

班级 _____ 学号 _____ 姓名 _____ 教师签字 韩建卫
 实验日期 2023.10.20 预习成绩 _____ 总成绩 _____

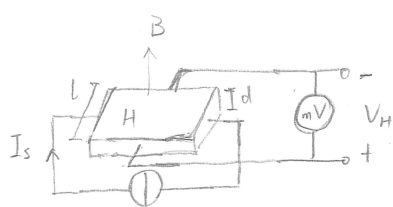
实验名称 霍尔效应传感器和各向异性磁电阻传感器

一. 实验目的

1. 理解霍尔传感器和各向异性磁阻传感器的工作原理;
2. 测量霍尔传感器霍尔电压与磁感应强度、工作电流的关系, 并计算霍尔系数;
3. 测量螺线管轴线上磁感应强度的大小和分布;
4. 测量各向异性磁阻传感器输出电压与磁感应强度(励磁电流)之间的关系并计算其灵敏度。

二. 实验预习

1. 如何利用霍尔效应测量磁场?



搭建如图所示的实验电路, 使霍尔元件平面与磁场垂直, 在控制端输入恒定电流 I_s , 测量输出端电压 V_H . 利用霍尔效应 $V_H = R_H \frac{I_s B}{d}$ (其中 $R_H = \frac{1}{ne}$), 可得 $B = \frac{V_H d}{R_H I_s}$

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Y方向上两侧出现温差.
3. 伦斯脱效应: 工作电流在电极处产生不同焦耳热 \rightarrow 温差电动势 \rightarrow 温差电流 $I_Q \rightarrow$ 偏转产生附加电势差.
4. 里纪-勒杜克效应: 由3. 中 I_Q 产生的类似爱廷豪森效应.

消除方法: 采用对称(交换)测量法, 分别测量 $+I_M + I_s, +I_M - I_s, -I_M - I_s, -I_M + I_s$ 下的输出电压 V_1, V_2, V_3, V_4 , 则 $V_H + V_E = \frac{1}{4} (V_1 - V_2 + V_3 - V_4)$, 除爱廷豪森以外的副效应会全部消除. 又因为非大电流、非强磁场下, $V_H \gg V_E$, 故 $V_H \approx \frac{1}{4} (V_1 - V_2 + V_3 - V_4)$.

3. 各向异性磁阻:

在磁阻传感器中, 由四个相同的磁阻元件构成惠斯通电桥, 易磁化轴方向与电流方向夹角为 45° , 当沿磁敏感方向施加磁场时, 合成磁化方向将发生旋转,

$$V_{out} = V_s \cdot \frac{\Delta R}{R} \propto B$$

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

三. 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	0.402	1.62	-1.10	1.10	-1.63	1.363
0.2	0.804	2.94	-2.42	2.43	-2.95	2.685
0.3	1.206	4.27	-3.73	3.74	-4.26	4.000
0.4	1.608	5.59	-5.06	5.07	-5.58	5.325
0.5	2.011	6.90	-6.38	6.39	-6.90	6.643
0.6	2.413	8.24	-7.71	7.71	-8.23	7.973
0.7	2.815	9.55	-9.02	9.02	-9.55	9.285
0.8	3.217	10.87	-10.35	10.35	-10.87	10.610
0.9						
1.0						

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)
	$+I_M, +I_S$	$-I_M, +I_S$	$-I_M, -I_S$	$+I_M, -I_S$	
0					
1.000	1.38	-1.28	1.28	-1.38	1.330
2.000	2.76	-2.56	2.56	-2.76	2.660
3.000	4.13	-3.82	3.83	-4.13	3.978
4.000	5.33	-5.10	5.11	-5.52	5.315
5.000	6.91	-6.37	6.38	-6.90	6.640
6.000	8.31	-7.65	7.64	-8.32	7.980
7.000	9.69	-8.90	8.89	-9.71	9.298
8.000	11.11	-10.15	10.14	-11.12	10.630
9.000					

