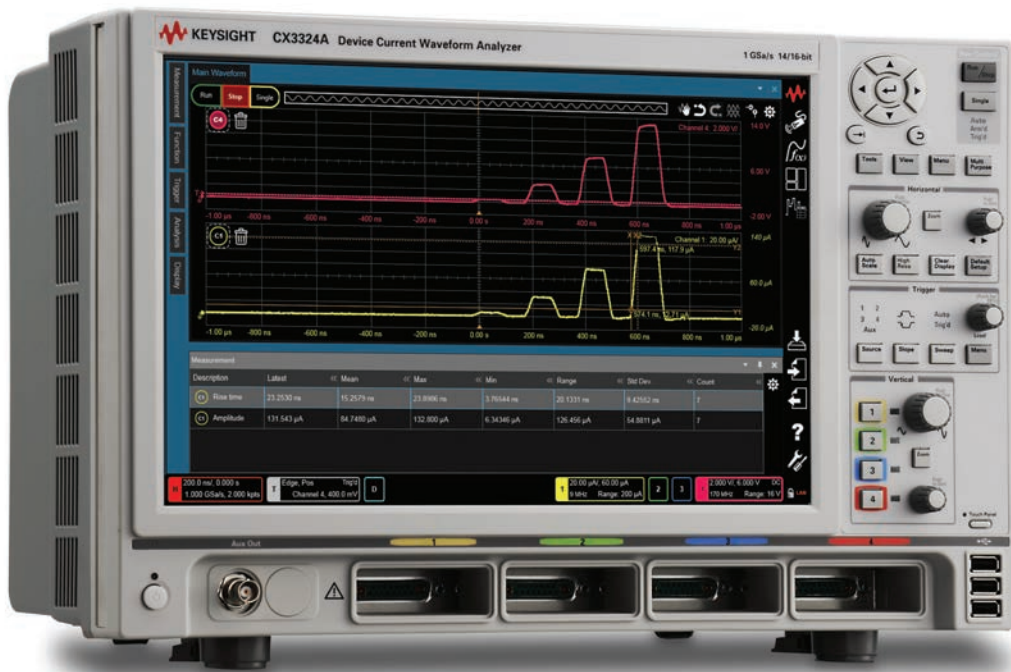


是德科技

使用 CX3300 精确测量非易失性存储器件的
电流波形

应用指南



引言

近期对智能手机技术的需求不断增长，导致非易失性存储器（NVM）的需求也非常旺盛，而物联网则继续扩大着 NVM 的应用领域。闪存是当前存储设备的主流，但业界正在对 ReRAM、PRAM 等新一代 NVM 展开广泛研究，以期通过改善速度、性能、功耗、可靠性和成本等因素，扩大低功耗存储器、存储器级内存的应用，以及替代传统的易失性存储器。

Keysight CX3300 器件电流波形分析仪，凭借其独特的超宽带小电流传感技术，可使您以互动方式快速观察持续时间小于 μs 、幅度低于 μA 的电流波形。这些正是研究器件特性和阻抗变化机理所需要的功能。CX3300 支持的电流传感器覆盖从 100 pA 到 10 A 的广泛量程，同时在 2 通道或 4 通道主机型号上拥有 1 GSa/s 采样率、200 MHz 带宽、14/16 位动态范围和 256 Mpts 存储器深度。功能强大的动态电流测量功能使您可以分析和调试 NVM 器件特征。本应用指南讲解了如何对 NVM 器件执行测量。

当前解决方案面临的测量挑战和问题

很多新型 NVM 存储器为双端子器件，开关状态可通过设置/重置脉冲实施控制，开/关状态可通过读脉冲来读取。以下图 1 显示的是施加到 NVM 器件的典型电压脉冲波形，设置/重置脉冲通常小于 $1 \mu\text{s}$ 。器件的阻抗在设置/重置脉冲期间会发生巨大变化，其变化程度除了取决于材料和制造工艺外，还取决于脉冲参数，例如电平、瞬态时间和脉宽。因此很重要的一点是，测量阻抗在设置/重置脉冲期间如何变化，并研究器件的机理，改进其性能、可靠性和制造工艺，或找到合适的替代材料。

