

11 实验 E-9 集成霍尔传感器实验

姓名: 林继伟 学号: 2250758 成绩: 优 合作者: _____
 指导教师: _____ 实验编号: 周三第 7-8 节 C 组 6 号

一、实验目的

- 了解集成霍耳传感器测量磁感应强度的原理与方法。
- 学会采用螺线管中心点磁感应强度理论值来计算集成霍耳传感器灵敏度的方法。

二、实验原理知识准备与预习自测

1. 霍耳效应(Hall Effect)是指当放置在磁场内的霍耳元件中有电流通过时,元件内运动的带电粒子受到 洛伦兹 力的作用而发生偏转,在 垂直 (平行, 垂直)于电流和磁场的方向上产生电势差,形成霍耳电场。以公式 $U_H = K_H IB$ 表示,式中 K_H 为 霍尔传感器灵敏度 单位为 $V \cdot A^{-1} \cdot T^{-1}$ 。 K_H 与元件材料的 厚度 和 载流子浓度 有关。

2. 集成霍尔传感器由霍尔元件 集成电路放大器 和 薄膜电阻 组合而成。由于半导体材料的结晶不均匀、电极不对称以及各种副效应等引起的剩余电压,采用 电压补偿法 加以消除。本实验中采用 SS495A 型集成霍尔传感器,其输出电压 U_H 与磁感应强度 B 的关系为 $B = \frac{U_H - 2.500}{K_S}$, 式中 K_S 为 集成霍尔传感器灵敏度 单位 V/T 。

3. 通电螺线管内部近似为匀强磁场,其磁感应强度为 $B = \frac{\mu_0 N I_m}{\sqrt{D^2 + L^2}}$ 。测定集成霍尔传感器灵敏度时,应将其置于通电螺线管内部的 中间 (左侧, 中间, 右侧)。计算灵敏度采用的数据处理方法为 线性回归(最小二乘法)

三、实验步骤

请补充写出主要实验步骤：

1. 正确安装(接线),其中,集成霍尔元件的“V+”连接 电源4.8~5.2V;“V-”连接 地线;“Vout”连接 数字电压表+。
2. 传感器调零。令开关 K_2 断开,励磁电流 $I_m=0$,使磁感应强度 $B=0$ 。
 - (1) 调整工作电压(调整 4.8~5.2 V),当磁感应强度 $B=0$ 时, $U_{S0} = \underline{2.500V}$ 。
 - (2) 外补偿(调整 2.4~2.6 V),当磁感应强度 $B=0$ 时, $U_0 = \underline{0mV}$ 。
3. 传感器定标,得到 K_s 值。
4. 测绘通电螺线管轴线上磁感应强度分布曲线 $B-X$ 图。

注意:(1) 传感器置于螺线管中心处;
 (2) 若磁感应强度 B 反向,则 I_m 增加时 U_S 反而减少,此时可将 K_2 换向使磁感应强度 B 恢复正向,则 U_S 随 I_m 增加而增加。

E-9

教师签名:

蒋 3.22

四、实验仪器

主要实验仪器名称	规格型号	仪器误差 $\Delta_\text{仪}$
新型螺线管磁场测定实验仪	FD-LCH-C	线性误差1%. 温度误差<0.06%/°C.

五、实验现象观察与记录

V₀, I₀, R₀, R₁, R₂

±ΔV, ±ΔI, ±ΔR

ΔV, ΔI, ΔR

V_{002.5}

V₀₀₀

实验现象观察与记录

002NVE

±ΔV, ±ΔI, ±ΔR

教师签名: 蔡 3.22

原始数据记录必须用圆珠笔或钢笔书写;经教师签名才有效。

六、实验数据处理

1. 最小二乘法(一元线性回归)计算 K_s 。

(1) 计算励磁电流 $I_m = 200 \text{ mA}$ 时螺线管中心点磁感应强度理论值:

(改正: 250 mA)

$$B_c = \mu_0 N I_m / \sqrt{D^2 + L^2} = 3.59 \text{ mT}$$

(2) 测量霍耳效应电势差 U_s

$$U_s = K_s B_c + 2.500 = (K_s \mu_0 N / \sqrt{D^2 + L^2}) I_m + 2.500$$

改变 I_m 值($0 \sim 250 \text{ mA}$), 每间隔 25 mA, 测量 $U_s(\text{V})$ 。

(改正: 400 mA) (改正: 50 mA)

I_m / mA	U_s / V (改正: mV)	I_m / mA	U_s / V (改正: mV)
0 (改正数据)	0	150 (300)	138.0
25 (50)	23.6	175 (350)	160.7
50 (100)	46.4	200 (400)	183.4
75 (150)	69.2	225	
100 (200)	92.2	250	
125 (250)	115.1		

由上表数据, 用最小二乘法(一元线性回归)求出 $\frac{\Delta U_s}{\Delta I_m} = 0.4580 \text{ V/A}$

相关系数 $r = 1.00$

$$D = 0.035 \text{ m} \quad L = 0.26 \text{ m} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad N = 3000$$

计算传感器灵敏度 K_s :

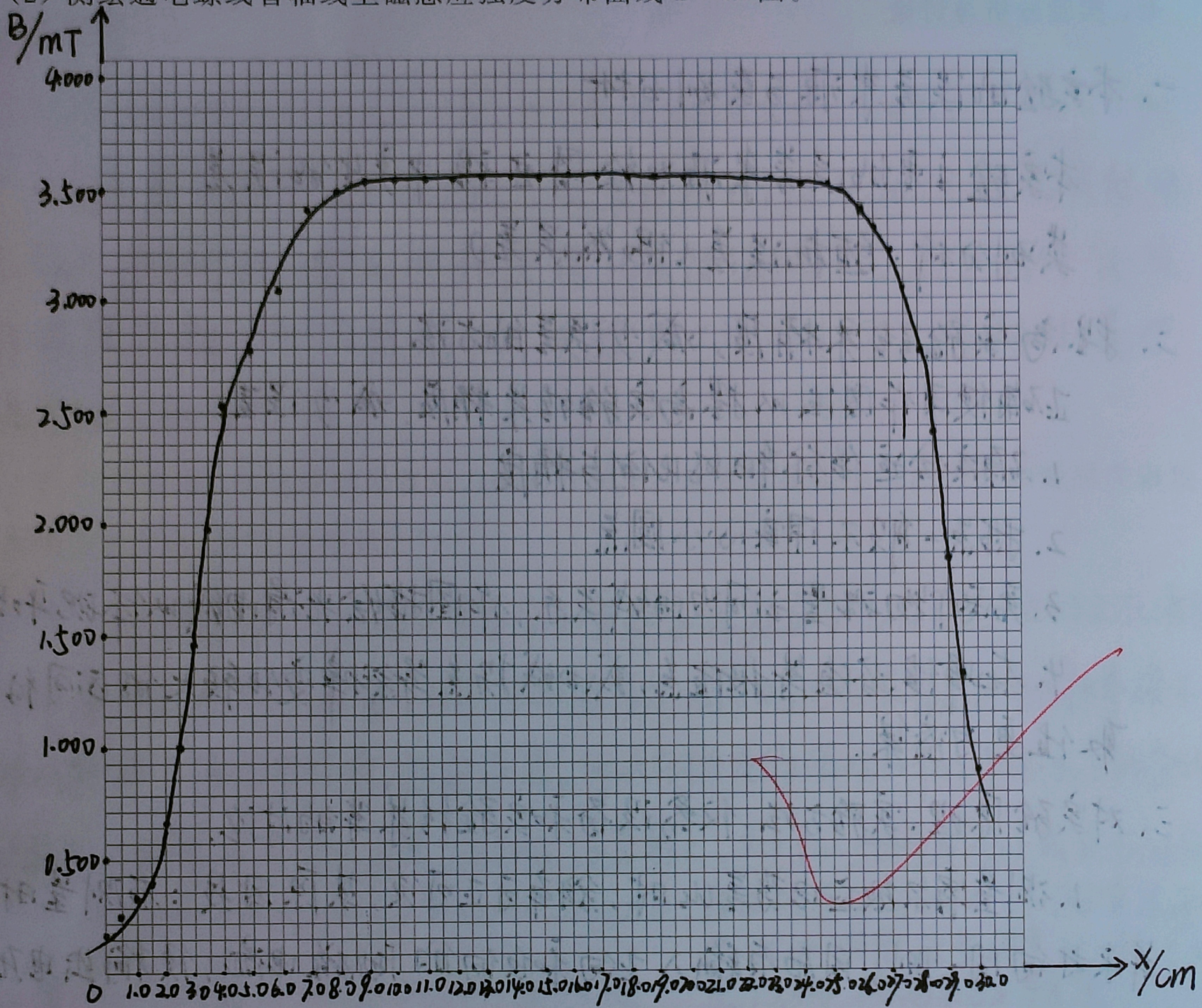
$$K_s = \frac{\Delta U_s}{\Delta B_c} = \frac{\sqrt{D^2 + L^2}}{\mu_0 N} \cdot \frac{\Delta U_s}{\Delta I_m} = 31.89 \text{ V/T}$$

