

测定高温超导材料的转变温度 实验报告

姓名：吴晨聪 学号：2022010311 实验日期：2024年4月23日 实验台号：9

一. 实验目的

- 了解霍尔效应及其副效应的产生原理；
- 掌握霍尔系数的测量方法，学习消除霍尔副效应的实验方法；
- 研究半导体材料的电阻值随磁场的变化规律

二. 实验仪器

- 霍尔效应测试仪（含有恒流电源、数显电压表、励磁电流源等）；
- 霍尔效应实验仪（含有三组换向开关、电磁铁、霍尔片、磁电阻等）；
- 万用表，若干导线。

三. 数据处理

(1) 测量霍尔片的参数：

实验前测量得到霍尔片尺寸：长 $l = 300\mu m$ ，高 $b = 100\mu m$ ，厚 $d = 3\mu m$

激励电流 $I_M = 500mA$ ，对应磁场 $B = 129.8mT$ ，霍尔片所在相对位置： $x = 26.7mm$ ， $y = 13.0mm$

不等位效应 U_0 的确定：

$$U = f(U_H, U_E, U_N, U_R, U_0, U_S)$$

式中 U_E 很小可忽略，故得

$$U = f(U_H, U_N, U_R, U_0, U_S) = \sum (U_H, U_N, U_R, U_0, U_S)$$

已知 U_H 正负与 I 、 B 方向有关， U_N 、 U_R 正负只与 B 方向有关， U_0 正负只与 I 方向有关，而 U_S 与 I 和 B 皆无关。

设 $+B$ 和 $+I$ 条件下各电压均取正值，得

$$U_1(+B, +I) = f(U_H, U_N, U_R, U_0, U_S)$$

$$U_2(+B,-I)=f(-U_H,U_N,U_R,-U_0,U_S)$$

$$U_3(-B,-I)=f(U_H,-U_N,-U_R,-U_0,U_S)$$

$$U_4(-B,+I)=f(-U_H,-U_N,-U_R,U_0,U_S)$$

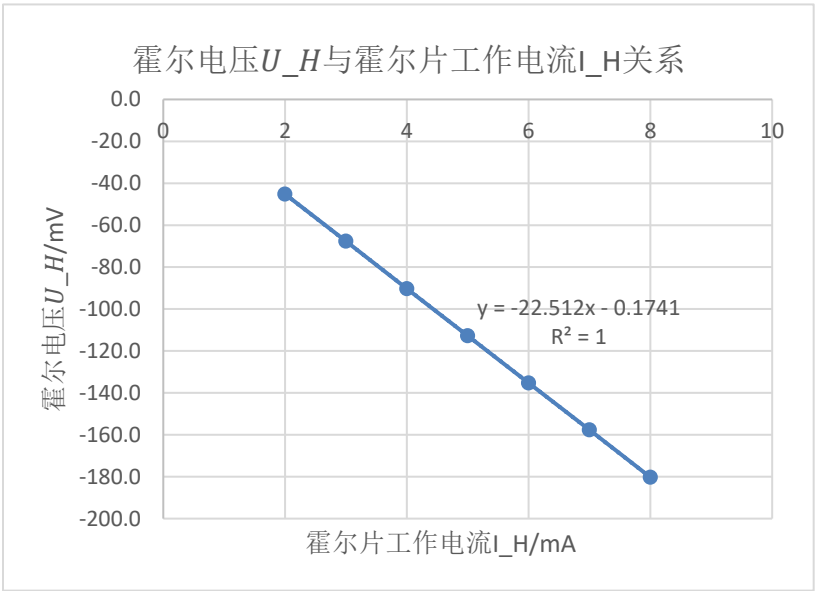
所以

$$U_H=\frac{1}{4}(U_1+U_3-U_2-U_4)$$

$$U_0=\frac{1}{4}(U_1-U_2-U_3+U_4)$$

实验数据如下：

I_H/mA	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
$U_1(+B,+I)/mV$	-43.9	-65.9	-88.1	-110.1	-132.2	-154.1	-176.3
$U_2(+B,-I)/mV$	43.8	65.6	87.4	109.1	130.6	151.9	173.3
$U_3(-B,-I)/mV$	-46.6	-69.7	-93.2	-116.5	-140.0	-163.5	-187.4
$U_4(-B,+I)/mV$	46.4	69.4	92.5	115.4	138.3	161.2	184.1
U_H/mV	-45.2	-67.7	-90.3	-112.8	-135.3	-157.7	-180.3



用最小二乘法拟合得到 U_H 与 I_H 的关系是 $U_H = -22.512I_H - 0.1741$ ，且相关系数 $R^2 = 1$ ，说明二者线性关系符合得很好，下面根据此关系式来计算其他参数：

