



# 更灵活的实验室测试需求 需要有能够涵盖多种测量 类型的布线系统

白皮书



## 更灵活的实验室测试需求需要有能够涵盖 多种测量类型的布线系统

作者

Wayne Goeke, Senior Staff Technologist  
Keithley Instruments, Inc.

了解半导体器件的电气特性和制造过程，它需要通过一系列不同的测量。I-V, C-V 和基于脉冲的测量是最常见的测量。所有这三种测量类型都包含在领先的 SDC( 半导体器件表征仪 ) 的功能中。这些表征仪尽量将这些测量集成到一起，以减少进行这些测量时所消耗的时间和精力。在集成这些测量时，最困难的问题之一就是，每种测量类型所需的布线是完全不同的。探针尽管从仪器到探针台舱壁和通道的布线相当简单，但从舱壁到尖端的布线可能会令人困惑和困难。本文的目的是解释不同的布线要求，并描述一种提供高性能且易于使用的单一型适配多种测量的布线系统。

### I-V 测量布线要求

I-V 测量使用四根三轴电缆连接进行测试，如**图 1** 所示。Guarding 是实现低电流 I-V 测量所必需的，这使得这些测量必须使用三轴电缆。测量信号接到芯线上，内屏蔽层被用于信号的保护（噪声屏蔽），外屏蔽用于安全屏蔽，以保护用户隔离可能施加在 guard 端和信号回路上的高压。为了实

