

# 霍尔效应实验中异常数据产生原因的分析

田宇<sup>1</sup>,张振华<sup>2</sup>,姜珊<sup>1</sup>,张凤<sup>3</sup>

(1.大连科技学院 实验中心,辽宁 大连 116052;

2.长城教学仪器有限公司,吉林 长春 130031;

3.大连科技学院 基础部,辽宁 大连 116052)

摘要:本文阐述了霍尔效应原理及其副效应的消除方法,分析了霍尔效应实验中导致霍尔元件损坏的几种情况,并提出了霍尔元件保护的措施。

关键词:霍尔效应;霍尔元件;断裂;分析

中图分类号:G642.0

文献标志码:A

文章编号:1674-9324(2018)38-0220-03

霍尔效应(Hall effect)是美国物理学家霍尔(Edwin. H. Hall)于1879年在研究载流导体在磁场中导电性质时发现的一种电磁效应。利用霍尔效应可以测量磁场,确定半导体材料的基本参数,如半导体载流子的类型及能带结构、载流子的浓度、霍尔系数、霍尔片的电导率和迁移率。霍尔元件一般为半导体薄片,是一种利用霍尔效应通过把磁信号形式转变为电信号形式以实现检测的传感器件。由于霍尔传感器具有灵敏度高、线性度好、稳定性高、体积小和耐高温等特性,目前已经广泛应用于非电量测量、自动控制、计算机装置和现代军事技术等各个领域,如测量技术、电子技术、自动化技术等<sup>[1-7]</sup>。近年来,科学家们在极低温度、极强磁场中又发现了量子霍尔效应、分数量子霍尔效应、量子自旋霍尔效应<sup>[8]</sup>。霍尔元件的整体结构为 $1.50\text{mm}\times 1.74\text{mm}$ ,体积小,灵敏度高(可达 $10\text{mV}/(\text{mA}\cdot\text{kg})$ )且特别容易损坏,而绝大部分普通高校的大学物理实验课开设了霍尔效应及其应用这个实验,霍尔元件的利用率自然就很高,所以对霍尔元件的保

护以及对产生异常数据原因的分析就显得非常重要。

## 一、霍尔效应的原理

1.理论公式。将一个通电导体放在磁场中,如果磁场方向与电流方向垂直,那么体中的载流子将受到洛伦兹力的作用而在垂直于电流和磁场的方向上产生一个横向电势差,此电势称为霍尔电势,此现象称为霍尔效应。利用霍尔效应制成的磁敏元件称为霍尔元件。

图1是霍尔效应的原理图。霍尔元件是杂质半导体,运动的带电粒子在磁场中受洛伦兹力的作用,其运动轨迹发生偏转,在A面上出现电子的积累。半导体材料有N型(电子型)和P型(空穴型)两种。前者的多数载流子是电子,带负电,如图1(a),在A面上出现电子的积累,同时C面出现等量的正电荷;后者的多数载流子是空穴,相当于带正电,如图1(b),在A面上出现空穴的积累,同时C面出现等量的负电荷。这样,在同样的外加工作电流下,N、P型霍尔元件的A、C两表面之间形成了方向相反的电场,具有了符号相反的霍尔电压。

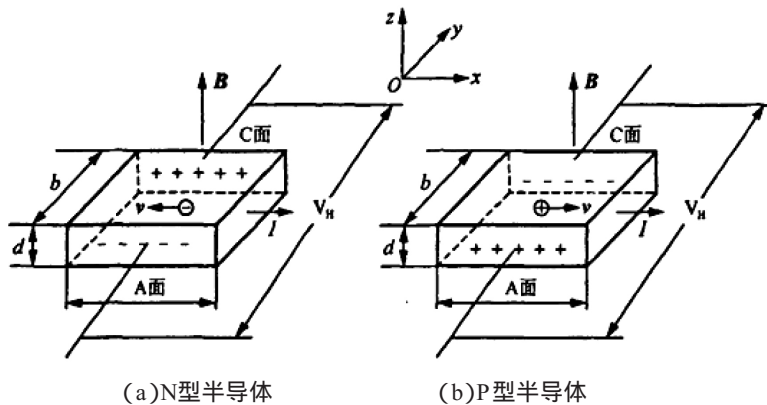


图1 霍尔效应测磁场原理图

收稿日期:2018-01-26

作者简介:田宇(1979-),男(汉族),硕士,实验师,研究方向:粒子物理。

显然该电场阻止载流子继续向侧面偏移,当载流子所受的横向电场力 $eE_H$ 与在磁场中受到的洛伦兹力相等时,霍尔元件两侧电荷的积累达到平衡,故有 $eE_H=evB$  (1)

其中 $E_H$ 为霍尔电场, $v$ 为载流子在电场方向上的平均漂移速度, $e$ 为电子电量。

设霍尔元件宽度为 $b$ ,厚度为 $d$ ,载流子浓度为 $n$ ,则 $I=nevbd$  (2)

$$\text{由式(1)和(2)可得 } V_H=E_H b=\frac{1}{ne} \cdot \frac{IB}{d}=K_H IB \quad (3)$$

