

实验 15 巨磁阻材料的磁阻效应

引言

磁敏电阻效应是指某些材料的电阻值随外加磁场变化而变化的现象。

如图 1 所示, 当半导体处于磁场中时, 半导体中的载流子将受洛仑兹力的作用, 发生偏转, 在 A, B 两端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仑兹力作用刚好抵消, 那么小于或大于该速度的载流子将发生偏转, 因而沿外加电场方向 (DC) 运动的载流子数量将减少, 电阻增大, 表现出横向磁阻效应(沿 DC 方向)。

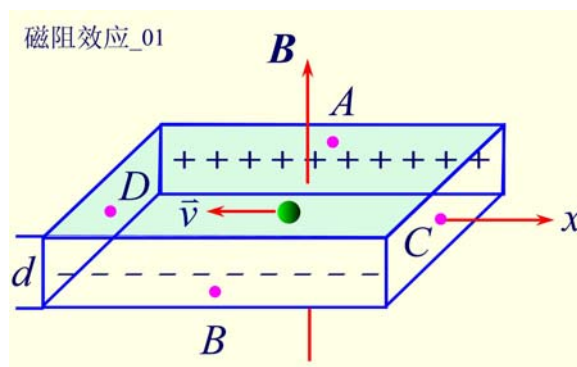


图 1

如果将图 1 中 A 端和 B 端短路, 霍尔电场将不存在, 所有电子将向 B 端偏转, 使 DC 方向的电阻变得更大, 因而磁阻效应加强。所以, 霍尔效应比较明显的样品, 磁阻效应就小; 反之, 霍尔效应比较小的样品, 磁阻效应就大。

磁场引起的电阻率变化: $\Delta\rho = \rho(H) - \rho(0)$, $\rho(H)$ 和 $\rho(0)$ 分别表示在磁场 H 中和无磁场时电阻率。

磁电阻的大小常表示为: $MR = \frac{\Delta\rho}{\rho(0)} \times 100\%$, MR 是 Magnetoresistivity 的缩写

实际测量中, 常用磁阻器件的磁电阻相对改变量 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 来研究磁阻效应

$$\text{由于 } \frac{\Delta R}{R(0)} \propto \frac{\Delta\rho}{\rho(0)} \quad \text{——} \quad \frac{\Delta R}{R(0)} = \frac{R(B) - R(0)}{R(0)}$$

其中 $R(B)$ 为磁场为 \bar{B} 时样品的磁电阻, $R(0)$ 为零磁场时样品的磁电阻。

理论和实验都证明, 对于一般正常磁电阻器件, 磁阻相对改变量 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 在磁场较弱时与所

加磁场 \bar{B} 的平方成正比, 而在强磁场时与 \bar{B} 成正比。

绝大多数非磁性导体的 MR 很小, 约为 $10^{-5}\%$ 。磁性导体的 MR 最大约为 $3\sim 5\%$, 且电阻率的变化与磁场方向与导体中电流方向的夹角有关, 即具有各向异性, 称为各向异性磁电阻(Anisotropy Magnetoresistance, 记为 AMR)。1988 年, 法国巴黎大学 Albert Fert 教授研究组, 从英国物理学家 N.F.Mott 提出的磁性金属电现象的模型出发, 设计了一种多层薄膜结构,

并在分子束外延制备的 Fe/Cr 多层膜中发现 MR 可达 50%。其值远大于通常的 AMR，成功地“放大”了磁电阻现象。并且在薄膜平面上磁电阻是各向同性的。称为巨磁电阻（Giant Magnetoresistance），简记为 GMR。

实验目的

- 1 理解并掌握用欧姆定律直接测量电阻值方法,学习掌握用四端法减少引线电阻带来的误差。
- 2 通过测绘二种类型的磁敏电阻元件: 锑化铟和自旋性金属多层薄膜的磁电阻与磁场强度关系曲线。
- 3 验证半导体 InSb 磁敏电阻(SMR)的阻值变化与外加磁场强度成偶函数关系。
 - 1) 弱磁场下,磁敏电阻元件的电阻值与磁场大小成平方关系
 - 2) 大于磁场强度 B_0 后,磁敏电阻的阻值与磁场强度成线性关系
- 4 验证自旋性金属多层薄膜巨磁电阻(GMR)的阻值与外加磁场强度成奇函数关系。
 - 1) 磁敏电阻元件的电阻值与磁场强度基本成线性关系
 - 2) 磁敏电阻阻值不仅与磁场强度有关、也和磁场方向有关
 - 3) 测量 GMR 元件的饱和磁场, 即当外加磁场强度大于某个值后,磁敏电阻元件进入磁饱和区, 它的电阻值基本不变。

