

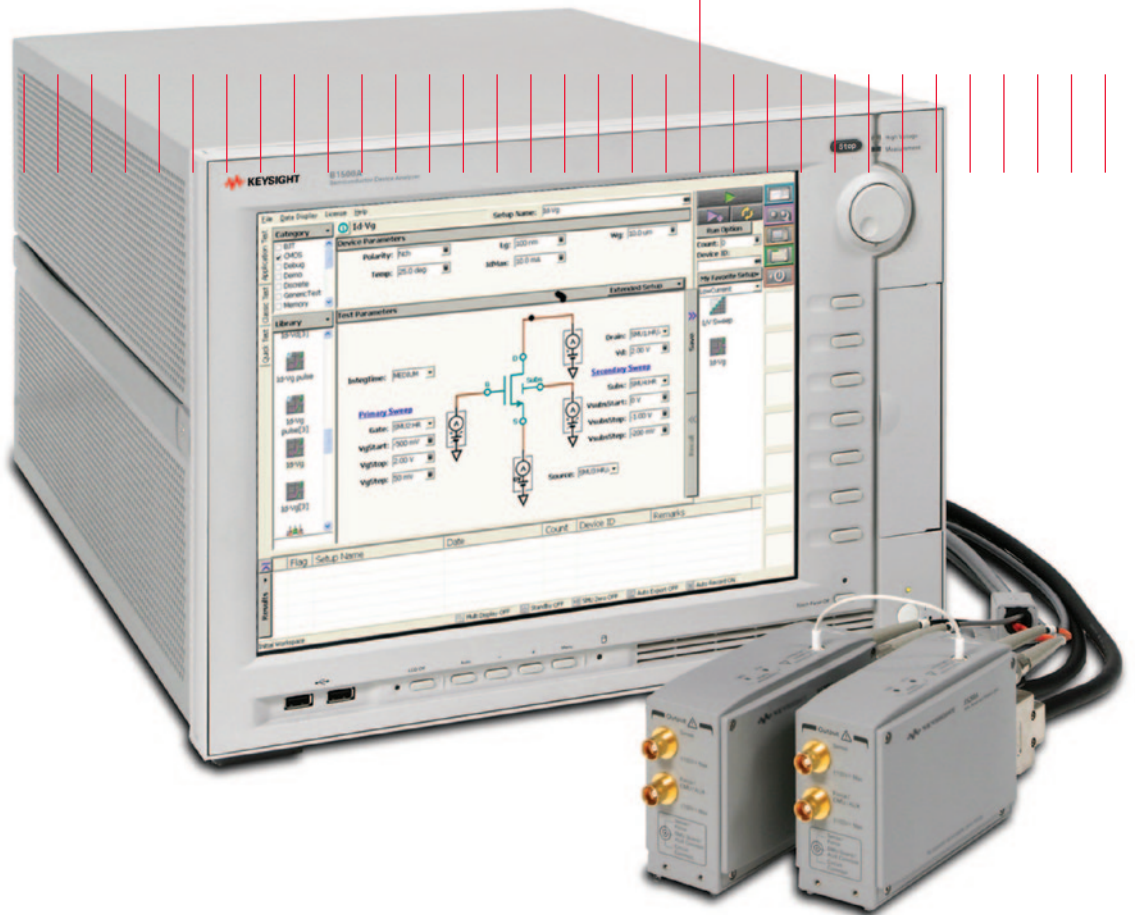
是德科技

超低直流电流

MOSFET 晶圆级表征

Keysight B1500A 半导体器件分析仪

应用指南



引言

纳米器件正常运行需要较低的信号级和较低的功率级。要表征此类器件及其半导体制程，能否采用精确的低电流测量至关重要。Keysight B1500A 半导体器件分析仪支持 sub fA 范围内的电流测量，因此能够满足上述要求。本应用指南将介绍如何使用 B1500A 的超低电流测量能力精确评估 MOSFET 的亚阈值特性。

低电流测量面临的挑战

精确的低电流量级测量面临许多可能会降低测量质量的挑战，包括：

- 测量电缆及测量仪器和晶圆探针台之间的接口处产生的泄漏电流和电子噪声
- 由于防护不足造成探针台元件间连线和探测针处发生的泄漏电流和电子噪声
- 未能将晶圆片与环境光线屏蔽开而产生的光电效应

