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 | 2.4 | -2.67 | 2.65 | -2.41 | 2.53 | | 1.50 | 3.59 | -3.99 | 3.97 | -3.61 | 3.79 | | 2.00 | 4.79 | -5.32 | 5.3 | -4.81 | 5.06 | | 2.50 | 5.96 | -6.62 | 6.6 | -5.98 | 6.29 | | 3.00 | 7.17 | -7.96 | 7.94 | -7.19 | 7.57 | | 3.50 | 8.36 | -9.28 | 9.26 | -8.38 | 8.82 | | 4.00 | 9.56 | -10.6 | 10.59 | -9.58 | 10.08 |   ②保持的值不变()，测绘曲线   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  |  |  | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- |  | | 0.300 | 4.16 | -4.89 | 4.87 | -4.12 | 4.51 | | 0.400 | 5.64 | -6.41 | 6.39 | -5.64 | 6.02 | | 0.500 | 7.14 | -7.95 | 7.93 | -7.18 | 7.55 | | 0.600 | 8.69 | -9.48 | 9.46 | -8.68 | 9.08 | | 0.700 | 10.2 | -11.01 | 10.99 | -10.24 | 10.61 | | 0.800 | 11.76 | -12.54 | 12.52 | -11.76 | 12.15 |   2.测量螺线管轴线上磁场分布()   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  |  |  |  | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- |  |  | | 20 | 0.42 | -1.99 | 1.99 | -0.42 | 1.205 | 0.002391 | | 30 | 1.11 | -2.65 | 2.64 | -1.11 | 1.8775 | 0.003725 | | 40 | 1.57 | -3.13 | 3.12 | -1.61 | 2.3575 | 0.004678 | | 50 | 1.82 | -3.34 | 3.35 | -1.82 | 2.5825 | 0.005124 | | 60 | 1.93 | -3.48 | 3.46 | -1.95 | 2.705 | 0.005367 | | 70 | 2 | -3.54 | 3.53 | -2.01 | 2.77 | 0.005496 | | 80 | 2.03 | -3.58 | 3.56 | -2.05 | 2.805 | 0.005565 | | 90 | 2.05 | -3.6 | 3.58 | -2.05 | 2.82 | 0.005595 | | 100 | 2.04 | -3.61 | 3.6 | -2.07 | 2.83 | 0.005615 | | 110 | 2.06 | -3.62 | 3.6 | -2.08 | 2.84 | 0.005635 | | 120 | 2.06 | -3.61 | 3.6 | -2.08 | 2.8375 | 0.00563 | | 130 | 2.05 | -3.6 | 3.59 | -2.08 | 2.83 | 0.005615 | | 140 | 2.04 | -3.6 | 3.58 | -2.07 | 2.8225 | 0.0056 | | 150 | 2.02 | -3.57 | 3.55 | -2.04 | 2.795 | 0.005546 | | 160 | 1.98 | -3.53 | 3.52 | -2.01 | 2.76 | 0.005476 | | 170 | 1.92 | -3.48 | 3.45 | -1.94 | 2.6975 | 0.005352 | | 180 | 1.8 | -3.36 | 3.34 | -1.8 | 2.575 | 0.005109 | | 190 | 1.55 | -3.12 | 3.1 | -1.56 | 2.3325 | 0.004628 | | 200 | 1.07 | -2.65 | 2.64 | -1.11 | 1.8675 | 0.003705 |   注意纪录线圈的霍尔灵敏度，单位 |
