

DH4510 磁阻效应综合实验仪
(实验讲义)

使
用
说
明
书

杭州大华仪器制造有限公司

DH4510 磁阻效应综合实验仪

一、概述

磁阻器件由于其灵敏度高、抗干扰能力强等优点在工业、交通、仪器仪表、医疗器械、探矿等领域应用十分广泛。如：数字式罗盘、交通车辆检测，导航系统、伪钞检测、位置测量等作为传感器。其中最典型的碲化铋（InSb）传感器是一种价格低廉、灵敏度高的磁电阻。学习和掌握正常磁电阻传感器的磁阻特性，可用于制造在磁场微小的变化时测量多种物理量的传感器。本实验装置结构简单、实验内容丰富，使用两种材料的传感器：砷化镓（GaAs）霍尔传感器测量磁感应强度，可研究碲化铋（InSb）磁阻传感器在不同的磁感应强度下的电阻大小。学生可观测半导体霍尔效应和磁阻效应两种物理规律，同时可以观测磁阻传感器在弱频交流磁场中具有倍频现象，及其作为磁测量中的不同应用，具有研究性和相关性的实验特点，适用于基础物理实验和综合性物理实验。

二、用途

- 1、用于测定通过电磁铁电流和磁铁间隙中磁感应强度的关系，了解毫特计的测量原理。
- 2、用于测定 InSb 磁阻元件电阻大小与磁感应强度的对应关系。
- 3、研究 InSb 磁阻元件在不同磁感应强度区域的电阻值的相应变化与磁感应强度关系，进行曲线拟合，求出磁阻元件电阻与磁感应强度关系的经验公式。
- 4、观测 InSb 磁阻元件的倍频特性。

