

北京邮电大学

物理实验报告

实验名称: 霍尔元件测量磁场

学 院: 信息与通信工程学院

班 级: 2018211128

姓 名: 吴辉强

学 号: 2018213487

任课教师: 王鑫老师

实验日期: 2019.9.27

成 绩: A

实验目的

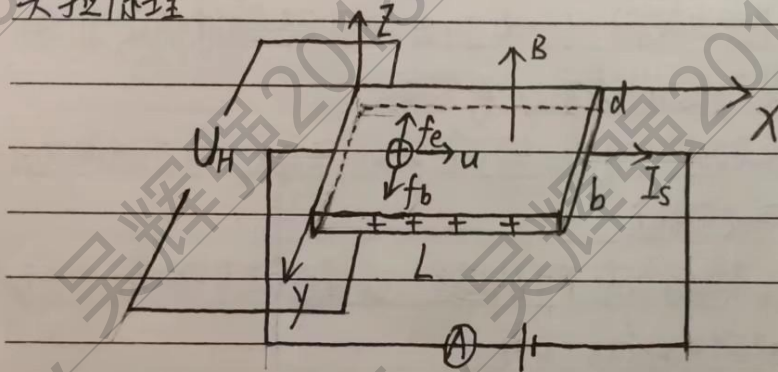
1. 了解霍尔元件测磁场的原理
2. 学会用霍尔元件测磁场和测量霍尔元件的电导率
3. 学习用“对称测量法”消除附加效应的影响

实验仪器名称 [型号、主要参数]

霍尔效应实验仪、霍尔效应测试仪

实验原理和操作步骤 [基本物理思想、设计原理、主要公式及其意义、电路图或光路图等；操作步骤]

1. 实验原理



霍尔效应

霍尔元件是一块矩形半导体薄片，长度 L ，宽度 b ，厚度 d ，将其放入与薄片相垂直的磁场中。若在半导体薄片上沿垂直于磁场 B 的方向通以恒定电流 I_s ，这时磁场对半导体薄片中的定向移动的载流子（电子或空穴）就产生了洛伦兹力 f_B 的作用。根据 $f_B = q\vec{v} \times \vec{B}$ 可确定洛伦兹力的大小及方向。在洛伦兹力作用下，载流子运动方向发生偏转，侧面出现电势差 U_H （霍尔电压）。

电荷在侧面的聚集不会无限地进行下去，因为侧面聚集的电荷在薄片形成横向电场，电场力与洛伦兹力的方向相反。最后载流子所受的电场力和洛伦兹力相等，侧面的电荷不再增加，达到平衡。

状态, 半导体中将形成一个稳定的电场, 两侧面的霍尔电压 U_H 也达到一个稳定值。

载流子受力平衡: $qvB = q \frac{U_H}{b}$ ①

电流的微观表达式: $I_s = nqbvd$ ②

联立①②有 $U_H = \frac{1}{nq} I_s B = K_H I_s B = R_H \frac{I_s B}{d}$

式中 $R_H = \frac{1}{nq} = \frac{U_H d}{I_s B}$ (霍尔系数)

$K_H = \frac{1}{nq} = \frac{U_H}{I_s B}$ (霍尔元件的灵敏度)

若 K_H 已测定, 可用 $B = \frac{U_H}{K_H I_s}$ 测量磁感应强度 B 。

2. 附加电压

(1) 不等位电势 $U_0 = I_s R \Rightarrow$ 可通过改变 I_s 的方向予以消除

(2) Ettinghausen 效应 (温差电效应), $U_E \propto I_s B \Rightarrow$ 不能通过改变 I_s 和 B 的方向予以消除。但其引起的误差小, 可忽略。

(3) Nernst 效应 (热磁效应), U_N 的正负与 B 方向有关, 与 I_s 方向无关 \Rightarrow 可通过改变 B 的方向予以消除。

(4) Righi-Leduc 效应 (热磁效应产生的温差): U_R 的正负与 B 方向有关, 与 I_s 方向无关 \Rightarrow 可通过改变 B 的方向予以消除。

