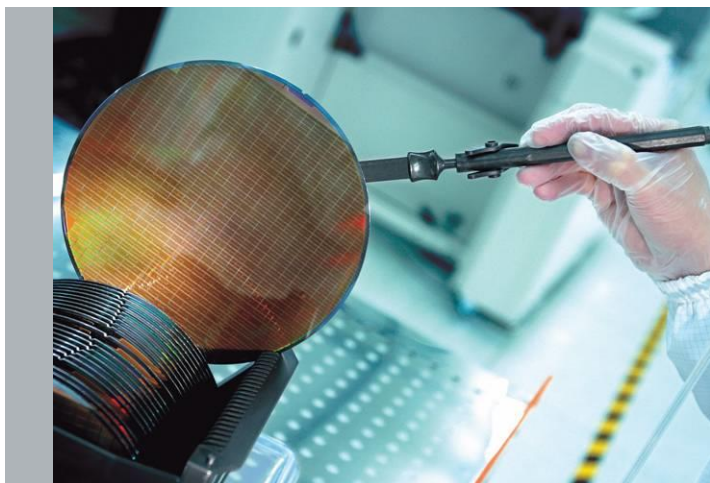


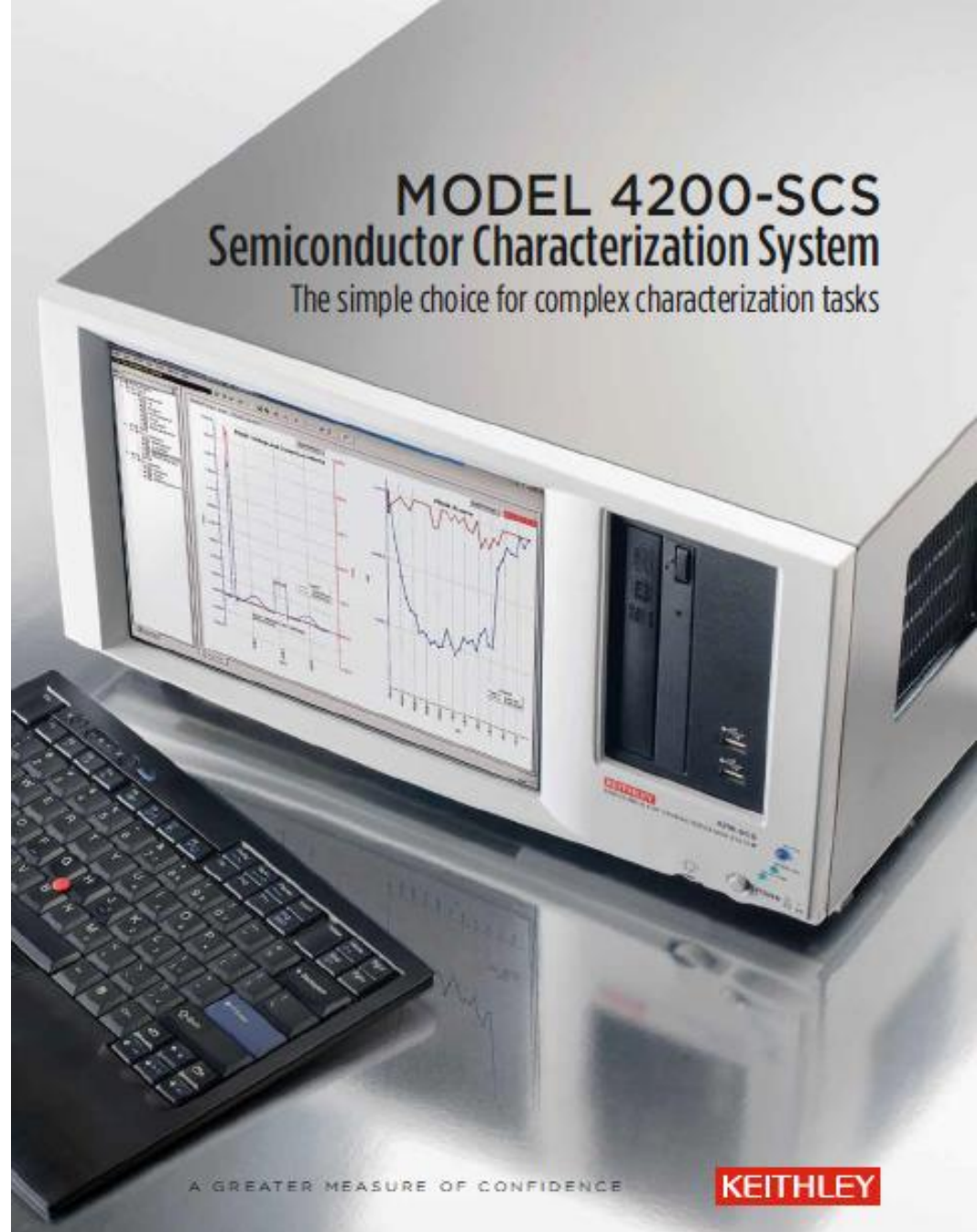
先进半导体器件与材料特性分析系统 —4200-SCS的最新技术进展

Keithley CN AE team



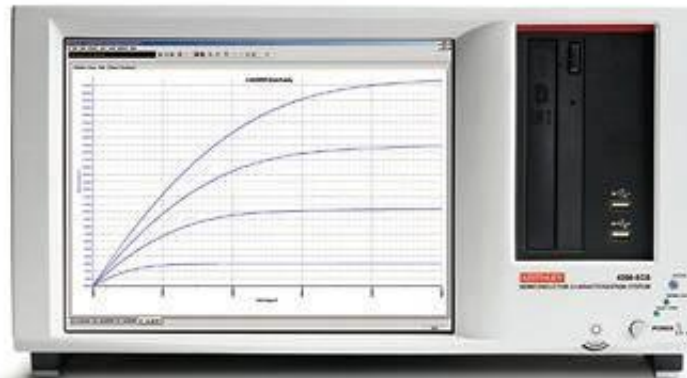
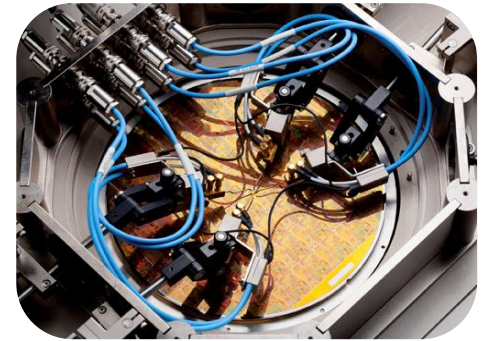
4200-SCS 产品概览

- 硬件介绍
- 卓越性能
- 最新应用



4200-SCS 主要市场分布

- 半导体材料和器件的研发—传统的半导体和微电子专业
- 器件和工艺的参数监控—半导体工艺线，生产
- 器件的建模（Modeling）—半导体器件的设计，集成电路的设计
- 可靠性和寿命测试—半导体器件可靠性研究
- 高功率MOSFET，BJT和III-V族器件（GaN，GaAs）的特性分析
- 纳米器件研究；
- 光电子器件的研究（LED，OLED等）；
- 非易挥发性存储器测试—Flash闪存，相变存储器（PRAM），铁电存储器（FeRAM），阻变存储器（RRAM）等；
- 有机半导体特性分析
- 太阳能电池及新能源器件特性分析



硬件介绍—前面板

- 4200-SCS/F半导体特性分析系统的前面板具有一个12英寸的超清晰分辨率（1024×768）的液晶显示器，具有可刻录的DVD光驱，磁盘驱动器，USB接口，键盘和鼠标。
- 具有工业级，基于GUI的Windows视窗界面，将系统设置集成时间降低到了最小；
- 将工业级控制器和另外的RAM集成在一起，确保了高的测试速度，加强了系统的坚固性，稳定性和安全性；2000年年底推向市场，全球第一家将Windows GUI界面和测量仪器有机地结合在一起；
- 具有计算机大容量硬盘，可立即存储测试过程和数据结果；
- 可刻录的DVD光驱可以进行大容量的数据备份和传输；
- 带有4个USB接口可迅速地与外围设备进行通信。

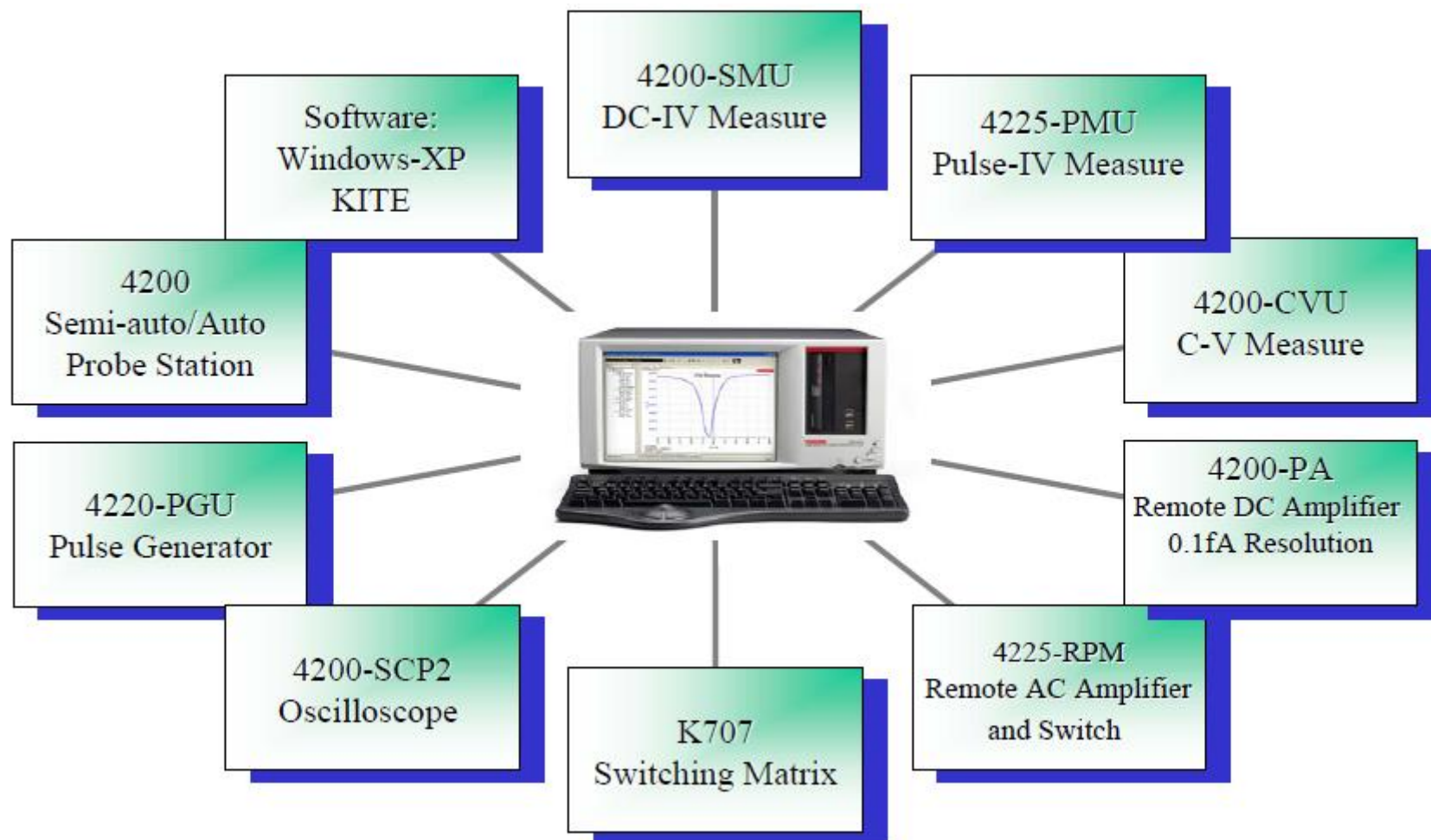


硬件介绍—后面板

- 4200-SCS半导体特性分析系统的后面板是系统的主要组成部分，从左至右看，可分成计算机部分和仪器测量部分。计算机部分包括标准的10/100以太网接口，RS-232接口，并行打印机接口（内置100多种常用打印机驱动程序），SVGA显示器接口，USB接口等；仪器测量部分则包括9个基于PCI总线的插槽，可插入2-8个SMU（源测量单元），可插入双通道脉冲发生器和示波器插卡（支持脉冲I-V测量），带有远端感应功能的低噪声地单元，GPIB接口等；
- 将仪器测量部分与计算机部分组成了一个完整有机的整体，使得用户在仪器安装和调试的时间降低到了最小；
- PCI总线插槽的结构可以使得用户将测量通道的数量从2个扩展至8个，从直流I-V测试扩展到脉冲I-V测试；
- 每个SMU通道都具有独立的22位分辨率的A/D转换器，保证了测试精度；

