08 | -4.05 | 3.57 |   （2）、保持霍尔片工作电流*IS*的值不变（ *IS**=*3.00mA），测绘曲线*VH*—*IＭ*   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | I*M/*A | V1*/*mV | V2*/*mV | V3*/*mV | V4*/*mV | VH=(*V*1*-V*2+*V*3*-V*4)/4 /mV | | +*B*,+*Is* | -*B*,+*Is* | -*B*,-*Is* | +*B*,-*Is* |  | | 0.300 | 1.87 | -1.33 | 1.24 | -1.96 | 1.60 | | 0.4 | 0.42 | -1.86 | 1.79 | -2.48 | 1.64 | | 0.5 | 2.96 | -2.38 | 2.33 | -3.01 | 2.67 | | 0.6 | 3.49 | -2.92 | 2.85 | -3.55 | 3.20 | | 0.7 | 4.02 | -3.45 | 3.39 | -4.08 | 3.74 | | 0.8 | 4.55 | -3.97 | 3.91 | -4.6 | 4.26 |   实验2：用霍尔片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,   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | *x/cm* | *V*1*/*mV | *V*2*/*mV | *V*3*/*mV | *V*4*/*mV | *V*H | *B* | | +*B*,+*Is* | -*B*,+*Is* | -*B*,-*Is* | +*B*,-*Is* |  |  | | 0.3 | -0.67 | 0.54 | -0.65 | 0.57 | 0.61 | 0.001212575 | | 0.5 | -0.75 | 0.64 | -0.74 | 0.66 | 0.70 | 0.001392216 | | 0.8 | -0.86 | 0.82 | -0.94 | 0.74 | 0.84 | 0.001676647 | | 1.0 | -1.00 | 0.88 | -1.00 | 0.92 | 0.95 | 0.001896208 | | 1.2 | -1.11 | 1.08 | -1.20 | 0.99 | 1.10 | 0.002185629 | | 1.5 | -1.37 | 1.25 | -1.35 | 1.27 | 1.31 | 0.00261477 | | 1.8 | -1.63 | 1.62 | -1.74 | 1.52 | 1.63 | 0.003248503 | | 2.0 | -1.87 | 1.77 | -1.87 | 1.77 | 1.82 | 0.003632735 | | 2.5 | -2.31 | 2.22 | -2.32 | 2.22 | 2.27 | 0.004525948 | | 3.0 | -2.65 | 2.56 | -2.67 | 2.53 | 2.60 | 0.005194611 | | 3.5 | -2.87 | 2.78 | -2.89 | 2.79 | 2.83 | 0.005653693 | | 4.0 | -3.00 | 2.93 | -3.04 | 2.89 | 2.97 | 0.005918164 | | 4.5 | -3.06 | 3.06 | -3.18 | 2.94 | 3.06 | 0.006107784 | | 5.0 | -3.17 | 3.11 | -3.21 | 3.07 | 3.14 | 0.006267465 | | 6.0 | -3.25 | 3.20 | -3.31 | 3.14 | 3.23 | 0.006437126 | | 7.0 | -3.30 | 3.25 | -3.37 | 3.19 | 3.28 | 0.006541916 | | 8.0 | -3.31 | 3.26 | -3.38 | 3.20 | 3.29 | 0.006561876 | | 10.0 | -3.33 | 3.28 | -3.41 | 3.21 | 3.31 | 0.006601796 | | 13.0 | -3.35 | 3.30 | -3.42 | 3.23 | 3.33 | 0.006636727 | | 15.0 | -3.23 | 3.19 | -3.29 | 3.12 | 3.21 | 0.006402196 | | 18.0 | -2.99 | 2.94 | -3.06 | 2.88 | 2.97 | 0.005922156 | | 20.0 | -1.88 | 1.82 | -1.93 | 1.76 | 1.85 | 0.003687625 | | 21.0 | -0.98 | 0.92 | -1.03 | 0.86 | 0.95 | 0.001891218 | | 22.0 | -0.55 | 0.48 | -0.59 | 0.44 | 0.52 | 0.001027944 | | 22.5 | -0.43 | 0.36 | -0.47 | 0.32 | 0.40 | 0.000788423 | | 23.0 | -0.34 | 0.28 | -0.38 | 0.22 | 0.31 | 0.000608782 | |
| **六、数据处理**  实验1：测量霍尔片的输出特性，确定样品的霍尔系数  *a）VH*—*IS* 曲线  *b）VH*—*IＭ曲线*  c）样品的霍尔系数RH  结合上面式①②可得霍尔系数的计算公式：  已知其中的    上面实验a、b的13组数据算得的该实验所用霍尔片的RH，计算平均值即为RH理论值  实验2：用霍尔片测量螺线管轴线上磁场分布 |
| **七、结果陈述：**  由实验1得RH的平均值为0.00731。实验二中可得约在13cm附近时B求得最大值，最大值约为0.0065KGS。螺线管轴线上的磁场分布是先增强后减弱，呈现对称的情况。可知实验基本成功。 |
| **八、实验总结与思考题**  本次实验中学习了霍尔效应及其相关元件的使用。了解了霍尔器件的相关知识和工作特性。利用霍尔器件测磁场，巧妙地使用了“对称测量法”消除副效应的影响，测得相对较为可靠的数据，得到的数据中实验一的线性相关程度较高，实验二中的图也较为对称，所得数据B为0.007及0.006KGS间，符合公知。  **思考题：**  1.如果磁感应强度B不垂直于霍尔片，对于测量结果有什么影响？如何由实验判断B与霍尔片是否垂直？  霍尔效应测量磁场，测量的一定是垂直于霍尔元件片的磁感应强度的大小。所以，如果磁场B不是垂直于霍尔元件片的，那么用测量的霍尔电压计算出来的磁感应强度的大小是磁场在垂直于霍尔元件片的方向上的分量；观察B的值，当B的值达到最大值时，B与霍尔片垂直。  2.霍尔效应有哪些应用，试举一例，并简单阐述其原理。  汽车速度表；其原理为通过检测磁场变化，转变为电信号输出，可用于监视和测量汽车各部件运行参数的变化。例如位置、位移、角度、角速度、转速等等，并可将这些变量进行二次变换。 |
| 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** | |  |  |  |  |  |  | |