改进测量设备并不能解决上述所有问题，要解决这些问题，需要专门设计的测试结构。举例来说，氧化层泄漏电流的正确测量可能需要设计大面积的测试元件，以最大程度地减少泄漏和噪声的影响。

然而，使用“比例增大”的测试元件会浪费宝贵的晶圆基板。而且，通过超大型测试元件获得的数据与正常尺寸器件特性之间的关联性并不明确。幸好 Keysight B1500A 拥有低电流测量能力，它不需要特别设计的测试结构，能够帮助用户测量实际尺寸的 MOSFET 器件。

Keysight B1500A 低电流测量的主要特性

B1500A 主机有 10 个模块插槽，支持多个源/监视单元 (SMU) 模块类型，如高分辨率 SMU (HRSMU)、中功率 SMU (MPSMU) 和高功率 SMU (HPSMU)。用户可依据具体器件测量要求自定义 B1500A 的配置。

B1500A 低至 sub fA 范围内的低电流测量主要依赖于其下列特征：

- HRSMU 的电流测量分辨率为 1fA，测量偏移为 15 fA。此外，HRSMU 兼容可选的阿安测量与开关单元 (ASU)，一起使用时，其低电流测量分辨率能达到 100aA (0.1 fA)，而测量偏移可达 12fA。
- Keysight 采用 Kelvin 三轴电缆连接 B1500A 和半自动晶圆探针台，相比普通三轴电缆，Kelvin 电缆产生的电子噪声和泄漏更小。此外，Kelvin 三轴电缆产生的电动势 (EMF) 也比普通三轴电缆小。几乎所有晶圆探针台生产商使用的连接板都支持 Keysight 的 Kelvin 三轴电缆，因此不需要焊接或其它特别的

连接工艺。也就是说，用户无需担心焊接中助溶剂或印油会产生泄漏路径。注意：由于较短的测量电缆产生的固有泄漏和噪声也较小，因此为达到最佳低电流测量，Keysight 推荐使用 1.5m 长的 Kelvin 三轴电缆来连接 B1500A 和晶圆探针台。

- B1500A 还具有零偏移和自校准功能，能减少测量电缆和探针的固有偏移电流和电压。这些功能还能够消除热效应和 EMF 效应产生的误差，因此大大改善了超低电流测量。

有一些探针台的设计支持与 B1500A 的连接。所有测量路径都做好了防护和屏蔽工作，包括晶圆载物台 (衬底) 的连接。用户能够测量表面泄漏和大容量泄漏，从而充分利用 B1500A 的各项功能。

N 沟道 MOSFET 亚阈值测量

测量方框图如图 1 所示。

B1500A 随机装有标准 EasyEXPERT 软件，提供基于 GUI 的便捷仪器控制。EasyEXPERT 通过其图形用户界面为测量提供了两种测试模式。第一种是应用测试模式，它向用户提供的的应用测试库中包含了 230 多种客户可更改的预定义测试，从而简化了测量过程。第二种是经典测试模式，其用户界面类似于 Keysight 4155/56 半导体参数分析仪。EasyEXPERT 也能够控制半自动晶圆探针台，自动跨越晶圆时可以同时执行应用模式测试和经典模式测试。更多信息请参照 Keysight B1500A 产品手册：把每一位用户都变成参数测试专家 (5989-5440EN)。