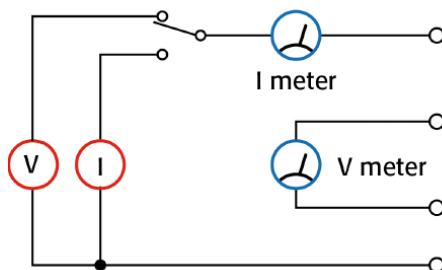
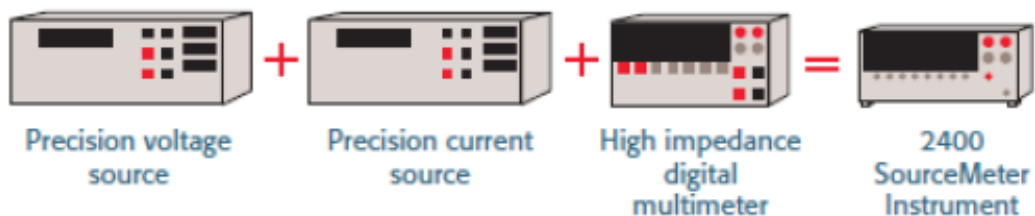
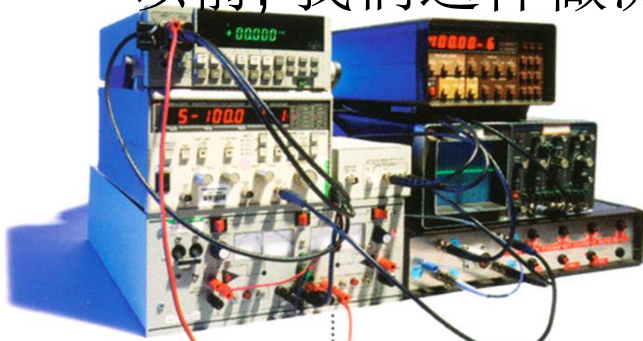


一体化的完美半导体测试解决方案



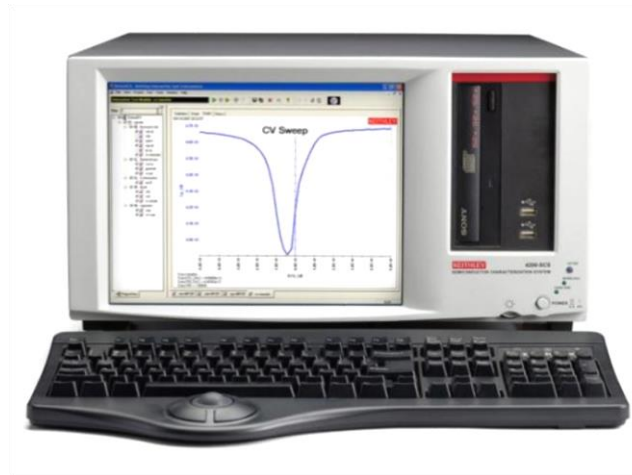
KEITHLEY Source Measure Unit

以前, 我们这样做测试



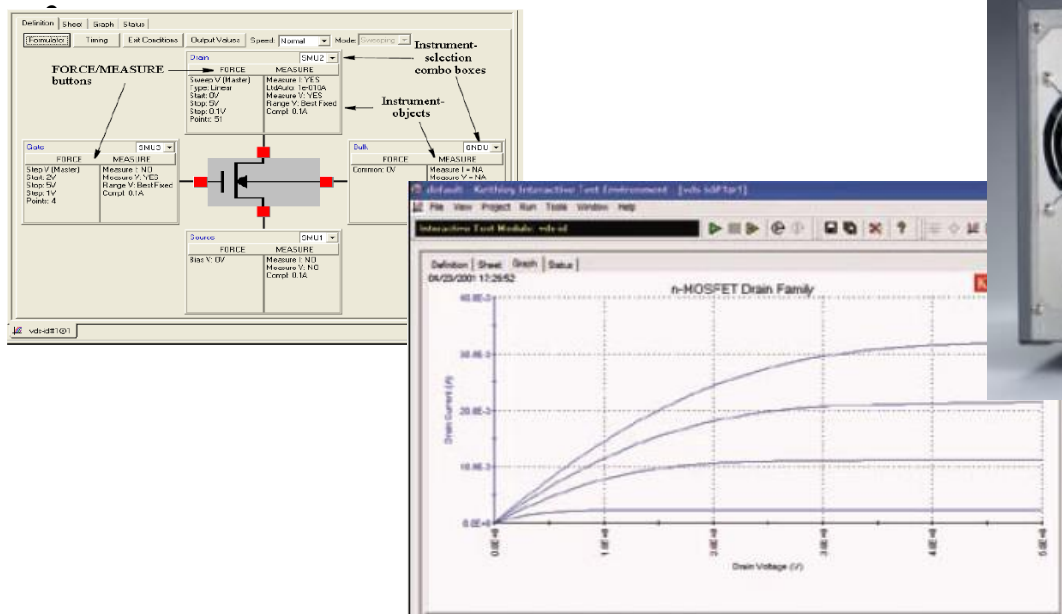
现在, 我们这样做测试

它可以做得更棒!



产品介绍—SMU 直流I-V特性测量

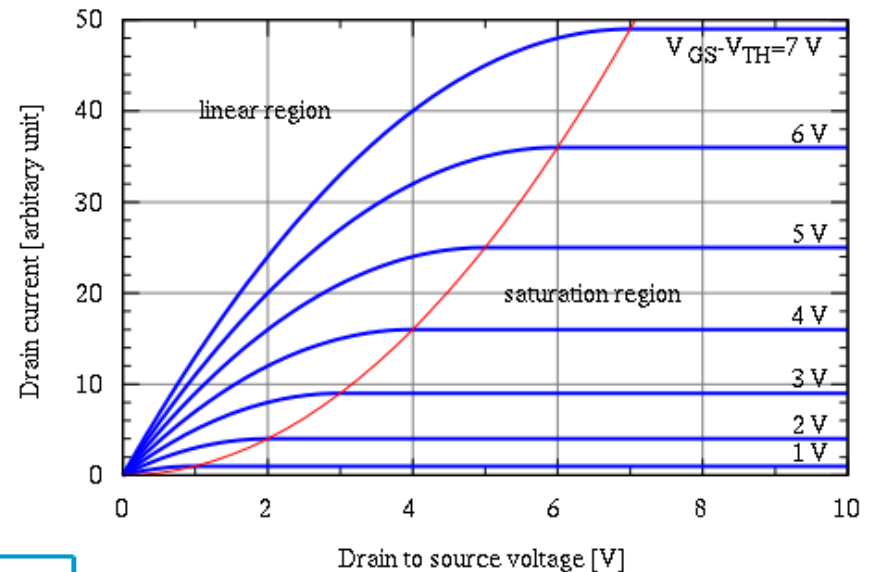
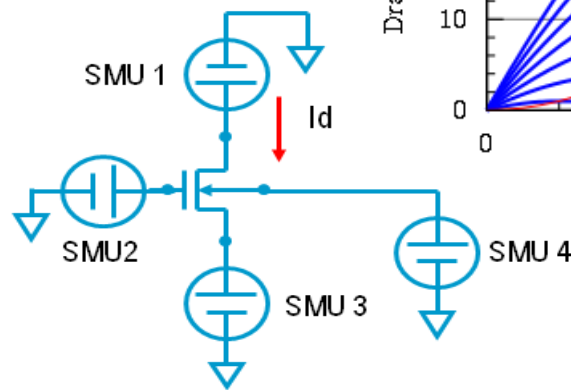
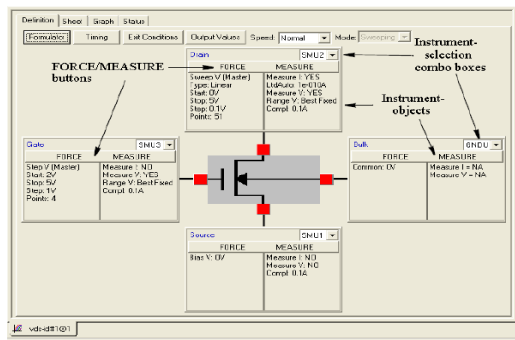
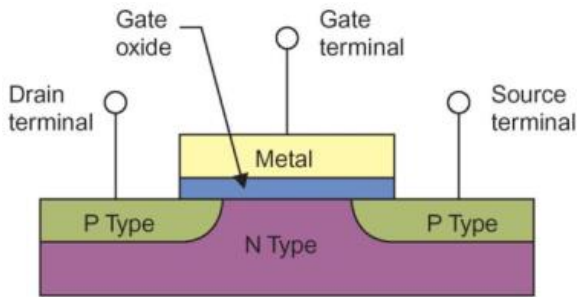
- 4200-SCS系统实现I-V测量功能的核心单元是SMU（源测量单元）；
- SMU集4种功能于一体：电压源、电压表、电流源、电流表；
- 可以向器件提供驱动电压同时测量电流，也可以向器件提供电流并测量电压；
- 图形化的KITE软件可以轻松地设定测试条件，设定电压或电流，被测点数，保护电压或电流值，完成各种I-V参数测试；
- SMU的数量与被测器件的端口数有关，原则上有几个端口，就要配几个SMU



KEITHLEY

产品介绍—四端MOSFET器件的输出特性测量

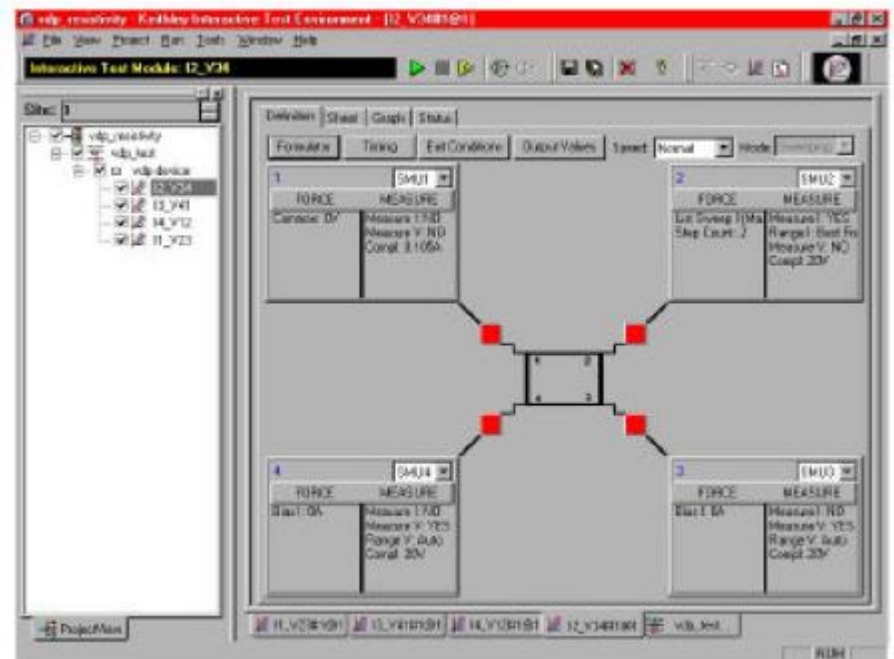
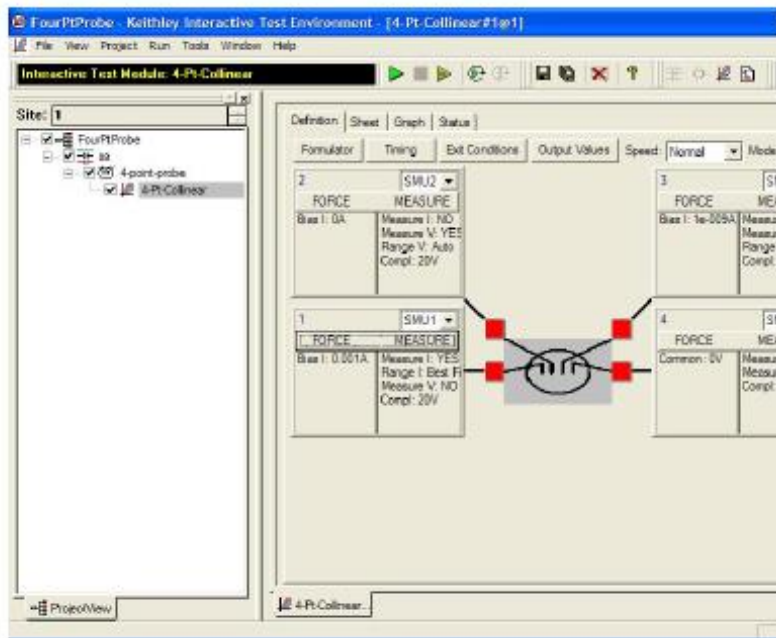
四端MOSFET的输出特性测量需要在Gate端加step电压, Drain端加扫描电压同时测量其电流。其它两端设为公共端(即参考电平)。



KEITHLEY

产品介绍—四探针电阻率和范德堡电阻测量

半导体材料研究和器件测试经常需要确定样品的电阻率和Hall载流子浓度。半导体材料的电阻率主要取决于体掺杂。在一个半导体器件中，电阻率能够影响电容，串联阻抗和阈值电压。



