

磁阻效应

廖荣

中国科学技术大学 物理学院, 合肥 230026

摘要: 一定条件下, 导体材料的电阻值 R 随着磁感应强度 B 的变化规律叫做磁阻效应。基础实验中设计验证了平行样品电流方向的磁阻效应强度与磁感应强度平方的正比关系。提高实验中设计得到了垂直样品电流方向的磁阻效应强度与磁感应强度的关系

关键词: 磁阻效应, 铈化钢片

Magnetoresistive Effect

Rong Liao

School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026

Abstract: Under certain conditions, the variation of resistance value R of conductor material with magnetic induction intensity B is called reluctance effect. In the basic experiment, the direct proportional relationship between the magnetic induction intensity and the reluctance effect intensity parallel to the current direction of the sample was verified. The relationship between the magnetic induction intensity and the reluctance effect intensity in the vertical direction of the sample current was obtained.

Keywords: Magnetoresistive Effect, Indium Antimonide Sheet

1 实验原理

如图所示, 当半导体处于磁场中时, 载流子将受洛伦兹力的作用, 发生偏转, 在两端积累电荷并产生霍尔电场。如果霍尔电场和某一速度载流子的洛伦兹力相抵消, 那么小于或者大于该速度的载流子都将发生偏转, 因而沿外加电场方向的载流子数目会减少, 电阻增大, 表现出磁阻效应。如果将图??中的 a 端和 b 端短路, 则磁阻效应更明显。

通常以电阻率的相对改变量来表示磁阻的大小, 即使用 $\frac{\Delta\rho}{\rho(0)}$ 表示。其中 $\rho(0)$ 为零磁场时的电阻率。设磁电阻在磁感应强度为 B 的磁场中电阻率为 $\rho(B)$, 则 $\Delta\rho = \rho(B) - \rho(0)$ 。由于磁阻传感器的相对变化率 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 正比于 $\frac{\Delta\rho}{\rho(0)}$, 这里 $\Delta R = R(B) - R(0)$, 因此也可以用 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 来表示磁阻效应的大小。[1]

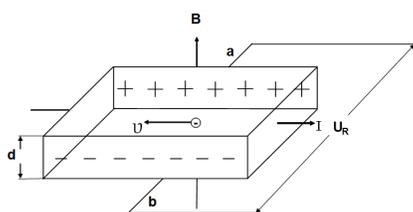


图 1: 磁阻效应

2 实验器材

1. 铈化钢片
2. 电磁铁 (3300Gs/A)
3. 稳压电源
4. 恒流源
5. 平衡指示器
6. 滑动变阻器
7. 电阻箱三个 (0 - 100000Ω)
8. 万用表
9. 单刀开关
10. 导线若干

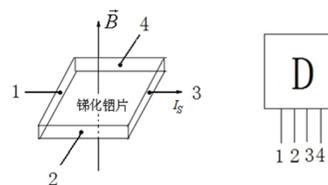


图 2: 铈化钢片

3 实验步骤与结果

3.1 1、3 通电流，2、4 断路，测 1、3 方向电阻

表 1: 2,4 断路; 样品电流 $I_s = 5mA$ 测量电阻值原始数据

$I_M(A)$	$R_x(\Omega)$	I_M	R_x	I_M	R_x
0.00	391.7	0.28	527.9	0.56	626.0
0.04	396.8	0.32	544.3	0.60	638.6
0.08	410.5	0.36	559.6	0.64	651.3
0.12	430.5	0.40	574.8	0.68	664.1
0.16	454.6	0.44	588.0	0.72	677.0
0.20	481.2	0.48	600.6	0.76	690.0
0.24	507.2	0.52	613.3	0.80	702.8

