



北京美亚先科技有限公司

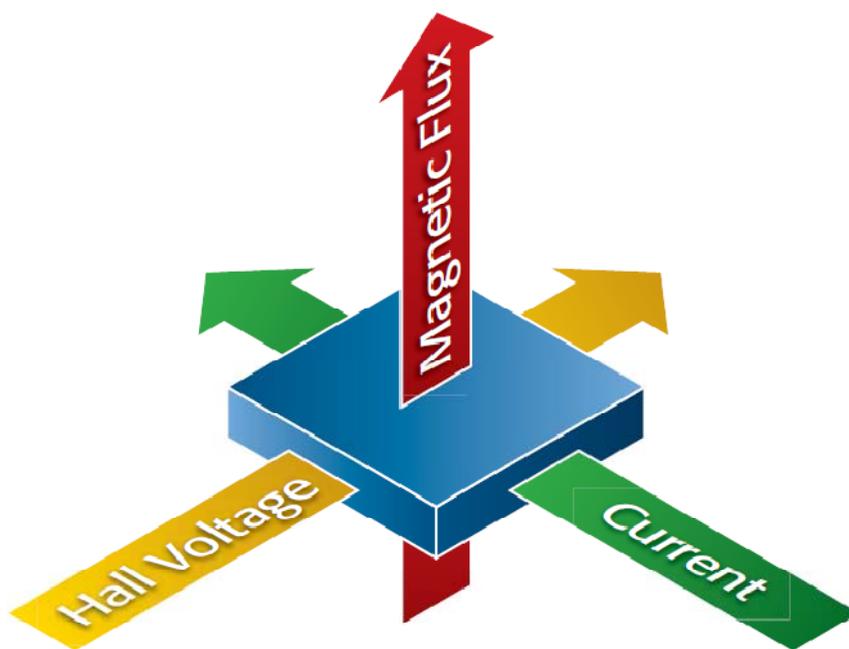
BEIJING MEIYAXIAN TECHNOLOGY CO. LTD

霍尔效应原理与测量技术

王中武

北京美亚先科技有限公司

美国物理学家霍尔(Edwin H. Hall 1855-1938)于 1879 年在实验中发现,当电流垂直于外磁场方向流过导体时,在导体的垂直于磁场和电流方向的两个端面之间会出现电势差,这一现象便是霍尔效应(Hall Effect)。后来发现半导体、导电流体等也有这种效应,而半导体的霍尔效应比金属强得多,利用这现象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。霍尔效应是研究半导体材料性能的基本方法。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。



霍尔效应原理图

霍尔效应系统中,在与电流正交的磁场中相同的电流流过相同尺寸的导体,洛仑兹力对载流子产生作用,使它们朝样品的另一边偏转,从而产生一个与电流和磁场都正交的电场。正交电场和电流强度与磁场强度的乘积之比就是霍尔系数。平行电场和电流强度之比就是电阻率。

自从 1879 年发现了霍尔效应以来,霍尔效应被广泛的用于材料科学的研究,包括导体、半导体、金属和超导体,薄膜和块状材料,单晶体和多晶体;



北京美亚先科技有限公司

BEIJING MEIYAXIAN TECHNOLOGY CO. LTD

单载流子和多载流子等的特性测试与测量应用中；例如用在测量半导体和金属的电子输运特性中：

测量评估多层材料和测量多载流子的单一特性
通过测量活动载流子的密度来检查掺杂效应
检查 CVD 和 MBE 的半导体生长系统的纯度
半导体生产中的质量控制.....

多样的固有物理性质会影响材料的电子表现。大多数这些表现都是与热电特性相关的，其中的一些效应可通过控制样品周围的温度来减小样品中热梯度的方式来减弱。典型的**霍尔效应测量系统**可控制温度和磁场强度来产生正确、可靠的霍尔效应和电子输运测量结果。

霍尔效应和电子输运测量对于诸多半导体材料如：硅 Si，锗 Ge，砷化镓 GaAs，氮化镓 GaN，砷镓铝 AlGaAs，铋镉汞 HgCdTe，GMR 薄膜，高温超导体的性质测量来说，意义重大。故而，随着科学研究需求的不断发展，运用好霍尔效应测量技术对于评估新材料和提高加工工艺来说变得极其重要了。

