



# 利用 4200A-SCS 参数分析仪 和四线探头测量半导体材料 的电阻率

应用文档



## 概述

电阻率是材料的一种基本性质，它量化了材料对电流的阻碍程度；它是电导率的倒数。材料的电阻率取决于几个因素，包括材料的掺杂、加工和环境因素，如温度和湿度。材料的电阻率会影响其制造的器件的特性，如串联电阻、阈值电压、电容等参数。

确定一种材料的电阻率在研究和制造环境中都是常见的。确定材料的电阻率有许多方法，但该技术可能根据材料的类型、电阻的大小、形状和材料的厚度而有所不同。测量一些薄而平的材料电阻率的最常见的方法之一，如半导体或导电涂层，使用四探针法。四探针法技术包括将四个等距的探针与一种具有未知电阻的材料接触。外部两个探头之间施加有直流电流，电压表测量内部两个探头之间的电压差。电阻率是由几何因子、源电流和电压测量值计算出来的。用于此测试的仪器包括直流电流源、灵敏电压表和四点共线探头。

为了简化测量，4200A-SCS 参数分析仪附带了一个项目，其中包含了使用四探针进行电阻率测量的测试。4200A-SCS 可用于广泛的材料电阻，包括非常高的电阻半导体材料，因为它的输入电阻很高 ( $>10^{16}$  欧姆)。本应用说明了如何使用具有 4 点共线探针的 4200A-SCS 对半导体材料进行电阻率测量。

## 四点共线探针的计算方法

测量半导体材料电阻率最常见的方法是使用四点共线探针。这种技术包括使四个等间距的探针与一种未知电阻的材料接触。探针阵列位于材料的中心，如图 1 所示。

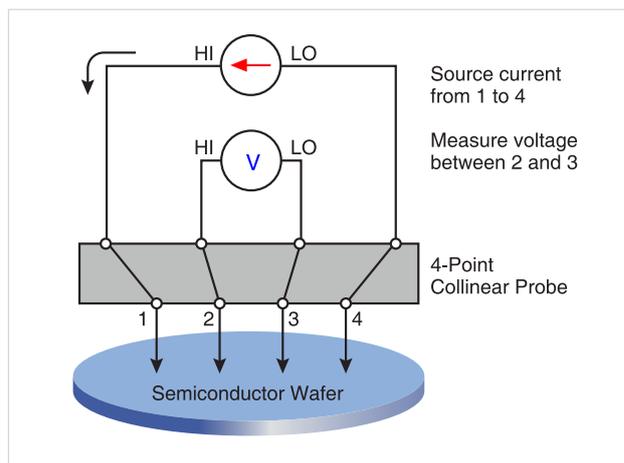


图 1. 四点探头电阻率测试电路

两个外部探针用于施加电流，两个内部探针用于测量在样品表面上产生的电压降。体积电阻率的计算方法如下：

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \times \frac{V}{I} \times t \times k$$

其中：

$\rho$  = 体积电阻率 ( $\Omega\text{-cm}$ )

$V$  = 测量电压 (伏特)

$I$  = 源电流 (安培)

$t$  = 样品厚度 (cm)

$k^*$  = 校正因子基于晶片的比率晶圆直径和晶片厚度的比率分离

\* 校正因子可以在标准的四点探针电阻率测试程序中找到，如 SEMIMF84-02 用四点探针测量硅晶片电阻率的测试方法。

对于某些材料，如薄膜和涂层，确定片电阻或表面电阻率，而不考虑厚度。板材电阻 ( $\sigma$ ) 计算如下：

$$\sigma = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V}{l} k = 4.532 \frac{V}{l} k$$

其中： $\sigma$  = 板材电阻 ( $\Omega$ /平方或仅  $\Omega$ )

注意，板材电阻单位用  $\Omega$ /平方表示，以便区分此数字与测量电阻 ( $V/I$ )。

### 利用开尔文技术消除线阻和接触电阻

使用四个探针，就消除了由于探针电阻、每个探针下的扩散电阻以及每个金属探针与半导体材料之间的接触电阻而造成的测量误差。**图 2** 是四点共线探头设置的另一个表示，显示了一些电路电阻。

