

变磁场的霍尔效应

蒋春萍*

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

众所周知, 磁输运测量一直是被广泛地用于研究探测器材料和器件的电学性质的一种有效手段^[1]。但作为材料电学参数常规测试的重要手段, 固定磁场的霍尔测量只适合于载流子构成比较简单情况^[2,3], 例如一般假定材料中只有一种载流子对电导的贡献占绝对主导地位。由于实际材料中往往存在多种载流子共同参与导电, 所以采用固定磁场测量获得的电学参数只是一个综合效应的结果, 并不能完全反映材料的电学性质, 而且还常常会出现一些用单载流子模型无法解释的所谓“反常”霍尔效应。针对固定磁场的霍尔测量方法已不能满足实际需要的情况, 变磁场的霍尔测量越来越受到人们的重视。因为它适合分析复杂的多载流子体系。

本文围绕 HgCdTe 材料, 就变磁场霍尔迁移率谱的测量工作作一简要评述, 并指出下一步可开展的工作。

以 HgCdTe 为代表的窄禁带半导体仍然是当代最主要的红外辐射探测材料, 因此一直备受人们的重视。除不断发展新方法和新技术, 提高材料和器件的质量外, 材料的各种非破坏无接触表征方法研究, 也始终是人们所关注的问题。搞清材料的电学特性和红外探测器(或者器件)的性能之间的对应关系, 对材料和探测器的研制和生产都具有重要意义。

人们早就认识到多载流子体系对输运

特性的影响^[4], 但真正将其用于 HgCdTe 材料的研究还是从八十年代才开始起步的。在其后的几年当中, 大量有关用变磁场霍尔测量方法来研究 HgCdTe 材料的论文被发表。

1986 年, M. C. Gold and D. A. Nelson^[5]采用了多载流子拟合法来处理 p-HgCdTe 中电导张量随磁场强度变化的实验数据。该参数拟合方法的优点是原理简单明了, 数据处理过程比较简单, 但存在一个重要的缺陷, 就是在利用测量结果拟合载流子浓度和迁移率之前, 必须首先假定材料中载流子的种类以及每种载流子近似的浓度和迁移率, 而这需要有丰富的实践经验, 否则必须对多种情况进行运算, 然后比较它们的拟合结果, 看哪种模型更接近实际测量结果。因此, 该方法的解并非唯一, 假设条件不同, 结果就会不一样, 而且每种拟合似乎都与实验数据符合得很好。

为了克服传统方法的缺点, 1987 年, W. A. Beck 和 J. R. Anderson^[6]提出了一种新颖的技术 - 即迁移率谱分析技术。这种方法可以在事先不做任何假设的情况下, 利用得到的迁移率谱推断出材料中的载流子种类, 以及各载流子的浓度和迁移率的近似值。与传统的多载流子拟合过程相比, 迁移率谱分析法可以获得更多、更准确的电学信息。但迁移率谱分析给出的结果只是定性的或半定量的。

* 99 级博士研究生

1992 年, Dziuba 和 Gorska^[7] 采用了另外一种方法获得了样品的迁移率谱, 这种方法的目的在于找到迁移率谱的精确定量解, 而不是 Beck 和 Anderson 的包络函数。在该方法中, 迁移率的取值范围与测量中的磁场强度有重要关系, 它满足:

$$1/B_{max}^{exp} = \mu_{min} \leq \mu \leq \mu_{max} = 1/B_{min}^{exp},$$

B_{max}^{exp} 和 B_{min}^{exp} 分别为所加磁场强度的最小值和最大值。对于有些半导体材料, 这个取值范围太小了。比如对 HgCdTe 材料中的空穴来讲, 它的迁移率一般为 $10^2 \sim 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, 这就需要几十个特斯拉的磁场强度, 实际的实验条件却很难满足这个要求。另外, 从该方法获得的 $S^p(\mu_i)$ 和 $S^n(\mu_i)$ 虽然能最后拟合实验值, 但是经常会出现一些毫无疑问的结果, 那就是谱中会出现负的 $S^p(\mu_i)$ 和 $S^n(\mu_i)$, 所以有必要改进方法, 使其结果具有明确的物理意义。

1993 年, J. S. Kim 等^[8,9] 提出了变磁场约化电导率拟合方法, 这实际上是对多载流子拟合法的改进。此法中的电导率张量由约化电导率张量代替。运用该方法可以简单地判断体系是否只有一种载流子起主要作用, 还能分析两端器件 (比如光导探测器) 的磁阻特性^[10-13], 除此之外, 与传统的多载流子拟合过程相比并没有本质的变化, 仍然需要假设载流子的种类和载流子的迁移率范围。

基于迁移率谱的特点和多载流子拟合过程的精确性互相补充, 1993 年, J. R. Meyer^[14] 等人提出了用两者相结合的混合电导分析方法补充两者的不足之处, 即将迁移率谱得到的结果作为初值, 然后通过多载流子拟合过程对实验数据进行处理, 得到了唯一能反映材料真实信息的电学参数。随后, J. Antoszewski 和 L. Faraone^[15] 运用混合电导分析方法很好地分析了 MBE 生长的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0.193 \sim 0.244$) 样品

