

位移传感器演示装置的制作

郭俊 唐亚明 刘爽 吕翔雲

(青岛科技大学数理学院 山东 青岛 266042)

(收稿日期:2016-03-11)

摘要:通过自制的位移传感器演示装置可以对霍尔磁阻效应、一种小位移测量传感器原理和方法进行演示和探究.在课堂教学、课程设计等场合,直观显示霍尔元件的各种效应和技术应用,有着良好的教学效果.

关键词:霍尔元件 磁阻效应 位移测量

1 引言

我们通过自制的实验装置,实现位移量到电信号的转换,演示了霍尔元件的磁阻效应和基于这种效应的一种应用.给物理实验教学带来了很好的效果.

2 原理

通有电流的半导体置于与电流方向垂直的磁场中,在垂直于电流和磁场的方向上,半导体两侧之间会产生一横向电压,这种现象称为霍尔效应.半导体在产生霍尔电压的同时,由于磁场对载流子的作用改变了载流子的运动轨迹,使得通过霍尔元件的电流密度下降,即半导体电阻率增大,这就是半导体的磁电阻效应.磁阻效应是半导体材料非常有用的效应.以N型半导体为例,电子在互相垂直的电场和磁场中,由于受到电场力和洛伦兹力的作用呈摆线运动,如图1所示.电子因弧形运动,走过的路程增加,散射几率增大,平均自由程缩短,从而引起电流密度下降、电阻率增加.理论分析表明,若不考虑载流子速度的统计分布,就不显示磁阻效应.如果进一步考虑电子速度的统计分布,那么比平均速度快的和慢的电子分别往两侧偏转,如图2所示.比平均速度快的电子受到的洛伦兹力大于霍尔电场作用力,向洛伦兹力作用的方向偏转,如图2中2所示;反之,比平均速度慢的电子向霍尔电场力作用的方向偏转,如图2中3所示.因此,速度快的和慢的电子

漂移路程增加,将使整个电阻增加,显示出磁阻效应.可见半导体材料的磁阻效应是由于载流子速度统计分布的结果.

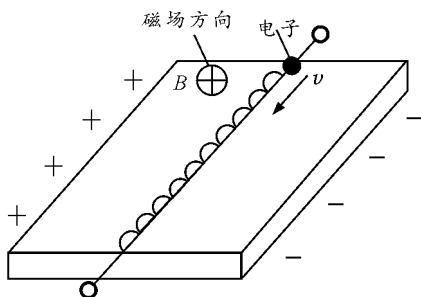


图1 电子在磁场中运动的情况

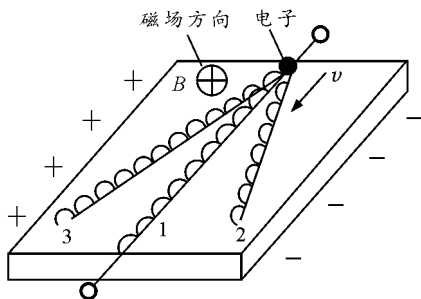


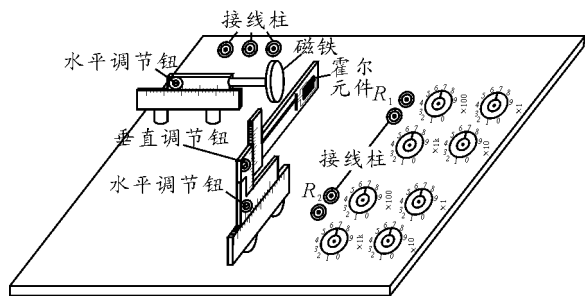
图2 电子偏转示意图

实际上,半导体的磁阻效应与它的几何形状和结构密切相关.在制造半导体磁阻元件时,巧妙地利用几何形状和结构对磁阻效应的影响,使霍尔元件的体电阻随磁场的增加明显增大.