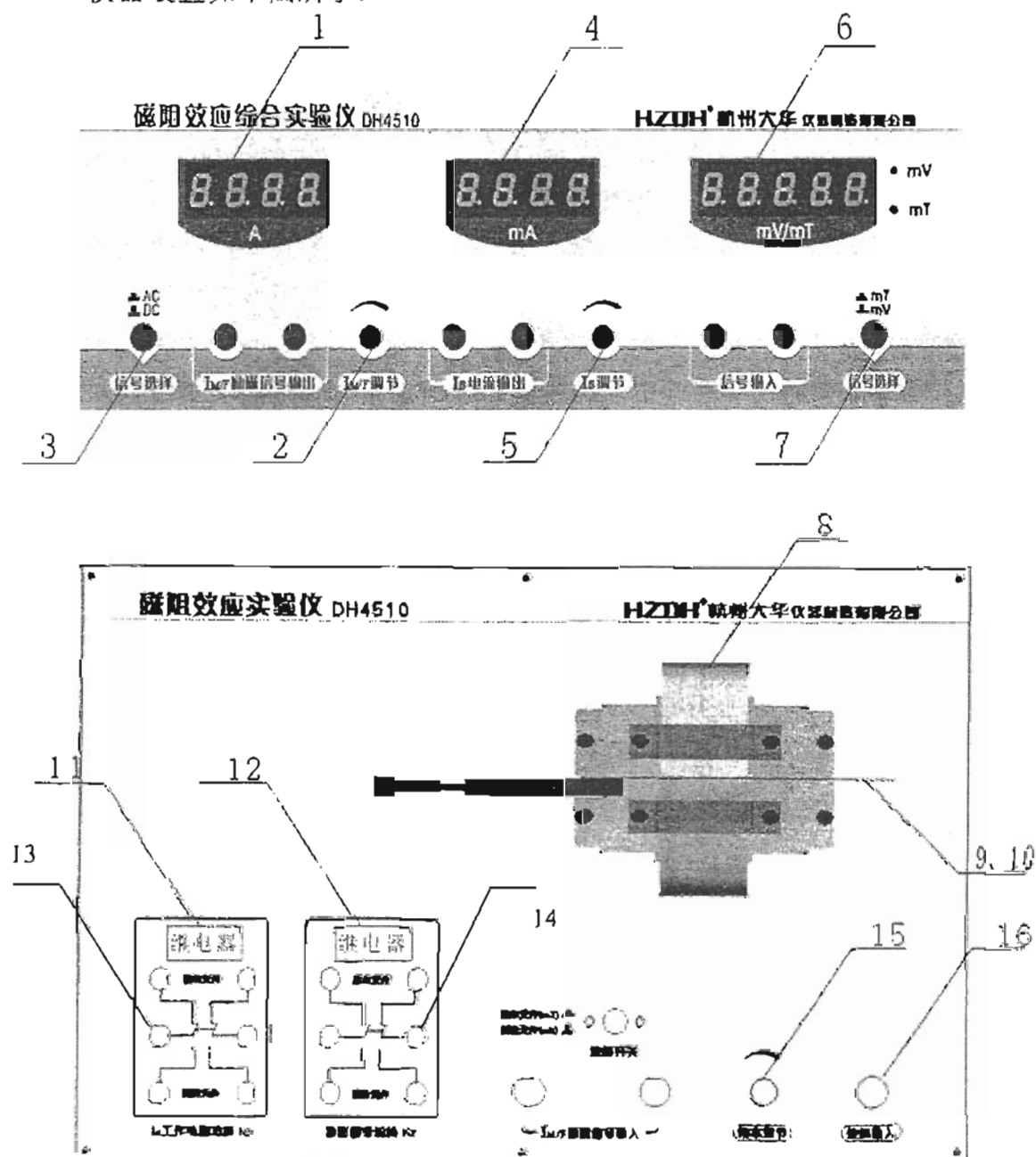
三、仪器组成及技术指示

（一）仪器组成

- 1、直流励磁电流的显示
- 2、直流励磁电流的调节
- 3、励磁信号的选择（DC/AC）
- 4、磁阻传感器及霍尔传感器工作电流的显示
- 5、磁阻传感器及霍尔传感器工作电流的调节
- 6、磁场强度及磁阻电压的显示
- 7、磁场强度及磁阻电压的切换
- 8、电磁铁和励磁线圈
- 9、砷化镓（GaAs）霍尔传感器

- 10、铟化铟 (InSb) 磁阻传感器
- 11、工作电流切换继电器 K_1
- 12、输出信号切换继电器 K_2
- 13、继电器 K_1 触点接线柱
- 14、继电器 K_2 触点接线柱
- 15、交流励磁信号频率调节
- 16、控制信号输入端子

仪器装置如下图所示：



（二）技术指标：

- 1、 I_{MF} 直流恒流源：电流 0~750mA 连续可调。提供电磁铁的工作电流。3 位半数字电流表显示输出电流大小。
- 2、 I_s 直流恒流源：输出电流 0~3mA 连续可调，供砷化镓（GaAs）霍尔传感器和铟化镓（InSb）磁阻传感器的工作电流。3 位半数字电流表显示输出电流大小。
- 3、数字式磁场强度和磁阻电压转换测量表：测量磁场强度范围 0~500mT，精度为 1%；测量磁阻电压范围 0~2000mV，精度为 0.5%。

四、仪器使用注意事项

- 1、两种传感器均已安装在电路板上并固定在磁铁间隙中，不可将传感器及电路板弯折扭动。
- 2、不要在测试架附近放置具有磁性的物品。
- 3、加电前必须使测试仪的“ I_{MF} 调节”和“ I_s 调节”旋钮均逆时针旋转到底。（以保证开机后“ I_{MF} 直流恒流源”和“ I_s 直流恒流源”3 位半数字电流表初始电流为零）。
- 4、严禁在励磁线圈加电后插拔励磁电流连线！因为此时会有极强的感应电压，可能损坏仪器。（如需插拔励磁电流连线，应将励磁电流调至最小，再关闭交流电源，才可进行插拔）

五、仪器成套性

1、磁阻效应实验仪	1 台
2、磁阻效应测试架	1 台
3、交流电源线	1 根
4、产品合格证	1 份
5、使用说明书（实验讲义）	1 份
6、测试线（红）	4 根
7、测试线（黑）	4 根
8、波形观测线	2 根
9、1A 保险丝（含备用已在电源座中）	2 只