中的“反常”霍尔效应, 指出霍尔效应的出现并非意味着材料质量差的缘故, 而是来自于体多数载流子空穴与少数本征载流子电子对总电导的贡献相当, 或者是体主要载流子与二维电子气对总电导的贡献可相比拟。

1995 年, J. Antoszewski, D. J. Seymour 和 L. Faraone^[16] 提出了定量迁移率谱分析法。该方法将 Beck 和 Anderson 的迁移率谱和 Dziuba 和 Gorska 的迭代近似相结合。首先用 Beck 和 Anderson 的迁移率谱的结果作为初值, 然后用迭代算法获得精确解, 并且在每一步迭代过程中保证 $S^p(\mu_i)$ 和 $S^n(\mu_i)$ 为正。这样一方面可提供算法的效率和结果精度; 另一方面也确保了结果有明确的物理意义。

在定量迁移率谱分析法方面, 上海技术物理研究所也做了大量的工作^[17-20], 不仅获得了样品中每种载流子的浓度和迁移率, 而且还获得了迁移率的展宽效应。

从上述简要的评述中不难发现, 在变磁场霍尔迁移率谱测量方面, 还有一些需要进一步开展的工作。

(1) 迁移率谱还有待于进一步发展和完善。尽管定量迁移率谱分析法确保了给出的结果具有明确的物理意义, 但是迁移率谱的范围还是受到了 $1/B_{max}^{exp} = \mu_{min} \leq \mu \leq \mu_{max} = 1/B_{min}^{exp}$ 的限制。因此不能保证所有载流子的迁移率都处于这个范围内。

(2) 光导探测器中体电子与表面积层中二维电子^[21,22]; P 型材料中的轻、重空穴^[23]; 光伏探测器中的 N 型掺杂区和 P 型掺杂区^[24]; 外延材料中外延层与衬底之间; 外延层与过渡层之间引入的二维载流子; P 型材料中经常出现各种“反常霍尔效应”^[24,25]; 等等, 它们对电导均有较大贡献, 对器件的性能有着重要的影响, 有待进行深入的研究。

参考文献

[1] D. Long et al., Semiconductors and Semimetal, Vol. 5, edited by R. K. Willardson and A. c. Beer(New York: Academic, 1970) p. 175.

[2] D. D. Edwall et al., J. Electron. Mater. 14,245 (1985).

[3] R. A. Reynolds, J. Phys. Chem. Solids 32,511 (1971).

[4] E. H. Putley, The Hall Effect, (London: Butterworth, 1960).

[5] M. C. Gold et al, J. Vac. Sci. Technol. A4,2040 (1986).

[6] W. A. Beck et al., J. Appl. Phys. 62,541 (1987).

[7] Z. Dziuba et al., J. Phys. III France 2,110 (1992).

[8] J. S. Kim, et al., J. Appl. Phys., 73 (12), 8324 (1993).

[9] J. S. Kim, Semicond. Sci. Technol., 9,1696 (1994).

[10] J. S. Kim, et al., J. Electron. Mater. 24,1305 (1995).

[11] J. S. Kim, J. Appl. Phys. 84,292 (1998).

[12] 桂永胜, 等。红外与毫米波学报, 16 (4) (1997).

[13] N. K. Talipov et al. / Materials Science and Engineering, B (1996).

[14] J. R. Meyer et al., Semicond. Sci. Technol. 8,805 (1993).

[15] J. Antoszewski et al., J. Appl. Phys. 80,3881 (1996).

[16] J. Antoszewski et al., J. Electron. Mater. 24, 1225 (1995).

[17] Y. S. Gui et al, J. Appl. Phys. 82,5000 (1997).

[18] 桂永胜, 等。红外与毫米波学报, 17 (3) (1998).

[19] 桂永胜, 等。半导体学报, 19 (12) (1998).

[20] 桂永胜, 等。物理学报, 47 (8) (1998).

[21] Y. Nemirovsky, G. Bahir, J. Vac. Sci. Technol. A7: 450(1989).

[22] Y. Nemirovsky, J. Vac. Sci. Technol. A8: 1185 (1990).

[23] Y. S. Gui et al, J. Appl. Phys. 84,4327 (1998).

[24] S. Y. Tobin et al, J. Electron.Mater. 22,907 (1993).

[25] P. S. Wijewamasuriya et al., J. Appl. Phys. 67,859 (1990).

· 简 讯 ·

采用绿色激光器的 GLG - 1000 型形状测定装置

日本保安公司推出一种能使绿色激光光栅状发射、测定光栅的各交点, 用 X、Y、Z 三维坐标表示的形状测定装置。

利用该装置把激光各交点(标准 25 点)相互连接在三维坐标面上, 以立体画面形式显示。因此, 对于了解物体的平坦度和形状可以提供非常有效的信息。

把绿色激光器所具有的高辉度光变为光栅

图, 向被测物体照射, 利用摄像机把被测物反射的光栅激光图显像, 通过图像处理就可以测定出形状。该装置可以测定高温炉内赤热物体的形状, 这一点比用其它光方式测定效果好得多。

已产品化的 GLG - 1000 装置可以测定垃圾焚烧、钢铁、玻璃、陶业等的燃烧物体和熔融物体任意位置的三维坐标。最适合于形状测定。

该装置由绿色激光器和 CCD 摄像机构成, 另外还有控制用个人计算机和监视器、专用图像处理插片以及专用处理程序。

□ 江 涛