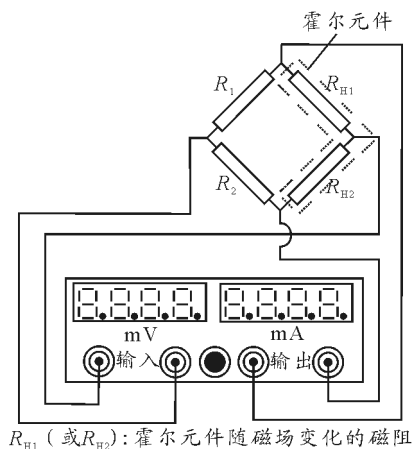
3 器材安装与演示内容

本演示实验装置由磁铁、水平调节机构、垂直调节机构、接线柱、十位波段开关、霍尔元件、精密电

阻、自制演示装置测控仪等组成. 演示实验装置如图3所示.



(a) 演示装置结构示意图



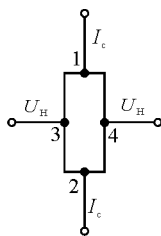
(b) 演示装置测量电路原理图

图3 测量演示装置示意图

在装置平台上,十位波段开关焊上不同阻值的精密电阻构成二组($\times 1, \times 10, \times 100, \times 1k$)十进制电阻箱,即图3中的 R_1 和 R_2 . 实现 $0 \sim k\Omega$ 的阻值变化. 购置的永磁体是一个圆形磁钢,其通过连接杆固定在水平调节结构的动块上,调节手轮使磁钢在水平方向移动,改变它与霍尔片之间的距离. 霍尔元件安装在既有水平、又有垂直调节的二维机构上,目的就是上下、前后都能调,确保霍尔片正好面对磁钢. 另外,调节机构安装孔稍微开大些,方便机构的左右调整,以使磁钢和霍尔片的两个面平行.

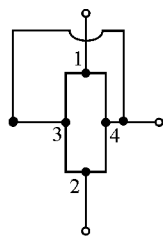
本实验装置选用了某科技公司早期生产的霍尔效应实验仪上的霍尔片,示意图如图4(a)所示. 1—2是工作电流端,一般电流 I_c 可达几毫安,3—4为霍尔电压输出端,一般在几~几十毫伏左右. 用它来观测磁阻效应时,把霍尔片3,4端短接(形成所谓格栅)后由一线引出,如图4(b)所示. 这样原霍尔片可以看成上下两部分,即图4(c)中的 R_{H1} 和 R_{H2} ,当永磁体相对霍尔片运动时,1,2端通以电流,那么

R_{H1} 和 R_{H2} 随着磁场的强弱相应变化. 另外本演示装置配有自制的恒流输出($0 \sim 30 \text{ mA}$)、 $3 \frac{1}{2}$ 位数字毫伏表($0.00 \sim 100 \text{ mV}$)测控箱,实现对工作电路的恒流供给和桥路输出的精确测量.



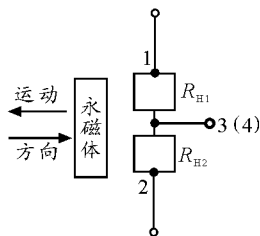
1-2电流端 3-4电压端

(a) 原霍尔片示意图



短接3-4端,形成格栅

(b) 改变后的霍尔片示意图



(c) 一定条件下霍尔片等效磁阻示意图

图4 霍尔片示意图

图5是实验演示装置实物图. 按图3(b)所示电路原理图连接好线路,打开电源,调节测量电路的工作电流 I_c ,分别取 2 mA 和 5 mA . 通过旋转固定磁钢支架的水平调节钮,逐渐增加磁钢与霍尔片之间的距离,每位移 1 mm ,记录测量电桥电路对应的输出电压. 这是由于其中由霍尔片形成的桥臂 R_{H1} 和 R_{H2} ,当磁钢和霍尔片之间的位置改变时,其阻值也随之发生改变,从而引起测量桥路输出不平衡电压. 测得的电压值反映了位移变化的多少. 测量数据记录在表1和表2中,图6,图7为对应的电压-位移曲线.