10.000

3. 测量 V_H-X 关系

$I_M=0.500\text{A}$ $I_S=5.000\text{mA}$

x(mm)	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)	B(mT)
	+ $I_M, +I_S$	- $I_M, +I_S$	- $I_M, -I_S$	+ $I_M, -I_S$		
0	1.43	-0.88	0.88	-1.43	1.155	0.351
10	2.88	-2.33	2.33	-2.88	2.605	0.791
15	3.80	-3.22	3.22	-3.79	3.510	1.066
20	4.71	-4.16	4.16	-4.71	4.435	1.346
25	5.39	-4.82	4.82	-5.38	5.103	1.549
30	5.86	-5.33	5.33	-5.87	5.598	1.699
35	6.18	-5.61	5.61	-6.17	5.893	1.789
40	6.38	-5.86	5.85	-6.39	6.120	1.858
50	6.63	-6.08	6.09	-6.62	6.355	1.929
60	6.74	-6.20	6.21	-6.74	6.473	1.965
70	6.80	-6.25	6.25	-6.80	6.525	1.981
80						
90	6.86	-6.30	6.31	-6.86	6.583	1.998
100						
110						
120	6.89	-6.32	6.33	-6.89	6.608	2.006
130						
140						
150	6.91	-6.35	6.36	-6.90	6.633	2.014
160						
170						
180	6.92	-6.36	6.36	-6.91	6.638	2.015
190						
200						
210	6.88	-6.33	6.33	-6.88	6.605	2.005
220						
230	6.81	-6.25	6.25	-6.80	6.528	1.982
240	6.73	-6.16	6.16	-6.73	6.445	1.956
250	6.60	-6.03	6.03	-6.59	6.313	1.916
260	6.33	-5.75	5.76	-6.33	6.043	1.834

265	6.10	-5.52	5.52	-6.09		5.808	1.763
270	5.72	-5.14	5.14	-5.71	5.428		1.648
275	5.18	-4.60	4.61	-5.18	4.893		1.485
280	4.40	-3.82	3.83	-4.39	4.110		1.248
285	3.50	-2.93	2.93	-3.49	3.213		0.975
290	2.56	-1.99	1.99	-2.56	2.275		0.691
300	1.39	-0.82	0.82	-1.39	1.105		0.335

4. AMR 的 $V_{out}-I_M$ 关系

$V_S=4.00V$

$I_M(mA)$	$B(Gs)$	$V_{out}(mV)$	$I_M(mA)$	$B(Gs)$	$V_{out}(mV)$
600	16.725	-18.0	-50	-1.394	5.2
550	15.331	-22.4	-100	-2.787	10.1
500	13.937	-29.3	-150	-4.181	14.9
450	12.544	-32.5	-200	-5.575	19.4
400	11.150	-31.6	-250	-6.969	23.5
350	9.756	-29.5	-300	-8.362	27.3
300	8.362	-26.6	-350	-9.756	30.4
250	6.969	-23.0	-400	-11.150	32.8
200	5.575	-19.1	-450	-12.544	34.1
150	4.181	-14.6	-500	-13.937	33.1
100	2.787	-10.0	-550	-15.331	24.4
50	1.394	-5.1	-600	-16.725	20.9
0	0	-0.2			

