课程编号

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **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： 电子与信息工程工程学院**

**指导教师： 薛白**

**报告人： 周昭良 组号： 07**

**学号 2022280041 实验地点 214**

**实验时间： 2023 年 10 月 31 日**

**提交时间： 2023 年 11 月 7 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。 |
| **二、实验原理：**   1. 霍尔效应 2. 霍尔效应原理   如图3-1-1所示，一块长为l、宽为b、厚度为d的半导体薄片放置于磁场中，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:在磁功不太强时,UH与工作电流IS、磁感应强度的大小B成正出,与蒲片厚度d成反比,即  （1）  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  *（2）*  因**v**和**B**垂直,所以f=qvB,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,此时  （3）  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：  （4）  由上式可得： （5）  可以得到霍尔系数为：  （6）  上式表明，霍尔系数和载流子浓度有关。半导休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,半导休的霍尔效应校为显著，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。  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：  （7）  则（8）  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。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，如下图 (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，如下图(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。     1. 霍尔元件的重要参数   霍尔器件的重要参数包括:   1. 霍尔系数：   （9）   1. 霍尔器件的灵敏度：   （10）  （3）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μ称为迁移率。  场强**E**与电流密度**J**成正比，即,比例系数ρ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，进而可得  （11）  测出电导率,即可求出迁移率。  (二）长直螺线管的磁场分布  如下图所示，以密绕螺线管，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  （12）  可求得密绕螺线管内部轴线上磁感应强度的大小为：  （13）  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,近似地认为中B=0,,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  （14）  (三）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,还包括副效应产生的附加电动势。副效应主要有以下4种:  （1）厄廷豪森（Etinghausen)效应引起的电势差差。由干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。  (3）里纪-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U0，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U0，U0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):  由四组数据可以得到  （15）  比小得多，可以略去不计，于是霍尔电压为  （16） |
| **三、实验仪器：**   1. TH-H型霍尔效应实验仪   TH-H型霍尔效应实验仪示意图如图3-1-5(a)、(b)所示,实验仪的介绍如下。    (1）电磁铁。  电磁铁产生的磁感应强度大小可由计算，共中: 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)(K的具体数值标定在线包上)。磁铁线包引线有星杯看为\*，沉绒力NLLt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，分别如下图中(a)和(b)所示。样品的几何尺寸为:厚度d=0.5mm,宽度b=4.0 mm, A、C  电极间距l=3.0 mm。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。    样品架具有工-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,I是霍尔片的工作电流;  “IM输入”:实验时与测试仪的“ I输出”相连,IM是电磁铁的励磁电流;  “UH、U,输出”:实验时与测试仪的“UH、U。输入”相连,UH是霍尔片霍尔电压,U,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IW换向开关投向上方，视IS及IM均为正值,反之为负值；UH和Uσ，测量选择开关投向上方测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=2 mA，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  （17）   1. 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0~10 mA，连续可调，调节精度可  达10 μA。最大输出负载电压12 V。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0~1 A，连续可调，调节精度可达1 mA。最大输出负载电压25 V。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、U。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±20 mV和±200 mV。  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。   1. TH-S型螺线管测定实验仪     主要技术指标如下。  （1）螺线管:长度L=28cm，线圈外径为2.7 cm，匝密度n(匝/米)标注在实验仪上;  （2）横向互补轴向调节架先调节，使测距尺读数从1.0cm到14.0cm再调节使测距尺读数从1.0cm到 14.0 cm，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下表所示：    （3）纵向y调节架：一起出厂前探测杆中心轴线于螺线管内孔轴线已经进行了调整，因此实验中无需调节y旋钮。 |
| **四、实验内容和步骤：**  1、霍尔器件输出特性测量：  （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0.500 A以下,I取值范围可设在4 mA 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。  2、利用霍尔器件测量长直螺线管的磁场分布  由UH=KHISB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0.600 A以下,太大会使螺线管过度发热或使电压表过载。 |