KEITHLEY

卓越性能★—4200-SCS微弱电流技术特性

Hardware Specifications DC SMU Hardware Specifications

CURRENT SPECIFICATIONS

		MEASURE				SOURCE	
		CURRENT RANGE ¹	MAX. VOLTAGE	RESOLUTION ³	ACCURACY ±(% rdg + amps)	RESOLUTION ³	ACCURACY ±(% rdg + amps)
4210-SMU ²		1 A	21 V	1 μA	0.100% + 200 μA	50 μA	0.100% + 350 μA
		100 mA	210 V	100 nA	0.045% + 3 μA	5 μA	0.050% + 15 μA
High Power SMU	4200-SMU ² Medium Power SMU	100 mA	21 V	100 nA	0.045% + 3 μA	5 μA	0.050% + 15 μA
		10 mA	210 V	10 nA	0.037% + 300 nA	500 nA	0.042% + 1.5 μA
		1 mA	210 V	1 nA	0.035% + 30 nA	50 nA	0.040% + 150 nA
		100 μA	210 V	100 pA	0.033% + 3 nA	5 nA	0.038% + 15 nA
		10 μA	210 V	10 pA	0.050% + 600 pA	500 pA	0.060% + 1.5 nA
		1 μA	210 V	1 pA	0.050% + 100 pA	50 pA	0.060% + 200 pA
		100 nA	210 V	100 fA	0.050% + 30 pA	5 pA	0.060% + 30 pA
4200-SMU and 4210-SMU with optional 4200-PA PreAmp		10 nA	210 V	10 fA	0.050% + 1 pA	500 fA	0.060% + 3 pA
		1 nA	210 V	3 fA	0.050% + 100 fA	50 fA	0.060% + 300 fA
		100 pA	210 V	1 fA	0.100% + 30 fA	15 fA	0.100% + 80 fA
		10 pA	210 V	0.3 fA	0.500% + 15 fA	5 fA	0.500% + 50 fA
		1 pA	210 V	100 aA	1.000% + 10 fA	1.5 fA	1.000% + 40 fA

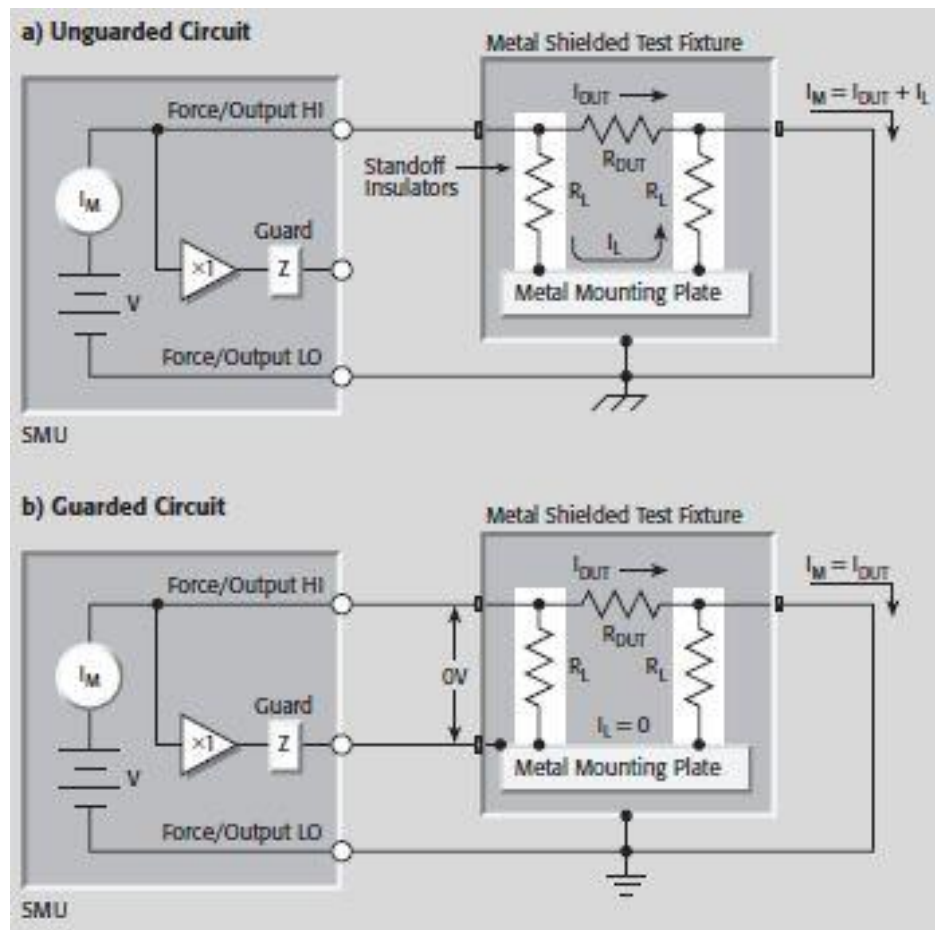
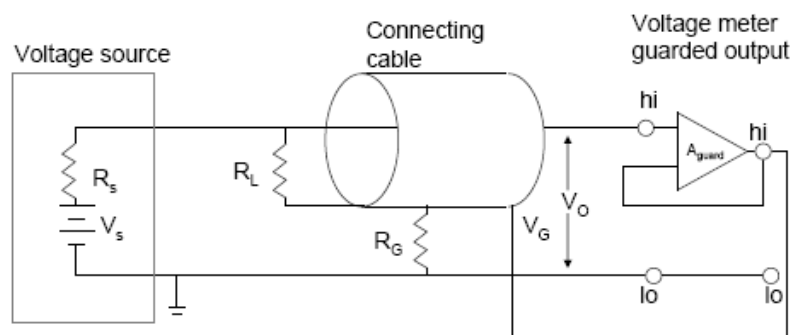
KEITHLEY

卓越性能★—4200-SCS微弱电流技术特性

• 吉时利仪器公司成立**63**年来，致力于微弱电流测试的技术研发：

4200-SCS系统采用了**2**个技术优势来保证电流的测试：

(1). 测试电缆采用三同轴电缆技术，采用特殊**Guard**保护电路，从而保证了小电流的测试；



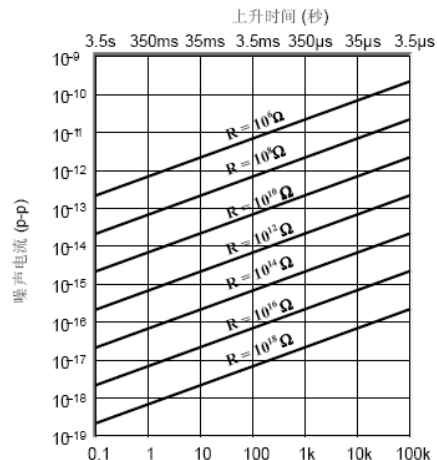
KEITHLEY

卓越性能★—4200-SCS微弱电流技术特性

4200-SCS系统采用了2个技术优势来保证电流的测试：

(2).在实际的纳米器件测试中，要考虑到往往被测器件距离参数测试系统会有一段距离，如果不在前端就将前级微弱电流放大，就会导致前端噪声传送到SMU单元中，这样一来，如果将SMU本底精度做的过高，就意义不大了；因此一定要考虑在前端放大微弱电流信号，这里又要提及测试小电流的基本原理，就是在测试小电流时，一定要将电路的等效阻抗越大越好，因为电流的噪声是和电路的等效阻抗成反比关系，参见下图：

因此，需要特别指出的是，4200-SCS系统中的4200-PA电流前置单元，该电流前置单元的等效阻抗可达 $10^{16}\Omega$ ，因此就大大降低了电路的噪声。而且，电流前置放大器可以放置在器件前端（探针台前端），从而在前级就将电流信号无损耗地传送到主机中。



$$I_N = \sqrt{4kTB/R}$$

$$I_{p-p} = 6.5 \times 10^{-10} \sqrt{B/R}$$

室温 = 300K

带宽 = 0.35/上升时间

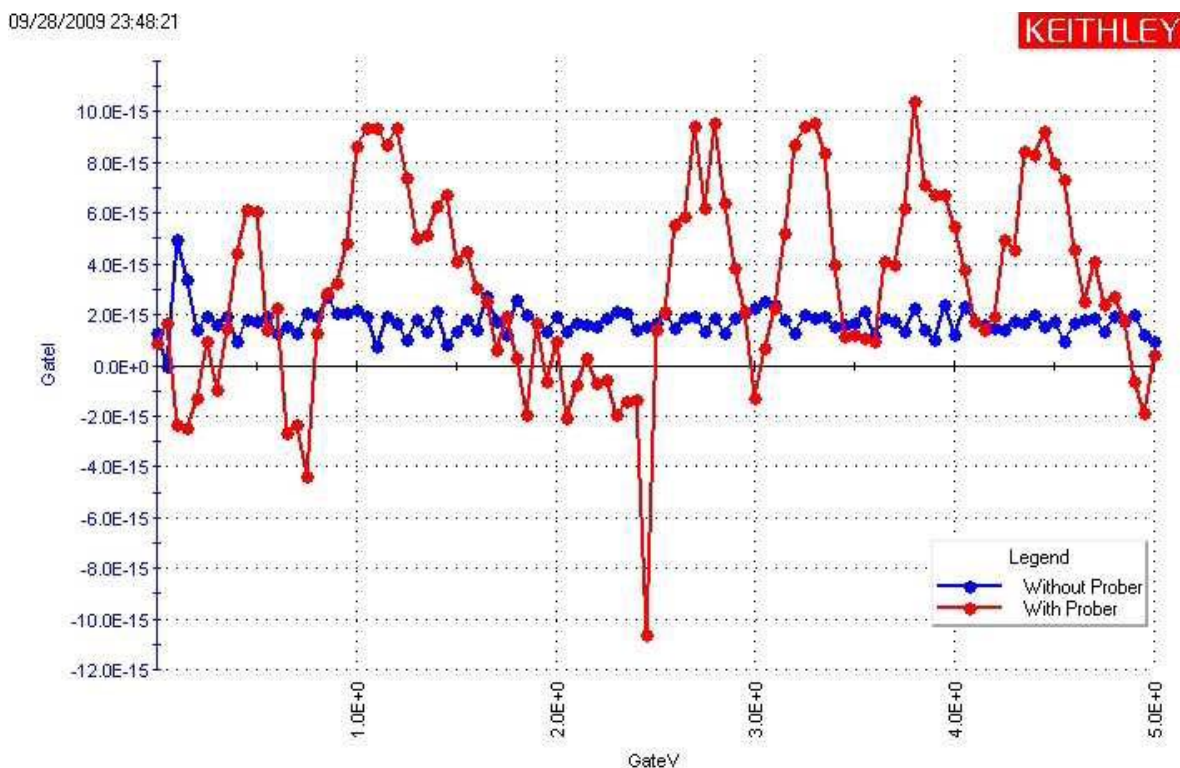
理论极限



卓越性能★—4200-SCS微弱电流技术特性—实测图形

2009年9月28日于南京大学用4200-SCS与Cascade 12000系列探针台连接时的电流本底实测图

蓝颜色为不接探针台的本底电流实测不超过2fA，接上探针台时不超过10fA。



Quiz

Hardware Specifications DC SMU Hardware Specifications

CURRENT SPECIFICATIONS

	CURRENT RANGE ¹	MAX. VOLTAGE	MEASURE		SOURCE	
			RESOLUTION ³	ACCURACY ±(% rdg + amps)	RESOLUTION ³	ACCURACY ±(% rdg + amps)
4210-SMU ² High Power SMU 4200-SMU ² Medium Power SMU	1 A	21 V	1 μ A	0.100% + 200 μ A	50 μ A	0.100% + 350 μ A
	100 mA	210 V	100 nA	0.045% + 3 μ A	5 μ A	0.050% + 15 μ A
	100 mA	21 V	100 nA	0.045% + 3 μ A	5 μ A	0.050% + 15 μ A
	10 mA	210 V	10 nA	0.037% + 300 nA	500 nA	0.042% + 1.5 μ A
	1 mA	210 V	1 nA	0.035% + 30 nA	50 nA	0.040% + 150 nA
	100 μ A	210 V	100 pA	0.033% + 3 nA	5 nA	0.038% + 15 nA
	10 μ A	210 V	10 pA	0.050% + 600 pA	500 pA	0.060% + 1.5 nA
	1 μ A	210 V	1 pA	0.050% + 100 pA	50 pA	0.060% + 200 pA
	100 nA	210 V	100 fA	0.050% + 30 pA	5 pA	0.060% + 30 pA
	10 nA	210 V	10 fA	0.050% + 1 pA	500 fA	0.060% + 3 pA
4200-SMU and 4210-SMU with optional 4200-PA PreAmp	1 nA	210 V	3 fA	0.050% + 100 fA	50 fA	0.060% + 300 fA
	100 pA	210 V	1 fA	0.100% + 30 fA	15 fA	0.100% + 80 fA
	10 pA	210 V	0.3 fA	0.500% + 15 fA	5 fA	0.500% + 50 fA
	1 pA	210 V	100 aA	1.000% + 10 fA	1.5 fA	1.000% + 40 fA

VOLTAGE COMPLIANCE: Bipolar limits set with a single value between full scale and 10% of selected voltage range.