图5 实验演示装置实物图

由实验数据和图示曲线可以知道测量桥路输出电压随磁钢和霍尔片之间的位置变化而变化;另外,测量桥路的测量灵敏度随工作电流 I_c 增加而提高;

还有磁钢和霍尔片之间距离相对较小时(本装置大约在0~10 mm),测量桥路的电压输出与磁钢和霍尔片之间位置改变近乎线性,这就为实际应用带来方便.

表1 工作电流 $I_c = 2 \text{ mA}$ 时的测量数据

位移/mm	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
电压/mV	0.00	0.12	0.24	0.35	0.45	0.56	0.66	0.76	0.84	0.91
位移/mm	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0
电压/mV	0.98	1.05	1.11	1.16	1.21	1.25	1.29	1.32	1.35	1.38

表2 工作电流 $I_c = 5 \text{ mA}$ 时的测量数据

位移/mm	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
电压/mV	0.00	0.30	0.58	0.86	1.12	1.38	1.62	1.85	2.05	2.23
位移/mm	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0
电压/mV	2.40	2.54	2.68	2.80	2.92	3.02	3.10	3.18	3.25	3.31

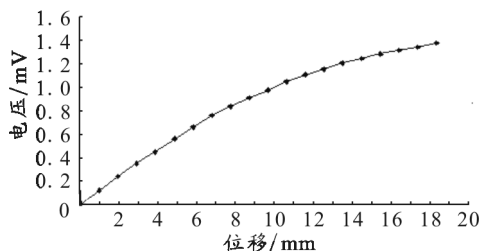


图6 测量工作电流 $I_c = 2 \text{ mA}$ 时的电压-位移曲线

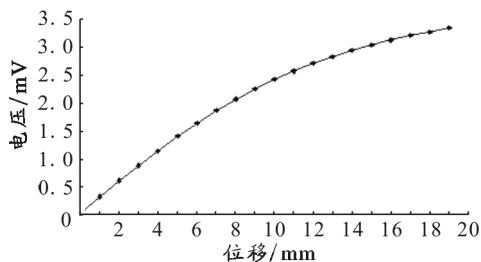


图7 测量工作电流 $I_c = 5 \text{ mA}$ 时的电压-位移曲线

4 结论

(1) 本演示装置巧妙利用霍尔元件的磁阻效应,直观展示了传感器的传感原理,体现了物理实验的技术内涵.

(2) 装置结构简单,物理概念清晰,无论在理论教学的课堂,还是在实验室,现场演示生动、易于操作,提升了教学效果.

(3) 装置设计、安装调试和实验演示全过程,是我校设计性物理实验项目内容.极大地吸引了学生到实验室来动手实验,鼓舞了他们创新的热情,赋予了经典实验现场测试的信息.学生拿着自己制作的这套装置,参加了2015年山东省第七届大学生物理科技创新大赛,获得了一等奖.

参考文献

- 1 张之圣,胡明,刘志刚,等. InSb 磁敏电阻器导电机理及可靠性. 半导体学报,1996,17(2):136~140
- 2 张之圣,刘志刚,胡明,等. 磁阻元件的理论基础及旋转传感器. 电子测量技术,1996(3):9~10
- 3 王冰,黄钊洪,周冬跃. 一种检测弱电流的半导体磁阻式电流传感器. 仪表技术与传感器,2003(3):4~6
- 4 黄德星,等编著. 磁敏感器件及其应用. 北京:科学出版社,1987
- 5 唐耀辉. 用霍尔元件测微小位移. 物理实验,2001(8):36~37
- 6 张之圣,白花珍,陈金亭,等. InSb 磁阻元件的特性及无接触旋转传感器. 天津大学学报,1999(6):774~776
- 7 吴扬,姜捷,陆申龙. 铽化钢磁阻传感器特性测量及应用研究. 物理实验,2001(10):46~48

The Fabrication of Displacement Sensor Demonstration Devices

Guo Jun Tang Yaming Liu Shuang Lv Xiangyun

(College of Mathematics Physical, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266042)

Abstract: By this device can be magnetic resistance effect, a small hall displacement sensor principle and the method of demonstration and explored. In classroom teaching, curriculum design, visual display various effect and the technical application of hall element, has a good teaching effect.

Key words: Hall element; magnetic resistance effect; displacement measurement