即霍尔电压与 $I_H B$ 的乘积成正比。

$K_H$ 称为霍尔灵敏度,单位为 $mV/(mA \cdot T)$ ,该参数与霍尔元件材料有关,一旦霍尔元件制成,该参数就是一个常数。当 $K_H$ 已知,便可测定霍尔电压 $V_H$ ,霍尔元件工作电流 $I$ ,求得磁感应强度 $B$   $B=\frac{V_H}{K_H I}$  (4)。当 $B$ 为已知,反过来亦可求 $K_H$ 。

2.实验中的副效应及其消除方法。由霍尔效应可知,当工作电流 $I$ 或磁感应强度 $B$ 两者之一改变方向时,霍尔电压 $V_H$ 的正负随之变化;若两者方向同时改变,则霍尔电压 $V_H$ 符号不变。在测量霍尔电压过程中发现,霍尔效应产生的同时不可避免地会产生一些副

效应,由此形成的附加电压叠加在霍尔电压上形成测量的系统误差。这些副效应及产生的附加电压分别为:由于电极不在同一等势面上引起的不等位电压 $V_0$ ;爱廷豪森效应产生的附加电压 $V_E$ ;能斯特效应产生的附加电压 $V_N$ ;里纪-勒杜克效应产生的附加电压 $V_R$ 。不过这些副效应除个别外,均可通过改变 $I$ 和磁场方向加以消除。具体地说,在规定电流和磁场正方向后,分别测量下列四组不同方向 $I$ 和 $B$ 组合的 $V_{AC}$ ( $A$ 、 $C$ 两表面电极间的电压):

$$+I, +B \text{ 时 } V_{AC}=V_1=V_H+V_0+V_E+V_N+V_R$$

$$+I, -B \text{ 时 } V_{AC}=V_2=-V_H+V_0-V_E-V_N-V_R$$

$$-I, -B \text{ 时 } V_{AC}=V_3=V_H-V_0+V_E-V_N-V_R$$

$$-I, +B \text{ 时 } V_{AC}=V_4=-V_H-V_0-V_E+V_N+V_R$$

$$\text{由以上4式可得 } V_H+V_E=\frac{1}{4}(V_1-V_2+V_3-V_4)$$

在非大电流、非强磁场下, $V_H \gg V_E$ ,因而 $V_E$ 可以忽略,则 $V_H=\frac{1}{4}(V_1-V_2+V_3-V_4)$

## 二、对实验数据异常情况的分析

在对霍尔电压的测量过程中,通过采用对称交换测量法可以极大地消除各种副效应所引起的误差,提高测量数据的精确度。但是,当我们拿到测量结果时

表1 正常的实验数据

$I_H=5.00mA$			$I_m(A)$							
$V_H(mV)$			0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400
$I_H$	$I_m$	$V_1$	0.6	1.1	1.7	2.3	2.8	3.4	4.0	4.5
$I_H$	$-I_m$	$V_2$	-0.4	-0.9	-1.5	-2.0	-2.6	-3.2	-3.7	-4.3
$-I_H$	$-I_m$	$V_3$	0.4	0.9	1.5	2.0	2.6	3.2	3.7	4.3
$-I_H$	$I_m$	$V_4$	-0.6	-1.1	-1.7	-2.3	-2.8	-3.4	-4.0	-4.5
$V_H=(V_1-V_2+V_3-V_4)/4$			2.0	4.0	6.4	8.6	10.8	13.2	15.4	17.6

表2 异常实验数据

$I_H=5.00mA$			$I_m(A)$							
$V_H(mV)$			0.050	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400
$I_H$	$I_m$	$V_1$	-2.0	-1.4	-0.8	-0.1	0.5	1.4	2.1	2.8
$I_H$	$-I_m$	$V_2$	-3.1	-3.7	-4.2	-4.9	-5.9	-6.6	-7.2	-7.9
$-I_H$	$-I_m$	$V_3$	2.9	3.4	4.0	4.7	5.7	6.4	7.1	7.8
$-I_H$	$I_m$	$V_4$	1.7	1.2	0.7	0.0	-0.8	-1.5	-2.2	-2.9
$V_H=(V_1-V_2+V_3-V_4)/4$			2.3	4.5	6.7	9.5	12.9	15.9	18.6	21.4

又发现了新的问题。

对于实验中使用的霍尔元件的电阻进行测量发现,该霍尔元件已损坏。

在实验过程中由于学生操作不当经常会出现霍尔元件损坏的现象,所以无论是实验指导教师还是学生如果能够发现霍尔元件出现的问题,及时更换,才能真正实现这个实验所要达到的效果。

霍尔元件的损坏分为两种:(1)霍尔元件两端电阻上涨,但并未断裂,可是电阻值已经远大于正常无故障的元件,此时进行实验测量可能会有三种现象出现:①数据有初始值,且数据线性度未变;②数据有初

