

北京邮电大学

物理实验报告

实验名称: 巨磁电阻效应及其应用

学 院: 信息与通信工程学院

班 级: 2018211128

姓 名: 吴辉强

学 号: 2018213487

任课教师: _____

实验日期: _____

成 绩: _____

北京邮电大学 物理实验中心 印制

实验目的

1. 了解 GMR 效应原理
2. 测量 GMR 磁阻特性曲线
3. 测量 GMR 模拟传感器的磁电转换特性曲线
4. 测量 GMR 数字开关传感器的磁电转换特性曲线
5. 熟悉掌握 GMR 传感器的原理与应用

实验仪器名称【型号、主要参数】

1. 巨磁电阻实验仪主机
2. 基本特性组件
3. 角位移测量组件
4. 磁读写组件
5. 磁卡

实验原理和操作步骤【基本物理思想、设计原理、主要公式及其意义、电路图或光路图等；操作步骤】

一、实验原理

1. 多层膜 GMR 效应的原理

① 电子散射几率小，则平均自由程长，电阻率低。当材料尺度小到纳米量级时，电子在边界上散射的几率大大增加，可以明显观察到厚度减小，电阻率增加。

② 如图 11，无外磁场时，上下两层磁性材料反平行耦合；加足够外磁场时，两层铁磁膜与外磁场方向一致。

③ 自旋磁矩与材料磁场平行的电子，散射几率远小于自旋磁矩与材料磁场方向反平行的电子。

④ 如图 12，随外磁场增大，电阻减小，有

一段线性区域；当完全平行耦合后，继续增大时，电阻不再减小，进入磁饱和区域。加反向磁场时，磁阻特性对称。

⑤ 界面上的散射及铁磁膜内的散射对 GMR 效应有贡献。

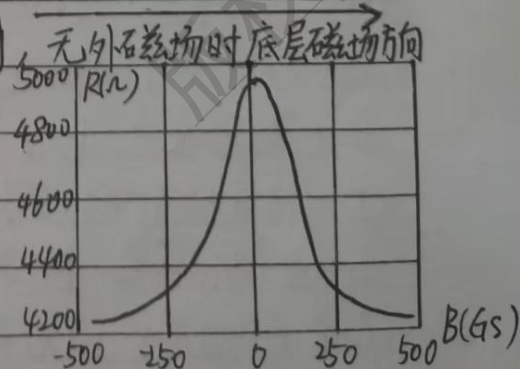
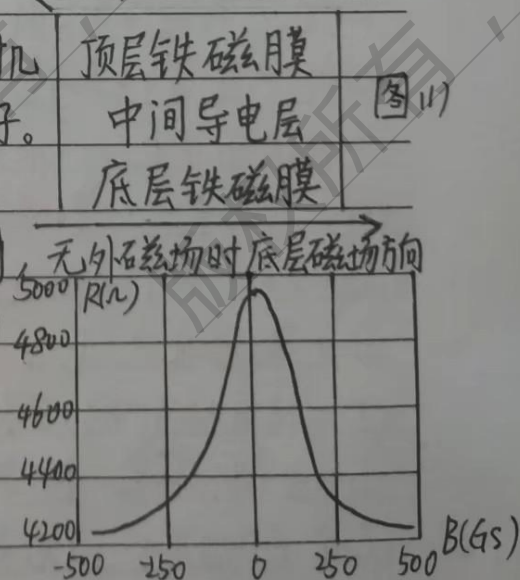
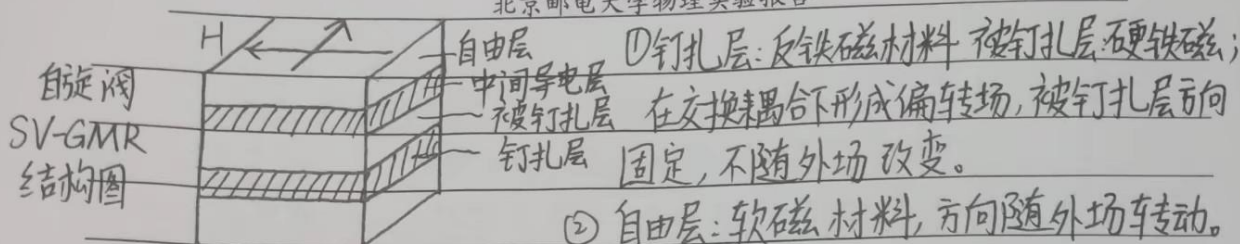


