

武汉大学物理科学与技术学院
 物理实验报告

物理学院 物理专业 2024年 5月20日

实验名称	变温霍尔效应						
姓 名	郑非凡	年 级	大三	学 号	2021302022016	成 绩	
实验报告内容： 一、实验目的 二、主要实验仪器 三、实验原理 四、实验内容与步骤 五、数据表格 六、数据处理及结果表达 七、实验结果分析 八、习题							
<p>一、实验目的</p> <ol style="list-style-type: none"> 通过实验了解霍尔效应的原理以及霍尔器件的有关参数 通过测量霍尔电压计算霍尔系数 通过变温霍尔实验，得到霍尔参数的温 度特性曲线 通过数据处理计算出 不同温度下的霍尔灵敏度、霍尔系数、 载流子浓度 ，并计算禁带宽度 <p>二、主要实验仪器</p> <p>COC-BWHL变温霍尔效应实验平台、COC-BWHL-C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。</p> <p>三、实验原理</p> <p>没有人工掺杂的半导体称为本征半导体，本征半导体中的原子周期性有规则排列，利用自由电子近似可知电子的能级成准连续的能带。束缚在原子周围化学键上的电子能量较低，它们所形成的能级构成价带；脱离原子束缚后在晶体中自由运动的电子能量较高，构成导带，导带和价带之间存在的能带隙称为禁带。绝对零度时价带为满带，导带上面没有电子。温度升高，价带电子热激发到导带，原来的位置产生一个空穴。半导体导电性是由导带中的自由电子和价带中的空穴两种载流子共同导电导致的，对于本征半导体，两种载流子的浓度总是相等的，而且取决于外界的温度。</p> <p>为了改变半导体的性质可以进行人工掺杂，不同的掺杂会改变半导体中电子或空穴的浓度。若所掺杂质的价态大于基质的价态，在和基质原子键合时就会多余出电子，这种电子很容易在外界能量的作用下脱离原子的束缚成为自由运动的电子，所以它的能级处在禁带中靠近导带底的位置，这种杂质称为施主杂质。掺杂施主杂志的半导体会呈现电子导电的性质，称为N型半导体。而若掺杂的价态少于基质的价态，这种杂志称为受主杂质，容易被离化，使价带中出现空穴，这样的半导体称为P型半导体，主要是空穴导电。</p> <p>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。这个效应就称为霍尔效应。霍尔电压可以用下面的公式计算：</p> $V_H = \frac{1}{ne} \cdot \frac{I_s B}{d}$ <p>对于一个已知的霍尔元件，其霍尔元件灵敏度我们是知道的：</p>							

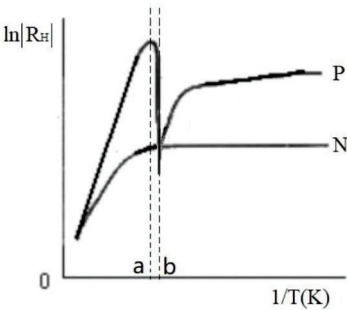
$$K_H = \frac{V_H}{I_s B} = \frac{R_H}{d} = \frac{1}{ned}$$

但是在测量霍尔电压是会存在一些负效应形成测量的系统误差，主要有不等位电势差和Eting hau-sen效应、Nernst效应以及Righi-Leduc效应。除了Eting hausen效应，其它效应都可以通过测量不同磁场方向和电流方向的电势差取平均值之后消除，而Eting hausen效应在实验条件下的非大电流、非强磁场下，是可以忽略不计的。

半导体载流子浓度在本征导电区和温度的公式大致可以用下面的式子描述：

$$n_i = n_n = n_p = (N_c N_v)^{\frac{1}{2}} \exp \left(-\frac{Ec - Ev}{2k_B T} \right) = K' T^{\frac{3}{2}} \exp \left(-\frac{E_g}{2k_B T} \right)$$

