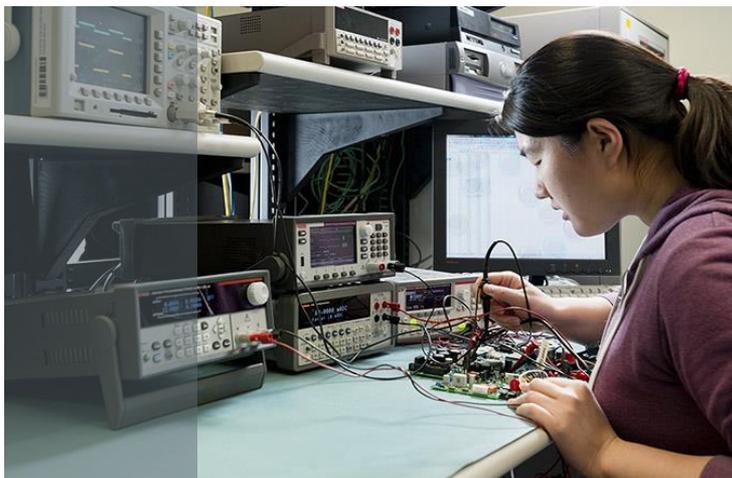


从应用到方案 吉时利测试测量经典案例



2013年7月



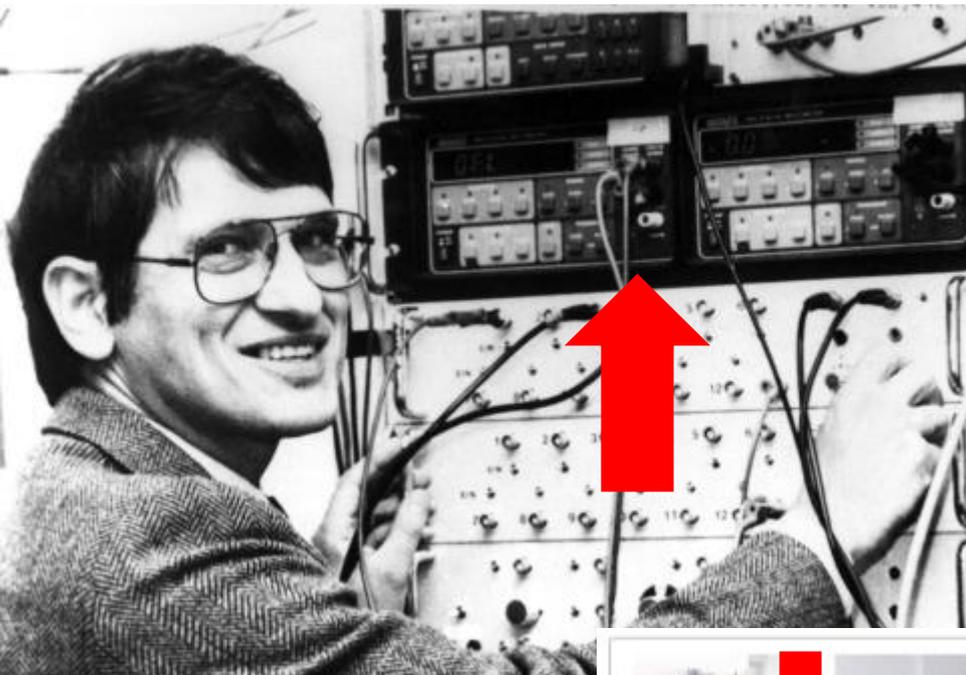
测试测量行业先锋

- 领先的测试测量公司，为工程和技术专业人士服务
- 成立于1946年，2007年加入丹纳赫集团
- 总部位于美国俄勒冈州毕佛顿市
- 在多个主要产品和市场中居于领导地位
- 知名品牌，提供优质创新产品、杰出的工程设计及全球服务和支持
- 屡获大奖：
 - 示波器
 - 信号源
 - 逻辑分析仪
 - 频谱分析仪
 - 视频测试



- 吉时利是精密电气测试领域的领导者
- 成立于1946年，2010年被泰克收购
- 总部位于美国俄亥俄州索伦
- 提供各种仪器和系统，满足从纳伏到千兆赫兹的任何测量要求
- 21项R&D 100大奖，多次荣获 Semiconductor International、Solid State Technology、Electronic Products、Test & Measurement World杂志颁发的荣誉

研究人员使用我们的灵敏仪器，获得伟大的科学发现



Dr. Klaus von Klitzing
1985年诺贝尔物理学奖
量子化霍尔效应



Dr. K. Alexander Muller和
Dr. J. Georg Bednorz
1987年诺贝尔物理学奖
陶瓷材料超导

Dr. Konstantin Novoselov
2010年诺贝尔物理学奖
石墨烯 (二维材料)



吉时利专用低电平测量仪器

灵敏测量, 超越DMM

普通DMM



- DC和AC电压
- 电阻
- DC和AC电流
- 温度
- 频率

Atto – Femto – Pico – Nano – Micro – Milli 1 Kilo – Mega – Giga – Tera – Peta

10^{-18} 10^{-15} 10^{-12} 10^{-9} 10^{-6} 10^{-3} 10^0 10^3 10^6 10^9 10^{12} 10^{15}

Note: A red arrow points from the list of capabilities to the 'Nano' and 'Micro' units in the scale above, which are circled in red.

重大升级换代产品

多通道用户可以经济地完成升级



代以

DMM6500



仍使用2000-SCAN 和2001-TCSCAN扫描仪卡



代以

DAQ6510

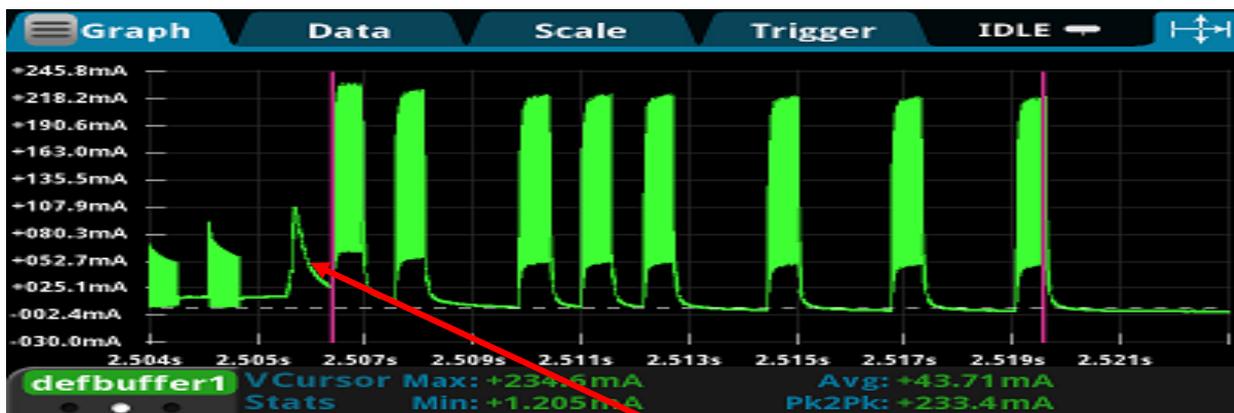


仍使用所有现有的77xx开关卡



全新DMM6500简化您的工作 – 捕获复杂的信号

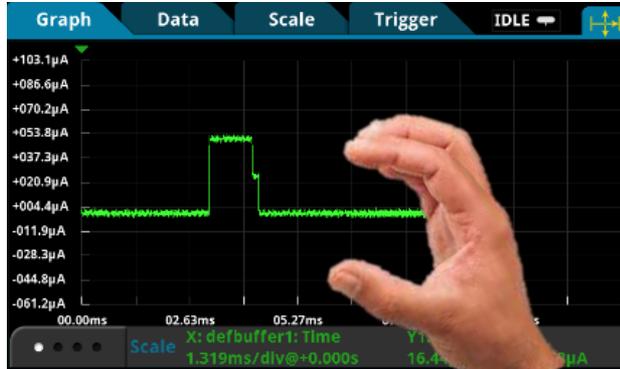
- 捕获波形和瞬态信号 -
 - 在一台DMM中实现1M样点/秒、16位电压或电流模数转换 – 高精度示波器功能



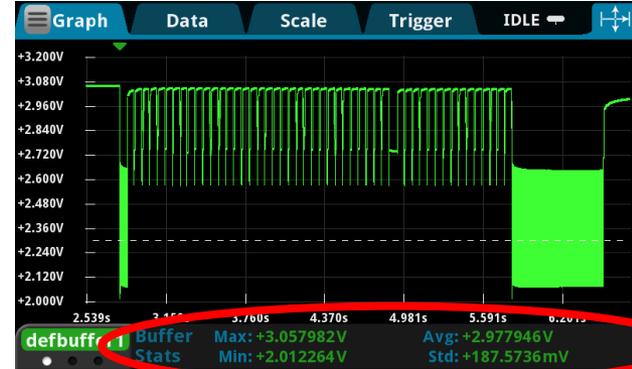
瞬态信号?

全新DMM6500怎样让您的工作更简便 – 更多分析功能

- 触摸屏和图形显示 – 快速获得数据
 - 绘图功能, 识别噪声漂移或变化等趋势
 - 手势缩放, 深入分析波形
 - 统计数据, 可移动光标量化结果



手势缩放



统计

Touch, Test, and Invent系列, 满足您的所有需求



DMM6500

- 6 位半
- 16位, 1M样点/秒模数转换器
- 10通道扫描选项



DAQ6510

- 80通道容量
- 6位半



DMM7510

- 7位半
- 1 pA分辨率
- 18位, 1M样点/秒模数转换器

测量性能

吉时利低电平测量仪器

灵敏测量, 超越DMM



吉时利电表

- 高电阻
- 低DC电流
- DC电压
- 电荷



吉时利皮安表

- 低DC电流



吉时利纳伏表

- 低DC电压
- 低电阻 (使用622X电
流源)

Atto – Femto – Pico – Nano – **Micro** – Milli 1 Kilo – Mega – Giga – Tera – Peta
 10^{-18} 10^{-15} 10^{-12} 10^{-9} 10^{-6} 10^{-3} 10^0 10^3 10^6 10^9 10^{12} 10^{15}

Tektronix

低压 Low V 、低阻 Low R

$$r = \frac{V}{I}$$

高传导率 (低电阻): 纳伏表和低电流源

Model 2182A纳伏表



- 1nV灵敏度
- 双通道
- Delta模式测量
(反向电流) 模式

Models 6220/21电流源

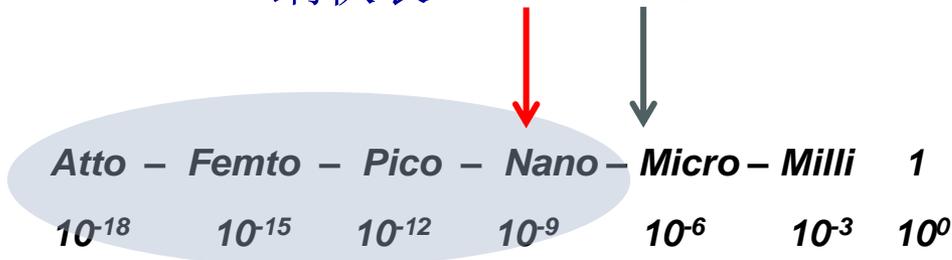


- 100fA源分辨率
- AC / 任意波形发生
(6221)

电压灵敏度

纳伏表

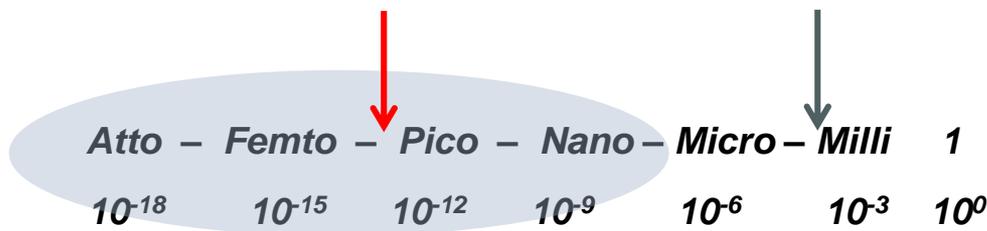
DMM



电流灵敏度

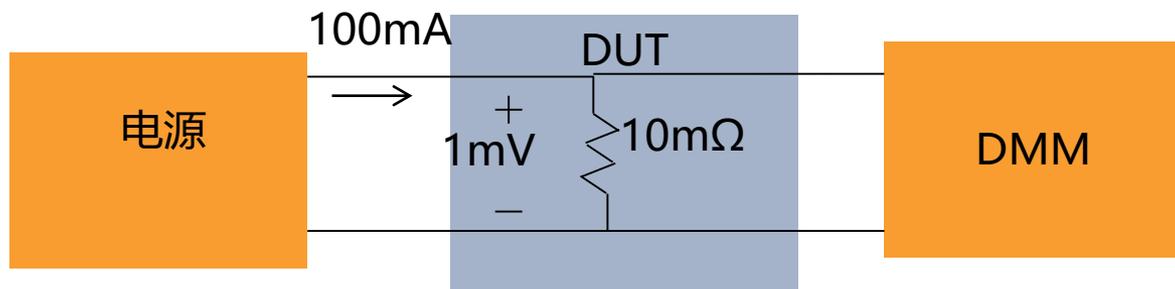
电流源

电源

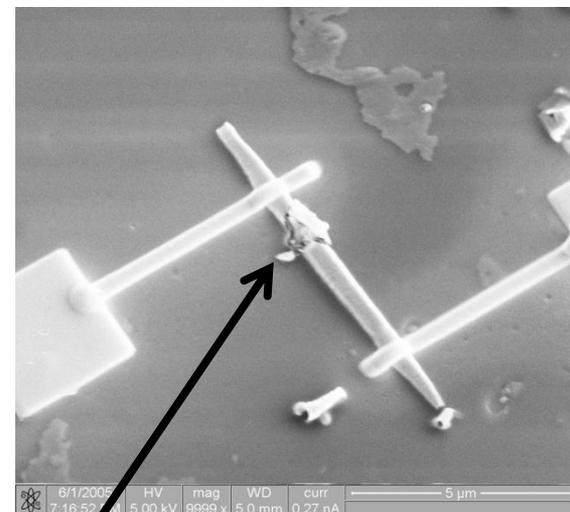
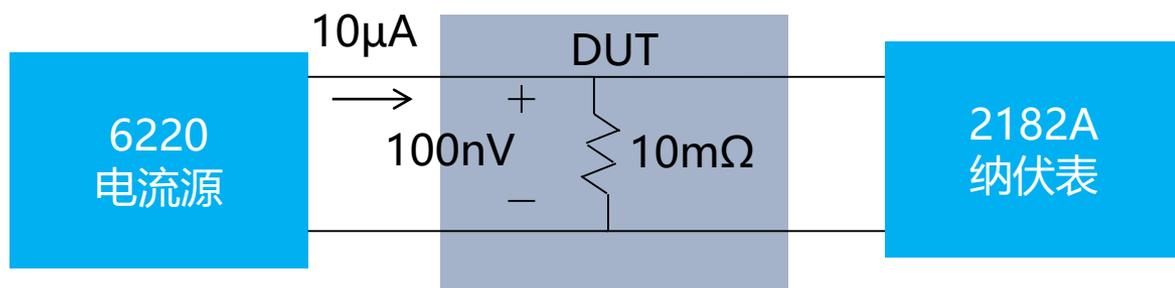


