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： 霍尔效应及其运用**

**学 院： 电子与信息工程学院**

**指导教师： 赵光军**

**报告人： 林子杰 组号： 19**

**学号： 2019285033 实验地点： 214**

**实验时间： 2020 年 12 月 21 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，德国物理学家克利青（ 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，克利青为此获得了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 I. 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：  **1、霍尔效应现象及物理解释**  霍尔效应从本质上讲是运动的带电粒子在磁场中受洛仑兹力作用而引起的偏转。当带电粒子（电子或空穴）被约束在固体材料中，这种偏转就导致在垂直于电流和磁场的方向上产生正负电荷的聚积，从而形成附加的横向电场。对于图１所示。  半导体样品，若在ｘ方向通以电流 ，在ｚ方向加磁场 ，则在ｙ方向即样品Ａ、Ａ′电极两侧就开始聚积异号电荷而产生相应的电场，电场的指向取决于样品的导电类型。显然，当载流子所受的横向电场力 时电荷不断聚积，电场不断加强，直到,样品两侧电荷的积累就达到平衡，即样品Ａ、Ａ′间形成了稳定的电势差（霍尔电压）。  设为霍尔电场，是载流子在电流方向上的平均漂移速度；样品的宽度为b，厚度为d，载流子浓度为n，则有：  （1－1）  因为 ，，又根据，则  （1－2）  其中称为霍尔系数，是反映材料霍尔效应强弱的重要参数。只要测出、以及知道 和d ，可按下式计算：  （1－3）  （1—4）  为霍尔元件灵敏度。根据ＲH可进一步确定以下参数。  （１）由 的符号（霍尔电压的正负）判断样品的导电类型。判别的方法是按图１所示的 和的方向（即测量中的＋，＋），若测得的＜ ０（即Ａ′的电位低于Ａ的电位），则样品属Ｎ型，反之为Ｐ型。  （２）由求载流子浓度，即n = 1/)。应该指出，这个关系式是假定所有载流子都具有相同的漂移速度得到的。严格一点，考虑载流子的速度统计分布，需引入的修正因子（可参阅黄昆、谢希德著《半导体物理学》）。  （３）结合电导率的测量，求载流子的迁移率。电导率与载流子浓度以及迁移率之间有如下关系：  （1－5）  **2、霍尔效应中的副效应及其消除方法**  **图２　在磁场中的霍尔元件**  上述推导是从理想情况出发的，实际情况要复杂得多。产生上述霍尔效应的同时还伴随产生四种副效应，使 的测量产生系统误差，如图２所示。  （１）厄廷好森效应引起的电势差。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。正负与 和B的方向有关。  （２）能斯特效应引起的电势差 。焊点１、２间接触电阻可能不同，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。与霍尔效应类似，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 的方向仅与磁场的方向有关。  （３）里纪-勒杜克效应产生的电势差 。上述热扩散电流的载流子由于速度不同，根据厄廷好森效应同样的理由，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 的方向无关。  （４）不等电势效应引起的电势差。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等势面上，只要有电流沿x方向流过，即使没有磁场B，３、４两点间也会出现电势差。的正负只与电流的方向有关，而与B的方向无关。  综上所述，在确定的磁场B和电流下，实际测出的电压是霍尔效应电压与副效应产生的附加电压的代数和。可以通过对称测量方法，即改变和磁场的方向加以消除和减小副效应的影响。在规定了电流和磁场B正、反方向后，可以测量出由下列四组不同方向的和B组合的电压。即：  ，：  ，：  ，：  ，：  然后求，，，的代数平均值得：    通过上述测量方法，虽然不能消除所有的副效应，但较小，引入的误差不大，可以忽略不计，因此霍尔效应电压可近似为  （1－6）  **3、直螺线管中的磁场分布**  1、以上分析可知，将通电的霍尔元件放置在磁场中，已知霍尔元件灵敏度，测量出和，就可以计算出所处磁场的磁感应强度B。  （1－7）  2、直螺旋管离中点x处的轴向磁感应强度理论公式：  （1－8）  式中，是磁介质的磁导率，为螺旋管的匝数，为通过螺旋管的电流，L为螺旋管的长度，是螺旋管的内径，x为离螺旋管中点的距离。  X=0时，螺旋管中点的磁感应强度: |
| **三、实验仪器**  1.TH-H型霍尔效应实验仪。  该实验仪的重要部分有电磁铁与样品架。 |
