

武汉大学物理科学与技术学院
物理实验报告

物理学院 物理专业 2024 年 5 月 10 日

实验名称 巨磁电阻效应及其应用					
姓 名	郑凡	年 级	大三	学 号	202432022016
成 绩					

实验报告内容：

一、实验目的

二、主要实验仪器

三、实验原理

四、实验内容与步骤

五、数据表格

六、数据处理及结果表达

七、实验结果分析

八、习题

一、实验目的

1、了解GMR效应的原理

2、测量GMR模拟传感器的磁电转换特性曲线

3、测量GMR的磁阻特性曲线

4、测量GMR开关（数字）传感器的磁电转换特性曲线

二、主要实验仪器

巨磁阻实验仪系统，包括电流表电压表和恒流源；基本特性组件，由GMR模拟传感器，螺线管线圈及比较电路，输入输出插孔组成；电流测量组件。

三、实验原理

根据导电的微观机理，电子在导电时并不是沿电场直线前进，而是不断和晶格中的原子产生碰撞（又称散射），每次散射后电子都会改变运动方向，总的运动是电场对电子的定向加速与这种无规散射运动的叠加。称电子在两次散射之间走过的平均路程为平均自由程，电子散射几率小，则平均自由程长，电阻率低。电阻定律 $R=\rho /S$ 中，把电阻率 ρ 视为常数，与材料的几何尺度无关，这是因为通常材料的几何尺度远大于电子的平均自由程（例如铜中电子的平均自由程约34nm），可以忽略边界效应。当材料的几何尺度小到纳米量级，只有几个原子的厚度时（例如，铜原子的直径约为0.3nm），电子在边界上的散射几率大大增加，可以明显观察到厚度减小，电阻率增加的现象。

电子除携带电荷外，还具有自旋特性，自旋磁矩有平行或反平行于外磁场两种可能取向。早在1936年，英国物理学家，诺贝尔奖获得者N. F. Mott指出，在过渡金属中，自旋磁矩与材料的磁场方向平行的电子，所受散射几率远小于自旋磁矩与材料的磁场方向反平行的电子。总电流是两类自旋电流之和；总电阻是两类自旋电流的并联电阻，这就是所谓的两电流模型。

在下图2所示的多层膜结构中，无外磁场时，上下两层磁性材料是反平行（反铁磁）耦合的。施加

无外磁场时顶层磁场方向

顶层铁磁膜

中间导电层

底层铁磁膜

无外磁场时底层磁场方向

图 2 多层膜 GMR 结构图

电阻 / 欧姆

5100

5000

4900

4800

4700

4600

4500

4400

4300

4200

-500

-250

0

250

500

磁场强度 / 高斯

图 3 某种 GMR 材料的磁阻特性

足够强的外磁场后，两层铁磁膜的方向都与外磁场方向一致，外磁场使两层铁磁膜从反平行耦合变成了平行耦合。电流的方向在多数应用中是平行于膜面的。图3是图2结构的某种GMR材料的磁阻特性。由图可见，随着外磁场增大，电阻逐渐减小，其间有一段线性区域。当外磁场已使两铁磁膜完全平行耦合后，继续加大磁场，电阻不再减小，进入磁饱和区域。磁阻变化率 $\Delta R/R$ 达百分之十几，加反向磁场时磁阻特性是对称的。注意到图2中的曲线有两条，分别对应增大磁场和减小磁场时的磁阻特性，这是因为铁磁材料都具有磁滞特性。

有两类与自旋相关的散射对巨磁电阻效应有贡献：

其一，界面上的散射。无外磁场时，上下两层铁磁膜的磁场方向相反，无论电子的初始自旋状态如何，从一层铁磁膜进入另一层铁磁膜时都面临状态改变（平行—反平行，或反平行—平行），电子在界面上的散射几率很大，对应于高电阻状态。有外磁场时，上下两层铁磁膜的磁场方向一致，电子在界面上的散射几率很小，对应于低电阻状态。

