



集  
锦

# 霍尔效应实验的改进和扩展

曹伟然<sup>1</sup>, 段立永<sup>2</sup>, 赵启博<sup>2</sup>

(1. 临沂师范学院 物理系, 山东 临沂 276005;

2. 东北师范大学 物理学院, 吉林 长春 130024)

**摘 要:** 对霍尔效应仪器进行了改进, 通过对磁场标定, 研究霍尔电压与恒定电流的关系, 可以测定霍尔片载流子的浓度. 测量霍尔片的长度和横截面积, 进而可以测定霍尔片的电导率和迁移率.

**关键词:** 霍尔效应; 电导率; 迁移率

中图分类号: TP212.13

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2009)02-0041-04

## 1 引 言

实验室现有的霍尔效应实验仪可以演示霍尔效应现象和测定载流子的类型、载流子的浓度、磁感应强度等, 而不能测定霍尔片的电导率和载流子的迁移率. 现在市场上出售的 QS-H 型霍尔效应实验组合仪<sup>[1]</sup> 可以测霍尔片的电导率和载流子的迁移率, 但仪器价格较高, 如果购买这种较昂贵的仪器, 势必造成教学资源的浪费. 而在实验教学方面, 经常使用的仪器仪表都很先进, 自动化程度高, 并且减少了实验误差. 但学生对仪器仪表的结构和原理了解很少, 学生缺少实践上的求知过程. 因此可以让学生对现有霍尔效应仪器进行改进使其能够测量霍尔片的电导率和迁移率, 即能节省教学经费又能很好地提高学生的思维能力和动手能力.

## 2 实验原理

通过霍尔片的恒定电流为  $I_s$ , 通有恒定电流  $I_s$  方向上霍尔片任意两点电压为  $U_R$ , 由欧姆定律得

$$I_s = \frac{U_R}{R}, \quad (1)$$

电阻定律

$$R = \rho \frac{L}{S}, \quad (2)$$

可以得到

$$\rho = \frac{U_R S}{L I_s}. \quad (3)$$

由于电导率等于电阻率的倒数, 可以计算电导率<sup>[2]</sup> 为

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L I_s}{U_R S}, \quad (4)$$

由电导率  $\sigma$  与载流子的迁移率  $\mu$  的关系<sup>[3]</sup>

$$\sigma = en\mu, \quad (5)$$

可得

$$\mu = \frac{\sigma}{en}. \quad (6)$$

为求得载流子的迁移率, 必须求出载流子浓度  $n$ .

## 3 实验装置的改进及数据分析

### 3.1 仪器的改进

实验室现有的霍尔效应实验仪器中的霍尔片如图 1 所示.

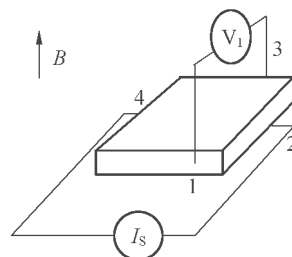


图 1 改进前的霍尔片

改进后的霍尔效应实验仪如图 2 所示. 从图

收稿日期: 2008-07-15

作者简介: 曹伟然(1978—), 男, 山东临沂人, 临沂师范学院物理系讲师, 主要从事光谱研究.

2 中可以看出改进后的霍尔片与原有的霍尔片区别为接在霍尔片上的导线由 4 根变成了 5 根. 霍尔片中的线 2 和线 4 分别接在恒流源  $I_S$  两端, 线 1 和线 3 两端的电压表可以测量霍尔电压  $U_H$ , 线 1 和线 5 与数字电压表相连, 可以测量霍尔片线 1 和线 5 两端的电压.

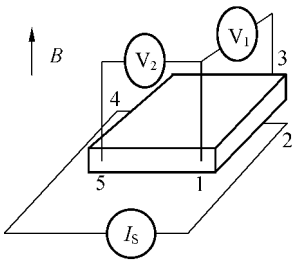


图 2 改进后的霍尔片

3.2 磁场定标

当线圈中通过电流时, 可以用特斯拉计测电

磁铁的磁感应强度. 测量 11 组数据, 连续测 3 次. 然后对测得的磁感应强度取平均值, 可得不同电流下电磁铁的磁感应强度如表 1 所示.