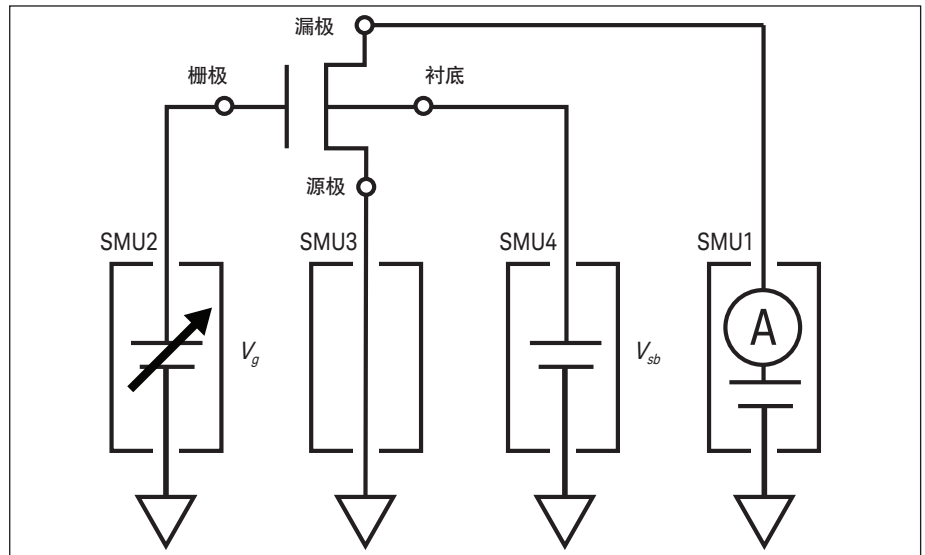


图 1. 测量方框图

开始低电流测量前，必须首先执行自校准和零对消功能。使用 EasyEXPERT 软件进行上述操作的具体步骤如下：

1. 将测量电缆连接至探针台上。
2. 确保所有测量条件都已设置到位，并确保探针位于晶圆片上方。
3. 选择 [Module Self Calibration] 选项卡执行自校准，如图 2 所示。
4. 选择 [SMU Zero Cancel] 选项卡，执行零对消。

务必在 B1500A 维持 40 分钟以上的预热期结束后，正式测量开始前进行上述操作。更换电缆、探针或其它连接装置后，必须等待约 3 分钟，直至 EMF 效应和压电效应产生的偏移电流衰退至可忽略值。

