

大学物理实验报告

实验名称：

霍尔效应

学院：理学院 专业：应用物理学 班级：应物 1601

学号：20161413 姓名：谢尘竹 电话：18640451671

实验日期： 2019 年 7 月 20 日

第 二十 周 星期 六 第 三 节

实验室房间号：313

实验组号：8

成绩

指导教师

批阅日期

朱林

2019 年 7 月 20 日

1. 实验目的:

①.了解霍尔效应实验原理以及测量磁场的原理和方法;

②.学习用“对称测量法”消除副效应的影响,测量试样的 $V_H - I_S$ 和 $V_H - I_M$ 曲线;

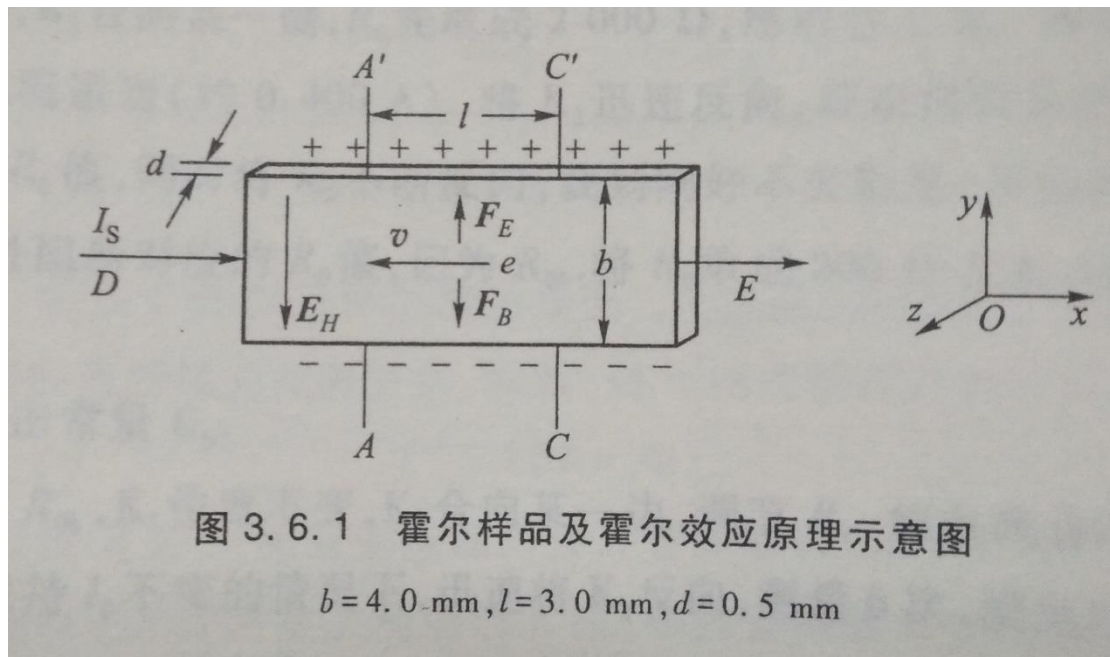
③.确定试样的导电类型、载流子浓度及迁移率;

2. 实验器材:

名称	编号	型号	精度
TH-H 型霍尔效应实验组合仪			
霍尔效应实验仪	15049	DH4512D	
霍尔效应实验仪	15084	DH4512D	
霍尔效应实验仪	15066	DH4512B	
霍尔效应实验仪	15046	DH4512	
螺线管磁场测量装置			

3. 实验原理（请用自己的语音简明扼要地叙述，注意原理图需要画出，测试公式需要写明）

从本质上讲，霍尔效应是运动的带电粒子在磁场中受洛伦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，即霍尔电场。



对于如图 3.6.1 所示的 N 型半导体试样，若在 x 方向通以电流 I_s ，在 z 方向加磁场 B，试样中载流子(电子)将受洛伦兹力 $F_B = e\bar{v}B$ 。

则在 y 方向(即试样 A 和 A' 电极两侧)就开始聚积异号电

荷而产生相应的附加电场—霍尔电场 E_H 。显然，该电场阻止载流子继续向侧面偏移，当载流子所受的横向电场力 eE_H 与洛伦兹力 $e\bar{v}B$ 相等时，样品两侧电荷的积累就达到平衡，此时 $E_H=\bar{v}B$ ，霍尔电压 $V_H=E_Hb=\bar{v}Bb$ 。

电场的指向取决于试样的导电类型，对 N 型试样，霍尔电场沿 y 轴负方向，P 型试样则沿 y 轴正方向。对于 $I_s(x)$ 、 $B(z)$ 情况，有 $E_H(y)<0$ (N 型)； $E_H(y)>0$ (P 型)。

