



4200-SCS 半导体特性分析系统

4200-SCS 半导体特性分析系统

介绍

4200-SCS半导体特性分析系统是用于器件、材料和半导体工艺参数分析的完整解决方案。这种先进的参数分析仪具有无可比拟的测量灵敏度和精度，同时继承了嵌入式Windows操作系统及时利交互式测试环境，为半导体科研及产业用户进行半导体器件特性分析提供了直观而高级的功能。它是一套功能强大的单机解决方案。

4200-SCS半导体特性分析系统采用了模块化、可配置、可升级的架构。这使得它能够准确满足当前的测量需求，也可以模块扩展以满足后续的需求。

- 它可以支持多达9个精密直流源-测量单元能够提供和测量0.1fA到1A的电流或者1 μ V-210V的电压；
- 利用4210-CVU (C-V) 模块可以方便的在1KHz-10MHz测试频率下进行交流阻抗测试。可以测量的电容范围从aF级到 μ F级；
- 利用可选的4225-PMU超快I-V模块可以进行脉冲和瞬态测量。

吉时利交互式测试环境 (KITE) 提供了一套完整的图形用户界面，无需编程即可支持几乎所有类型的特性分析测试。它提供了多达456种标准的特性分析测试库，包括MOSFET, BJT晶体管、二极管、电阻器、电容器、太阳能电池、碳纳米管和NVM存储器，例如Flash、PRAM, PCRAM等。



前面板介绍

- 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 \times 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；
- 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；



后面板介绍

- 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10个基于PCI总线的插槽，可插入9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进行扩展，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；
- 高功率SMU可直接接入4200-SCS系统的PCI总线插槽上，无需额外扩展机箱；

800-810-1334

www.keithley.com.cn

KEITHLEY
A Tektronix Company

4200-SCS 半导体特性分析系统

硬件测量指标

直流源测量单元指标 (SMU指标)

4200提供2种SMU单元选项:

- 4200-SMU (中功率) 最大电压 210V, 最大电流100mA, 最大功率2W;
- 4210-SMU (高功率) 最大电压210V, 最大电流1A, 最大功率20W

电流指标: (其中1A量程为4210-SMU指标, 10nA-1pA量程需要外接4200-PA电流前置放大器单元)

电流量程	最大电压	测量指标		源输出指标	
		分辨率	精度 ± (%rdg+amps)	分辨率	精度 ± (%rdg+amps)
1A	21V	1 μA	0.100%+200 μA	50 μA	0.100%+350 μA
100mA	210V	100nA	0.045%+3 μA	5 μA	0.050%+15 μA
100mA	21V	100nA	0.045%+3 μA	5 μA	0.050%+15 μA
10mA	210V	10nA	0.037%+300nA	500nA	0.042%+1.5 μA
1mA	210V	1nA	0.035%+30nA	50nA	0.040%+150nA
100 μA	210V	100pA	0.033%+3nA	5nA	0.038%+15nA
10 μA	210V	10pA	0.050%+600pA	500pA	0.060%+1.5nA
1 μA	210V	1pA	0.050%+100pA	50pA	0.060%+200pA
100nA	210V	100fA	0.050%+30pA	5pA	0.060%+30pA
10nA	210V	10fA	0.050%+1pA	500fA	0.060%+3pA
1nA	210V	3fA	0.050%+100fA	50fA	0.060%+300fA
100pA	210V	1fA	0.100%+30fA	15fA	0.100%+80fA
10pA	210V	0.3fA	0.500%+15fA	5fA	0.500%+50fA
1pA	210V	100aA	1.000%+10fA	1.5fA	1.000%+40fA

电压指标 (针对4200-SMU和4210-SMU):

电流量程	最大电流		测量指标		源输出指标	
	4200-SMU	4210-SMU	分辨率	精度 ± (%rdg+volts)	分辨率	精度 ± (%rdg+amps)
200V	10.5mA	105mA	200 μV	0.015%+3mV	5mV	0.02%+15mV
20V	105mA	1.05A	20 μV	0.01%+1mV	500 μV	0.02%+1.5mV
2V	105mA	1.05A	2 μV	0.012%+150 μV	50 μV	0.02%+300 μV
200mV	105mA	1.05A	1 μV	0.012%+100 μV	5 μV	0.02%+150 μV

