

是德科技

B1500A: CMOS 器件电性表征的 全面解决方案 B1500A 半导体器件分析

应用指南



引言

互补型金属-氧化物-半导体 (CMOS) 场效应管 (FET) 技术仍然是大规模集成电路，如微处理器和存储器器件的基础。CMOS 技术现在已渗入人们的日常生活，如移动电话，高清电视和电脑。

改进 CMOS 器件性能的主要挑战来自两个相悖的目标：高速和低耗。为同时实现这两个目标，研究人员需要全面表征 MOSFET 器件参数。不仅要表征静态特性，而且还要表征器件的动态特性和与时间相关的特性。

近 20 年来，Keysight 4155 和 4156 半导体参数分析仪始终是工业界的标准仪器。Keysight B1500A 半导体器件分析仪更是具有精确表征先进 CMOS 器件所需测量能力的新一代半导体参数分析仪。

EasyEXPERT 是包括准备就绪的测量库的 B1500A 标配控制软件。这些测量库覆盖评估基本 CMOS 器件和先进 CMOS 器件的各种参数，包括可靠性测试。

这篇应用指南全面介绍 B1500A 的主要性能特性，展示 B1500A 作为 CMOS 器件电性表征的全面解决方案。

先进的综合测量能力

B1500A 10个模块插槽，众多可选的源 / 监视单元(SMU)和其它先进的模块类型，可通过配置满足对先CMOS制程的最精确测量要求。图1列出所有适用于B1500A 的模块。

中功率 SMU (MPSMU)

MPSMU 是通用 SMU，它具有适中的电压源和电流源能力以及测量分辨率。MPSMU 的最大输出电压 $\pm 100V$ ，最大输出电流为 $\pm 100mA$ 。最小电流测量分辨率 $10 fA$ ，最小电压测量分辨率为 $0.5 \mu V$ 。

高分辨率 SMU (HRSMU)

HRSMU 适用于要求极高精度的测量，例如测量栅极漏电流，关断态漏电流和亚阈值电流测量。HRSMU 的最小电流测量分辨率为 $1 fA$ (MPSMU 为 $10 fA$)。此外，当与阿安测量与开关单元 (ASU) 一起使用时，HRSMU 更能实现 $100 aA$ ($0.1 fA$) 的电流测量分辨率，并仍保持 MPSMU 相同的电压源和电流源能力。

高功率 SMU (HPSMU)

顾名思义，HPSMU 比其它 SMU 扩展了电压源和电流源能力。HPSMU 的最大输出电压为 $\pm 200V$ ，最大输出电流为 $\pm 1A$ 。200V 输出能力可用于击穿电压测量，1A 输出能力支持重要的可靠性测试，如器件互联电迁移测试。

所有 B1500A SMU 均为 Kelvin 型，具有单独的施加输入和测量输入端口。此外，所有 SMU 都能执行准静态 CV (电容 vs. 电压) 测量，其漏电流补偿特性可帮助进行薄栅极介电层测量。