5. AMR 的 $V_{out}-\theta$ 关系

$V_S=4.00V, I_M=150mA$

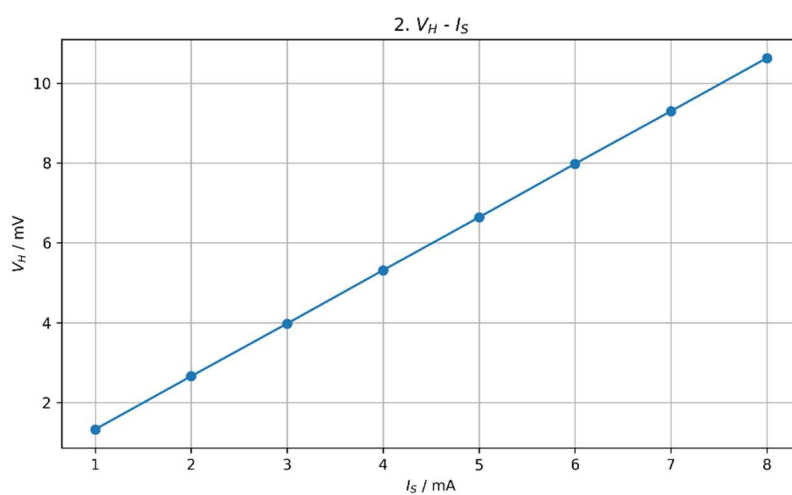
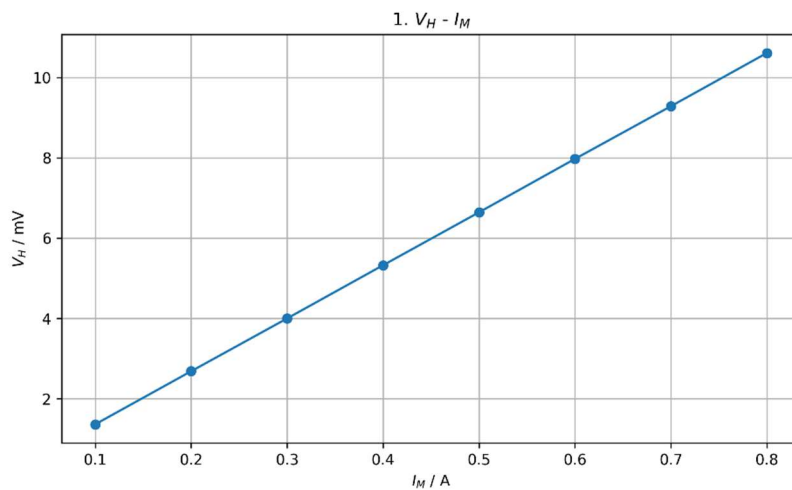
$\theta (^{\circ})$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$V_{out} (mV)$	14.8	14.8	14.7	14.5	14.2	13.9	13.4	12.8	12.2	11.4
$\theta (^{\circ})$	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
$V_{out} (mV)$	10.6	9.7	8.7	7.6	6.5	5.3	4.1	2.8	1.5	

教师	姓名
签字	李卓已

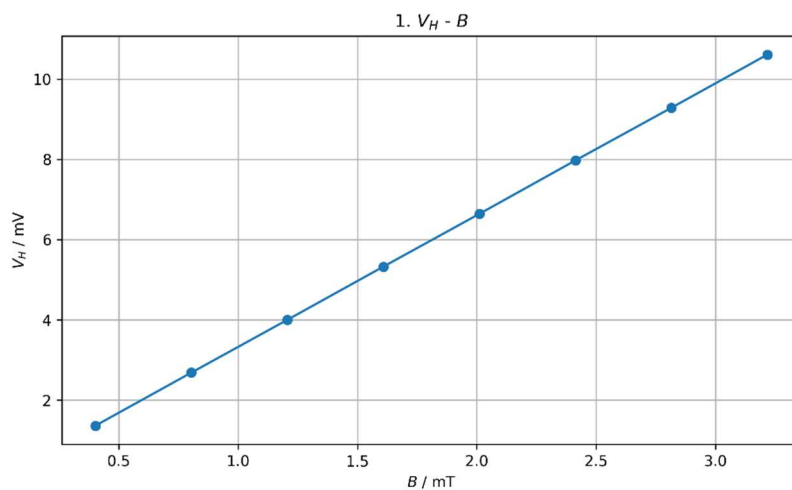
四. 数据处理及作图

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 ;

根据实验数据计算出 V_H , 并作出 V_H-I_M 和 V_H-I_S 曲线图如下:



作为补充, 由 I_M 可以计算出磁场强度 B , 得到 V_H-B 曲线图如下:



可以看出, V_H 与 I_M 及 I_S 均成正比。分别根据两组实验数据使用最小二乘法, 以及公式 $V_H = K_H I_S B$ 计算得出:

$$K_1 = 0.6569 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{mT})$$

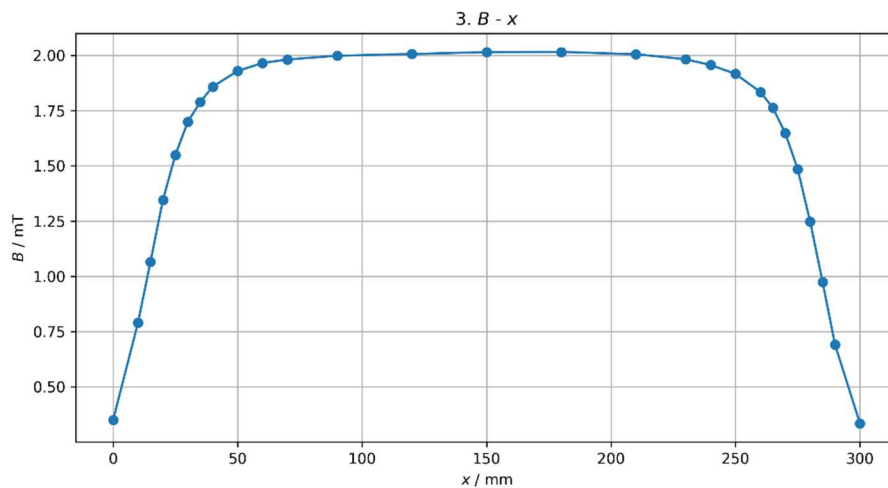
$$K_2 = 0.6608 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{mT})$$

取算术平均数, 得到霍尔元件灵敏度

$$K_H = \frac{K_1 + K_2}{2} = 0.6588 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{mT}) = 658.84 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{T})$$

2. 画 $B-x$ 图, 描述螺线圈内 x 方向上 B 的分布特征;

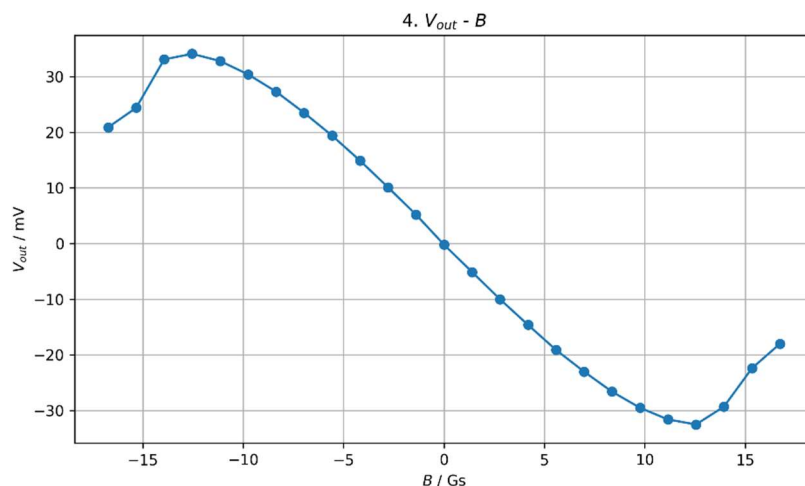
利用前述实验所得 K_H 计算 B , 绘制出 $B-x$ 图如下:



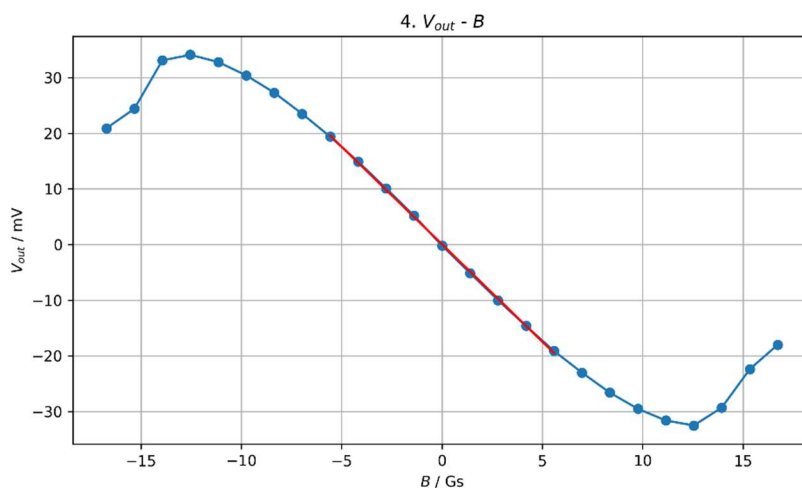
可以看出, 在螺线管内部中点附近, B 的大小基本不变, 因此可认为很长的通电螺线管内部为匀强磁场; 而在螺线管两端附近, B 的大小变化非常明显, 在端点处达到最小值。