磁阻效应及磁阻传感器的特性研究

一、概述

磁阻效应是指某些金属或半导体的电阻值随外加磁场变化而变化的现象。和霍尔效应一样,磁阻效应也是由于载流子在磁场中受到的洛伦兹力而产生的。若外加磁场与外加电场垂直,称为横向磁阻效应;若外加磁场与外加电场平行,称为纵向磁阻效应。

磁阻效应还与样品的形状有关,不同几何形状的样品,在同样大小的磁场作用下,其电阻不同,该效应称为几何磁阻效应。由于半导体的电阻率随磁场的增加而增加,有人又把该磁阻效应称为物理磁阻效应。

目前,磁阻效应广泛应用于磁传感、磁力计、电子罗盘、位置和角度传感器、车辆探测、GPS 导航、仪器仪表、磁存储(磁卡、硬盘)等领域。

二、实验目的:

- 1、了解磁阻效应的基本原理及测量磁阻效应的方法。
- 2、测量锑化铟传感器的电阻与磁感应强度的关系。
- 3、作出锑化铟传感器的电阻变化与磁感应强度的关系曲线,并进行相应的曲线和直线拟合。
- 4、学习用磁阻传感器测量磁场的方法。
- 5、观测在弱正弦交流磁场中,磁阻传感器的交流倍频特性。

三、实验原理:

一定条件下,导电材料的电阻值 R 随磁感应强度 B 变化规律称为磁阻效应。如图 1 所示,当半导体处于磁场中时,导体或半导体的载流子将受洛伦兹力的作用,发生偏转,在两端产生积聚电荷并产生霍尔电场。如果霍尔电场作用和某一速度的载流子的洛伦兹力作用刚好抵消,则小于此速度的电子将沿霍尔电场作用的方向偏转,而大于此速度的电子则沿相反方向偏转,因而沿外加电场方向运动的载流子数量将减少,即沿电场方向的电流密度减小,电阻增大,也就是由于磁场的存在,增加了电阻,此现象称为磁阻效应。如果将图 1 中 U_H 短路,磁阻效应更明显。因为在上述的情况里,磁场与外加电场垂直,所以该磁阻效应称为横向磁阻效应。

当磁感应强度平行于电流时,是纵向情况。若载流子的有效质量和弛豫时间与移动方向无关,纵向磁感应强度不引起载流子漂移运动的偏转,因而没有纵向霍尔效应的磁阻。而对于载流子的有效质量和弛豫时间与移动方向有关的情形,若作用力的方向不在载流子的有效质量和弛豫时间的主轴方向上,此时,

载流子的加速度和漂移移动方向与作用力的方向不相同，也可引起载流子漂移运动的偏转现象，其结果总是导致样品的纵向电流减小电阻增加。在磁感应强度与电流方向平行情况下所引起的电阻增加的效应，被称为纵向磁阻效应。

通常以电阻率的相对改变量来表示磁阻的大小，即用 $\Delta\rho/\rho(0)$ 表示。其中 $\rho(0)$ 为零磁场时的电阻率，设磁电阻电阻值在磁感应强度为 B 的磁场的电阻率为 $\rho(B)$ ，则 $\Delta\rho=\rho(B)-\rho(0)$ 。由于磁阻传感器电阻的相对变化率 $\Delta R/R(0)$ 正比于 $\Delta\rho/\rho(0)$ ，这里 $\Delta R=R(B)-R(0)$ 。因此也可以用磁阻传感器电阻的相对改变量 $\Delta R/R(0)$ 来表示磁阻效应的大小。

