

# 霍尔效应实验浅探



● 李 炜, 伍洁妍, 祝春丽

(华南师范大学 物理与电信工程学院, 广州 510006)

**摘 要:**霍尔效应的测量是研究半导体性质的重要试验方法。通过研究,对不一样品的霍尔系数的测量方法以及数据误差分析等方面进行了探讨,提出了形状不规则以及材料不均匀的半导体的霍尔系数的测量方法。

**关键词:**霍尔效应;测量方法;附加电压

**中图分类号:**G523 **文献标识码:**A **文章编号:** 1008—6765(2007)06—0064—02

## 1 引言

对通电的导体或半导体施加一个与电流方向相互垂直的磁场,则在垂直于电流和磁场方向上有一横向的电位差出现。这一现象是霍尔(E. H. Hall 1855—1938)于 1879 年在研究金属的导电机构时发现的,故称为霍尔效应。<sup>[1 2 3 4]</sup>通过霍尔效应实验测定的霍尔系数,能够判断半导体材料的导电类型、载流子浓度及载流子迁移率等重要参数,所以霍尔效应是研究半导体材料性能的基本方法。利用霍尔效应制成的各种霍尔元件,广泛地应用于工业自动化技术、检测技术及信息处理等方面。所以除了书本的知识以外,对霍尔效应应该有一个更加深入的认识。

## 2 不一样品的霍尔系数的测量方法

实验室测量的材料一般是形状规则,材料均匀的半导体。而这里将要探讨形状不规则以及材料不均匀的半导体的霍尔系数的测量方法。

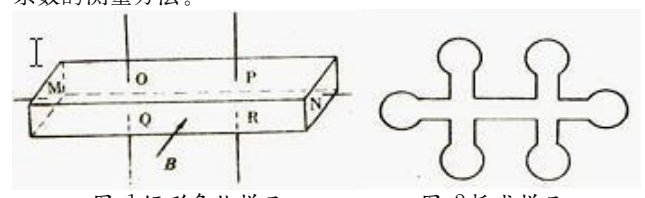


图 1 矩形条状样品

图 2 桥式样品

早期测量电阻率及霍尔系数所采用的样品如图 1 所示。M 和 N 为通电流的欧姆接触,而 O、P、Q 及 R 为测量电压的接触点,箭头表示磁感应强度 B 的方向。为了测量准确,测量电压的接触点要足够小,以保持电流沿 MN 方向均匀通过。但是接触点过小,将会增大接触电阻,给测量带来一定的困难。图 2 所示的桥式样品,虽然可以减小接触电阻,但容易破碎。而采用范德堡尔法,不仅样品形状可以任意选择,而且电压接触点也可以做得比较大。

考虑一任意形状、厚度为 d、中间没有空洞的薄样品,如图 3 所示,图中 1、2、3、4 代表四个接触点。

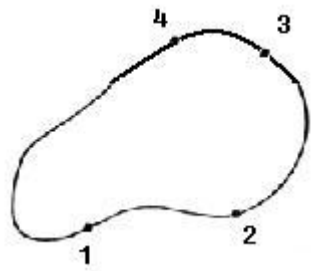


图 3 任意形状样品

可以证明电阻率:

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{R_{12,34} + R_{23,41}}{2} f$$

$$\text{式中: } R_{12,34} = \frac{V_4 - V_3}{i_2}, R_{23,41} = \frac{V_1 - V_4}{i_3}$$

其中  $i_2$  代表电流自 1 端流向 2 端。测量 4 端与 3 端之间的电位差,即可以求得  $R_{12,34}$ ,同样方法可以求出  $R_{23,41}$ 。f 因子只是  $R_{12,34}/R_{23,41}$  的函数,如图 4 所示, f 因子与  $R_{12,34}/R_{23,41}$  满足下列关系:

$$\cosh\left\{\frac{(R_{12,34}/R_{23,41}-1)\ln 2}{(R_{12,34}/R_{23,41}-1)f}\right\} = \frac{1}{2} \exp\left(\frac{\ln 2}{f}\right)$$

如果接触点在样品四周边界上且接触点足够小,样品厚度均匀且没有空洞。在垂直样品表面加一磁场,电流自 1 端流向 3 端,电流线分布与未加磁场时将会一样,则霍尔系数  $R_H$  可以通过下列关系求得:

$$R_H = \frac{d}{B} \Delta R_{13,24} = \frac{d}{B} \frac{\Delta(V_4 - V_2)}{i_3}$$

式中  $\Delta(V_4 - V_2)$  代表加磁场后 4 端与 2 端之间电位差的变化。

## 3 霍尔效应中的附加电压

一般认为伴随霍尔电压  $U_H$  的建立,同时会出现四种附加电压  $U_0$ 、 $U_E$ 、 $U_N$  和  $U_R$ ,这些附加电压统称热效应电压,其中  $U_0$