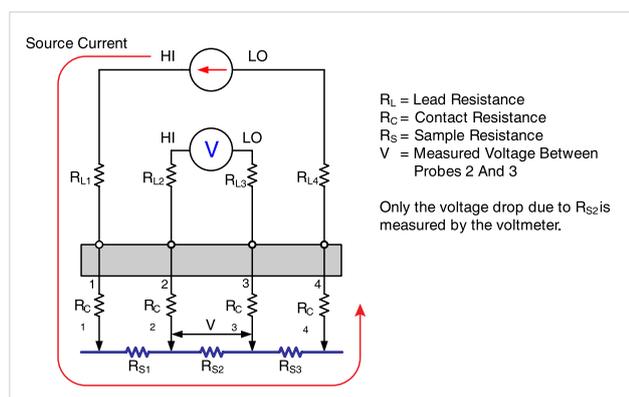


图 2. 在电路电阻中的测试设置

$R_L$  项代表测试中的铅电阻。 $R_C$  表示金属探针与半导体材料之间的接触电阻。接触电阻可以比样品材料的电阻高出几百到一千倍，这是用  $R_S$  表示的。

其中，电流通过第一组和第四组导线和探针中的所有电阻，以及通过半导体材料，电压只在探头 2 和探头 3 之间测量。假设在探头 2 和探头 3 之间，电流只流过  $R_{S2}$ ，则电压表只测量由  $R_{S2}$  引起的电压降。将不会测量所有其他不需要的导线 ( $R_L$ ) 和接触点 ( $R_C$ ) 电阻。

### 利用 4200A-SCS 进行四点探头共线探头测量

4200A-SCS 自带了一个已经配置为自动化四探针法电阻率测量的项目。通过过滤器选择材质，可以在项目库中的选择视图中找到四探头电阻率项目。该项目有两个测试：一个使用单个测试电流测量电阻率，另一个测量电阻率作为电流扫描函数的函数。这两个测试，四点探针电阻率测量 (4 点共线) 和四点探针电阻率扫描 (4 电阻率扫描)，也可以在测试库中找到，并可以添加到一个项目中。四点探头电阻率测量测试的屏幕截图如**图 3** 所示。

4200A-SCS 中包含的项目和测试被配置为使用三个或四个 SMU (源测量单元)。当使用三个 SMU 时，所有三个 SMU 都被设置为偏置电压表模式。一个 SMU 施加电流 (针 1)，另外两个 (针 2 和 3) 将用于测量两个内部探头之间的电压差。**图 4** 显示了一个关于如何使用 4200A-SCS 设置的示例。一个 SMU (SMU1) 和 GNDU (接地单元) 用于源外部两个探头之间的电流。其他的 SMU (SMU2 和 SMU3) 用于测量两个内部探头之间的电压降。

