课程编号 1800450001

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **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： 计算机与软件学院**

**指导教师： 高阳**

**报告人： 吴艇 组号： 19**

**学号 2020281061 实验地点 214**

**实验时间： 2021 年 11 月 3 日**

**提交时间：**

|  |
| --- |
| **一、实验目的**  霍尔效应是美国物理学家霍尔(Hall Edwin Herbert,1855-1938)于1879年在实验中发现的,霍尔效应在生产技术中有十分重要的意义。根据霍尔效应做成的霍尔器件,不仅可以用来测量磁场、电流等物理量,还可以磁场为工作媒体,将物体的运动参量转变为数字电压的形式输出,使之具备传感和开关的功能,广泛应用于生产技术中。例如,霍尔效应在现代汽车上就有广泛应用。  霍尔效应也是一个新的研究领域,德国物理家克利青(Klaus von Klitzing)等在研究极低温度和强磁场中的半导体时发现了量子霍尔效应,这是当代凝聚态物理学令人惊异的进展之一,克利青为此获得1985年的诺贝尔物理学奖。之后,美籍华裔物理学家崔琦(Daniel Chee Tsui)和美国物理学家劳克林(Robert B. Laughlin)、施特默(Horst L. Strmer)在更强磁场下研究量子霍尔效应时发现了分数量子霍尔效应,这个发现使人们对量子现象的认识更进了一步,他们为此获得了1998年的诺贝尔物理学奖。  本实验安排了两个必做内容  (1)验证霍尔电压与工作电流、磁感应强度之间的关系,并确定样品的霍尔系数;  (2)应用霍尔效应测长直螺线管的磁场分布。  本实验的目的:  (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  (一)霍尔效应  1.霍尔效应原理  如图3-1-1所示，一块长为、宽为、厚度为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，在薄片的纵向两侧会出现一个电压，这种现象叫霍尔效应，称为霍尔电压。实验表明：在磁场不太强时，与、成正比，与薄片厚度d成反比，即  ()  式中叫霍尔系数。    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，那么载流子所受洛仑兹力为  ()  在洛仑兹力的作用下，电子向—侧漂移，结果在、两侧分别聚集了正负电荷，在、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  (3-1-3)  设载流子浓度为，则电流和载流子定向漂移速率的关系为  或  (3-1-4)  将式(3-1-4)代入式(3-1-3)得  ()  对比式(3-1-1)和式(3-1-5)，可知霍尔系数为  ()  式(3-1-6)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(3-1-5)还可看出，半导体薄片的厚度越小，霍尔效应越显著，所以霍尔器件通常做得很薄。  式(3-1-5)中一叫霍尔器件的灵敏度，用表示：  ()  则式(3-1-5)可写成  (3-1-8)  若己知 (—般由仪器生产厂家给出)，通过测量霍尔电压,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，、之间的电势差(即霍尔电压)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，结果是端电势高于端，如3-1-2(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，结果是端电势高于端，如图3-1 -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①。    2.霍尔器件的重要参数  霍尔器件的電要参数包括：  （1）霍尔系数：  （2）霍尔器件的灵敏度：  （3）迁移书、电导率：  在低电场下载流子平均漂移速度和场强成正比，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。  (二)长直螺线管的磁场分布  如图3-1-3所示，一密绕螺线管，管内是真空，管长，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。    当时，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(3-1-10)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。  (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(如图3-1-4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。由于电子实际上并非以同一速度沿轴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。可以证明，容易理解的正负与I和B的方向有关。  (2) 能斯特(Nernst)效应引起的电势差。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。若只考虑接触电阻的差异，则的方向仅与B的方向有关。  (3) 里纪-勒杜克(Righi-Leduc)效应产生的电势差。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。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。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。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  比小得多，可略去不计，于是霍尔电压为 |