VOLTAGE SPECIFICATIONS

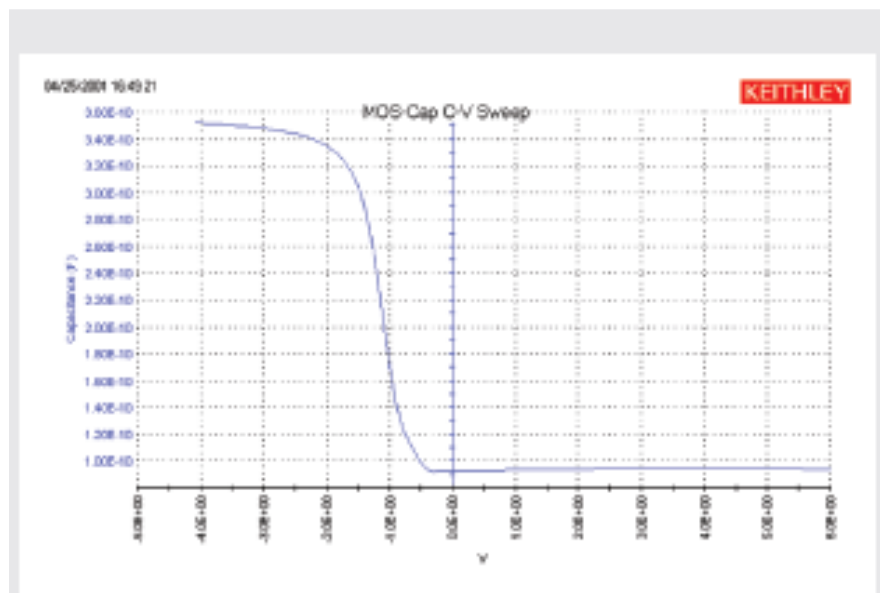
VOLTAGE RANGE ¹	MAX. CURRENT		MEASURE		SOURCE	
	4200-SMU	4210-SMU	Resolution ³	Accuracy ±(% rdg + volts)	Resolution ³	Accuracy ±(% rdg + volts)
200 V ⁴	10.5 mA	105 mA	200 μ V	0.015% + 3 mV	5 mV	0.02% + 15 mV
20 V	105 mA	1.05 A	20 μ V	0.01 % + 1 mV	500 μ V	0.02% + 1.5 mV
2 V	105 mA	1.05 A	2 μ V	0.012% + 150 μ V	50 μ V	0.02% + 300 μ V
200 mV	105 mA	1.05 A	1 μ V	0.012% + 100 μ V	5 μ V	0.02% + 150 μ V

以100nA 量程测 400pA的电流，测出的电流值最可能在以下哪个范围？

- A. 399pA ~ 401pA;
- B. 395pA ~ 405pA
- C. 370pA ~ 430pA;
- D. 400pA ~ 500pA;

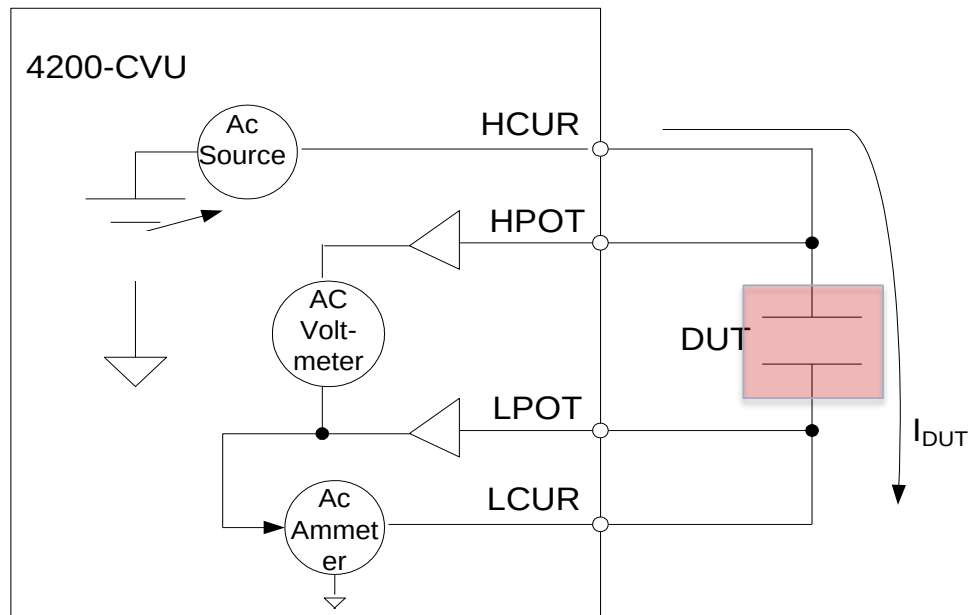
产品介绍—C-V特性测量

- C-V测量是由4210-CVU测试单元和4200-SCS系统的KITE软件平台共同完成；
- 扫频频率为1KHz-10MHz，扫描电压范围：0-±60V；（加功率包的情况下可到200V）
- C-V测量不仅是电容—电压的测量，更重要的是提供了完整的C-V分析数据库，用户很方便（无需编写程序代码）得到各种半导体物理量：氧化层厚度、栅面积、串联电阻、平带电容、电压、开启电压、体掺杂、有效氧化层电荷密度、可动电荷、金属-半导体功函数、德拜长度、体电势等。



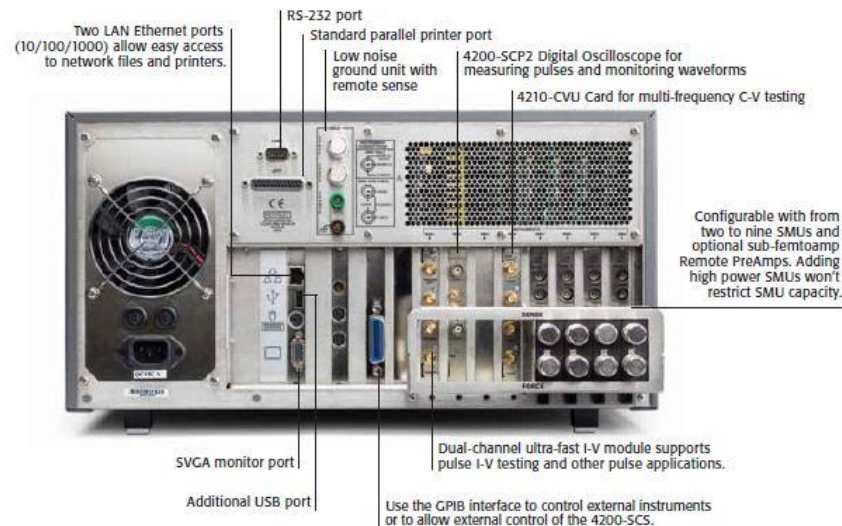
KEITHLEY

C-V测试单元的原理



Typical AC source is 1 kHz to 10 MHz

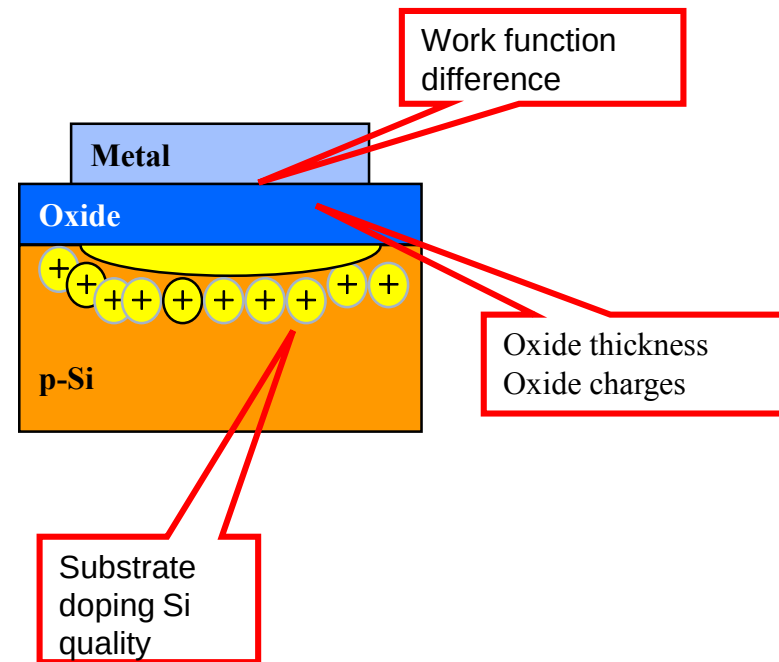
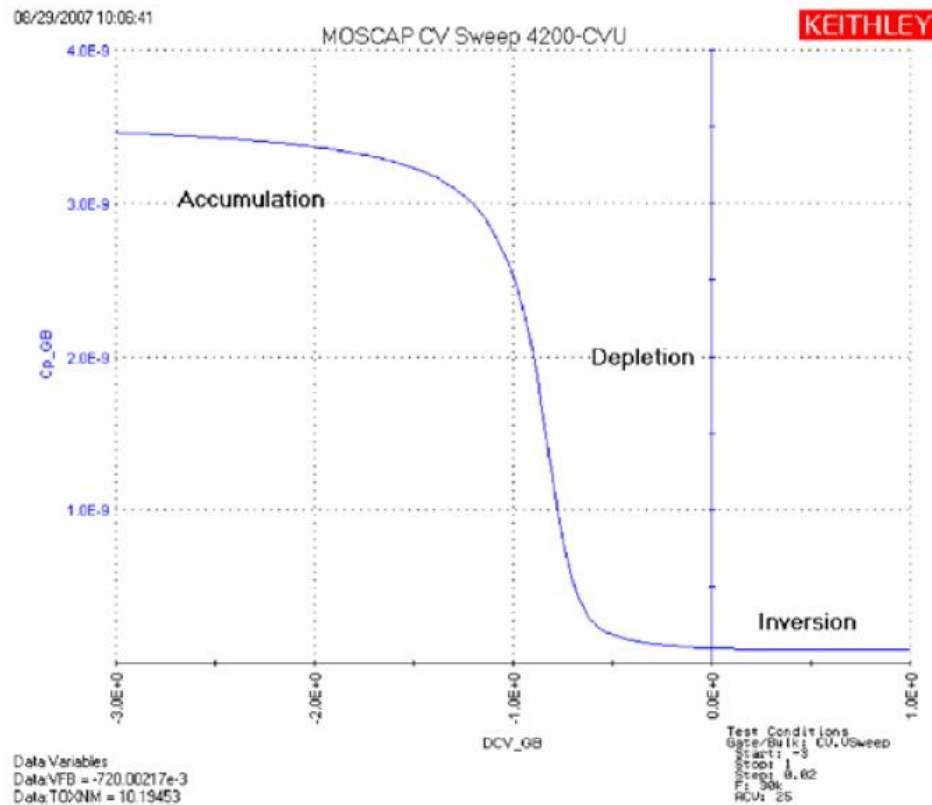
$$C_{DUT} = \frac{I_{DUT}}{2\pi f V_{ac}}$$



1. 在被测样品上加直流及交流电压
2. 基于锁相技术对电压及电流测量, 精确计算出相位角
3. 根据电容与交流阻抗, 相位的关系计算得出电容值

产品介绍—C-V特性测量

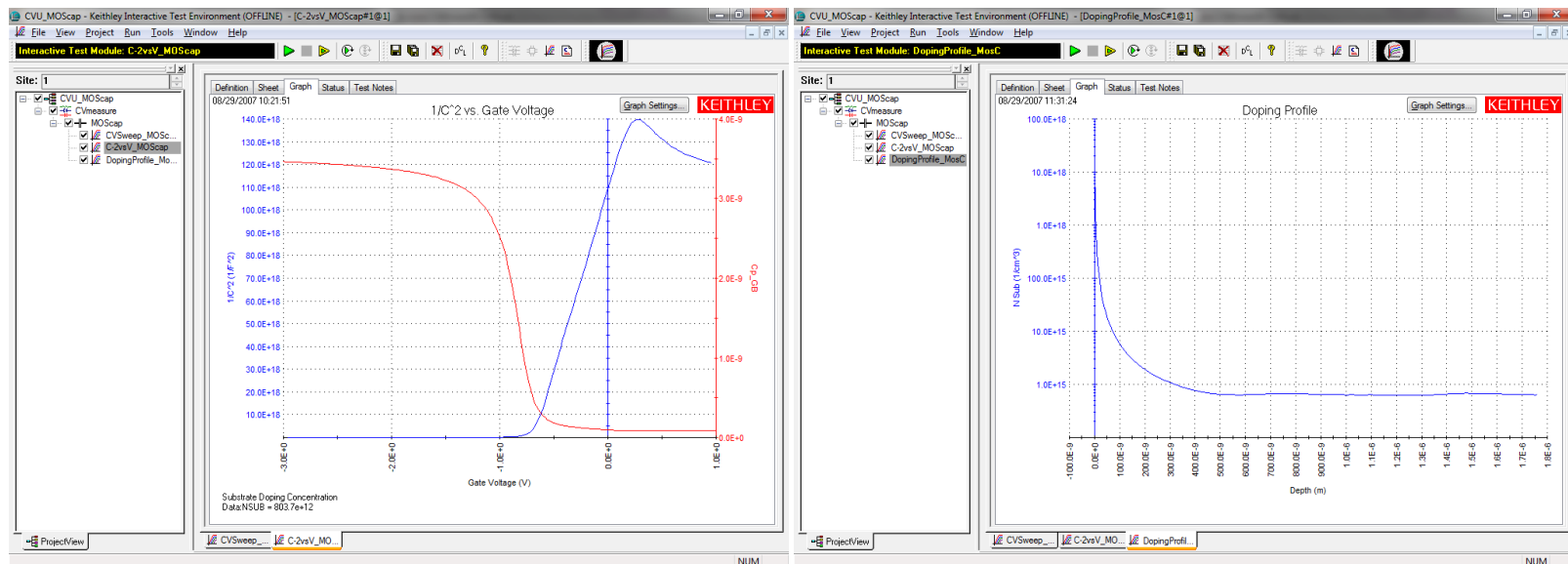
MOS 电容最重要的特性就是其电容随着施加的 DC 扫描电压而变化。因此，这种变化就反映出 MOS 电容的工作模式变化，图 3 给出了 p 型半导体衬底的高频 C-V 曲线，DC 扫描电压加在栅极上，导致器件穿过三个工作区域：累积区，耗尽区，反转区。



