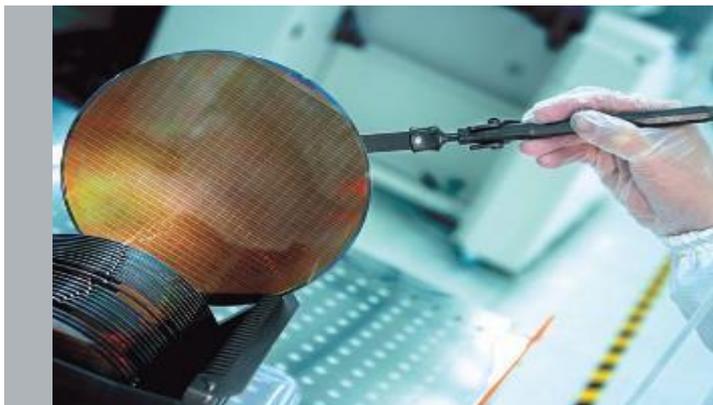


吉时利产品半导体测试应用举例



吉时利半导体测试解决方案

4200A-SCS



半导体测试系统，
集成PC 及测试软件，
工作站式测试

Parametric Curve Tracer



高功率，可灵活配置
及组合的参数曲线追踪仪；
集成功能强大的测试软件

S530, S500 & ACS



自动化半导体测试设备；
面向半导体器件级特性
分析的参数测试系统及软件

Model 4200-SCS参数分析仪

中等功率SMU

210 V, 100 mA, 100 aA分辨率

多频率C-V测量单元

1 kHz – 10 MHz

高功率SMU

210 V, 1 A, 100 aA
分辨率



应用测试

超过450项应用测试，而且数量在
不断增长

脉冲测量单元

- 超快速I-V
- 示波器视图
- 波形生成
- 脉冲和测量

切换开关

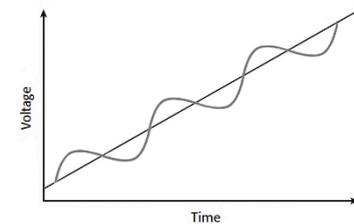
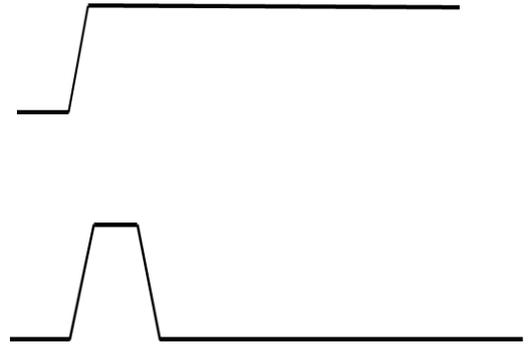
- 4225-RPM切换开关
- 707B/708B开关矩阵

