**变温霍尔效应**

班级 22级 计科2班 姓名 黄鸿展 实验号 9

实验日期 2023年 11 月 27 日 第14周 星期 一 晚上 指导老师 张伶俐

1. **实验目的**

1 了解霍尔效应的原理以及霍尔器件的有关参数；2 通过测量霍尔电压来计算霍尔系数；3 通过变温霍尔实验，得到霍尔参数的温度特性曲线；4 通过数据处理计算出不同温度下的霍尔灵敏度、霍尔系数，并计算禁带宽度。

1. **实验仪器**

变温霍尔效应实验仪（变温霍尔效应实验平台，变温霍尔效应测试仪、COC-PS通用电源、COC-HL-Z通用霍尔转接盒）。

1. 实验原理

**1 霍尔效应**

运动的带电粒子在磁场中受洛仑兹力的作用而偏转。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电流和磁场的方向上产生正负电荷在不同侧的聚积，从而形成附加的横向电场。

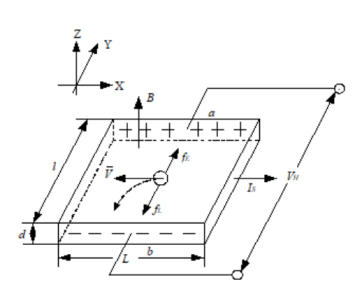


图 1-1 洛伦兹力示意图

如图1-1所示，磁场*B*位于Z的正向，与之垂直的半导体薄片上X正向通以工作电流*IS*，假设载流子为电子（N型半导体材料），它沿着与电流*IS*相反的X负向运动。

洛伦兹力用矢量式表示为：

 (1)

式中*e*为电子电量，为电子运动平均速度，*B*为磁感应强度。

由于洛伦兹力的作用，电子即向图中虚线箭头所指的位于Y轴负方向的a侧偏转，并使b侧积累电子，而相对的a侧形成正电荷积累。与此同时运动的电子还受到由于两种积累的异种电荷形成的反向电场力的作用。随着电荷积累量的增加，增大，当两力大小相等（方向相反）时，，则电子积累便达到动态平衡。这时在a、b两端面之间建立的电场称为霍尔电场*EH*，相应的电势差称为霍尔电势*VH*。

电场作用于电子的力为：

 (2)

当达到动态平衡时：

 (3)

设霍尔元件宽度为*l*，厚度为*d*，载流子浓度为*n*，则霍尔元件的工作电流为：

 (4)

由（3）、（4）两式可得：

 (5)

即霍尔电压与、的乘积成正比，与霍尔元件的厚度成反比。

取霍尔系数，则有：

 (6)

对于已知的霍尔元件，其霍尔元件灵敏度为：

 (7)

由于电导率与载流子浓度以及载流子迁移率之间关系如下：

 (8)

故在得到霍尔系数后，只需测得其电导率或电阻率，即可求出载流子迁移率为：

 (9)

**2 用对称测量法消除霍尔效应相关副效应**

测量霍尔电势时，不可避免地会产生一些副效应，这些副效应有：

**①不等位电势**

由于制作时，两个霍尔电极不可能绝对对称地焊在霍尔元件两侧（图 2a）、霍尔元件电阻率不均匀、工作电流极的端面接触不良（图 2b）都可能造成C、D两极不处在同一等位面上，此时虽未加磁场，但C、D间存在电势差，称为不等位电势，，是C、D两极间的不等位电阻。由此可见，在确定的情况下，与的大小成正比，且其正负随的方向改变而改变。

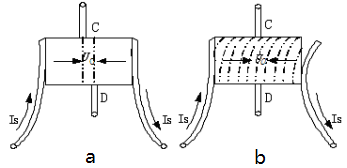


图 1-2 霍尔元件

**②爱廷豪森（Eting hausen）效应**

当霍尔元件的X方向通以工作电流，Z方向加磁场B时，由于霍尔元件内的载流子速度服从统计分布，有快有慢。在达到动态平衡时，在磁场的作用下慢速与快速的载流子将在洛伦兹力和霍尔电场的共同作用下，沿Y轴分别向相反的两侧偏转，这些载流子的动能将转化为热能，使两侧的温度不同，因而造成Y方向上两侧出现温差（）。