如何进行纳米级精准测量：消除自热效应

$$\text{功率} = 100\text{mA} \times 1\text{mV} = 100\mu\text{W}$$



$$\text{功率} = 10\mu\text{A} \times 100\text{nV} = 1\text{pW}$$

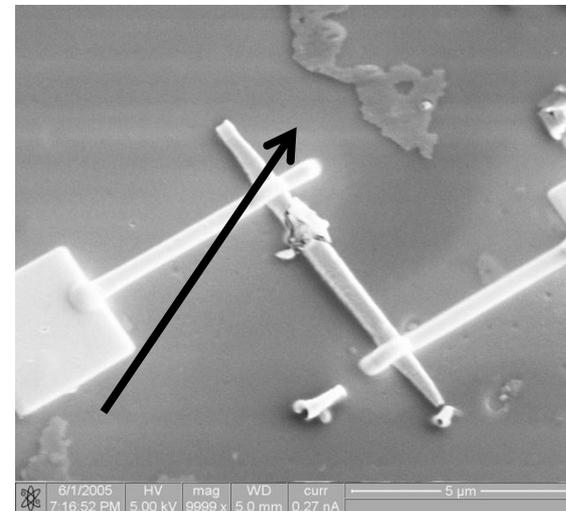
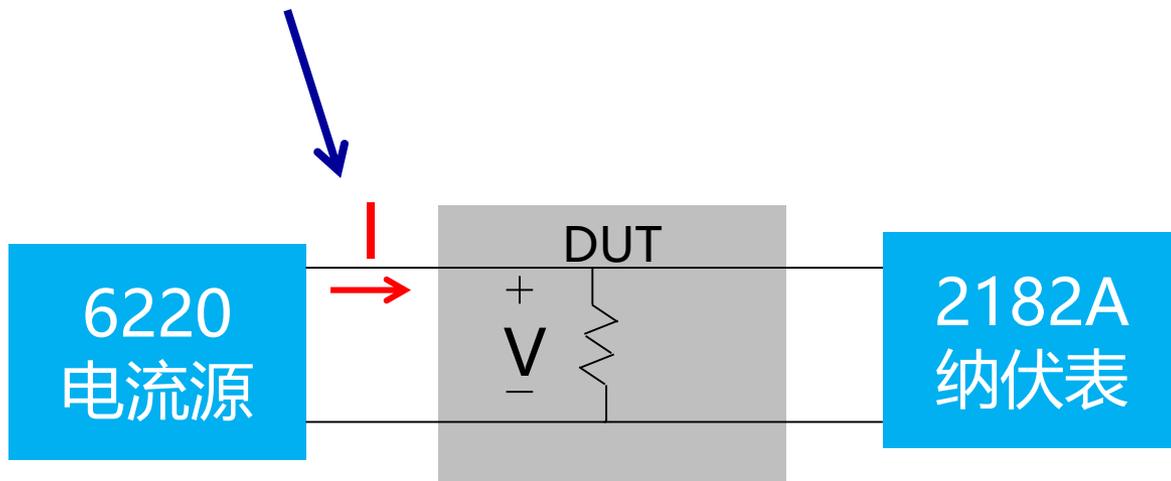


自热导致纳米线熔化

最大低电阻测量精度 - 消除自热

我们较其他低电阻测量解决方案的主要优势:

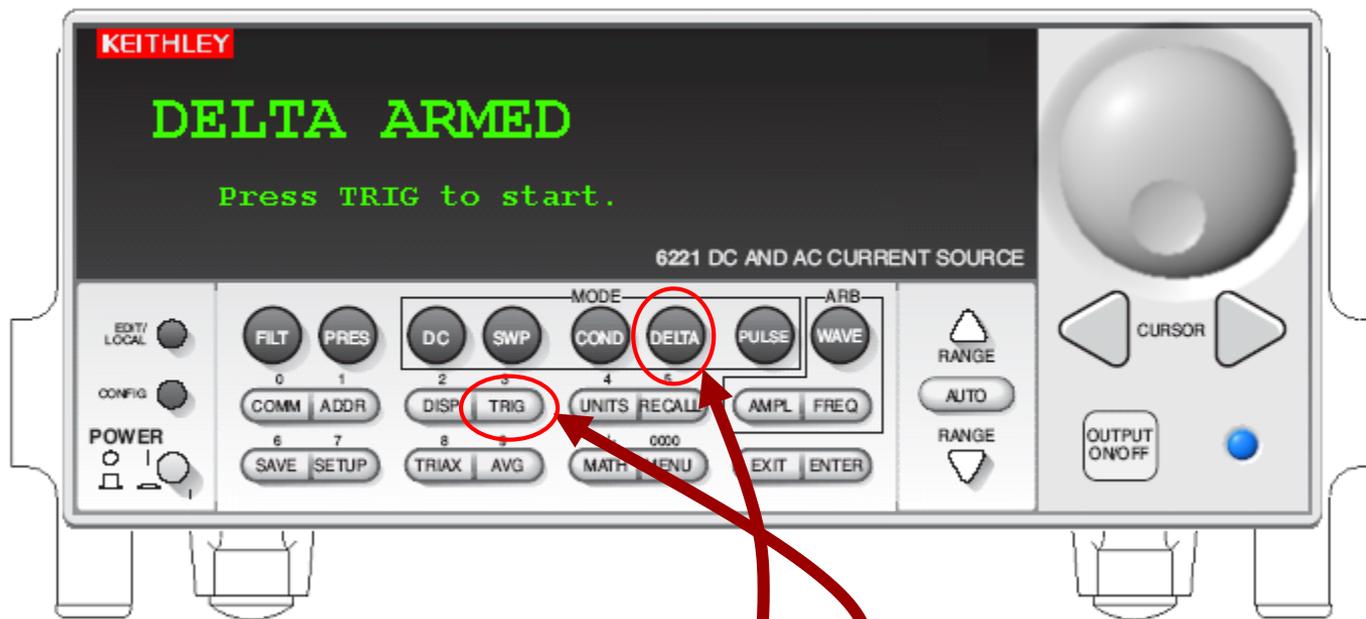
□ 只向器件施加非常非常小的电流, 100fA



纳米线由于自热熔化

Improved Delta Mode is EASY to USE! 改进的Delta模式非常易于使用!

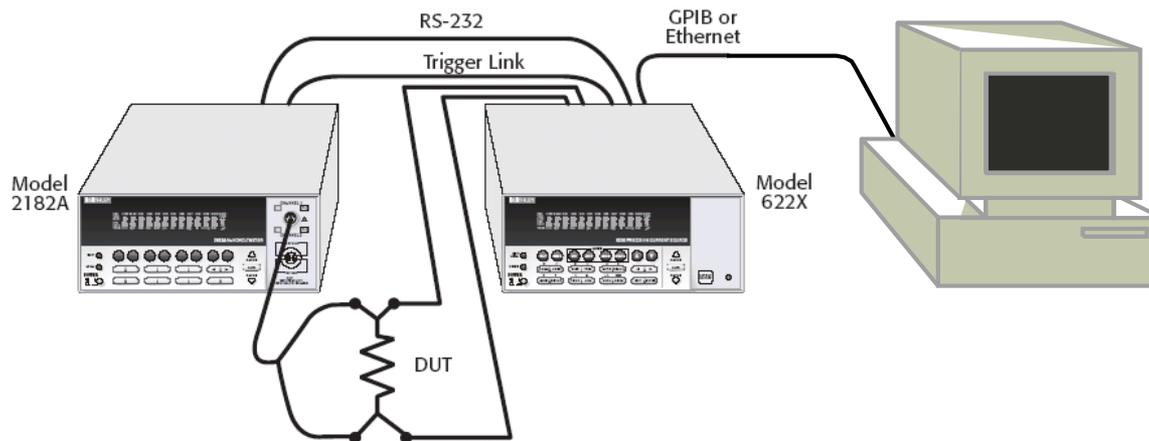
6220 or 6221 & 2182A



- First Press DELTA to arm
- Then Press TRIG to execute

The BEST Low Resistance Solution EVER! 目前为止最好的低阻测试解决方案!

6220 or 6221/ 2182A Delta Mode



622X controls the 2182A. The pair act as a single instrument for trouble-free programming and operation.

Tektronix

高阻Hi R、低流 Low I

$$R = \frac{V}{I}$$

高电阻或低电流测量应用

常见应用	测量
纳米材料研究 电化学测量	绝缘电阻 表面电阻系数 体积电阻系数
纸、橡胶制品、塑料的电阻系数	表面电阻系数 体积电阻系数
继电器、电缆或连接器的绝缘电阻	绝缘电阻 电压系数
材料特性分析	波束电流 霍尔效应
半导体特性分析	泄漏电流 暗电流 击穿电压



Electrometer Overview

静电计概览

Electrometers measure volts, ohms and amps - -
just like a DMM (plus charge)

- Low-current measurement 低电流测试
- High-input impedance on volts 高输入阻抗电压测试
- High-resistance measurements 高阻测试

NOTE: An electrometer is **not** a good choice for low-voltage measurements.

注：静电计**不是**低压测试的理想选择

吉时利灵敏仪器旗舰产品：静电计

测量超高电阻和超低电流



- 多功能(电压, 电流, 电阻)
- 测量超高电阻 - $10^{18}\Omega$
- 测量超低电流 - 10aA ($10 \times 10^{-18}\text{A}$) 分辨率
- DC电压及超高输入阻抗 - $200\text{T}\Omega$
- $\pm 1000\text{V}$ 源 (仅6517B)
- 测量电荷