KEITHLEY

产品介绍—CV特性测量

下图为利用Keithley 4200-SCS进行参数提取的实例表现了半导体的掺杂特性（左边的蓝线），它与 $1/C^2$ 与 V_g 的关系呈倒数关系（红线）。右图给出了掺杂分布，即每立方厘米的载流子数与衬底深度的函数关系。



KEITHLEY

产品介绍—准静态C-V特性测量

- 超低频 (准静态C-V Quas-static) C-V测试 :

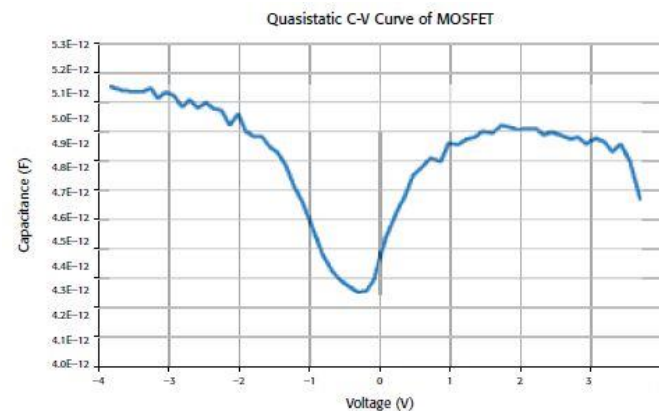
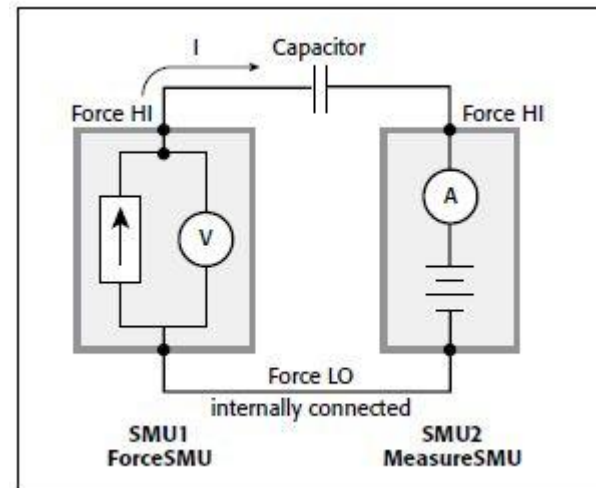
频率范围 : 10mHz-10Hz;

测量量程 : 1pF-10nF ;

AC信号 : 10mV-3V RMS ;

DC偏置 : +/-20V

准静态C-V测量主要用于测试界面态浓度



卓越性能★—4200 C-V测量特性

- **4200-SCS**进行的**C-V**测试还有业内最丰富的**C-V**参数测试库：
- **标准C-V扫描**：普通**MOSFET**，二极管和电容器；
- **MOScap**：测量**MOS**电容器上的**C-V**，提取参数包括氧化层电容，氧化层厚度，掺杂浓度，耗尽深度，德拜长度，平带电容，平带电压，体电势，阈值电压，金属半导体功函数，有效氧化层电荷；
- **MOSFET**：对一个**MOSFET**器件进行一个**C-V**扫描。提取参数包括：氧化层厚度，氧化层电容，平带电容，平带电压，阈值电压，掺杂浓度与耗尽深度的函数关系；
- **寿命**：确定产生速度并进行寿命测试（**Zerbst**图）；
- **可动离子**：使用**BTS**方法确定并提取平带电压参数确定可动电荷。包括对**Hot Chuck**热吸盘的控制。在室温下测试样品，然后加热后测试，然后再恢复至室温下以确定平带漂移电压，从而确定可动电荷；
- **电容**：在金属-绝缘-金属（**MIM**）电容器上进行**C-V**扫描和**C-f**扫描，并计算出标准偏差；
- **PN结**：测量**P-N**结或肖特及二极管的电容与其尖端片置电压的函数关系；

KEITHLEY

卓越性能★—4200 C-V测量特性

- 光伏电池：测量一个发光太阳电池的正向和反向**DC**特性，提取参数，最大功率，最大电流，最大电压，短路电流，开路电压，效率。同时执行**C-V**和**C-f**扫描特性；
- **BJT**：在端-端之间测量电容（**OV**偏置情况下），**C_{be}**，**C_{bc}**，**C_{ec}**；
- 接线电容：测量晶圆上小的互相接线之间的电容；
- 纳米线：在两端的纳米线器件上进行**C-V**扫描；
- 闪存：在一个典型的栅极悬浮闪存器件上进行**C-V**测量。
- 和其他的特性分析系统不同，**Keithley C-V/I-V**分析和提取程序工作在一个界面友好的环境上，所有的测试库均为开放式的，允许用户根据自己的研究类型对测试库容易地进行修改，定制测试流程。上述集成在内的测试库，来自于标准教科书和**Keithley**公司多年的技术服务经验，有助于极大地缩短程序开发时间。

KEITHLEY

产品介绍—超快脉冲I-V模块介绍

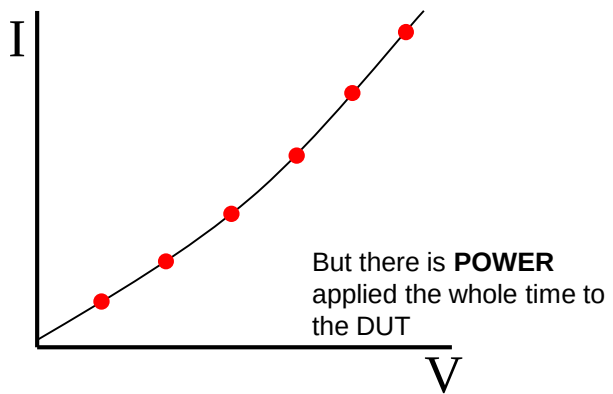
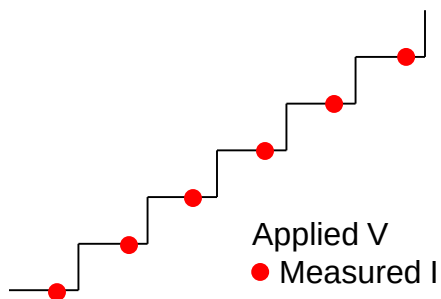
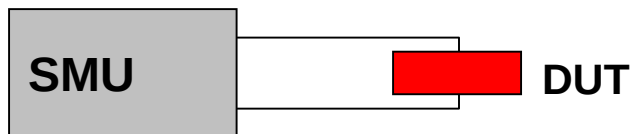
- 超快I-V的源和测量在很多技术领域变得越来越重要，包括化合物半导体，中功率器件，中功率器件，非易挥发性存储器，MEMS（微机电器件），纳米器件，太阳电池和CMOS器件。
- 脉冲I-V对器件进行特性分析可以实现用传统DC方法无法实现的任务，比如，对纳米器件的自热效应的克服，对于高K栅极电介质器件中因电荷陷阱效应而导致的磁滞效应般的电流漂移。
- 瞬态I-V测试使得科研人员来获取高速的电流或电压波形。脉冲信号源可用于器件可靠性中的应力测试，或者以多阶梯脉冲模式对存储器件的擦、写操作



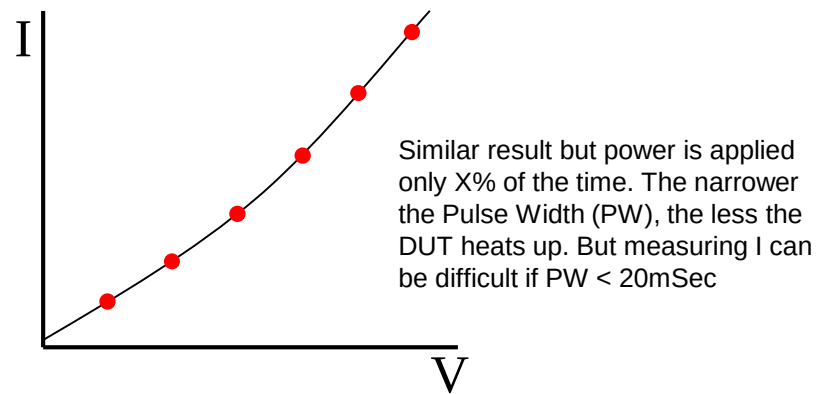
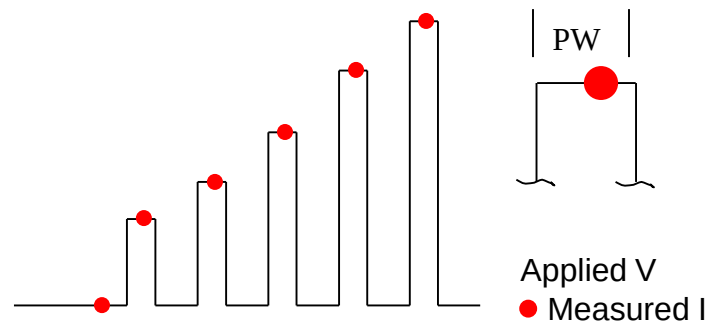
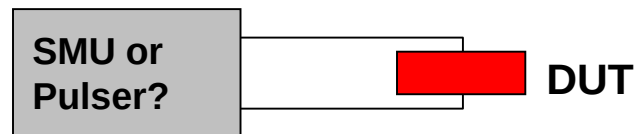
KEITHLEY

什么是脉冲测试

DC I-V

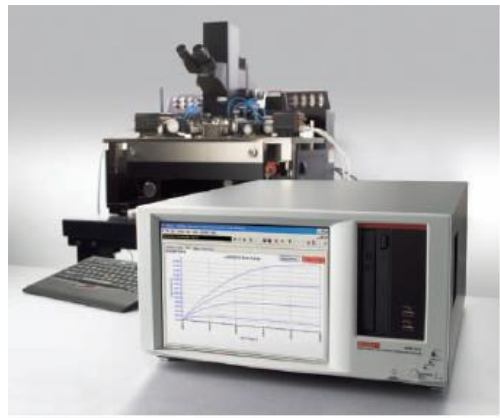


Pulsed I-V



超快脉冲I-V模块的关键特征

- 4225-PMU超快I-V模块提供两个通道的高速，多阶脉冲电压输出，可同时测量电流和电压，它取代了传统的脉冲/测量的硬件配置（一般包括外部的脉冲发生器，多通道示波器，不同仪器间的互相连接以及集成化的软件）。
- 4225-PMU的特征为：
 - ❑ 集成化的高速源和测量能力；
 - ❑ 宽范围的电压源，电流测量（自动量程）和时间参数的设定；
 - ❑ 多种半导体参数测试应用；
 - ❑ 内置的交互式软件，易于控制



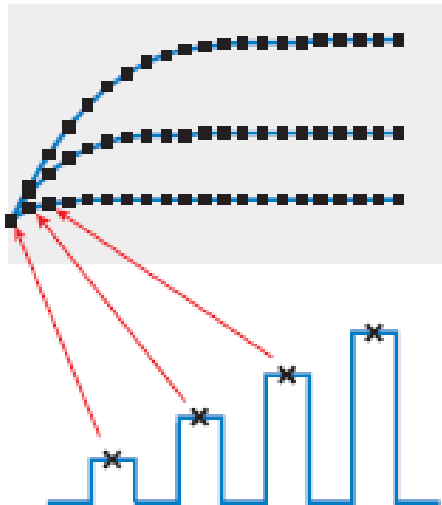
KEITHLEY

超快脉冲I-V 模块的主要应用

- 4225-PMU的适合于广泛地器件测试应用：
 - ❑ 通用的脉冲I-V器件测试
 - ❑ CMOS器件特性分析：电荷泵，自热效应，电荷陷阱，NBTI/PBTI分析
 - ❑ 非易挥发性存储器：闪存，相变存储器
 - ❑ 化合物半导体器件和材料：LED等
 - ❑ 纳米器件和MEMS等

