

关于霍尔效应特性的实验研究

楚雄师范学院物理与电子科学系 高晓虎 王昆林

【摘要】随着电子技术的发展,霍尔效应不单是测定半导体材料电学参数的主要手段,利用霍尔效应制成的霍尔器件凭借其结构简单、频率响应宽(高达10GHz)、寿命长、可靠性高等优点,已广泛应用于非电量测量、自动控制和信息处理等方面,随着半导体物理学的迅速发展,霍尔系数和电导率的测量已成为研究半导体材料的主要方法之一,通过实验测量半导体材料的霍尔系数和电导率可以判断材料的导电类型、载流子浓度、载流子迁移率等主要参数。本文重点对霍尔电压(V_H)与工作电流(I_S)、霍尔电压(V_H)与磁场的关系进行实验探索,进一步深入了解霍尔效应的机理。

【关键词】霍尔器件;霍尔电压;霍尔效应;实验探究

一、测量磁场的霍尔效应法的基本原理

霍尔效应是指运动的电荷在磁场中受力的一种效应。通以电流的半导体试样置于磁场中,如果电流方向与磁场方向垂直,即在X方向通以电流 I_S ,在Z方向加磁场B,则在Y方向就开始聚集异号电荷。

当电场与磁场对电流的作用达到平衡时,两极板间由于电荷的聚集就具有电位差 V_H ,此过程在极短暂的时间内(10^{-13} ~ 10^{-11} s)就可完成。此现象是霍尔于1879年发现的,故称为霍尔效应。 $(V_H$ 为霍尔电压)

霍尔效应是运动的带电粒子在磁场中受洛伦兹力作用而引起的偏转。当带电粒子(电子或空穴)被约束在固体材料中,这种偏转就导致在垂直电流和磁场的方向上产生正负电荷的聚集,从而形成附加的横向电场,即霍尔电场。若在X方向通以电流 I_S ,在Z方向加磁场B,那么两极板间形成的电位差 V_H 就形成相应的附加电场 E_H (霍尔电场),电场的指向取决于试样的导电类型。(N型试样,霍尔电场沿Y轴负方向;P型试样,霍尔电场沿Y轴正方向)

从理论上可以知道,该附加电场 E_H 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 与洛伦兹力 evB 相等时,样品两侧电荷的积累就达到平衡,故有:

$$eE_H = evB \quad (1.1)$$

假如设试样的宽度为b,厚度为d,载流子的浓度为n,则电流强度 I_S 与v的关系为:

$$I_S = nevbd \quad (1.2)$$

由式1.1、式1.2可得:

$$V_H = E_H b = I_S B / ned = R_H I_S B / d \quad (1.3)$$

由1.3式可知,霍尔电压 V_H 与 $I_S B$ 成正比,与试样厚度d成反比。比例系数 $R_H = 1/ne$ 成为霍尔系数,它是反映材料霍尔效应强弱的重要参数。

霍尔元件就是利用上述霍尔效应制成的电磁转换元件,对于成品的霍尔元件,其 R_H 和d已经知道,所以在实际应用中1.3式可写成:

$$V_H = K_H I_S B \quad (1.4)$$

其中, $K_H = R_H / d = 1/ned$,是霍尔元件的灵敏度,一般霍尔元件的灵敏度在试验仪标牌上可读出,表示该器件在单位工作电流和单位磁感应强度下输出的霍尔电压; I_S 成为控制电流。根据式1.4可知,因为一般情况下 K_H 是已知的,而 I_S 我们可以通过实验得到,所以只要测出 V_H 就可以求得未知磁感应强度B的值。

$$B = V_H / K_H I_S \quad (1.5)$$

二、实验中影响 V_H 值测量精度的主要因素及误差因素的消除

1. 影响因素

从理论公式看,求 V_H 值可通过参数计算得到,但是从实际实验过程中发现,往往单纯通过公式计算得到的值与真实值不相符,原因在于在产生霍尔效应的同时,伴随着多种副效应,以至于测量值并不等于真实值,而是包含着各种副效应引起的附加电压。主要存在的副效应有:不等势电压降 V_0 (不等势效应)、温差电效应引起的附加电压 V_E (厄廷豪森效应)、热磁效应直接引起的附加电压 V_N (能斯特效应)、热磁效应产生的温差引起的附加电压 V_{RL} (里纪—勒杜克效应)。这些附加电压的存在是导致测量值偏离真实值的主要影响因素,必须设法消除。