Model 6517B静电计/高电阻仪表

电流灵敏度

电表

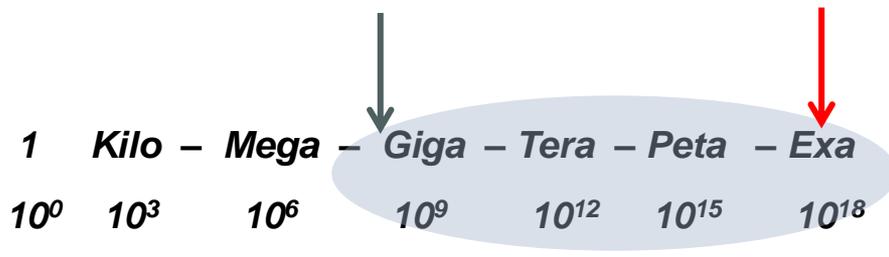
DMM



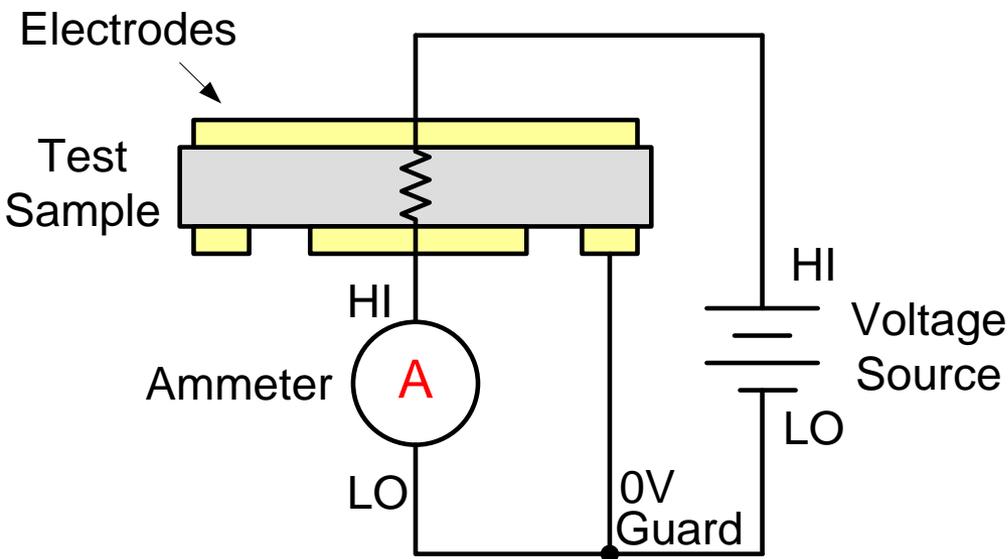
最大电阻

DMM

电表

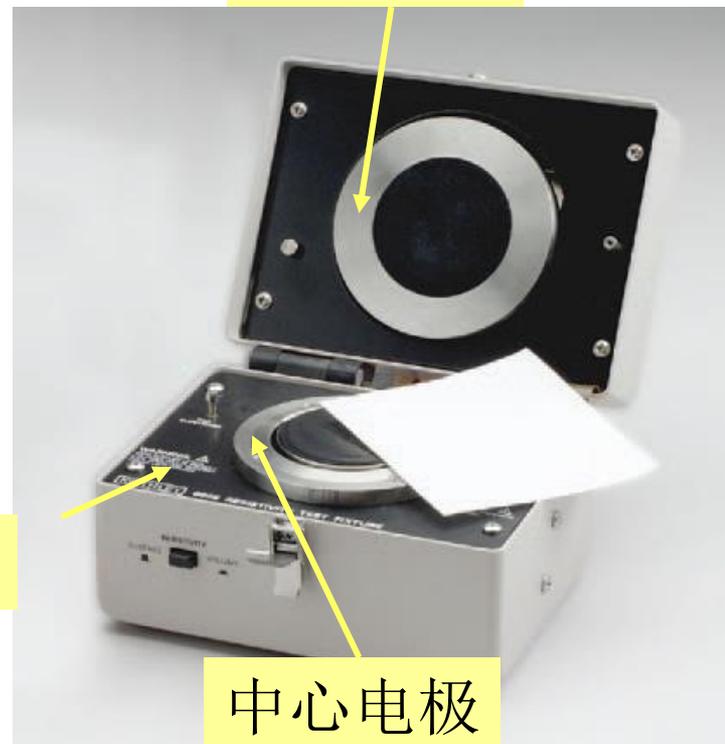


使用Model 8009电阻系数测试夹具 测量体积或表面电阻



体积电阻系数用来衡量经过材料的泄漏电流。

顶部电极



环

中心电极

Model 8009
夹具盒

吉时利源表的功能和特点

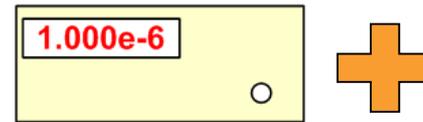
Precision
Power Supply
(source)



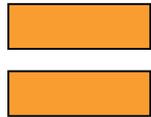
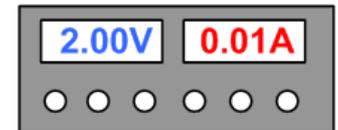
DMM
(measure I, V, and R)



Current Source



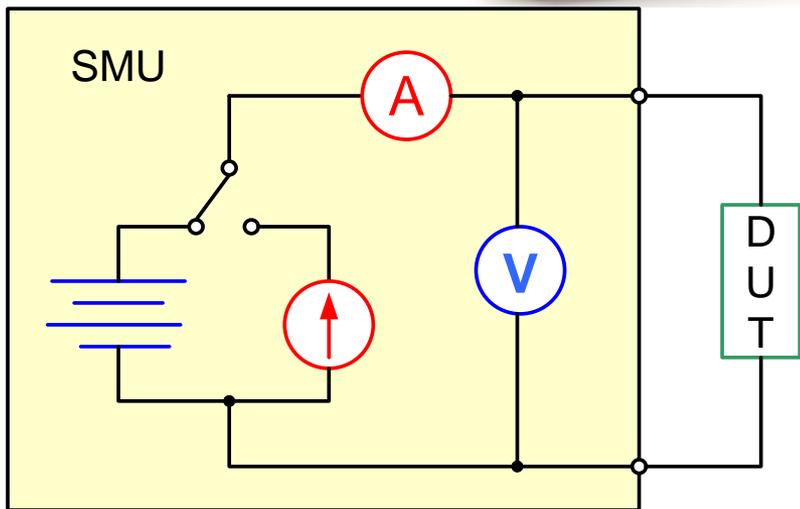
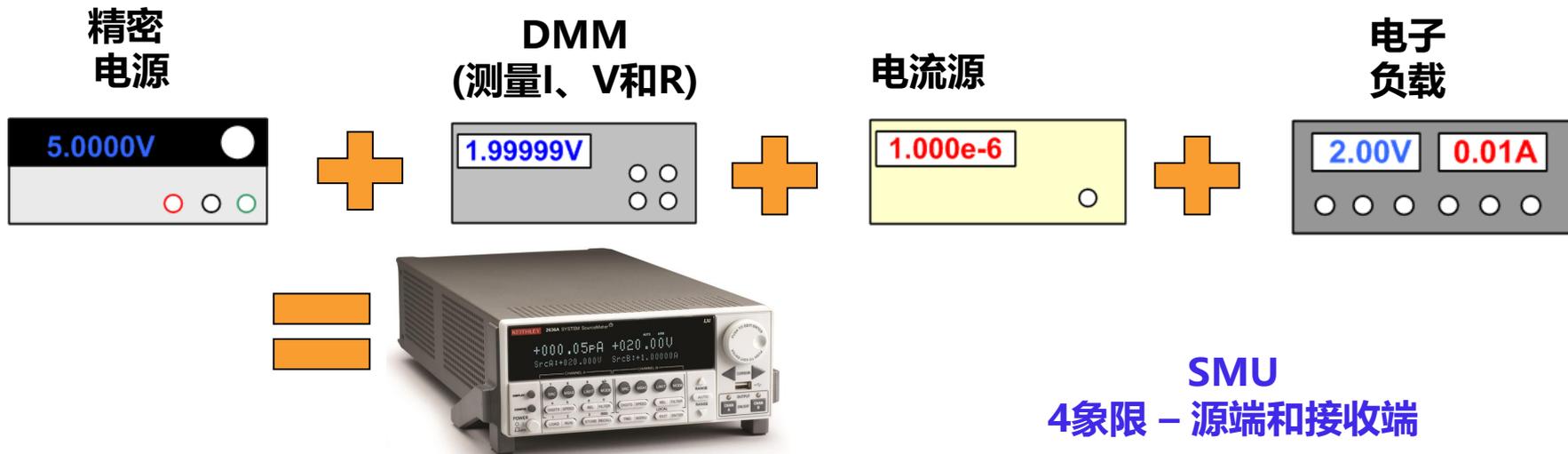
Electronic
Load



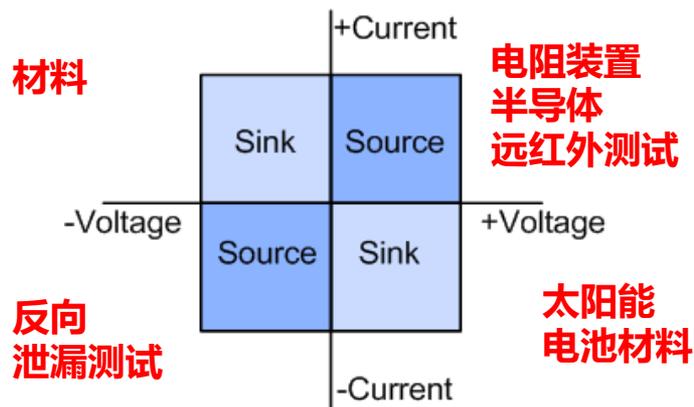
Source Measure Unit
(SMU)

Keithley Model 2636A

源测量单元(SMU): 简化的I-V特性分析和测试



SMU
4象限 - 源端和接收端



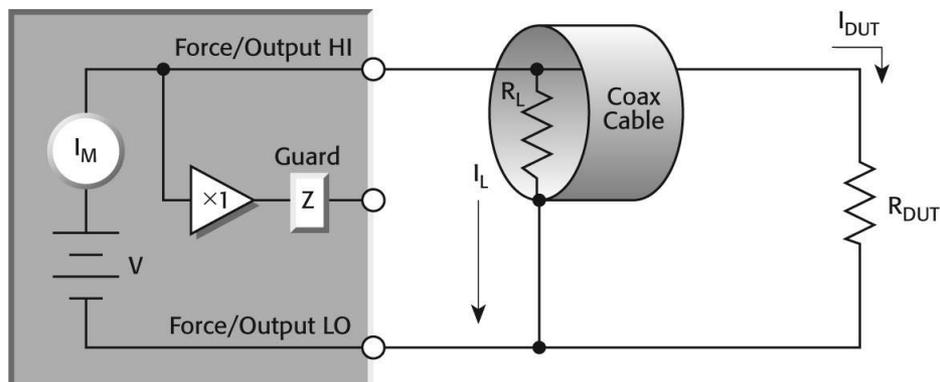
Keithley Model 2636B

Model 2450 versus 2400



如何进行精准的低电流测量：消除泄漏电流

a) Unguarded Circuit



SMU

R_L = Coax Cable Leakage Resistance

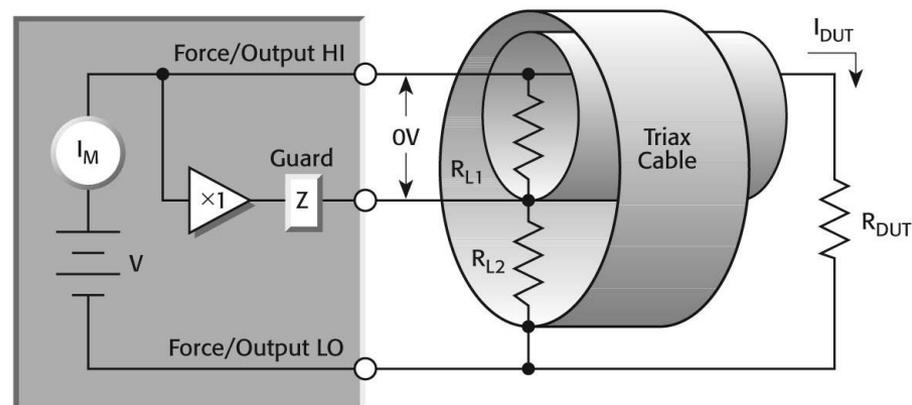
I_L = Leakage Current

R_{DUT} = Resistance of Device Under Test

$I_M = I_{DUT} + I_L$

在测量pA级或更低的电流时，泄漏电流可能会非常明显

b) Guarded Circuit



SMU

R_{L1} = Triax Cable Inside Shield Leakage Resistance

R_{L2} = Leakage Resistance Between Shields

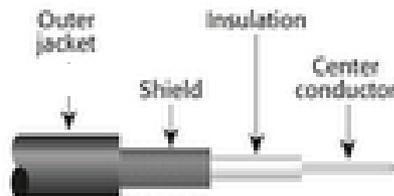
R_{DUT} = Resistance of Device Under Test

$I_M = I_{DUT}$

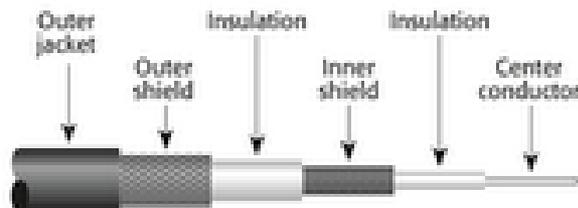
没有泄漏电流：Guard技术对内部保护层施加 V_{OUT} 电位，因此 $\Delta V = 0V$

如何进行准确的低电流测量： 消除泄漏电流使用三同轴电缆

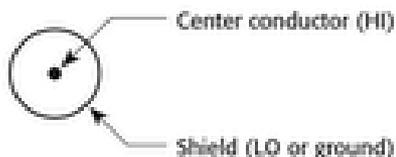
同轴电缆



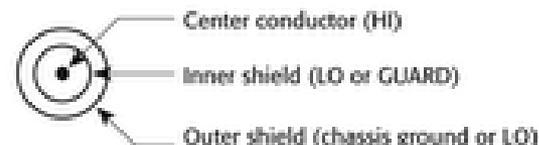
三同轴电缆



BNC连接器
用于同轴电缆



三同轴连接器
用于三同轴电缆



5-inch Touchscreen Graphical Interface

- *Multi-point Gestural Operation*

Measurement Row



Local defbuffer1 Script: None CONT

MEASURE RESISTANCE 4-WIRE

+1.55909 kΩ AZERO

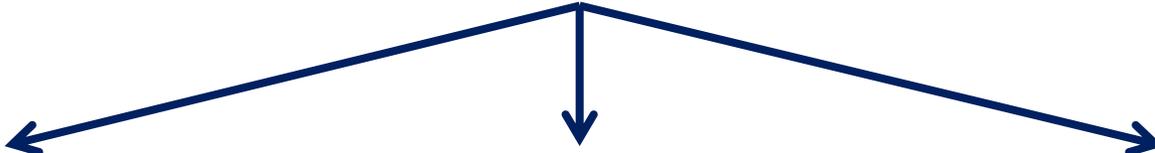
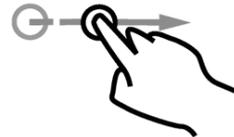
Range 2kΩ Auto