设试样宽度为 b，厚度为 d，载流子浓度为 n，有 $I_s=ne\bar{v}bd$ ，因此 $V_H=\bar{v}b \cdot B=\frac{I_s}{ned} B=\frac{1}{ne} \frac{I_s B}{d}=R_H \frac{I_s B}{d}$ ，其中 $R_H=\frac{V_H d}{I_s B}$ 为霍尔系数，它是反映材料霍尔效应强弱的重要参量。

根据 $R_H=\frac{V_H d}{I_s B}$ ，可以进一步确定以下事项：

(1) 由 R_H 的符号(或 V_H 的正、负)判断样品的导电类型

判断的方法是按照如图 3.6.1 所示的 I_s 和 B 的方向，若测得的 $V_H=V_{AA'}<0$ (即点 A 的电势低于点 A'的电势)，则 R_H 为负，样品为 N 型；反之，则为 P 型。

(2)由 R_H 求载流子浓度 $n=\frac{1}{|R_H|e}$

这个关系式是假定所有的载流子都具有相同的漂移速度得到的，严格一点则需要考虑载流子的速度统计分布，需引入 $3\pi/8$ 的修正因子。

(3)结合电导率的测量，求载流子的迁移率 μ

电导率 σ 与载流子浓度 n 以及迁移率 μ 之间的关系为

$$\sigma=ne\mu, \text{ 即 } \mu=|R_H|\sigma。$$

要测到大的 V_H ，就要选择 $|R_H|$ 大的材料，而 $|R_H|= \frac{1}{ne\mu}$ ，但金属的 μ ， ρ 都很低、不良导体的 ρ 很高，但 μ 极低，因此上述两种材料的霍尔系数都很小，不适合用来制作霍尔器件。

半导体的 μ 高， ρ 适中，是理想的制造霍尔器件的材料；而由于电子的迁移率比空穴的迁移率大，所以霍尔器件都采用 N 型材料；另外，霍尔电压的大小与材料厚度成反比，因此薄膜型的霍尔器件的输出电压，比片状要高得多。

由于霍尔器件的厚度是一定的，所以一般采用 $K_H=\frac{1}{ned}$ 表示器件的灵敏度，单位为 $\text{mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$ 。

4. 实验内容与步骤

仔细阅读仪器使用说明书后,按照图 3.6.2 连接测试仪和实验仪之间相应的 I_S , V_H 和 I_M 各组连线, I_S 及 I_M 换向开关扳向上方,表明 I_S 及 I_M 均为正值(即 I_S 沿 x 方向, B 沿 z 方向);反之,为负值。" V_H , V_σ "切换开关扳向上方测 V_H ,扳向下测 V_σ (样品各电极及线包引线与对应的双刀开关之间连线已由制造厂家连接好)。