两种半导体霍尔系数和温度的关系大致都可以用下面的图片描述：



测量本征导电区的曲线，也就是上面曲线的直线部分，可以用下面的公式拟合得到禁带宽度：

$$E_g = \frac{2k_B \Delta \ln(|R_H|)}{\Delta(1/T)}$$

四、实验内容与步骤

- 按照要求进行接线：测试探头尾端四芯线接“信号输入”，六芯线接测试仪背面“信号采集”；双头四芯线连接实验品平台和测试仪的“控温”插孔，双头二芯线连接两者“风扇”插孔；通用电源接入霍尔转接盒的“励磁电路控制区”的“I_w”电流输入，实验平台接入“I_w”电流输出；测试仪“I_s”插孔与霍尔转接盒的“霍尔传感器控制区”的“I_s电流输入“相连，测试仪前面板“V_H/V_s”与霍尔转接盒的“霍尔传感器控制区”的“V_H/V_s电压输出”相连。连接好线路后打开电源进入主界面。
- 将霍尔转接盒上的三个换向开关设置为“V_H”、“正向”、“正向”。在主菜单选择温度设置，并把控温模式改成降温，设置目标温度为10摄氏度。
- 选择“霍尔/磁阻效应测量”，将工作电流设置为2毫安。将通用电源的电压调节旋钮旋转最大，然后电流调节到0.3安培。观察显示屏中“磁感应强度”栏内读数，将霍尔转接盒励磁电路控制区的换向开关切至“反向”，观察励磁电流反向后的读数。反复切换开关，记录最大和最小的磁感应强度B1，B2。
- 等待腔内温度稳定，稳定之后每隔0.4mA记录一组数据，注意在读数过程中要通过切换控制开关对工作电流和励磁电流进行幻想。如果与磁感应强度与之前测量的最大最小磁感应强度差别过大（大于5Gs），就要来回切换几次开关消除剩磁。而且注意每次改变工作电流之后都要重新等待温度稳定才能开始计数。
- 做出霍尔电势差随工作电流变化的曲线图，利用最小二乘法拟合求出斜率，计算样品在当前工作温度下的霍尔系数、载流子浓度和霍尔灵敏度。（取d=1.25mm，B=(B1-B2)/2）
- 对0摄氏度重新测量一遍然后改成升温模式，对30摄氏度再测量一遍。
- 取得前面三组数据后，做出ln |R_H| ~ 1/T的曲线，进行拟合后利用前文公式计算出此温度区域内的禁带宽度。

