

Origin 软件在大学物理实验巨磁阻效应数据处理中的应用

刘 萍

(南京邮电大学理学院 江苏 南京 210023)

【摘 要】本文介绍了 Origin 软件的特点及其在物理实验数据处理中的作用,并以巨磁电阻效应模拟传感器为例,使用 Origin 软件处理了磁电转换特性曲线,详细地阐述了该软件的使用方法,实践表明此软件作为常用数据处理方法引入大学物理实验教学有效地提高数据处理的效率,避免了手工处理所带来的误差。

【关键词】Origin 软件; 物理实验; 巨磁阻效应

引言

物理实验需要采集大量数据,实验者需要对实验数据进行记录、整理、计算与分析,从而找出测量对象的内在规律,正确给出实验结果,所以说数据处理是物理实验工作不可缺少的一部分。在实验教学过程中,大量实验数据的处理和作图是学生普遍存在的薄弱环节,完成实验操作后的数据处理工作,更能够培养学生对待科学的严谨态度和扎实的工作作风,其步骤包括数据记录整理分析计算,完成图形显示和表达,借此说明实验现象,同时得出实验结论。传统的坐标纸手工作图方法经过数据一一计算后在坐标纸上描点作图,此种方法繁琐效率低,误差大,并且个人主观性比较强,曲线拟合非常粗糙^[1]。

随着高校计算机课程的普及,学生已经具备了初步的基础使用软件来处理和分析实验数据。Origin 是一款强大的数据分析和制图软件,其应用广泛,实用性强,能进行曲线函数拟合、数据运算、各类谱线分析和统计分析应用等以及绘图功能和图形版面设计等,极大地提高了工作效率,能形象地展示出实验现象和结果^[2]。在物理实验教学中引导学生使用 Origin 这样优秀的数据分析软件来处理实验数据,应是高校实验课教学改革过程中一个紧跟时代发展的趋势。

巨磁电阻效应及其应用是近代物理实验中的重要内容。1988 年德国和法国的教授课题组分别在三层膜和周期性多层膜中独立发现了巨磁电阻效应,IBM 公司基于巨磁电阻效应制备出了商用的磁盘驱动器的读出头,获得了巨大的商业应用价值,极大地推动了信息技术的发展,成为现代前沿基础科学发现快速转化为商业应用的经典案例。巨磁阻效应的发现和应用,打开了自旋电子学的大门^[3]。学习巨磁阻效应可以加深学生对电子自旋这一属性的认识,帮助学生了解最前沿的信息技术—自旋电子学,同时对培养学生实验设计和动手能力等方面起着重要作用。笔者在物理实验教学中发现目前巨磁阻磁电转换特性教学仍使用人工数据处理方法,比如用方格纸描点来获得数据曲线图,这种手工作图误差大,人工计算费时费力,并且学生连接曲线时非常粗糙,导致物理图像的理解偏差。

本文将以巨磁电阻效应模拟传感器的磁电转换特性测量为例,简单介绍利用 Origin 软件在实验数据处理中的应用。

1 实验原理

物质在一定磁场下电阻改变的现象,称为“磁阻效应”。1988 年, A. Fert 和 P. Grünberg 相继在磁性多层膜结构中发现巨磁电阻效应 (GMR), 在 2007 年被授予诺贝尔物理学奖。巨磁电阻的发现开辟了通过磁矩有效调控电荷输运的道路,不久这一发现就应用于磁盘读出头、磁传感器等,实现了大规模的商业应用,为现代信息技术的发展做出了革命性的贡献。

电子在电荷传输过程中并不是沿电场直线前进,而是会

不断地和晶格中的原子产生碰撞,这种现象被称为散射。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无规则散射运动的叠加。此外,电子除了具有电荷这一属性外,还具有自旋的特性,类似于电荷有正负之分,自旋这一属性分为自旋向上与自旋向下。巨磁电阻效应产生的物理机制常用 N. F. Mott 的双电流模型来解释。根据 Mott 理论,在外加磁场作用下,电子在磁性多层膜中运动传输时受到的散射是与自旋相关的。多层膜的磁层原子磁矩方向不同,自旋向上和自旋向下的电子受到的散射不一样,如果其自旋取向与磁层金属原子磁矩方向反平行,那么电子发生碰撞的几率会远大于自旋取向与磁矩方向平行^[4]。