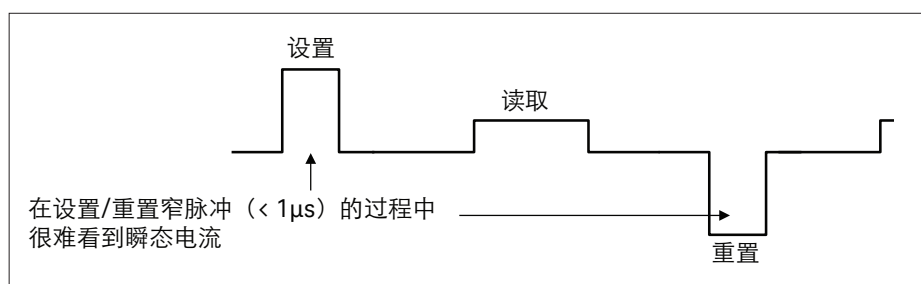


图 1. 设置-读取-重置-读取的典型脉冲周期

这种高速测量的速度太快，很难使用传统的 SMU 来记录，通常改用示波器来测量。不过，当使用示波器时，仍然面临着以下诸多挑战：

- 示波器不能直接测量电流。要将电流转换为电压，必须使用 I/V 转换器（例如 50Ω 输入电阻、外部分流电阻、I/V 放大器等）。
- 典型的 I/V 转换器会处于灵敏度要求而限制带宽，或因为带宽要求而限制灵敏度。因此用户很难找到或设计适合其 NVM 器件的 I/V 转换器。
- 电流测量的动态范围可能会受到限制，例如，当使用 50Ω 输入电阻或外部分流电阻进行 I/V 转换时。
- 示波器的动态范围和本底噪声性能不足，不适合用于小电流测量。

解决方案

CX3300 器件电流波形分析仪是用于 NVM 测量的新标准解决方案。CX3300 经过专门设计, 整合了强大的测量功能、超宽带小电流传感技术和易于使用的软件, 使您能够轻松、精确地观察此前从未观察到的快速电流波形。CX3300 的以下特性非常有利于 NVM 表征。

进行 NVM 表征的优势:

- 能够观察此前使用传统仪器从未观察到的亚 μs /亚 μA 超快和小电流波形。
- 使用先进的电流传感器, 快速支持超宽带小电流测量。
- 促进交互和探索性测量及调试, 以查找测量条件。
- 相较于电源和测量综合产品, 能够更灵活地与推荐的外部脉冲发生器结合使用。

主要特性:

- 基于超宽带小电流传感技术的电流传感器 (CX1101A、CX1102A、CX1103A)
- 最大 200 MHz 带宽 (50 MHz、100 MHz 和 200 MHz 选件)
- 最大 1 GSa/s 采样率
- 最大 256 Mpts 存储器深度 (16 M、64 M 和 256 M 选件)
- 2 通道 / 4 通道主机型号。(仅 4 通道型号提供数字通道)
- WGXA 14.1 英寸 LCD 多点触控屏, 有助于进行交互测量和调试

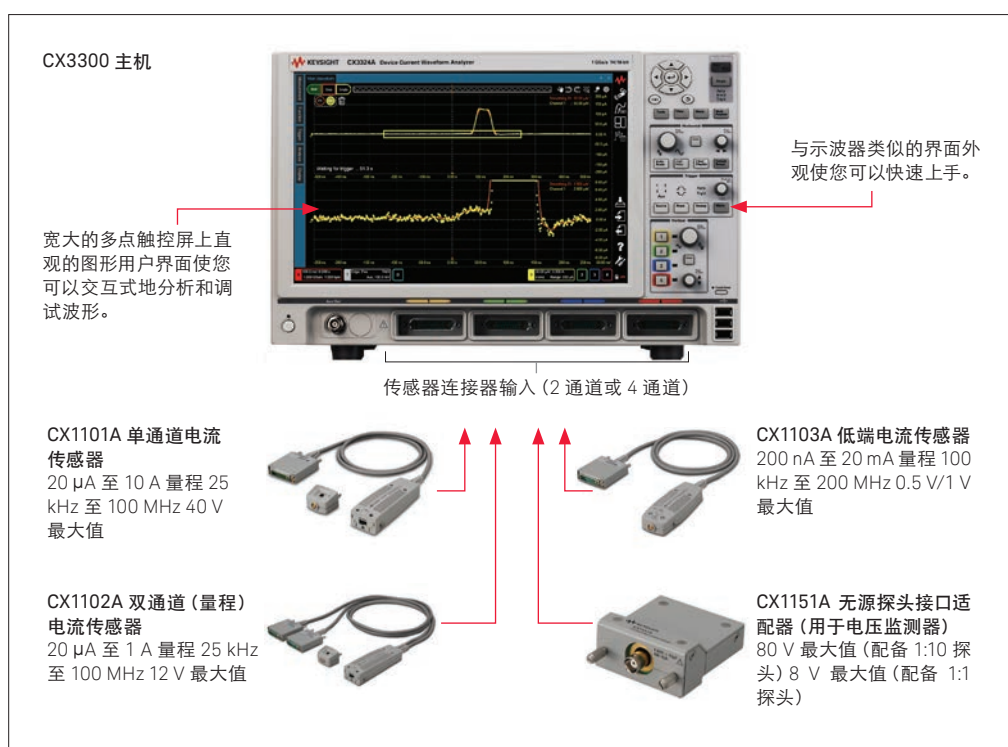


图 2. CX3300 产品概述

使用 CX3300 器件电流波形分析仪测量快速动态瞬态电流的示例

使用分立器件的测量设置示例

为了了解基本的连接并检查 CX3300 的测量性能, 使用如下面的原理图所示的 $100\text{ k}\Omega$ 分立电阻来执行简单的脉冲 IV 测量。

尽管可以使用任何脉冲发生器来施加脉冲, 但在本示例中使用的是 B1500A 半导体器件参数分析仪的 B1525A HV-SPGU。脉冲通过 $50\ \Omega$ 馈通应用于被测器件, 以防止脉冲变窄时造成的反射。

