

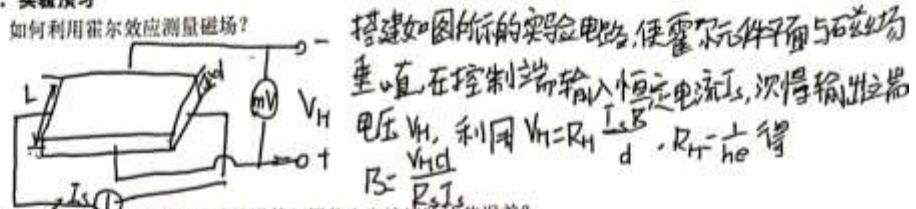
实验名称 霍尔效应及其应用

一. 实验目的

- ① 掌握霍尔效应产生的原理, 了解副效应产生的机制, 掌握正确测量霍尔效应的理论与方法
- ② 了解交流霍尔效应的原理, 利用交流霍尔效应测量霍尔元件的灵敏度

二. 实验预习

1. 如何利用霍尔效应测量磁场?



2. 霍尔电压测量中存在哪些系统误差? 用什么方法消除这些误差?

- ① 不等位电势 V_0 : 由于霍尔元件封装, 接线等问题使输出端在无磁场时存在电势差 V_0 。
- ② 爱廷豪森效应: 载流子向不同方向偏转时部分动能转化为热能, 使不同方向上出现温差。
- ③ 汤姆逊效应: 工作电流在电极处产生不同的焦耳热 \rightarrow 温差电势电动势 \rightarrow 温差电流 $I_Q \rightarrow$ 偏转产生附加电势。
- ④ 里纪-莱弗林效应: 由于 I_Q 产生的类似爱廷豪森效应。

消除方法: 采用对称测量法, 分别测量 V_1, V_2, V_3, V_4 , 则 $V_H + V_E = \frac{1}{4}(V_1 - V_2 + V_3 - V_4)$, 除爱廷豪森以外自偏磁效应全部消除。又因排片大电流, 非强磁场下, $V_H \gg V_E$ 占优。

在磁阻传感器中, 由四个不同的磁阻元件组成惠斯通电桥, 易磁化方向与电流方向夹角为 45° , 当沿磁化方向施加磁场时, 磁化方向将发生旋转, $V_{out} = V_s \cdot \frac{\Delta R}{R} \propto B$

传感器灵敏度: $S = \frac{V_{out}}{V_s \cdot B}$

一. 实验现象及数据记录

1. 测量 V_H-I_M 关系 $I_S=5.000\text{mA}$

I_M (A)	B (mT)	V_1 (mV)	V_2 (mV)	V_3 (mV)	V_4 (mV)	$V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$ (mV)
		+ $I_M, +I_S$	- $I_M, +I_S$	- $I_M, -I_S$	+ $I_M, -I_S$	
0.1	1.48	1.54	-1.11	1.1	-1.53	1.32
0.201	2.9748	2.87	-1.54	2.42	-2.89	2.43
0.301	4.4548	4.21	-3.73	3.71	-4.21	3.965
0.4	5.92	5.51	-5.04	3.04	-5.52	4.7775
0.5	7.4	6.83	-6.36	6.37	-6.84	6.6
0.6	8.88	8.15	-7.68	7.68	-8.15	7.915
0.7	10.36	9.46	-9	9	-9.47	9.2325
0.8	11.84	10.8	-10.32	10.33	-10.81	10.565

2. 测量 V_H-I_S 关系 $I_M=0.500\text{A}$

I_S (mA)	V_1 (mV)	V_2 (mV)	V_3 (mV)	V_4 (mV)	$V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$ (mV)
	+ $I_M, +I_S$	- $I_M, +I_S$	- $I_M, -I_S$	+ $I_M, -I_S$	
1	1.37	-1.28	1.28	-1.37	1.325
2	2.74	-2.56	2.56	-2.74	2.65
3	4.08	-3.8	3.81	-4.08	3.9425
4	5.46	-5.07	5.08	-5.46	5.2675
5	6.84	-6.35	6.36	-6.84	6.5975
6	8.22	-7.6	7.61	-8.22	7.9125
7	9.6	-8.85	8.84	-9.61	9.225
8	11	-10.08	10.01	-11.02	10.5275