2. 误差因素的消除

通过对各附加电压的研究发现, V_0 只与 I_S 的方向有关,与磁感应强度B的方向无关,可以通过改变 I_S 的方向予以消除; V_E 的符号与 I_S 和B的方向的关系与 V_0 是相同的,不能用改变 I_S 和B方向的方法予以消除,但是其引入的误差很小,可以忽略不计; V_N 的符号只与B的方向有关,与 I_S 的方向无关,因此可通过改变B的方向予以消除; V_{RL} 的符号只与B的方向有关,也可以消除。

经过以上分析可知,测量值等于各附加电压的代数和,而各附加电压均可通过 I_S 和B换向对称测量法来进行消除,具体方法是在规定了电流和磁场正、反方向后,分别测量由四组不同方向的 I_S 和B的组合的测量电压。

I_S 和B方向均为正向时:

$$V_1 = V_H + V_0 + V_N + V_{RL} + V_E$$

I_S 为正向,B反向时:

$$V_2 = -V_H + V_0 - V_N - V_{RL} - V_E$$

I_S 和B均为反向时:

$$V_3 = -V_H - V_0 + V_N + V_{RL} - V_E$$

I_S 为反向,B正向时:

$$V_4 = -V_H - V_0 + V_N + V_{RL} - V_E$$

求以上四组数据的代数平均值,可得:

$$V_H = (V_1 - V_2 + V_3 - V_4) / 4$$

通过对称测量法求得的 V_H ,虽然还存在个别无法消除的副效应,但其引入的误差很小,可以忽略不计。

三、实验研究内容

本次对霍尔效应特性的定性及定量研究,主要针对 I_S 变化时通过霍尔片的电流与霍尔电

压 V_H 的变化关系以及电磁铁励磁电流 I_M 与霍尔电压 V_H 间的关系,通过前面论述我们可以知道电磁铁的励磁电流 I_M 与其磁场成正比,因此实质上就是研究磁场B与霍尔电压 V_H 的关系。

本次试验采用的是TH-H型霍尔效应实验组合仪进行试验,该实验仪由实验仪和测试仪两大部分组成,实验仪包括霍尔效应样品片、电磁铁及线路连接换向开关,测试仪包括霍尔样品片工作恒流源 I_S 及电磁铁励磁电流恒流源 I_M 以及直流数字电流表和直流数字电压表。在实验中通过有规律性改变 I_S 、 I_M 值来获得实验数据,并依据数据进行分析处理探寻 V_H 和 I_S 、 I_M 关系。

四、实验数据处理与分析

1. V_H - I_S 数据处理分析

实验数据如下表1所示。

$$V_8 - V_1 = 6.30 - 0.82 = 5.48$$

$$V_9 - V_2 = 7.10 - 1.60 = 5.50$$

$$V_{10} - V_3 = 7.87 - 2.39 = 5.48$$

$$V_{11} - V_4 = 8.68 - 3.18 = 5.50$$

$$V_{12} - V_5 = 9.45 - 3.97 = 5.48$$

$$V_{13} - V_6 = 10.25 - 4.74 = 5.51$$

$$V_{14} - V_7 = 11.04 - 5.54 = 5.50$$

数据个数 $N=7$ $n=7$ 根据肖维涅准则剔除坏值 $C_T=1.8$ (坏值条件: $|X_i - \bar{X}| > C_T \cdot S_x$)

$\bar{X}$ 的平均值($\Delta \bar{V}_H$)为5.49

$$S_x = 0.012536 \quad C_T \cdot S_x = 0.022564 \quad \text{无坏值出现}$$

$$\text{现 } I_{CH} = 3.50 \text{ mA}$$

某次测量的标准偏差:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^7 (x_i - \bar{x})^2}{7-1}} = 0.01253$$