电流测量使用 CX3300 及 CX1103A 低端电流传感器来执行。CX1103A 支持从 200 nA (100 kHz 带宽) 到 20 mA (200 MHz 带宽) 的多个量程, 本例在权衡了电流灵敏度和带宽之后, 选择了 $200\ \mu\text{A}$ 量程 (9 MHz 带宽)。

除电流测量外, CX3300 还支持使用 CX1151A 无源探头 I/F 适配器 ($1\text{ M}\Omega$ 输入) 来监测电压。这有助于同时比较电压和电流。使用 T 型连接器将电压分到被测器件和原理图中的电压监测器通道。

使用所应用的脉冲, 可以非常方便地执行同步测量。CX3300 可像示波器一样进行触发, 根据电流输入、电压输入或 AUX 触发输入来触发测量。除非电流条件已知, 否则使用电压监测器或 AUX 输入进行触发更可行。

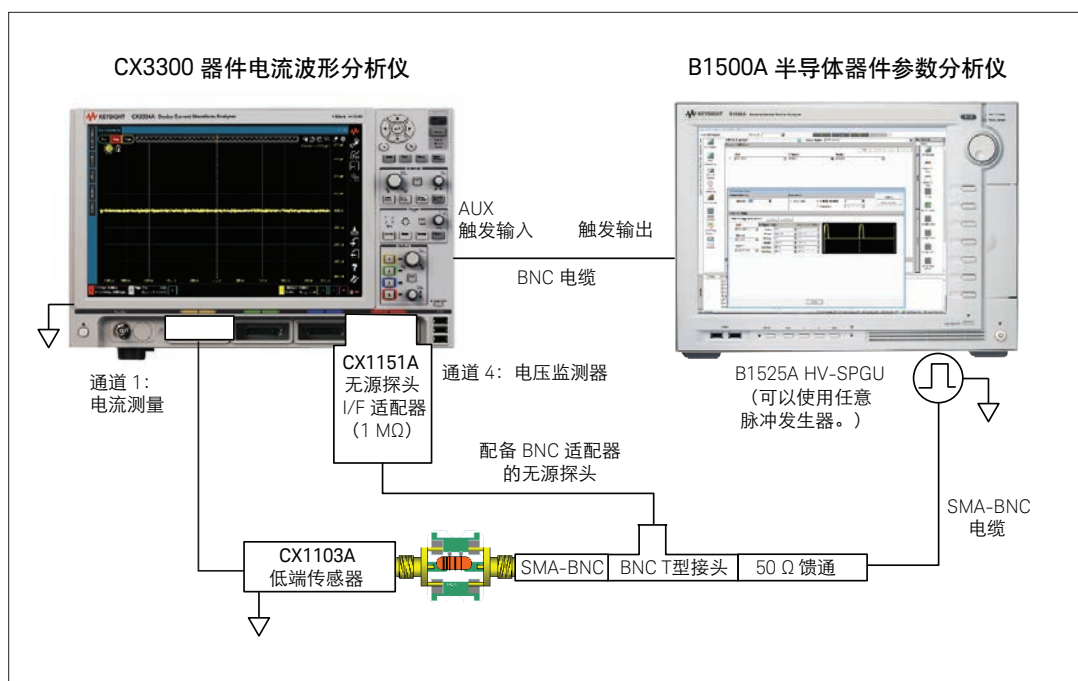


图 3. 使用分立器件的测量设置示例。

窄脉冲电流响应测量

如上所述，对于设置/重置脉冲，施加的脉冲通常会小于 $1 \mu\text{s}$ 。为了了解使用 CX3300 能看到多快的电流波形，我们从 500 mV 到 13 V 使用 100 ns 的窄脉冲步进，然后按照上述示例中的测量设置测量电流响应。