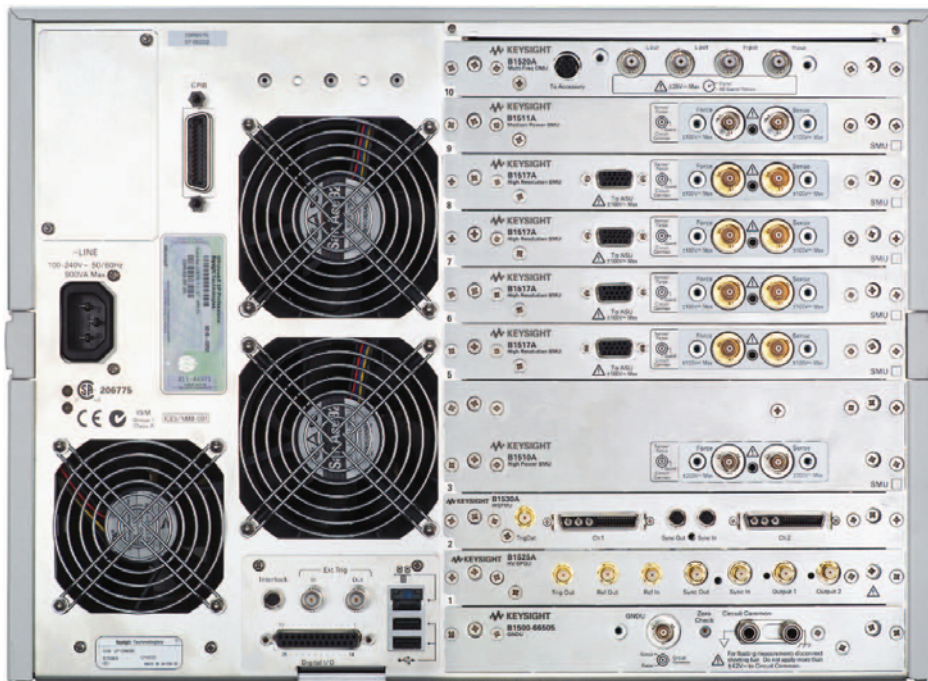


图 1. 为 B1500A 提供极高灵活性的众多可选模块

多频率电容测量单元 (MFCMU)

某些 CMOS 器件参数需要通过电容测量来评估，如栅极介电层厚度，端子重叠，以及介电层间的电容。B1500A 的 MFCMU 模块能够执行这些电容测量，从而不再需要单独的外部电容表。

该 MFCMU 的频率范围为 1 kHz 至 5 MHz。并支持 $\pm 25\text{V}$ 的直流偏置。可选的 SMU CMU 复合单元 (SCUU) 支持基于定位器的晶圆检测环境中的自动切换电容 - 电压 (CV) 测量和电流 - 电压 (IV) 测量，因此能省略执行这一功能的开关矩阵。此外，SCUU 还可将 MPSMU 或 HRSMU 作为偏置源，把电容测量的直流偏置电压扩展到 $\pm 100\text{V}$ 。

高压半导体脉冲发生器单元 (HV - SPGU)

HV - SPGU 专门用于应对先进非易失性存储器 (NVM) 的测试挑战，这些测试需要表征多层式 (MLC) 闪存的写入 / 擦除行为。

每一 HV - SPGU 模块有两个独立通道，每个通道具有 $\pm 40\text{V}$ 的源能力及内置的三态特性。一台 B1500A 最多可装入 5 块 HV - SPGU 模块，并让所有模块通道同步输出，从而同时向多个器件端口提供脉冲激励。16445A SMU/PGU 选择连接适配器允许 B1500A SMU 控制 16440A SMU/脉冲发生器选择器单元，而 16440A 可以支持 HV - SPGU 和 SMU 间轻松切换。由于具有这些先进的功能特性，HV - SPGU 可提供无与伦比的写入 / 擦除耐久性测试能力，可在短短几小时内完成一百万次循环。

除了支持杰出的闪存单元表征能力外，HV - SPGU 还具有任意线性波形产生 (ALWG) 能力，为表征新型 NVM，如相变存储器 (PRAM) 和阻变存储器 (RRAM) 输出复杂的波形序列。

波形发生器/快速测量单元 (WGFMU)

WGFMU 是包括 ALWG 电压脉冲功能和超快速 IV 测量功能的双通道模块。可用 10 ns 的最快采样率设定电压波形。WGFMU 模块的电压输出有 16 位分辨率，覆盖的电压量程包括：-5V 至 5V，-10V 至 0V，0V 至 10V。模块在 IV 测量时的最小采样间隔为 5 ns，并支持 $1\mu\text{A}$ ， $10\mu\text{A}$ ， $100\mu\text{A}$ ，1 mA 和 10 mA 的测量量程 (14 位分辨率)。

模块覆盖的应用包括脉冲 IV 测量，先进超快速负偏置温度不稳定性 (NBIT) / 正偏置温度不稳定性 (PBTI) 测量 (包括直流和交流应力)，随机电报噪声 (RTN) 测量，微机电系统 (MEMS) 电容器表征，新型非易失存储器表征，以及其它类型的瞬态或时域测量。

超窄脉冲 IV 测量系统

B1542A 脉冲 IV 系统为在 SOI 晶圆上或使用高 k 栅极介电层制造的 MOSFET 提供测量本征 IV 特性的 10 ns 脉冲 IV 能力。该 B1542A 包括 B1500A，应用软件，脉冲发生器，示波器和专业配件。

便捷和直观的操作

EasyEXPERT

Keysight EasyEXPERT 软件是基于PC的 B1500A 的标准软件，是用于控制 B1500A 的强大 Microsoft® Windows 应用程序。