| **五、数据记录：**  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．   励磁线圈参数*K*= 3.85 KGS.A-1  霍尔片厚度 *d*  = 0.5 mm   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | *IS/*mA | *V*1*/*mV | *V*2*/*mV | *V*3*/*mV | *V*4*/*mV |  | | +*B*,+*Is* | -*B*,+*Is* | -*B*,-*Is* | +*B*,-*Is* | | 1.00 | -2.79 | 2.66 | -2.65 | 2.80 | 2.725 | | 1.50 | -4.19 | 3.99 | -3.98 | 4.20 | 4.09 | | 2.00 | -5.59 | 5.32 | -5.31 | 5.60 | 5.455 | | 2.50 | -7.00 | 6.66 | -6.65 | 7.00 | 6.8275 | | 3.00 | -8.39 | 7.98 | -7.98 | 8.40 | 8.1875 | | 3.50 | -9.80 | 9.32 | -9.31 | 9.80 | 9.5575 | | 4.00 | -11.19 | 10.64 | -10.64 | 11.19 | 10.915 |   （2）、保持霍尔片工作电流*IS*的值不变（ *IS**=*3.00mA），测绘曲线*VH*—*IＭ*   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | *IM/*A | *V*1*/*mV | *V*2*/*mV | *V*3*/*mV | *V*4*/*mV |  | | +*B*,+*Is* | -*B*,+*Is* | -*B*,-*Is* | +*B*,-*Is* | | 0.300 | -5.12 | 4.69 | -4.69 | 5.11 | 4.9025 | | 0.400 | -6.74 | 6.34 | -6.33 | 6.74 | 6.5375 | | 0.500 | -8.36 | 7.96 | -7.96 | 8.38 | 8.165 | | 0.600 | -10.03 | 9.61 | -9.61 | 10.02 | 9.8175 | | 0.700 | -11.66 | 11.26 | -11.26 | 11.68 | 11.465 | | 0.800 | -13.31 | 12.90 | -12.90 | 13.31 | 13.105 |   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,  霍尔元件灵敏度*KH*= 165 mv/mA.T   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | X/cm | V1/mV | V2/mV | V3/mV | V4/mV | VH/mV | B/T | | +B,+Is | -B,+Is | -B,-Is | +B,-Is | | **20** | **1.46** | **-1.10** | **1.11** | **-1.45** | **1.28** | **0.00258586** | | **30** | **2.07** | **-1.70** | **1.71** | **-2.07** | **1.8875** | **0.00381313** | | **40** | **2.45** | **-2.06** | **2.07** | **-2.43** | **2.2525** | **0.00455051** | | **50** | **2.62** | **-2.24** | **2.25** | **-2.62** | **2.4325** | **0.00491414** | | **60** | **2.71** | **-2.33** | **2.36** | **-2.70** | **2.525** | **0.00510101** | | **70** | **2.76** | **-2.38** | **2.39** | **-2.76** | **2.5725** | **0.00519697** | | **80** | **2.79** | **-2.41** | **2.41** | **-2.78** | **2.5975** | **0.00524748** | | **90** | **2.81** | **-2.42** | **2.43** | **-2.80** | **2.615** | **0.00528283** | | **100** | **2.82** | **-2.43** | **2.44** | **-2.81** | **2.625** | **0.00530303** | | **110** | **2.82** | **-2.44** | **2.44** | **-2.82** | **2.63** | **0.00531313** | | **120** | **2.82** | **-2.43** | **2.44** | **-2.81** | **2.625** | **0.00530303** | | **130** | **2.81** | **-2.43** | **2.43** | **-2.80** | **2.6175** | **0.00528788** | | **140** | **2.80** | **-2.42** | **2.42** | **-2.79** | **2.6075** | **0.00526768** | | **150** | **2.78** | **-2.40** | **2.40** | **-2.77** | **2.5875** | **0.00522727** | | **160** | **2.74** | **-2.36** | **2.36** | **-2.74** | **2.55** | **0.00515152** | | **170** | **2.67** | **-2.29** | **2.30** | **-2.67** | **2.4825** | **0.00501515** | | **180** | **2.54** | **-2.17** | **2.17** | **-2.54** | **2.355** | **0.00475758** | | **190** | **2.29** | **-1.92** | **1.92** | **-2.28** | **2.1025** | **0.00424748** | | **200** | **1.80** | **-1.44** | **1.45** | **-1.80** | **1.6225** | **0.00327778** | |
| **六、数据处理：**   1. 整理数据，正确计算UH和B   计算结果填于数据表格   1. 做*IM*—曲线 2. 做—曲线 3. 计算   因为，,所以  已知  由图计算得到，直线斜率为2.73，带入计算得到0.0709   1. 作螺线管轴线上磁场分布曲线 |
| **七、结果陈述**  1、由实验计算得到霍尔系数 0.0709  2、利用对称测量法消除附加电动势，消除系统误差，提高实验的精度。  3、长直螺线管磁场分布为两边小，中间大，在螺线管中间近似于匀强磁场。 | |
| **八、实验总结与思考题**  **1.实验总结**  通过本次实验我掌握了霍尔效应的原理，了解了霍尔器件的相关知识如导电类型、载流子浓度、迁移率等以及霍尔器件的工作特性。并且学习使用霍尔器件测磁场的方法,并进一步了解了霍尔器件的特性及工作条件。也学会了用“对称测量法”消除副效应的影响。  **2.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：若磁场不恰好与霍尔元件的法线一致,则霍尔片通过电流时,载流子的偏转 方向就会偏离法线方向,从而使测得的电位差不是真正的霍尔电位差,从而造成 测量的系统误差.  朝两个方向偏转霍尔元件的方向，如果电位差都减小，说明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  答：霍尔开关电路，其原理为：由于电路中的电流与其所产生的磁感应强度B成正比，当电流增大时，磁感应强度也增大，感应出的二次电流也随之增大，当电路中的一次电流达到一定值，二次电六检测到之后开始内部触发器动作，从而进行保护。 | |
| 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**  (20分) | **结果陈述**  (10分) | **思考题**  (10分) | **报告整体**  **印 象** | **总分** | |  |  |  |  |  |  |  | | |