实验原理

金属和合金一般都有磁电阻现象, 所谓磁电阻是指在一定磁场下电阻改变的现象, 人们把这种现象称为磁电阻。

磁敏电阻效应是指某些材料的电阻值随外加磁场变化而变化的现象。同霍尔效应一样, 磁敏电阻效应也是由于载流子在磁场中受到洛伦兹力而产生的。在达到稳态时, 某一速度的载流子所受到的电场力与洛伦兹力相等, 载流子在两端聚集产生霍尔电场, 比该速度慢的载流子将向电场力方向偏转, 比该速度快的载流子则向洛伦兹力方向偏转。这种偏转导致载流子的漂移路径增加。或者说, 沿外加电场方向运动的载流子数减少, 从而使电阻增加。这种现象称为磁敏电阻效应。

若外加磁场与外加电场垂直, 称为横向磁敏电阻效应; 若外加磁场与外加电场平行, 称为纵向磁敏电阻效应。一般情况下, 载流子的有效质量的弛豫时间与方向无关, 则纵向磁感强度不引起载流子偏移, 因而无纵向磁敏电阻效应。SMR 磁敏电阻元件, 所用材料为半导体 InSb, 它的阻值变化与外加磁场强度成偶函数关系; GMR 巨磁敏电阻元件, 所用材料为自旋性多层金属, 它的阻值变化与外加磁场强度成奇函数关系。

1 半导体 InSb 磁敏电阻元件与磁场强度关系曲线

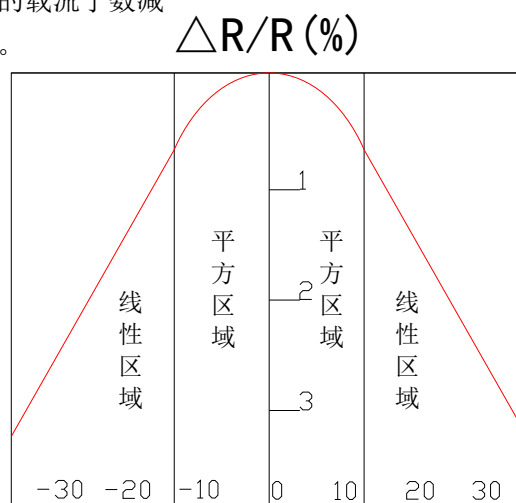


图 2 偶函数关系的 $\Delta R/R-B$ 曲线

$\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与外加磁场 B 的关系如图 2 所示。

SMR 磁敏的半导体 InSb 磁敏电阻元件对外加磁场，只与磁场强度有关，与磁场方向无关，在以零磁场为轴线，磁场正负对称变化时，电阻变化是一样的（偶函数关系）；

外加磁场较小时， $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与磁场强度的平方成正比(抛物线顶部)；

当外加磁场大于某个数值后， $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与外加磁场强度之间成线性关系。

运用“外加磁场较小时 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与磁场强度的平方成正比(抛物线顶部非线性区域)”，半导体 InSb 磁敏电阻元件的这个特点，可以用来设计混频器。

2 自旋性多层金属薄膜磁敏电阻元件(GMR)与磁场强度关系曲线

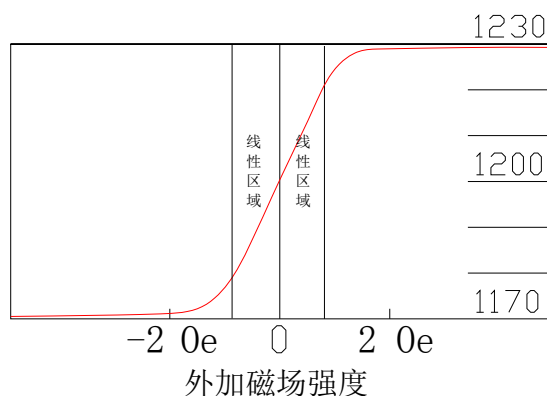


图 3 GMR 巨磁阻元件的 $\Delta R/R-B$ 曲线

对于 GMR 磁敏电阻元件，根据所用材料、生成工艺，它们的电阻值与磁场强度关系是不一样的。实验中所用的自旋性多层金属薄膜型 GMR 磁敏电阻元件，在一定的测试电流条件下其电阻的相对变化率 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与外加磁场 B 的关系如图 3 所示(并非是偶函数关系)。

- 1) 自旋性多层金属薄膜磁敏电阻，当外加磁场从 0 正向加大时， $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 为正，当外加磁场从 0 反向加大时， $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 为负。即在某范围内相对于磁场从负到正变化时，电阻变化是单调线性的，并相对于零磁场是反向对称的（奇函数关系）
- 2) 外加磁场较小时 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与磁场强度的成正比；
- 3) 当外加磁场大于某个正数值或者小于某个负值后， $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 几乎不变。
- 4) 在零磁场附近的存在较宽的线性区域，因此它可用作为线性磁场传感器。