由 $U_H = R_H \frac{IB}{d} = K_H IB$ ，可得直线的斜率 $k = R_H \frac{B}{d} = K_H B$ ，那么

霍尔片的灵敏度

$$K_H = \frac{k}{B} = \frac{22.512}{129.8 \times 10^{-3}} = 173.436 \text{ m}^2/\text{C}$$

霍尔系数

$$R_H = \frac{kd}{B} = \frac{22.512 \times 3 \times 10^{-6}}{129.8 \times 10^{-3}} = 5.203 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{C}$$

载流子浓度

$$n = \frac{1}{eR_H} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 5.203 \times 10^{-4}} = 1.201 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$$

计算不确定度:

$$\Delta k = k \sqrt{\frac{\frac{1}{R^2} - 1}{n - 2}} = 22.512 \sqrt{\frac{1 \div 0.9999986173 - 1}{7 - 2}} \approx 0.0118 \Omega$$

$$\Delta R_H = \frac{d}{B} \Delta k = \frac{3 \times 10^{-6}}{129.8 \times 10^{-3}} \times 0.0118 = 2.7273 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}/\text{T}$$

$$\Delta k_H = \frac{1}{B} \Delta k = \frac{1}{129.8 \times 10^{-3}} \times 0.0118 \approx 0.0909 \Omega/\text{T}$$

$$\Delta n = \frac{\Delta R_H}{R_H^2 e} = \frac{2.7273 \times 10^{-7}}{(5.203 \times 10^{-4})^2 \times 1.6022 \times 10^{-19}} = 6.2879 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$$

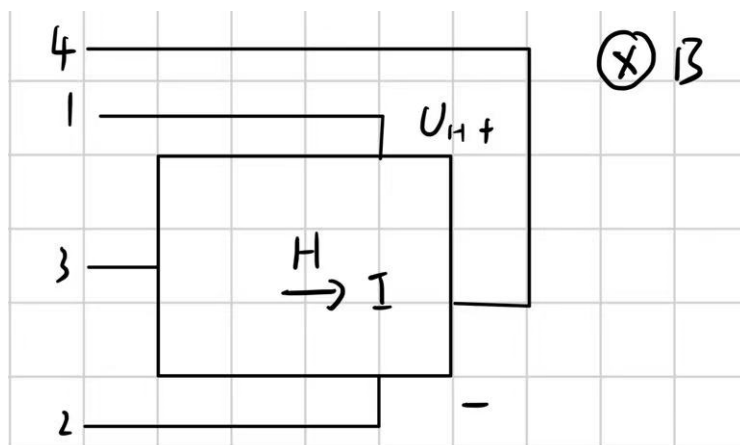
综上, 霍尔片的有关参数数值为:

$$R_H = (5.203 \pm 0.00273) \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}/\text{T}$$

$$K_H = 173.436 \pm 0.0909 \Omega/\text{T}$$

$$n = (1.201 \pm 0.00628) \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$$

(2) 霍尔片的载流子类型:



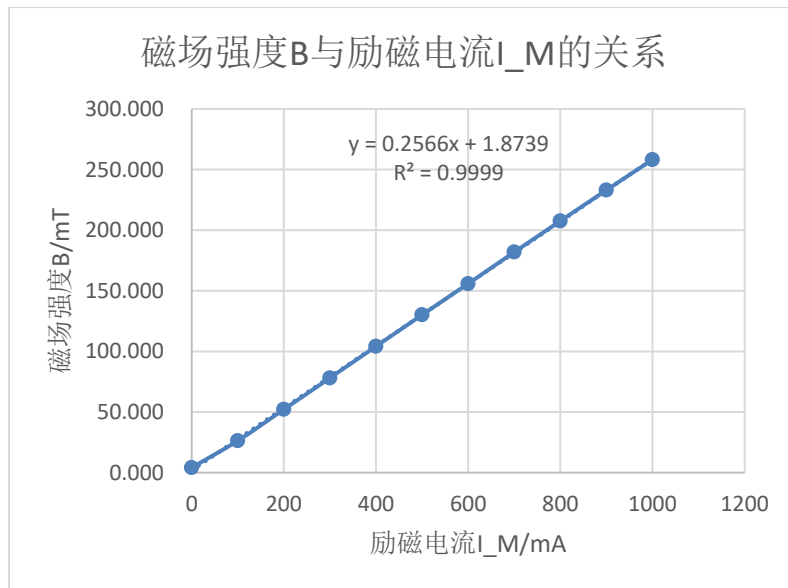
实验中磁场方向垂直纸面向内，电流方向由3到4，载流子所受洛伦兹力向上，从而在上方聚集，而测得电压 U_H 小于0，因此，载流子类型为电子。