现遥感或开尔文连接，所以需要四根电缆。Sense 端的电缆使仪器能够准确地测量被测物上的电压。如图 1 所示，连接双端 DUT。

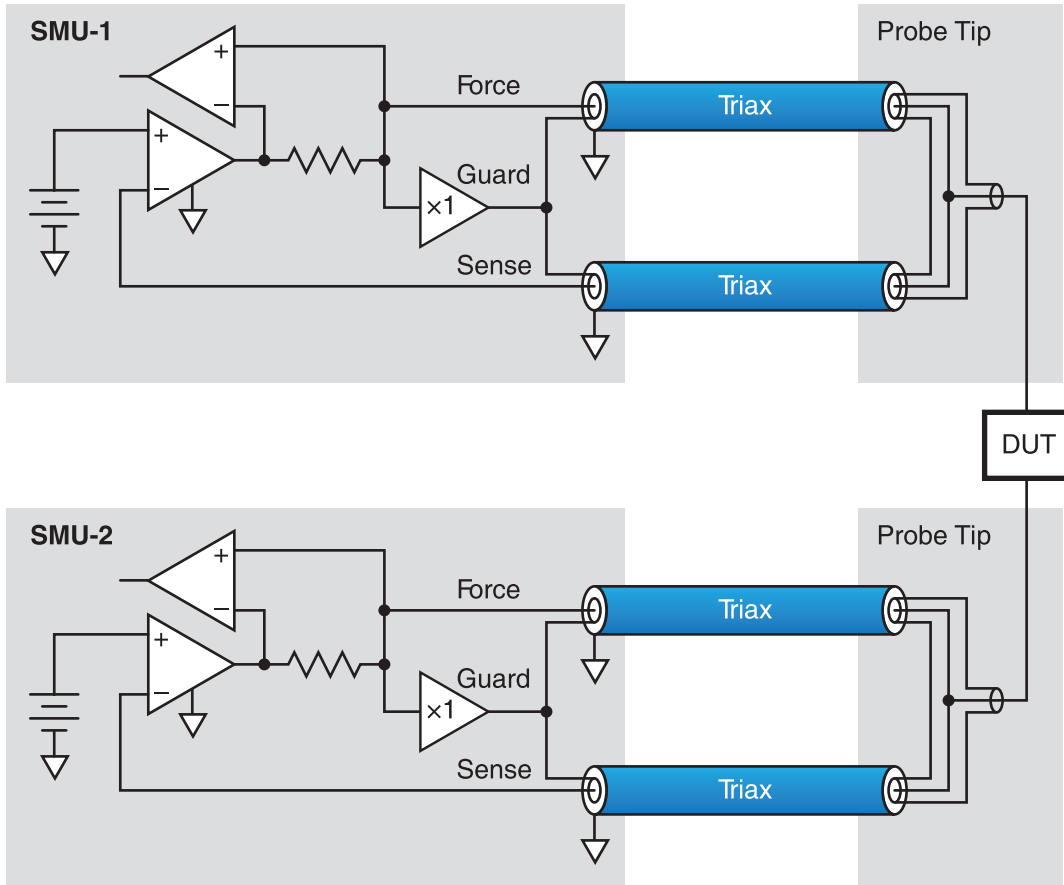


图 1: 开尔文连接的 I-V 测量连接方案

## C-V 测量电缆要求

C-V 测量使用四根同轴电缆，如图 2 所示。线缆外层连接在一起，以控制特性阻抗去看信号。四根电缆的外层必须在 DUT 附近互连。

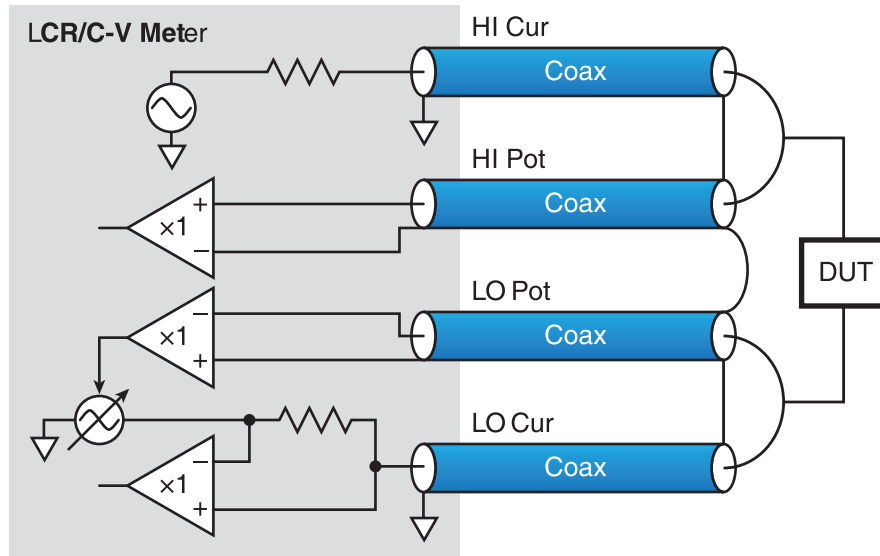


图 2: 开尔文连接的 C-V 测量连接方案

### 脉冲测试的布线需求

脉冲测试的布线需求是三种测量类型中对带宽要求最高的，因此电缆必须具有与源阻抗匹配的特性阻抗，以防止源反射对 DUT 造成反射。脉冲测量不需要使用 sense 端的电缆。图 3 显示了到双端 DUT 的典型连接。脉冲是三种测量类型中唯一一种将 DUT 连接到电缆外屏蔽层的。

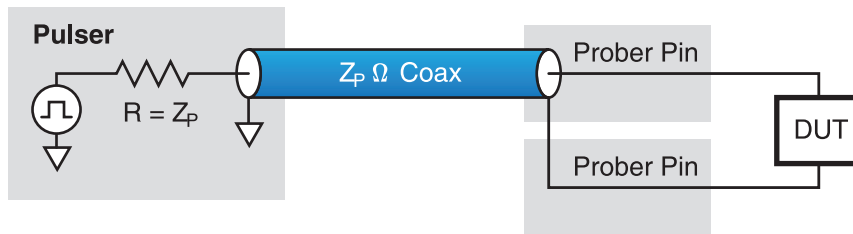


图 3: 开尔文连接的脉冲测试连接方案

表 1 小结: I-V, C-V 和脉冲 I-V 测量对电缆的不同要求

直流 I-V 测试	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 三同轴线</li> <li>• 开尔文连接</li> <li>• 隔离, guard 端子</li> </ul>
LCR/C-V 测试	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同轴线</li> <li>• 开尔文连接</li> <li>• 屏蔽层在探针前端短接</li> </ul>
脉冲 I-V 测试	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同轴线</li> <li>• 非开尔文连接 (单根线缆)</li> <li>• 屏蔽层连接到探针前端</li> <li>• 屏蔽可选连到探针前端</li> </ul>

