

大学物理中霍尔效应实验教学的进一步研究

张秀兰, 余海军

(淮南师范学院电子工程学院, 安徽 淮南 232038)

摘 要: 本文主要是介绍霍尔效应实验的流程, 以及对流程、结果和误差等的分析、总结与改进, 让我们可以系统的对霍尔效应实验相关数据的意义以及数据处理过程能够有进一步的理解, 在教学中可以让学生巩固加深所学磁学知识、充分发挥学生的潜能和创造性思维。

关键词: 霍尔效应; 数据处理; 霍尔系数; 半导体材料

中图分类号: G64

文献标识码: A

文章编号: 2095-7327(2018)-03-00134-03

DOI: 10.15948/j.cnki.37-1500/s.2018.03.032

Further Research of Hall-effect Experiment in College Physics

ZHANG Xiulan, YU Haijun

(College of Electronic Engineering Huainan Normal University, Huainan Anhui 232038)

Abstract: This article explains the process of the Hall-effect experiments and its processes, results as well as error analysis. The study of this paper can improve our comprehension on Hall-effect experiments related to the significance of the data. The results of this paper can allow the students to build magnetic deep learning knowledge, give full play to their potential and creative thinking.

Key words: Hall-effect; data processing; Hall coefficient; semiconductor materials

1 前言

霍尔效应是在 1879 年被美国物理学家霍尔在研究金属的导电机理时发现的, 霍尔效应是电磁效应的一种^[1]。随着当时社会的半导体技术的不断成熟与提高, 出现了各种半导体霍尔元件, 利用霍尔效应可以确定半导体材料的导电类型、载流子浓度及迁移率、半导体的禁带宽度等^[2]。霍尔效应在传感器中的应用也特别重要, 随着社会科学技术的不断发展, 电子集成技术逐步走向成熟, 也出现了将霍尔半导体元件和相关的信号调节电路集成在一起

的霍尔传感器^[3]。霍尔效应是在物理学中重要的物理现象^[4], 是作为物理专业的学生必须掌握的, 对霍尔效应以及霍尔效应实验的研究可以加深我们对霍尔效应的深入认识以及对霍尔效应的灵活运用。也可以为以后能在有关霍尔效应技术方面发展奠定基础。

2 霍尔效应实验原理

如图 1.1 所示, 我们可以将一个半导体或导体材料^[5], 沿 Z 方向加磁场 \vec{B} , 沿 X 方向加电流大小为 I_x 。

作者简介: 张秀兰(1981-)女, 山西大同人, 淮南师范学院电子工程学院讲师, 硕士, 研究方向: 凝聚态物理、混沌系统、量子光学。

余海军(1979-), 男, 安徽合肥人, 淮南师范学院教授, 博士, 研究方向: 量子光学。

基金项目: 安徽省教育厅教育教学重大项目: “双能型”师资 U-G-S 联合培养模式研究(2016jyxm0962)。

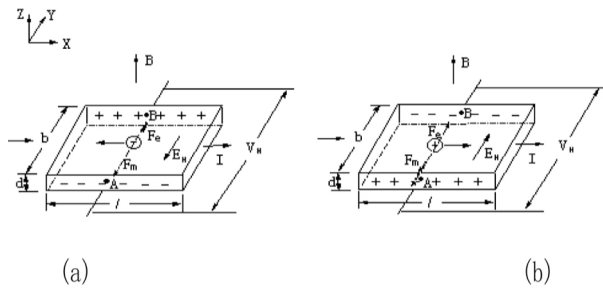


图1 霍尔效应原理图

在导体中的电流受到磁场力的作用,如图1,其磁场力 \vec{F}_m 大小为 $F_m=qvB$,导体中的电流受到磁场力的作用像某个方向聚集,这样聚集在侧面上的电场又会形成电场 \vec{E}_H ,使载流子又受到电场力,其大小为 $F_e=qE_H$.电场力的方向 \vec{E}_e 和磁场力 \vec{F}_m 的方向刚好相反,当 $F_m=F_e$ 时,就会达到一平衡状态,载流子不在向侧面聚集,有 $E_H=\frac{F_m}{q}=vB$,所以横向电场两端的电势差为 $U_H=E_Ha=vBa$.现在我们可以设 n 为载流子浓度, j 为电流密度,可得 $v_H=\frac{I}{nqab}$,所以 $E_H=\frac{IB}{nqab}$ 由此可得霍尔电势差为 $U_H=\frac{IB}{nqb}$ (1)