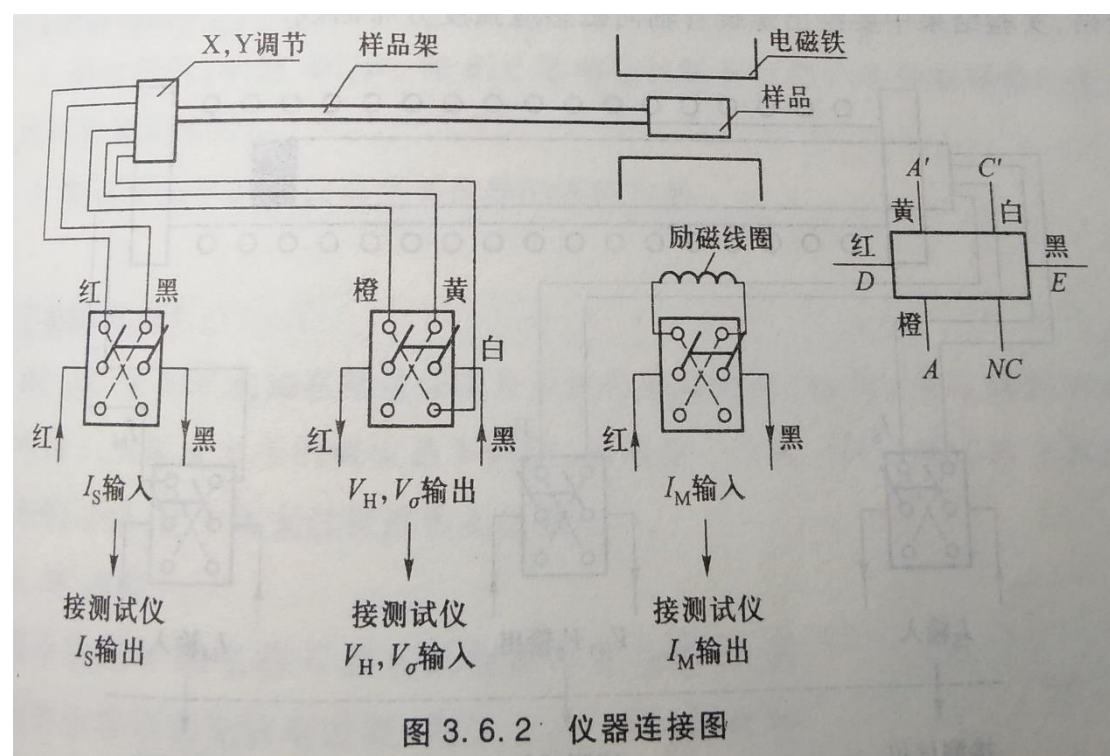


图 3.6.2 仪器连接图

注意：严禁将测试仪的励磁电源“ I_M 输出”误接到实验

仪的“ I_S 输入”或“ V_H, V_σ 输出”，否则，一旦通电，霍尔器件即遭损坏！

为了准确测量，应先对测试仪进行调零，即将测试仪的“ I_S 调节”和“ I_M 调节”旋钮均置零位，待开机数分钟后，若 V_H 显示不为零，可通过面板左下方小孔的“调零”电位器实现调零。

(1) 测绘 $V_H - I_S$ 曲线

将实验仪的“ V_H, V_σ ”切换开关投向 V_σ 侧，测试仪的“功能切换”置H，保持 I_M 不变(取 $I_M=0.6A$)，测绘 $V_H - I_S$ 曲线， I_S 取值为1.00~4.00mA。

(2) 测绘 $V_H - I_M$ 曲线

实验仪及测试仪各开关位置同上，保持 I_S 值不变（取 $I_S=3.00mA$ ），测绘 $V_H - I_M$ 曲线， I_M 取值为0.300~0.800A。

(3) 测量 V_σ 值

将“ V_H, V_σ ”切换开关扳向 V_σ 侧，“功能切换”置S。

在零磁场下($I_M=0$), 取 $I_S=0.20\text{mA}$, 测量 V_σ 。

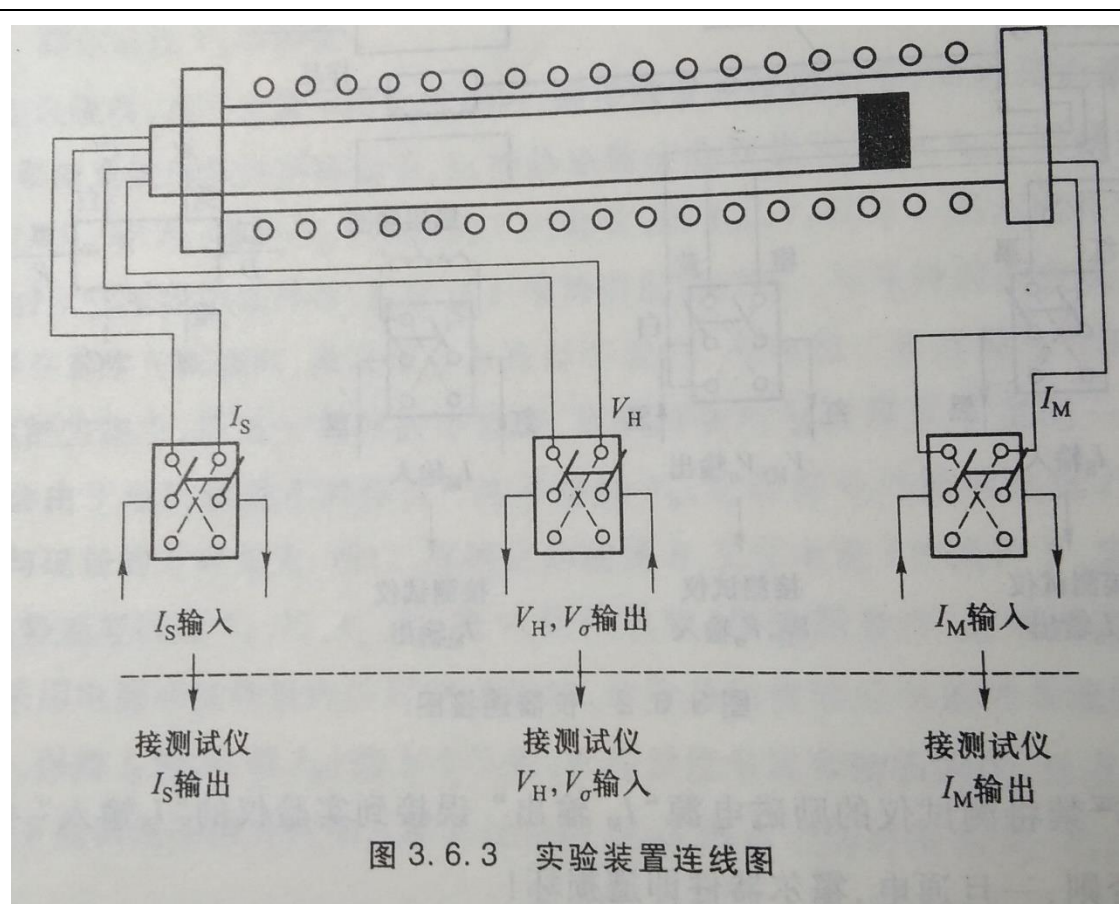
注意: I_S 取值不要过大, 以免 V_σ 太大, 毫伏表超量程(此时首位数码显示为1, 后三位数码熄灭)。