测量磁电阻电阻值 R 与磁感应强度 B 的关系实验装置及线路如图 2 所示。

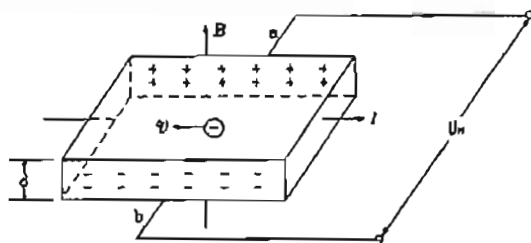


图 1 磁阻效应

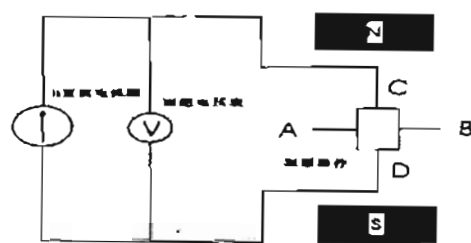


图 2 测量磁电阻实验装置

尽管不同的磁阻装置有不同的灵敏度，但其电阻的相对变化率 $\Delta R/R(0)$ 与外磁场的关系都是相似的。实验证明，磁阻效应对外加磁场的极性不灵敏，就是正负磁场的相应相同。一般情况下外加磁场较弱时，电阻相对变化率 $\Delta R/R(0)$ 正比于磁感应强度 B 的二次方；随磁场的加强， $\Delta R/R(0)$ 与磁感应强度 B 呈线性函数关系；当外加磁场超过特定值时， $\Delta R/R(0)$ 与磁感应强度 B 的响应会趋于饱和。

另外， $\Delta R/R(0)$ 对总磁场的方向很灵敏，总磁场为外磁场与内磁场之和，而内磁场与磁阻薄膜的性质和几何形状有关。

四、实验仪器

实验采用 DH4510 磁阻效应实验仪，研究铟化锑（InSb）磁阻传感器的磁阻特性，图 3 为该仪器示意图

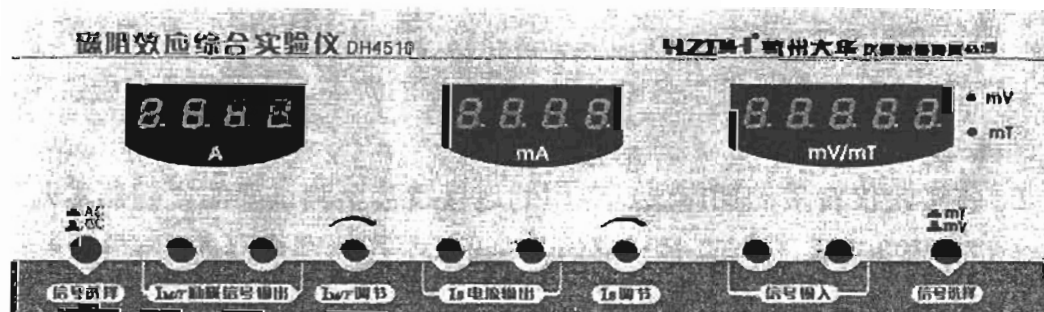


图 3 (a) 磁阻效应实验仪面板图

DH4510 磁阻效应实验仪由实验仪和测试架两部分组成。实验仪包括双路可调直流恒流源、电流表、数字式磁场强度计（毫特计）和磁阻电压转换测量表（毫伏表）、控制电源等。测试架包括励磁线圈（含电磁铁）、铟化铋（InSb）磁阻传感器、GaAs 霍尔传感器、转换继电器及导线等组成。仪器连接如图 4 所示。