4. AMR 的 $V_{out}-I_M$ 关系 $V_S=4.00V$

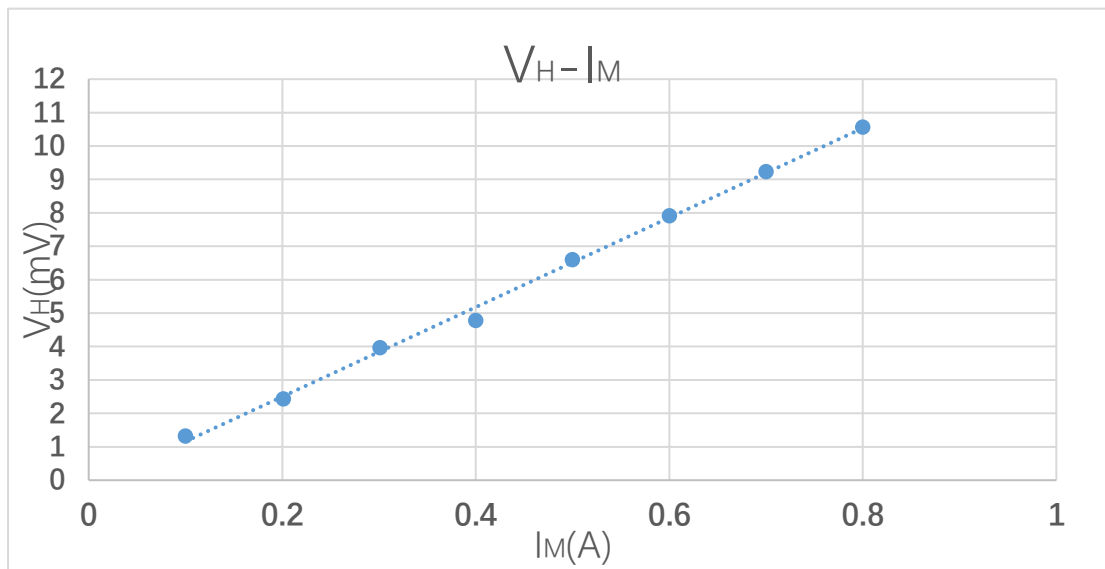
$I_M(\text{mA})$	$B(\text{Gs})$	$V_{out}(\text{mV})$	$I_M(\text{mA})$	$B(\text{Gs})$	$V_{out}(\text{mV})$
600	16.7	-15.8	-50	-1.391666667	6.5
550	15.308333333	-18.4	-100	-2.783333333	11.4
500	13.916666667	-21.2	-150	-4.175	16.1
450	12.525	-20.3	-200	-5.566666667	20.6
400	11.133333333	-21.6	-250	-6.958333333	24.6
350	9.741666667	-28.7	-300	-8.35	28.2
300	8.35	-25.6	-350	-9.741666667	31.1
250	6.958333333	-21.9	-400	-11.13333333	33.2
200	5.566666667	-17.7	-450	-12.525	25.6
150	4.175	-13.2	-500	-13.91666667	25.1
100	2.783333333	-8.5	-550	-15.30833333	22.7
50	1.391666667	-3.5	-600	-16.7	18.9
0	0	1.4			

5. AMR 的 $V_{out}-\theta$ 关系 $V_S=4.00V$ 、 $I_M=150\text{mA}$

$\theta (^{\circ})$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$V_{out} (\text{mV})$										
$\theta (^{\circ})$	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
$V_{out} (\text{mV})$										