五、数据表格

下面分别为 10℃, 0℃ 和 30℃ 的实验数据

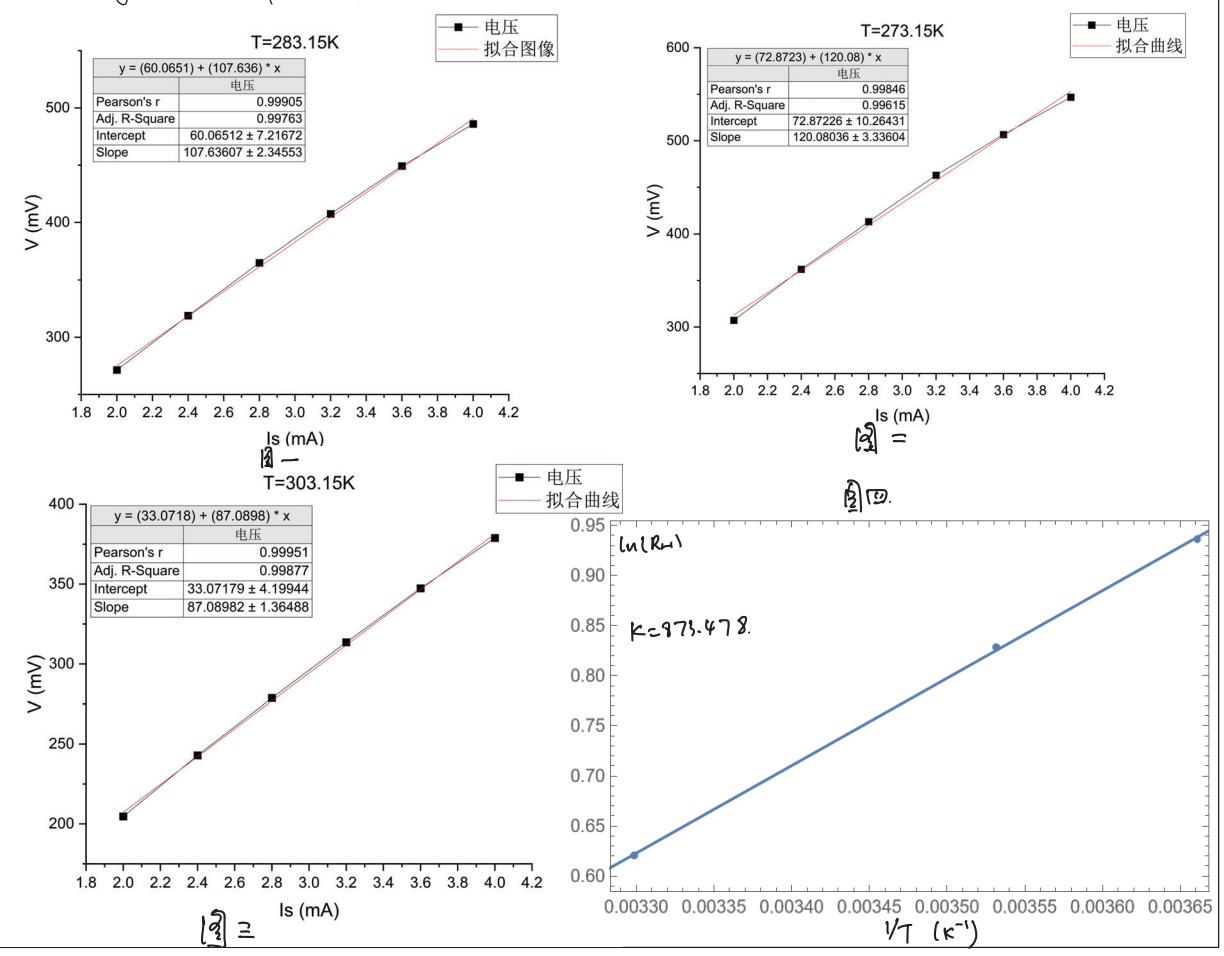
Is	V1	V2	V3	V4	V	B
mA	mV	mV	mV	mV	mV	Gs
电流					电压	磁场
1.6+I*0.4					(Col(B)-Col(C)+Col(D)-Col(E))/4	
2	272.69	-272.61	270.11	-270	271.3525	602
2.4	318.63	-318.51	319.2	-319	318.835	-575
2.8	365.6	-365.45	364.43	-364.25	364.9325	
3.2	408.06	-407.91	407.14	-406.88	407.4975	
3.6	452.18	-452.02	446.55	-446.26	449.2525	
4	488.72	-488.49	483.5	-483.17	485.97	
Is	V1	V2	V3	V4	V	B
mA	mV	mV	mV	mV	mV	Gs
电流					电压	磁场
1.6+I*0.4					(Col(B)-Col(C)+Col(D)-Col(E))/4	
2	307.41	-307.4	307.22	-307.12	307.2875	600
2.4	363.32	-363.23	361.14	-360.9	362.1475	-577
2.8	413.57	-413.42	412.39	-412.16	412.885	
3.2	466.05	-465.02	460.85	-459.81	462.9325	
3.6	510.6	-510.33	502.92	-502.51	506.59	
4	551.18	-550.93	542.86	-542.38	546.8375	
Is	V1	V2	V3	V4	V	B
mA	mV	mV	mV	mV	mV	Gs
电流					电压	磁场
1.6+I*0.4					(Col(B)-Col(C)+Col(D)-Col(E))/4	
2	204.92	-205.15	204.44	-204.07	204.645	601
2.4	243.69	-243.6	242.26	-242.16	242.9275	-572
2.8	279.46	-279.58	277.96	-277.91	278.7275	
3.2	314.33	-314.24	312.8	-312.68	313.5125	
3.6	348.41	-348.27	346.41	-346.3	347.3475	
4	380.3	-380.14	377.61	-377.5	378.8875	