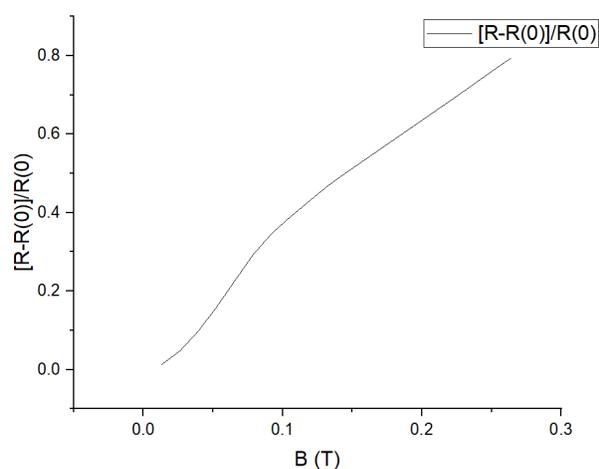


图 3: $\frac{\Delta R}{R(0)} - B$ 关系图

3.2 1、3 通电流，2、4 短路，测 1、3 方向电阻

表 2: 2,4 短路; 样品电流 $I_s = 5mA$ 测量电阻值原始数据

$I_M(A)$	$R_x(\Omega)$	I_M	R_x	I_M	R_x
0.00	389.9	0.28	599.3	0.56	729.2
0.04	398.6	0.32	622.0	0.60	745.6
0.08	420.9	0.36	642.7	0.64	762.2
0.12	453.0	0.40	662.5	0.68	778.9
0.16	490.8	0.44	679.7	0.72	795.6
0.20	531.1	0.48	696.2	0.76	812.2
0.24	570.1	0.52	712.7	0.80	829.0

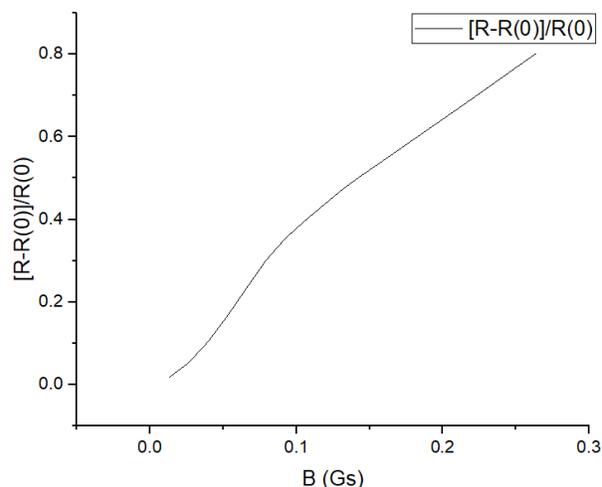


图 4: $\frac{\Delta R}{R(0)} - B$ 关系图

3.3 分析结果

半导体处于较弱磁场中时，一般磁阻传感器电阻相对变化率 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 正比于磁感应强度 B 的平方，而在强磁场中 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与磁感应强度 B 呈线性关系。

3.4 进阶实验——测量垂直样品电流方向上的电阻相对变化率与 B 的关系

当工作电流方向为 1, 3 方向时，测量 2, 4 方向的电阻。线圈的励磁电流在 0–0.800A 之间，利用给定的实验仪器进行设计和实验。

设计电路图如下所示：

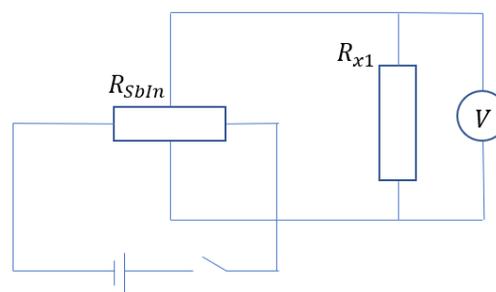


图 5: 进阶实验电路图

问题转化为用改装电压表测电源内阻，可以通过改变 R_{x1} ，记录 R_{x1} 和电压表示数 U 的值计算得到垂直方向上的电阻值。[2]

设 $InSb$ 片中霍尔电压不变（控制励磁电流 I_M

和样品电流 I_S 不变), 为 V_h , 则有:

$$V = \frac{R_{x1}}{R + R_{x1}} V_h \quad (1)$$

$$\frac{1}{V} = \left(1 + \frac{R}{R_{x1}}\right) \frac{1}{V_h} \quad (2)$$

当 $\frac{1}{R}$ 趋于 0 时, $V_h = V$ 。求得 V_h 后, 则有

$$R = \frac{R_{x1} V_h}{V} - R \quad (3)$$

表 3: I_M, R_{x1} 对应电阻箱分压 (V)

$I \backslash R_x$	400	500	600	700	800
0.1A	0.101	0.112	0.122	0.128	0.135
0.2A	0.161	0.181	0.197	0.210	0.221
0.3A	0.182	0.206	0.224	0.241	0.255
0.4A	0.195	0.222	0.243	0.261	0.277
0.5A	0.206	0.235	0.259	0.279	0.296
0.6A	0.217	0.248	0.273	0.297	0.316
0.7A	0.225	0.258	0.287	0.310	0.332
0.8A	0.234	0.269	0.299	0.324	0.347