3. 霍尔元件的电导率 σ 的测量. $R = \frac{U_0}{I_s} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{L}{bd} \Rightarrow \sigma = \frac{I_s \cdot L}{U_0 \cdot bd}$

操作步骤:

1. 测量霍尔元件的 $U_H - I_s$ 及 $B - I_m$ 特性曲线。

2. 测量电磁通铁的磁场分布 $B - X$ 曲线。

3. 测量霍尔元件的电导率 σ 的值。

注意事项:

王鑫

1. 霍尔效应测试仪的三对接线柱应分别与实验仪的双刀双向开关正确连接。

2. 开关机前应将 I_s , I_m 旋钮逆时针旋到底 (使电流趋于 0), 实验前预热几分钟。

3. 调节 I_s , I_m 不可过大。

实验数据处理与讨论 [实验数据计算、不确定度公式推导与计算、结果表示与讨论等]

1. $U_H - I_S$

$I_S (mA)$	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
$U_1 (mV)$ $+B, +I_S$	9.0	17.7	26.3	35.2	44.1	53.4	63.0	72.8
$U_2 (mV)$ $+B, -I_S$	-9.0	-17.8	-26.9	-35.8	-44.7	-53.8	-62.8	-71.9
$U_3 (mV)$ $-B, -I_S$	7.9	15.6	23.5	31.5	39.2	46.9	54.6	62.4
$U_4 (mV)$ $-B, +I_S$	-7.9	-15.9	-23.9	-32.2	-40.1	-47.5	-54.7	-61.5

$$U_H \approx (U_1 - U_2 + U_3 - U_4) / 4$$

$U_H (mV)$	8.45	16.75	25.15	33.675	42.03	50.4	58.78	67.15
------------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	-------

利用坐标纸作出 $U_H - I_S$ 图象并对其进行线性拟合, 可以认为:

当励磁电流 I_m 不变时, U_H 与 I_S 成正比.

2. $B - I_m$ $I_S = 2.00 mA$, $K_H = 174.8 (mV/T \cdot mA)$

$I_m (A)$	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800
$U_1 (mV)$ $+B, +I_S$	17.5	28.6	39.7	50.9	61.9	72.9	84.0	94.6
$U_2 (mV)$ $+B, -I_S$	-16.5	-27.5	-38.7	-49.8	-60.8	-71.8	-82.7	-93.4
$U_3 (mV)$ $-B, -I_S$	6.8	17.7	29.0	40.2	51.2	62.2	73.2	84.0
$U_4 (mV)$ $-B, +I_S$	-6.0	-17.0	-28.1	-39.3	-50.3	-61.7	-72.1	-82.9

$$U_H = (U_1 - U_2 + U_3 - U_4) / 4, \quad B = U_H / K_H \cdot I_S$$

$U_H (mV)$	11.7	22.7	33.88	45.05	56.05	67.15	78	88.72
------------	------	------	-------	-------	-------	-------	----	-------

$B (T)$	0.033	0.065	0.097	0.129	0.160	0.192	0.223	0.254
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

同1. 进行作图. 当霍尔电流 I_S 不变时, 磁感应强度 B 与励磁电流 I_m 成正比

3. $B - X$ $I_S = 2.00 mA$, $I_m = 0.600 A$, $K_H = 174.8 (mV/T \cdot mA)$

$X (mm)$	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0
$U_H (mV)$	36.8	53.1	61.4	62.5	62.6	62.6	62.6	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	61.2	55.4	44.3	28.7	19.8	16.9

$$B = U_H / K_H \cdot I_S$$

$B (T)$	0.105	0.152	0.176	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.175	0.158	0.118	0.082	0.057	0.048
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

利用坐标纸作出散点图并用光滑曲线依次连结各点(适当扩大横坐标便于观察)。

电磁铁中央磁场变化不大,近似匀强;外两端, B 快速衰减;

呈对称分布。

4. $L = 300 \mu\text{m}$, $b = 300 \mu\text{m}$, $d = 260 \mu\text{m}$.