SOURCE CURRENT

+1.00000 mA PROG

Range 1mA Auto Source +1.00000mA Limit +021.000V

Source row offers swipe capability for multiple screens



Local defbuffer1 Script: None CONT

MEASURE RESISTANCE 4-WIRE

+1.55909 kΩ AZERO

Range 2kΩ Auto

DCI SETTINGS

Filter Repeat 10 Math Percent NPLCs 0.01 to 10.00 1.00 Range

Rel Lvl=0.000e+00 Auto Zero Display Digits 5

IRange: 1mA ISource: 1.0mA VLimit: 21.0V

Local defbuffer1 Script: None CONT

MEASURE RESISTANCE 4-WIRE

+1.55909 kΩ AZERO

Range 2kΩ Auto

BUFFER STATISTICS

Buffer: defbuffer1 Min: +1.55907 kΩ

Average: +1.55909 kΩ Max: +1.55915 kΩ

Standard Dev: 0.00001 kΩ

Space Used: 0 %

IRange: 1mA ISource: 1.0mA VLimit: 21.0V

GPIB defbuffer1 Script: None IDLE

MEASURE CURRENT 4-WIRE

-0.15197 A AZERO

Range 1A

USER DISPLAY

Pmax = 0.3036W

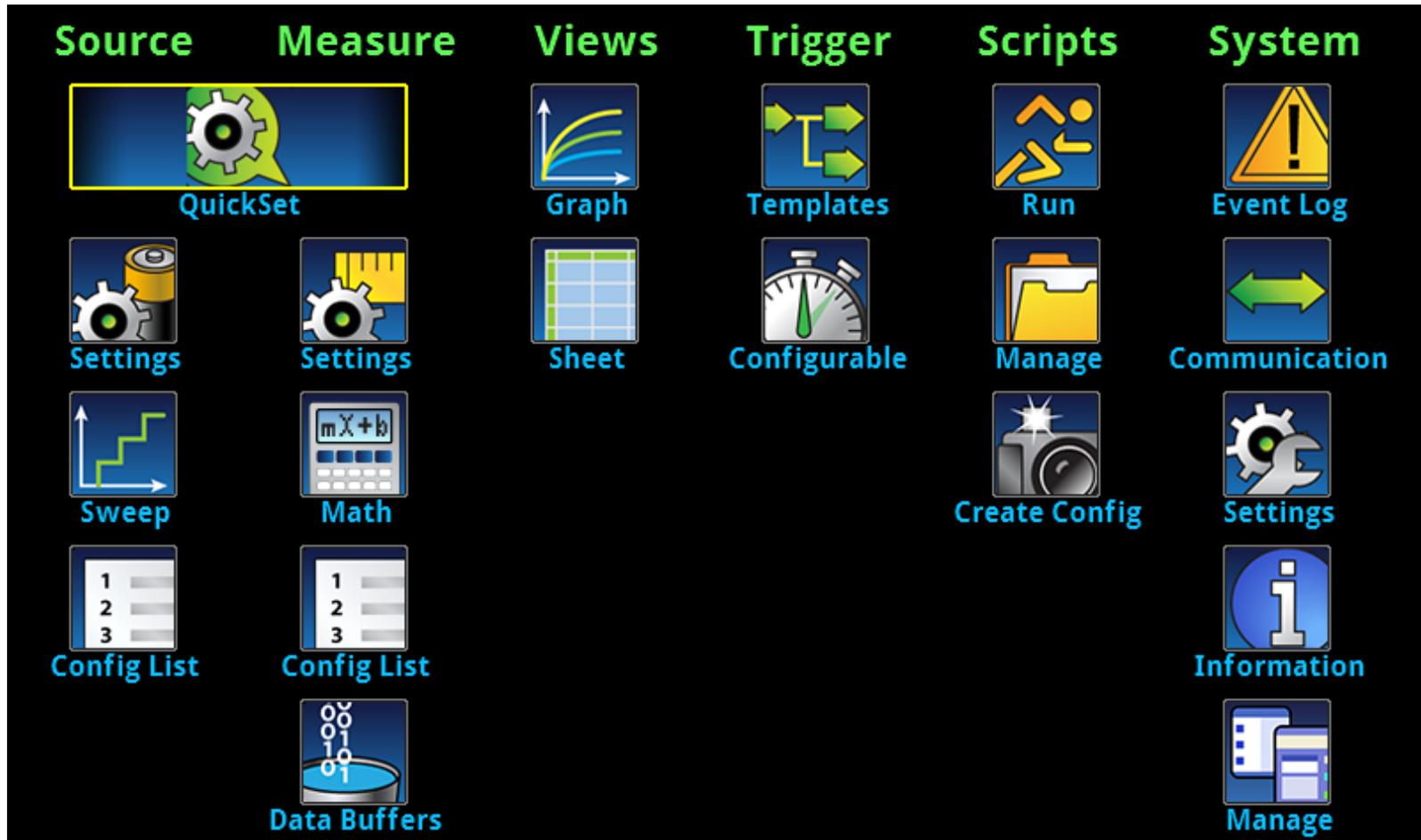
Isc = -0.864A, Voc = 0.53V

VRange: 2V VSource: 0.53V ILimit 1A

Icon-based Menu System

Fewer configuration steps – faster speed to answer

- Everything you need to quickly configure the Model 2450 from one main menu screen

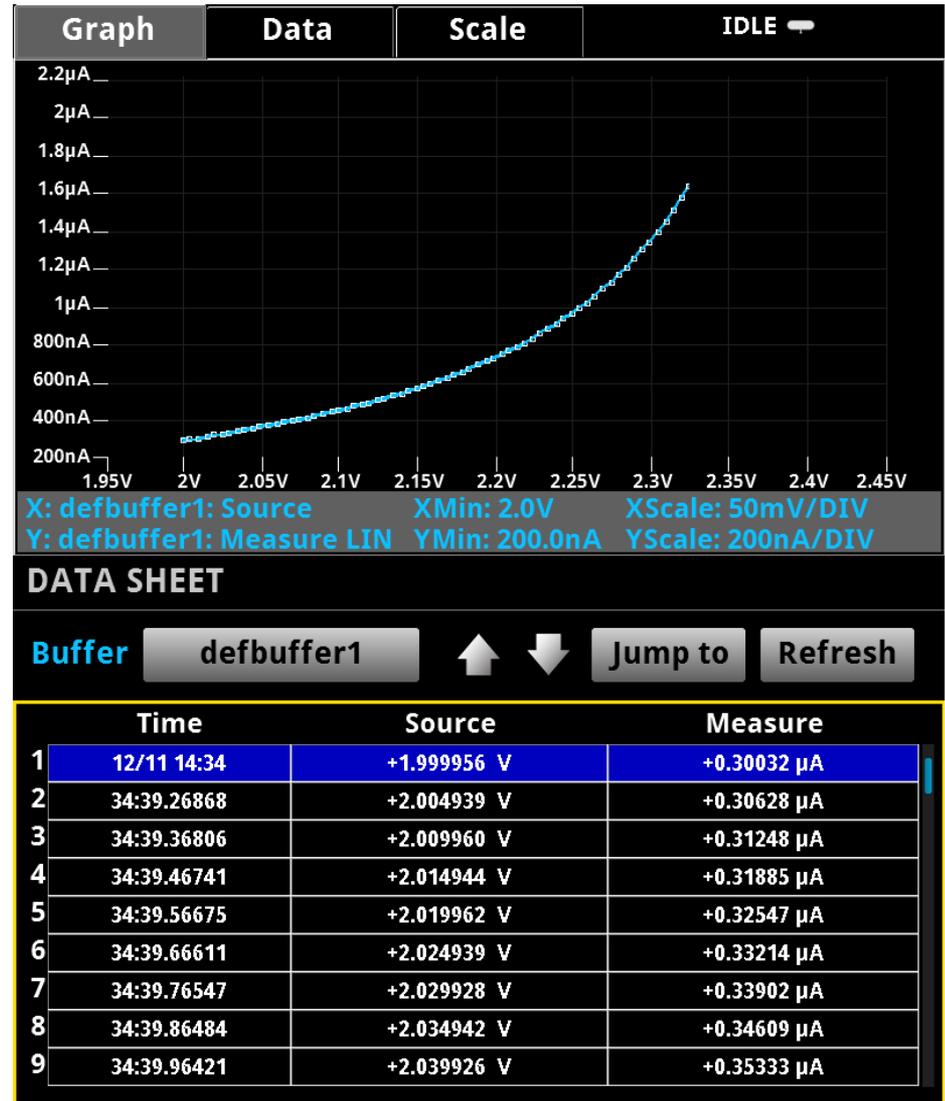


Graphing and Data Display

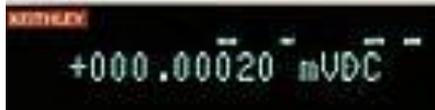
Convert raw data to information

- Graph Plot
 - X-axis: Source, Time, or Points
 - versus
 - Y-axis: Measure or Source

- Display Data Sheet
 - Swipe through table
 - Use Navigation knob to scroll through data
 - Click on a data point to get full details



基础测量及其他

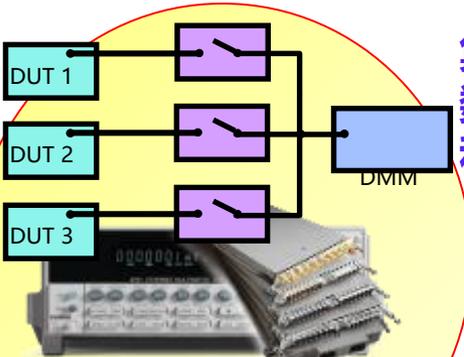
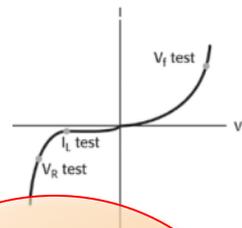


精度
 • 8 ½位
 • 6ppm

集成的
 数字万用表
 和开关系统

DMM和
 电源

集成
 高灵敏度源
 高灵敏度表

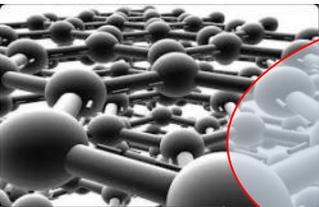


(多通道/
 数据采集器)

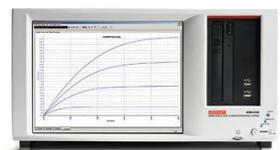


SMU

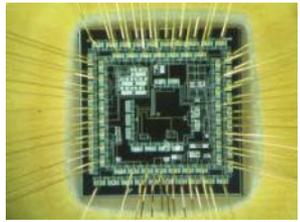
灵敏度
 • $10^{-15}A$
 • $10^{-9}V$



皮安表
 静电计
 纳伏表
 电流源

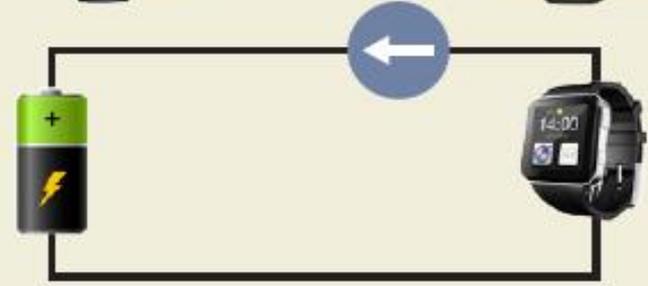


半导体参数分析仪



Tektronix®

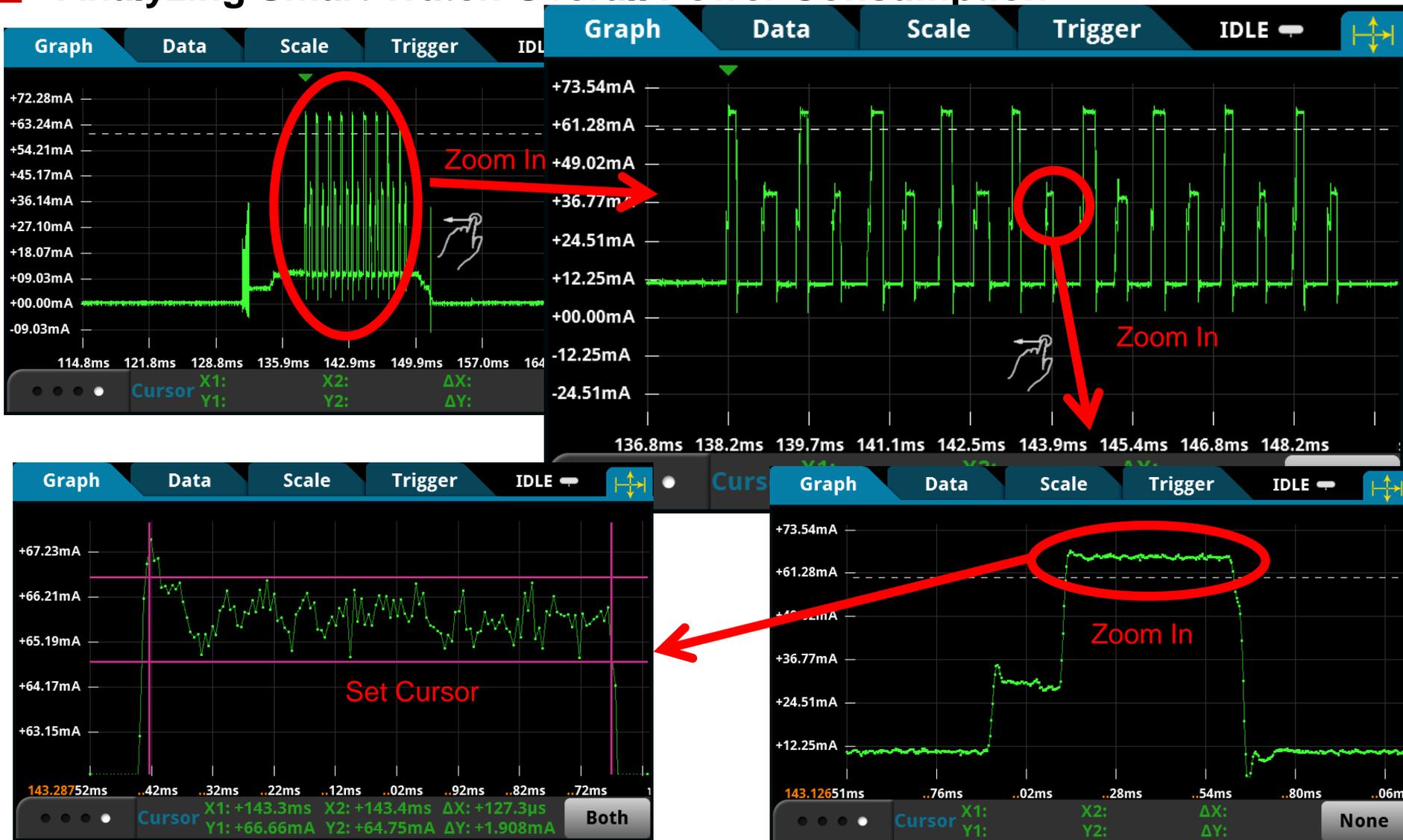
用吉时利DMM7510 + 2280S 两大金刚组合来测试物联网设备的电流



DC power analysis using a DMM7510 Graphical Sampling Multimeter and 2280S High Performance Power Supply.