EasyEXPERT 有直观的图形用户界面 (GUI)，提供简捷而高效的测量和分析环境。可通过 B1500A 的触摸屏 LCD 面板，或通过可选的 USB 键盘及鼠标与 EasyEXPERT 互动。熟悉的 Windows 环境易于掌握，并支持联网以及数据输出至基于 MS Office 的工具。

使用准备就绪的测量库

EasyEXPERT 采用独特的 "自上而下" 方法表征器件，使用户能把精力集中于测量，而不需要去了解那些复杂的仪器硬件。EasyEXPERT 配备了 230 多个按器件类型，应用和技术归类的测量算法。

图 2 显示 MOSFET 阈值电压测量的应用测试例子。用户首先选择 "CMOS" 技术类别。接着在显示表中选择 "Vth gmMax" 应用测试。其文档描述该应用测试如何从漏极电流线性区推算得到阈值电压。最后用户填入测量参数和点击启动按钮。测量随

即开始，Vth 由内置的分析功能自动提取得到。测量完成后，测量结果被自动保存到 EasyEXPERT 的内置数据库中。

如有必要，您也能容易地修改或自定义适合您特定需求的应用测试。该应用测试能容易地立刻开始进行高效率的参数测试。

此外，这些应用程序也可用于其它类型的器件，如应用测试库中包括的双极晶体管 (BJT)，分立器件，闪存单元，混合信号器件，碳纳米管或金属纳米管，功率 FET 和薄膜晶体管。这就极大地扩展了 B1500A 在表征所有半导体器件上的使用⁴。