测量原理和方法

1、直流励磁恒流源与电磁铁输入端相联，通过调节该直流恒流电源控制电位器可改变输入电磁铁电流大小，从而改变电磁铁间隙中磁感应强度的大小。

2、将自旋性多层金属薄膜与电阻箱串联，并与可调直流电源相接，数字电压表的一端连接磁阻传感器电阻箱公共接点，另一端与单刀双向开关的刀口处相连。

3、调节通过电磁铁的直流电流，测量通过自旋性多层金属薄膜的电流值及磁阻器件两端的电压值。求得磁阻传感器的电阻值 R ，求出 $\frac{\Delta R}{R(0)}$ 与 B 的关系。

4、先测量无磁场时样品的电阻 R_0 ，设定样品工作恒定电流 I_0 ，改变励磁电流，测得记录不同磁场下，样品两端的电压 U ，样品的磁电阻 $R = \frac{U}{I_0}$

实验内容

- 1 测量自旋性多层金属薄膜的电阻与磁感应强度的关系
- 2 作出自旋性多层金属薄膜的电阻变化与磁感应强度的关系曲线

仪器简介与使用

仪器由三个部分组成：FH5015 磁敏电阻效应实验架、二套样品板（含集成磁场传感器）及 FH2601 实验用数字源表。

1 FH5015 磁敏电阻效应实验架

如图 4 所示，由小型亥姆霍兹线包、二维移动标尺带、样品板定位，三个双刀双掷换向继电器开关组成。

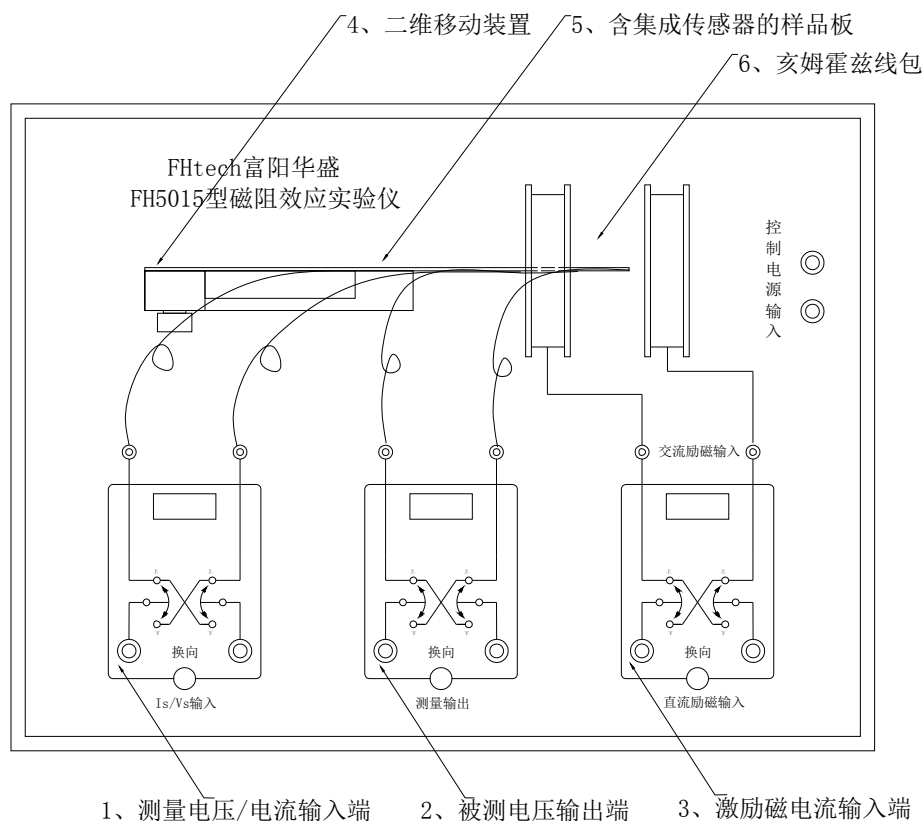


图 4 FH5015 磁阻效应实验架平面图

- 1) 为被测样品电流输入端（注 1），它与 FH2601 实验用数字源表的测试用恒流源相连接。
- 2) 为测电压输出端，它与 FH2601 实验用数字源表的直流电压表相连接。
- 3) 为交直流励磁电流输入端，直流励磁端与 FH2601 实验用数字源表的励磁用恒流源相连接。交流励磁端与功率信号源相连接。
- 4) 为控制样品板上下、左右移动的移动装置。
- 5) 为样品板。提供 SMR 样品板、GMR 样品板各一块。