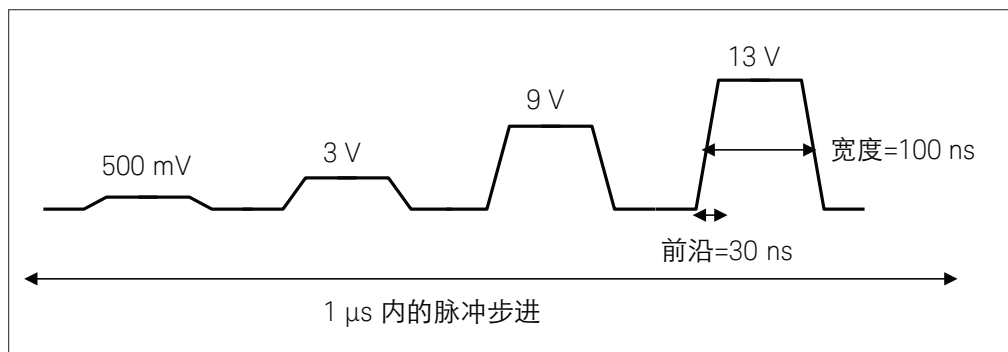


图 4. 窄步进脉冲示例

下图显示的是电流响应波形的屏幕快照。应用的电压脉冲显示为通道 4 的洋红色波形。电流波形显示为通道 1 的黄色波形。如图所示，CX3300 的高级特性，例如 1 GSa/s 采样率、 200 MHz 带宽和优异的小电流灵敏度，使您能够清晰观察 100 ns 的脉冲电流，从 $5 \mu\text{A}$ 到 $130 \mu\text{A}$ 范围内的电流灵敏度达到 3 位。这种超宽带传感技术使您能够从最初的器件研究到成品器件调试小电流，对 NVM 器件的特性进行彻底分析。

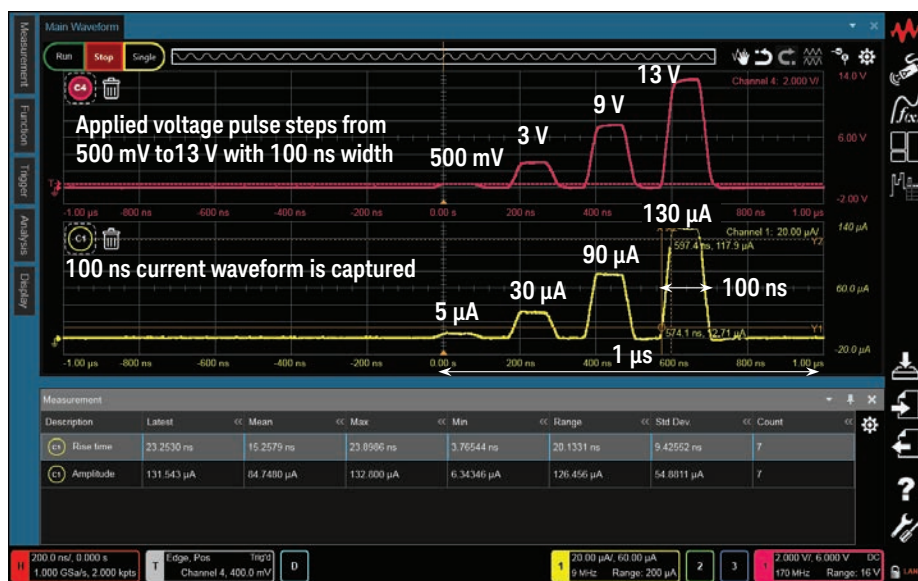


图 5. 观察到的 100 ns 电流波形

从断到通（从高阻抗到低阻抗）阻抗变化的测量

根据器件的阻抗变化，流经的电流在窄脉冲期间可能会发生巨大变化，如下面图 6 所示。

要了解器件机理，您可能想只查看阻抗从高变到低的那个区域，而非整个脉冲周期。

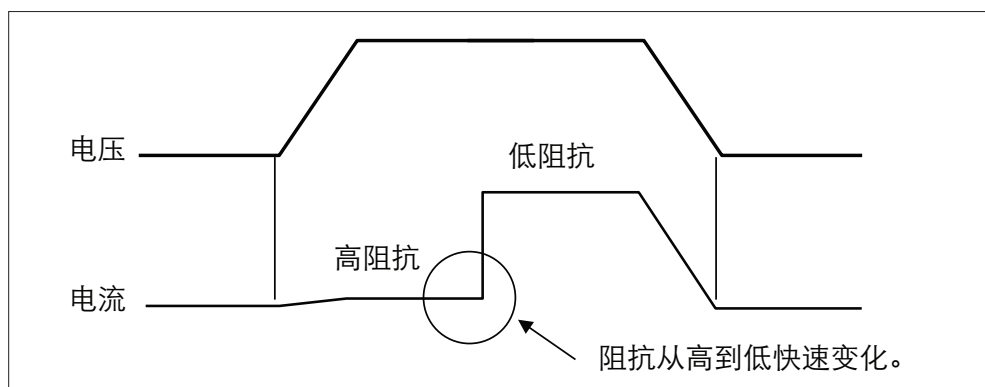


图 6. 脉冲的动态电流变化

下面的图 7 是瞬态电流响应的测量实例。为了仿真 NVM 的电流变化，使用脉冲发生器应用于被测器件 (100 kΩ) 的脉冲在 200 ns 内从 150 mV 变到 15 V。如图所示，CX3300 使您能够像预期的那样，使用 200 μA 的量程观察从 1.5 μA 到 150 μA 的瞬态电流，分辨率达到 3 位。任意位置缩放功能对于放大和精确分析波形非常有用。