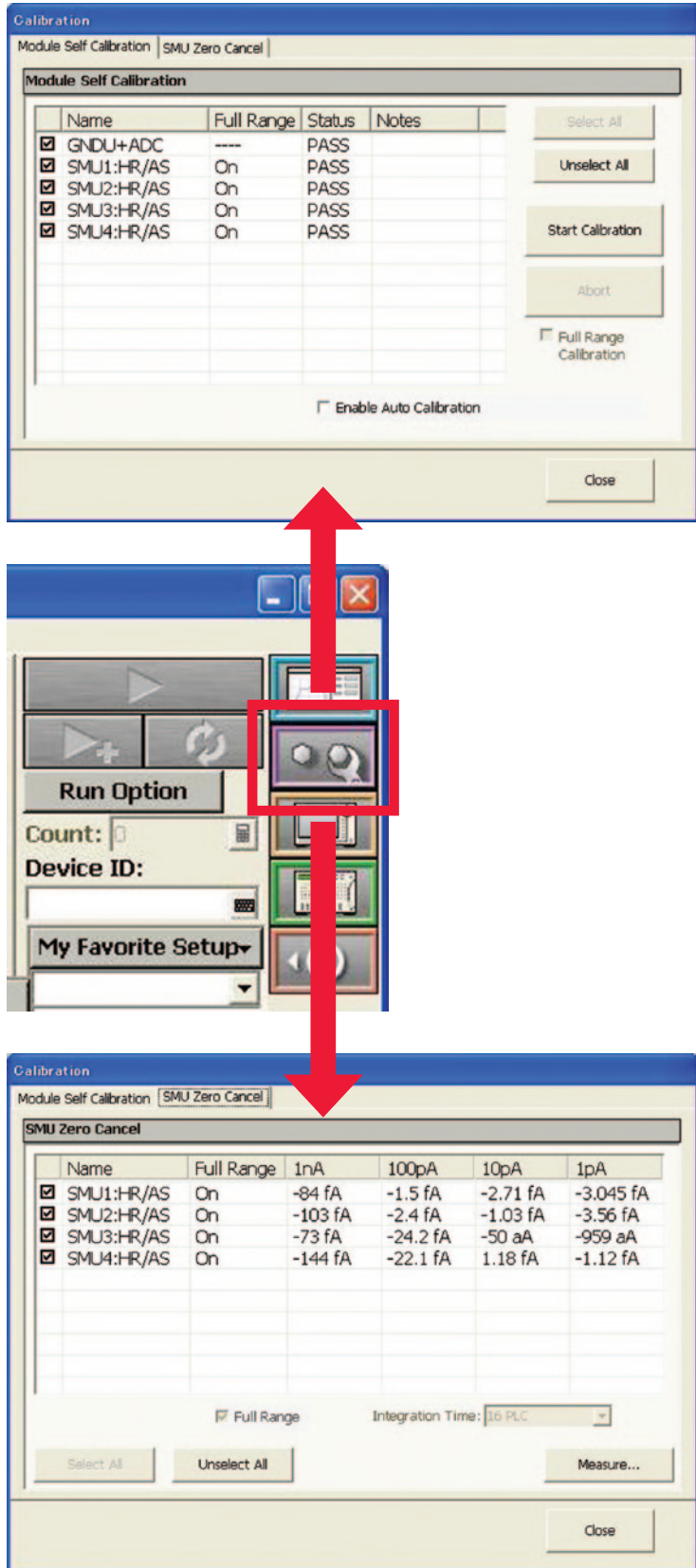


图 2 [Calibration] 窗口

图3和图4为测量N沟道MOSFET亚阈值特性的配置。扫描间隔较短，目的是为了减少电缆和探针中残余电容产生的充电电流。

图3为sub fA范围内进行精确的低电流测量所推荐使用的测量条件。在经典测试模式中，点击[Measurement Setup]窗口中的[Range]按钮或[ADC/Integ]按钮。在[SMU Range Setup]窗口中，测量范围应设定为[Auto]范围或[Limited Auto 1pA]范围。1pA范围是HRSMU使用一个ASU时的最小范围值。在此范围中，HRSMU/ASU组合的分辨率为0.1fA。此外，在[A/D Converter & Integration Time Setup]窗口中，测量集成时间应设置为[Medium]或[Long]，以防止电子噪声干扰测量。

在[Measurement Setup]窗口中，还需要在扫描测量开始时添加[Hold Time]，在扫描中每个测量点之间添加[Delay Time]，以此为测量路径中介电吸收产生的瞬变电压提供足够的衰退时间。