超快脉冲I-V 模块工作模式-PIV

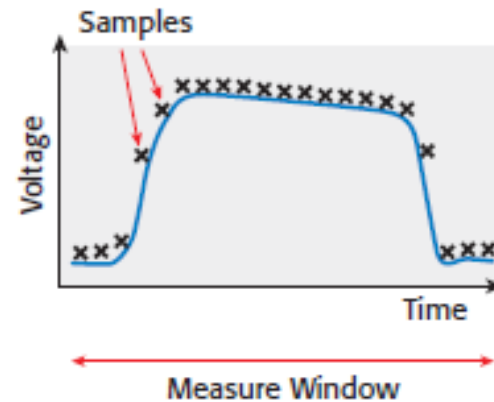
- 脉冲I-V模式，加脉冲电压，同时测量一个脉冲电流模式；



Pulsed I-V

Pulse/Measure with DC-like results
Train, Sweep, Step modes
General device characterization

- 瞬态I-V模式（波形抓取），比如，观察漏极电流因电荷陷阱或自热效应而产生的衰减。

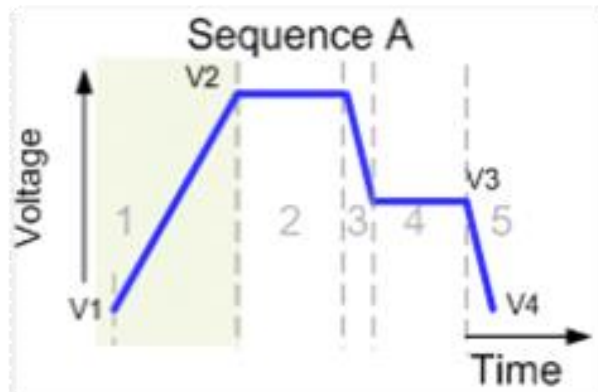


Transient I-V

Time-based I and V measurements
Waveform capture
Dynamic device testing

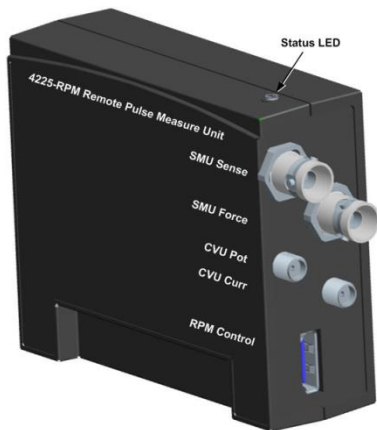
超快脉冲I-V 模块工作模式-Pulsed sourcing

- 自定义的脉冲波形输出，用户可自行定义输出任意波形，定义设定段和时间间隔



Sequence A Definition			
Segment	Start V	Stop V	Duration
1	V1	V2	T1
2	V2	V2	T2
3	V2	V3	T3
4	V3	V3	T4
5	V3	V4	T5

RPM 模块



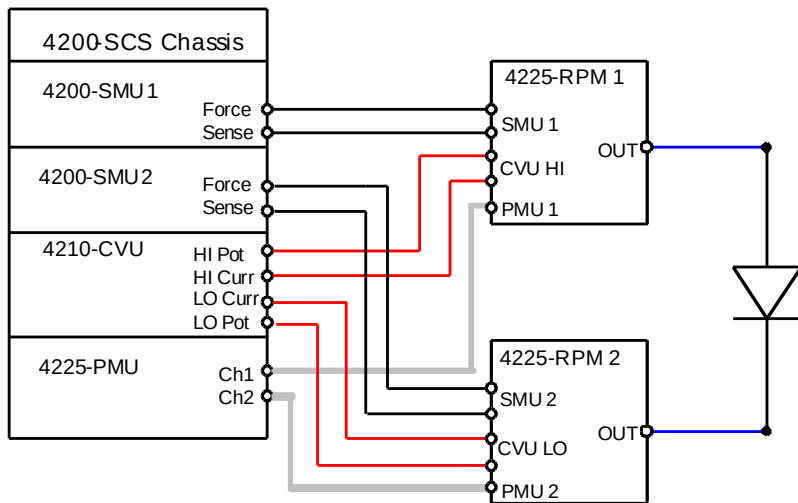
INPUTS



OUTPUT

- 4225-RPM Remote Pulse Module
- Extends the low current capabilities of the PMU to below 10mA
- Allows the user to switch between the PMU, CVU, and SMU without re-cabling.
- Remotely Mounted
- Controlled via the 4225-PMU
- One-per-PMU Channel
- Cannot be used without a PMU
- Remotely mounted on the end of a 2m cable
- Each RPM is matched and calibrated with a particular PMU channel

RPM –硬件连接示意图



- In addition to the PMU, the CVU and SMU can be attached to the RPM module.
- Only one RPM can be attached to each PMU channel.
- Can switch between the three instrument inputs under program control
- All needed cables are included.
- With the CVU, the two high cables are attached to one RPM, and the two low cables are attached to another RPM.

最新应用

适合于广泛地器件测试应用：

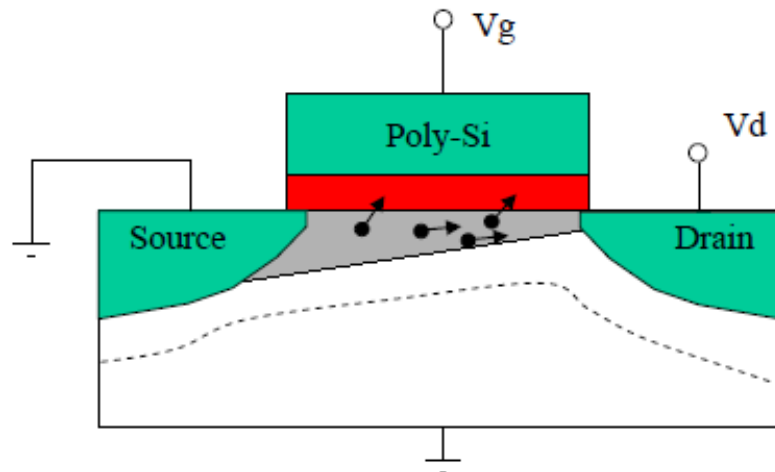
- ❑ 高K—电荷陷阱 (charge trapping)
- ❑ 纳米器件自热效应测试
- ❑ NVM (非易失性存储器)
- ❑ NBTI 测试 (可靠性测试)
- ❑ 太阳能测试 (光电材料的电学特性测试)

高K材料测量

- 高K栅极电介质器件的测试挑战——电荷陷阱 (Charge Trapping)效应的克服

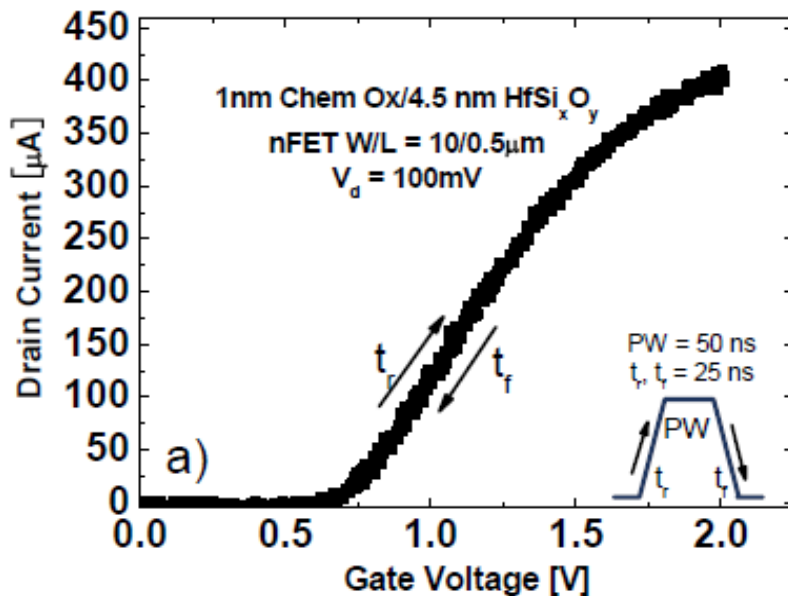
电荷阱效应的影响是在晶体管打开后漏极电流减小。当电荷在栅极电介质上被捕获时，晶体管的开启电压由于栅极电容器中的内部电压而增加。

电荷阱产生和消失的时间取决于栅极堆栈的组成部分，界面SiO₂层的物理厚度和高K薄膜以及工艺技术，时间从小于1个 μs 到数十 μs 范围内变化。使得仅用传统的DC测量方法就获得栅极堆栈中发生的完全物理现象是非常困难的。

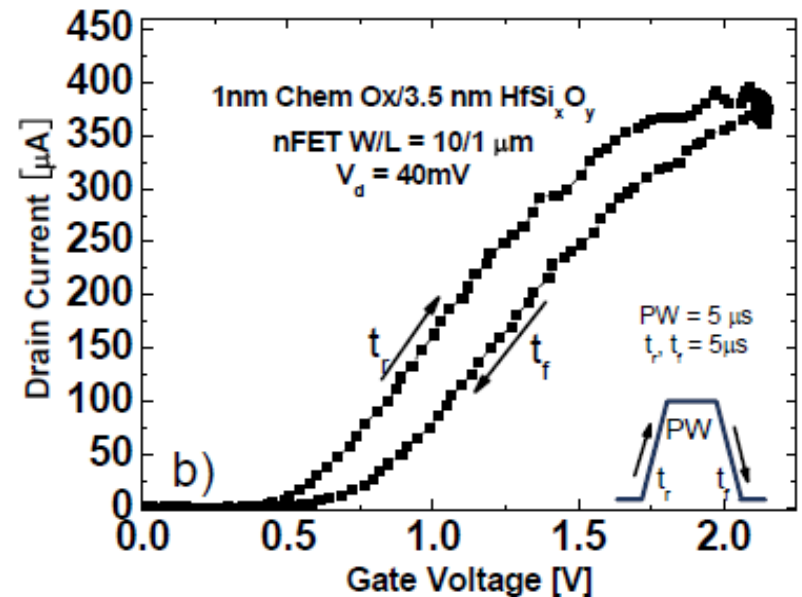


高K材料测量

- 不同脉冲宽度下的 I_d - V_g 曲线（Keithley 2006年与美国SEMATECH公司合作，发表了下列测试曲线）：



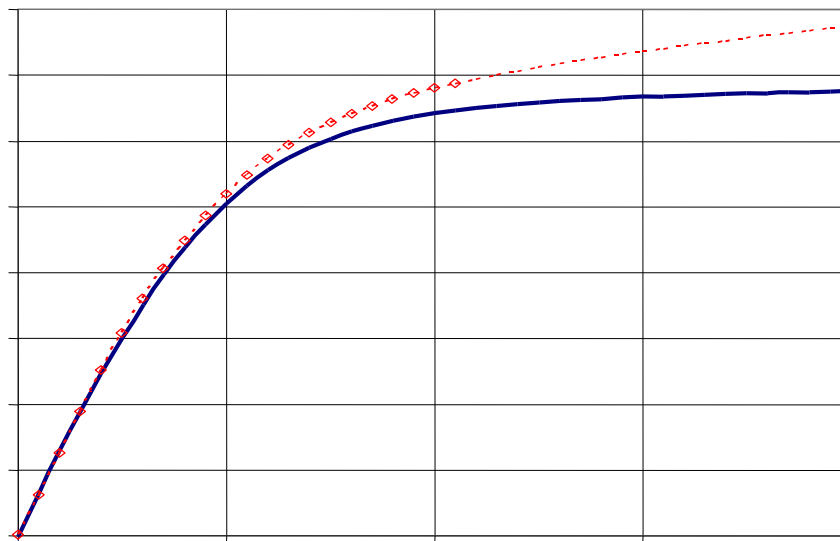
short pulse width



long pulse width

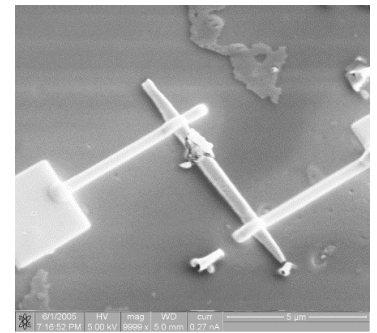
针对纳米器件自热效应的克服

• 自热效应已经成为纳米器件和TFT器件测试时必须要考虑的一个问题，对于一些基于小尺寸和SOI工艺技术更低功率器件（这样的器件在工作时产生的热量不能立即散发），自热效应会导致用传统直流测试方法得不出更加真实的数据。在这种情况下，使用脉冲I-V测试就可以极大地避免自热效应带来的影响。