(3) 标定电磁铁磁隙间磁场：

霍尔片工作电流 $I_H = 4.00 \text{ mA}$

用公式 $B = \frac{U_H}{K_H I}$ 计算出磁场强度，测得实验数据如下：

I_M/mA	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$U_1(B, I)/\text{mV}$	-2.8	-15.8	-33.7	-51.6	-69.6	-87.7	-105.4	-123.5	-141.2	-158.8	-176.3
$U_2(B, -I)/\text{mV}$	2.8	15.1	33.0	51.0	68.9	87.1	104.9	123.0	140.7	158.3	175.9
$U_3(-B, -I)/\text{mV}$	-3.3	-21.5	-39.4	-57.5	-75.7	-93.6	-111.5	-129.5	-147.4	-165.1	-182.4
$U_4(-B, I)/\text{mV}$	2.6	20.7	38.7	56.8	75.0	92.9	110.9	128.9	146.8	164.6	181.9
U_H/mV	-2.875	-18.275	-36.200	-54.225	-72.300	-90.325	-108.175	-126.225	-144.025	-161.700	-179.125
B/mT	4.144	26.343	52.181	78.163	104.217	130.199	155.929	181.948	207.605	233.083	258.200



从图像上可以看出磁场 B 与励磁电流 I_M 呈线性关系，关系式为： $B = 0.2566I_M + 1.8739$ ，且相关系数 $R = 0.9999$ ，二者线性关系符合得很好。

(4) 霍尔片载流子迁移率 μ 测量：

测量计算式推导：

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{v}{E} \\ \sigma &= \frac{1}{\rho} = \frac{L}{bd} \frac{I_H}{U_{AC}} \\ \sigma &= \frac{j}{E} = \frac{\mu}{v} nqv = nq\mu \\ \mu &= \frac{\sigma}{nq} = \frac{L}{bd} \frac{I_H}{U_{AC}} R_H\end{aligned}$$

测得， $I_H = 2.00\text{mA}$ 时， $U_{AC} = 1.490\text{V}$ ，因此：

$$\mu = \frac{300 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}} \times \frac{2 \times 10^{-3}}{1.490} \times 5.370 \times 10^{-4} = 0.7208 \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$$

(5) 磁电阻特性测量 $B \sim \Delta R/R(0)$ ：

磁阻片工作电流： $I_{CD} = 1.5 \text{ mA}$ ， A 、 B 端短路

磁阻片所在相对位置： $x = 42.1\text{mm}$, $y = 13.0\text{mm}$

数字万用表量程：20V

根据以下公式整理数据：

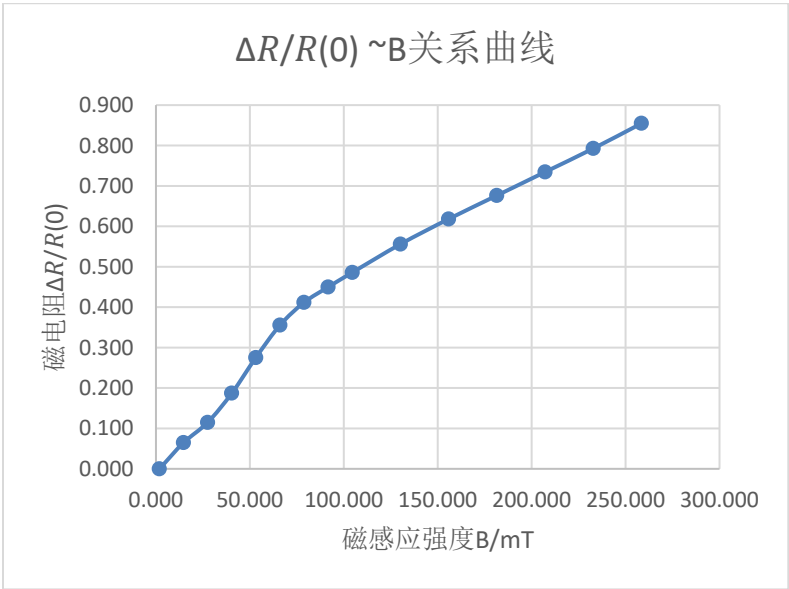
$$R(B)=\frac{U_{cd}}{I_{cd}}$$

$$\Delta R=R(B)-R(0)$$

$$B=0.2566I_M+1.8739$$

I_M/mA	0	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1000
U_{CD}/V	0.523	0.531	0.556	0.592	0.636	0.676	0.704	0.723	0.741	0.776	0.807	0.836	0.865	0.894	0.925
B/mT	1.874	14.704	27.534	40.364	53.194	66.024	78.854	91.684	104.514	130.174	155.834	181.494	207.154	232.814	258.474
$R(B)/\Omega$	348.667	354.000	370.667	394.667	424.000	450.667	469.333	482.000	494.000	517.333	538.000	557.333	576.667	596.000	616.667
$\Delta R/R(0)$	0.000	0.065	0.115	0.187	0.275	0.356	0.412	0.450	0.486	0.556	0.618	0.676	0.735	0.793	0.855