由表 1 中数据得到  $B$  和  $I_M$  的关系曲线如图 3 所示. 用最小二乘法可得

$$B=2.432+0.4515I_M . \tag{7}$$

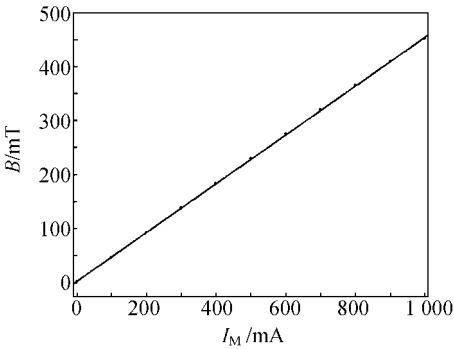


图 3 磁感应强度与电流的关系曲线

表 1 电磁体磁感应强度标定

$I_M/\text{mA}$	$B_1/\text{mT}$	$B_2/\text{mT}$	$B_3/\text{mT}$	$B/\text{mT}$
0	1.2	1.2	1.2	1.2
100	46.3	46.1	46.8	46.6
200	92.1	92.2	92.3	92.2
300	137.9	138.2	138.1	138.1
400	183.7	183.8	184.1	183.9
500	229.6	229.6	229.6	229.6
600	274.8	275.4	274.9	275.0
700	319.7	319.6	319.9	319.7
800	364.4	364.9	364.9	364.7
900	408.1	408.3	408.2	408.2
1 000	451.0	451.2	450.6	450.9

当通过载流线圈的电流为 0 时, 电磁体的磁感应强度应为 0, 即  $B$  与  $I_M$  的关系图像应为过原点的直线, 而拟合的直线是不过原点的. 这主要是由于电磁铁中的铁材料已经被磁化, 使它本身具有了磁性.

3.3 霍尔电压与电流  $I_S$  的关系

保持励磁电流  $I_M$  不变, 分别改变磁场的方向和电流  $I_S$  的方向和大小, 以减少霍尔效应中的副效应对实验产生的影响, 测得电流  $I_S$  和霍尔电

压  $U_H$  见表 2, 其中  $U_H=\frac{U_2+U_3-U_1-U_4}{4}$ .

改变磁感应强度方向时, 霍尔电压  $U_H$  变化

较大; 而改变电流  $I_S$  方向时, 霍尔电压  $U_H$  变化不大, 这主要是由于制作工艺上的限制而使线 1 和线 3 之间存在不等势电压降  $U_0^{[4]}$ . 使霍尔效应实验产生误差的原因还有爱廷豪森效应  $U_E$ , 能斯托效应  $U_N$ , 里纪-勒杜克效应  $U_{RL}$ . 在这 4 种负效应中, 不等势电压降  $U_0$  对实验的影响最大<sup>[4]</sup>.

用最小二乘法研究电流  $I_S$  与霍尔电压  $U_H$  的关系, 可以得到它们之间的关系曲线, 具体如图 4 所示.

霍尔电压  $U_H$  与电流  $I_S$  的关系方程为

$$U_H=0.02071+2.421I_S. \tag{8}$$

表 2 霍尔电压  $U_H$  和电流  $I_S$  的数据

$I_S/\text{mA}$	$U_1(+B,+I)/\text{mV}$	$U_2(+B,-I)/\text{mV}$	$U_3(-B,-I)/\text{mV}$	$U_4(-B,+I)/\text{mV}$	$U_H/\text{mV}$
1.00	-3.32	3.38	-1.51	1.54	2.44
2.00	-6.66	6.71	-3.01	3.05	4.86
3.00	-9.97	10.05	-4.52	4.56	7.28
4.00	-13.32	13.41	-6.03	6.07	9.71
5.00	-16.67	16.08	-7.51	7.57	12.13
6.00	-20.03	20.12	-8.99	9.05	14.55
7.00	-23.41	23.51	-10.44	10.53	16.97
8.00	-26.76	26.89	-11.88	11.99	19.38

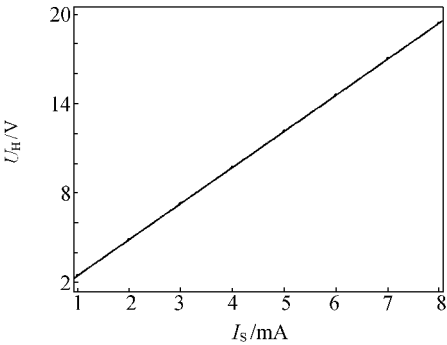


图 4 霍尔电压  $U_H$  和  $I_S$  电流的关系

霍尔电压和电流  $I_S$  之间的关系方程本应为过原点的直线, 由于 4 种负效应的存在, 测量霍尔电压时产生了误差.

3.4 霍尔片电导率和载流子迁移率的测定

载流子浓度的表达式<sup>[5]</sup>为

$$n=\frac{I_SB}{qbU_H}, \tag{9}$$

当励磁电流  $I_M=400\text{ mA}$  时, 由磁场标定方程求出此时电磁铁的磁感应强度. 将  $I_M$  代入(7)式可得  $B=183.0\text{ mT}$ . 当通过霍尔片的电流为  $I_S=3\text{ mA}$  时, 霍尔电压为  $7.28\text{ mV}$ . 用螺旋测微器测得霍尔片的厚度  $b=0.528\text{ mm}$ , 将上述数据代入(9)式, 可以得到载流子浓度  $n=6\times 10^{20}\text{ m}^{-3}$ , 线 1 和线 5 分别接在数字电压表的两端, 通过测得的实验数据, 可以求出线 1 和线 5 两端的霍尔片的电阻, 利用(4)式求得霍尔片的电导率. 实验测得的数据如表 3 所示.