$I_s(\text{mA})$	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
$U_G(\text{V})$	0.619	1.219	1.817	2.43	3.055	3.723	4.659

$$\sigma = \frac{I_s \cdot L}{U_G \cdot b \cdot d}$$

$$U_G = \frac{L}{\sigma \cdot b \cdot d} I_s$$

$\sigma(\text{S/m})$	3.107	3.157	3.175	3.166	3.147	3.099	2.889
$\sigma = \frac{\sum \sigma_i}{7}$	$\approx 3.105 \text{ S/m}$						

利用最小二乘法求 σ . 设拟合直线为 $y = kx + b$. ($k = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2}$)

由数据得出 k , 令 $k = \frac{L}{\sigma \cdot b \cdot d}$, 得 σ).

$$\overline{xy} = \overline{I_s U_G} = 6.318 \times 10^{-3}, \quad \bar{x} = 2 \times 10^{-3}, \quad \bar{y} \approx 2.503$$

$$\bar{x}^2 = 5 \times 10^{-6}$$

$$\Rightarrow k = \frac{6.318 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3} \times 2.503}{5 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-6}} = 1312 = \frac{L}{\sigma \cdot b \cdot d}$$

$$\sigma = \frac{L}{1312 \cdot b \cdot d} = \frac{300 \times 10^{-6}}{1312 \times 300 \times 10^{-6} \times 260 \times 10^{-6}} \approx 2.93 \text{ S/m}.$$

回答问题与实验总结

1. 根据 $U_H = \frac{1}{nq d} I_s B$, $U_H \propto \frac{1}{n}$, n 为载流子浓度, 使用导体的话, n 过大, 导致 U_H 很小不易测量; 使用绝缘体时 $I_s = 0$, $U_H = 0$ 无法测量, 所以选用半导体材料制作霍尔元件。

2. 根据 $U_H = \frac{1}{nq d} I_s B$, $U_H \propto \frac{1}{d}$; 做成小而薄的片状, d 减小使 U_H 增大, 更容易测得 U_H ; 同时片状元件更容易调整与 B 的相对方向, 保持相互垂直。