## 传输线相关理论

考虑到不同测量类型的不同布线要求所带来的挑战, Keithley 基于对两种传输概念的理解, 开发了一种多测量布线系统。第一个概念是, 如果有两条并联的传输线, 那么组合传输线的特征阻抗就是每条传输线的特征阻抗的并联组合, 如图 4 所示。

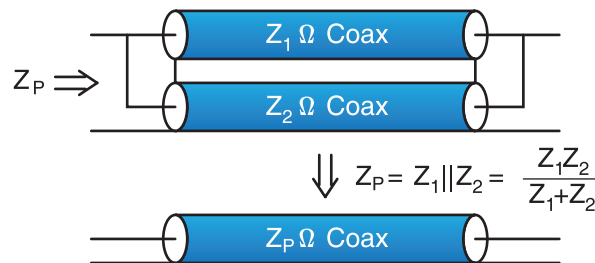
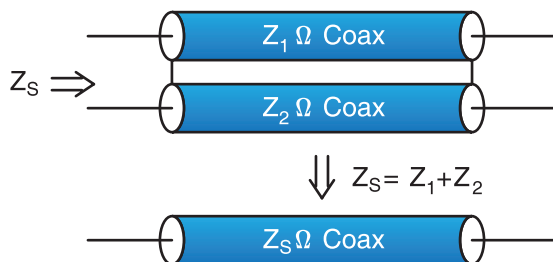


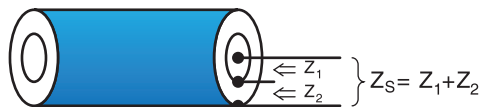
图 4: 在两条平行传输线的情况下, 组合传输线的特征阻抗是每条传输线的特征阻抗的并联组合

第二种传输线理论是, 如果有两条传输线串联连接, 如图 5 所示, 则组合传输线的特性阻抗是两条单独传输线的特性阻抗之和。



**图 5:** 当两条传输线串联连接时，组合传输线的特性阻抗是两条单独传输线的特征阻抗之和

这种串联排列可以在三轴电缆中观察到，如图 6 所示。三轴电缆实际上是两条同心排列的传输线。内屏蔽和中心导体构成一条传输线 ( $Z_1$ )，内屏蔽和外屏蔽构成第二条传输线 ( $Z_2$ )。中心导体与外屏蔽相互作用的特性阻抗 ( $Z_s$ ) 等于共享内屏蔽的两条传输线的和。



**图 6:** 三轴电缆

了解到这一点，Keithley 开发了一种电缆套件，可以支持 I-V, C-V 和脉冲 I-V 测量，这减轻了系统操作员的负担，不需要每次有新的测量类型时，都必须从测试仪器到探头进行重新布线。电缆套件有两个版本，4210-MMPC-C 用于 Cascade Microtech 探针和型 4210-MMPC-S 用于 SUSS MicroTec 探针。