在配置测试时，SMU1 输入的电流将取决于样品的电阻率。对于电阻较高的样品，可能需要在测试设置窗格中添加额外的间隔时间，以确保准确的读数。

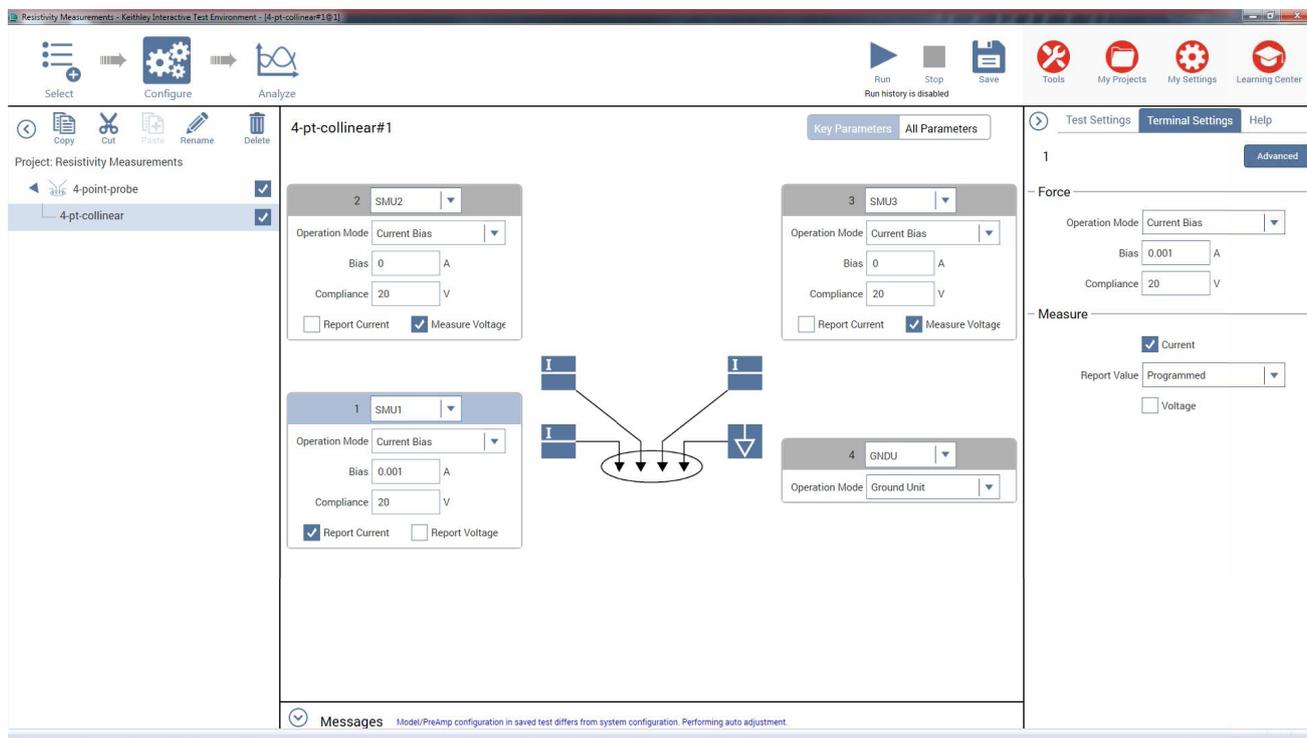


图 3. Clarius 软件中四探头电阻率测量测试

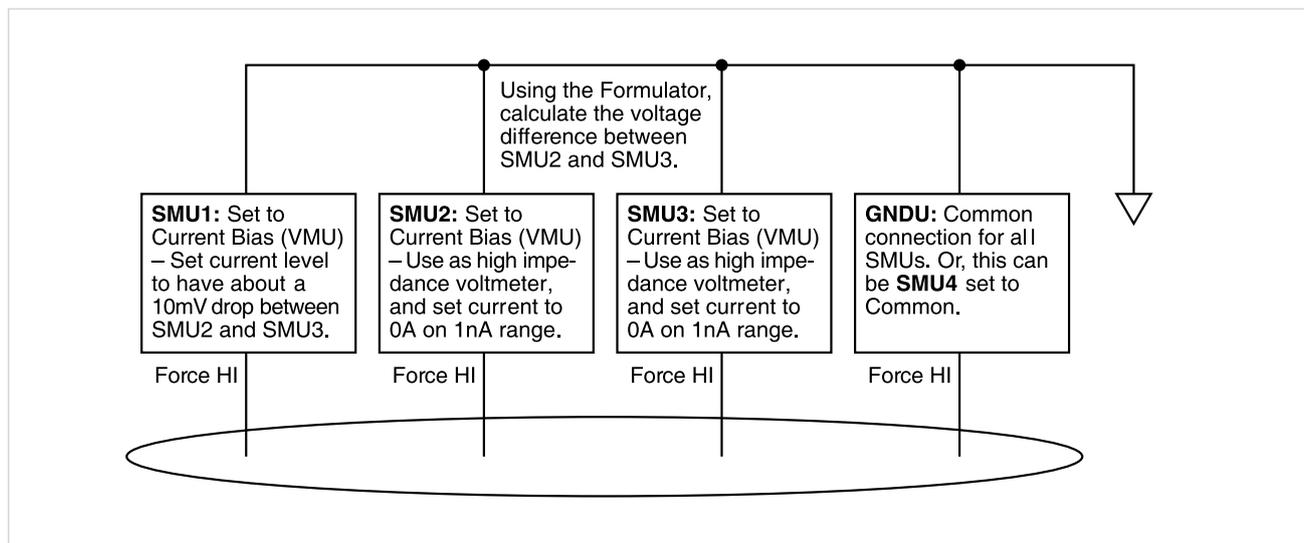


图 4. 四点共线探头测量的 SMU

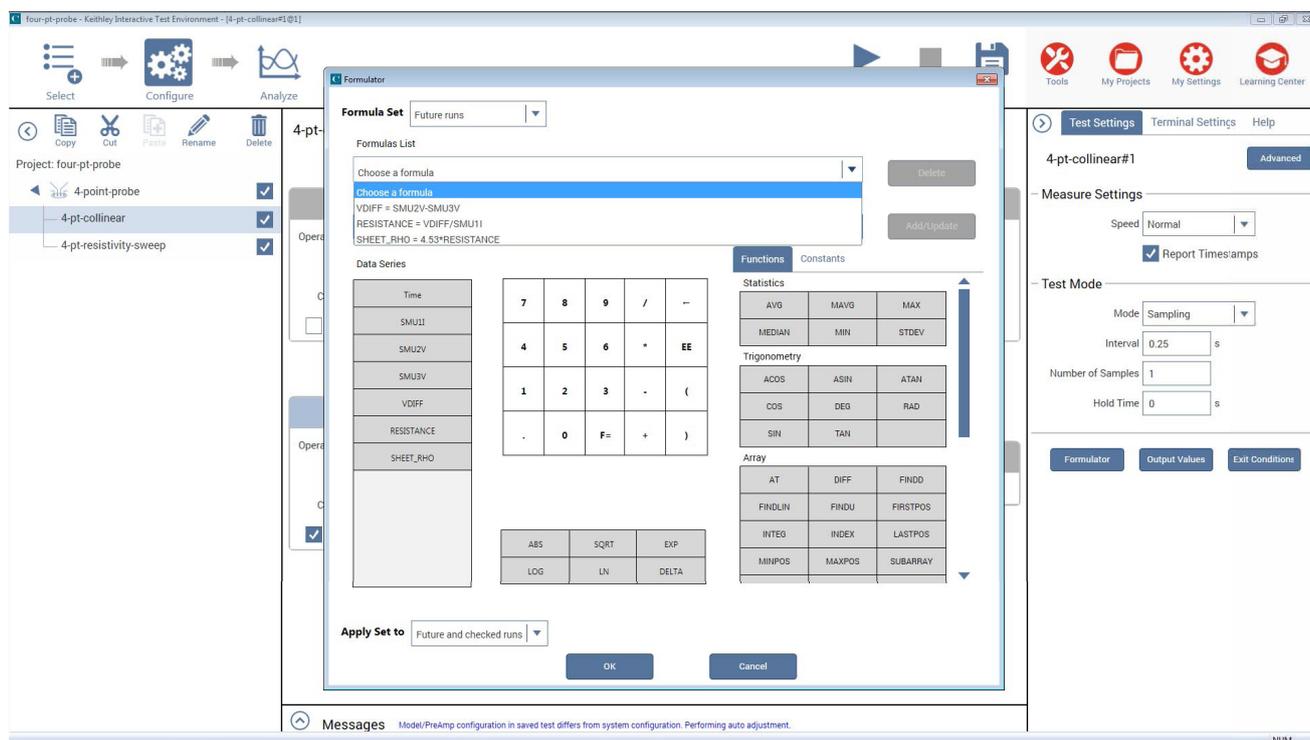


图 5. 四点探头电阻率项目中电阻率计算的公式对话框

测试设置窗格中的公式包括推导出如图 5 所示的电阻率的公式。计算出 SMU2 和 SMU3 之间的电压差： $VDIFF = SMU2V - SMU3V$ 。薄片电阻率（欧姆 / 平方）来自 SMU1 电流和电压差计算， $SHEET\_RHO = 4.532 * (VDIFF / SMU1I)$ 。为了确定体积电阻率（欧姆 -cm），请将薄片电阻率乘以样品的厚度，单位为厘米（cm）。如有必要，还可以对该公式应用一个修正因子。

测试完成后，降低探针头，使针与样品接触。通过选择屏幕顶部的“运行”来执行测试。电阻率测量值将显示在分析视图中。

## 误差的来源和测量方面的注意事项

为了成功地测量电阻率，需要考虑潜在的误差来源。

### 静电干扰

当一个带电的物体靠近一个不带电的物体时，就会发生静电干扰。通常，干扰的影响并不明显，因为电荷在低电阻水平下迅速消散。然而，高电阻材料不允许电荷快速衰减，并可能导致不稳定的测量。错误的读数可能是由于直流或交流静电场。