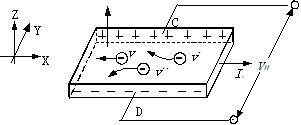


图 1-3 爱廷豪森效应

因为霍尔电极和元件两者材料不同，电极和元件之间形成温差电偶，这一温差在C、D间产生温差电动势，。

这一效应称爱廷豪森效应，的大小及正负符号与、的大小和方向有关，跟与、的关系相同，所以不能在测量中消除。

**③伦斯脱（Nernst）效应**

由于工作电流的两个电极与霍尔元件的接触电阻不同，工作电流在两电极处将产生不同的焦耳热，引起工作电流两极间的温差电动势，此电动势又产生温差电流（称为热电流），热电流在磁场作用下将发生偏转，结果在Y方向上产生附加的电势差且，这一效应称为伦斯脱效应，由上式可知的符号只与的方向有关。

**④里纪-勒杜克（Righi-Leduc）效应**

如③所述霍尔元件在X方向有温度梯度，引起载流子沿梯度方向扩散而有热电流通过霍尔元件，在此过程中载流子受Z方向的磁场B作用，在Y方向引起类似爱廷豪森效应的温差，由此产生的电势差，其符号与的方向有关，与的方向无关。

在确定的磁场和工作电流下，实际测出的电压是、、、和这5种电势差的代数和。上述5种电势差与和方向的关系如下：

表 1-1 电势差与和方向的关系

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *VH* | | *V0* | | *VE* | | *VN* | | *VR* | |
| *B* | *IS* | *B* | *IS* | *B* | *IS* | *B* | *IS* | *B* | *IS* |
| 有关 | 有关 | 无关 | 有关 | 有关 | 有关 | 有关 | 无关 | 有关 | 无关 |

为了减少和消除以上效应引起的附加电势差，利用这些附加电势差与霍尔元件工作电流*IS*、磁场*B*（即相应的励磁电流*I*M）的关系，采用对称（交换）测量法测量C、D间电势差：

当时  **

当时  **

当时  **

当时 **

对以上四式作如下运算：

 (10)

可见，除爱廷豪森效应以外的其他副效应产生的电势差会全部消除，因爱廷豪森效应所产生的电势差*VE*的符号和霍尔电势*VH*的符号，与*IS*及*B*的方向关系相同，故无法消除，但在非大电流、非强磁场下，*VH>>VE*，因而*VE*可以忽略不计，故有：

 (11)

**3 半导体的禁带宽度**

对于电子和空穴混合导电的半导体，在只考虑晶格散射及弱磁场的条件下，半导体的霍尔系数为：

 (12)

其中为电子电荷，对于本征导电区的半导体，，则：

 (13)

根据公式（13）则可得：

 (14)

在高温时，（）项对的影响远小于的影响，取对数可得：

 (15)

根据本征区的实验结果，做出的曲线，通过最小二乘拟合得到禁带宽度：

 (16)

1. **实验步骤**

1 实验准备

1)检查实验平台,测试仪,转接盒,电源之间的连接线是否接触良好。

2)打开电源开关。确认(或设置)电源的电压为30.50V，电流(励磁电流)为0.3A，按下启动键；

3)确认测试仪前面板左侧的控温开关状态为“关”，打开测试仪电源，进入主界面。

2 实验步骤

1)将霍尔转接盒上的三个换向开关分别设置至“霍尔模式”、“正向”、“正向”状态。

2)在测试仪主菜单选择“温度设置”，设置所需的实验温度。

3)选择“霍尔/磁阻效应测量”返回到实验测量界面, 调整测试仪面板右侧的旋钮将样品的工作电流预设为3.00mA。

4)将转接盒的励磁电流方向开关分别设在“正向”和“反向”, 分别记录和。

5)按下表调节样品的工作电流的大小,依次改变工作、励磁电流的方向,测量并记录电压。

6)设置不同的温度(25,28,31,34摄氏度),重复以上实验步骤。

1. **数据记录，数据计算及误差分析**

由得,由得C1+Eg/2kT

表 1-2 25℃时电压随电流的变化

工作温度：25℃ 励磁电流：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| (正，正) | (反，正) | (反，反) | (正，反) |
| 2.0 | 266.23 | -265.98 | 264.23 | -264.05 | 265.1225 |
| 2.5 | 327.68 | -327.58 | 324.56 | -324.50 | 326.08 |
| 3.0 | 386.05 | -385.98 | 382.47 | -381.98 | 384.12 |
| 3.5 | 439.43 | -439.63 | 435.60 | -436.15 | 437.7025 |
| 4.0 | 492.95 | -492.49 | 487.42 | -487.56 | 490.105 |