其二，铁磁膜内的散射。即使电流方向平行于膜面，由于无规散射，电子也有一定的几率在上下两层铁磁膜之间穿行。无外磁场时，上下两层铁磁膜的磁场方向相反，无论电子的初始自旋状态如何，在穿行过程中都会经历散射几率小（平行）和散射几率大（反平行）两种过程，两类自旋电流的并联电阻相似两个中等阻值的电阻的并联，对应于高电阻状态。有外磁场时，上下两层铁磁膜的磁场方向一致，自旋平行的电子散射几率小，自旋反平行的电子散射几率大，两类自旋电流的并联电阻相似一个小电阻与一个大电阻的并联，对应于低电阻状态。

自旋阀结构的SV-GMR (Spin valve GMR) 由钉扎层，被钉扎层，中间导电层和自由层构成。其中，钉扎层使用反铁磁材料，被钉扎层使用硬铁磁材料，铁磁和反铁磁材料在交换耦合作用下形成一个偏转场，此偏转场将被钉扎层的磁化方向固定，不随外磁场改变。自由层使用软铁磁材料，它的磁化方向易于随外磁场转动。这样，很弱的外磁场就会改变自由层与被钉扎层磁场的相对取向，对应于很高的灵敏度。制造时，使自由层的初始磁化方向与被钉扎层垂直，磁记录材料的磁化方向与被钉扎层的方向相同或相反（对应于0或1），当感应到磁记录材料的磁场时，自由层的磁化方向就向与被钉扎层磁化方向相同（低电阻）或相反（高电阻）的方向偏转，检测出电阻的变化，就可确定记录材料所记录的信息，硬盘所用的GMR磁头就采用这种结构。

四、实验内容与步骤

一、GMR模拟传感器的磁电转换特性测量

① 功能切换按钮为“传感器测量”，4V电压源接至“巨磁电阻供电”，恒流源接至“螺线管电流输入”，基本特性组件“模拟信号输出”接至实验仪电压表

② 调节后磁电流从100~-100，记录相应输出电压到“减小磁场”一列中。

③ 再从-100~100调节电流，记录相应输出电压到“增大磁场”一列中。

二、GMR磁阻特性测量

① 其它设置与实验一致，把功能切换为“巨磁阻测量”

② 从100~-100调节电流，记录相应磁阻电流在“减小磁场”一列中。

③ 从-100~100调节电流，记录相应磁阻电流在“增大磁场”一列中。

④ 再利用欧姆定律 $R=\frac{U}{I}$ 即可计算出磁阻。

三、GMR开关传感器的磁电转换特性测量

① 其它设置与实验一致，但本特性组件“开关信号输出”接至实验仪电压表。

② 从电流50mA→-50mA，并记录开关动作到“减小磁场”一列

③ 从-50mA→50mA，并记录开关动作到“增大磁场”一列

四、用GMR模拟传感器测量电流

① 偏置磁铁远离传感器，使输出约为25mA

② 100~-100调节电流，记录数据于“减小电流”一行，25mA调电流，记录数据于增大电流一行

③ 偏置磁铁靠近传感器，使输出约为15mA，重复步骤②

五.数据表格.

表-表二见下表:

A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)	F(Y)	G(Y)	H(Y)
励磁电流	磁感应强度	输出电压	输出电压	磁阻电流	磁阻电流	磁阻	磁阻
mA	Gs	mV	mV	mA	mA	k Ω	k Ω
I	B	减小磁场	增大磁场	减小磁场	增大磁场	减小磁场	增大磁场
$100-(i-1)*10$	$24000*10^{-4}*3.14*10^4*(-7)*\text{Col(A)}$					$4/\text{Col(E)}$	$4/\text{Col(F)}$
100	30.144	267	263	1.696	1.695	2.35849	2.35988
90	27.1296	266	261	1.695	1.692	2.35988	2.36407
80	24.1152	266	258	1.694	1.689	2.36128	2.36827
70	21.1008	263	251	1.69	1.683	2.36686	2.37671
60	18.0864	248	232	1.677	1.666	2.38521	2.40096
50	15.072	213	195.3	1.648	1.634	2.42718	2.44798
40	12.0576	169.9	151.5	1.612	1.597	2.48139	2.5047
30	9.0432	124.5	108.8	1.575	1.562	2.53968	2.56082
20	6.0288	80.7	68.5	1.54	1.529	2.5974	2.61609
10	3.0144	41.1	29.2	1.509	1.498	2.65076	2.67023
0	0	6.6	11.9	1.482	1.485	2.69906	2.6936
-10	-3.0144	34.7	48.4	1.503	1.514	2.66134	2.64201
-20	-6.0288	74.1	88	1.535	1.545	2.60586	2.589
-30	-9.0432	115.8	130	1.568	1.581	2.55102	2.53004
-40	-12.0576	160.6	175	1.604	1.627	2.49377	2.45851
-50	-15.072	207	217	1.642	1.653	2.43605	2.41984
-60	-18.0864	241	249	1.671	1.68	2.39378	2.38095
-70	-21.1008	256	260	1.685	1.691	2.37389	2.36546
-80	-24.1152	261	263	1.69	1.694	2.36686	2.36128
-90	-27.1296	263	264	1.693	1.695	2.36267	2.35988
-100	-30.144	265	265	1.695	1.695	2.35988	2.35988