2. 测绘通电螺线管轴线上磁感应强度分布曲线 $B-X$ 图(取励磁电流 $I_m = 200 \text{ mA}$)。
 (修正: 250 mA)

(1) 数据记录表

x /cm	U_1 /mV	$ U_2 $ /mV	U /mV	$B=U/K_s$ /mT	x /cm	U_1 /mV	$ U_2 $ /mV	U /mV	$B=U/K_s$ /mT
0	5.1	5.2	5.15	0.161	19.0	113.4	114.1	113.75	3.567
0.5	7.3	7.5	7.40	0.232	20.0	112.8	113.3	113.05	3.545
1.0	10.1	10.1	10.10	0.317	21.0	112.3	112.8	112.55	3.529
1.5	14.5	14.5	14.50	0.455	22.0	112.1	112.1	112.10	3.515
2.0	21.3	21.1	21.20	0.665	23.0	112.0	112.1	112.05	3.514
2.5	32.1	31.9	32.00	1.003	24.0	111.6	112.0	111.80	3.506
3.0	46.4	46.8	46.60	1.461	25.0	110.2	111.1	110.65	3.470
3.5	63.3	63.5	63.40	1.988	26.0	107.8	108.3	108.05	3.388
4.0	78.1	78.2	78.15	2.451	26.5	105.8	106.4	106.10	3.327
4.5	88.7	88.9	88.80	2.785	27.0	102.8	102.4	102.60	3.217
5.0	95.8	96.3	96.05	3.012	27.5	97.4	98.0	97.70	3.064
6.0	104.6	104.7	104.65	3.282	28.0	87.9	88.6	88.75	2.767
7.0	108.5	109.0	108.75	3.410	28.5	76.6	76.9	76.75	2.401
8.0	110.5	111.5	111.00	3.481	29.0	58.8	59.4	59.10	1.853
9.0	112.0	112.3	112.15	3.611	29.5	42.1	42.5	42.30	1.326
10.0	112.4	112.7	112.55	3.529	30.0	27.5	27.7	27.60	0.865
11.0	112.6	112.8	112.70	3.534					
12.0	112.9	113.0	112.95	3.542					
13.0	113.3	113.4	113.35	3.564					
14.0	113.8	114.0	113.90	3.572					
15.0	114.1	114.6	114.35	3.586					
16.0	114.6	115.0	114.80	3.600					
17.0	114.4	114.6	114.50	3.590					
18.0	113.9	114.3	114.10	3.578					

(2) 测绘通电螺线管轴线上磁感应强度分布曲线 $B-X$ 图。



(3) 计算 $I_m = 200 \text{ mA}$ 时, 螺线管中心点磁感应强度理论值与实验值的百分差。

(修正: 250 mA)