| 三、实验仪器：  (―)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，其中：为励磁电流；K为线圈励磁参数，单位为千高斯每安培(,),(K的具体数值标定在线包上)。磁铁线包引线有星标者为头，绕线方向为顺吋针（操作者面对实验仪）。根据励磁电流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3-1-6中(a)和(b)所示。样品的几何尺寸为：厚度,宽度, A、C电极间距。样品有三对电极，其中、或、用于测量霍尔电压，、或、用于测量电导，D、E为样品工作电流电极。    样品架具有调节功能及读数装置，可调节样品位置。  （3） 电流和电压。  “输入”：实验时与测试仪的“输出”相连，是霍尔片的工作电流；  “输入”：实验时与测试仪的“输出”相连，是电磁铁的励磁电流；  “、输出”：实验时与测试仪的“、输出”相连，是霍尔片霍尔电压，是零磁场的情况下，加载工作电流后霍尔片引脚、或、之间的电压。  （4） 和换向开关及和测量选择开关。  和换向开关投向上方，视及均为正值，反之为负值；和测最选择开关投向上方测，投向下方测。  注：电导的测量方法：在零磁场的情况下，加载工作电流（可取,不宜太大，以免毫伏表超量程），通过测量、或、的电压可由下式求得电导率  （二）TH-H型霍尔效应测试仪  TH-H型霍尔效应测试仪如图3-1-7所示。    1. 主要技术指标  （1）“输出”：提供样品工作电流源。输出电流为，连续可调.调节精度可达10 最大输出负载电压12 V。实验时与实验仪的“输人”相连。  （2）“输出”：励磁电流源。输出电流为,连续可调.调节精度可达1 mA。最大输出负载电压25V。实验时与实验仪的“输入”相连。  （3）“、显示”：数字电流表。精度不低于5%。输出工作电流和励磁电流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”按键控制显示或：按钮按下去显示,旋动调节“调节”旋钮可控制输出的大小；再次按下按钮，按钮将弹起来，显示，旋动“凋节”旋钮，可控制输出的大小。  （4）“、显示”：直流数字电压表，用于测量霍尔片输出电压和和，和通过“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“输出”、“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“输出”接到“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型螺线管测定实验仪  TH-S型螺线管测定实验仪如图3-1-8所示。    主要技术指标如下。  （1）螺线管：长度,线圈外径为2.7cm,匝密度（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14.0cm.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3-1-1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：  （―）霍尔器件输出特性的测量  （1）保持励磁电流不变（相当于保持磁场不变）.研究霍尔片输出电压和工作电流的关系。提示：为避免毫伏表超出量程，可取0.500A以下，取值范围可设在4mA以内。  （2）保持T作电流不变，研究霍尔片输出和磁感应强度的关系。提示：的取值范围可设在0.8 A以内。  （3）由上述测量数据确定材料的霍尔系数和霍尔器件的灵敏度  （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（的值由仪器生产厂家给出，在仪器上有标识），只要测出就可以测出磁场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）不可太大，以免损坏霍尔片，保持在6mA左右即可；（2）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,将实验仪“、输出”换向开关倒向“”，将测试仪的“功能选择”开关倒向，测、或、的电压，由式求得电导率，再由求出迁移率。 |
| 五、数据记录：  组号： 19 ；姓名 吴艇  1.霍尔器件输出特性测量  ①实验仪双刀开关倒向“”，测试仪功能选择置于“”，然后调节，测绘曲线。   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  |  |  | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- |  | | 1.00 |  |  |  |  |  | | 1.50 |  |  |  |  |  | | 2.00 |  |  |  |  |  | | 2.50 |  |  |  |  |  | | 3.00 |  |  |  |  |  | | 3.50 |  |  |  |  |  | | 4.00 |  |  |  |  |  |   ②保持的值不变()，测绘曲线   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  |  |  | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- |  | | 0.300 |  |  |  |  |  | | 0.400 |  |  |  |  |  | | 0.500 |  |  |  |  |  | | 0.600 |  |  |  |  |  | | 0.700 |  |  |  |  |  | | 0.800 |  |  |  |  |  |   2.测量螺线管轴线上磁场分布()   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  |  |  |  | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |   注意纪录线圈的霍尔灵敏度，单位 |