一套典型的霍尔效应测试系统可用于测量样品的电阻、电阻率、霍尔系数、霍尔迁移率、载流子浓度及载流子迁移率和其它一些相关的电子特性。其系统构成应该包括下列的组件：

- ◇ 与被测样品电阻率匹配的精密恒流源，分 3 种情况：
 - 低阻样品，导电特性良好，恒流源须稳定输出 mA 到 A 级别的电流即可满足要求
 - 半导体类样品，其电阻率或在 10^7 欧姆·cm 附近，则须稳定输出低至 nA 级别的恒流源
 - 高阻类样品如本征半导体材料，必须具有稳定输出达到 1nA 以下的低噪声精密恒流源，常规的 μ A 级别的恒流源无法满足要求
- ◇ 一台高输入阻抗的精密电压表，同样需要与被测样品电阻率相匹配，可以准确测量 1mV 到 100V 之间的任意电压值。常被忽略的是，通常电压表输入电阻在 $10M\Omega$ - $G\Omega$ 量级，无法用于高阻类样品的测试，这时必须选择专用的超高输入阻抗的精密电压表或者使用高级技术--差分输入式电压测量技术。
- ◇ 一套磁场系统，可以使用永磁体或者电磁铁（需要驱动电源）、甚至是超导磁体系统，较小的系统到 0.5 特斯拉的最大磁场，常见的可到 1-2 特斯拉，超导磁体则可达平行磁场（12 特斯拉）和横向磁场（7 特斯拉）。该系统内当然应该包含磁性测量仪表入高斯计等。
- ◇ 一个样品台或样品架，通常需要使用探针来接触样品进行电气接触和测量，即使用霍尔效应探针台（如下图）。



- ◇ 变温系统，霍尔迁移率、电子输运特性等随温度变化有较大的变化。单单在室温下测量是不够的。故此需要可以进行温度测量和控制的变温系统，以实现室温到高温或者低温的环境。对低温系统可用液氮制冷至 77K 来减小由于晶格振动而引起的电子散射，能够更清楚的观察到掺杂和结构缺陷。在更低温度时 ($< 10K$)，可以进行舒波尼克夫-哈尔斯效应 (Shubnikov-De Haas effect) 和量子霍尔效应的测量，以获得更多更有价值的科研成果。
- ◇ 有用的可选组件包括：
 - 开关矩阵，通过控制高性能继电器实现样品的探针测量点与测量仪表之间连通或断开，以避免反复手动连接或断开；还可以实现多样品的自动切换和数据记录，提高测量系统的自动化水平。
 - 多功能测量系统的组建，与霍尔效应测量相关的功能，比如四点探针测量、范德堡电阻测量、半导体 I-V 测量、CV 测量、脉冲 (PIV) 测量等组合在一起，构成一个功能丰富的材料/半导体特性分析平台，这样相关学科的科研人员可以共享这个实验平台，提高设备利用率与科研的投入与产出比，成为实验室组建的变革与创新典范。

提升霍尔效应测试系统的可信度，避免一些隐性的测量误差，杜绝错误使用甚或发表有谬误的科研论文，需要特别关注下列的关键点：

- 霍尔效应测试系统必须引入电磁屏蔽设计----以避免外部电磁场的干扰进入到被测样品上。在低阻系统中，这种干扰通常不太明显，因为耦合进来的干扰电荷会通过低阻回路快速泻放掉，但对于高阻测量，此类干扰电荷无法快速泻放，反而不断积累导致不稳定的测量读数出现。屏蔽的要点是将屏蔽层与测试电路的低端连接，并使用屏蔽电缆，被测样品的所有敏感电路部分都要屏蔽。使用金属屏蔽盒、屏蔽网或者专用屏蔽箱将测试电路完整封闭起来即可。
- 确保测量系统恰当地接地----常见的两点或多点接地，会在系统中产生地线回路，导致误差信号串联进入被测信号中，从而在测量结果中出现噪声。正确的做法是让整个测量系统各个部分的接地都连接到一



北京美亚先科技有限公司

BEIJING MEIYAXIAN TECHNOLOGY CO. LTD

个良好接地的点上，即单点接地法。而且要将灵敏的测量系统与别的仪器、高功率设备的地线分开，不在同一个地线回路中。

- 使用保护（GUARD）技术以减少或消除系统中漏电流——包括使用带有保护（GUARD）技术的电流源、电压表和双层屏蔽（Triaxial）的三轴电缆而不是常见的同轴电缆。
- 测量的建立时间——对于高阻样品，测量电路中电缆电容与高阻样品会构成一个 RC 网络，其 RC 时间常数可能会非常大，按照电路建立时间测算， $10^{12} \Omega$ 的高阻样品可能要大约 20 秒之长的建立时间。短于建立时间就进行测量，结果会有明显的误差产生。
- 定期校验系统特性——简单地用 4 只已知的等值电阻构成一个标准的被测样品，定期检测以验证系统特性是否正常。
- 消除接触热电势——如果可行的话，使用相同的材料的金属导线连接电路，比如通常使用纯铜连接线，并避免接头处被氧化。还要注意测量系统要在足够的预热时间后即系统达到热平衡后再开始测量，避免在样品上出现温度梯度、温差等导致不稳定的测量结果出现。

霍尔效应及相关的测量，在材料特性、半导体特性和电子输运特性等的分析测试中，占有极其重要的地位。通过本文的原理介绍和测量技术的介绍，消除各种潜在的测量误差，正确使用，使我们的测试与测量真实、稳定、可靠并可科学地重复，实现更加自信的测量！

北京美亚先科技有限公司

Beijing Meiyaxian Technology Co. Ltd.

8610-82251642, 82251760

Steven 王中武 13321182045

美亚先科技
融合·共享·发扬

Meiyaxian Technology Co., Ltd.
Copyright © 2016