## I-V and C-V 系统布线概览

从图 1 所示的 I-V 系统开始，图 7 中的配置显示了如何将其连接到 LCR/C-V 仪表。

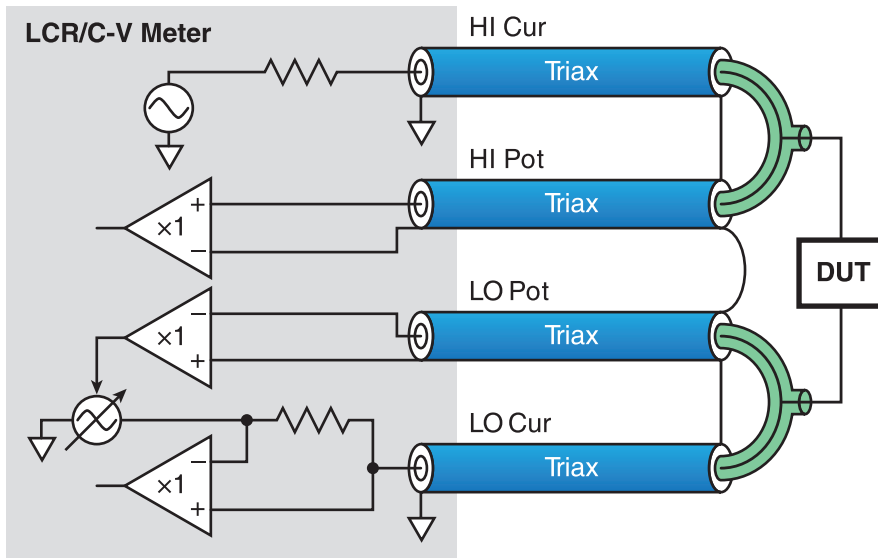
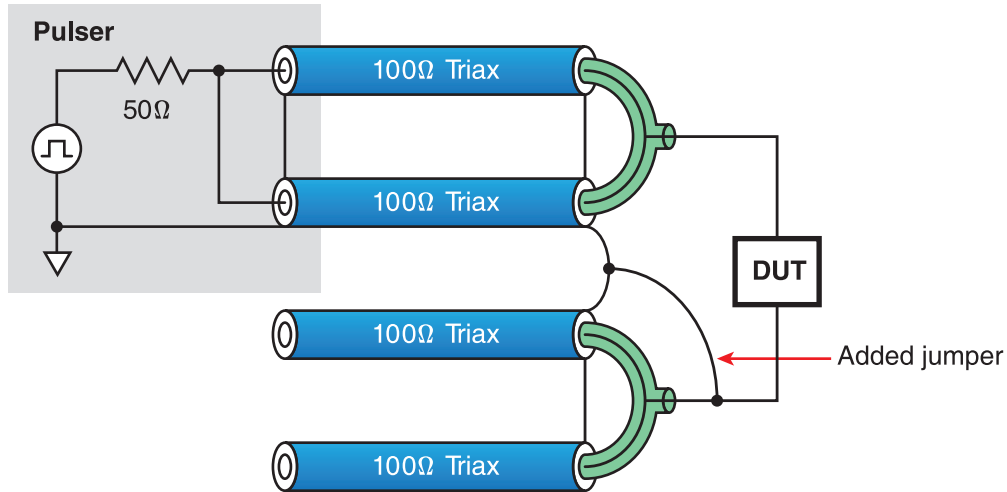


图 7: DUT 与 LCR/C-V 表之间的连接

注意：Guard 端允许浮动，外屏蔽层在探头处都是相互连接的。（连接外屏蔽层不会对 I-V 测量产生不利影响。在某些情况下，它甚至可以提高 I-V 测量性能。）三轴电缆取代图 2 所示的同轴电缆。可以通过重新连接仪表端的电缆，对 I-V 和 C-V 测量进行切换。甚至可以在不断开晶圆与探头连接的情况下进行切换。