电流灵敏度受到仪器和传感器固本底噪声以及测量系统中其他噪声的限制。尽管想要知道 RMS 噪声性能必须查阅技术资料，但我们可以粗略地估计它约为量程的 1/1000，在此量程中执行 3 位测量是较为现实的，如图 7 中的示例所示。电流灵敏度和带宽是相互限制的，因此为测量选择恰当量程很重要。建议器件的最大电流不要超出量程。如果需要更宽的动态范围，可以使用 CX1102 双量程传感器。尽管使用传感器的更小电流量程能够更详细地测量小电流，但一旦电流过大，传感器会达到‘超量程’状态。有关这种状态的详细说明，请见本应用指南的以下部分。

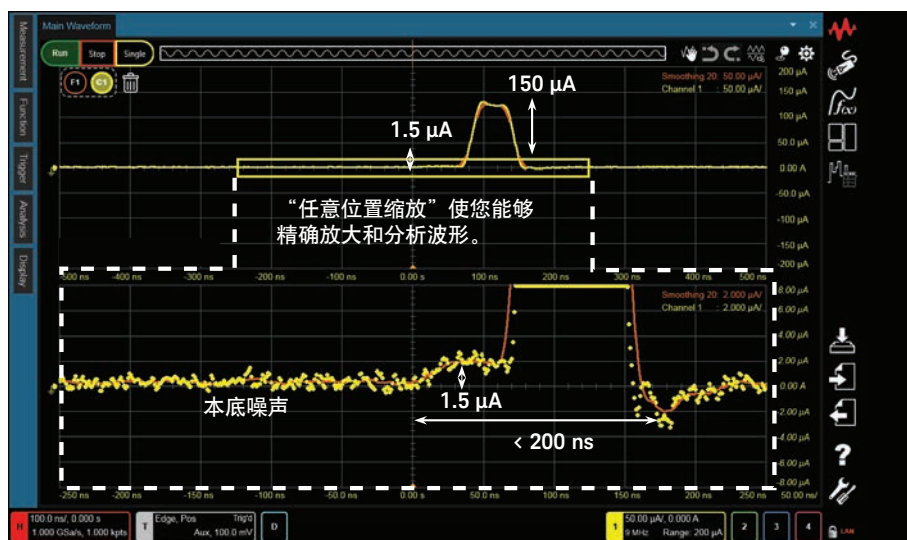


图 7. 利用传感技术和任意位置缩放功能可观察小电流特性。

晶圆上测量设置示例

由于 NVM 器件通常在晶圆上制造和测量，所以可以结合使用 CX3300 和晶圆探头来测量。基本原理图与此前设置相同，但下面图 8 显示的设置示例是使用晶圆探头进行交互式手动测量。如图所示，N2787A 3D 定位器和 CX1905A 附件可帮助您定位和连接传感器。脉冲发生器输出和传感器输入通过 SMA-SSMC 电缆进行连接，该电缆配有探头机械手。建议您只将 CX1101A、CX1102A 和 CX1103A 的一个传感器输出放在测量路径的低端（电路公共端）。它能降低充电电流对传感器杂散电容的影响，也能防止插入其他传感器带来的影响。

由于这种高带宽测量与直流测量不同，除了本来要确定的器件特征之外，您可能还会观察到噪声、残留电容/电感的影响等意外干扰。为了减少这些干扰，重要的措施包括缩短电缆长度、连接传感器的位置距离，并在尽可能靠近被测器件的点上统一所有其他测量元件的公共电路（潜在参考点）。