用吉时利DMM7510 + 2280S 测得智能手表的功率消耗情况

Analyzing Smart Watch Overall Power Consumption

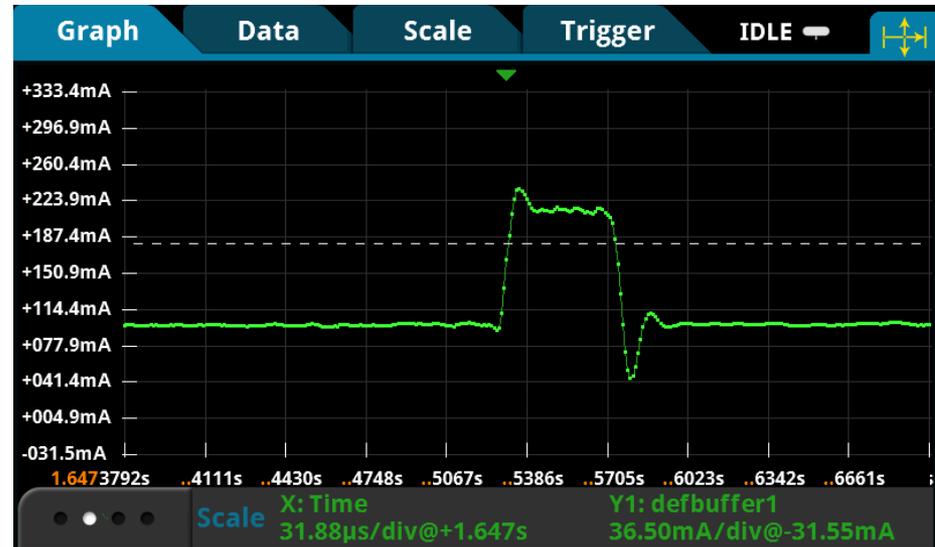
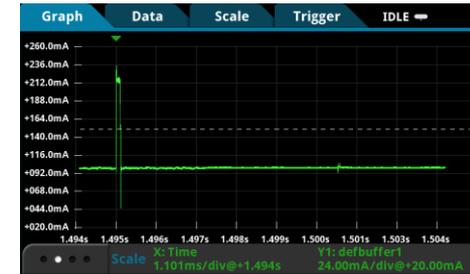
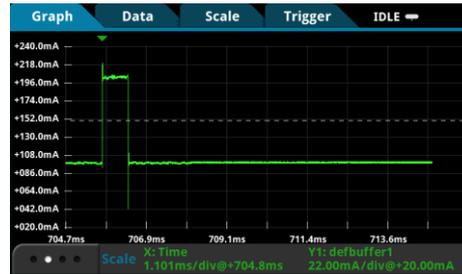


应用举例：用7510及2280s测量集成电路板功耗

Using MSP430FR4133 Ultra-Low Power Microcontroller



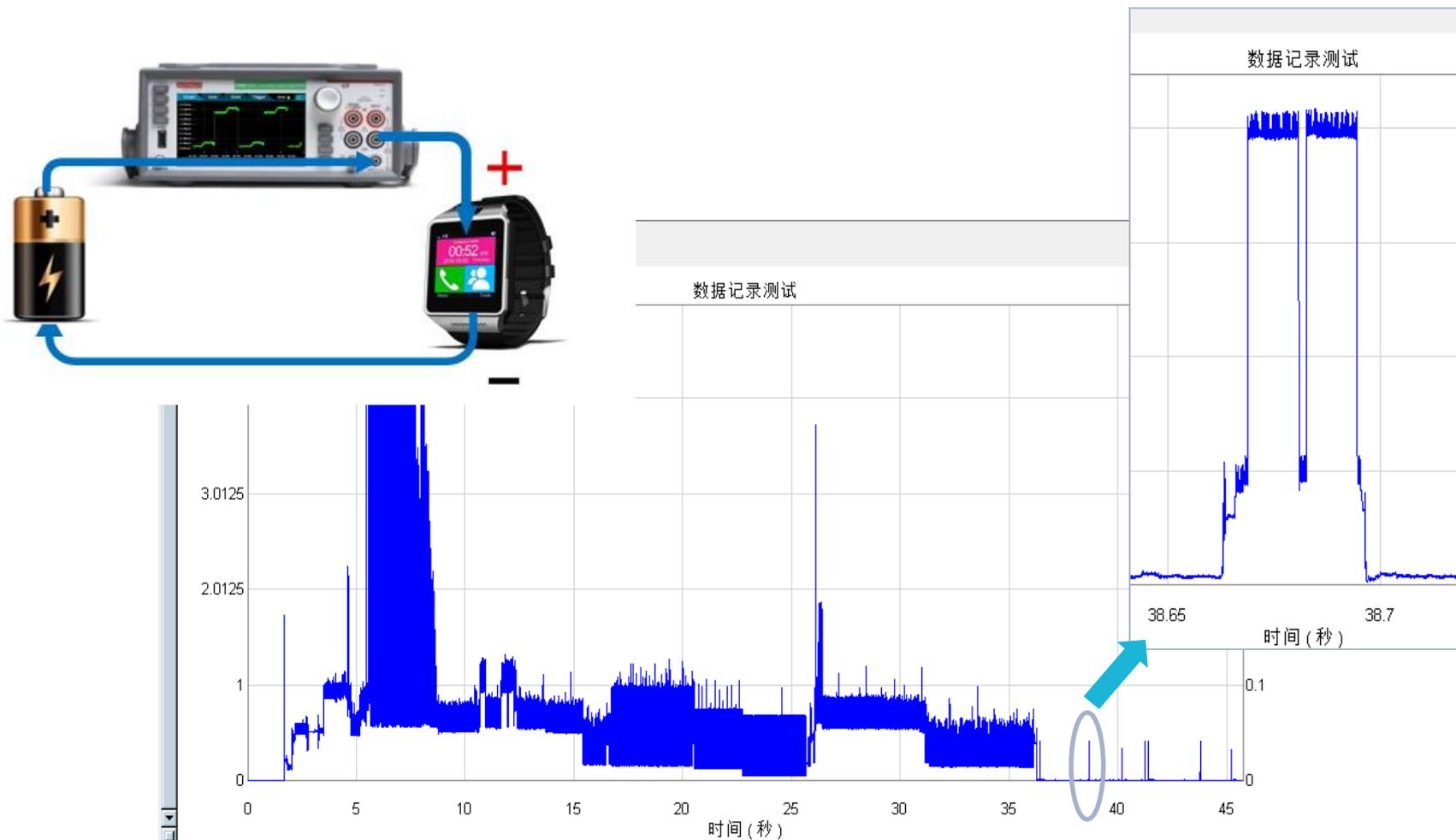
■ 测试结果示例：



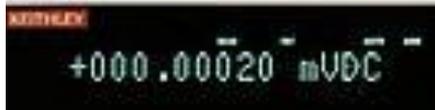
- Detailed Power Consumption Profile using DMM7510

典型的IoT功耗测试方案

从纳安到安培级电流的快速采集和测量



基础测量及其他

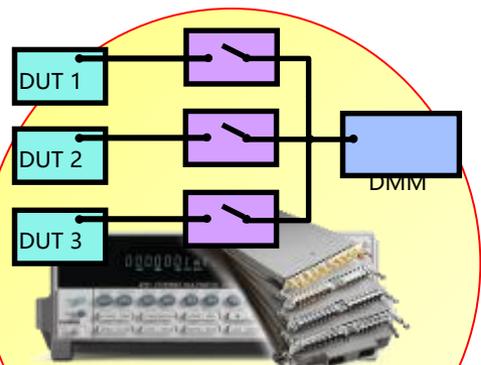
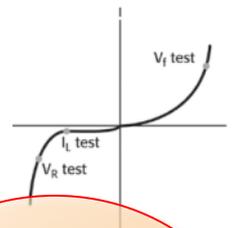


精度
 • 8 ½位
 • 6ppm

集成的
 数字万用表
 开关系统

DMM和
 电源

集成
 高灵敏度源
 高灵敏度表

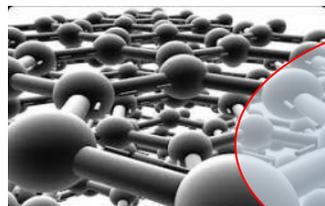


(多通道/
 数据记录)

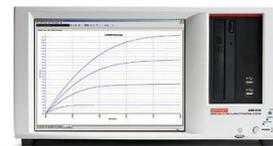


SMU

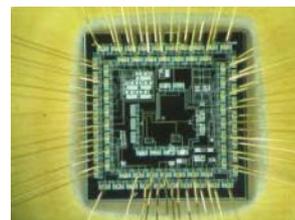
灵敏度
 • $10^{-15}A$
 • $10^{-9}V$



皮安表
 静电计
 纳伏表
 电流源

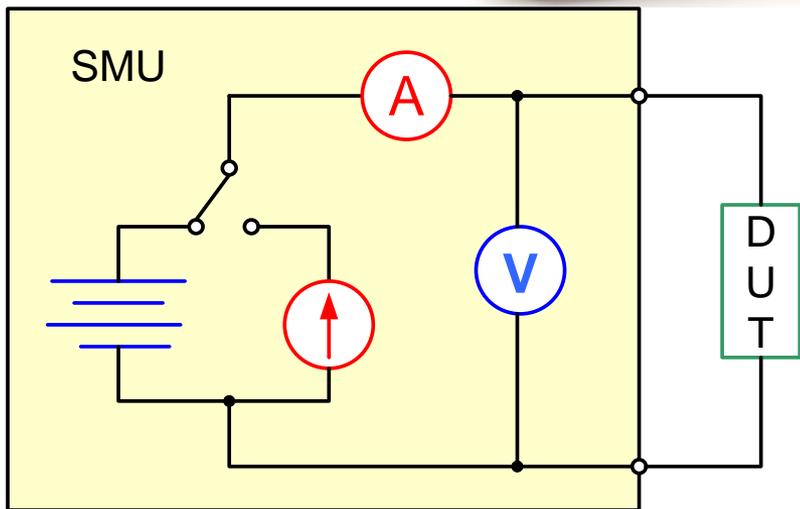
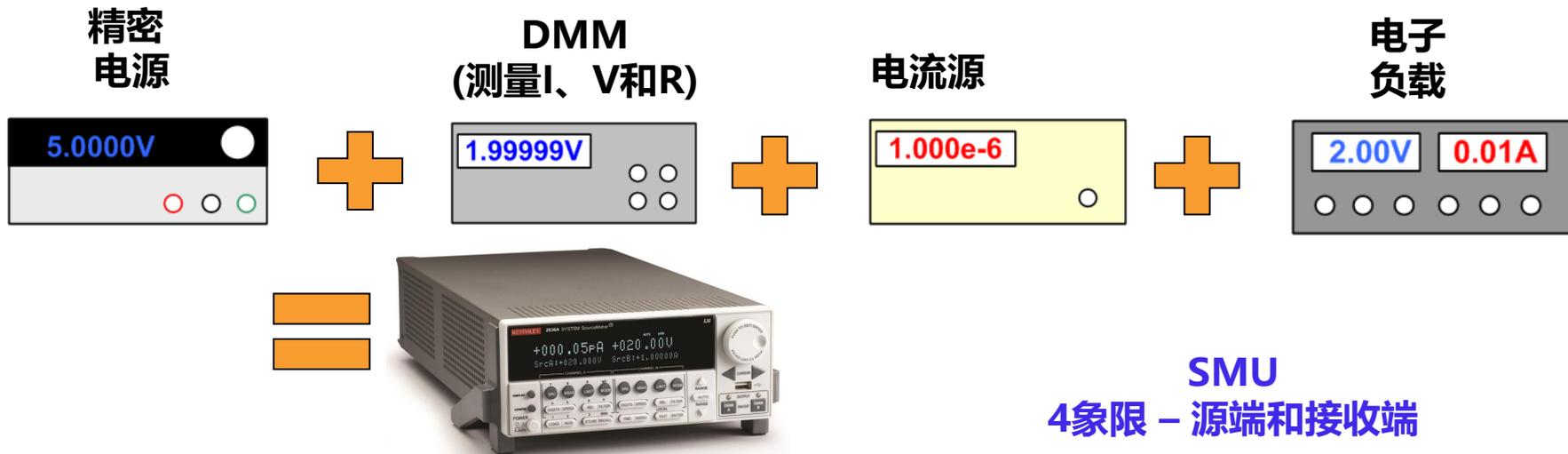