平均值的标准偏差:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^7 (x_i - \bar{x})^2}{7(7-1)}} = 0.004738$$

不确定度估算:

$$U_A = S_x = 0.0047;$$

$$U_B = \frac{\Delta m}{\sqrt{3}} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029$$

$$U_V = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{(0.0047)^2 + (0.0029)^2} = 0.029$$

$$E_V = \frac{U_V}{\Delta V_H} = \frac{0.029}{5.49} = 0.0053$$

$$U_I = \frac{\Delta m}{\sqrt{3}} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029$$

$$E_I = \frac{U_I}{\Delta I} = \frac{0.029}{3.50} = 0.008$$

计算霍尔灵敏度 K_H 及其不确定度:

$$K_H = \frac{V_H (L_1 + \frac{L_2}{2})}{I_M \cdot I_{CH} \cdot \mu_N N} = \frac{5.49(3.00 + \frac{287}{1500})}{200 \times 3.50 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1500} = 13.29$$

$$mv/(mA \cdot T)$$

$$E_K = \sqrt{E_I^2 + E_V^2} = \sqrt{(0.008)^2 + (0.0053)^2} = 0.0096 = 1.0\%$$

$$U_K = E_K \cdot K_H = 13.28 \times 1.0\% = 0.13 = 0.2 mv/(mA \cdot T)$$

处理结果:

$$K_H = (13.3 \pm 0.2) mv/(mA \cdot T) \quad (P=0.683)$$

$$E=1.0\%$$

2. V_H - I_M 数据处理分析(如表2所示)

表1

	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00
V_{H1}	-0.66	-1.44	-2.24	-3.02	-3.82	-4.60	-5.40	-6.16	-6.96	-7.73	-8.55	-9.33	-10.12	-10.92
V_{H2}	0.97	1.75	2.54	3.33	4.11	4.89	5.69	6.44	7.23	8.00	8.81	9.57	10.37	11.17
V_{H3}	0.97	1.74	2.53	3.33	4.12	4.88	5.68	6.44	7.23	7.99	8.80	9.56	10.36	11.13
V_{H4}	-0.67	-1.45	-2.23	-3.04	-3.82	-4.60	-5.40	-6.17	-6.98	-7.75	-8.56	-9.33	-10.15	-10.95
V_{H5}	0.82	1.60	2.39	3.18	3.97	4.74	5.54	6.30	7.10	7.87	8.68	9.45	10.25	11.04

表2

$V_H \setminus I_M$	100	200	300	400	500	600	700	800
V_{H1}	-0.64	-1.42	-2.26	-3.05	-3.84	-4.62	-5.30	-6.04
V_{H2}	0.94	1.74	2.55	3.34	4.13	4.90	5.66	6.36
V_{H3}	0.95	1.73	2.56	3.34	4.14	4.92	5.68	6.38
V_{H4}	-0.63	-1.44	-2.25	-3.04	-3.83	-4.58	-5.28	-6.04
V_{H5}	0.79	1.58	2.41	3.20	3.99	4.76	5.48	6.21

制备条件对铜锰型CO常温消除催化剂性能的影响

国家安全生产重庆矿用设备检测检验中心 黄显汤

【摘要】本文研究了活化温度、洗涤次数、铜锰比例等制备条件对铜锰型催化剂活性的影响,对进一步提高其活性具有一定的指导意义。

【关键词】非贵金属催化剂;铜锰氧化物;CO氧化;分步沉淀

1. 引言

呼吸面罩、密闭空间气体净化装置、CO气体探测器材料、以及汽车尾气中微量等都涉及到CO低温催化氧化消除。非贵金属铜锰型催化剂被广泛用于CO的常温消除催化剂。但其容易受到水蒸气的影响,在潮湿的环境中很容易失效使其应用成本变高。本文采用分步沉淀法制备铜锰型CO常温消除催化剂,重点研究了活化温度、洗涤次数、铜锰比例等制备条件对铜锰型催化剂活性的影响,对进一步提高其活性具有一定的借鉴意义。