## 添加 50Ω 传输线

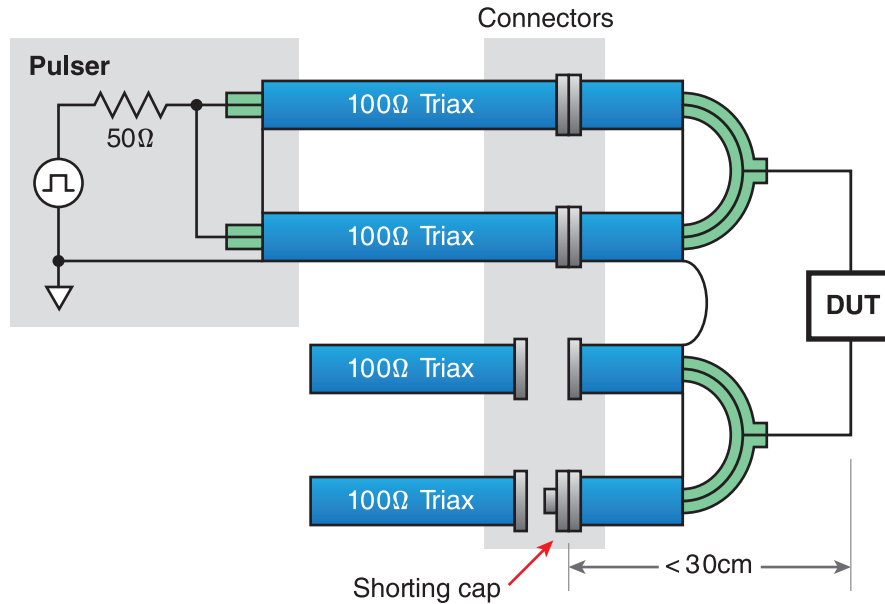
脉冲测试（与其他测试类型先死）需要 50Ω 的传输线连接到 DUT/ 被测物。如果三轴电缆设计为从芯线到外屏蔽层的特性阻抗为 100Ω，并且其中两根电缆并联连接，则该组合的特性阻抗为 50Ω。此外，脉冲通常需要一个或多个 DUT 引脚连接到地。芯线可以通过增加跳线连接到外屏蔽上，如图 8 所示，以进行接地连接。



**图 8:** 脉冲测试通常需要将一个或多个 DUT 引脚连接到地。可以使用跳线将中心连接器绑到外屏蔽上，以实现此接地连接

将这个跳线连接到探针臂的末端，需要将探针针尖从晶圆上移除，以保护晶圆；不幸的是，探针台扎针区域可能很难进入。一个更简单的替代方案是在短电缆的末端使用接地连接；但是，这样会降低地线的有效带宽。为了获得干净的 10ns 上升时间，地线的电气长度必须小于 1.5ns（约 30cm），这将允许在探针台机械臂的安装基座上施加接地。在靠近探针机械臂底座的电缆中添加连接器，可以插入一个短杰帽，如图 9 所示。可以在不干扰探针针前端的情况下添加接地短路，从而可以从 I-V 和 / 或 C-V 测量切换到脉冲测量，而无需重新对晶圆进行扎针。允许操作员在探针与晶圆保持连接时，快速，轻松地进行设置更改，减少 pad 的损坏，并为以上三种类型的测量保持相同的连接阻抗。