112.32,T1=298.15K

表 1-3 28℃时电压随电流的变化

工作温度：28℃ 励磁电流：0.300A

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| (正，正) | (反，正) | (反，反) | (正，反) |
| 2.0 | 252.76 | -252.92 | 250.82 | -250.86 | 251.84 |
| 2.5 | 311.65 | -311.89 | 309.07 | -309.15 | 310.44 |
| 3.0 | 368.94 | -369.34 | 366.14 | -366.20 | 367.655 |
| 3.5 | 423.64 | -423.67 | 418.95 | -418.92 | 421.295 |
| 4.0 | 476.90 | -476.62 | 470.85 | -470.57 | 473.735 |

110.93,T2=301.15K

表 1-4 31℃时电压随电流的变化

工作温度：31℃ 励磁电流：0.300A

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| (正，正) | (反，正) | (反，反) | (正，反) |
| 2.0 | 242.76 | -242.72 | 240.25 | -240.76 | 241.6225 |
| 2.5 | 299.41 | -299.26 | 295.94 | -295.86 | 297.6175 |
| 3.0 | 353.45 | -353.71 | 349.85 | -349.80 | 351.7025 |
| 3.5 | 404.23 | -404.20 | 400.21 | -400.10 | 402.185 |
| 4.0 | 453.78 | -453.73 | 448.77 | -448.69 | 451.2425 |

104.76,T3=304.15K

表 1-5 34℃时电压随电流的变化

工作温度：34℃ 励磁电流：0.300A

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| (正，正) | (反，正) | (反，反) | (正，反) |
| 2.0 | 228.46 | -228.40 | 226.05 | -225.97 | 227.22 |
| 2.5 | 282.21 | -282.14 | 279.25 | -279.12 | 280.68 |
| 3.0 | 334.32 | -334.39 | 331.41 | -331.43 | 332.8875 |
| 3.5 | 384.94 | -385.00 | 381.21 | -381.10 | 383.0625 |
| 4.0 | 432.76 | -432.70 | 428.36 | -428.96 | 430.695 |

101.87,T4=307.15K

得到Eg=0.184eV

（相关参数：玻尔兹曼常数：，电子电荷，绝对零度，常温下锑化铟禁带宽度：）

最后通过最小二乘法算出Eg=0.184eV，与常温下禁带宽度Eg0=0.18eV相对误差：

Δ==2.1%，与常温下禁带宽度相差不大。

1. 思考题及实验感想

Δ==2.1%，与常温下禁带宽度相差不大。但线性拟合效果较差，可能在测量过程中没有严格按照电流的改变量记录数据，在测量过程中没有保持电流的稳定，导致最后拟合效果不佳。

**实验 用三线摆测刚体转动惯量**

班级 22级 计科2班 姓名 黄鸿展 实验号 9

实验日期 2023年 11 月 28 日 第14周 星期 一 晚上 指导老师 张伶俐

1. **实验目的**

1、了解三线摆原理。2、学会用累积放大法测量周期运动的周期。3、掌握用三线摆法测定刚体的转动惯量。

1. **实验仪器**

三线摆实验装置、圆环圆盘及圆柱、刻度尺、通用计时计数器

1. **实验原理**

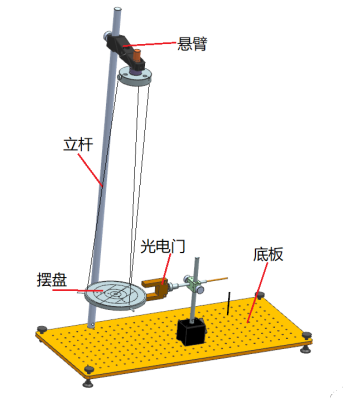
转动惯量(Moment of Inertia)，又称质量惯性矩，简称惯距，是经典力学中物体绕轴转动时惯性的量度，常用用字母I或J表示。转动惯量的SI单位为kg·m²。对于一个质点，I=mr²，其中，m是其质量，r是质点和转轴的垂直距离。