| 六、数据处理  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 | 2.4 | -2.67 | 2.65 | -2.41 | 2.53 | | 1.50 | 3.59 | -3.99 | 3.97 | -3.61 | 3.79 | | 2.00 | 4.79 | -5.32 | 5.3 | -4.81 | 5.06 | | 2.50 | 5.96 | -6.62 | 6.6 | -5.98 | 6.29 | | 3.00 | 7.17 | -7.96 | 7.94 | -7.19 | 7.57 | | 3.50 | 8.36 | -9.28 | 9.26 | -8.38 | 8.82 | | 4.00 | 9.56 | -10.6 | 10.59 | -9.58 | 10.08 |   ②保持的值不变()，测绘曲线   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  |  |  | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- |  | | 0.300 | 4.16 | -4.89 | 4.87 | -4.12 | 4.51 | | 0.400 | 5.64 | -6.41 | 6.39 | -5.64 | 6.02 | | 0.500 | 7.14 | -7.95 | 7.93 | -7.18 | 7.55 | | 0.600 | 8.69 | -9.48 | 9.46 | -8.68 | 9.08 | | 0.700 | 10.2 | -11.01 | 10.99 | -10.24 | 10.61 | | 0.800 | 11.76 | -12.54 | 12.52 | -11.76 | 12.15 |     ，  由公式 和 得：  计算得：    ③测量螺线管轴线上磁场分布()   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  |  |  |  | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- |  |  | | 20 | 0.42 | -1.99 | 1.99 | -0.42 | 1.205 | 0.002391 | | 30 | 1.11 | -2.65 | 2.64 | -1.11 | 1.8775 | 0.003725 | | 40 | 1.57 | -3.13 | 3.12 | -1.61 | 2.3575 | 0.004678 | | 50 | 1.82 | -3.34 | 3.35 | -1.82 | 2.5825 | 0.005124 | | 60 | 1.93 | -3.48 | 3.46 | -1.95 | 2.705 | 0.005367 | | 70 | 2 | -3.54 | 3.53 | -2.01 | 2.77 | 0.005496 | | 80 | 2.03 | -3.58 | 3.56 | -2.05 | 2.805 | 0.005565 | | 90 | 2.05 | -3.6 | 3.58 | -2.05 | 2.82 | 0.005595 | | 100 | 2.04 | -3.61 | 3.6 | -2.07 | 2.83 | 0.005615 | | 110 | 2.06 | -3.62 | 3.6 | -2.08 | 2.84 | 0.005635 | | 120 | 2.06 | -3.61 | 3.6 | -2.08 | 2.8375 | 0.00563 | | 130 | 2.05 | -3.6 | 3.59 | -2.08 | 2.83 | 0.005615 | | 140 | 2.04 | -3.6 | 3.58 | -2.07 | 2.8225 | 0.0056 | | 150 | 2.02 | -3.57 | 3.55 | -2.04 | 2.795 | 0.005546 | | 160 | 1.98 | -3.53 | 3.52 | -2.01 | 2.76 | 0.005476 | | 170 | 1.92 | -3.48 | 3.45 | -1.94 | 2.6975 | 0.005352 | | 180 | 1.8 | -3.36 | 3.34 | -1.8 | 2.575 | 0.005109 | | 190 | 1.55 | -3.12 | 3.1 | -1.56 | 2.3325 | 0.004628 | | 200 | 1.07 | -2.65 | 2.64 | -1.11 | 1.8675 | 0.003705 | |
| 七、结果陈述：  本实验前两个表格用来计算RH，主要通过已知条件和图像斜率得到。第三个表格呈现出螺线管上磁场分布的曲线。 |
| 八、实验总结与思考题  此次实验可以分为两个部分，一个部分测量RH，可以得出KH；而第二个部分已知KH来得到B，画出磁场分布，通过对公式的掌握和理解不难得出。  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？  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，与原先想要求得的磁场强度不同。  2.霍尔效应有哪些应用？试举一例，简述其原理。  汽车的发动机转速表，当发动机转动时材料中的载流子在外加磁场中运动，受到洛伦兹力的作用而偏移，形成垂直于电流方向的电场，测量霍尔电压，通过相应的转化，可得转速。 |
| 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 | 结果陈述实验总结10分 | 思考题  10分 | **报告整体**  **印 象** | **总分** | |  |  |  |  |  |  |  | |