在典型的 GMR 多层膜结构中,如图 1 (a) 所示,当无外磁场时,上下两层磁性材料的磁化方向相反,是反平行(反铁磁)耦合的。但无论是自旋向上还是自旋向下的电子,在传输过程中当遇到铁磁层的磁矩取向与其自旋方向相同磁层后都会再次遇到另一个与自旋方向相反的磁矩磁层,因此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^[5,6]。

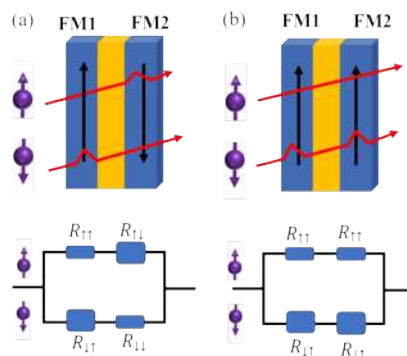


图 1 巨磁电阻效应的原理示意图

当施加足够强的外磁场后,两层铁磁膜的方向都与外磁场方向一致,如图 1 (b) 所示,外磁场使两层铁磁膜从反平行耦合变成了平行耦合。自旋方向与铁磁层磁矩取向相同的那一半电子只受到微弱散射顺利通过磁层,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。

巨磁阻传感器是由 4 个巨磁阻构成的,形成如图 2 所示的惠斯通电桥结构。巨磁阻传感器位于亥姆霍兹线圈磁场中,通过给亥姆霍兹线圈供电产生磁场,其中 R_2 和 R_4 是磁屏蔽电阻, R_1 和 R_3 是巨磁阻。当线圈通电感应出磁场后, R_2 和 R_4 值不变, R_1 和 R_3 巨磁电阻值发生变化,巨磁阻传感器输出端电压不为零,并且不同的磁场对应不同的磁电阻变化引起输出端电压差也不同,因此线圈磁场与传感器输出电压间是一一对应关系。由图 2 知,当无磁场时, $R_2=R_4$,电桥平衡,

传感器输出端电压为零;有磁场时 R_2 和 R_4 的值不变, R_1 和 R_3 值发生变化,且变化值 ΔR 相同。那么,传感器输出电压与磁电阻变化值 ΔR 的关系可表示为^[6]:

$$U_{OUT} = U_{IN} \Delta R / (2R - \Delta R)$$

因此,实验上通过调节励磁电流($-100\text{ mA} \sim 100\text{ mA}$)来改变磁场强度,记录相应的输出电压。螺线管的线圈密度已知,根据公式 $B = \mu_0 n I$ 可以计算出螺线管内的磁感应强度 B 。将磁感应强度 B 作为横坐标,输出电压的读数作为纵坐标,可以绘制磁电转换特性曲线,帮助学生理解巨磁电阻效应。在这个实验数据处理中,大量横坐标的计算和图纸绘制数据点如果依靠人工进行显然费时费力。此外,横坐标的数值往往也不是整数,人工描点绘图往往误差很大。