**图 9:** 要插入短接帽，需要在探头机械手支架附近的电缆中添加

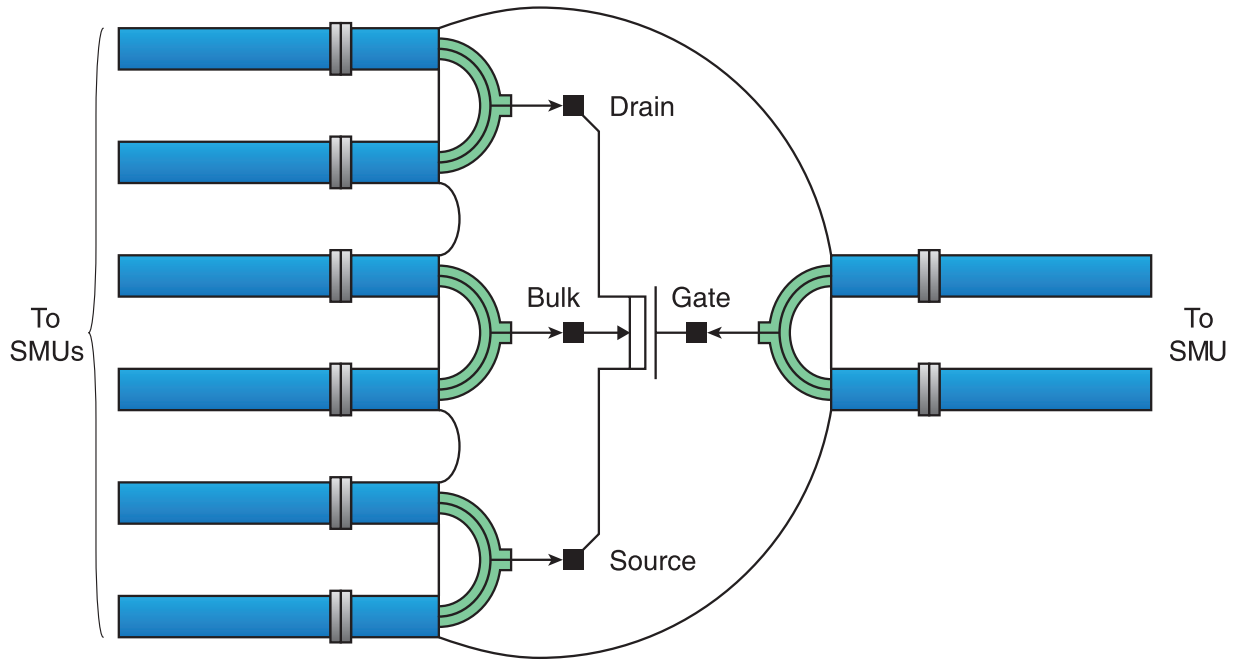
为了简化从开尔文测量到非开尔文测量的转换，有必要允许电缆进行并联。这意味着，当从一种测量类型切换到另一种测量类型时，不需要增加或移除电缆；它们可以简单地从一组仪器连接设置转换到另一组上。考虑到大多数快速脉冲设备需要  $50\Omega$  的传输路径，电缆的并联组合应该约等于  $50\Omega$ ，因此每根电缆必须具有  $100\Omega$  的特性阻抗。大多数 LCR/C-V 仪表设计用于  $50\Omega$  电缆，但用于 Keithley 4200A-SCS 系统中的 4200-CVU 模块的设计是基于使用  $100\Omega$  的电缆。

## 小结

Keithley 的这种连接方式的主要优点是：无论进行何种类型的测量，都不需要改变探针台的电缆。这使得在进行 I-V，C-V 和脉冲测试之间的切换更加简单，简化了测试设备的表征过程。此外，可以在探针针尖与晶圆接触时进行设置更改，从而减少 Pad 的损坏，并为所有三种类型的测量时钟保持相同的接触阻抗。