其他 DC SMU指标

最大输出功率: 4210-SMU为22W, 4200-SMU为2.2W (均可四象限源/负载工作)

电压监控 (SMU在VMU模式下)

电压量程	测量分辨率	测量精度 ± (%读数+电压)
200V	200 μV	0.015%+3mV
20V	20 μV	0.01%+1mV
2V	2 μV	0.012%+110 μV
200mV	1 μV	0.012%+80 μV

输入阻抗: >1013Ω

输入漏电流: <30pA

测量噪声: 0.02% X 测量量程 (rms)

仪器通用指标

工作温度范围: +10°C--+40°C

贮存温度: -15°C--+60°C

工作湿度: 5%-80% RH, 非压缩条件

贮存湿度: 5%-90% RH, 非压缩条件

工作高度: 0-2000米

贮存高度: 0-4600米

电源输入条件: 100V-240V, 50-60Hz

尺寸: 43.6cm宽X22.3cm高X56.5cm深

I/O口: USB, SVGA, 打印机, GPIB, 以太网, 鼠标, 键盘

4200-SCS 半导体特性分析系统

4210-CVU (电容-电压测量单元)

测量功能

测量参数: C_p-G , C_p-D , C_s-R_s , C_s-D ,
 $R-jX$, $Z-\theta$

量程: 可自动量程, 也可固定量程

测量线配置: 4线

连接头型号: 4个SMA母接头

测试信号

扫频范围: 1KHz-10MHz

频率精度: $\pm 0.1\%$

信号输出电平范围: 10mV rms 至 100mV rms

分辨率: 1mV rms

输出阻抗: 100 Ω , 典型值

直流 (DC) 偏置功能

直流 (DC) 电压偏置

量程: 差分模式下为 $\pm 60V$

分辨率: 1.0mV

精度: $\pm (0.5\% + 5.0mV)$, 无负载条件下

最大 DC 电流: 10mA

扫描特性

可用扫描参数: DC 偏置电压, 频率

扫描类型: 线形, 自定义

扫描方向: 正向扫描, 负向扫描

内置测试库

1. C-V, C-t, C-f 的测量和分析, 针对下列器件结构

- 高和低 K 结构

- MOSFET

- BJT

- 二极管

- III-V (三五) 族化合物器件

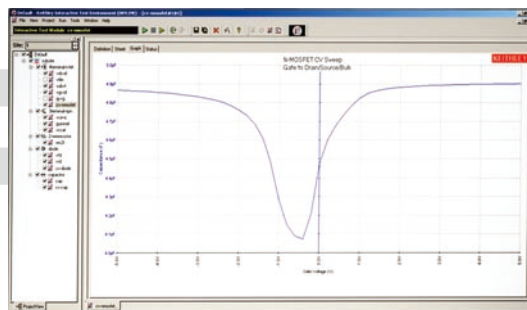
- 碳纳米管 (CNT) qijian

2. 掺杂浓度, 氧化层厚度和载流子寿命测试

3. 结, pin-pin 等电容测量

测试参数

频率	被测电容	精度	G 精度
10MHz	1pF	$\pm 0.92\%$	$\pm 260ns$
	10pF	$\pm 0.32\%$	$\pm 990ns$
	100pF	$\pm 0.29\%$	$\pm 9 \mu s$
	1nF	$\pm 0.35\%$	$\pm 99 \mu s$
1MHz	1pF	$\pm 0.38\%$	$\pm 15ns$
	10pF	$\pm 0.16\%$	$\pm 65ns$
	100pF	$\pm 0.09\%$	$\pm 590ns$
	1nF	$\pm 0.09\%$	$\pm 4 \mu s$
100kHz	10pF	$\pm 0.17\%$	$\pm 15ns$
	100pF	$\pm 0.18\%$	$\pm 59ns$
	1nF	$\pm 0.08\%$	$\pm 450ns$
	10nF	$\pm 0.08\%$	$\pm 3 \mu s$
10kHz	100pF	$\pm 0.26\%$	$\pm 15ns$
	1nF	$\pm 0.15\%$	$\pm 66ns$
	10nF	$\pm 0.08\%$	$\pm 450ns$
	100nF	$\pm 0.08\%$	$\pm 3 \mu s$
1KHz	1nF	$\pm 0.69\%$	$\pm 40ns$
	10nF	$\pm 0.25\%$	$\pm 120ns$
	100nF	$\pm 0.10\%$	$\pm 500ns$
	1 μF	$\pm 0.15\%$	$\pm 10 \mu s$