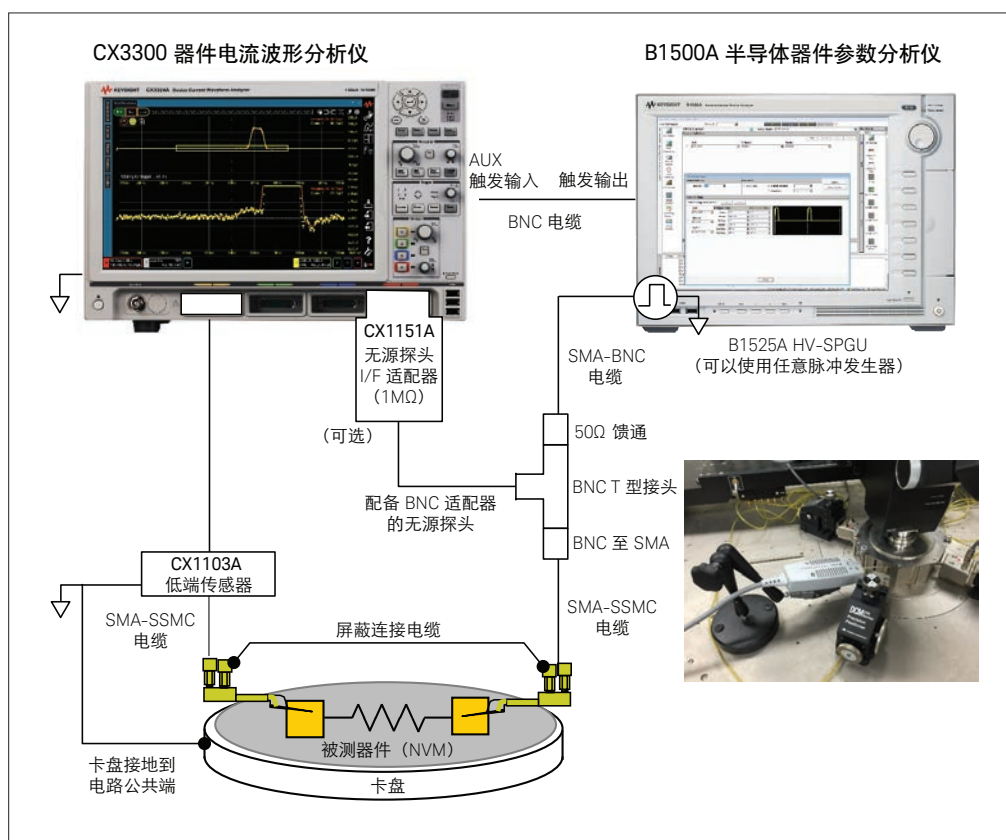


图 8. 晶圆上测量设置示例

测量技巧

灵活选择电流传感器和量程，满足最大电流、灵敏度和带宽要求

CX3300 支持三种传感器--CX1101A、CX1102A 和 CX1103A，它们具有不同的带宽、电流范围和灵敏度，可以满足各种需求，见图 9。

除了带宽和量程外，这些传感器在最大共模电压、输入阻抗等方面也有差异。因此建议您只将一个传感器放在低端（电路公共端），重要的是要根据要求选择恰当的传感器。以下是每种传感器的应用示例。

CX1101A: 这种传感器在 2 mA (3μ Arms) 至 1 A (2 mArms) 的量程内支持 100 MHz（独立传感器）的宽带宽。由于其共模电压可高达 40 V，它可用于分解测量，例如。

CX1102A: 与 CX1101A 一样，CX1102A 也能在 2 mA (3μ Arms) 至 1 A (2 mArms) 的量程内提供 100 MHz（独立传感器）宽带宽，但共模电压可高达 12 V。这种传感器提供了双量程，即一个主量程和一个副量程，以便支持整个宽动态范围的测量。注意，除 1A 量程外，副量程确定为主量程的 1/1000，每个量程都占用相应的测量通道。

CX1103A: 这个传感器支持超宽带，并且在整个频率范围内具有优异的灵敏度，可根据您的需求为您提供灵活选择。这个传感器只能用在低端，最大共模电压限制在 1V 以下。例如，它可用于注重开关特性的瞬态测量。

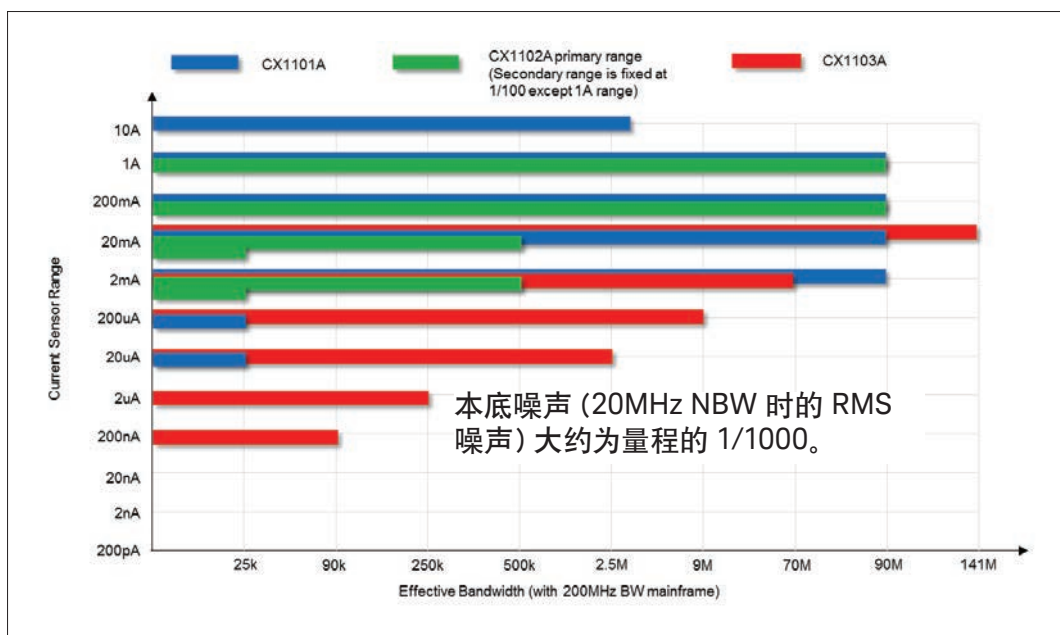


图 9. 三种传感器可以满足广泛的带宽和电流要求

进行恰当测量时的考虑因素

- 器件的电流灵敏度和最大流经电流

由于电流测量限制在量程的上限和本底噪声之间，因此选择恰当的量程很重要。总之，尽管实际的本底噪声可能会受到环境噪声和测量条件的影响，但本底噪声可以按照一个量程满标度的 1/1000 来估计，在一个量程内可实现大约 3 位的灵敏度。