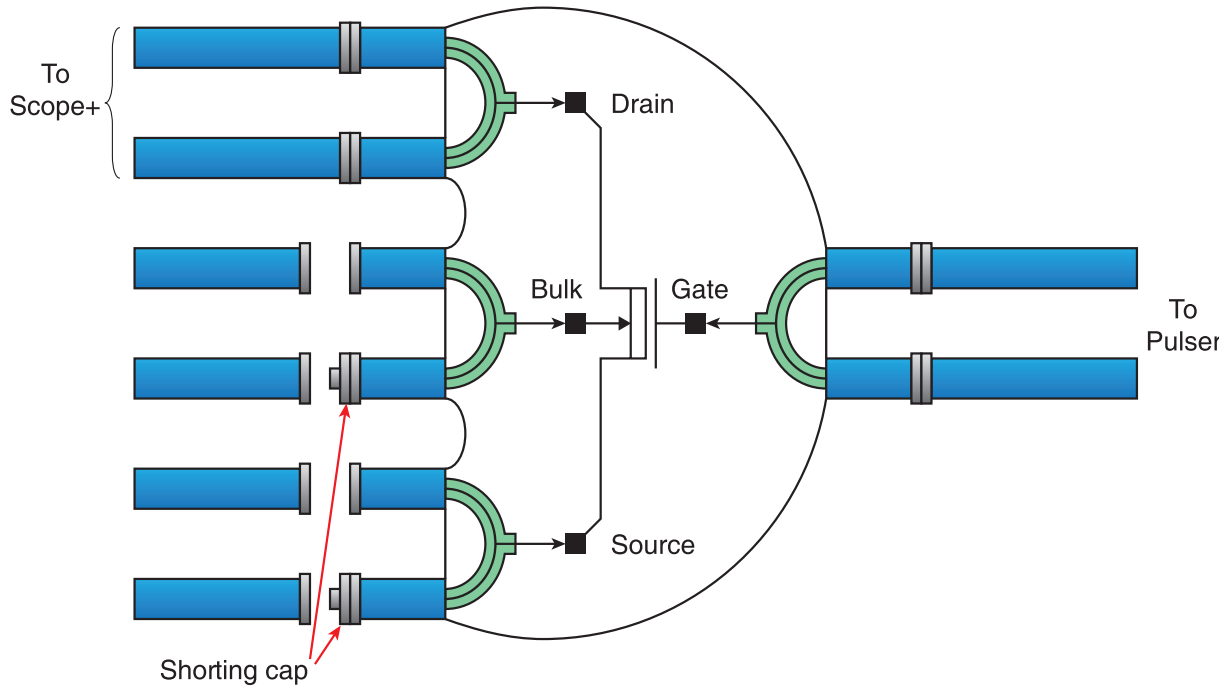
## 附录 - 四端器件测量

许多 I-V 和脉冲测量是在具有两个以上端子的被测上进行的。最常见的器件类型是四端 MOSFET。**图 10** 演示了四端 DUT 的 I-V 测量设置。



**图 10:** 四端器件的 I-V 测量连线配置

连接器可以断开，并将短接帽插入源和电缆中，以便进行脉冲测量。**图 11** 演示了脉冲 I-V 测量设置。



**图 11:** 脉冲 I-V 测量装置。

在 DUT/ 被测物附近使用短电缆的一个额外好处是，可以把 DUT/ 被测物的终端短路在一起并且保持到达或超过 1MHz 的测试带宽。**图 12** 显示了一个四端 C-V 测量，其中四个端子中的三个短接在一起，以便进行两端器件的 C-V 测量。相较于在 LCR/C-V 设备后端进行短接，在探头处短接可以提高 C-V 测量的测试频率。