和线性动力学中的质量相类似，在旋转动力学中，转动惯量的角色相当于物体旋转运动的惯性，可用于建立角动量、角速度、力矩和角加速度等数个量之间的关系。转动惯量的表达式为

若刚体的质量是连续分布的，则转动惯量的计算公式可写成

(式中表示刚体的某个质元的质量，r表示该质元到转轴的垂直距离,ρ表示该处的密度，求和号（或积分号）遍及整个刚体。)

对于规则物体，其转动惯量可以按照相应公式直接计算；对于外形复杂和质量分布不均的物体，转动惯量可通过实验方法来测定。实验室中最常见的转动惯量测试方法为三线摆法。



三线摆装置结构如图1所示，下悬盘A用3条等长的悬线挂在下悬盘B的下方，上下两个悬盘的3个悬线点分别构成内接圆周的等边三角形，上悬盘可绕支架上的转轴自由转动。下悬盘摆动时，如果上下悬盘都处于水平状态，并且下悬盘扭转时没有晃动，那么下悬盘的质心将沿转轴 竖直升降，这一过程下悬盘（包括放置在下悬盘上面的刚体）的势能与动能相互转化。根据能量守恒定律和刚体转动定律均可以导出物体绕中心轴的转动惯量为：

在上式中，m0为下盘的质量；r1、r2分别为上下悬点离各自圆盘中心的距离；H为平衡时上下盘间的垂直距离；T0为下盘作简谐运动的周期，g为重力加速度

将质量为m的待测试物体放在下盘上，并使待测刚体的转轴与两个圆盘的转轴重合。测出此时摆运动周期T1和上下圆盘间的垂直距离H。同理可求得待测刚体和下圆盘对中心转轴的总转动惯量为：

待测物体绕中心轴的转动惯量为：

因此，通过测量长度、质量和时间，便可求出刚体绕转轴的转动惯量。

**实验内容及步骤**

1. 调整三线摆装置: 将水准器放在多孔底板上，并调节底板上的调节螺钉，使底板水平，用测量两平行板距离H。
2. 将计时计数器设置为双次计数，调整光电门位置，使下圆盘边上的挡光杆能自由往返槽口。

3.在下圆盘中心处安装圆环样件，测量摆动周期T1。在下圆盘中心处安装圆盘样件，测量摆动周期T2

4.将三个小圆柱体对称放置在下圆盘上最外侧小孔，测量摆动周期Tx1，将三个小圆柱体对称放置在下圆盘上最里侧小孔，测量摆动周期Tx2，验证平行轴定理

**五、数据记录，数据计算及误差分析**

*m*0 = 600g H = 67.0mm R = 80mm r = 30mm 圆环质量m1=229.3g 圆盘质量m2=224.5g 圆柱质量m=58.5g，d2=20.0mm，d1=60.0mm

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测量组(时间) | 悬盘T | 悬盘+圆环T1 | 悬盘+圆盘T2 |
| 1 | 160.726 | 152.137 | 149.298 |
| 2 | 160.928 | 152.174 | 149.334 |
| 平均T(每个周期) | 2.010 | 1.902 | 1.866 |

*(kg·m²)*

2 *(kg·m²)*

*(kg·m²)*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测量组(时间) | 悬盘+外圆柱Tx1 | 悬盘+内圆柱Tx2 |
| 1 | 161.287 | 144.469 |
| 2 | 161.585 | 144.599 |
| 平均T（每周期） | 2.018 | 1.807 |