要选择恰当的传感器和量程，必须考虑到最大电流、灵敏度和带宽，作为第一步，我们建议您首先选择能够覆盖最大器件流经电流的最小电流量程（例如，如果器件电流为 10 μ A，那么选择 20 μ A 量程）。然后，检查量程的带宽，如果带宽不够，则选择高一级的量程。

为了更详细观察小电流区域，可以选择低于器件最大电流的电流量程。如果电流超过量程上限，传感器会达到‘超量程’状态。但只要电流仍然小于保险丝的保护电流，‘超量程’状态就不会损坏传感器，不过传感器电路可能会影响测量条件，器件可能会需要更长时间才能从‘超量程’状态恢复。在‘超量程’状态下或此状态刚刚结束时，测量数据可能不精确。

- 带宽和脉冲参数

在根据您的测量要求选择恰当传感器时，带宽也是一个重要的考虑因素。主机和传感器规定了各自的带宽，有必要使用以下公式并根据主机带宽来计算整个仪器的有效带宽。

$$BW_{effective} = \frac{1}{\sqrt{1/BW_{sensor}^2 + 1/BW_{mainframe}^2}}$$

有效带宽限制了可以测量的最小脉冲宽度。我们知道，仪器的上升时间性能受仪器有效带宽 (BW_{ef}) 的限制，计算公式为 $Tr = 0.35/BW_{ef}$ 。例如 CX1103A，对于 20mA 量程和 141 MHz BW_{ef} ，仪器 Tr (Tr_{inst}) 限制为 2.5 ns，对于 200 μ A 量程和 9 MHz BW_{ef} ， Tr 限制为 39ns。通过使用 Tr_{inst} 和输入脉冲 Tr (Tr_{pulse})，实际测量的 Tr 可使用下式来计算。

$$Tr_{meas} = \sqrt{Tr_{inst}^2 + Tr_{pulse}^2}$$

此公式表明，除非 Tr_{inst} 比 Tr_{pulse} 快太多，否则 Tr_{inst} 不可能为负值。当您应用 Tr_{pulse} 与 Tr_{inst} 相近的窄脉冲时，注意测得的 Tr 包含使用以上公式计算出的计时误差。如果 Tr_{pulse} 等于 Tr_{inst} ，计时误差大约为 40%，通过设置 Tr_{pulse} 为 Tr_{inst} 的 3 倍，可以将计时误差降至 5%。

很多新一代的 NVM 器件需要您测量小于 1 μ s 脉冲（例如 100 ns）内的电流。在这种情况下，脉冲后沿时间 (Tr) 可能减小至几十纳秒，并将限制和误差纳入考虑。

- 采样率

总之，采样率需要达到带宽的 5 倍。CX3300 对于 200MHz 带宽提供最高 1GSa/s 的采样率（1 ns 计时分辨率），足够用于此处所讨论的测量。采样率和数据点数通常可以自动调节，也可手动设置。尽管 CX3300 除了支持标准模式（14 位 ADC）外，还支持高分辨率模式（16 位 ADC），请注意采样率和带宽分别限制为 75MSa/s（13 ns 计时分辨率）和 14MHz。波形可通过在测量点之间插入插值来显示，但原始数据只能按规定采样率进行测量。

当您遇到测量问题时

当信号频率变得越来越高时，您可能会观察到此前在直流或低频测量中看不到的各种现象。这并非全是器件特性，也可能是由测量环境的各种因素所造成的干扰。因此，最好测量已知器件特征（例如电阻）作为参考，然后再与目标器件进行比较。当您在进行测量时遇到问题，应遵从以下几个步骤来解决：

- 电流波形不符合预期

检查输入电压及电流。CX1151A 的电压监测功能对于调试非常有用。如果发现电压波形不符合预期，请检查连接，包括电缆和连接器。当应用的脉冲速度很快时，试着使用 50 Ω 馈通实现阻抗匹配。

- 电压波形没问题，但电流波形不符合预期

检查带宽和采样率对于电流测量是否恰当。如果您使用自动量程，标度功能可能会自动向上或向下更改量程，带宽可能会发生意外变化。如有需要，您可以禁用自动量程，使量程固定下来。还有一个问题，电流响应可能会受到测量路径中寄生因素的干扰。在高频测量中，电缆与连接器的寄生电容和电感可能不像直流测量那样容易忽略，因此应尽可能缩短电缆。此外，器件自身也可能拥有此类寄生因素。例如，除了电压切换（例如脉冲上升沿）时的电阻电流外，还可能观察到恒定电流。电压按照 dV/dt 的速率变化，电流可根据平行电容 C 来推导，计算公式为 $I=dQ/dt=C(dV/dt)$ 。