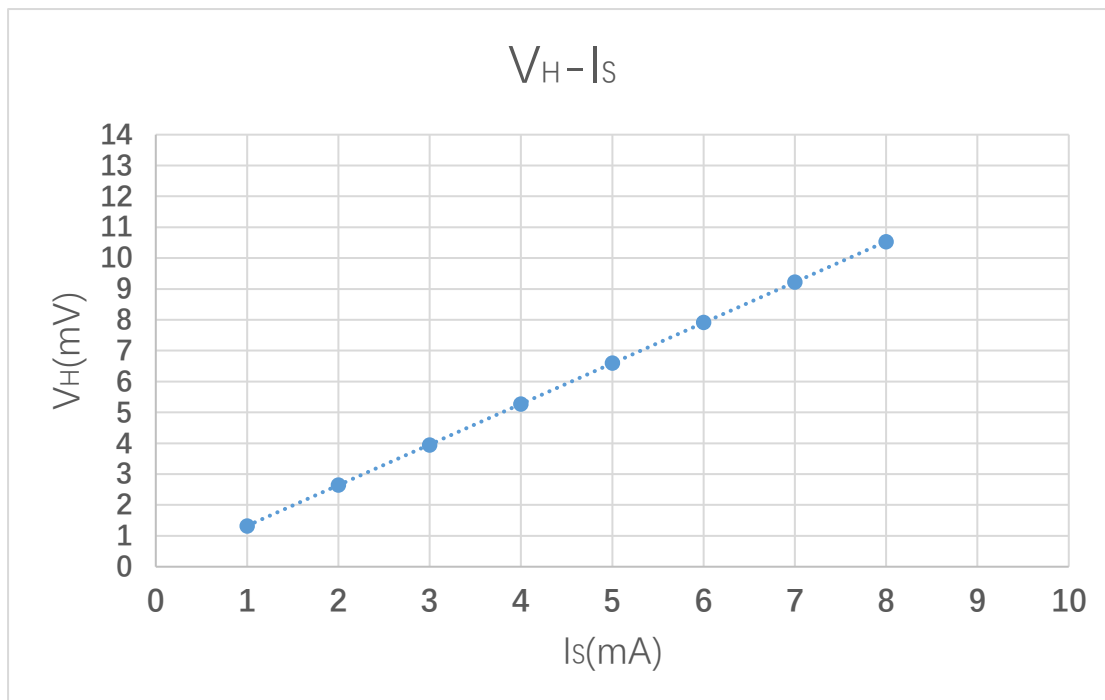
二. 数据处理及作图

1.画 V_H-I_M 和 V_H-I_S 曲线, 用最小二乘法计算斜率 K , 计算霍尔元件灵敏度 K_H ;



$$V_H = 13.3937826 I_M - 0.1799256$$

$$K_H = 0.87156471 / (5 \times 10^{-3}) = 174.312942 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{T})$$

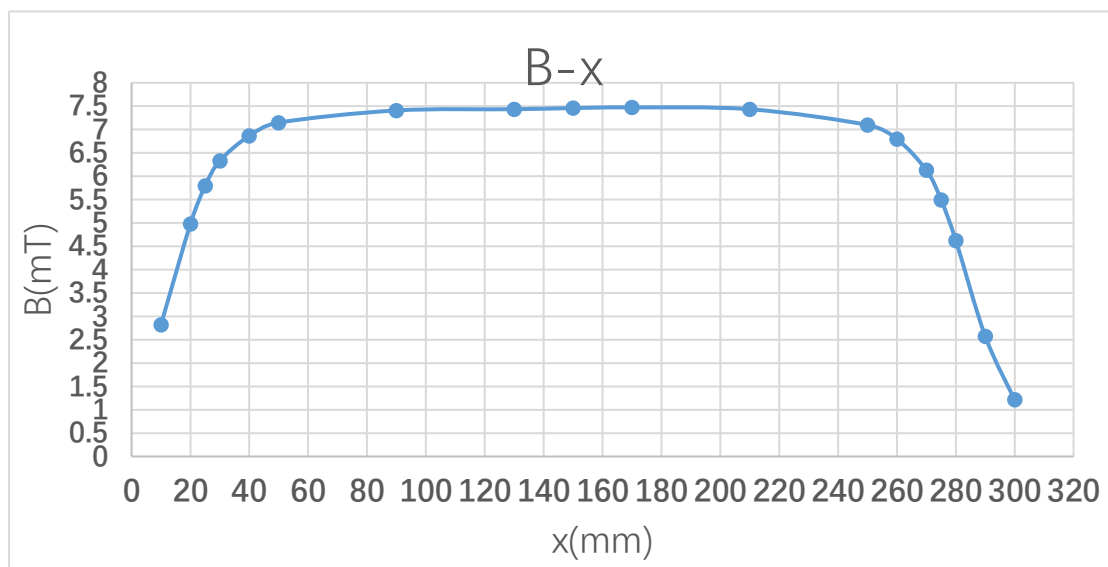


$$V_H = 0.75995167 I_S - 0.0072259$$

$$K_H = 1.31913579 / (7.4 \times 10^{-3}) = 178.26159 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{T})$$