86 *(kg·m²)*

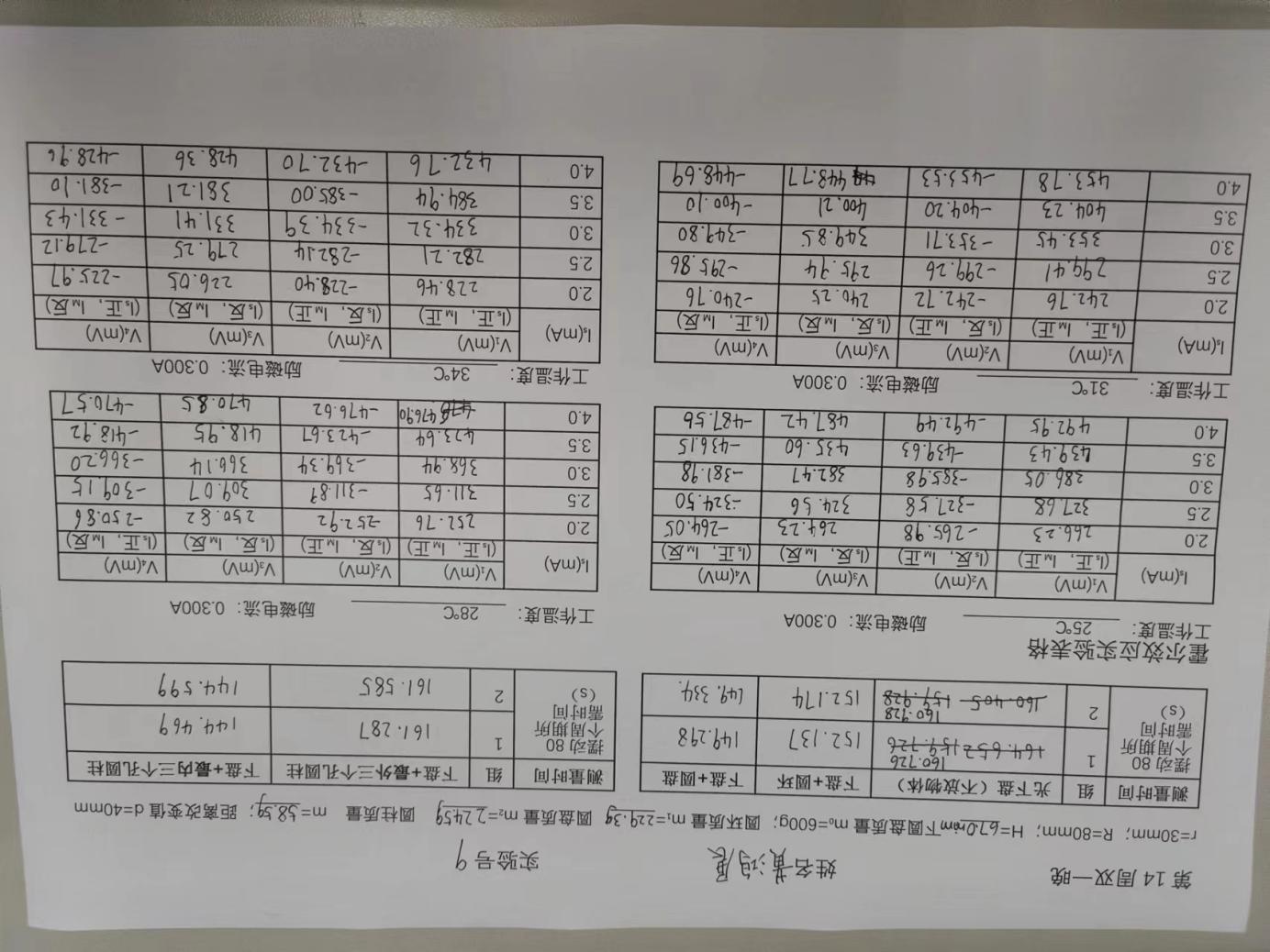
130 *(kg·m²)*

，3m(d1²-d2²)=0.005616,则平行轴定理近似成立。

**六、实验结论**

由实验结果可知，实验数据两组之间的误差很小，能证明测量结果的准确性。同时最后的实验结果满足=3m(d1²-d2²)，说明平行轴定理成立，这一定程度上也验证了实验结果的正确性。但是实验前测量时需要仔细调整测量仪与三线摆的相对位置，防止两次测量的周期均不准，要满足三线摆转动一个周期能在测量仪装置内被检测两次。

**附原始数据图片**

****