(4)确定样品的导电类型

将实验仪三组双刀开关均扳向上方, 即 I_S 沿 x 方向, B 沿 z 方向, 毫伏表测量电压为 $V_{AA'}$ 。取 $I_S=2\text{mA}$, $I_M=0.6\text{A}$, 测量 V_H 的大小与极性, 判断样品导电类型。

(5)设计实验—霍尔效应法测定螺线管轴向磁感应强度分布

取 $I_S=8.00\text{mA}$, $I_M=0.800\text{A}$ 。按照图 3.6.3 连线, 自己设计实验步骤及实验数据表格, 实验结果中要绘出螺线管轴向磁感应强度分布曲线。



5. 实验记录（注意：单位、有效数字、列表）

一. 原始数据

实验1601 谢桂竹 8号台 第8组

No. _____ Date. _____

1. 表1 对称法测量 $V_H - I_s$ 关系 (作图法) 记录表

$I_m = 0.50 \text{ A}; K_H = 374 \text{ mV/mA} \cdot \text{T}$

电流 I_s / mA	V_{HLE} / V	V_{HET} / V	V_{HTE} / V	V_{HET} / V	V_H / V	(I_m, I_s, V_H)
1.00	0.1474	-0.1464	-0.1279	0.1280		
1.50	0.2210	-0.2176	-0.1913	0.1920		
2.00	0.2950	-0.2882	-0.2554	0.2576		
2.50	0.3689	-0.3580	-0.3197	0.3244		
3.00	0.4430	-0.4275	-0.3843	0.3917		

2. 表2 对称法测量 $V_H - I_m$ 关系 (作图法) 记录表

$I_s = 3.0 \text{ mA}; K_H = 374 \text{ mV/mA} \cdot \text{T}$

励磁电流 I_m / A	V_{HLE} / V	V_{HET} / V	V_{HTE} / V	V_{HET} / V	V_H / V	(I_m, I_s, V_H)
0.10	0.1116	-0.0998	-0.0525	0.0628		
0.20	0.1938	-0.1810	-0.1353	0.1449		
0.30	0.2764	-0.2628	-0.2178	0.2267		
0.40	0.3594	-0.3448	-0.3009	0.3091		
0.50	0.4426	-0.4271	-0.3839	0.3915		

3. 测量 V_G $I_s = 0.2 \text{ mA}; I_m = 0$ ($I = 1.5 \text{ mm}, b = 2.0 \text{ mm}, d = 1.0 \text{ mm}$)

计算: 载流子浓度 n ; 电导率 σ ; 迁移率 μ . ($K_H = 374 \text{ mV/mA} \cdot \text{T}$)

$V_G = 0.43 \text{ V}$

4. 判断半导体导电类型 ($I_s = 3.0 \text{ mA}, I_m = 0.50 \text{ A}$; 所有开关向上)

$V_H = 0.4432 \text{ V} > 0$

5. 对称法测量通电螺线管轴向的磁场分布

($K_H = 374 \text{ mV/mA} \cdot \text{T}$) 为P型半导体材料

No.

表 3. 测量通电螺线管轴线的磁场分布数据记录表. (作图法: $B-X$)_{ale.}

(I_S V_{HFF} I_m)

$I_m = 0.50 A$; $I_S = 2.5 mA$; $K_H = 171 mV/mA \cdot T$

$B = \frac{V_H}{K_H I_S} / T$

$V_H = \frac{1}{2}(V_{HFF} - V_{HTE}) / mV$

X/cm	V_{HFF}/mV	V_{HTE}/mV	V_{HFF}/mV	V_{HFF}/mV
2.00	0.70	-0.63	-1.89	1.97
2.50	1.06	-0.98	-2.25	2.32
3.00	1.39	-1.32	-2.58	2.65
3.50	1.67	-1.59	-2.85	2.92
4.00	1.88	-1.80	-3.05	3.13
4.50	2.02	-1.95	-3.20	3.27
5.00	2.13	-2.05	-3.30	3.38
6.00	2.25	-2.18	-3.43	3.50
8.00	2.36	-2.29	-3.54	3.61
10.00	2.39	-2.32	-3.57	3.64
12.00	2.39	-2.33	-3.57	3.65
14.00	2.18	-2.11	-3.56	3.63
16.00	2.38	-2.31	-3.49	3.56
17.00	2.31	-2.24	-3.41	3.48
18.00	2.29	-2.16	-3.27	3.34
19.00	2.19	-2.03	-2.99	3.06
20.00	1.82	-1.75	-2.46	2.53
20.50	1.29	-1.22	-2.12	2.19
21.00	0.94	-0.87	-1.77	1.84