图 12

2. 自旋阀结构 GMR



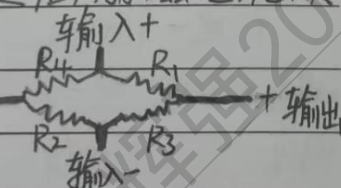
② 自由层: 软磁材料, 方向随外场转动。
 ③ 自由层初始磁化方向与被钉扎层垂直, 磁记录材料方向与其相同或相反。感应到磁记录材料和磁场时, 自由层磁化方向就偏转, 电阻改变。

2. 实验步骤

1. GMR磁阻特性测量: GMR传感器置于螺线管磁场, 功能选“巨磁阻测量”。实验仪4V电压源串电流表后, 接至基本特性组件的“巨磁电阻供电”, 恒流源接“螺线管电流输入”。调节励磁电流, 逐渐减小场强, 记录磁阻电流。交换恒流输出线极性, 测负向电流。之后, 励磁电流从负向-100mA增大, 重复上述步骤。

2. GMR磁电转换特性测量:

① 将 R_3 、 R_4 覆盖一层高导磁率材料, 屏蔽外磁场影响, R_1 、 R_2 随外场变化, 记无外场时阻值均为 R 。



电路连接图

R_1 、 R_2 在外场作用下减小 ΔR : $V_{out} = V_{in} \times \Delta R / (2R - \Delta R)$

② 将传感器置于螺线管中, 功能选“传感器测量”, 4V电压源接基本特性组件“巨磁阻供电”, 恒流源接“螺线管电流输入”, 模拟信号输出“接电压表”。调节励磁电流, 增加磁阻场强度, 记输出电压。

3. GMR开关(数字)的磁电转换特性曲线: 按要求接线与选钮之后, 从50mA减小励磁电流, V_{out} 从高电平(开)到低电平(关)时记录电流; 当减至0时, 要交换接线极性; 调至-50mA, 减小负向电流, 并进行同上步骤。

4. GMR角度传感器: 按要求连线与选钮后, 逆时针转动齿轮, 当 $V_{out} = 0$ 时记录起始角度, 以后每转 3° 记一次角度与 V_{out} 。

5. 磁记录与读出: 按要求连线与选钮后, 插入磁卡, 在“写”状态下, 移动磁卡, 根据刻度区域切换写“0”写“1”; 在读状态下, 移动磁卡至读磁头处, 根据刻度读出电压并记录。

实验数据处理与讨论 [实验数据计算、不确定度公式推导与计算、结果表示与讨论等]

$$n = 24000 \text{ 匝/m}$$

$$U = 4 \text{ V}$$

$$IT = 10^{-4} \text{ Gs}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$$

1. GMR 磁阻特性的测量：由 $R = \frac{U}{I}$, $B = \mu_0 n I$ (其中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$) 有：

减小磁场时：

励磁电流/mA	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
磁感应强度B/Gs	30.16	27.14	24.13	21.11	18.10	15.08	12.06	9.05	6.03	3.02
磁阻电流/mA	2.03	2.03	2.02	2.02	2.01	1.98	1.95	1.91	1.87	1.83
磁阻R/ Ω	1970.44	1970.44	1980.20	1980.20	1990.05	2020.20	2051.78	2074.44	2139.04	2185.71
5	0	-5	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80
-1.51	0.00	-1.51	-3.02	-6.03	-9.05	-12.06	-15.08	-18.10	-21.11	-24.13
1.82	1.80	1.80	1.82	1.85	1.89	1.93	1.96	2.00	2.01	2.02
2197.80	2222.22	2222.22	2197.80	2162.16	2116.40	2076.54	2040.82	2000.00	1990.05	1980.20

增大磁场时：

励磁电流/mA	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10
磁感应强度B/Gs	-30.16	-27.14	-24.13	-21.11	-18.10	-15.08	-12.06	-9.05	-6.03	-3.02
磁阻电流/mA	2.03	2.03	2.03	2.02	2.01	1.98	1.94	1.91	1.87	1.83
磁阻R/ Ω	1970.44	1970.44	1970.44	1980.20	1990.05	2020.20	2061.86	2094.20	2139.04	2185.71
-5	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80
-1.51	0.00	1.51	3.02	6.03	9.05	12.06	15.08	18.10	21.11	24.13
1.82	1.80	1.80	1.83	1.85	1.89	1.92	1.96	1.99	2.01	2.02
2197.80	2222.22	2222.22	2185.71	2162.16	2116.40	2083.33	2040.82	2010.05	1990.05	1980.20