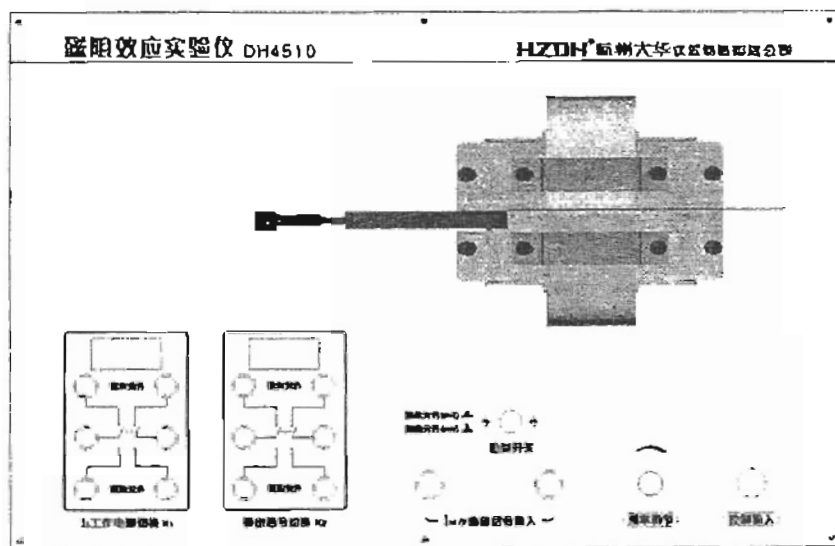


图 3 (b) 磁阻效应测试架图

五、实验内容

1、在铟化铋磁阻传感器工作电流保持不变的条件下，测量铟化铋磁阻传感器的电阻与磁感应强度的关系。作 $\Delta R/R(0)$ 与 B 的关系曲线，并进行曲线拟合。（实验步骤由学生自己拟定，实验时注意 GaAs 和 InSb 传感器工作电流应调至 1mA）。

2、用磁阻传感器测量一个未知的磁场强度，与毫特计测得的磁场强度相比较，估算测量误差。

六、实验步骤

仪器开机前须将“ I_{MF} 调节”电位器、“ I_s 调节”电位器逆时针方向旋到底。

1、实验仪的“ I_{MF} 励磁信号输出”端子用导线接至测试架的“ I_{MF} 励磁信号输入”端子，红导线与红接线柱相连，黑导线与黑接线柱相连，如图 4 所示。调节“ I_{MF} 调节”电位器可改变励磁电磁铁线圈电流的大小，从而改变电磁铁间隙中磁感应强度的大小。

2、将实验仪背后的插座通过专用的连接线接至测试架的“控制输入”端。这是一路提供继电器工作的 12V 直流控制电源，作为继电器的控制电压。同时也是观察弱正弦交变磁场中磁阻传感器交流倍频特性的频率调节电位器的连接线。

3、信号源上“ I_s 电流输出”用专用连接线接至“ I_s 工作电流切换 K_1 ”接线柱的中间两端，红导线与红接线柱相连，黑导线与黑接线柱相连。如图 4 所示。

4、实验仪的“信号输入”两端用专用连接线接至“输出信号切换 K_2 ”接线柱的中间两端，红导线与红接线柱相连，黑导线与黑接线柱相连。如图 4 所示。

5、将“ I_s 工作电流切换 K_1 ”接线柱的下面两端与“输出信号切换 K_2 ”接线柱的下面两端相连，红导线与红接线柱相连，黑导线与黑接线柱相连。如图 4 所示。

6、将铟化铟（InSb）磁阻传感器引出线的红/黑香蕉插（绿/蓝色线）与“ I_s 工作电流切换 K_1 ”接线柱的下面两端相连，红的香蕉插接红接线柱，黑的香蕉插接黑接线柱。如图 4 所示。

7、砷化镓（GaAs）霍尔传感器的红/黑香蕉插（棕/红色线）为工作电流输入端，与“ I_s 工作电流切换 K_1 ”接线柱的上面两端相连；红/黑香蕉插（橙/黄色线）为霍尔电压输出端，与“输出信号切换 K_2 ”接线柱的上面两端相连。红香蕉插接红接线柱，黑香蕉插接黑接线柱。如图 4 所示。