我们称 $\frac{1}{nq}$ 为霍尔系数,用 R_H 表示。这时

$$R_H=\frac{U_Hb}{IB} \quad (2)$$

3 霍尔效应实验过程

霍尔效应实验的主要内容是通过测定霍尔电压来完成对霍尔系数的测量,霍尔系数是反映半导体材料霍尔效应强弱的重要参数。不过在实验产生霍尔电压的同时,也会随着产生各种效应,所以实验测量的霍尔电压并不是真正的霍尔电压,如在上面所说的,它包含着各种副效应所引起的附加电压。下面对载流子浓度 n 、霍尔系数、霍尔灵敏度 K_H 的测定在某以恒定磁场 B 下,测量几组不同的电流和电压值,以横坐标为 I ,纵坐标为 U_H 作图,由公式 $R=\frac{U_H}{KI}$,在理论上我们可以得到通过原点的直线,但由于有附加电压的存在以及偶然误差等因素,大多数情况下做出的图形都不会通过原点,都会有截距存在。这时,我们可以在所做的直线上任意选取两点的方法来求出斜率。根据公式 $B=\frac{U_H}{K_H I}$ 就可以求得霍尔灵敏度 K_H ,再根据霍尔灵敏度 K_H 及公

式 $K_H=\frac{R_H}{b}$ 就可以求得霍尔系数 R_H ,最后我们再用

公式 $R_H=\frac{1}{nq}$,就能求得载流子的浓度 n 。

我们可以通过两种方式来获得 K_H 的值,一种保持通过线圈的磁感应强度 B 的大小不变,通过测出 I_S 和 U_H 的大小进而测出斜率。另一种是保持 I_S 不变,通过测出 I_M 和 U_H 的大小来测出斜率然后测出 K_H 的值。其中 $B=CI_M$, C 是常数为0.40。

4 数据处理

4.1 求出霍尔系数、霍尔灵敏度等相关数据

由相关公式我们知道求得霍尔灵敏度 K_H 的值,可以计算出霍尔系数 R_H 等的值,对于求 K_H 的值我们有三种方法^[6],它们分别是:平均值法、作图法、直线拟合法。这三,个方法各有各的好处,平均值法的实质是求平均斜率;作图法的实质是求更精确的斜率;直线拟合法是求最佳斜率。下面我们分别用这三种方法分别求出表1和表2所应的 K_H 的值。

表1 保持 I_S 不变(取 $I_S=2.00mA$), I_M 变化如下表(I_M 是通过线圈的电流)

序号	电流 I(A)	U_a (mV) (+B,+I)	U_b (mV) (+B,-I)	U_c (mV) (-B,-I)	U_d (mV) (+B,-I)	U_H (mV)
1	0.200	-2.66	2.64	-2.40	2.38	-2.52
2	0.300	-3.93	3.91	-3.66	3.64	-3.78
3	0.400	-5.19	5.17	-4.91	4.89	-5.04
4	0.500	-6.45	6.43	-6.17	6.16	-6.30
5	0.600	-7.70	7.67	-7.42	7.40	-7.55
6	0.700	-8.89	8.89	-8.66	8.64	-8.77

表2 保持不变(取 $I=700mA$),变化如下表所示

序号	电流 I(mA)	U_a (mV) (+B,+I)	U_b (mV) (+B,-I)	U_c (mV) (-B,+I)	U_d (mV) (-B,-I)	U_H (mV)
1	1.00	-4.45	4.41	-4.31	4.30	-4.37
2	1.20	-5.31	5.29	-5.19	5.18	-5.24
3	1.40	-6.19	6.18	-6.04	6.04	-6.11
4	1.60	-7.08	7.06	-6.91	6.87	-6.98
5	1.80	-7.98	7.94	-7.77	7.75	-7.86
6	2.00	-8.85	8.83	-8.60	8.58	-8.71

4.2 利用霍尔效应测定螺线管轴线上的磁场分布的数据处理

因 $U_H = K_H IB$ 用已知 K_H 的霍尔元件制成探头, 测出 I 和 U_H , 可得 $B = \frac{U_H}{K_H I}$, 我们通过对获得的数据进行分析和处理, 可以得到 B 的大小分布图:

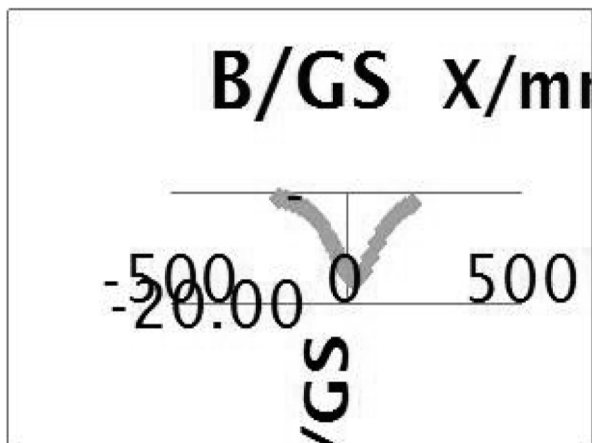


图 4 单线圈 $B-X$ 曲线

对于图 4。我们可以看到在螺线管的中心位置处的磁场强度非常的强, 而在逐渐远离中心处的磁场逐渐在减弱, 直至最后磁感应强度的大小趋近与零。

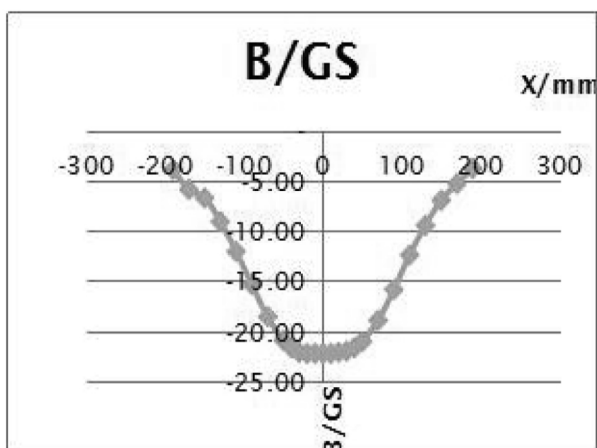


图 5 双线圈 $B-X$ 曲线 距离为 R

由图 5 我们可以看到, 在两个线圈的距离为 R 时, 在其中心点的磁感应强度最强, 如单线圈一样, 在逐渐远离中心处的磁感应强度慢慢变弱, 直至最后磁感应强度趋近于零。

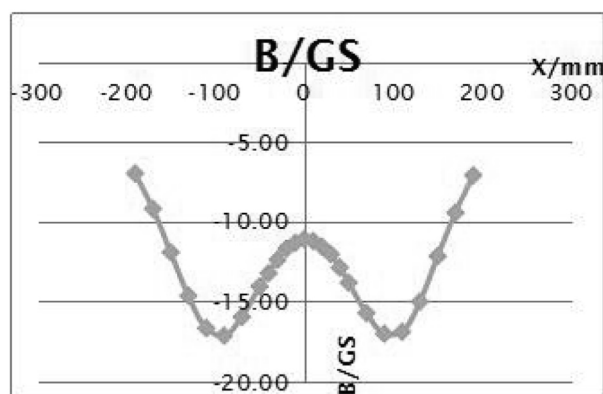


图 6 双线圈 $B-X$ 曲线 距离为 $2R$

对于图 6。我们可以看到它不同于单线圈和两线圈的距离为 R 的线圈的磁感应强度在空间上的分布。在中心点处, 其磁感应强度为一个极值。而在大概 $+100\text{mm}$ 处和 -100mm 处的磁场强度最大, 并在远离 $+100\text{mm}$ 和 -100mm 处, 磁感应强度逐渐变小, 直至最后趋近于零。

在对上面误差出现的原因的分析, 我们可以简单总结如对霍尔效应的影响因素为: 不在同一等势面而引起的电势差、温差电势差、由于电阻不等引起的电势差、各载流子迁移速度不同引起的电势差以及偶然误差。

参考文献:

- [1]刘战存, 郑余梅. 霍尔效应的发现[J]. 大学物理, 2007, 26(11): 51-56.
- [2]王本菊. 霍尔效应及其应用. 中国校外教育. 2011, 6: 176-177.
- [3]王化祥, 张淑英. 传感器原理及应用[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988: 23-27.
- [4]丁慎训, 张连芳. 物理实验教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [5]张海涛. 霍尔效应及应用[J]. 温州职业技术学院学报. 2005, 5(4).
- [6]曲华, 邹进和, 董三壮. 霍尔效应实验及数据处理[J]. 大学物理实验, 1998, 11(4): 53-56.

编辑: 董刚