电 磁

二. 霍尔效应拓展研究 $I_m = 0.5 A$.. 210mm

1. ~~霍尔效应~~ 强电流条件下. $j = 56$ 失效

I_S	0.5mA	1.0mA	1.5mA	2.0mA	2.5mA	3.0mA	3.5mA
$(V_{HFF}) V_S/mV$	0.30	0.60	0.91	1.22	1.53	1.84	2.16
	0.61	1.21	1.82	2.42	3.04	3.65	4.27

100mm

2. 磁电阻效应 $I_S = 2.5 mA$

I_m/A	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
$(V_{HFF}) V_S/mV$	1.03	1.52	2.02	2.52	3.03

100mm

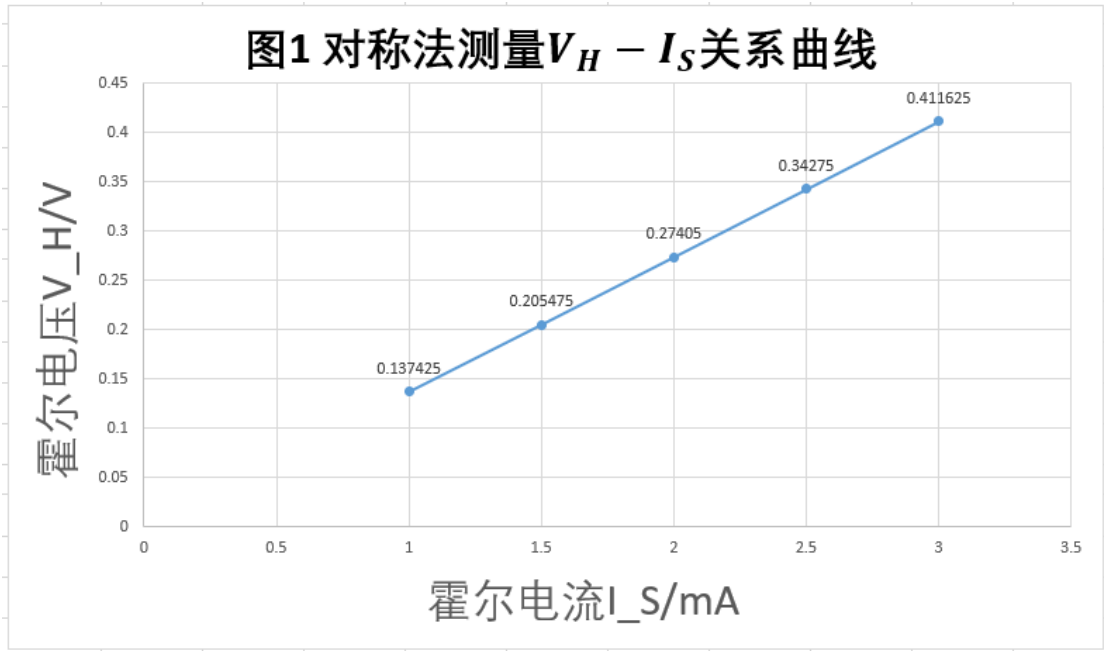
6. 数据处理及误差分析

一.霍尔效应的基本研究

1. 表 1 对称法测量 $V_H - I_S$ 关系记录表

$I_M=0.50\text{ A}$ ； $K_H=374\text{ mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$