绘制出 $\frac{\Delta R}{R(0)}\sim B$ 关系曲线如下：



由此图可知：在前6个点 $B \leq 60mT$ ，磁感应强度较低时，磁电阻 $\Delta R/R(0)$ 与磁感应强度 B 呈非线性关系，大致与 B^2 成正比，在 $B > 75mT$ 之后，磁电阻 $\Delta R/R(0)$ 与磁感应强度 B 呈线性关系。

四. 实验总结

1. 掌握测量霍尔系数和消除霍尔副效应的方法。
2. 通过测量，确定了霍尔片的系数值和载流子浓度，并且确认载流子为电子。此外，
3. 建立了电磁铁磁隙间磁场与激励电流之间的线性关系，观察不同磁场强度下电阻值的变化规律，其中较弱磁场下呈现二次函数关系，而强磁场下则转为线性关系。

五. 原始数据记录

2024 春物理实验 B(2)课程资料

附录：实验测量数据记录参考表格

实验题目：霍尔效应及磁阻测量

姓名：吴晨晓，学号 2022010111，实验组号：周三晚K，实验台号：9，实验日期 2024.5.15

一、测量霍尔片的参数：

霍尔片尺寸：长 $L=300\ \mu\text{m}$ ，宽 $b=100\ \mu\text{m}$ ，厚 $d=3\ \mu\text{m}$

激励电流 $I_M=500\ \text{mA}$ ，对应磁场 $B=129.8\ \text{mT}$ ，霍尔片所在相对位置： $x=26.7\ \text{mm}$ ， $y=13.0\ \text{mm}$

I_H/mA B/kT	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
$U_1(+B,+I)$	-43.9	-65.9	-88.1	-110.1	-132.2	-154.1	-176.3
$U_2(+B,-I)$	43.8	65.6	87.4	109.1	130.6	151.9	173.3
$U_3(-B,-I)$	-46.6	-69.7	-93.2	-116.5	-140.0	-163.5	-187.4
$U_4(-B,+I)$	46.4	69.4	92.5	115.4	138.3	161.2	184.1
U_H/mV							

二、霍尔片的载流子类型为：_____ (报告中请画图解释)

三、标定电磁铁磁隙间磁场

霍尔片工作电流 $I_H=400\ \text{mA}$

I_M/mA	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$U_1(+B,+I)$	-2.8	-15.8	-33.7	-51.6	-69.6	-87.7	-105.4	-123.5	-141.2	-158.8	-176.3
$U_2(+B,-I)$	2.8	15.1	33.0	51.0	68.9	87.1	104.9	123.0	140.7	158.3	175.9
$U_3(-B,-I)$	-3.3	-21.5	-39.4	-57.5	-75.7	-93.6	-111.5	-129.5	-147.4	-165.1	-182.4
$U_4(-B,+I)$	2.6	20.7	38.7	56.8	75.0	92.9	110.9	128.9	146.8	164.6	181.9
U_H/mV											

*四、测定磁极间隙中磁场分布 $B \sim x$

霍尔片工作电流 $I_H=$ _____ mA，励磁电流 $I_M=$ _____ mA，霍尔片所在相对位置： $y=$ _____ mm

x/mm	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	47.5	50.0
$U_1(+B,+I)$																
$U_2(+B,-I)$																
$U_3(-B,-I)$																
$U_4(-B,+I)$																
U_H/mV																

*五、霍尔片载流子迁移率 μ 测量

测量计算式推导:

$$\mu = \frac{v}{E}, \sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{bd} \frac{I_H}{U_{Ac}}, \sigma = \frac{j}{E} = \frac{\mu}{v} nq v = nq \mu$$

↓

$$\mu = \frac{\sigma}{nq} = \frac{L}{bd} \frac{I_H}{U_{Ac}} R_H$$

自拟表格记录数据:

工作电流 I_H / mA	2	4	6	8	10
电流引向电压 U_{Ac} / V	1.490	3.003	4.574	6.237	8.047

 $R_H =$ $\mu =$ 六、磁电阻特性测量 $B \sim \Delta R / R(0)$ 磁阻片工作电流: $I_{CD} = 1.5$ mA, A、B 端是否短路? 是 ☒ 否 ☐磁阻片所在相对位置: $x = 42.1$ mm, $y = 13.0$ mm

数字万用表量程: 20 V

I_H / mA	0	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1000
U_{CD} / V	0.523	0.531	0.556	0.592	0.636	0.676	0.704	0.723	0.741	0.776	0.807	0.836	0.865	0.894	0.925
B / mT															
$R(B) / \Omega$															
$\Delta R / R(0)$															

温沁枫
2024.5.22
9.