$$B_{co} = 3.60 \text{ mT}$$

$$B_c = 3.59 \text{ mT}$$

$$E_0 = \frac{|B_{co} - B_c|}{B_c} = 0.3\%$$

一、本实验的误差来源与类别分析

本实验主要的误差来源为绘图过程中产生的误差

类别分析：随机误差（偶然误差）

二、提高实验结果精度，减少误差的方法

正确使用作图法以提高实验结果精度，减少误差。

1. 确定合适坐标轴的比例与精度

2. 描点一般不用实心小圆点

3. 若两个物理量之间为曲线关系，作图描绘光滑曲线以体现平均趋势

4. 在峰值、谷值等极值点，或曲线拐点等斜率变化较大的区间往往测量点取值更为密集。

三、对实验原理、实验方法、仪器设备和实验结果等的讨论

1. 测量霍尔效应电势差时，斜率可正可负，其原因是：在测量时双刀开关并未打向同一侧，因而有输入正向和反向的励磁电流，使输出电压有增大也有减小，从而得到图像的斜率有正有负。

2. 算成霍尔元件的V₊和V₋不能接反，否则将损坏元件。

3. 拆除接线前应先将螺线管工作电流调至0，再关闭电源，以防止电流突变引起高电压。

4. 实验中，补偿电压的作用是什么？

在无磁场情况下，由于半导体材料结晶不均匀、各种副效应以及电极不对称等因素引起的剩余电压，采用电压补偿法加以消除。

操作内容：一、确定磁场均匀区。

$$\text{根据 } \delta = \frac{|B_0 - B|}{B_0} \times 100\% \leq 1\% \text{ 可以确定}$$

由于 $\delta \leq 1\%$ ，中心处的磁感应强度为3.600 mT，故磁场均匀区的磁场范围为3.564 mT。根据实验数据可知磁场均匀区的范围为13.0 cm~19.0 cm

二、确定螺线管边缘的磁感应强度并求出螺线管的长度。

由于螺线管边缘处 $B = \frac{B_0}{2}$ ，故根据B-X图像中的拟合曲线与 $B = \frac{B_0}{2}$ 的交点，确定其位3.3 cm 和 29.0 cm。故螺线管边缘的磁感应强度为1.800 mT，螺线管的长度为25.7 cm。

八、思考题

1. 通电螺线管长时间通电会引起线圈发热,请分析对实验结果有何影响? 如何消除?

答: 线圈发热时其电阻增大,会导致所测得电压值将比实际电压值大,则所测得磁场强度将比实际值偏大。霍尔元件有一定的温度系数,为消除影响,实验时工作电流不允许超过某个指定值(如额定值)

2. 实验中为什么要采取设置双刀换向开关 K_2 ,改变螺线管中电流方向和磁感应强度方向的测量方法(即“对称测量法”)?

答: 因为伴随着霍尔效应还经常存在如爱廷豪森效应等热磁效应,它们会在霍尔电位差上再叠加温差电动势。此外,使用的霍尔元件由于电极在霍尔片两侧焊接不对称引起的不等位电动势,造成误差。所以在确定的磁感应强度 B 和工作电流 I 的条件下,实际测出的电位差受以上因素影响,误差较大。又由于以上因素都与 I 或 B 方向有关,

3. 设计一个应用集成霍尔元件检测电流的方法。通过改变方向的对称测量法可以

答: 1. 导线旁测法: 此法最简单, 将 非常好地消除这些因素引入的系统误差, 从而提高实验精度。

霍尔元件放在通电导线的附近, 给霍尔元件通一恒定电流, 用霍尔元件测量被测导线的磁场, 就可以从霍尔元件输出的电压中确定被测电流的值。

2. 导线贯穿磁芯法: 使被测导线贯穿磁导体铁芯的中央, 将霍尔传感器放在磁导体的气隙中, 这样, 可以通过环形铁芯集中磁力线。当导体中有电流通过时, 使导体铁芯磁化, 在环形气隙中形成磁场。导线中电流越大, 气隙处的磁感应强度就越大, 霍尔元件输出电压就越大, 于是可以通过电压检测导线中的电流大小。

3. 磁芯绕线法: 绕在铁芯上的线圈在通电流时铁芯中产生磁场。通上电流的集成霍尔元件

在磁场的作用下, 产生霍尔电动势。将产生的微小霍尔电动势接入放大电路中, 用数字电压表检测, 通过数字读出数字电压表读数即可知道待测电流的大小。

教师签名:

蒋平生