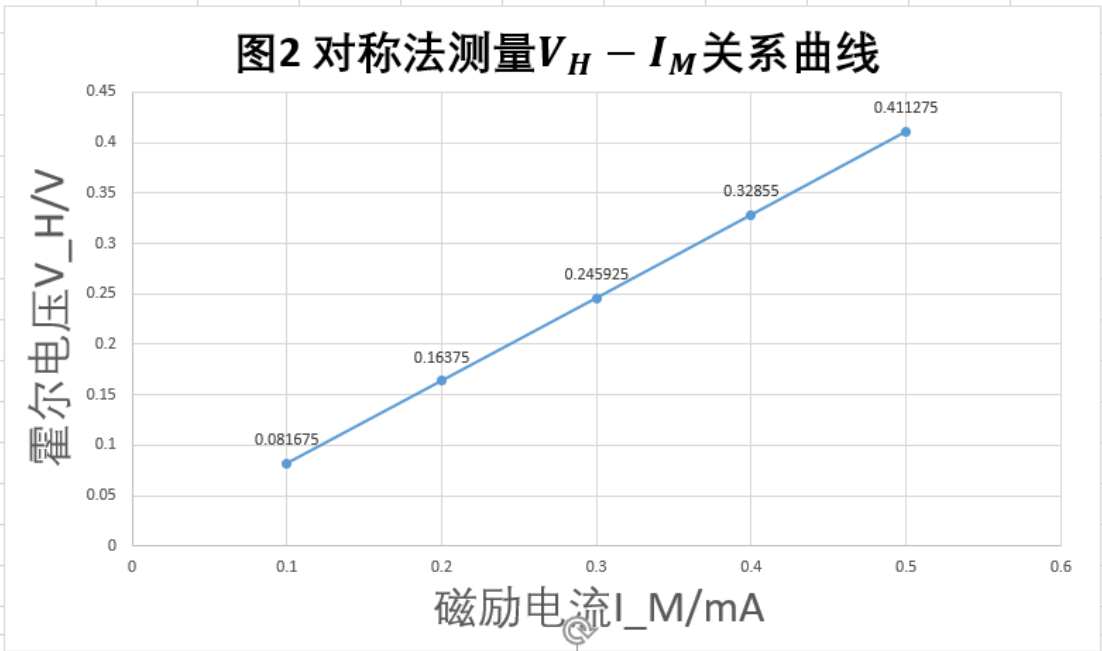
电流 I_S/mA	$V_{H\text{上上}}/\text{V}$	$V_{H\text{上下}}/\text{V}$	$V_{H\text{下上}}/\text{V}$	$V_{H\text{下下}}/\text{V}$	V_H/V
1.00	0.1474	-0.1464	-0.1279	0.1280	0.1374
1.50	0.2210	-0.2176	-0.1913	0.1920	0.2054
2.00	0.2950	-0.2882	-0.2554	0.2576	0.2740
2.50	0.3689	-0.3580	-0.3197	0.3244	0.3427
3.00	0.4430	-0.4275	-0.3843	0.3917	0.4116



2. 表 2 对称法测量 $V_H - I_M$ 关系记录表

$I_M=3.0\text{ mA}; K_H=374\text{ mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$

磁励 I_M/mA	$V_{H\text{上上}}/\text{V}$	$V_{H\text{上下}}/\text{V}$	$V_{H\text{下上}}/\text{V}$	$V_{H\text{下下}}/\text{V}$	V_H/V
0.10	0.1116	-0.0998	-0.0525	0.0628	0.0816
0.20	0.1938	-0.1810	-0.1353	0.1449	0.1637
0.30	0.2764	-0.2628	-0.2178	0.2267	0.2459
0.40	0.3594	-0.3448	-0.3009	0.3091	0.3285
0.50	0.4426	-0.4271	-0.3839	0.3915	0.4112



3.测量 V_{σ} ，计算载流子浓度 n 、电导率 σ 、迁移率 μ ：

①. $V_{\sigma}=0.43V$ 。

②.根据 $K_H=\frac{1}{ned}$ ，载流子浓度 $n=\frac{1}{K_Hed}=\frac{1}{374 \cdot 1.6 \times 10^{-19} \cdot 1 \times 10^{-3}}=\frac{1}{5.984 \times 10^{-22}}=1.67 \times 10^{19}(\text{个}/m^3)$
 $=1.67 \times 10^{13}(\text{个}/cm^3)$ 。

③. $\sigma=\frac{I_S}{E_{\sigma}}=\frac{I_S/(b \cdot d)}{V_{\sigma}/l}=\frac{I_S \cdot l}{V_{\sigma} \cdot b \cdot d}=\frac{0.2mA \cdot 1.5mm}{0.43V \cdot 2.0mm \cdot 1.0mm}=0.349(\Omega \cdot m)^{-1}$ 。

④. $\mu=|R_H|\sigma=\frac{1}{ne}\sigma=K_Hd\sigma=374 \cdot 1 \times 10^{-3} \cdot 0.349=0.1305 (m/s)/(V/m)=1305 cm^2/(s \cdot V)$ 。