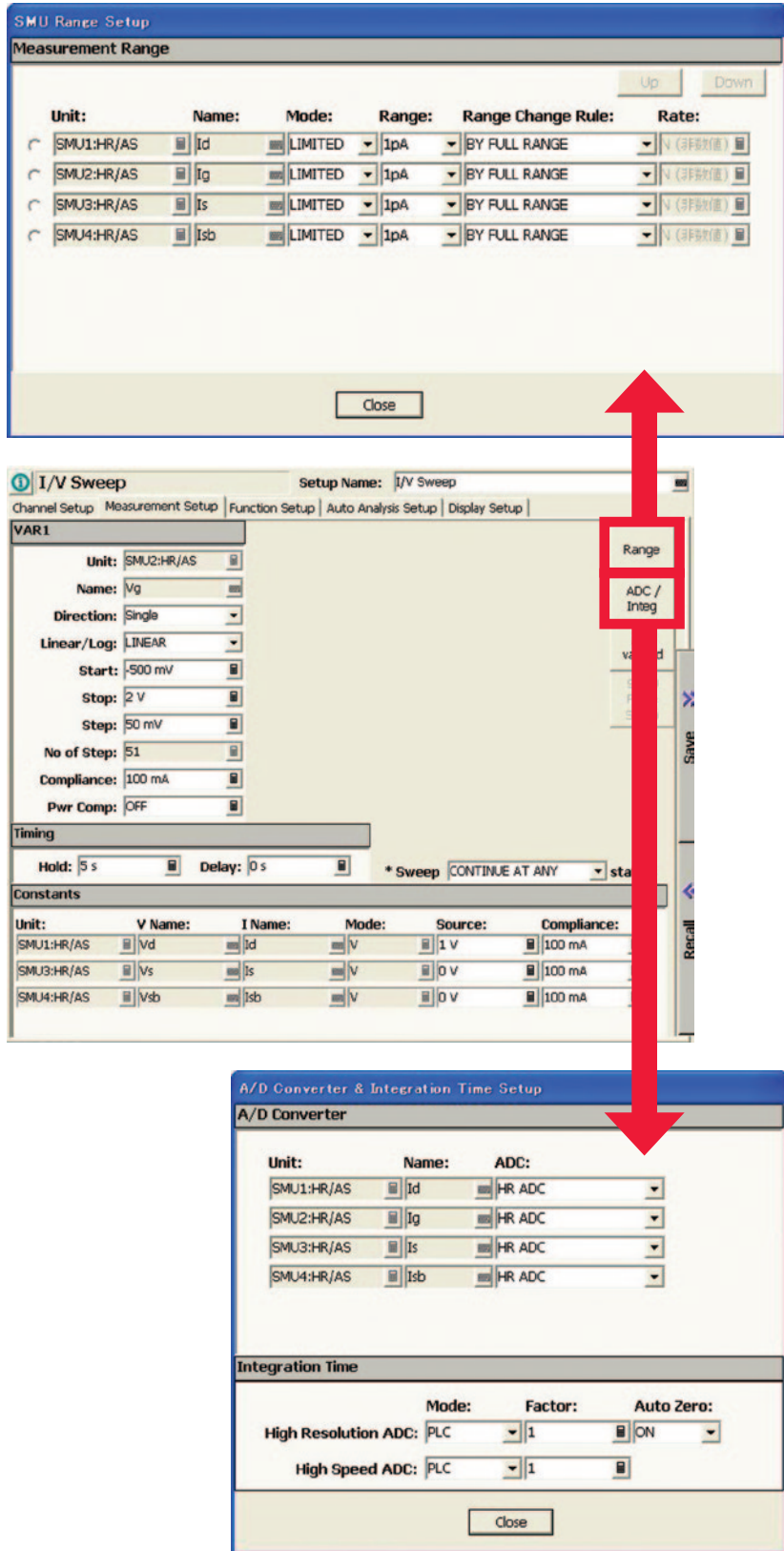


图3 经典测试模式的测量设置窗口

除仪器设置外，还需要将影响测量环境的因素考虑在内。

- 关闭所有可以产生机械振动的设备
- 关闭除 B1500A 之外的所有电气仪器
- 保持环境温度和湿度稳定遵守上述要求能够大大减少外部噪声和 SMU 电路中的热感应偏移电流。

测量结果

图 5 为使用 B1500A 的 HRSMU/ASU 组合所得到的 MOSFET 亚阈值测量结果。该图为严格遵守上述各仪器设置要求所得到的测量结果。正如实例所示，B1500A 能帮助您进行精确稳定的 sub fA 低电流测量。

结论

B1500A 能执行超低电流测量，这对于纳米半导体器件的评估非常重要。B1500A 的 HRSMU/ASU 组合的分辨率达 0.1 fA，能精确表征各种参数，如栅极绝缘层泄漏、MOSFET 衬底电流、二极管反向偏压特征和双极型晶体管 Gummel 图形。B1500A 不需要专门设计大型的测试结构，因此能够直接测量用户在集成电路中所用的实际大小的器件。