800-810-1334

www.keithley.com.cn

KEITHLEY

A Tektronix Company

4200-SCS 半导体特性分析系统

4225-PMU脉冲测量单元介绍

随着纳米技术的不断发展，出现了新型材料（高K，SOI等），越来越小的器件尺寸和越来越快的工作速度，这些高新技术的结合使得对纳米结构的特性分析变得越来越富于挑战性。传统的DC I-V技术可能会导致器件的一些自热效应，从而会影响器件的性能。为了减少自热效应的影响，4200-SCS半导体特性分析系统提供了脉冲I-V测试的扩展能力，它可以与DC测试结合，从而能得出更为精准的测试结果。

4200-SCS/F系统提供了4225-PMU快速脉冲测量单元，它集成了高速双通道脉冲发生器和双通道数字示波器，4225-PMU超快I-V模块是4200-SCS半导体特性分析系统的最新的测量模块选项。它把超快速的电压波形产生和信号观察能力集成在4200-SCS已经有的强大测试环境，提供了前所未有的I-V测试性能，极大地扩展了4200-SCS系统对材料，器件和工艺的特性分析能力。同样重要的是，它使得超快的I-V源和测量过程和使用传统高分辨率SMU单元进行DC测量的过程是一样的简单。

每一个4225-PMU模块提供了2个通道，每个通道都集成了源和测量能力，但只占用4200-SCS机箱中的一个插槽。和业界其解决方案不同的是，4225-PMU的每个通道将高速电压输出（脉冲宽度从60ns至DC）和电流电压参数的同步测量结合在一起。有了这样的超高速电压源，电压和电流测量的组合能力，现有的4200-SCS系统可以很容易地升级到一个灵活的为超高速I-V测试广泛应用的测量工具。每个4200-SCS机箱能够容纳4块4225-PMU模块，最多可以有8路超快源和测量通道。

主要应用领域为：

- 超快的I-V测量；
- 脉冲I-V和瞬态I-V测量；
- Flash, PCRAM, 以及非挥发性存储器测试；
- 中等尺寸功率器件的隔热测试；

- CMOS器件测试，比如高K电介质；
- NBTI/PBTI可靠性测试。

主要技术指标为：

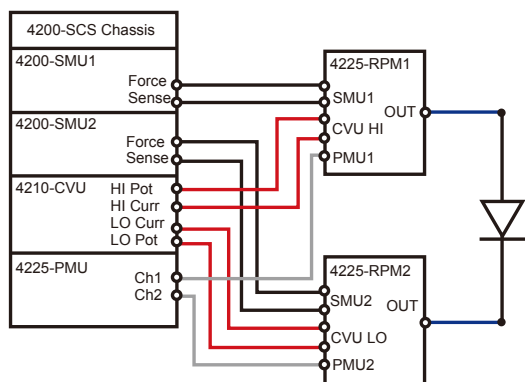
- 系统脉冲发生器频率：50MHz-1Hz；
- 系统最小脉冲发生器宽度：10ns；
- 系统RMS抖动：0.01%+200ps；
- 最大脉冲电压：80V P-P，-40V-40V；
- 最大电流：800mA；电流量程：100nA，1uA，10uA，100uA，1mA，10mA，100mA，800mA；
- 电流测量分辨率：10pA；
- 电流测量精度：0.5%+1nA；
- 可同时测量I和V，采样率5ns/点；