表三:

减小磁场			增大磁场		
开关动作	I/mA	B/Gs	开关动作	I/mA	B/Gs
关	10.3	3.105	关	-10.2	-3.075
开	-12.5	-3.768	开	13.1	3.949

高电平

低电平

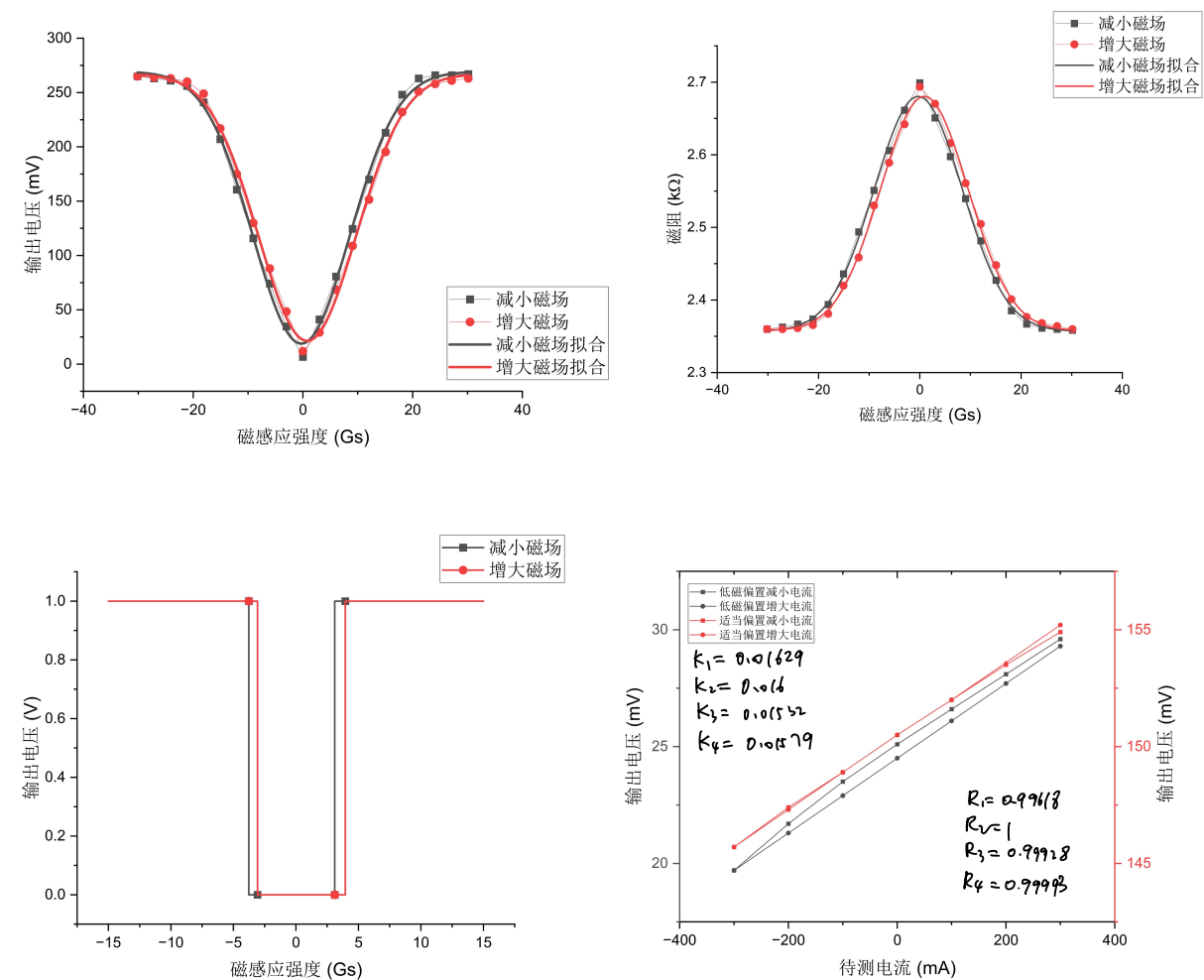
表四:

A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)
待测电流	输出电压	输出电压	输出电压	输出电压
mA	mV	mV	mV	mV
	低磁偏置减小电流	低磁偏置增大电流	适当偏置减小电流	适当偏置增大电流
-300	19.7	19.7	145.7	145.7
-200	21.7	21.3	147.4	147.3
-100	23.5	22.9	148.9	148.9
0	25.1	24.5	150.5	150.5
100	26.6	26.1	152	152
200	28.1	27.7	153.5	153.6
300	29.6	29.3	154.9	155.2

六.数据处理及结果表达

利用 Origin 处理数据. 绘制得到 磁电导特性和磁阻特性如图一二.

根据表三作出开关特性曲线如图三. 再由表四作出四个 I-V 曲线, 并用最小二乘法拟合得到斜率.



* 图四中已标明拟合斜率以及 R^2 .

七. 实验结果分析:

从图一、二、三可看出 GMR 有明显的磁滞效应. 增大减小磁场导致的特性曲线有明显的不同.

另外, 图一、二揭示了 GMR 的磁阻曲线类似于一个高斯函数. 实验结果与理论分析吻合得较好. 最后, 图四表示适当磁偏置下, R 较高, 即线性较好, 而且斜率较高, 故灵敏度也较高.

八. 习题.

无.

教师评语

指导教师:

年 月 日

武汉大学物理实验数据记录单

术学院

学院: 物理科学与技术 专业: 物理学类 姓名: 丁晓/郑十九 学号: _____

实验名称: _____ 实验仪器台号: _____

磁感应强度/高斯		输出电压/mV		石敏阻/ Ω	
励磁电流	磁感应强度/高斯	减小磁通	增大磁通	减小磁通	增大磁通
100		267	263	1.696 mA	1.695
90		266	261	1.695	1.692
80		266	258	1.694	1.689
70		263	251	1.690	1.683
60		248	232	1.677	1.666
50		213	195.3	1.648	1.634
40		169.9	151.5	1.612	1.597
30		124.5	109.8	1.575	1.562
20		80.7	68.5	1.540	1.529
10		41.1	29.2	1.509	1.498
0		6.6	11.9	1.482	1.485
-10		34.7	48.4	1.503	1.514
-20		74.1	88.0	1.535	1.545
-30		115.8	130.0	1.568	1.581
-40		160.6	175	1.604	1.627
-50		207	217	1.642	1.653
-60		241	249	1.671	1.680
-70		256	260	1.685	1.691
-80		261	263	1.690	1.694
-90		263	264	1.693	1.695
-100		265	265	1.695	1.695

指导教师:

年 月 日

50 → -50

-50 ~ 50

3.

减小磁滞 =

开关动作	后加磁电流/mA	磁感应强度/高斯
关	+ 10.3	3.1048
开	- 12.5	3.7680

增大磁滞:

开关动作	后加磁电流/mA	磁感应强度/高斯
关	- 10.2	3.0747
开	+ 13.1	3.9489

待测电流/mA			300	200	100	0	-100	-200	-300
输出 电压 /mV	低磁偏置 (约25mV)	减小电流	29.6 ^{mV}	28.1	26.6	25.1	23.5	22.7 21.7	19.7
		增大电流	29.3	27.7	26.1	24.5	22.9	21.3	19.7
	适当磁偏置 (约150mV)	减小电流	154.9	153.5	152.0	150.5	148.9	147.4	145.7
		增加电流	155.2	153.6	152.0	150.5	148.9	147.3	145.7

2m 4.30