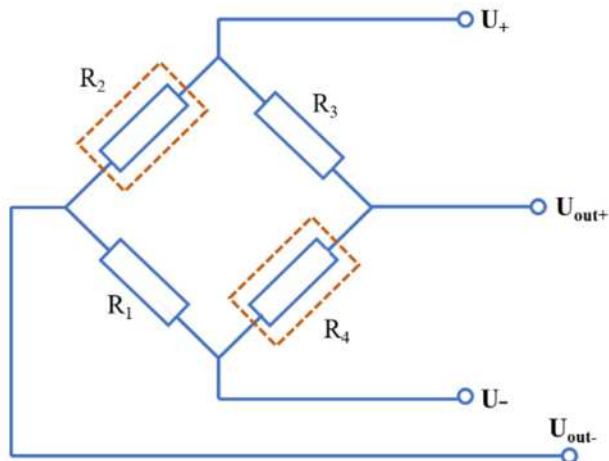


图2 巨磁电阻传感器的原理示意图

2 用 Origin 软件处理实验数据

在本实验中,以磁感应强度 B 作横坐标,以输出电压为纵坐标作出磁电转换特性曲线。

打开 Origin 9 在 workbook 工作表 A(X) 中依次输入励磁电流值,选中 B 列后先设置为横坐标即 B(X),再右键选择“Set Column Values”,根据 $B = \mu_0 n I$ 编辑公式 $\text{Col}(B) = 4\pi \times 10^{-7} * 24000 * \text{Col}(A) * 10$ 。值得注意的是,这里公式计算要使用国际单位制,编辑得到的结果表示 B(X) 列为相应的磁感应强度,单位为高斯(Gs)。从这里也可以看出 Origin 的计算功能强大,海量处理实验数据,方便快捷。

接下来,再增加 C(Y) 列,输入实验中记录的相对应的输出电压值,鼠标选中表格中 B(X) 和 C(Y) 两列数据,然后点击菜单栏中的绘图,在弹出的菜单中选择描点,或者选择左下角快捷按钮 Plot selected data as a line

+ Scatter Graph,都可以得到 Graph1 中 X-Y 中的散点图,如图 3 所示。可以观察到这个磁电转换特性图是曲线趋势,并且不经过原点。因为原始数据点比较多,手工描点连线误差大且不美观,利用 Origin 作图快捷方便,可以有效避免手工描点绘图的误差,并且通过颜色符号快速区别出测试信息。实验中还可以发现,相同的外磁场下输出电压会有差值,这是材料的磁滞特性导致的。

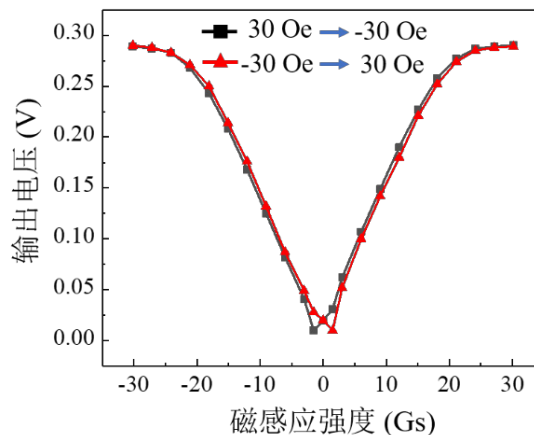


图3 GMR 模拟传感器的磁电转换特性

结论

通过测定巨磁电阻磁电转换特性初步了解 Origin 软件工作环境和操作方法。Origin 软件图形与计算功能非常强大,能够进行很多物理实验的数据处理和分析,计算更为方便,能够显示巨磁电阻效应磁电转换的实验结果。在未来的大学物理实验中,用计算机软件代替手工进行数据处理是一个必然趋势,可以提高数据处理的效率与精度,并且使学生从繁复的手工数据处理中解脱出来,用更多的时间去实践和理解实验本身,提高创新能力。

参考文献:

- [1] 郝长春,孙润广. Origin 9.0 软件在大学物理实验数据处理中的应用探讨[J]. 2015, 28: 90-91
- [2] 丁淑芳. Origin 在处理大学物理实验中的应用[J]. 科技风, 2011, 10: 195-196.
- [3] 于笑潇, 资剑, 王兵, 陈卓敏. 自旋电子学研究的现状与趋势[J]. 科技中国 2018, 5: 7-10
- [4] 刘要稳. 巨磁电阻效应及其应用和发展[J]. 科学, 2008, 60 (4): 18-21.
- [5] 邹红玉. 巨磁电阻特性的研究及其在物理实验教学上的应用[J]. 大学物理, 2012, 31 (2): 37-41
- [6] 魏奶萍. 巨磁阻效应实验数据处理[J]. 广西物理, 2016, 37: 36-40.