4.判断半导体导电类型

$V_H=0.4432V>0$ ，所以是 P 型半导体材料。

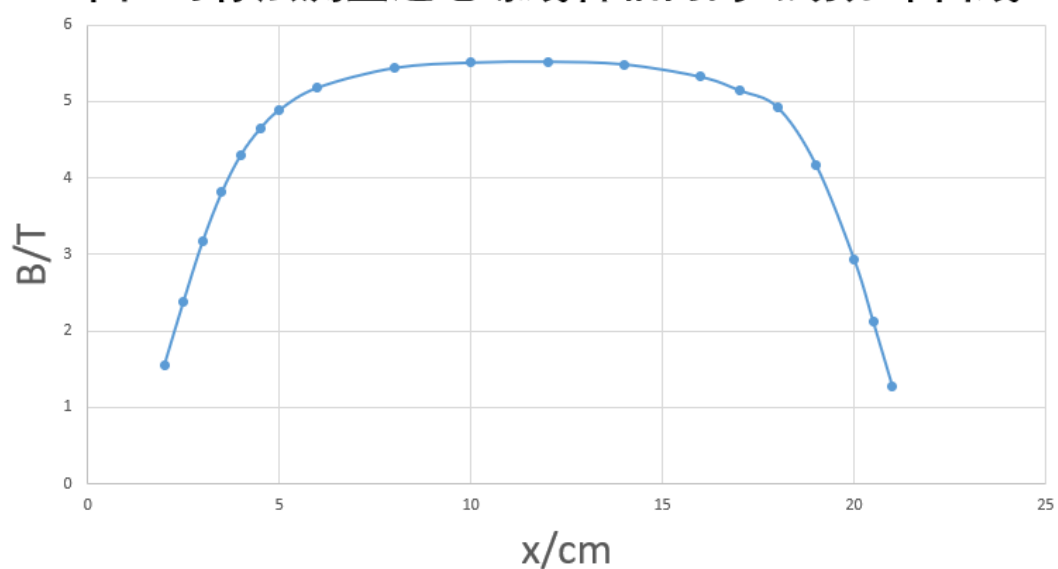
5.表 3 对称法测量通电螺线管轴向的磁场分布数据记录表

$I_M=0.50 A$ ； $I_S=2.5 mA$ ； $K_H=171 mV/(mA \cdot T)$

x/cm	$V_{H\text{上上}}/V$	$V_{H\text{上下}}/V$	V_H/V	$B=\frac{V_H}{K_H I_S}/T$
------	--------------------	--------------------	---------	---------------------------

2.00	0.70	-0.63	0.67	1.56
2.50	1.06	-0.98	1.02	2.39
3.00	1.39	-1.32	1.36	3.17
3.50	1.67	-1.59	1.63	3.81
4.00	1.88	-1.80	1.84	4.30
4.50	2.02	-1.95	1.99	4.64
5.00	2.13	-2.05	2.09	4.89
6.00	2.25	-2.18	2.22	5.18
8.00	2.36	-2.29	2.33	5.44
10.00	2.39	-2.32	2.36	5.51
12.00	2.39	-2.33	2.36	5.52
14.00	2.38	-2.31	2.35	5.49
16.00	2.31	-2.24	2.28	5.32
17.00	2.24	-2.16	2.20	5.15
18.00	2.19	-2.02	2.11	4.92
19.00	1.82	-1.75	1.79	4.18
20.00	1.29	-1.22	1.26	2.94
20.50	0.94	-0.87	0.91	2.12
21.00	0.58	-0.51	0.55	1.27