半导体参数分析仪

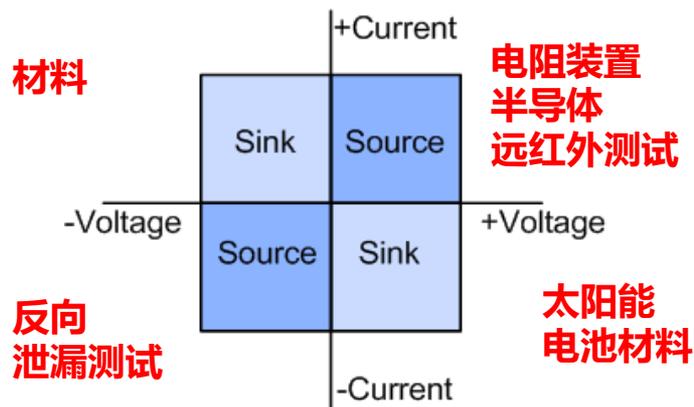


Tektronix®

源测量单元(SMU): 简化的I-V特性分析和测试



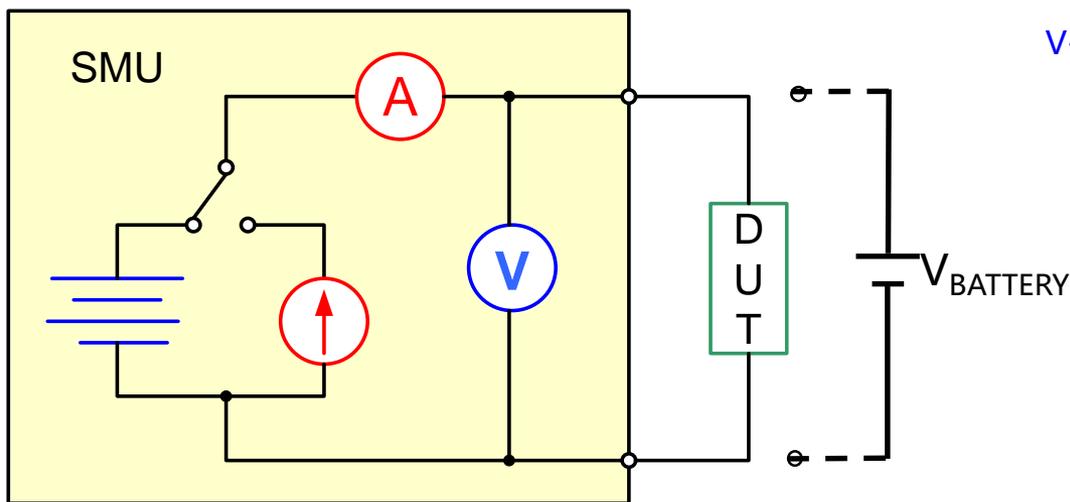
SMU
4象限 - 源端和接收端



Keithley Model 2636B

保护DUT (和其他用途): 限压和限流

SMUs具有一致性测试(极限)

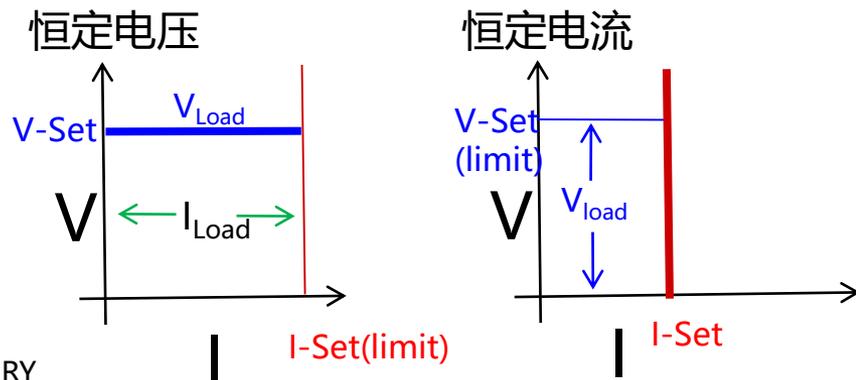


无源负载

100ohm电阻实例
设置: 1V和1mA 限流, 测电流
结果: 1mA 限流, 而非真实值10mA

设置: 1mA和1V 限压
结果: SMU 施加1mA 电流
测得电压为100mV

电源 - 电流一致性

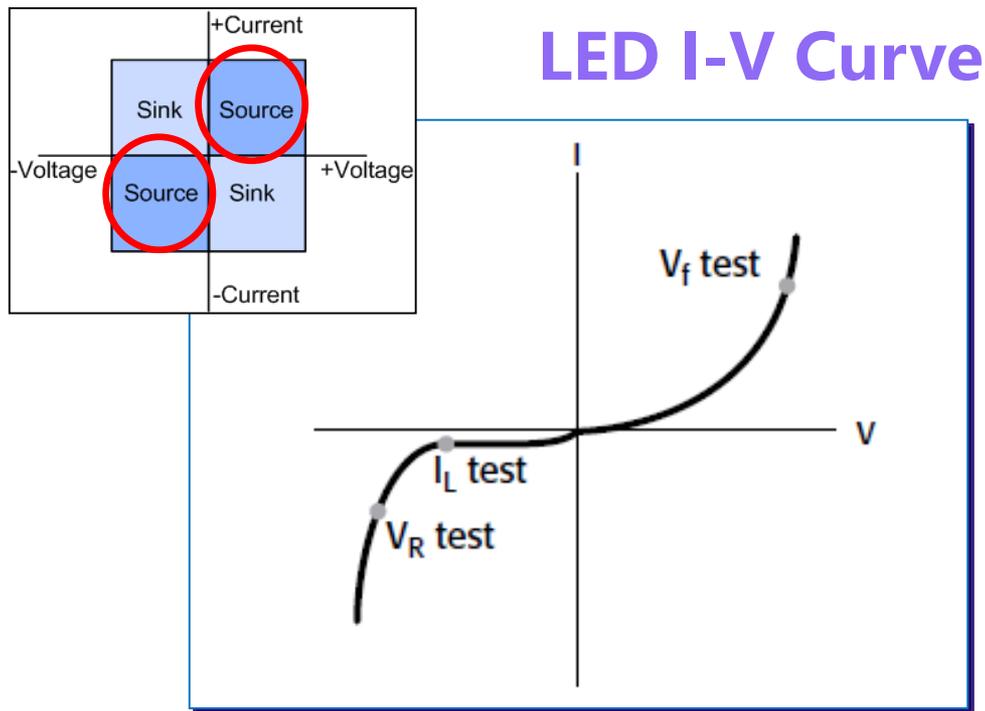
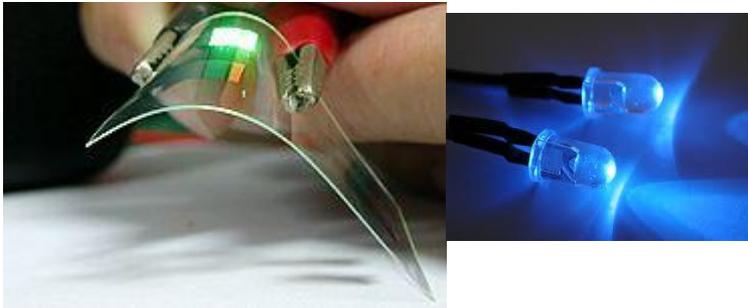