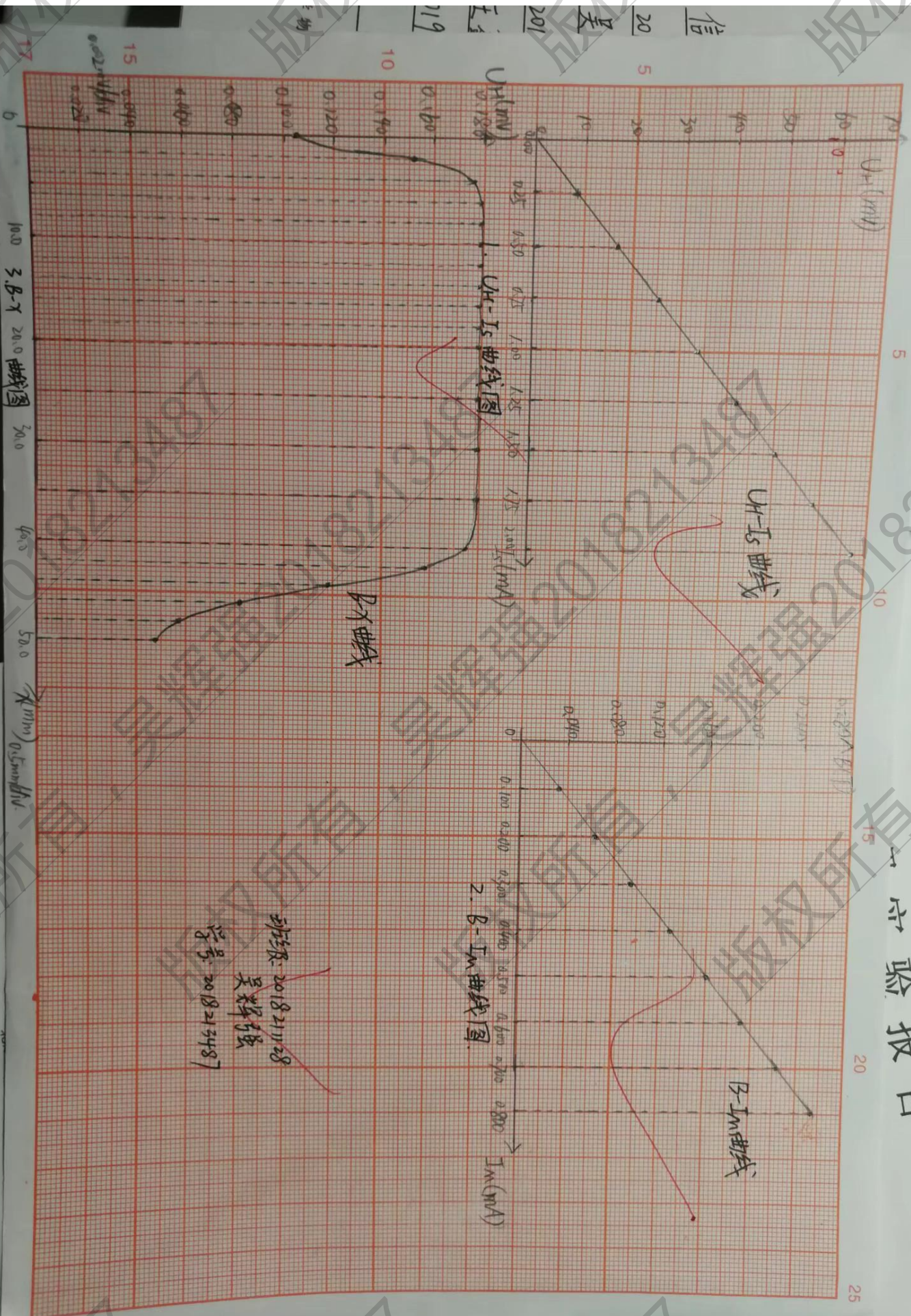
3. N型、P型的区别在于载流子的种类, N型为电子, P型为带正电的空穴。由电流流向与载流子流向关系、正负电荷受洛伦兹力作用规律知, 同一侧积累了相反的电荷, 从而产生相反方向的电场, 如图。故当 I_s 与 I_m 皆为正值时, 霍尔电压 V_H 为正则为 P 型, 为负则为 N 型。

4. $U_H = \frac{I_s B}{nq d}$ 的条件之一有霍尔法线 n 与磁场 B 同向, 若不同向, 有夹角 θ , 这时作用在霍尔元件上的有效磁场是其在 n 方向上的分量 $B \cos \theta$, 使得测量时霍尔电压 U_H 偏小。同时, 元件位置应尽量放在磁场中央, 以保证 B 近似匀强。

实验总结: 是紧张而有趣的第一次大物实验, 通过课前认真预习、课上严谨操作与询问同学老师、课后好好作图与分析, 收获颇多。同时, 体会到霍尔效应在生活中的应用以及物理理论对实践的指导作用, 我对霍尔效应的理解也更加扎实与深刻!

任课教师指导意见

实验报告



2. $B-I_m$ 曲线图

班级: 2018211128

吴辉强

学号: 2018213487

实验 3.4 霍尔元件测量磁场

姓名 吴辉强 合作者 _____ 班级 2018 教师 王金 实验时间 2019.9.27 实验组号 17
211128

一、预习要点

- 霍尔效应产生的机理和霍尔灵敏度的定义;
- 霍尔电压与磁感应强度、霍尔电流等相关物理量之间的关系(大小及正负);
- 测量霍尔电压时附加效应的产生和消除。

二、实验注意事项

- 霍尔效应测试仪面板上“ I_S 输出”、“ V_H 输入”和“ I_M 输出”三对接线柱分别与霍尔效应实验仪上的三对相应的标有“ I_S 输入(或工作电流)”、“ V_H 输出(或霍尔电压)”和“ I_M 输入(或励磁电流)”的双刀双向开关正确连接;
- 开机和关机前将测试仪的“ I_S 调节”和“ I_M 调节”旋钮逆时针旋到底,使输出电流趋于零。