2 样品板

提供一个样品板，是 GMR 型磁敏电阻元件。样品板上紧靠着样品装有集成磁场测量传感器。磁敏电阻元件采用四根线引出，便于用四端法测量电阻。

集成磁场测量传感器与 FH2601 实验用数字源表配合使用时，测量范围:0~5mT 和 0~50mT 两个量程。

注：一般情况下，测量霍尔效应使用恒电流作为霍尔元件的工作电流，测量桥式磁阻时使用稳压源作为它的工作电源。而测量单一电阻的阻值时，用恒电流，通过测量它二端电压降，计算出它的电阻值。

3 FH2601 实验用数字源表

它由加热、励磁用恒流源、测量用稳压源/恒流源及直流电压表组成。FH2601 实验用数字源

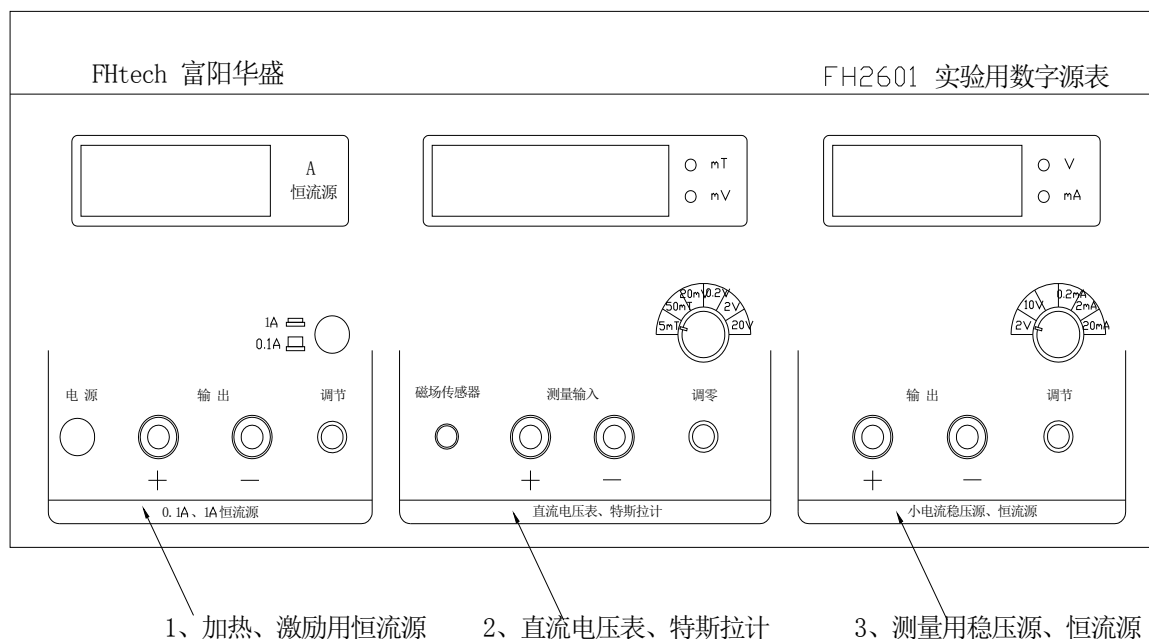


图 5 FH2601 实验用数字源表平面图

表的平面图如图 5 所示。

- 1) 为加热、励磁用恒流源，分二个档 0.1A 和 1A。用于恒流加热或者直流励磁用。三位半显示。0.2%精度。
- 2) 为直流电压表及特斯拉计。
- 3) 直流电压表分 20mV、200mV、2V 三个量程，4 位半显示，0.5%精度

稳压源为 2V、10V 二档；三位半显示。（用于全桥式或者半桥传感器工作电源）；微电流恒流源为 0.2mA、2mA、20mA 三档。三位半显示。（用于测量电阻时工作电流、霍尔片工作电流）。

注意事项

- 1 样品板装有磁敏电阻元件及集成磁场传感器，使用时应注意避免受挤压，碰撞等。
- 2 实验架上的移动装置在受力状态下容易变形而影响使用，使用时应注意避免碰撞、拉扯。
- 3 安装样品板要到位，实验前应检查是否松动、移位，并加以调整，防止松动而影响测量结果。
- 4 测量磁敏电阻元件电压时，避免实验架受到振动、移动，因为样品架是装在移动装置上的长条 PCB 板，易受振动、移动而抖动，引起磁敏电阻元件上的磁场始终在变化。
- 5 为了不使亥姆霍兹线圈包过热而受到损害，或影响测量精度，在读取有关数据时，通以励磁电流 I_M ，不读数据时最好断开励磁电流。
- 6 仪器不宜在强光照射下，高温、强磁场和有腐蚀气体的环境下工作和存放。

思考题

- 1 什么叫做磁阻效应?
- 2 磁阻效应的微观机制是什么?
- 3 磁阻元件的阻值变化为什么受温度的影响比较大?