

## 导电材料电阻率的测量

### 概述

测量导体电阻率的方法是通过一对引线强制电流流过样品，用另一对引线测量其电压降来决定已知几何尺寸的样品的电阻。虽然，测量电阻率使用的具体方法决定于样品的大小和形状。但是所有的方法都需要使用灵敏的电压表和电流源或微欧姆计来进行测量，因为要测量的电阻一般都非常小。

### 整块材料 (Bulk Material) 的电阻率

图 1 示出测试整块材料，如金属棒或金属条电阻率的系统。将电流源连到样品的两端。电压表的引线则按已知的距离放置。根据样品的横截面积和电压表引线之间的距离计算出电阻率：

$$\rho = \left( \frac{V}{I} \right) \left( \frac{A}{L} \right)$$

其中： $\rho$  = 以厘米 - 欧姆为单位的电阻率

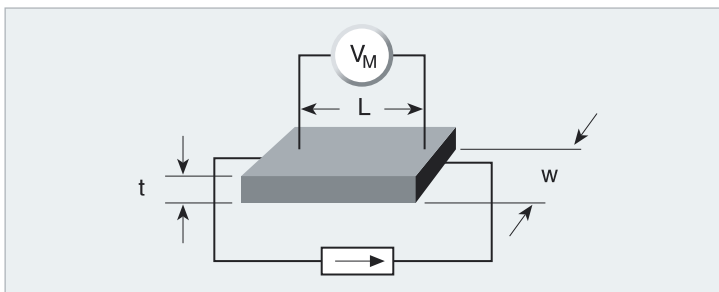
$V$  = 电压表测量的电压

$I$  = 电流源电流

$A$  = 以厘米<sup>2</sup>为单位的样品的横截面积 ( $w \times t$ )

$L$  = 以厘米为单位的电压表引线之间的距离

图 1. 测量金属棒的电阻率



为了补偿热电动势的影响，在正向测试电流之下得到一个电压读数，再在负向测试电流之下得到另一个电压读数。将这两个电压读数的绝对值进行平均，并将其用在公式的 VI 中。大多数材料都具有很大的温度系数，所以一定要将样品保持在已知的温度之下。

### 使用四探针法

四探针法用在非常薄的样品，例如外延晶圆片和导电涂层上。图 2 是四点同线探针用于电阻率测量的配置图。电流从两个外部的探针加入，而电压降则在两个内部的探针之间测量。表面电阻率的计算公式为：

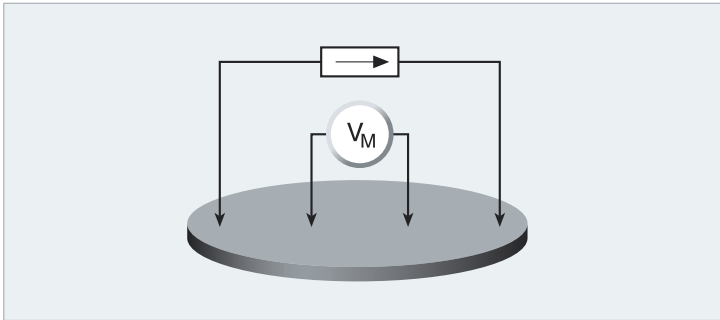
$$\sigma = \left( \frac{\pi}{\ln 2} \right) \left( \frac{V}{I} \right)$$

其中： $\sigma$  = 以欧姆 /  $\square$  为单位的表面电阻率

$V$  = 电压表测得的电压

$I$  = 电流源电流

图 2. 在晶圆片上使用四点同线探针



注意，表面电阻率的单位表达为欧姆 /  $\square$ ，以区别于测量出的电阻 ( $V/I$ )。对于极薄或极厚的样品，可能需要使用修正因数对电阻率的计算进行修正。

如果样品的厚度已知，那么体电阻率可以计算如下：

$$\rho = \left( \frac{\pi}{\ln 2} \right) \left( \frac{V}{I} \right) t$$

其中： $\rho$  = 以欧姆·厘米为单位的体电阻率

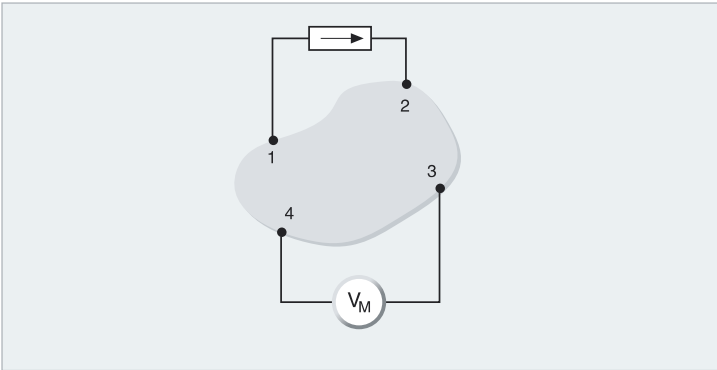
$t$  = 以厘米为单位的厚度

有关四点探头测量更详细的信息可以在 ASTM 标准 F84 中找到。

### 范德堡 van der Pauw 法

虽然范德堡 van der Pauw 电阻率测量法主要用于半导体工业，但是也可用于其它一些应用工作，例如用来确定超导体或其它薄片材料的电阻率。van der Pauw 法用于扁平、厚度均匀、任意形状，而不含有任何隔离的孔的样品材料。如图 3 所示，接触点应当很小，并且安放在样品的外围。

图 3. van der Pauw 法的连接



围绕样品进行 8 次测量。对这些读数进行数学组合来决定样品的平均电阻率。决定电阻率的公式在第 4.4.3 节给出。有关 van der Pauw 法的更进一步的信息可以在 ASTM 标准 F76 中找到。

图 4 示出使用 van der Pauw 法决定导电样品电阻率的完整系统。该系统包括用来提供流过样品的电流的 6220 型电流源和用来测量产生的电压降的 2182A 型纳伏表。由 7168 型纳伏卡和 7156 型通用卡组成的开关矩阵在四个样品端子上切换电压表和电流源。这些开关卡必须按照图中所示进行连接。从 7168 卡到样品的连接必须使用不镀锡的铜线以便将热电动势降到最低。然后，必须将这些从 7168 卡的连接延伸到 7156 卡。7001 型扫描器主机控制这些开关卡。

为了向端子 3 和 4 送入电流，应当闭合通道 7L 和 4H。而测量端子 1 和 2 之间的电压降则应当闭合通道 15L 和 12H。

如果被测样品的电阻率范围很宽，可以用 7065 型霍尔效应卡来代替 7168 和 7156 扫描器卡。有关 7065 卡的详细内容在第 4.4.3 节以及 7065 的手册中讨论。

图 4. 使用 7168 卡和 2182A 纳伏表时 van der Pauw 法的连接