可画出 $B \sim R$ 曲线图。

2. GMR 模拟传感器磁电转换特性测量。

由 $B = \mu_0 n I$ 计算出 B ，其中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$, $n = 24000 \text{ 匝/m}$ 。

励磁电流/mA	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
磁感应强度B/Gs	0	1.51	3.02	6.03	9.05	12.06	15.08	18.10	21.11	24.13	27.14	30.16
输出电压/mV	6.0	24.7	41.0	75.0	112.7	151.3	188.8	222.0	238.0	243.0	244.0	245.0

可画出 $B \sim U$ 曲线图。

3. GMR 开关传感器的磁电转换特性测量 (选作)

由万用表测得: $V_{OH} = 7.57V$ $V_{OL} = -6.65V$

减小磁物时

增大磁场时

减小磁场时			增大磁场时		
开关动作	磁通电流 I/mA	磁感应强度 B/Gs	开关动作	磁通电流 I/mA	磁感应强度 B/Gs
关	12.6	3.80	关	12.7	3.83
开	-14.1	-4.25	开	14.8	4.46

4. 齿轮副位移的测量

轻刻的刻度/度	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39
轻过角度/度	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
输出电压/mV	0.0	22.9	39.3	49.6	45.5	27.2	-0.82	-38.4	-51.2	-46.4	-26.6
41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63
65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87
89	91	93	95	97	99	101	103	105	107	109	111
113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135
137	139	141	143	145	147	149	151	153	155	157	159
161	163	165	167	169	171	173	175	177	179	181	183
185	187	189	191	193	195	197	199	201	203	205	207
209	211	213	215	217	219	221	223	225	227	229	231
233	235	237	239	241	243	245	247	249	251	253	255
257	259	261	263	265	267	269	271	273	275	277	279
281	283	285	287	289	291	293	295	297	299	301	303
305	307	309	311	313	315	317	319	321	323	325	327
329	331	333	335	337	339	341	343	345	347	349	351
353	355	357	359	361	363	365	367	369	371	373	375
377	379	381	383	385	387	389	391	393	395	397	399
401	403	405	407	409	411	413	415	417	419	421	423
425	427	429	431	433	435	437	439	441	443	445	447
449	451	453	455	457	459	461	463	465	467	469	471
473	475	477	479	481	483	485	487	489	491	493	495
497	499	501	503	505	507	509	511	513	515	517	519
521	523	525	527	529	531	533	535	537	539	541	543
545	547	549	551	553	555	557	559	561	563	565	567
569	571	573	575	577	579	581	583	585	587	589	591
593	595	597	599	601	603	605	607	609	611	613	615
617	619	621	623	625	627	629	631	633	635	637	639
641	643	645	647	649	651	653	655	657	659	661	663
665	667	669	671	673	675	677	679	681	683	685	687
689	691	693	695	697	699	701	703	705	707	709	711
713	715	717	719	721	723	725	727	729	731	733	735
737	739	741	743	745	747	749	751	753	755	757	759
761	763	765	767	769	771	773	775	777	779	781	783
785	787	789	791	793	795	797	799	801	803	805	807
809	811	813	815	817	819	821	823	825	827	829	831

5. 二进制数据的写入与读出(选作)

十进制数字	202							
二进制数字	1	1	0	0	1	0	1	0
磁卡区域号	1	2	3	4	5	6	7	8
读出电平/V	1.930	1.930	0.003	0.003	1.930	0.003	1.930	0.003

6. 实验结论:

正向

① 磁阻特性: 随外磁场增大, 电阻逐渐减小且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, 继续增大磁场, 电阻不再减小, 进入饱和区域。加反向磁场时磁阻特性对称。

② 模拟传感器磁电转换: 加正向磁场时, 随着磁感应强度从 0 开始增大, 输出电压从 0mV 左右线性增大; 到 358.1Gs 左右, 电阻进入饱和区域, 电压几乎不变。

③ 开关传感器磁电转换: 当B正向增大至 4.46Gs 时开关闭合, 输出高电平, 当B正向减小至 3.80Gs 时开关断开, 输出低电平; 当B反向增大至 -4.25Gs 时开关闭合, 反向减小至 -3.83Gs 时开关断开。C用桥电路进行比较电压, 输出低电平, 反之输出高电平。