测试库支持

最新的KTEI软件包括了很多的标准超快I-V测试库，包括对器件的隔热脉冲I-V的特性分析，对MOSFET的电荷陷阱的瞬态效应得特性分析，以及电荷泵，电阻，二极管，电容，闪存和太阳能电池的测试库。测试库还提供了例程，说明如何使用内置波形和任意波形发生器（ARB）的设定段，以及对可选的4225-RPM远端放大器/开关的使用例程。

4225-RPM实现了仪器不同功能间的自动切换

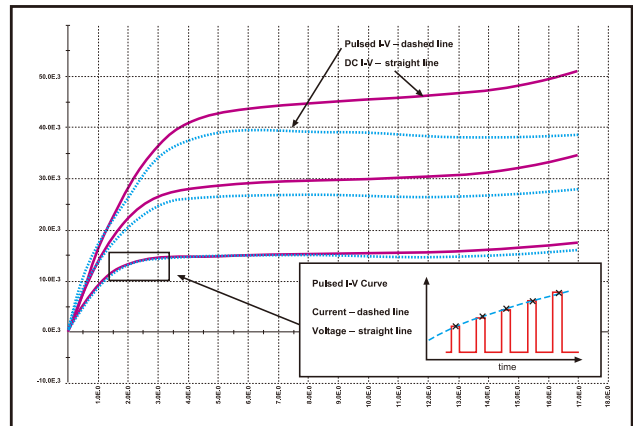
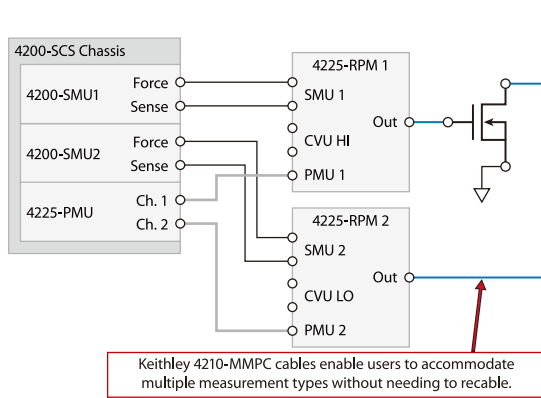
可选的4225-RPM远端放大器/开关通过扩展了4225-PMU的能力，它提供了更低的电流测量量程，提供了低达几十pA量级的电流灵敏度。4225-RPM也减少了电缆电容效应，它可以在4225-PMU，4210-CVU和其他的SMU模块之间提供了自动地切换能力，可以使得操作人员在无需切换电缆的情况下，就可以自动地选择需要的测量模块。（见下图）



4200-SCS 半导体特性分析系统

应用1：纳米器件的自热效应测试

自热效应已经成为纳米器件和TFT器件测试时必须考虑的一个问题，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。



应用2：高K栅极电介质电荷陷阱效应测试

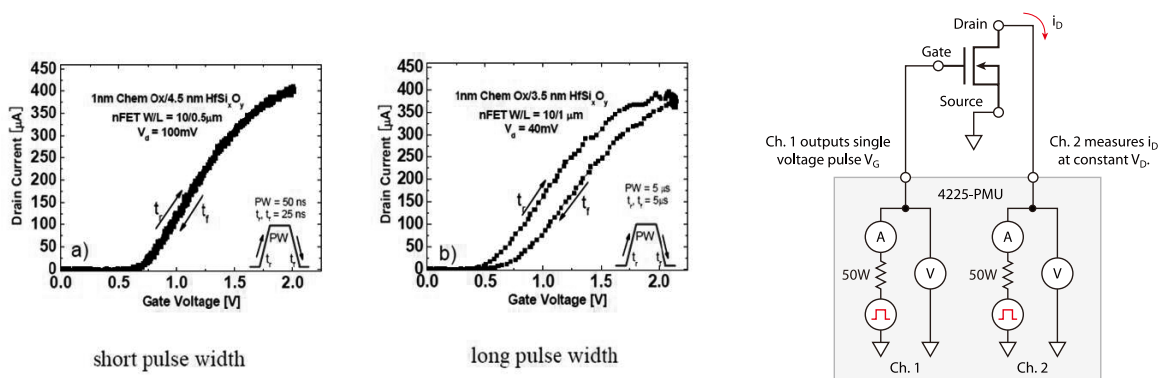
高K栅极电介质器件的测试挑战——电荷陷阱 (Charge Trapping)效应的克服