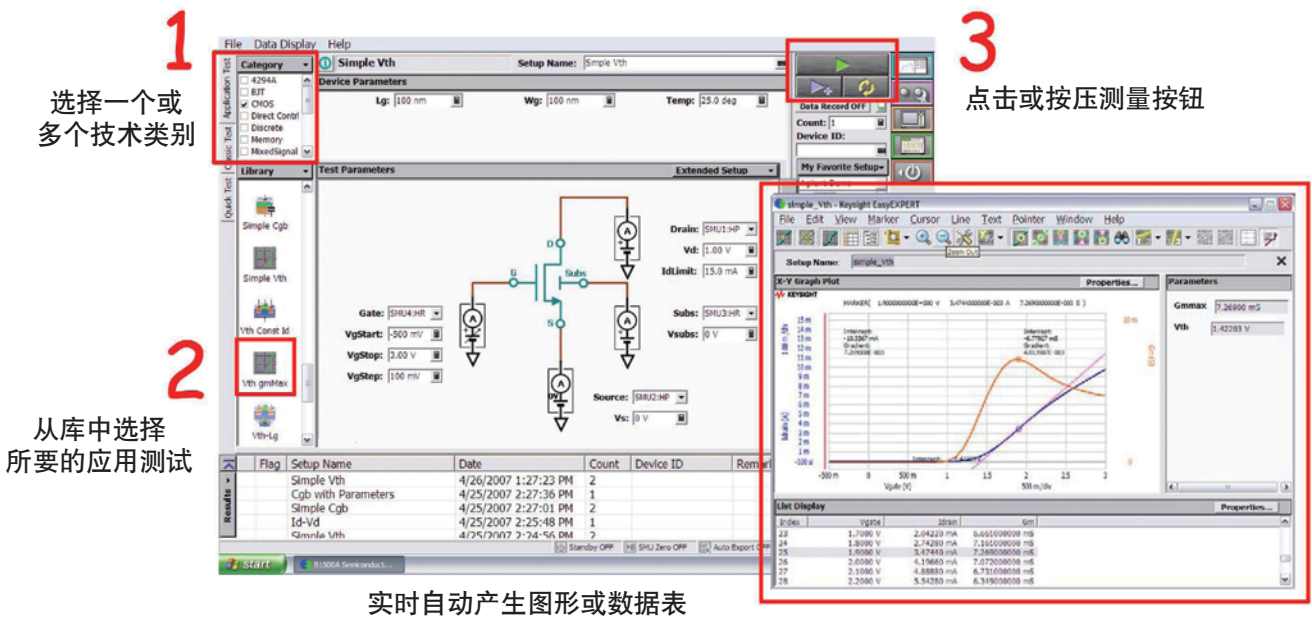


图 2. EasyEXPERT 应用测试使复杂的测量变得容易

表 1 至表 3 是适用于 CMOS 制程和器件电性表征的应用测试库列表¹。

表 1. 材料和元件开发

类别	测量项目	应用测试
结构	栅极介电层	BVgb, BVgb ThinOx, Cgb-Vg[2], Cgb-Freq[2] Log, Cgb-Vg 2Freq, QSCV[2], Ig-Vg Iforce, Ig-Vg Vforce
	结	Junction DcParam, Junction IV Fwd, Junction IV Rev, Junction BV, Cj-Freq Log, Cj-V, Diode BVAndCj-V ASU, Diode BVAndCj-V SCUU
	扩散层	VanDerPauw Square, R-I, R-I kelvin, R-I DVM, Rdiff-I, Rdiff-I kelvin, R-V, R-V kelvin, R-V DVM, Rdiff-V, Rdiff-V Kelvin
	互连	Interconnect CouplingCap, Interconnect OverlapCap
通用测试	栅极介电层, 扩散层	Generic C-f, Generic C-t

表 2. MOS-FET 的 IV 和 CV 特性

类别	测量项目	应用测试
CMOS	IV	Id-Vd, Id-Vd pulse, Id-Vd[3], Id-Vd pulse[3], Id-Vg, Id-Vg pulse, Id_Vg[3], Id-Vg Vpulse[3], IonloffSlope, Isub-Vg, IdRdsGds
	Vth	Simple Vth, Vth Const Id, Vth gmMax and Id, Vth gmMax, VthAndCgg-Vg ASU, CMOS VthAndCgg-Vg SCUU, Vth-Lg, Vth-Wg
	CV	Simple Cgb, Cgb-AC Level, Cgb-Freq Log, Cgb-Vg High Voltage, Cgb-Vg, Cgc-Freq Log, Cgc-Vg, Cgg-Freq Linear, Cgg-Freq Log, Cgg-Vg 2Freq, Cgg-Vg, QSCV[4]
	击穿	BVdss, BVgso

表 3. 可靠性测试

类别	测量项目	应用测试
可靠性	电荷泵	Charge Pumping, Charge Pumping2
	HCI	HCI, HCI2, HCI 3devices
	用 SMU 的 BTI	BTI, BTI[3], BTI2, BTI2[3], BTI 3devices, BTI 3devices[3], Timing On-the-fly NBTI ²
	用 WGF MU3 的超快速 BTI	Fast BTI(AC stress Id-Sampling), Fast BTI(DC stress Id-Sampling), Fast BTI(AC stress Id-Vg), Fast BTI(DC stress Id-Vg)
	TDDB	TDDB Istress, TDDB Istress 3devices, TDDB Istress2, TDDB Istress2 3devices, TDDB Vstress, TDDB Vstress 3devices, TDDB Vstress2, TDDB Vstress2 3devices, TZDB
	V-Ramp/J-Ramp	V-Ramp, J-Ramp
	电迁移	EM Istress, EM Istress2, EM Istress[2], EM Istress2[2], EM Lstress[6], EM Istress2[6], EM Vstress, EM Vstress2, EM Vstress[2], EM Vstress2[2], EM Vstress[6], EM Vstress2[6]

¹ 要了解特定应用测试的详情，请参看 "Keysight EasyEXPERT 应用库技术资料" (P/N: B1500-90050)。

² 要了解动态定时功能 NBTI 的详情，请参看应用指南 "AN B1500-6: 使用动态定时功能的精确 NBTI 表征" (P/N: 5989-5711EN)。

³ 要了解超快速 NBTI 的详情，请参看应用指南 "AN B1500-10 使用 Keysight B1500A WGF MU 模块的超快速 1 μ s NBTI 表征" (P/N: 5989-9963EN)。

⁴ 要了解这些应用指南的更多情况，请参看 "Keysight EasyEXPERT 应用库技术资料" (P/N: B1500-90050)。

结论

CMOS是目前使用最广的晶体管技术，也是现代电子行业的主干。尽管替代技术在不断进步，但它们不可能在短期内取代CMOS。高速和低耗这两个相悖的目标需要精确评估CMOS器件的静态和动态特性。B1500A是一种模块化和配备齐全的仪器，您能把它配置成能执行最富挑战性CMOS器件测量的解决方案。Keysight EasyEXPERT软件为B1500A提供简明而直观的仪器控制，应用测试库容易学习掌握，从而能很快开始执行高效率的CMOS器件测量。



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。

Application Note formally known as B1500-16

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：广州市天河区北路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