为了最小化这些场的影响，可以建立一个静电屏蔽来封闭敏感的电路。屏蔽层由导电材料制成，并始终连接到 SMU 仪器的低阻抗（Force LO）端子。

电路中的电缆也必须被屏蔽。4200A-SCS 提供了低噪声屏蔽三轴电缆。

## 泄漏电流

对于高电阻样品，泄漏电流可能会降低测量值。泄漏电流是由于电缆、探头和测试固定装置的绝缘电阻所致。通过使用高质量的绝缘子、降低湿度和使用保护装置，可以尽量减少泄漏电流。保护线是连接到电路中的一个低阻抗点的导线，该点与被保护的高阻抗导线几乎处于相同的电位。4200A-SCS 的三轴连接器的内屏蔽是保护端子。该保护装置应让 4200A-SCS 尽可能接近样品运行，使用三轴电缆和固定装置将确保样品的高阻抗端子被保护。保护连接也将减少测量时间，因为电缆电容将不再影响测量的时间常数。

## 光导效应

产生的光电流会降低测量值，特别是在高电阻样品上。为了防止这种情况发生，样品应该被放置在一个黑暗的房间中。

## 温度

热电电压也可能影响测量精度。如果样品的温度不均匀，则可能会导致温度梯度。也可以通过由源电流引起的样品加热而产生热电电压。从源电流加热将更有可能影响低电阻样品，因为需要更高的测试电流来使电压测量更容易。实验室环境中的温度波动也可能影响测量结果。由于半导体具有相对较大的温度系数，因此，实验室中的温度变化可能需要通过使用校正因子来进行补偿。

## 载流子注入

为了防止少数 / 多数载流子注入影响电阻率测量，两个电压传感端子之间的电压差应保持在 100 mV 以下，理想情况下为 25 mV，因为热电压  $kt/q$  约为 26 mV。试验电流应尽量保持在较低的水平，且不影响测量精度。

## 结论

4200A-SCS 参数分析仪是利用四点共线探针测量半导体材料电阻率的理想工具。内置的电阻率项目和测试是可配置的，并包括必要的计算。

## 参考书目

ASTM, F76-86. Standard Method for Measuring Hall Mobility and Hall Coefficient in Extrinsic Semiconductor Single Crystals. Annual Bk. ASTM Stds., 1999: 10.05.

SEMI MF84-02: Test Method for Measuring Resistivity of Silicon Wafers With an In-Line Four-Point Probe. Last published by ASTM International as ASTM F 84-02.

van der Pauw, L. J. A Method of Measuring Specific Resistivity and Hall Effects of Discs of Arbitrary Shape. Phips Rec. Repts., 1958: 13 1.

Schroder, Dieter K. *Semiconductor Material and Device Characterization*. John Wiley & Sons, Inc., 1998.

*Low Level Measurements*, Keithley Instruments, Inc., Cleveland, Ohio, 2014.



泰克官方微信

**如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！**

**或登录泰克公司中文网站：[tek.com.cn](http://tek.com.cn)**

**泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835**

**泰克科技(中国)有限公司**

上海市浦东新区川桥路1227号  
邮编：201206  
电话：(86 21) 5031 2000  
传真：(86 21) 5899 3156

**泰克北京办事处**

北京市朝阳区酒仙桥路6号院  
电子城·国际电子总部二期  
七号楼2层203单元  
邮编：100015  
电话：(86 10) 5795 0700  
传真：(86 10) 6235 1236

**泰克上海办事处**

上海市长宁区福泉北路518号  
9座5楼  
邮编：200335  
电话：(86 21) 3397 0800  
传真：(86 21) 6289 7267

**泰克深圳办事处**

深圳市深南东路5002号  
信兴广场地王商业大厦3001-3002室  
邮编：518008  
电话：(86 755) 8246 0909  
传真：(86 755) 8246 1539

**泰克成都办事处**

成都市锦江区三色路38号  
博瑞创意成都B座1604  
邮编：610063  
电话：(86 28) 8620 3028  
传真：(86 28) 8527 0053

**泰克西安办事处**

西安市二环南路西段88号  
老三届世纪星大厦26层L座  
邮编：710065  
电话：(86 29) 8836 0984  
传真：(86 29) 8721 8549

**泰克武汉办事处**

武汉市洪山区珞喻路726号  
华美达大酒店718室  
邮编：430074  
电话：(86 27) 8781 2760

**泰克香港办事处**

香港九龙尖沙咀弥敦道132号  
美丽华大厦808-809室  
电话：(852) 3168 6695  
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，敬请登录：[TEK.COM.CN](http://TEK.COM.CN)

© 泰克公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和外国专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

070816 SBG 1KC-60640-0