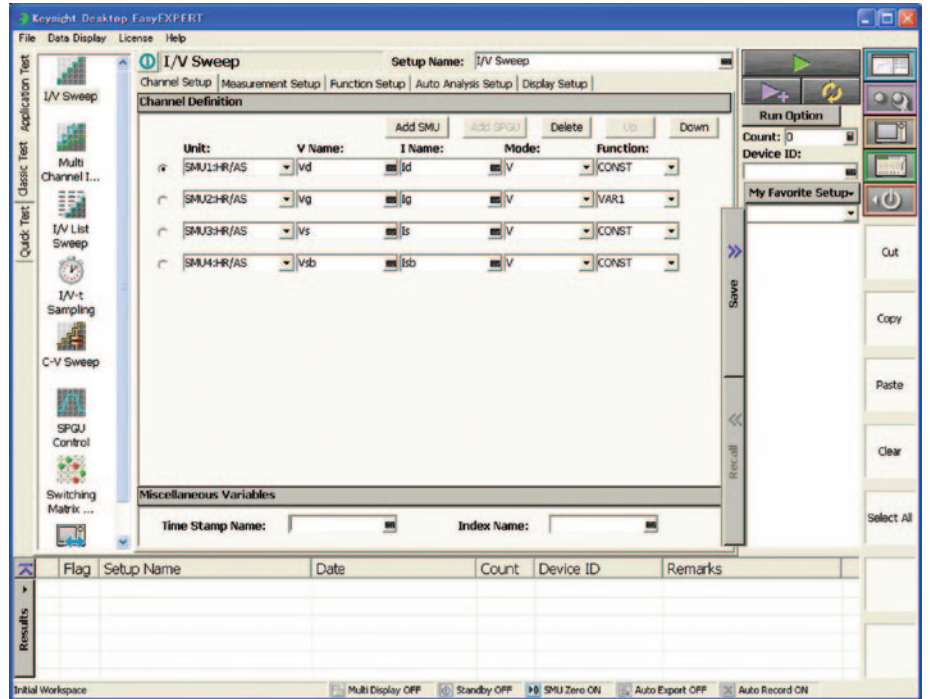


图4 经典测试模式的通道设置窗口

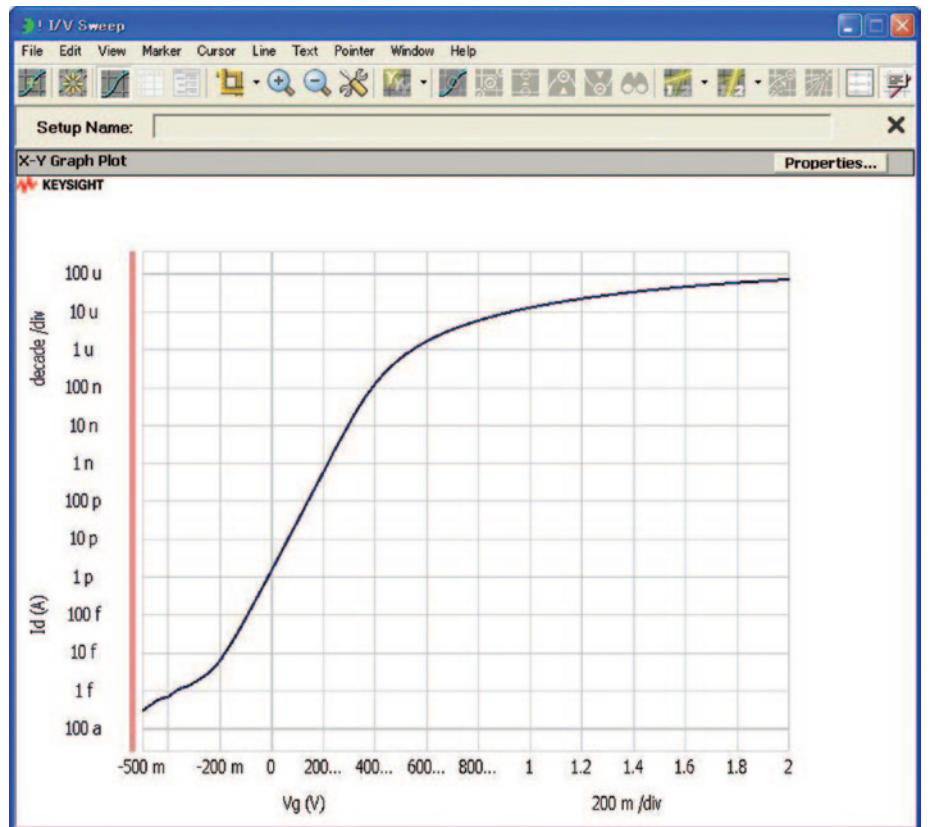


图5 MOSFET的亚阈值特征



是德科技保证方案

www.keysight.com/find/AssurancePlans

5年的周密保护以及持续的巨大预算投入,可确保您的仪器符合规范要求,精确的测量让您可以继续高枕无忧。

是德科技渠道合作伙伴

www.keysight.com/find/channelpartners

黄金搭档:是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。

This document was formerly known as Application Note B1500-15.

www.keysight.com/find/B1500A

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息,请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表,请访问:

www.keysight.com/find/contactus

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189

热线传真: 800-820-2816、400-820-3863

是德科技(中国)有限公司

地址: 北京市朝阳区望京北路3号

电话: (010) 64397888

传真: (010) 64390278

邮编: 100102

上海分公司

地址: 上海市虹口区四川北路1350号

利通广场19层

电话: (021) 36127688

传真: (021) 36127188

邮编: 200080

广州分公司

地址: 广州市天河北路233号

中信广场66层07-08室

电话: (020) 38113988

传真: (020) 86695074

邮编: 510613

成都分公司

地址: 成都高新区南部园区

天府四街116号

电话: (028) 83108888

传真: (028) 85330830

邮编: 610041

深圳分公司

地址: 深圳市福田区

福华一路六号免税商务大厦3楼

电话: (0755) 83079588

传真: (0755) 82763181

邮编: 518048

西安分公司

地址: 西安市碑林区南关正街88号

长安国际大厦D座5/F

电话: (029) 88867770

传真: (029) 88861330

邮编: 710068

是德科技香港有限公司

地址: 香港北角电气道169号25楼

电话: (852) 31977777

传真: (852) 25069292

香港热线: 800-938-693

香港传真: (852) 25069233