有源负载

9V电池实例
设置: 1V和10mA 限流
结果: -10mA 吸收电流

设置: -10mA和1V 限压
结果: SMU 施加1V 电压
从电池中吸收大电流

LED测试



- 要求正负象限电源
- 要求能够扫描过0点电压

- 研究人员想测量整个I-V曲线。
- 生产用户只想测量曲线上的具体点。

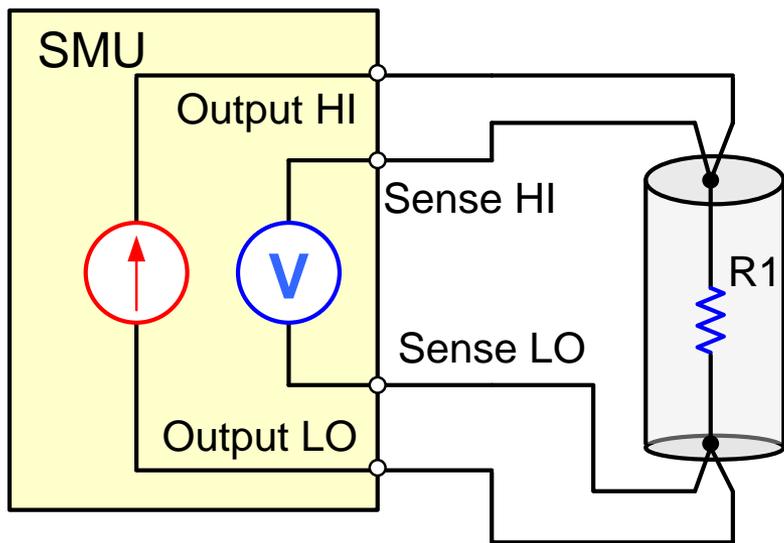
图中的两个点要求提供已知电流，测量电压：

前向电压: V_f
击穿电压: V_R

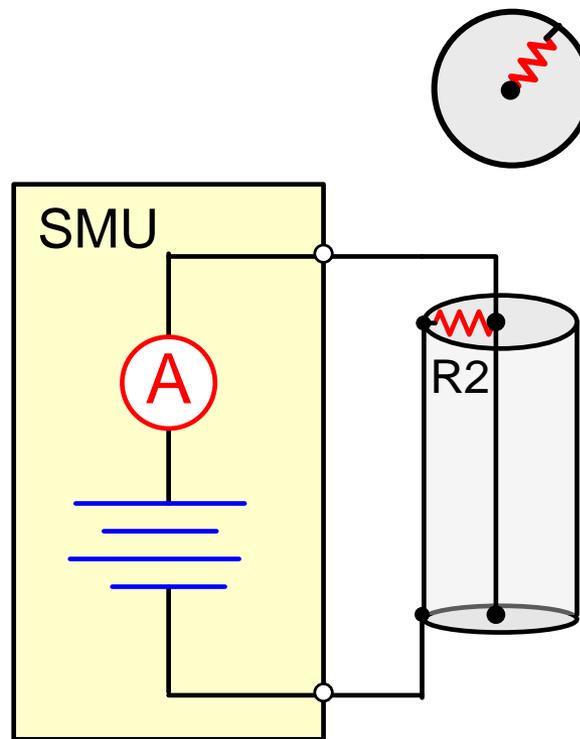
图中的开路要求提供电压，测量电流：

泄漏电流: I_L

“开路 and 短路” 测试

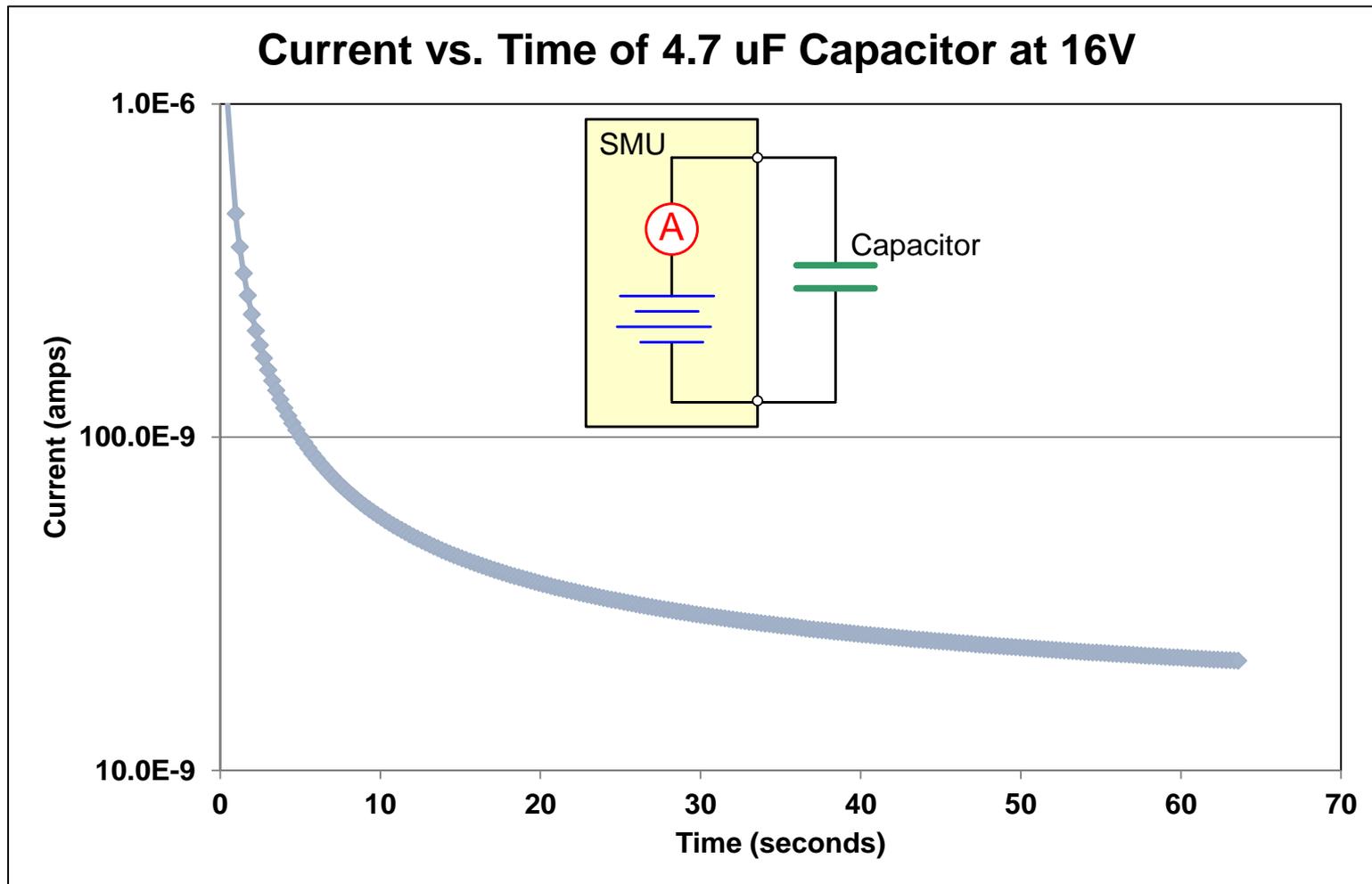


接触电阻测量：
输出电流
测量电压

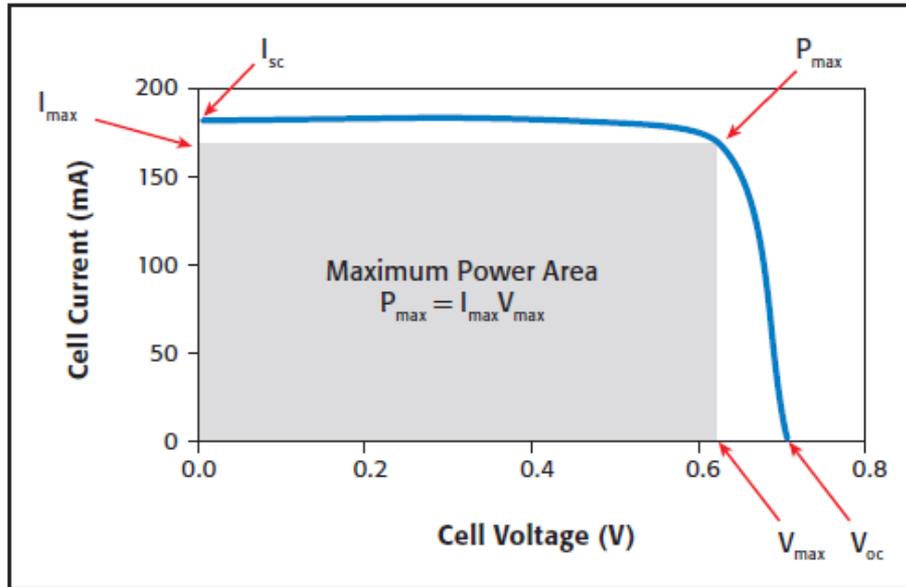


绝缘电阻测量：
提供电压
测量电流

使用吉时利SMU 测量电容器泄漏电流



太阳能电池测试：I-V特性分析确定其效率

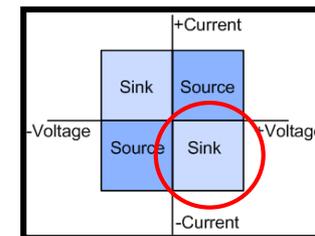
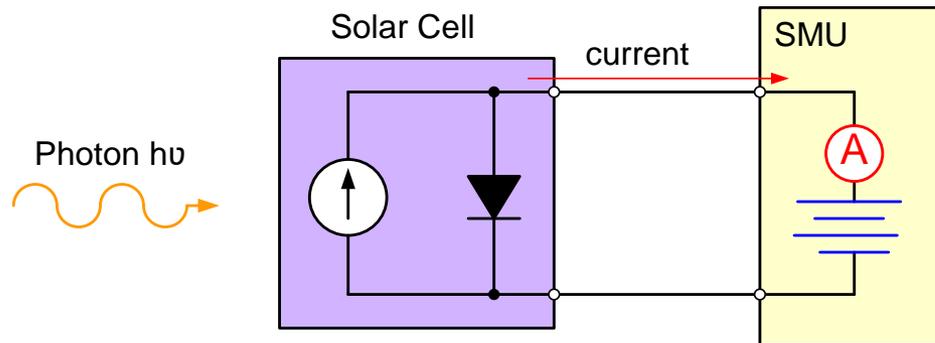


测试:

输出电压, 测量电流

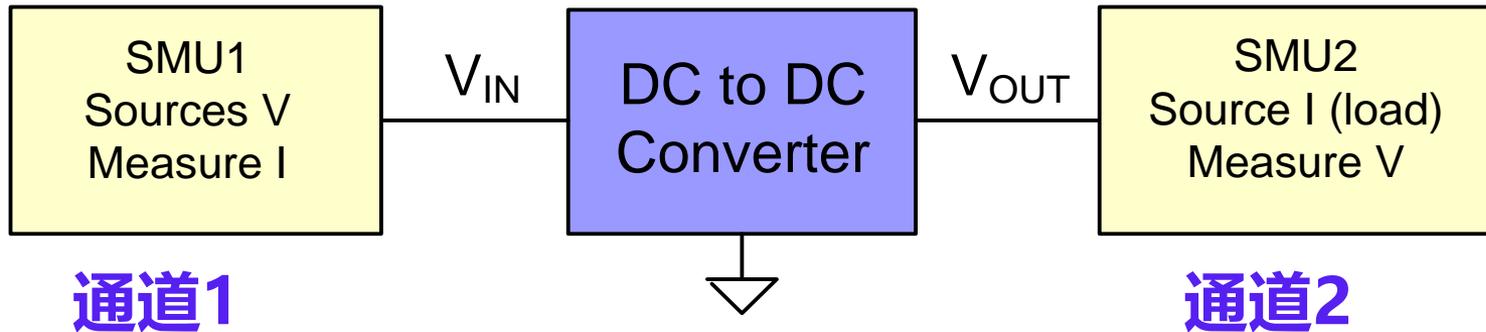
测量:

- 最大电流, I_{max}
- 最大电压, V_{max}
- 最大功率, P_{max}
- 开路电压, V_{oc}
- 开路电流, I_{sc}



DC到DC转换器测试

:



SMUs可以同时输出和测量电流和电压。

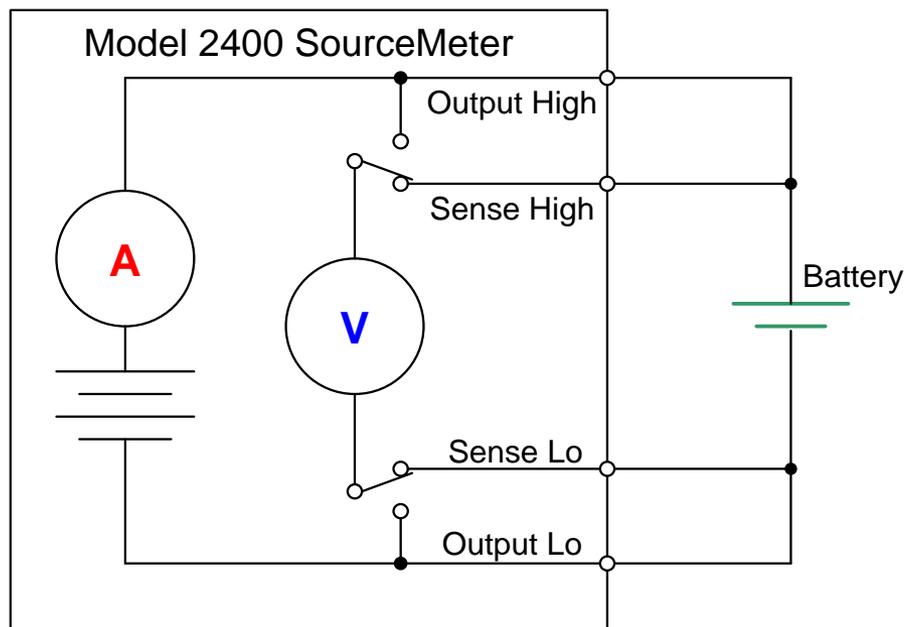
V_{OUT} 端子上的电流源使得用户能够改变负载。

使用两条通道的吉时利SMU将进一步简化了测试，用户只需要对一台仪器编程。

电池充电/放电测试

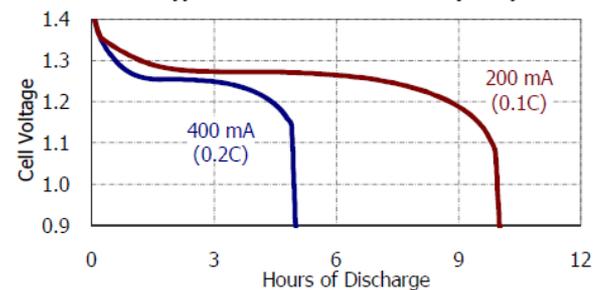
放电：SMU作为动态负载，测量电压

充电：SMU作为恒定电流源或恒定电压源



Discharge Characteristics

Typical Performance at 21°C (70°F)



精度最高的库伦效率测试系统



加拿大 Dalhousie University
Jeff Dahn 研究小组开发的超高精度电池库伦效率测试系统



176通道超高精度库伦效率测试系统, 精度高达0.001%

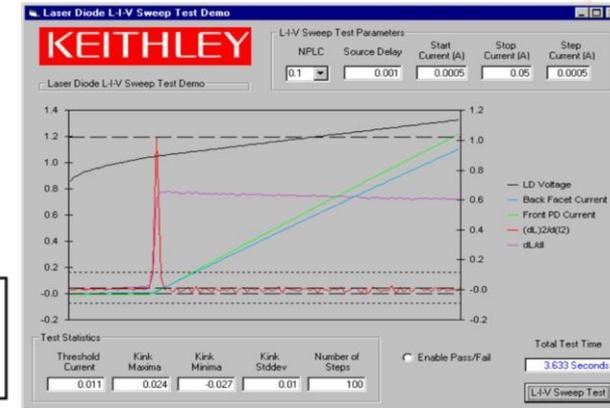
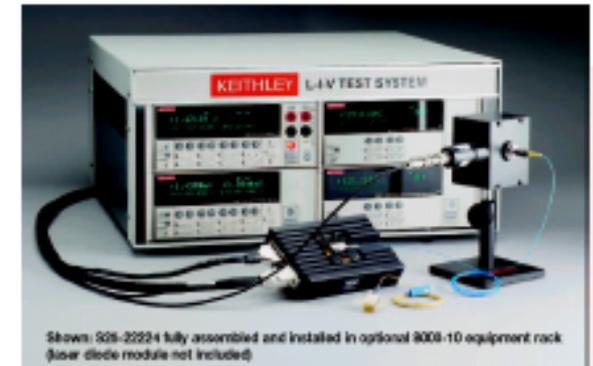
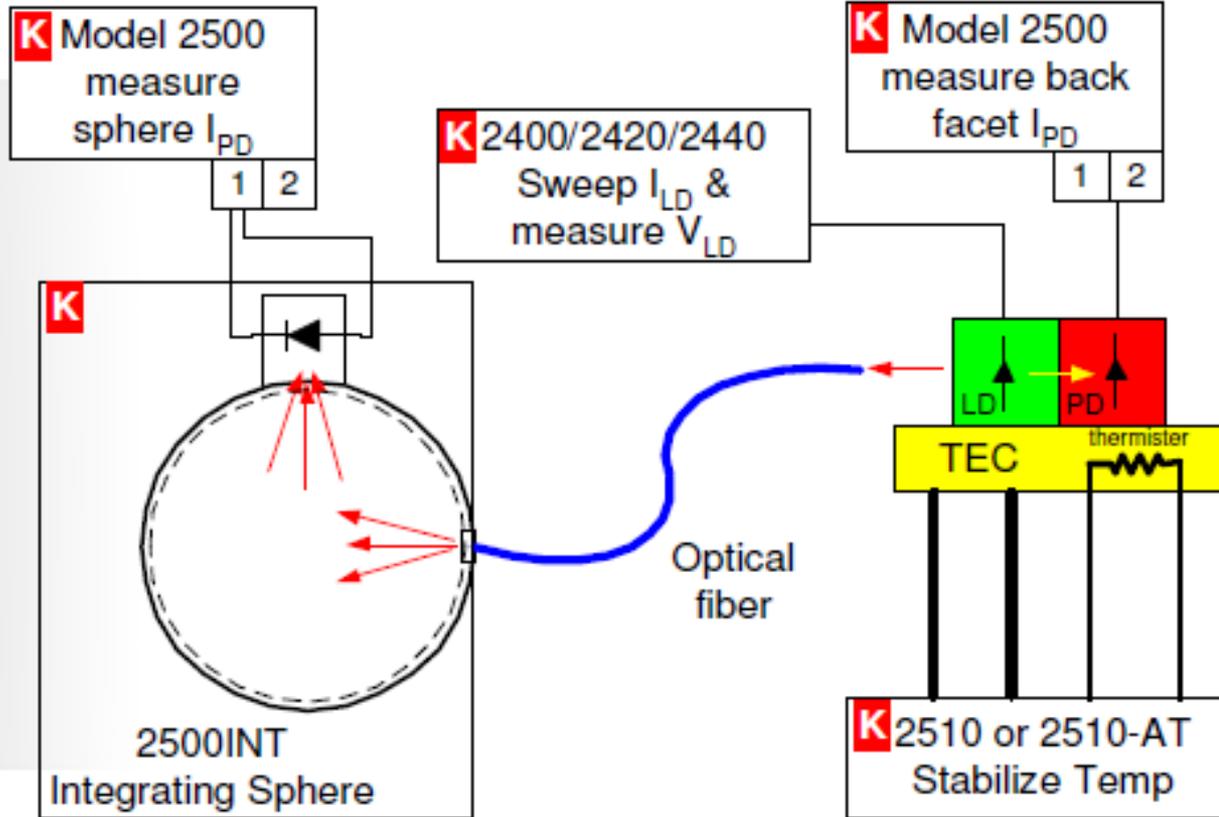
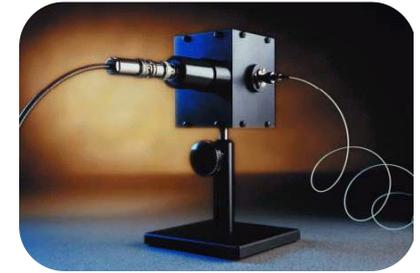
全部使用 Keithley 测试设备