④ 齿轮角位移测量: 图像大约呈正弦变化。转动 48° 时, 齿轮转过2齿, 输出电压变化2个周期。

④ 齿轮角位移测量: 图像大约呈正弦变化。转角48度时
输出电压变化2个周期。

$$\text{可近似为 } \begin{cases} \frac{dR}{dH} = \frac{K_1}{K_1 - H + H_c} \\ dH = K_1 (x - H + H_c) \end{cases}$$

回答问题与实验总结

1. 巨磁电阻效应：指磁性材料的电阻率在有无外加磁场作用时，相较于无外加磁场时存在较大变化的现象。因载流子自旋状态不同会与外加磁场作用不同，从而导致电阻值变化，产生巨磁电阻效应。

结构特点：多层GMR结构中，无外加磁场时，上下两层铁磁膜的磁矩矢向是反平行耦合的。在足够强的外加磁场的作用下，铁磁膜磁矩矢向均与外加磁场方向一致，变成平行耦合。如图(1)。

磁矩矢向，磁矩

2. 两电流模型：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矢向与材料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。

顶层铁磁膜	图(1)
中间导电层	
底层铁磁膜	

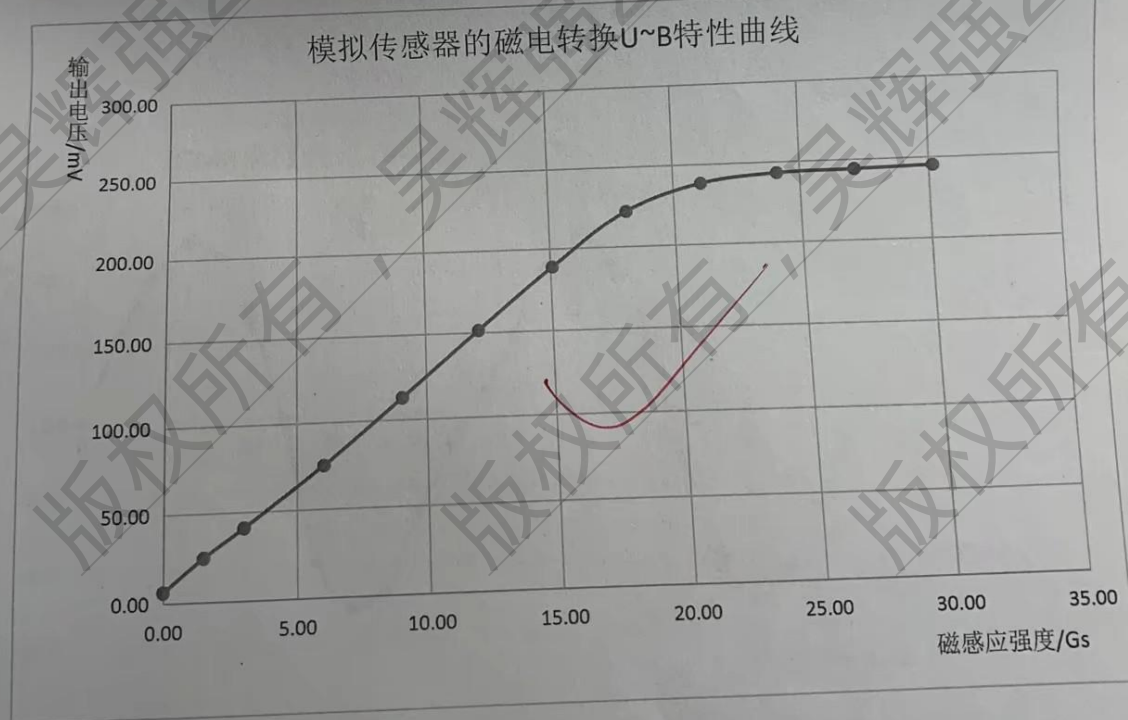
无外加磁场时顶层磁矩方向

实验总结：①由于巨磁电阻传感器有磁滞现象，因而是不可逆方向调节恒流源，不可回调；若调过了，记下当前读数即可。

②在齿轮角位移测量时，应记满2个周期（48度），方便观察对应变化规律。

③在读写实验中，开始时应同时按下“0/1转换”与“写确认”2秒，初始化；任课教师指导意见 且磁卡及组件不可长期处于“写”状态。

温8余 122 2018210637



温徐122 201821037