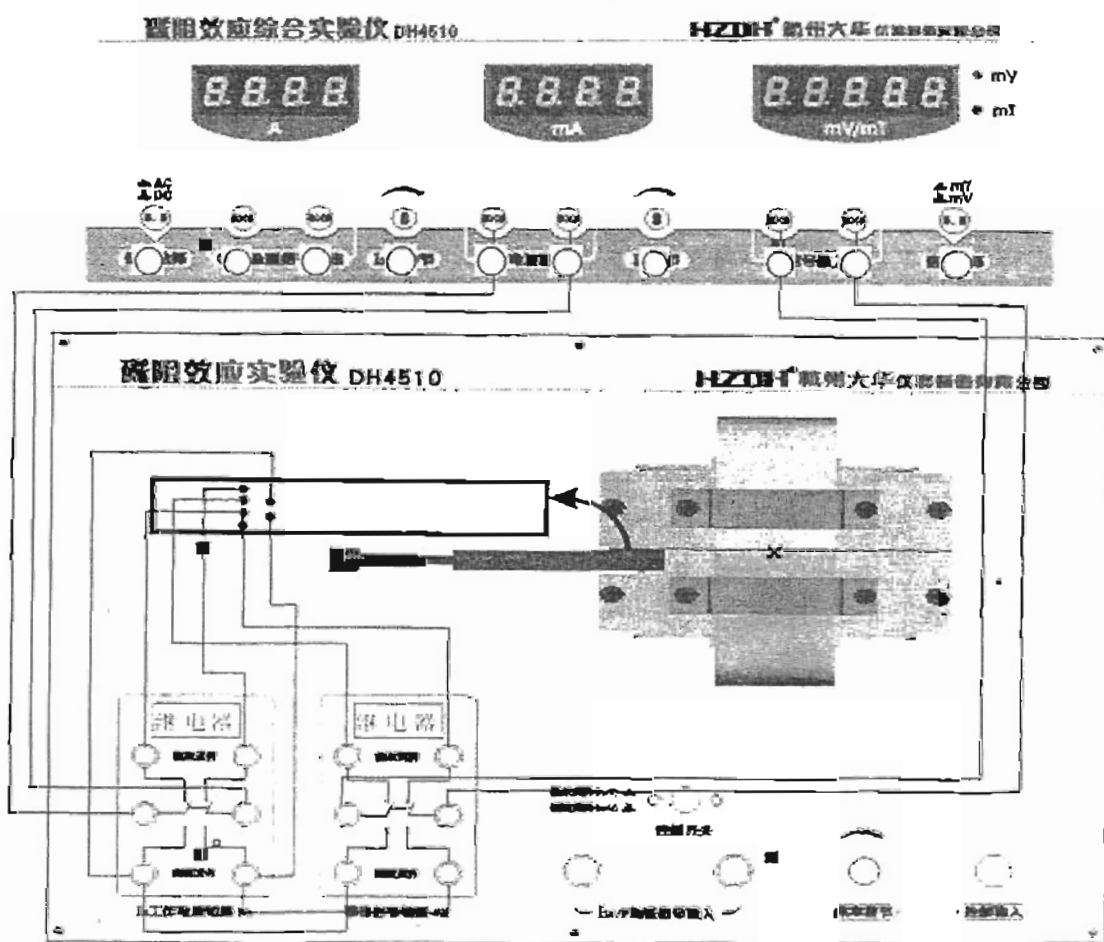


图 4 磁阻效应接线图

8、确认接线正确完成后，必须使测试仪的“ I_{MF} 调节”和“ I_s 调节”旋钮逆时针旋转到底。接通电源后，将实验仪左边的“信号选择”切换开关处于弹状态，此时励磁信号为直流信号， I_{MF} 励磁电流表（左边）应为 0A； I_s 工作电表（中间）也为 0mA；将实验仪右边的“信号选择”切换开关处于按下状态，试架的“控制开关”也处于按下状态，这时会将测试架上取出的霍尔电压信号入到实验仪，经内部处理转换成磁场强度作为毫特计显示出来，此时显示值（右）也为 0mT。

9、调节“ I_s 调节”旋钮，让 I_s 工作电流表显示为 1.00mA，毫特计此时示的是零磁场下的初始值（因毫特计霍尔片批量制造技术原因，一般小于 $\pm$ nT）为系统误差，记下此数值，可在下面的测试数据中扣除。