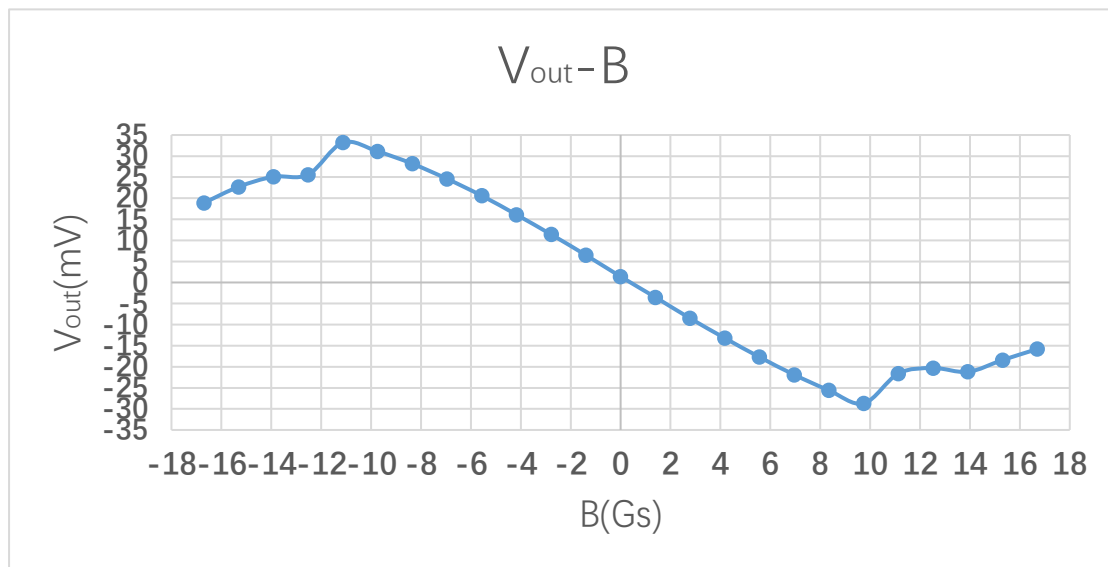
相差不大, KH 取 $176.29 V/(A \cdot T)$

2.画 $B-x$ 图, 描述螺线圈内 x 方向上 B 的分布特征;



可以看出, 在螺线管内部中点附近, B 的大小基本不变, 因此可认为很长的通电螺线管内部为匀强磁场; 而在螺线管两端附近, B 的大小变化非常明显, 在端点处达到最小值。

3.作出 $V_{out}-B$ 关系曲线, 并取在线性范围 ($\pm 6Gs$) 内数据, 根据公式计算各向异性磁阻传感器的灵敏度 S_A ;



结合最小二乘法得: $S_A=0.730782mV/(V \cdot Gs)$

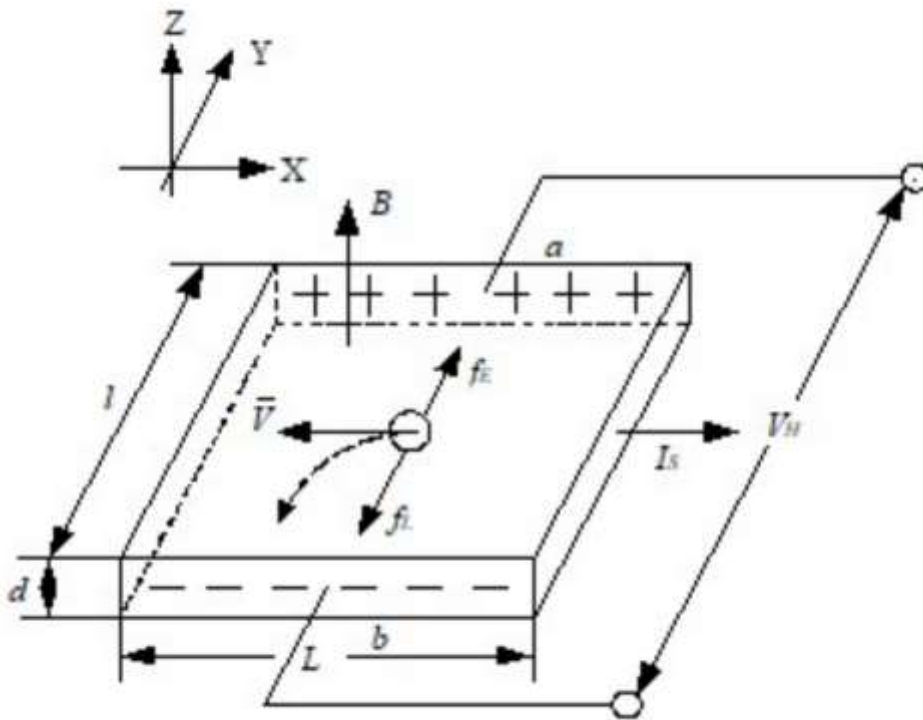
三. 讨论问题

1. 如何根据 B 、 I_H 和 U_H 方向判断霍尔片的导电类型 (N 或 P 型半导体), 要求画图说明。

(注: N 型半导体中, 载流子为电子; P 型半导体中将载流子视为正离子);

2. 估算本实验所用霍尔片的载流子浓度。

1.



如图为霍尔元件的示意图。坐标轴规定了电流 I_s 、磁场 B 、电压 U_H 的正方向。假设霍尔片是 N 型半导体, 载流子为电子。电子的流动方向与电流方向相反, 由于洛伦兹力的作用, 电子向图中的 f_L 方向偏转, 造成 b 侧负电荷的积累, 最终在 a, b 面建立霍尔电场 E_H , 以及电势差 V_H 。在该情况下, 若 V_H 为正值, 说明霍尔片是 N 型半导体。反之, 若 V_H 为负值, 说明霍尔片是 P 型半导体, 载流子为空穴。

2.

由于 $K_H = \frac{1}{ned}$, 所以在测得 K_H 的情况下, 可以通过 $n = \frac{1}{K_H ed}$ 估算载流子浓度。

已知实验所用霍尔片厚度 $d=1\text{mm}$, 故计算得

$$N=3.54 \times 10^{12} / \text{cm}^3$$