- 电流波形出现噪声

首先，断开被测器件与电缆的连接，然后检查噪声。这就是仪器的本底噪声参考。如果在连接电缆和被测器件后，噪声变得越来越高，它可能是由测量设置引入的。要降低这种噪声，需要按照上述说明缩短电缆长度。此外，需要检查电路公共端是否已尽量靠近被测器件连接。如果导体处于浮置状态，并未连接至任何电位，它可能就是一个噪声源。电路公共端基本上使用连接器保护罩来连接，设法将接地电缆尽可能靠近被测器件。

总结

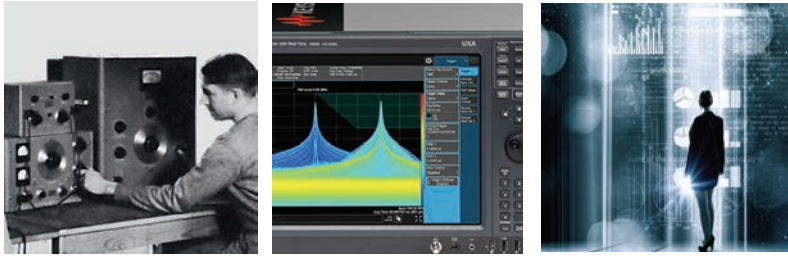
本应用指南讲解了如何使用 CX3300 进行 NVM 表征。

CX3300 凭借 1GSa/s 采样率、200MHz 带宽、低本底噪声和先进的电流传感器，能够在广泛的频率范围内进行超宽带小电流测量。它支持对 NVM 器件执行亚 μA /亚 μs 电流波形测量，这些测量很难使用传统方法来获得。

CX3300 使您可以轻松、精确地观察到 NVM 材料和器件的真实瞬态电流波形，这在以前是看不到的。它拥有非常广泛的功能，从对脉冲瞬态特征执行基础研究，到对器件执行更详细的评测，因此可以支持 NVM 技术的最新突破。

演进

我们独有的硬件、软件和技术人员资源组合能够帮助您实现下一次突破。
我们正在开启技术的未来。



从惠普到安捷伦再到是德科技

myKeysight
www.keysight.com/find/mykeysight
个性化视图为您提供最适合自己的信息！

是德科技服务

KEYSIGHT SERVICES
Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

www.keysight.com/find/services

我们拥有业界领先的技术人员、流程和工具，可以提供深度的设计、测试和测量服务。最终的结果就是：我们帮助您应用新技术，以及经工程师改进的流程，从而降低成本。



3 年保修

是德科技卓越的产品可靠性和广泛的 3 年保修服务完美结合，从另一途径帮助您实现业务目标：增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。



是德科技保证方案

www.keysight.com/find/AssurancePlans

10 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。

www.keysight.com/go/quality

是德科技公司

DEKRA 认证 ISO 9001:2015

质量管理体系



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。

www.keysight.com/find/cx3300

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

是德科技客户服务热线

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863
电子邮件: tm_asia@keysight.com

是德科技(中国)有限公司

北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦
电话: 86 010 64396888
传真: 86 010 64390156
邮编: 100102

是德科技(成都)有限公司

成都市高新区南部园区天府四街 116 号
电话: 86 28 83108888
传真: 86 28 85330931
邮编: 610041

是德科技香港有限公司

香港北角电器道 169 号康宏汇 25 楼
电话: 852 31977777
传真: 852 25069233

上海分公司

上海市虹口区四川北路 1350 号
利通广场 19 楼
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200080

深圳分公司

深圳市福田区福华一路 6 号
免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元
电话: 86 755 83079588
传真: 86 755 82763181
邮编: 518048

广州分公司

广州市天河区黄埔大道西 76 号
富力盈隆广场 1307 室
电话: 86 20 38390680
传真: 86 20 38390712
邮编: 510623

西安办事处

西安市碑林区南关正街 88 号
长安国际大厦 D 座 501
电话: 86 29 88861357
传真: 86 29 88861355
邮编: 710068

南京办事处

南京市鼓楼区汉中路 2 号
金陵饭店亚太商务楼 8 层
电话: 86 25 66102588
传真: 86 25 66102641
邮编: 210005

苏州办事处

苏州市工业园区苏华路一号
世纪金融大厦 1611 室
电话: 86 512 62532023
传真: 86 512 62887307
邮编: 215021

武汉办事处

武汉市武昌区中南路 99 号
武汉保利广场 18 楼 A 座
电话: 86 27 87119188
传真: 86 27 87119177
邮编: 430071

上海MSD办事处

上海市虹口区欧阳路 196 号
26 号楼一楼 J+H 单元
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200083

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改
© Keysight Technologies, 2016 - 2017
Published in USA, March 3, 2017
出版号: 5992-1631CHCN
www.keysight.com