10、调节“ I_{MF} 调节”旋钮，使磁场强度显示值为“初始值+磁场强度 B ”，并记录磁场强度 B 及对应的励磁电流 I_{MF} 。弹起实验仪右边“信号选择”开关和测试架上的“控制开关”测量并记录该磁场强度下对应的磁阻电压 U_R ，

11、按下实验仪右边“信号选择”开关和测试架上的“控制开关”。

12、磁场强度 B 参考表 1；励磁电流 I_{MF} 、磁阻电压 U_R ，为测量所得数据； $R(\Omega)$ 、 $\Delta R/R(0)$ 为计算所得数据。重复以上 10~11 步骤测量计算，填入表 1。

13、根据表 1 数据列出表 2，在 $B < 0.06T$ 时对 $\Delta R/R(0)$ 作曲线拟合，求出 R 与 B 的关系。

14、根据表 1 数据列出表 3，在 $B > 0.12T$ 时对 $\Delta R/R(0)$ 作曲线拟合，求出 R 与 B 的关系。

15、调节 I_{MF} 电流，使电磁铁产生一个未知的磁场强度。测量磁阻传感器的磁阻电压，根据求得的 $\Delta R/R(0)$ 与 B 的关系曲线，求得磁场强度。

16、用仪器所配的毫特计测量该磁场强度，将测得的磁场强度作为准确值与磁阻传感器测得的磁场强度值相比较，估算测量误差。

七、选做实验

在上述实验步骤 1-8 连接和调节的基础上，将 I_s 工作电流调为 2.5mA，将信号源左边的“信号选择”切换开关按下，此时励磁信号为交流信号，再用仪器所配的波形观察线将实验仪“ I_{MF} 励磁信号输出”接至双踪示波器（最好用数字示波器）的“1”通道；弹起实验仪右边“信号选择”开关和测试架的“控制开关”再用仪器所配的波形观察线将实验仪“信号输入”接至示波器的“2”通道，调与示波器可以观测到两信号构成的李萨如图形，如图 5 所示。

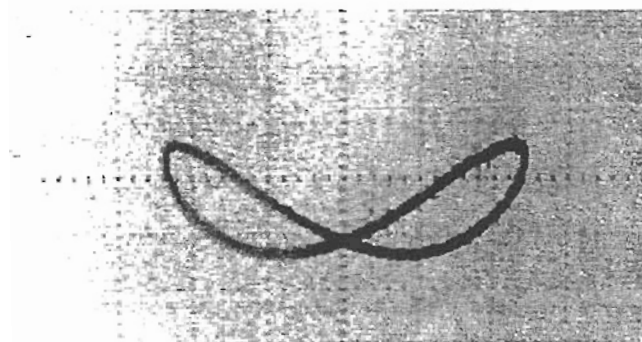


图 5 交流励磁信号与磁阻传感器信号构成的李萨如图形

八、实验参考数据(仅供参考)

表 1

电流 $I_s=1\text{mA}$

电磁铁	InSb	B~ $\Delta R/R(0)$ 对应关系		
$I_{M/F}(\text{mA})$	$U_R(\text{mV})$	B(mT)	R(Ω)	$\Delta R/R(0)$
0	346.1	0.0	346.1	0
17	346.8	10.0	346.8	0.0020
33	348.2	20.0	348.2	0.0061
49	350.6	30.0	350.6	0.0130
63	353.8	40.0	353.8	0.0222
78	358.0	50.0	358.0	0.0344
95	363.4	60.0	363.4	0.0450
110	379.4	70.0	379.4	0.0962
151	401.5	100.0	401.5	0.1601
227	454.4	150.0	454.4	0.3129
298	523.0	200.0	523.0	0.5111
369	603.1	250.0	603.1	0.7426
441	687.8	300.0	687.8	0.9873
510	779.0	350.0	779.0	1.2508
581	875.0	400.0	875.0	1.5282
653	973.6	450.0	973.6	1.8131
725	1074.5	500.0	1074.5	2.1046