始值,但数据随机或非线性;③有初始数据,但增加磁场后无数据变化。(2)霍尔元件两端的电阻值无限大(即断裂),使用万用表任一档位均无法测量其阻值大小,实验中是否加入磁场均无数据输出,可以判断此时元件已完全损坏。

导致霍尔元件损坏的原因归纳起来主要有以下几种:(1)由于励磁电流输入端与霍尔元件电流输入端、电压输出端容易搞混,使得励磁电流误接入霍尔元件,导致霍尔元件彻底断裂,即使没有励磁电流输入霍尔元件,由于恒流源在设计时的空载电压大概为24—27V左右,当恒流源接入元件后,电压虽然会在很

短的时间内降到所需的电压值,但是这个时间足以让霍尔元件损坏了(可能不是完全断裂)。(2)实验结束后恒流源部分各电位器没有按照实验要求调至零位。在励磁电流未调零时,磁场线圈是一个电感形式存在,关闭电源或再次开机的时候会产生自感而产生很高的反向电动势。这个反向电动势一方面会产生相当高的磁场,这时霍尔元件所能测量的磁场已经远超过霍尔元件所能承受的最大磁场,霍尔元件发热,至损坏;另一方面,反向电动势产生高频交变磁场,导致元件产生交变霍尔电压,进而内部产生电流至元件损坏或金属连接点损坏(开焊)的元件损坏。

### 三、霍尔元件的保护

1.将霍尔效应测试仪主机上励磁电流接口与霍尔电流、霍尔电压的接口以及霍尔效应测试装置上励磁电流输入端与霍尔元件电流输入端、电压输出端设计成不同的形状和规格,避免励磁电流误接入霍尔元件,导致霍尔元件彻底断裂。

2.严格执行本实验的要求。实验开始时,霍尔效应测试仪主机开机之前,将霍尔效应测试装置上各换向开关置于空挡位置,各电位器旋钮均逆时针旋到底(最小值);实验结束后,各换向开关置于空挡,各旋钮均按逆时针方向旋到最小位置。

3.其他保护措施。通过在霍尔元件电流输入端和电压输出端各串联一个额定电流较大的保险丝就可以起到保护霍尔元件的作用<sup>[9]</sup>。另外,霍尔片是一个又薄又脆的半导体元件,引线很细,且不牢固,极容易扯断,因此霍尔片的夹持方法也是保护霍尔元件的方法之一<sup>[10]</sup>。

### 四、结语

大学物理实验课程的目的在于培养学生发现问题、解决问题的能力和严谨的科学态度、勇于探索的精神。本文阐述了霍尔效应的原理以及霍尔电压测量过程中副效应的消除,分析了霍尔效应实验中导致霍尔元件损坏的几种情况,并提出了霍尔元件保护的措施和该实验的一些改进方法。针对于目前国家着力培养动手能力强,能分析问题、解决问题的应用型人才,希望这篇文章能对开设了霍尔效应这一实验题目的兄弟院校的师生提供帮助。

#### 参考文献:

- [1]姚列明.结构化大学物理实验[M].北京:高等教育出版社,2012.
- [2]代伟.大学物理实验[M].北京:科学出版社,2010.
- [3]周惟公.大学物理实验[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [4]郝智明.物理实验[M].成都:电子科技大学出版社,2001.
- [5]曹伟然,段立永,赵启博.霍尔效应实验的改进和扩展[J].物理实验,2009,29(2):41-44.
- [6]洪国瑞.霍尔效应实验[J].技术物理教学,2007,15(4):14-15.
- [7]刘青爽,刘晓萍.载流子迁移率测量方法总结[J].山西电子技术,2009,(4):31-32.
- [8]魏敏建,王保军,赵宇琼,等.霍尔效应测磁场实验教学中若干问题的探讨[C]//中国物理学会教学委员会高校分委员会.2009年全国高等学校物理基础课程教育学术研讨会论文集.北京:中国物理学会教学委员会高校分委员会,2009:405-408.
- [9]陆金男.设计一种霍尔元件的保护装置[J].物理通报,2005,(11).
- [10]朱永安.基于大学物理实验中霍尔元件的保护及探讨[J].大学物理实验,2013,26(5):48-50.

### Analysis of Set of Reasons that Produce Anomalous Data in the Experiment of Hall Effect

TIAN Yu<sup>1</sup>,ZHANG Zhen-hua<sup>2</sup>,JIANG Shan<sup>1</sup>,ZHANG Feng<sup>3</sup>

(1.Experiment Center,Dalian University of Science and Technology,Dalian,Liaoning 116052,China;

2.Chang Cheng Teaching University Limited Company,Changchun,Jilin 130031,China;

3.Department of Basic,Dalian University of Science and Technology,Dalian,Liaoning 116052,China)

Abstract: This article introduces the principle of Hall Effect and describes the method of suppressing and deleting its side negative influences. Still,it analyzes the several cases that can cause damages to the Hall components and meanwhile puts forward the corresponding measures that can protect the Hall components.

Key words: Hall effect; Hall component; crack; analysis