2. 实验材料及方法

2.1 仪器及材料

本实验所需仪器为:一氧化碳分析仪、温度/湿度控制器、搅拌机;

所需化学试剂为:

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	A. R.	天津瑞金特化学品有限公司
$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ 50%溶液	A. R.	天津化学试剂研究所
K_2CO_3 (无水)	A. R.	国药集团化学试剂有限公司
NaOH	A. R.	天津瑞金特化学品有限公司
碳酸铵($\text{C}_2\text{H}_{11}\text{N}_3\text{O}_5$)	A. R.	天津化学试剂研究所

2.2 评价装置及方法

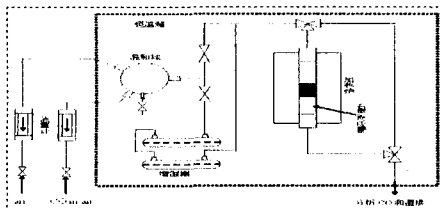


图1 催化剂的活性评价装置

评价装置如图1所示。将催化剂样品3g放入反应管中,将反应管的进气阀关闭,原料气经过湿度显示器后由放空支路通入CO分析仪。将原料气浓度调整为试验浓度稳定后,将反应

管打开,将放空支路关闭。计时并记录时间及出口的浓度。反应时间的增加会使出口浓度不断增大,相对应的催化剂也逐渐失活。反应温度控制在 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$,湿度为78%

3. 结果与讨论

3.1 活化温度的影响

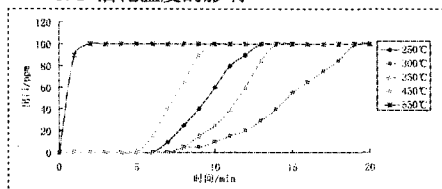


图2 活化温度对催化剂活性影响

如图2所示以碳酸钾为沉淀剂,在不同温度下活化所得催化剂上出口浓度随时间的变化曲线。从图中可见,不同温度下活化样品,随着反应进行CO出口浓度增加的速度差异很大。300°C下焙烧活化样品,CO出口浓度变化最缓慢,低于或高于这一温度,CO出口浓度变化曲线都变陡,说明选择300°C进行焙烧活化,获得催化剂的活性最高。

3.2 洗涤次数的影响

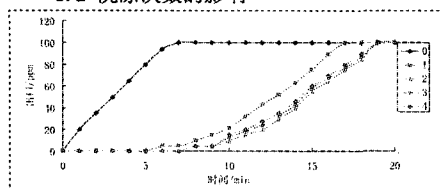


图3 洗涤次数对催化剂活性的影响

图3所示是以碳酸钾为沉淀剂,沉淀老化后不同洗涤次数对催化剂活性的影响。从图中可见,未洗涤的样品,CO出口浓度随反应进行增加得很快。而一旦经洗涤的样品,出口浓度随反应时间的变化平缓了许多。洗涤次数为2次时,曲线变化最平缓,说明,该样品催化剂活性最好。洗涤次数高于2次时,活性变化不大。由此可见,洗涤步骤对最终催化剂的活性起到至关重要的作用。原因是通过洗涤也可能

除去大部分杂质离子,避免造成催化剂中毒。

3.3 铜锰比例的影响

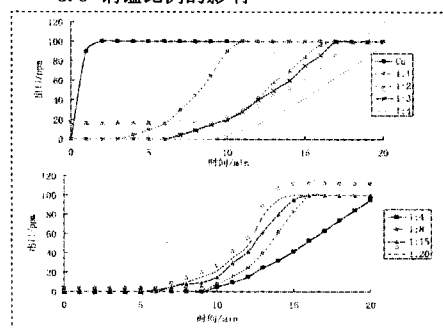


图4 不同铜锰比例对催化剂活性的影响

图4所示是以碳酸钾为沉淀剂,不同铜锰比例对催化剂活性的影响。从图中可知,对于铜锰两组分体系,CO出口浓度的变化随着锰组分比例的增大而逐渐变得越来越平缓,当铜锰比例为1:4时,曲线变化最平缓,说明,该样品活性达到最大。随着锰比例进一步加大,出口浓度增加得越来越快。说明,随着锰比例进一步增大,催化剂活性变差。