1、令 $\Delta R/R(0)=kB^n$ ，则 $\ln(\Delta R/R(0))=n \ln B + \ln k$

对表 1 数据在 $B<0.06\text{T}$ 时对 $\Delta R/R(0)$ 作曲线拟合如下表 2:

$$\Delta R/R(0) = 14.5B^2$$

由上面拟合可知在 $B<0.06\text{T}$ 时磁阻变化率 $\Delta R/R(0)$ 与磁感应强度 B 成二次函数关系;

表 2

$\Delta R/R(0)_i$	B_i	$\Delta R/R(0)_i \times B_i$	$(\Delta R/R(0)_i)^2$	B_i^2
0.002023	0.01	0.00002023	0.0000041	0.0001
0.006068	0.02	0.00012136	0.0000368	0.0004
0.013002	0.03	0.00039006	0.0001691	0.0009
0.022248	0.04	0.00088992	0.0004950	0.0016
0.034383	0.05	0.00171915	0.0011822	0.0025
0.049986	0.06	0.00299916	0.0024987	0.0036

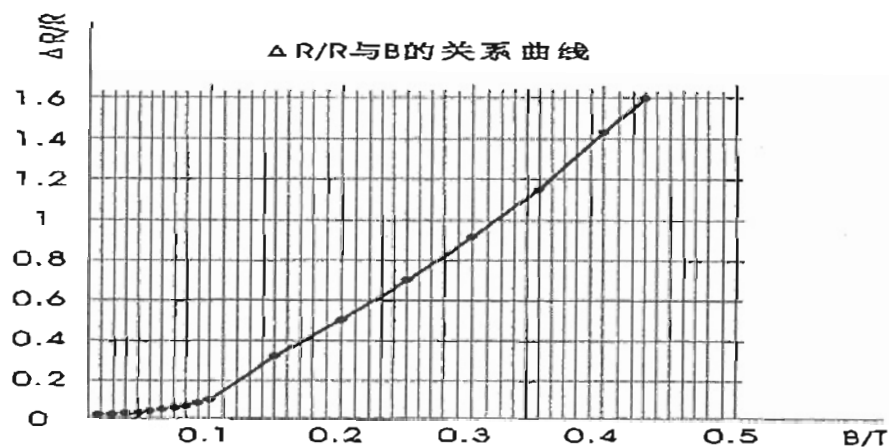
对表 1 数据在 $B > 0.12\text{T}$ 时对 $\Delta R/R(0)$ 作曲线拟合如下表 3:

表 3

$\Delta R/R(0)_i$	B_i	$\Delta R/R(0)_i \times B_i$	$(\Delta R/R(0)_i)^2$	B_i^2
0.3129	0.15	0.0469373	0.0979158	0.0225
0.5111	0.20	0.1022248	0.2612477	0.0400
0.7426	0.25	0.1856400	0.5513954	0.0625
0.9873	0.30	0.2961861	0.9747356	0.0900
1.2508	0.35	0.4377783	1.5644881	0.1225
1.5282	0.40	0.6112684	2.3353066	0.1600
1.8131	0.45	0.8156770	3.2871866	0.2025
2.1046	0.50	1.0522970	4.4293159	0.2500

由上面拟合可知在 $B > 0.12\text{T}$ 时磁阻变化率 $\Delta R/R(0)$ 与磁感应强度 B 成二次函数关系: $\Delta R/R(0) = 5.35B - 0.59$

、按以上实验数据可得到图 6 所示曲线。

图 6 $\Delta R/R$ 与 B 关系曲线

九、思考题

- 1、磁阻效应是怎样产生的？磁阻效应和霍尔效应有何内部联系？
- 2、实验时为何要保持霍尔工作电流和流过磁阻元件的电流不变？
- 3、不同的磁场强度时，磁阻传感器的电阻值与磁感应强度关系有何变化？
- 4、磁阻传感器的电阻值与磁场的极性和方向有何关系？
- 5、你能解释在低频交流磁场激励下，励磁信号和磁阻传感器输出信号构成的李萨如图形如“蝴蝶”的原因吗？