$B = \frac{B_1 - B_2}{2} = 588.5 \text{Gs}$
 $T = 283.15 \text{K}$

$B = \frac{B_1 - B_2}{2} = 588.5 \text{Gs}$
 $T = 273.15 \text{K}$

$B = \frac{B_1 - B_2}{2} = 586.5 \text{Gs}$
 $T = 303.15 \text{K}$

六、数据处理及结果表达。
 利用 origin 进行直线拟合有：



这三条曲线拟合结果 R 均大于 0.995, 线性性能很好. 利用斜率计算得到.

$T(\text{K})$	$K_H(\text{C/g})$	$R_H(\text{m}^3/\text{C})$	$n(\text{m}^{-3})$
273.15	0.2040 ± 0.0057	2.55	2.448×10^{18}
283.15	0.1829 ± 0.0040	2.29	2.730×10^{18}
303.15	0.1485 ± 0.0023	1.86	3.363×10^{18}

利用右表绘制得到 $\ln|R_H| - \frac{1}{T}$ 曲线如图 4 所示.

$\frac{1}{T} - \ln R_H$ 拟合结果为 $\ln R_H = 873.478 \cdot \frac{1}{T} - 2.25959$. 拟合 $R^2 = 0.999677$. 拟合结果十分完美. 利用 $E_g = \frac{2k_B \Delta(\ln R_H)}{\Delta(1/T)}$ 计算有: $E_g = 0.151 \text{eV}$.

七. 实验结果分析.

本次实验, 利用线性拟合, 验证了霍尔效应的正确性, 且计算出了不同温度下的 K_H , R_H 和 n . 实验发现 $\ln R_H$ 与 $\frac{1}{T}$ 有良好的线性关系, 与理论分析相符. 而且, 计算得到半导体禁带宽度为 0.151 eV. 与理论结果十分接近.

八. 习题.

- ① 用热激发公式计算禁带宽度. 只在本征导电区适用
- ② 热电势效应带来的误差可通过控制样品温度来减小影响. 只要控制样品温度一定, 待样品达到热平衡后再进行测量.

教师评语

指导教师:

年 月 日

武汉大学物理实验数据记录单

学院: 物理科学与 专业: 物理学类 姓名: 丁鑫/郑凡 学号: 20213022018/2018

实验名称: 变温霍尔效应

实验仪器台号: _____

10°C	602Gs		-575Gs	
	$I_s(\text{mA})$	$V_1(\text{mV})$	$V_2(\text{mV})$	$V_3(\text{mV})$
	2	272.69	-272.61	270.11
	2.4	318.63	-318.51	319.20
	3.2 2.8	365.60	-365.45	364.43
	3.6 3.2	408.06	-407.91	407.14
	4.0 3.6	452.18	-452.02	446.55
	4.0	488.72	-488.49	483.50

0°C	600Gs		-577Gs	
	$I_s(\text{mA})$	$V_1(\text{mV})$	$V_2(\text{mV})$	$V_3(\text{mV})$
	2	307.41	-307.40	307.22
	2.4	363.32	-363.23	361.14
	3.2 2.8	413.57	-413.42	412.39
	3.2	466.05	-465.02	460.85
	3.6	510.60	-510.33	502.92
	4.0	551.18	-550.93	542.86

指导教师: 21

年 5 月 7 日

-572 Gs

$I_S(\text{mA})$	$V_1(\text{mV})$	$V_2(\text{mV})$	$V_3(\text{mV})$	$V_4(\text{mV})$
2	204.92	-205.15	204.44	-204.07
2.4	243.69	-243.60	242.26	-242.16
2.8	279.46	-279.58	277.96	-277.91
3.2	314.33	-314.24	312.80	-312.68
3.6	348.41	-348.27	346.41	-346.30
4.0	380.30	-380.14	377.61	-377.50