当 $I_M = 0.1A$ 时, 带入不同的 R_{x1} 和得到的 V 绘图如下, 由于当 $\frac{1}{R}$ 趋于 0 时, $V_h = V$ 。故截距即为 $V_h = 1/4.932 = 0.203V$ 。并可以根据 $R = k \times V_h$ 计算得到 $R = 1988.2 \times 0.203 = 403.6\Omega$ 。

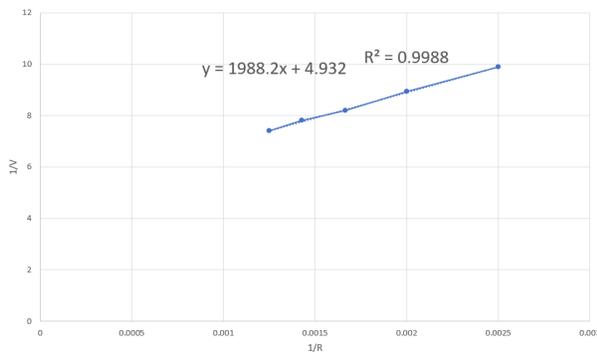


图 6: $I_M = 0.1A$ 时不同电阻值下的电压表示数关系

以此类推可得下表

表 4: I_M 对应 V_h, R

$I_M(A)$	$R(\Omega)$	$V_h(V)$
0.1	403.6	0.203
0.2	475.9	0.353
0.3	530.7	0.424
0.4	576.1	0.476
0.5	622.9	0.527
0.6	669.9	0.580
0.7	722.4	0.631
0.8	743.9	0.669

由于此实验中无法直接测量无磁场时的电流 R_0 , 又该锑化铟片尺寸为正方形对称, 因此取前两次无磁场电阻测量值的平均, 得 $R_0 = 390.8\Omega$ 。

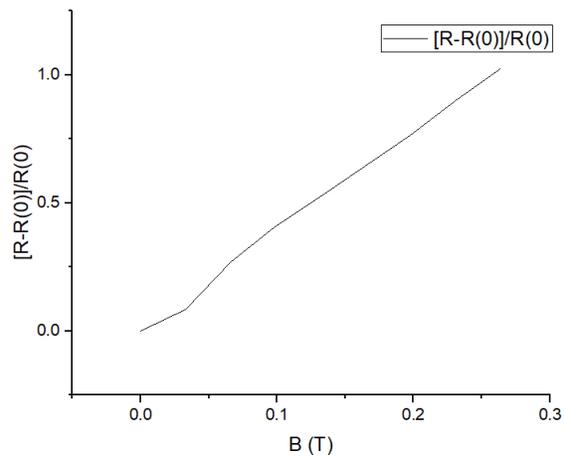


图 7: $\frac{\Delta R}{R(0)} - B$ 关系图

3.5 分析结果

半导体处于较弱磁场中时, 一般磁阻传感器电阻相对变化率 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 正比于磁感应强度 B 的平方, 而在强磁场中 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与磁感应强度 B 呈线性关系。

4 总结与讨论 (思考题)

基础实验中, 显然在 2、4 短路时磁阻效应更加明显, 根据电阻率决定式

$$\sigma = ne\mu \quad (4)$$

在 2、4 短路时, 霍尔效应不再存在, 此时粒子仅收到洛伦兹力, 不受霍尔电场的电场力, 导致电

子发生横向偏转，速度沿 1、3 方向的载流子密度减少，即 n 减小，在 e 和 μ 不变的情况下，电导率减小，电阻增大，磁阻效应明显。

在 2、4 断路时，由于有霍尔效应的存在，只有在玻尔兹曼分布下，不满足特定速度，所受洛伦兹力和电场力不能抵消的载流子会发生偏转，偏转的载流子数目较短路时略少，故电导率减小的更少，磁阻效应较弱于短路情况。

参考文献

- [1] 中国科学技术大学物理实验教学中心. 磁阻效应 (实验讲义) .
- [2] 谢行恕, 康世秀, 霍剑青. 大学物理实验, 第二册, 第二版. 高等教育出版社, 北京, 2005.