图3 对称法测量通电螺线管轴向的磁场分布曲线



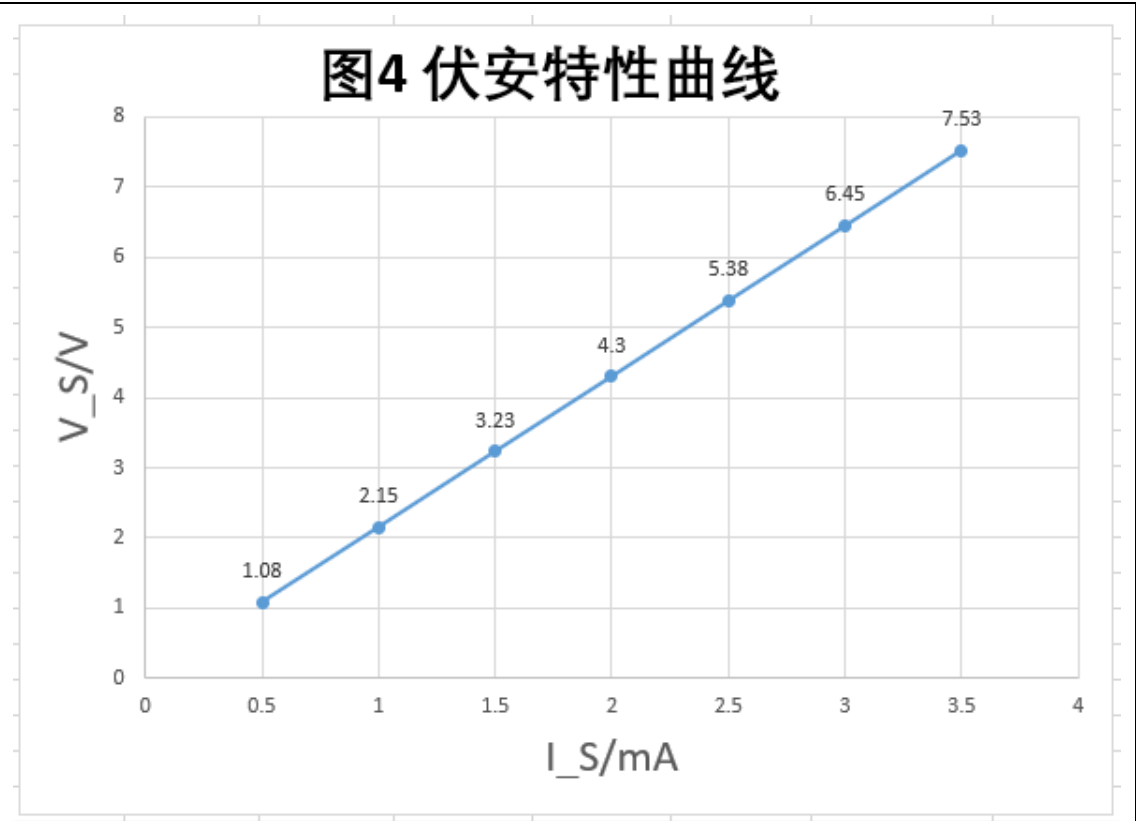
二.霍尔效应扩展研究

1.强电场条件($E > 10^3 \text{ V/m}$)下, $J(E)$ 不再 $\propto E$, 欧姆定律发生偏移。

表 4 伏安特性数据记录表

$I_M = 0 \text{ A}$; $K_H = 374 \text{ mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$

I_s/mA	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
V_s/V	1.08	2.15	3.23	4.30	5.38	6.45	7.53



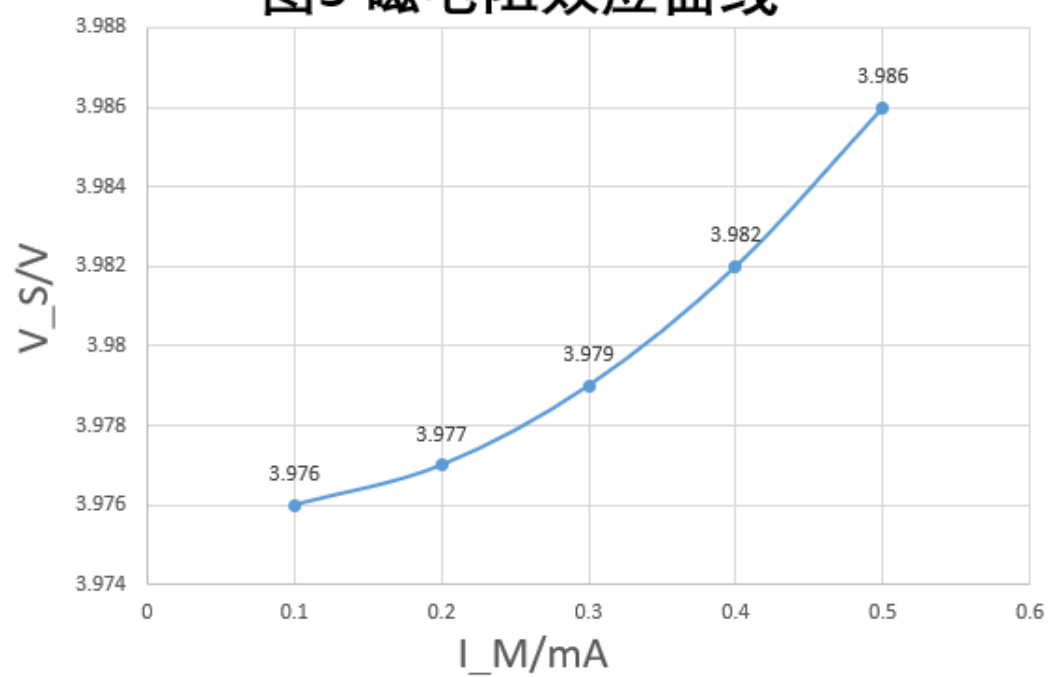
2.在通有电流的金属或半导体上施加磁场时，其电阻值将发生明显变化，这种现象称为磁致电阻效应，也称磁电阻效应(MR)。

表 5 磁电阻效应数据记录表

$I_S=2.5 \text{ mA}$ ； $K_H=171 \text{ mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$

I_M/mA	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
V_S/V	3.976	3.977	3.979	3.982	3.986

图5 磁电阻效应曲线



7. 思考题及实验小结

①.如果已知霍尔样品的工作电流 I_S 以及磁感应强度 B 的方向,如何判断样品的导电类型?

答:根据右手螺旋定则,设从 I_S 旋到 B 确定的方向为正方向,若测得的霍尔电压为正,则样品为P型;反之则为N型。

②.为什么要采用电流和磁场换向的对称测量法?

答:根据副效应产生的机理可知,采用电流和磁场换向的对称测量法,基本上能够把副效应的影响从测量的结果中消除。

以下内容为报告保留内容，请勿填写或删除，否则影响实验成绩

上课时间： 上课地点： 任课教师：
报告得分： 教师留言：
操作得分： 教师留言：
预习得分： 预习情况：