用最小二乘法可得线 1 和线 5 两端的电压  $U_R$  与电流  $I_S$  的关系曲线, 如图 5 所示. 则  $U_R$  和  $I_S$  的关系方程

$$U_R=-0.002+71.7I_S. \tag{10}$$

表 3 电压和电流的实验数据

次数	$U_R/\text{V}$	$I_S/\text{mA}$
1	0.070	1
2	0.141	2
3	0.213	3
4	0.285	4

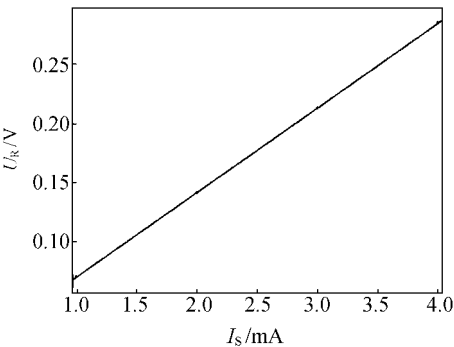


图 5 线 1 和线 5 两端的电压  $U_R$  与电流  $I_S$  的关系

当  $I_S=2\text{ mA}$  时, 可以算出  $U_R=0.1414\text{ V}$ , 则线 1 和线 5 两端的电阻  $R=70.7\text{ }\Omega$ , 将电阻  $R=70.7\text{ }\Omega$  代入(3)~(4)式, 由于霍尔片的厚度  $b=0.529\text{ mm}$ , 霍尔片的宽度  $a=4.325\text{ mm}$ , 求得霍尔片的横截面积为  $S=2.2879\times 10^{-6}\text{ m}^2$ . 霍尔片的长度  $L=2.799\text{ cm}$ , 结合以上数据, 可以求得霍尔片的电导率  $\sigma=173.038\text{ S/m}$ . 将电导率和载流子浓度  $n$  代入(6)式, 求出载流子的迁移  $\mu=18.02\text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ .

4 结束语

霍尔效应实验对学生要求较高, 学生不但要理解霍尔效应的原理, 而且还要用霍尔效应实验仪器演示霍尔效应现象和测定载流子的类型、载

流子的浓度、磁感应强度等. 本文从理论上论证了改进后的仪器能够测定霍尔片的电导率和载流子的迁移率的可行性, 然后通过实验验证, 从而使霍尔效应实验仪器得到完善. 改进实验既锻炼了学生的动手能力, 又使他们对霍尔效应有了更深层次的了解.

### 参考文献:

[1] 张伟, 陈西玉. 求是教仪的物理教学仪器[J]. 电气

电子教学学报, 2003, 25(2): 115-117.

[2] 肖井华, 蒋达娅, 董淑香. 大学物理实验教程[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005: 124-125.

[3] 冯文修. 半导体物理学基础教程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 82-83.

[4] 李学慧, 高峰, 孙炳全, 等. 大学物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 79-80.

[5] 王殿元, 聂映中, 罗江龙. 大学物理实验[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005: 110-111.

## Improvement and expansion of the Hall effect experiment

CAO Wei-ran<sup>1</sup>, DUAN Li-yong<sup>2</sup>, ZHAO Qi-bo<sup>2</sup>

(1. Department of Physics, Linyi Normal University, Linyi 276005, China;

2. College of Physics, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

**Abstract:** The Hall effect instrument is improved. The relation between the Hall voltage and the constant current is studied after calibrating the magnetic field. Then the carrier density of the Hall sample is determined. By measuring the cross section area and the length of the Hall sample, the conductivity and mobility are determined.

**Key words:** Hall effect; conductivity; mobility

[责任编辑: 郭 伟]



## 北京欧普特科技有限公司

北京朝阳区酒仙桥东路一号, M7 栋东五层, 100016

<http://www.goldway.com.cn> sumanshan@goldway.com.cn

联系人: 栗曼珊 联系电话: 010-84562860 84562550 传真: 010-84569901

独家代理销售加拿大 GENTEC-EO 生产的激光功率能量计及光束分析仪, 其产品具有功率、能量探头规格全, 宽光谱响应; 探头损伤阈值高、灵敏度高; SOLO 显示器自动识别每个探头, 带有自动校准功能; 光束分析仪定量、定性分析激光束等特点.



独家代理销售美国 STELLARNET 生产的微型光纤光谱仪, 其产品具有多种型号规格可选, 坚固耐用、轻巧便携, 波长范围覆盖 190~2 200 nm, 适合于实验室、现场及野外的光谱测量.