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

利用实验测得 I_M 以及公式 (10-18) 计算出 B , 得到 $V_{out}-B$ 关系曲线如下:



取 B 在 $\pm 6\text{Gs}$ 内的部分进行线性拟合并用最小二乘法计算斜率，再将斜率除以 V_S ，即可获得传感器的灵敏度。拟合直线在曲线中表示如下：

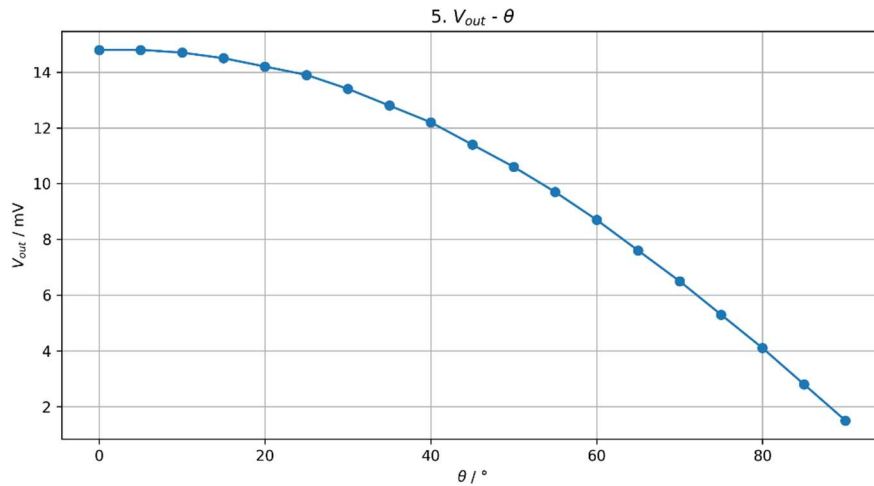


最终计算得出的传感器灵敏度

$$S_A = \frac{V_{out}}{(V_S \cdot B)} = 0.8760 \text{ mV}/(\text{V} \cdot \text{Gs})$$

4. 作各向异性磁阻传感器的 $V_{out}-\theta$ 关系曲线，确认输出电压与转角的关系。

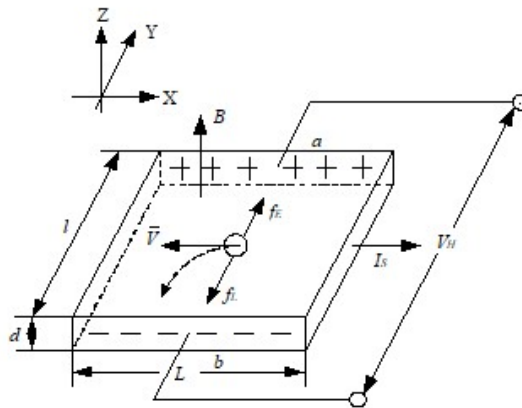
根据实验数据直接绘制出 $V_{out}-\theta$ 关系曲线如下：



可以看出, θ 从 0° 增大到 90° 的过程中, V_{out} 逐渐降低, 曲线形似正弦曲线, 符合规律 $R = R_{min} + (R_{max} - R_{min}) \cos^2 \theta$ 。

五. 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);



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 (正离子)。

2. 估算本实验所用霍尔片的载流子浓度。

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

$$n = \frac{1}{658.84 \times 1.602 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{-3}} \approx 9.473 \times 10^{18} \text{ m}^{-3} = 9.473 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$