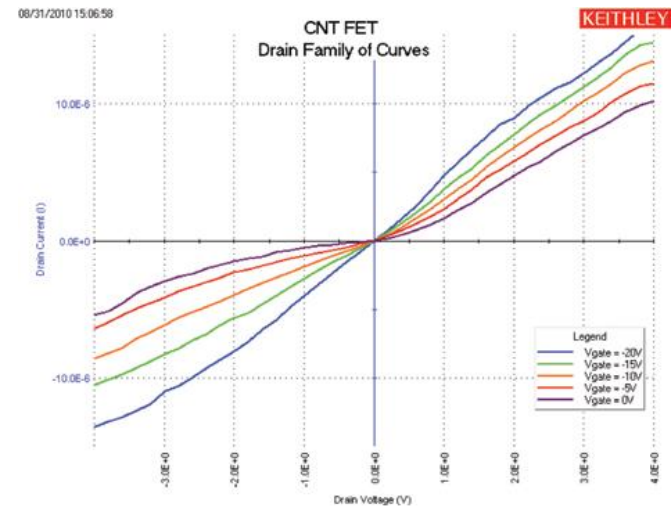
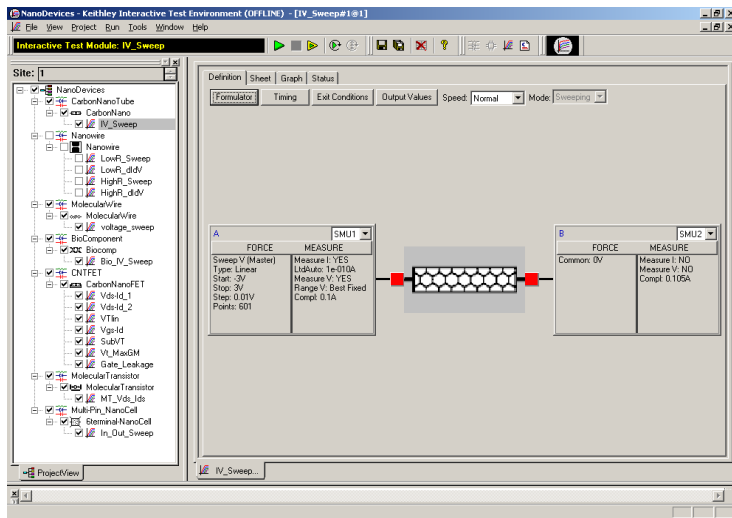


KEITHLEY

产品介绍—纳米器件的测量



- 4200-SCS半导体特性分析系统提供的软件KITE78.2版本包括一个独特的纳米技术工具包，提供了业界最为全面的纳米测试工具包，它提供了纳米电子学特性分析的一个强大平台；
- 针对7种纳米结构的16个测试库：碳纳米管、生物芯片/器件、碳纳米管FET、纳米线、分子线、分子晶体管、多管脚纳米格；
- 还提供了很多技术资料，技术讲座，应用指南系列。



NVM存储器测试

Volatile Memory

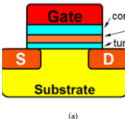
(Lose data when power down)



SRAM



DRAM



Emerging Memory:
T-RAM, Z-RAM, TTRAM

Non-volatile Memory

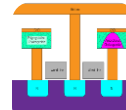
(Keep data without power)



ROM, PROM, EPROM, EEPROM

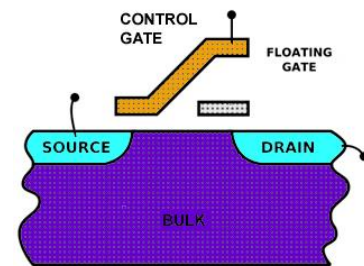


FLASH



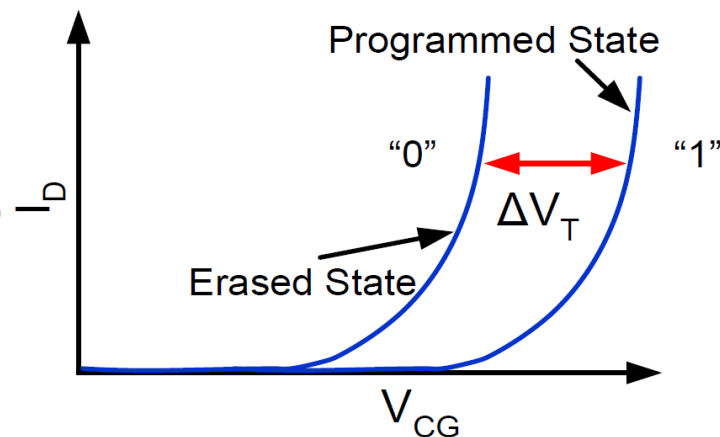
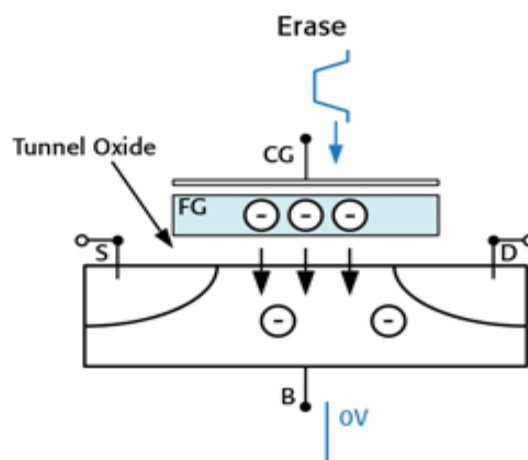
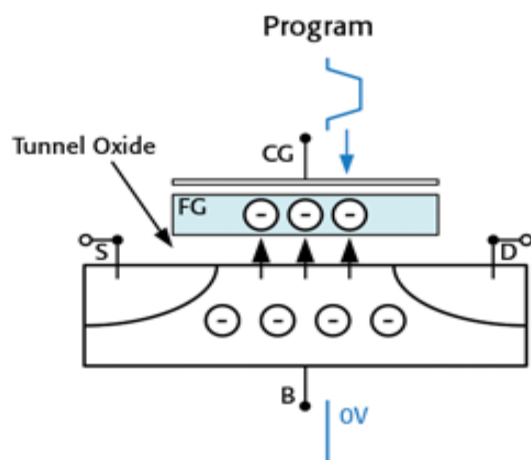
Emerging Memory:
FeRAM, MRAM, PRAM, RRAM etc.

Flash 闪存测试



闪存的结构基本是一个MOSFET器件，它有两个栅极，它基本上是浮栅（FG）。控制栅极对浮动栅极进行读取，程控，和删除操作，浮栅存储电荷（代表存储在内存中的数据）。有两种测试，一种是性能测试，另一种是寿命测试（Endurance test)测试中，对浮栅进行电压脉冲的操作，进行数百万次的Write-Read-Erase操作后，用4200的SMU单元测量进行 V_{th} 的操作。

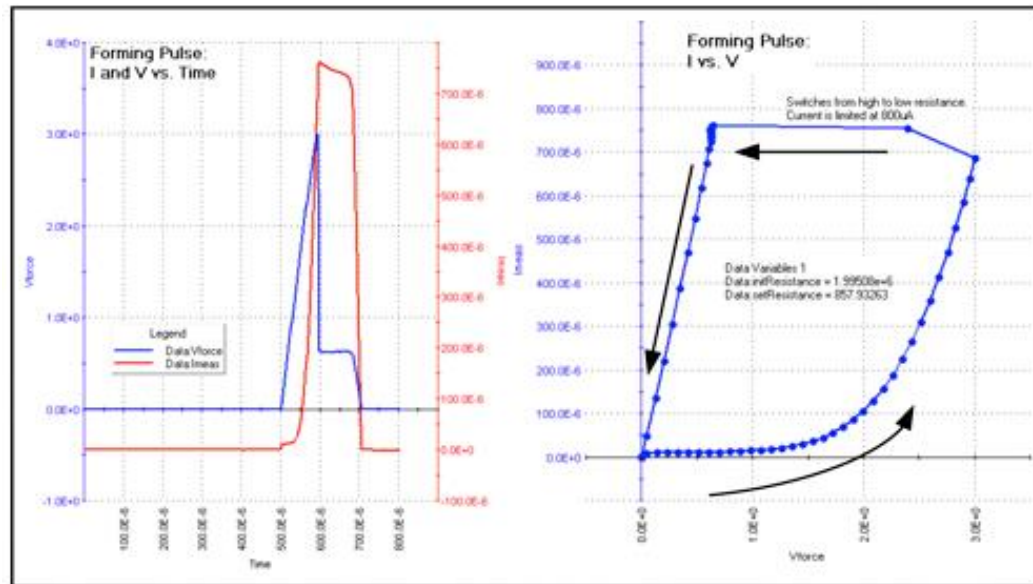
闪存的问题—脉冲读写电压过高，受制于64nm的工艺，存储容量低



阻变存储测试

ReRAM存储机制基于这样的理念：通常绝缘电介质能在施加足够高的电压后形成了细丝或传导通路进行导电。形成细丝后，可以通过施加适当的电压进行重置或设置。通常在直流域用SMU测试ReRAM，但SMU不是最佳测量仪器。在传统ReRAM测试设置中，为初始化建立、形成低阻态，用SMU箝位电流限制在成型或重置操作中流过测试器件的最大电流。但SMU的箝位电路不是即时的，而是需要微秒到毫秒的时间才能完全准备好。脉冲I-V特性分析通过严格控制施加至测试器件的电压信号时序改进了ReRAM测试。4200-SCS包含的ReRAM测试是：

- 特性分析；
- 成型；
- 蝶形线；
- ReRAM耐力。

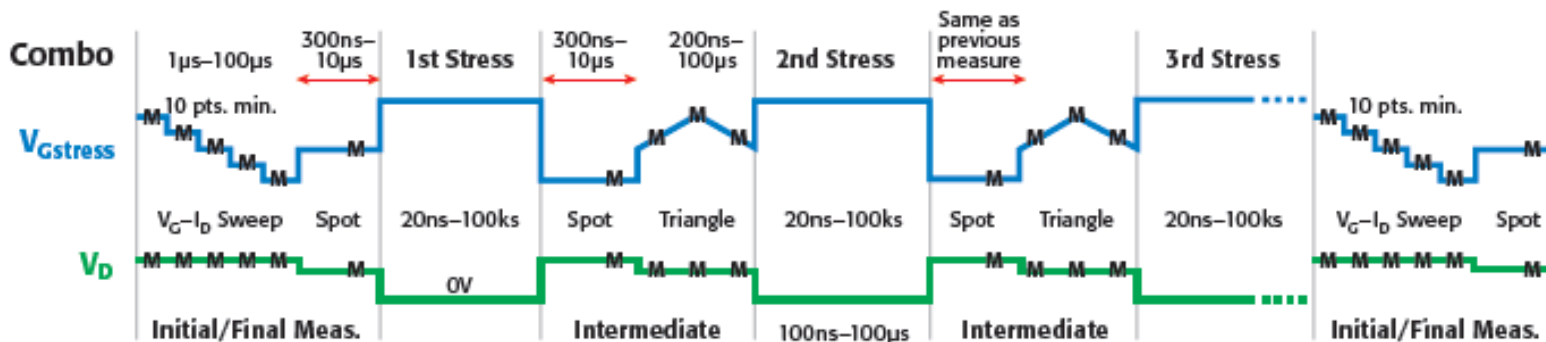


NBTI测试

MOSFET在高栅极偏压和高温下负偏压温度不稳定性（NBTI）导致的阈值电压（ V_{th} ）降低是先进半导体制程关注的重点问题，

NBTI测试精确的 V_{th} 的方法就是快速，核心是在栅极的应力(Stress电压)去除后，能够在应力解除后 $1\mu s$ 内就要测量（目的是要在恢复之前就要测量），要得到精确的 V_{th} 测量值，就有必要使用 I_d - V_g 扫描而不是对单个栅极偏压进行漏极电流（ I_d ）的抽样测量。