精度最高的库伦效率测试系统



光电通信材料和器件

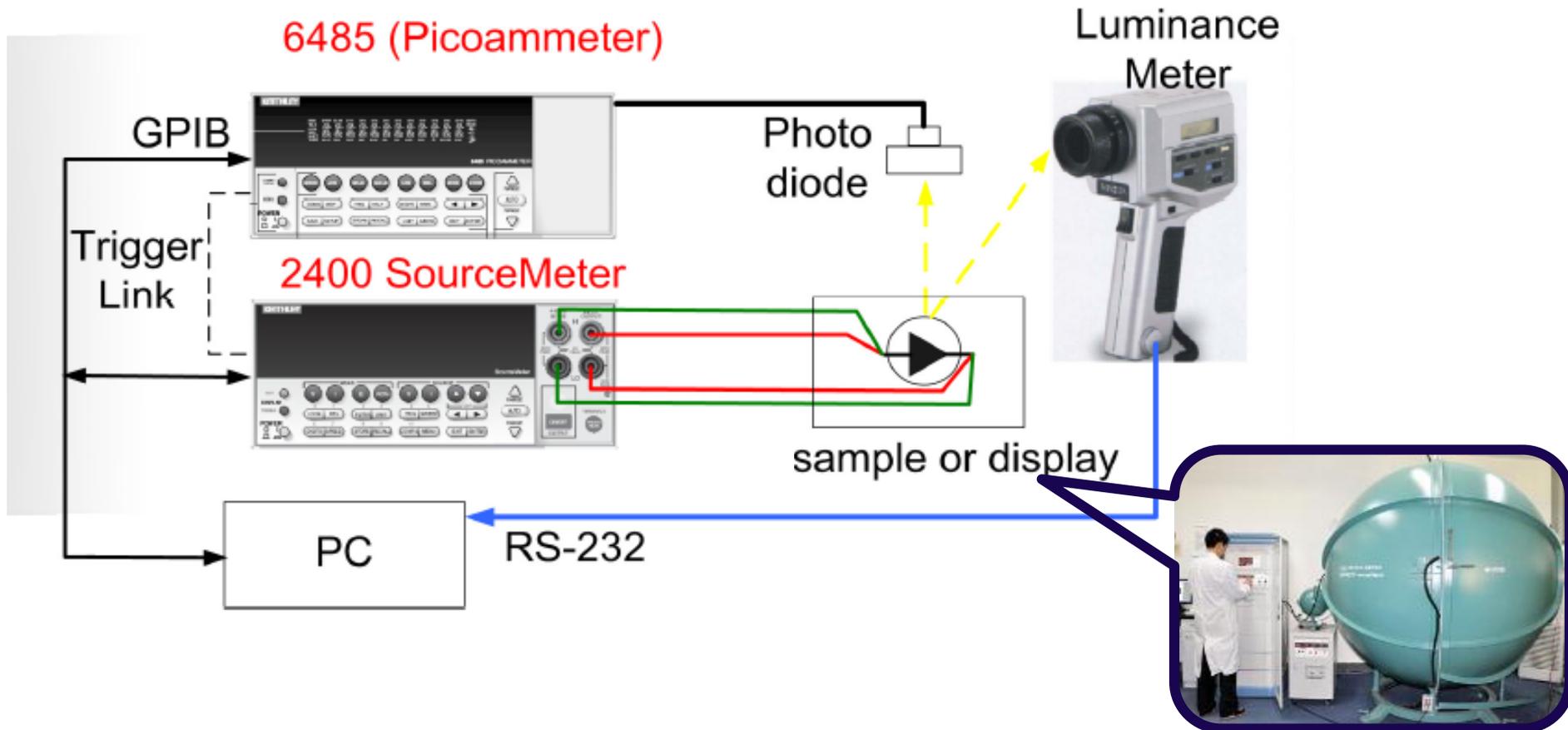
LIV系统测LD的应用



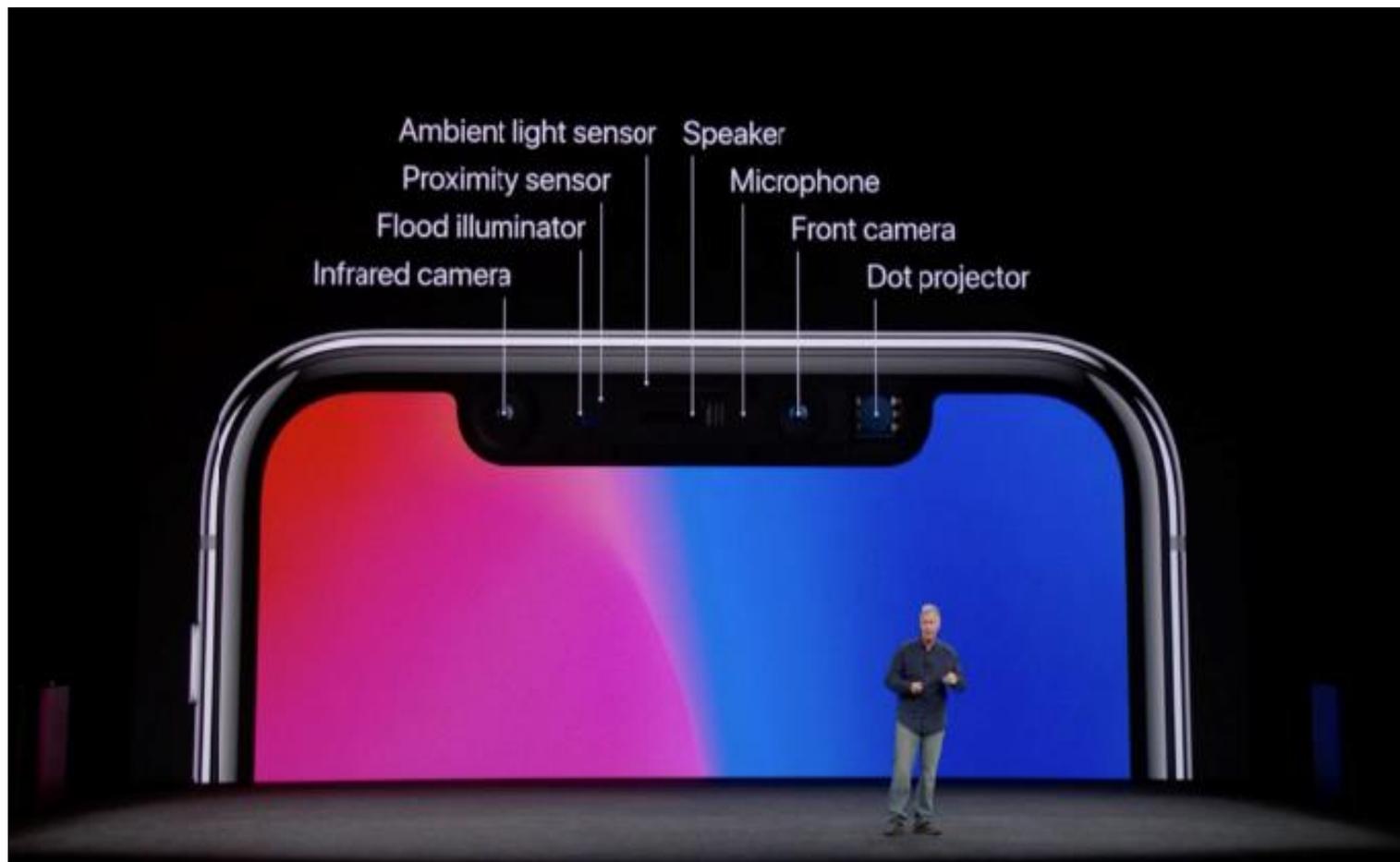
光电通信材料和器件

LED 材料研究的应用:

A Simple System for LIV Measurements



光电器件在消费电子市场的新应用



VCSEL 激光源阵列

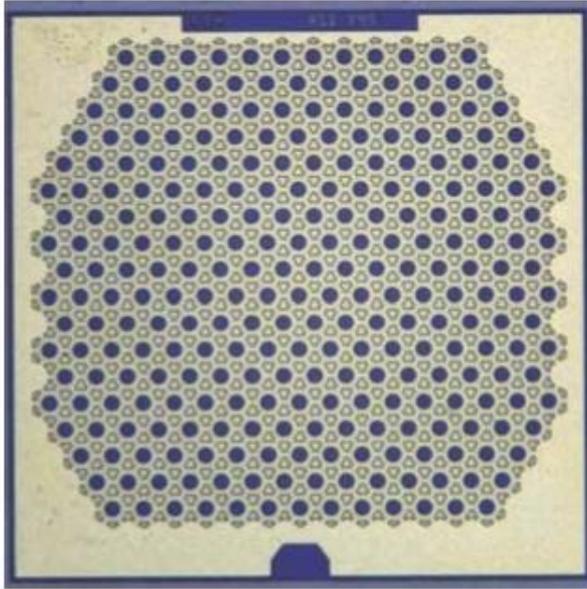


Figure 1 Picture of typical 2D high power VCSEL array

VCSEL 的测试核心 —— 激光人眼安全

控制激光功率, 避免造成人眼损伤

激光人眼安全在 VCSEL 测试中的重要性:

- 3D sensing 使用的近红外光对人眼有一定伤害
- 激光能量密度非常高
- 手机的使用频次和接触距离

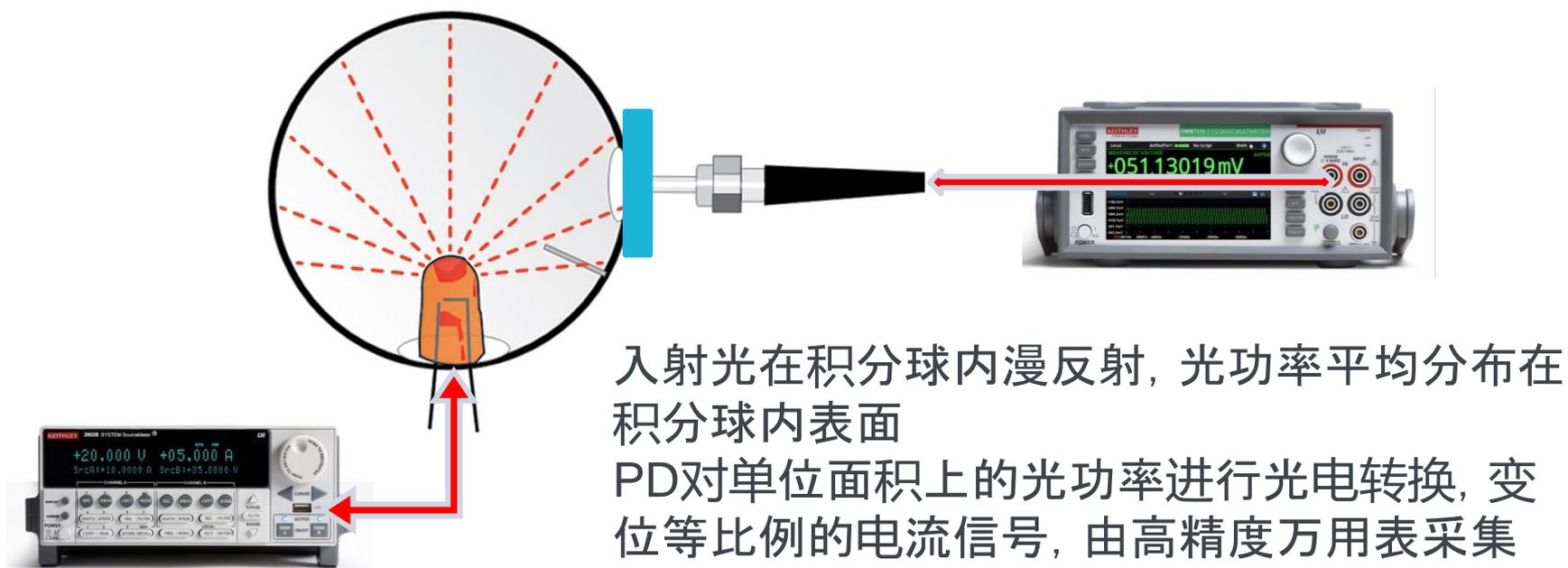


VCSEL 芯片/模组生产厂商和应用厂商非常重是激光人眼安全问题, 需要严格确保激光发射功率处于安全范围以内

准确的光功率测试非常重要

选择最精确的光功率测试方案: PD + 积分球

- 正确的收光方式：
 - 使用光积分球能使光功率测量达到最高精度



入射光在积分球内漫反射，光功率平均分布在积分球内表面
PD对单位面积上的光功率进行光电转换，变位等比例的电流信号，由高精度万用表采集

总结

- 吉时利产品以高精度高灵敏度测试技术为核心，提供为各种直流测试设计的测试设备。
- 吉时利针对不同测试需求，提供整套测试解决方案
- 吉时利致力于使用户测试更简便易行，使测试结果更灵敏准确。



A Greater Measure of Confidence

KEITHLEY INSTRUMENTS, INC. ■ 28775 aurora rd . ■ cle Veland , oh 44139-1891 ■ 440-248-0400 ■ Fax: 440-248-6168 ■ 1-888-Keithley ■ www.keithley.com

全国免费服务热线电话：400-820-5835
电子邮件：: china@keithley.com

北 京：北京市海淀区花园路4号通恒大厦3层301室
邮 编：100028
上 海：上海市徐汇区宜山路900号C楼7楼
邮 编：200233
深 圳：深圳市福田区南园路68号上步大厦21层G,H,I,J室
邮 编：518031

想了解更多关于吉时利
Keithley 产品的信息及更
多测试测量知识，欢迎访
问我们的中文官网：
www.keithley.com.cn

Tektronix



KEITHLEY

A Tektronix Company