| **四、实验内容：**  (一）霍尔器件输出持性的测量  （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）保持工作电流不变，研究霍尔片输出UH和磁感应强度的关系。提示：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= B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。 |
| **五、数据记录：**  组号： 19 ；姓名 林子杰  激励磁线圈参数K=3.78KGS/A 霍尔片厚度d=0.5mm  表格1：（保持励磁电不变，（），不断增大，记录大小   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | /mA | V1/mV | V2/mV | V3/mV | V4/mV |  | B/GS | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- | | 1.00 | 2.82 | -2.77 | 2.74 | -2.85 | 2.795 |  | | 1.50 | 4.22 | -4.12 | 4.09 | -4.25 | 4.17 |  | | 2.00 | 5.64 | -5.50 | 5.47 | -5.67 | 5.57 |  | | 2.50 | 7.06 | -6.88 | 6.85 | -7.09 | 6.97 |  | | 3.00 | 8.47 | -8.24 | 8.21 | -8.50 | 8.355 |  | | 3.50 | 9.86 | -9.90 | 9.57 | -9.61 | 9.735 |  | | 4.00 | 11.27 | -10.97 | 10.94 | -10.97 | 11.0375 |  |   霍尔片工作电流Is=3.00mA 励磁电流IM=0.300A  霍尔元件灵敏度KH=168mV/(mAT)  螺线管长度18cm 线圈匝数1800  表格2：保持工作电流不变，=3.00mA，不断增加,记录大小。   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | /A | V1/mV | V2/mV | V3/mV | V4/mV |  | B/GS | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- | | 0.30 | 4.93 | -4.68 | 4.64 | -4.93 |  |  | | 0.40 | 6.51 | -6.29 | 6.25 | -6.53 |  |  | | 0.50 | 8.10 | -8.14 | 7.86 | -8.13 |  |  | | 0.60 | 9.71 | -9.75 | 9.47 | -9.74 |  |  | | 0.70 | 11.31 | -11.35 | 11.07 | -11.35 |  |  | | 0.80 | 12.91 | -12.94 | 12.67 | -12.93 |  |  |   表格3：测量螺线管轴线上磁场分布（ IM=0.500A， IS=3.00mA)。   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | X/cm | V1/mV | V2/mV | V3/mV | V4/mV |  | B/GS | | +B,+ | -B,+ | +B,- | -B,- | | 0 | -1.39 | -2.07 | -0.44 | 0.25 |  |  | | 1 | -1.07 | -2.33 | -0.73 | 0.52 |  |  | | 2 | -0.55 | -2.85 | -1.25 | 1.04 |  |  | | 3 | 0.09 | -3.49 | -1.92 | 1.67 |  |  | | 4 | 0.55 | -3.93 | -2.38 | 2.12 |  |  | | 5 | 0.78 | -4.17 | -2.58 | 2.34 |  |  | | 6 | 0.88 | -4.27 | -2.69 | 2.45 |  |  | | 7 | 0.95 | -4.33 | -2.76 | 2.52 |  |  | | 8 | 0.98 | -4.37 | -2.80 | 2.55 |  |  | | 9 | 1.00 | -4.39 | -2.82 | 2.57 |  |  | | 10 | 1.02 | -4.40 | -2.83 | 2.58 |  |  | | 11 | 1.02 | -4.40 | -2.84 | 2.58 |  |  | | 12 | 1.02 | -4.40 | -2.84 | 2.58 |  |  | | 13 | 1.01 | -4.40 | -2.83 | 2.58 |  |  | | 14 | 1.00 | -4.39 | -2.82 | 2.57 |  |  | | 15 | 0.98 | -4.37 | -2.80 | 2.55 |  |  | | 16 | 0.94 | -4.33 | -2.77 | 2.51 |  |  | | 17 | 0.88 | -4.27 | -2.70 | 2.45 |  |  | | 18 | 0.76 | -4.16 | -2.58 | 2.34 |  |  | | 19 | 0.55 | -3.94 | -2.37 | 2.11 |  |  | | 20 | 0.11 | -3.49 | -1.93 | 1.69 |  |  | | 21 | -0.53 | -2.87 | -1.29 | 1.03 |  |  | | 22 | -1.04 | -2.35 | -0.76 | 0.54 |  |  | | 23 | -1.34 | -2.08 | -0.47 | 0.25 |  |  | |
| **六、数据处理：**   1. 处理表格如下表：   励磁线圈参数K=3.78KGS/A 霍尔片厚度d=0.5mm  表格1：（保持励磁电不变，（），不断增大，记录大小  由公式：  B=   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | /mA | V1/mV | V2/mV | V3/mV | V4/mV |  | B/GS | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- | | 1.00 | 2.82 | -2.77 | 2.74 | -2.85 | 2.795 | 1.89 | | 1.50 | 4.22 | -4.12 | 4.09 | -4.25 | 4.17 | 1.89 | | 2.00 | 5.64 | -5.50 | 5.47 | -5.67 | 5.57 | 1.89 | | 2.50 | 7.06 | -6.88 | 6.85 | -7.09 | 6.97 | 1.89 | | 3.00 | 8.47 | -8.24 | 8.21 | -8.50 | 8.355 | 1.89 | | 3.50 | 9.86 | -9.90 | 9.57 | -9.61 | 9.735 | 1.89 | | 4.00 | 11.27 | -10.97 | 10.94 | -10.97 | 11.0375 | 1.89 |   霍尔片工作电流Is=3.00mA 励磁电流IM=0.300A  霍尔元件灵敏度KH=168mV/(mAT) K=3.78KGS/A  螺线管长度18cm 线圈匝数1800  表格2：保持工作电流不变，=3.00mA，不断增加,记录大小。  由公式：  B=K   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | /A | V1/mV | V2/mV | V3/mV | V4/mV |  | B/GS | | +B,+ | -B,+ | -B,- | +B,- | | 0.30 | 4.93 | -4.68 | 4.64 | -4.93 | 4.795 | 1.134 | | 0.40 | 6.51 | -6.29 | 6.25 | -6.53 | 6.395 | 1.512 | | 0.50 | 8.10 | -8.14 | 7.86 | -8.13 | 8.0575 | 1.89 | | 0.60 | 9.71 | -9.75 | 9.47 | -9.74 | 9.6675 | 2.268 | | 0.70 | 11.31 | -11.35 | 11.07 | -11.35 | 11.27 | 2.646 | | 0.80 | 12.91 | -12.94 | 12.67 | -12.93 | 12.8625 | 3.024 |   表格3：测量螺线管轴线上磁场分布（ IM=0.500A， IS=3.00mA)。KH=168mV/(mAT)  由公式：     |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | X/cm | V1/mV | V2/mV | V3/mV | V4/mV |  | B/GS | | +B,+ | -B,+ | +B,- | -B,- | | 0 | -1.39 | -2.07 | -0.44 | 0.25 | 0.3425 | 0.000676 | | 1 | -1.07 | -2.33 | -0.73 | 0.52 | 0.6275 | 0.001238 | | 2 | -0.55 | -2.85 | -1.25 | 1.04 | 1.1475 | 0.002263 | | 3 | 0.09 | -3.49 | -1.92 | 1.67 | 1.7925 | 0.003536 | | 4 | 0.55 | -3.93 | -2.38 | 2.12 | 2.245 | 0.004428 | | 5 | 0.78 | -4.17 | -2.58 | 2.34 | 2.4675 | 0.004867 | | 6 | 0.88 | -4.27 | -2.69 | 2.45 | 2.5725 | 0.005074 | | 7 | 0.95 | -4.33 | -2.76 | 2.52 | 2.64 | 0.005207 | | 8 | 0.98 | -4.37 | -2.80 | 2.55 | 2.675 | 0.005276 | | 9 | 1.00 | -4.39 | -2.82 | 2.57 | 2.695 | 0.005316 | | 10 | 1.02 | -4.40 | -2.83 | 2.58 | 2.7075 | 0.00534 | | 11 | 1.02 | -4.40 | -2.84 | 2.58 | 2.71 | 0.005345 | | 12 | 1.02 | -4.40 | -2.84 | 2.58 | 2.71 | 0.005345 | | 13 | 1.01 | -4.40 | -2.83 | 2.58 | 2.705 | 0.005335 | | 14 | 1.00 | -4.39 | -2.82 | 2.57 | 2.695 | 0.005316 | | 15 | 0.98 | -4.37 | -2.80 | 2.55 | 2.675 | 0.005276 | | 16 | 0.94 | -4.33 | -2.77 | 2.51 | 2.6375 | 0.005202 | | 17 | 0.88 | -4.27 | -2.70 | 2.45 | 2.575 | 0.005079 | | 18 | 0.76 | -4.16 | -2.58 | 2.34 | 2.46 | 0.004852 | | 19 | 0.55 | -3.94 | -2.37 | 2.11 | 2.2425 | 0.004423 | | 20 | 0.11 | -3.49 | -1.93 | 1.69 | 1.805 | 0.00356 | | 21 | -0.53 | -2.87 | -1.29 | 1.03 | 1.165 | 0.002298 | | 22 | -1.04 | -2.35 | -0.76 | 0.54 | 0.6525 | 0.001287 | | 23 | -1.34 | -2.08 | -0.47 | 0.25 | 0.365 | 0.00072 |  1. 用excel处理得出如下图拟合曲线     由UH = RH= KHIsB ,B = KIM (=0.5A，K=3.78KGS/A，1T = 1000KGS/A，d=0.5mm)  得出RH == 2.7602×0.0005/（3.78×0.5）=7.302m3⋅C-1    由UH = RH= KHIsB ,B = KIM(=3.00mA，1T=1000KGS)  得出KH = = 4.2761/0.003 =1.42 m3⋅C-1   1. 显然根据UH—Is图测出的KH与根据UH—IM图测出的RH：   RH= dKH （d为霍尔片厚度）   1. 根据表格可以知道，螺线管中心位置大约在x=11.5cm的位置，则以x=11.5cm处作为0坐标作图如下:     可以看出，螺线管在中心处的磁场相等，在接近螺线管边缘的位置磁场开始极速下降，在螺线管外部的磁场几乎为0。   1. B理论=μ0nA=4π×10-7××0.3 = 3.768T   由图可知中心处的磁场强度为5.345T  误差值Δ=**1.577T** |
| **七、结果陈述：**   1. 根据实验测出的KH值为0.00067 m3⋅C-1，变量为Is或者IM测出的结果相差不大,实验误差较小。 2. 由实验测出螺线管中心处磁场强度为5.345T，通过计算得到的螺线管中心处磁场强度理论值为3.768T，两者误差较大。   误差分析：  1.实验存在电压表读数精准度，  2.电流表读数精准度，  3.实验计算中省略的EE等系统误差。  实验可以通过对称测量法消除不必要的附加电动势。 |
| **八、思考与问答题：**  1、若磁感应强度B和霍尔器件平面不完全正交，测出的霍尔系数比实际值小。磁感应强度B和霍尔器件平面不完全正交会导致霍尔片的电磁感应强度变小，从而导致测量到的霍尔电压VH变小，由RH=计算出来的霍尔系数会变小。  2、电流通过金属箔片时，若在垂直于电流的方向施加磁场，则金属箔片两侧面会出现横向电位差。而半导体中的霍尔效应比金属箔片中更为明显，因此多选用半导体材料制作。霍尔元件越薄，灵敏度系数越大，通入同样电流时，霍尔电压会更大，这样才能测量更准确。 |
| 指导教师批阅意见： |
| 成绩评定：     |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **预习**  （20分） | **操作及记录**  （40分） | 报告40分 | | **报告整体**  **印 象** | **总分** | | 数据处理与结果陈述 | 思考题 | |  |  |  |  |  |  | |