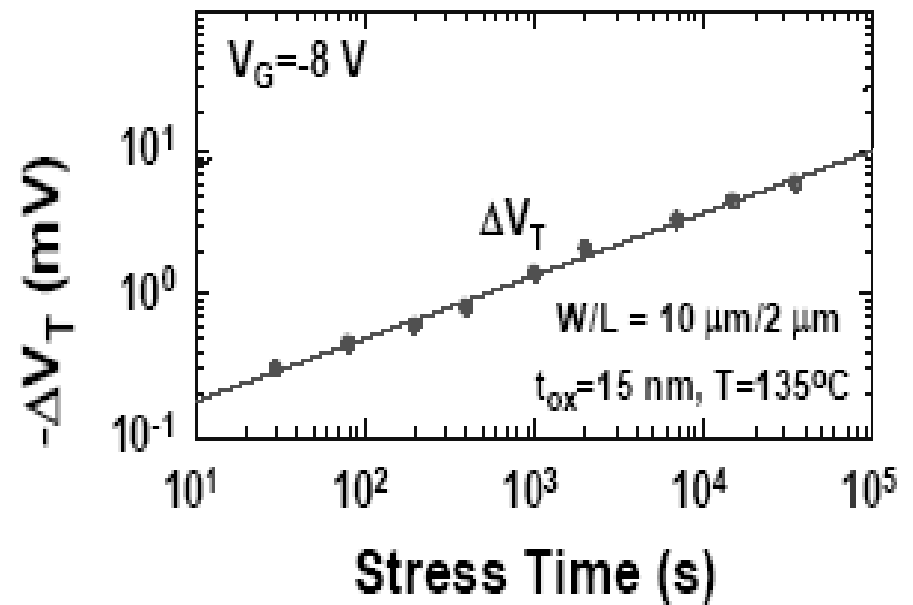
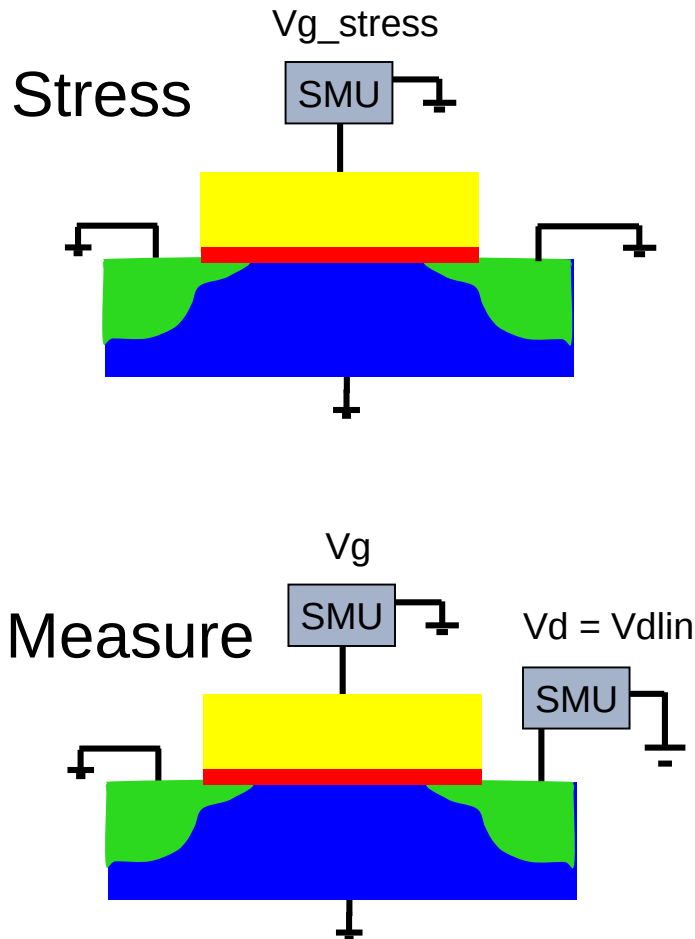
- 可测量偏压温度不稳定性，包括NBTI、PBTI，在应力去除后30ns内测量BTI衰减；可设定应力条件；
- 使用脉冲 I_d - V_g 扫描法在小于 $1\mu s$ 内测量出 V_t ；
- 具备NBTI, PBTI测试软件库，支持单点 I_d 脉冲测量（5ns/点），在线测量，或者 I_d - V_g 扫描法；



KEITHLEY

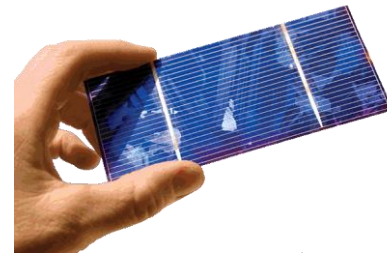
Negative Bias Temperature Instability

负偏压温度不稳定性



C. Schlunder et al, Microelectron Rel. 1999

应用: 太阳能电池测试



- 具有专门针对太阳能电池测试的解决方案
- KITE新增加了9个针对太阳能电池的测试库，包括短路电流 I_{sc} ，开路电压 V_{oc} ，最大功率输出 P_{max} ，倾角时测量的峰值功率时的电压（ V_{mp} ），充填因子，分流电阻(R_{SHUNT})，串联电阻（ R_{SERIES} ），电阻率，驱动电平。这些测试库针对下列最常用的太阳能电池技术：

单晶硅（Mono-crystalline）；

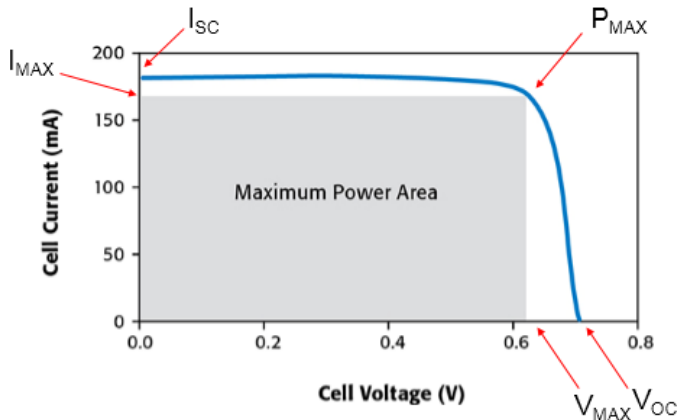
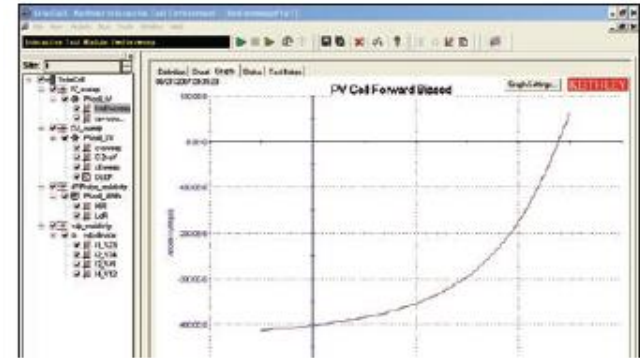
多晶硅（Poly-crystalline）；

不规则（Amorphous）；

铜铟镓硒技术（Copper indium gallium selenide）CIGS

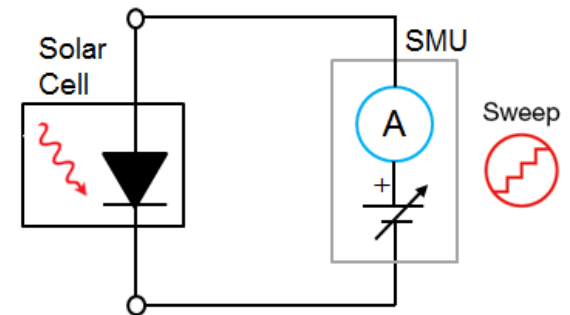
碲化镉（Cadmium telluride）

有机聚合物（Polymer organic）



符号	参数名称
I_{sc}	短路电流
V_{oc}	开路电压
P_{max}	最大功率点
I_{max}	最大功率点处的电流
V_{max}	最大功率点处的电压
FF	填充因子
η	转换效率
R_{sh}	并联电阻
R_s	串联电阻

太阳能电池测试参数

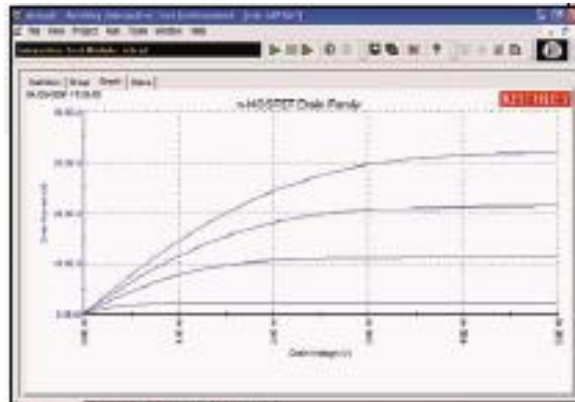
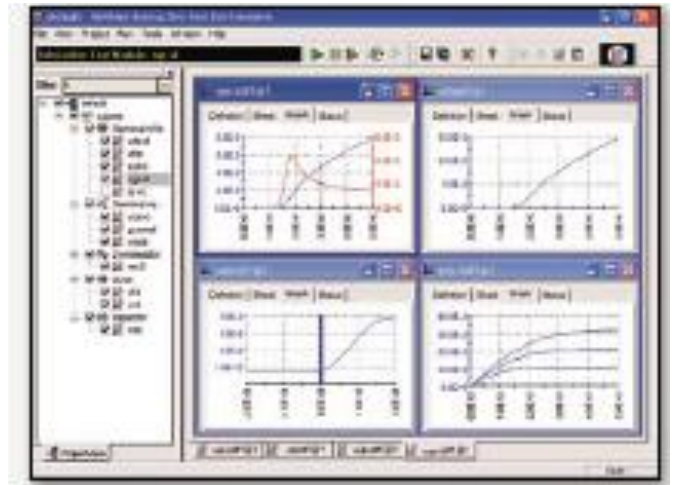
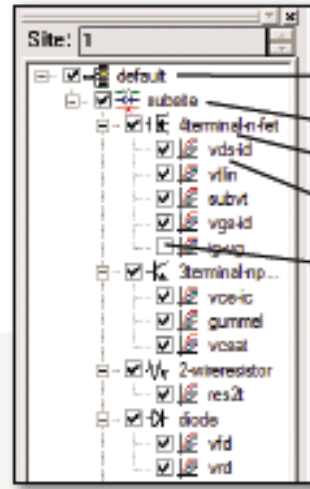
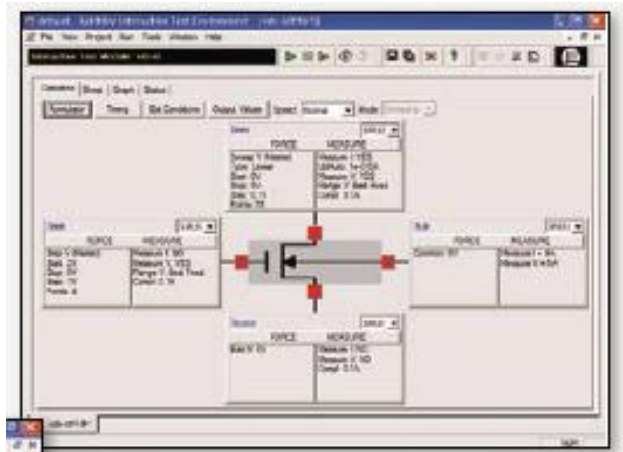


4200-SCS系统软件

- 全部为软件点击式操作，**Windows GUI**图形化操作界面，内置强大的分析软件功能；
- 对半导体器件参数的测试项目浏览器功能；
- **KITE**可以使得用户迅速地了解测试过程。在执行一个测试顺序时，用户可以逐个观察测试项目的结果和图形。(见左图)。
- **KITE**的灵活的用户接口使得用户仅需鼠标点击就可以对器件的设置参数进行容易的设置。
- 建立在**Windows 7**的工作平台可以容易地进行获取数据，分析图形和打印报告。
- 可以将测试数据直接实时地以**.xls**（电子表格），**.bmp**（位图），**.jpg**（图形），**.tif**等格式储存。
- 可以实现脉冲**SMU**模式：**SMU**的脉冲“开”时间可短至**5ms**，可用于不是特别快的脉冲**I-V**测试，时钟等。
- 具备双扫描功能：将一个**SMU**进行正向扫描然后再回扫，适合于滞后测试
- 具备待机模式：用于防止测试之间时间过长时或者在当电源时产生的松弛现象。

KEITHLEY

4200-SCS系统软件



4200-SCS系统软件

- 具有独特的二次开发平台**KULT**

KITE7.2软件中具有一个独特的用户测试模块叫**Keihley**用户库工具（**KULT**），它提供了一个**C++**平台，用于进行高级和复杂的算法编制。用户开可以调用直流参数测试库中的函数指挥仪器，开关，各种**GPIB**程控仪器，**RS-232**端口或探针台的动作。**KULT**所建立的库能够直接被**KITE**直接调用。



KEITHLEY

4200-SCS系统技术优势

- **2006年：**将软件升级到**6.1**版本，增加了**WLR**（晶圆级可靠性测试），与国际**IEEE**协会共同制定了国际纳米器件测试规范 **IEEE 1650TM-2005**，并基于该规范发布了纳米测试工具包；
- **2006年年底：**将软件升级到**6.2**版本，脉冲发生器中又增加了任意波形发生器功能，从而为广大研发用户提供了更多的测试手段，获得了**2**项脉冲**I-V**测试专利技术（脉冲**I-V**测试过程的自校准，如何在脉冲**I-V**测试中消除负载线电压效应），并在**PIV-A**包的基础上，又研发出基于化合物半导体器件的功率脉冲解决方案（**PIV-Q**）和基于先进存储器的解决方案（**4200-Flash**）；
- **2007年：**将软件升级到**7.0**版本，正式推出集成式的**C-V**测试卡，测试频率为**10KHz-10MHz**；
- **2007年年底：**将软件升级到**7.1**版本，将**C-V**的测试带宽扩展到**1KHz-10MHz**，内部偏置电压提高到**±60V**，增加了准静态**C-V**测试功能，将**KITE**的测试库增加到**447**个；
- **2008年：**将软件升级到**7.2**版本，加入了针对太阳能电池的**9**个测试库，**KITE**总的测试库达到**456**个；
- **2010年2月，**软件升级到**8.0**版本，对脉冲**I-V**测量单元进行了又一次的更新，可以同时**对MOSFET的栅极（Gate）和漏极（Drain）加脉冲**，对快速小电流的测试精度有了进一步的提高（脉冲电流的测试分辨率为**10pA**，精度为**0.5%+1nA**）；
- **2010年至今，**不断完善测试库，进行软件更新；
- **Keithley**公司作为全球领先的半导体领域的测试公司，始终不断与客户建立更加紧密地合作关系，愿意与客户探讨并帮助客户解决测试中遇到的问题，不断根据客户和市场对软件和硬件进行升级和扩充，使得客户的投资保持在一个较高的回报率，这也是我们在该市场取得领先的重要策略。

KEITHLEY

请问您有什么测试需求？我们或许可以试着帮您解决。



Tektronix

KEITHLEY

A Tektronix Company