收稿日期: 2007—09—07

**第一作者简介:**李炜(1978—),男,广东潮州人,讲师,华南师范大学物理与电信工程学院固体学与微电子学专业 06 级在读博士,主要从事材料物理的研究。

是不等位电位差,它源于霍尔元件的两测量极 A 和 B 工艺上很难保证在同一等位上,  $U_0$  的正负有工作电流  $I$  的方向决定。 $U_E$  为艾廷豪森 (E tingham) 效应产生的电压,  $U_E$  的正负即与工作电流  $I$  的方向有关,也与磁场强度  $B$  的方向有关。 $U_N$  是能斯脱 (N emst) 效应产生的电压,  $U_N$  的正负决定于  $B$  的方向,  $U_R$  是里纪 - 勒杜史 (R ih i— ledue) 效应产生的电压,  $U_R$  的正负方向决定于  $B$  的方向。根据教科书和有关文献的分析,在霍尔电压建立的同时,会伴随四种附加电压 ( $U_0$ 、 $U_E$ 、 $U_N$ 、 $U_R$ ) 出现,<sup>[1,2]</sup> 在  $B$  和  $I$  的大小保持不变情况下,元件输出电压为  $U_1 + U_3 = -(U_2 + U_4)$ 。但是我们在相同条件下反复多次测量的结果表明该等式两端总是相差一个常数 (具体数据测量处理如下附图),这说明伴随霍尔电压的建立,肯定还有第五种附加电压  $U_s$  出现,但根据分析和实验表明,在霍尔电压建立的同时,还有第五种电压  $U_s$  存在。

3. 1  $U_s$  的测量方法

T(℃)	V1(+, +)(v)	V2(+, -)(v)	V3(-, -)(v)	V4(-, +)(v)	Us (V)
30	0.00531	-0.00532	0.00534	-0.00532	1E-05
40	0.00538	-0.00535	0.00527	-0.00528	2E-05
50	0.00544	-0.00536	0.0053	-0.00535	3E-05
60	0.00543	-0.00536	0.0052	-0.00526	1E-05
70	0.00545	-0.0055	0.0053	-0.00524	1E-05
80	0.00555	-0.00547	0.0052	-0.00525	3E-05
90	0.00549	-0.00544	0.00525	-0.00528	2E-05
100	0.00555	-0.00544	0.00522	-0.00531	2E-05
110	0.00559	-0.00539	0.00512	-0.00529	3E-05
120	0.00559	-0.00545	0.00523	-0.00534	3E-05

利用 (2) 式  $U_s = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4}{4}$ , 可求得  $U_s$ , 利用平均值公式  $\overline{U_s} = \sum U_i$  求得:  $\overline{U_s} = 2.1 \times 10^{-5} (V)$

3. 3 分析与讨论

$U_s$  是由于 M、N 两点接触电阻的热扩散电流 (量值及不对称性) 在 A、B 两端产生的类似于  $U_0$  的附加电压, 但  $U_s$  和  $U_0$  产生的机制完全不同, 前者是由热扩散电流所产生, 后者是由工作电流产生, 所以  $U_0$  的正负决定于  $I$  的方向, 而  $U_s$  的正负与  $I$  的方向无关, 所以  $U_s$  不能与  $U_0$  合并考虑, 产生  $U_s$  的原因是 M、N 两点热扩散电流在 A、B 两端 (不等位面) 造成的电位差,  $U_s$  的大小由 M、N 两点的热扩散电流大小及 A、B 两端不等位的程度决定, 所以  $U_s$  的量值可作为衡量霍尔元件工艺质量的重要参数。

4 结论

本文对不同样品的霍尔系数的测量方法以及数据误差分析等方面进行了一些探讨, 提出了形状不规则以及材料不均

霍尔效应实验中使用直流工作电流  $I$  待测定磁场强度为  $B$  考虑伴随霍尔电压建立的同时会出现五种附加电压, 若  $I$  和  $B$  的大小不变, 只改变方向时的四种组合情况下, A、B 两端的电压为

$$\left. \begin{aligned} [+B, +I] U_1 &= +U_H + U_0 + U_E + U_N + U_R + U_s, \\ [+B, -I] U_2 &= -U_H - U_0 - U_E + U_N + U_R + U_s, \\ [-B, -I] U_3 &= +U_H - U_0 + U_E - U_N - U_R + U_s, \\ [-B, +I] U_4 &= -U_H + U_0 - U_E - U_N - U_R + U_s. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

由 (1) 解得:

$$U_s = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4}{4} \quad (2)$$

所以只要测定  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $U_4$ , 便可以通过 (2) 式求  $U_s$ 。

3. 2 测量结果

$I = 2 \text{ mA}$ ,  $B = 0.2 \text{ T}$ ; 尺寸  $4.4 \text{ mm} \times 2.4 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}$

匀的半导体的霍尔系数的测量方法。并且分析了在霍尔电压建立的同时, 除会出现四种附加电压 (统称为热效应电压) 外, 还有第五种附加电压  $U_s$  存在,  $U_s$  的大小由 M、N 两点的热扩散电流大小及 A、B 两端不等位的程度决定,  $U_s$  量值可作为衡量霍尔元件工艺质量的重要参数。

参考文献:

[1] 林木欣. 近代物理实验教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[2] 吴思诚, 王祖铨. 近代物理实验 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1994.

[3] E. H. 普特来. 霍尔效应及有关现象 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1964.

[4] 黄昆, 谢希德. 半导体物理学 [M]. 北京: 科学出版社, 1958.

(责任编辑: 任 华)

Exploration of the Hall Effect experiment

LI Wei WU Jie-yan ZHU Chun-li

(South China Normal University, Guangzhou 510006 China)

Abstract: Hall Effect measurements are important method of researching into the nature of semiconductor. With the measurement of Hall coefficient and conductivity, the conductivity of semiconductor type and carrier concentration can be determined. By measuring the conductivity and Hall coefficient with changing temperature, the cut-band width of semiconductors, impurity ionization energy and migration rate can be determined. Measurement method of Hall coefficient of different samples and additional voltage in the experiments are analyzed and explored.

Key words: Hall Effect; measurement method; additional voltage