电荷陷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。

对栅极加一个脉冲电压，漏极上加一个偏压 (Bias)，用数字示波器同时记录栅极电压和漏极电流，漏极电流通过公式可以算出来，这样从栅极脉冲信号的上升沿和下降沿就可以获得I_d-V_g曲线。

采用脉冲方法的测试连接和测试结果：



800-810-1334

www.keithley.com.cn

KEITHLEY
A Tektronix Company

4200-SCS 半导体特性分析系统

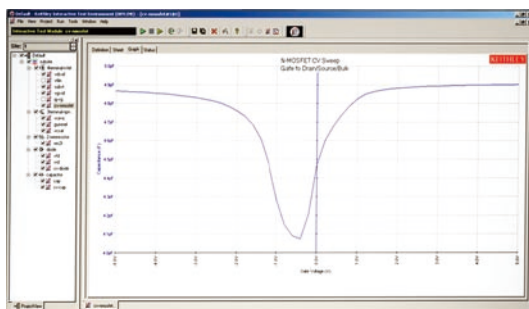
4200-SCS半导体特性分析系统软件 KITE8.2



- 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；
- 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 XP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；
- KITE8.2软件具有456个测试库。

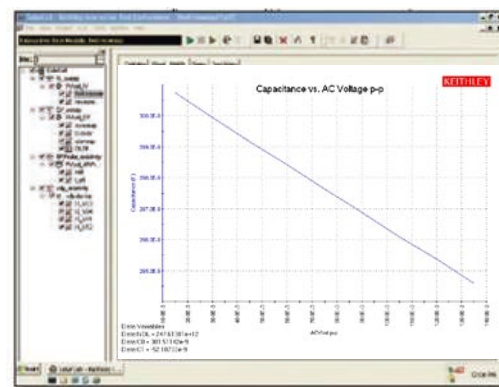
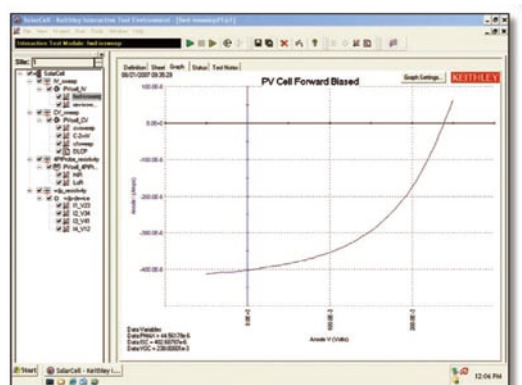
- 4200-SCS半导体特性分析系统提供的软件KITE8.2版本包括一个独特的纳米技术工具包，提供了业界最为全面的纳米测试工具包，它提供了纳米电子学特性分析的一个强大平台；
- 针对7种纳米结构的16个测试库：碳纳米管、生物芯片/器件、碳纳米管FET、纳米线、分子线、分子晶体管、多管脚纳米格；
- 还提供了很多技术资料，技术讲座，应用指南系列。

4200-SCS 半导体特性分析系统



- 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；
- 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），Cbe, Cbc, Cec；
- 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中，允许用户容易地进行修改，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。



- 具有专门针对太阳能电池测试的解决方案
- KITE7.2新增加了9个针对太阳能电池的测试库，包括短路电流Isc，开路电压Voc，最大功率输出Pmax，倾角时测量的峰值功率时的电压（Vmp），充填因子，分流电阻(RSHUNT)，串联电阻（RSERIES），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）

800-810-1334

www.keithley.com.cn

KEITHLEY
A Tektronix Company