三、实验内容

- 测量霍尔元件的 $U_H - I_S$ 及 $B - I_M$ 特性曲线;
- 测量电磁铁的磁场分布 $B - x$ 曲线;
- 测量霍尔元件的电导率 σ 的值。

四、原始数据表格

- 采用消除附加电压的方法,测霍尔元件的 $U_H - I_S$ 曲线

将霍尔元件置于磁铁空气隙中间的位置,保持励磁电流 I_M 的大小为 0.600A 不变,改变霍尔电流 I_S 的大小,测量 U_1 , U_2 , U_3 和 U_4 。

I_S (mA)		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
U_1 (mV)	+B, + I_S	9.0	17.7	26.3	35.2	44.1	53.4	63.0	72.8
U_2 (mV)	+B, - I_S	-9.0	-17.8	-26.9	-35.8	-44.7	-53.8	-62.8	-71.9
U_3 (mV)	-B, - I_S	7.9	15.6	23.5	31.5	39.2	46.9	54.6	62.4
U_4 (mV)	-B, + I_S	-7.9	-15.9	-23.9	-32.2	-40.1	-47.5	-54.7	-61.5

- 用消除附加电压的方法,测电磁铁的励磁特性 $B - I_M$ 曲线: 将霍尔元件置于磁铁空气隙中间的位置,保持霍尔电流 I_S 大小为 2.00mA 不变,按照数据表中的要求,测量 U_1 , U_2 , U_3 和 U_4 , 并记录霍尔元件的灵敏度 $K_H =$ 174.8 (mV/T·mA)。

I_M (A)		0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800
U_1 (mV)	+B, + I_S	17.5	35.6	53.7	71.9	90.9	109.9	128.0	146.6
U_2 (mV)	+B, - I_S	-16.5	-27.5	-38.7	-49.8	-60.8	-71.8	-82.7	-93.4
U_3 (mV)	-B, - I_S	6.8	17.7	29.0	40.2	51.2	62.2	73.2	84.0
U_4 (mV)	-B, + I_S	-6.0	-17.0	-28.1	-39.3	-50.3	-61.7	-72.1	-82.9

北京邮电大学物理实验要求及原始数据表格

3. 测量电磁铁的磁场分布 $B-x$ 曲线；其中 $I_M = 0.800A$ ， $I_S = 2.00mA$ 。沿铁芯的空气隙中心水平线方向移动霍尔元件至铁芯的一端，测量不同位置的霍尔电压 U_H （忽略附加电压）。

x (mm)	50.0	48.0	46.0	44.0	42.0	40.0	35.0	30.0	25.0	20.0
U_H (mV)	16.9	19.8	28.7	41.3	55.4	61.2	62.5	62.5	62.5	62.5
x (mm)	18.0	16.0	14.0	12.0	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	0.0
U_H (mV)	62.5	62.5	62.5	62.6	62.6	62.6	62.5	61.4	53.1	36.8

4. 当磁场为零时，改变霍尔电流 I_S 的大小，用万用表测量霍尔元件两端的 U_o ，并记录霍尔

片尺寸：长 $L = 300 \mu m$ ，宽 $b = 300 \mu m$ ，高 $d = 260 \mu m$ 。（选作）

I_S (mA)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
U_o (V)	0.619	1.219	1.817	2.43	3.055	3.723	4.659	

教师签字



五、数据处理要求

1. 霍尔电压为 $U_H \approx \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4}$ ，在坐标纸上作霍尔元件的 $U_H - I_S$ 曲线；

2. 磁感应强度为 $B = \frac{U_H}{K_H \cdot I_S}$ ，在坐标纸上作电磁铁的励磁特性 $B - I_M$ 曲线；

3. 在坐标纸上分别作磁场分布 $B - x$ 曲线；

4. 根据所作曲线，给出实验结论；

5. 利用最小二乘法，计算霍尔元件的电导率。（选作）

六、思考题

- 为什么霍尔元件要选用半导体材料制作？
- 为什么霍尔元件通常做成薄片状？
- 如何判断实验中所用的霍尔元件是 N 型还是 P 型半导体材料？
- 霍尔元件的摆放方向和位置对霍尔效应测磁场的结果会有何影响？