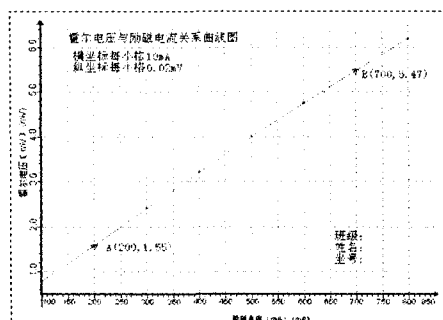
4. 小结

通过分步沉淀的方法,将铜锰型CO常温消除催化剂的活性变得良好,通过对于一些主要制备条件的试验,得出分步沉淀法制备催化剂的最佳制备工艺条件为:以碳酸铵为沉淀剂,先沉淀锰离子,然后再沉淀铜离子(铜锰比例为1:4),混合液老化2小时,洗涤2次,前驱体烘干条件为120°C以上烘干,然后在300°C下活化2小时,活化完毕后,取出密封存放。在最佳条件下制备的催化剂其活性比市售商品具有更好的初始活性。

参考文献

- [1]王东辉,程代云,郝郑平等.纳米金催化剂上CO低(常)温氧化的研究.化学进展,2002,14(5):360-367.
- [2]吴树新,尹燕华,秦永宁等.非贵金属CO氧化催化剂的研究进展[J].天然气化工,2005,30(2):65-72.

计算结果极其不确定度:



在图上取两点A(200, 1.55) B(700, 5.47)

5.47)

$$\Delta I_m = I_{m_A} - I_{m_B} = 700 - 200 = 500 \text{ (mA)}$$

$$\Delta V_H = V_{H_B} - V_{H_A} = 5.47 - 1.55 = 3.92 \text{ (mV)}$$

$$U_1 = \frac{\sqrt{2}\Delta m}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 5}{\sqrt{3}} = 4.1$$

(Δm 取横坐标最小刻度值的一半)

$$E_t = \frac{U_t}{\Delta I} = \frac{4.1}{500} = 0.0082$$

$$U_v = \frac{\sqrt{2}\Delta m}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0.01}{\sqrt{3}} = 0.008$$

(Δm 取纵坐标最小刻度值的一半)

$$E_v = \frac{U_v}{\Delta V} = \frac{0.008}{3.92} = 0.0021$$

$$K_H = \frac{V_H(L_1 + L_2)}{I_m \cdot I_{CH} \cdot \mu_B N} = \frac{3.92(4.00 + 2.69)}{500 \times 1.00 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1500} = 17.38$$

$$mv/(mA \cdot T)$$

$$E_k = \sqrt{E_t^2 + E_v^2} = \sqrt{(0.0082)^2 + (0.0021)^2} = 0.0085 = 0.9\%$$

$$U_k = E_k \cdot K_H = 17.38 \times 0.9\% = 0.16 = 0.2 mv/(mA \cdot T)$$

处理结果:

$$K_H = (17.4 \pm 0.2) mv/(mA \cdot T) \quad (P=0.683)$$

$$E=0.9\%$$

五、总结

本次对霍尔效应特性的研究实验我先从理论上入手分析研究了霍尔效应测磁场的原理以及找出影响VH测量值准确性的非人为因素,

然后进行预先设定的实验步骤进行,虽然理论上的分析自己认为很准确但是实践操作起来,受自身人为操作因素以及设备精度的影响,实验测量值与真实值仍有些许偏差,但是通过实验实践,却收获了另一种成功,让自己动手实践能力与动脑分析思考能力的结合得到了一次真实的锻炼。

参考文献

- [1]赵军良.大学物理实验[M].中国矿业大学出版社,2010,2.
- [2]朱峰.大学物理[M].北京大学出版,2008,6.
- [3]刘畅生.霍尔传感器使用手册[M].中国电力出版社,2009,7.
- [4]陈洁萍.霍尔研究系列.

国家及特色物理学专业项目(编号:12467);云南省大学生创新性实验设计项目。

通讯作者:王昆林。