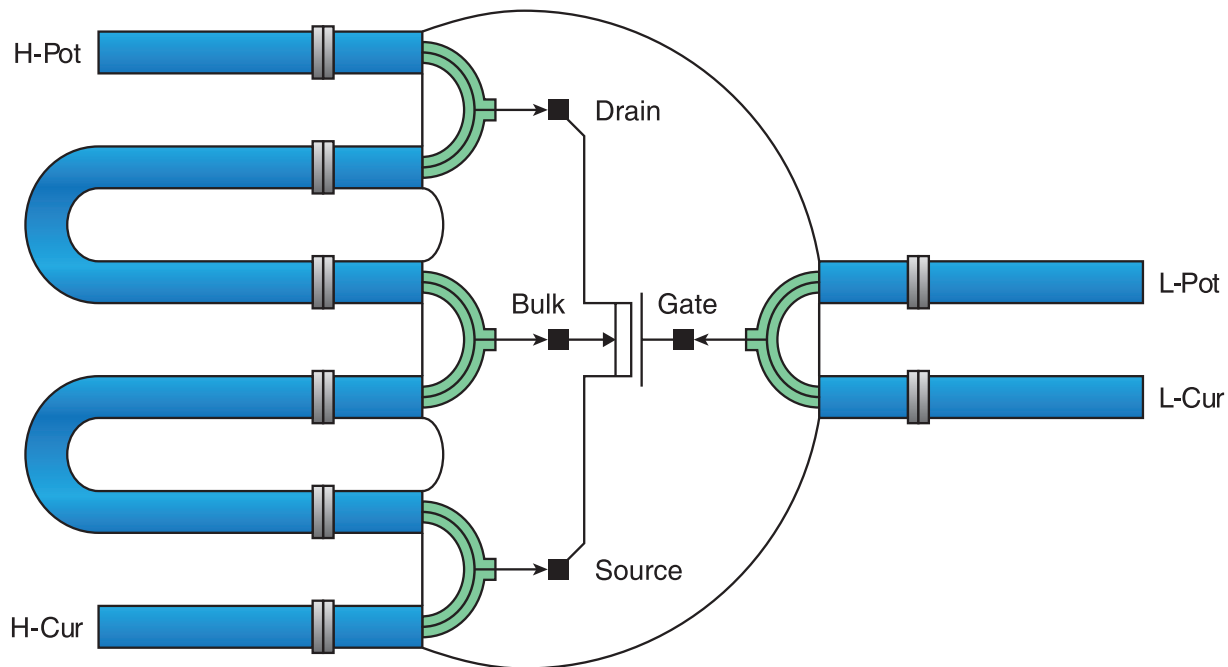


图 12: 四端测试设备，其中四个端子中的三个短接在一起进行两端 C-V 测量

Specifications are subject to change without notice.  
All Keithley trademarks and trade names are the property of Keithley Instruments, Inc.  
All other trademarks and trade names are the property of their respective companies.

**KEITHLEY**

A G R E A T E R M E A S U R E O F C O N F I D E N C E

KEITHLEY INSTRUMENTS, INC. ■ 28775 AURORA ROAD ■ CLEVELAND, OHIO 44139-1891 ■ 440-248-0400 ■ Fax: 440-248-6168 ■ 1-888-KEITHLEY ■ www.keithley.com

**BELGIUM**

Sint-Pieters-Leeuw  
Ph: 02-3630040  
Fax: 02-3630064  
info@keithley.nl  
www.keithley.nl

**CHINA**

Beijing  
Ph: 8610-82255010  
Fax: 8610-82255018  
china@keithley.com  
www.keithley.com.cn

**FINLAND**

Espoo  
Ph: 358-40-7600-880  
Fax: 44-118-929-7509  
finland@keithley.com  
www.keithley.com

**FRANCE**

Saint-Aubin  
Ph: 01-64532020  
Fax: 01-60117726  
info@keithley.fr  
www.keithley.fr

**GERMANY**

Germering  
Ph: 089-84930740  
Fax: 089-84930734  
info@keithley.de  
www.keithley.de

**INDIA**

Bangalore  
Ph: 080-26771071, -72, -73  
Fax: 080-26771076  
support\_india@keithley.com  
www.keithley.com

**ITALY**

Peschiera Borromeo (Mi)  
Ph: 02-5538421  
Fax: 02-55384228  
info@keithley.it  
www.keithley.it

**JAPAN**

Tokyo  
Ph: 81-3-5733-7555  
Fax: 81-3-5733-7556  
info.jp@keithley.com  
www.keithley.jp

**KOREA**

Seoul  
Ph: 82-2-574-7778  
Fax: 82-2-574-7838  
keithley@keithley.co.kr  
www.keithley.co.kr

**MALAYSIA**

Penang  
Ph: 60-4-643-9679  
Fax: 60-4-643-3794  
chan\_patrick@keithley.com  
www.keithley.com

**NETHERLANDS**

Gorinchem  
Ph: 0183-635333  
Fax: 0183-630821  
info@keithley.nl  
www.keithley.nl

**SINGAPORE**

Singapore  
Ph: 65-6747-9077  
Fax: 65-6747-2991  
koh\_william@keithley.com  
www.keithley.com.sg

**SWEDEN**

Stenungsund  
Ph: 08-50904600  
Fax: 08-6552610  
sweden@keithley.com  
www.keithley.com

**SWITZERLAND**

Zürich  
Ph: 044-8219444  
Fax: 044-8203081  
info@keithley.ch  
www.keithley.ch

**TAIWAN**

Hsinchu  
Ph: 886-3-572-9077  
Fax: 886-3-572-9031  
info\_tw@keithley.com  
www.keithley.com.tw

**UNITED KINGDOM**

Theale  
Ph: 0118-9297500  
Fax: 0118-9297519  
info@keithley.co.uk  
www.keithley.co.uk