脉冲发生器和示波器卡

脉冲/瞬态测试的结合

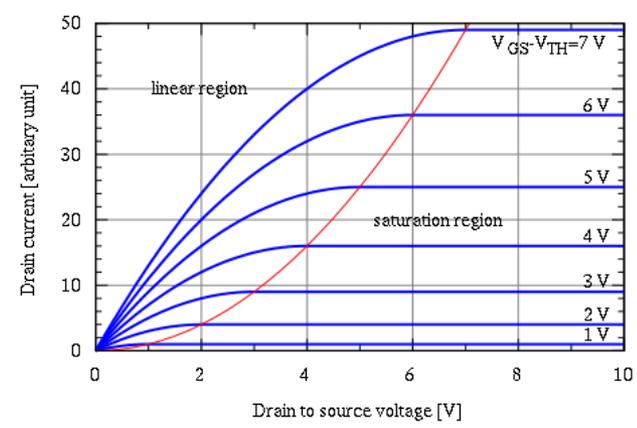
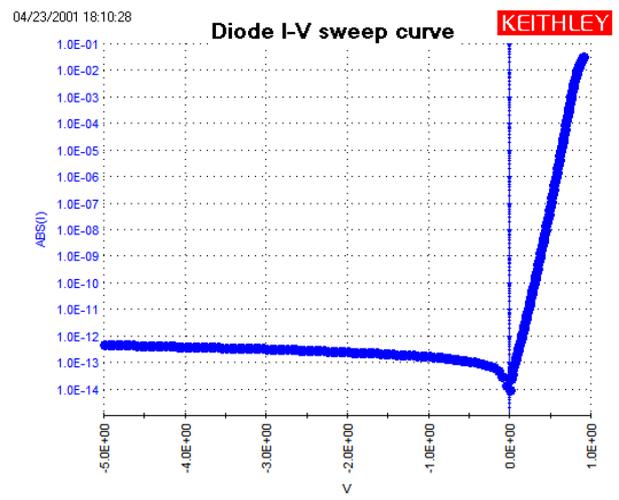
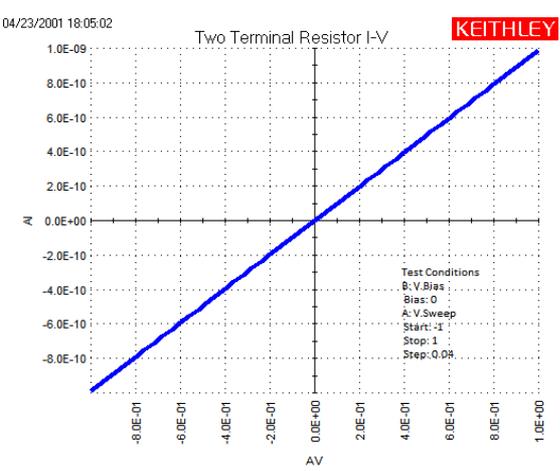
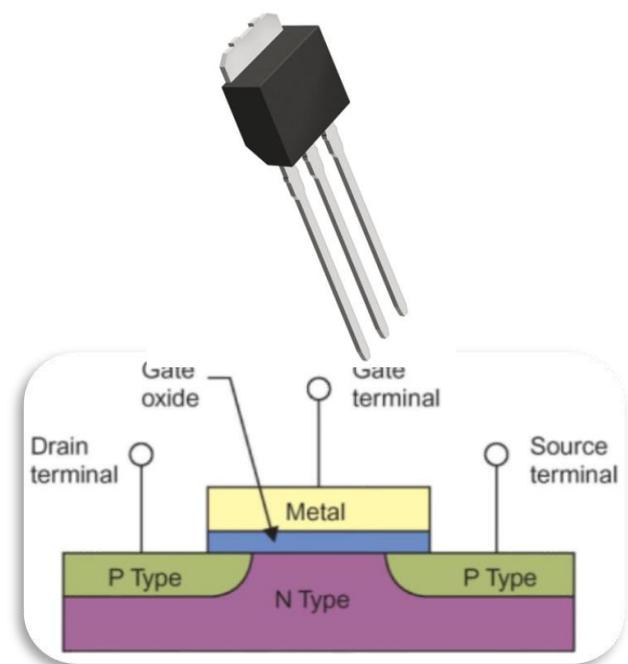
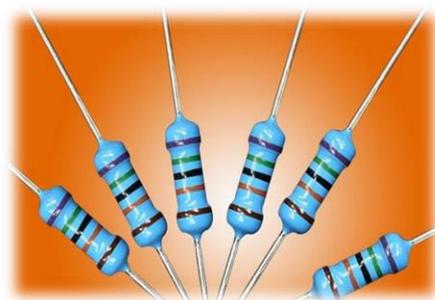
要完全理解任何器件、材料或工艺特性,你需要三种方式的测量:

- 精密DC I-V
- 超快的电流-电压(脉冲/瞬态)
- 多频C-V(交流阻抗)



直流 (DC) I-V特性测量：精准测量

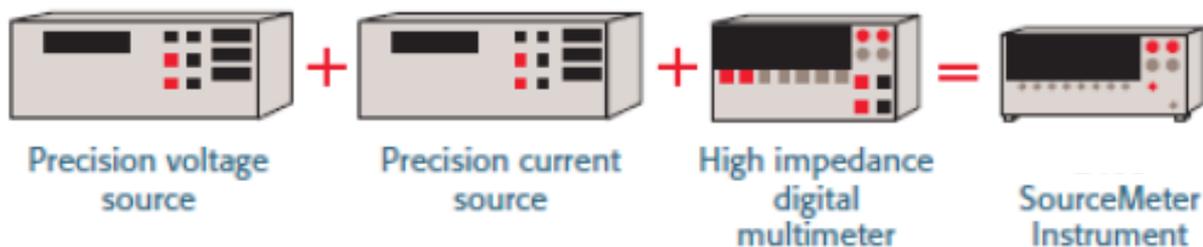
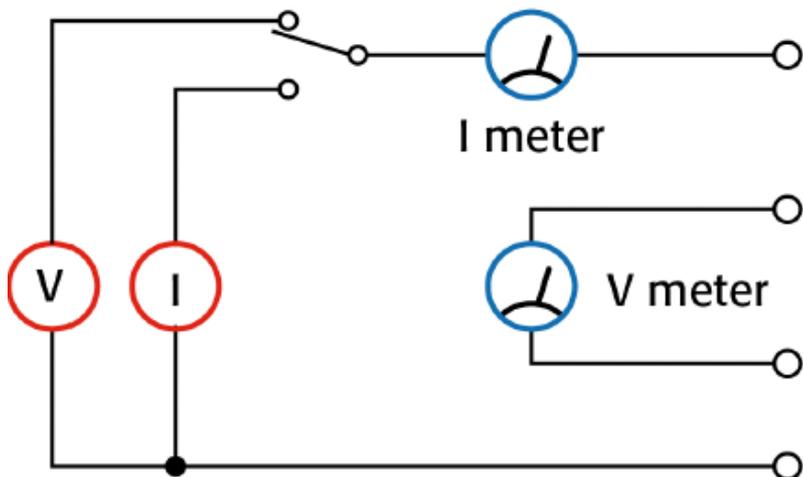
- DC I-V 测量是器件及材料特性测量的最基本测试手段



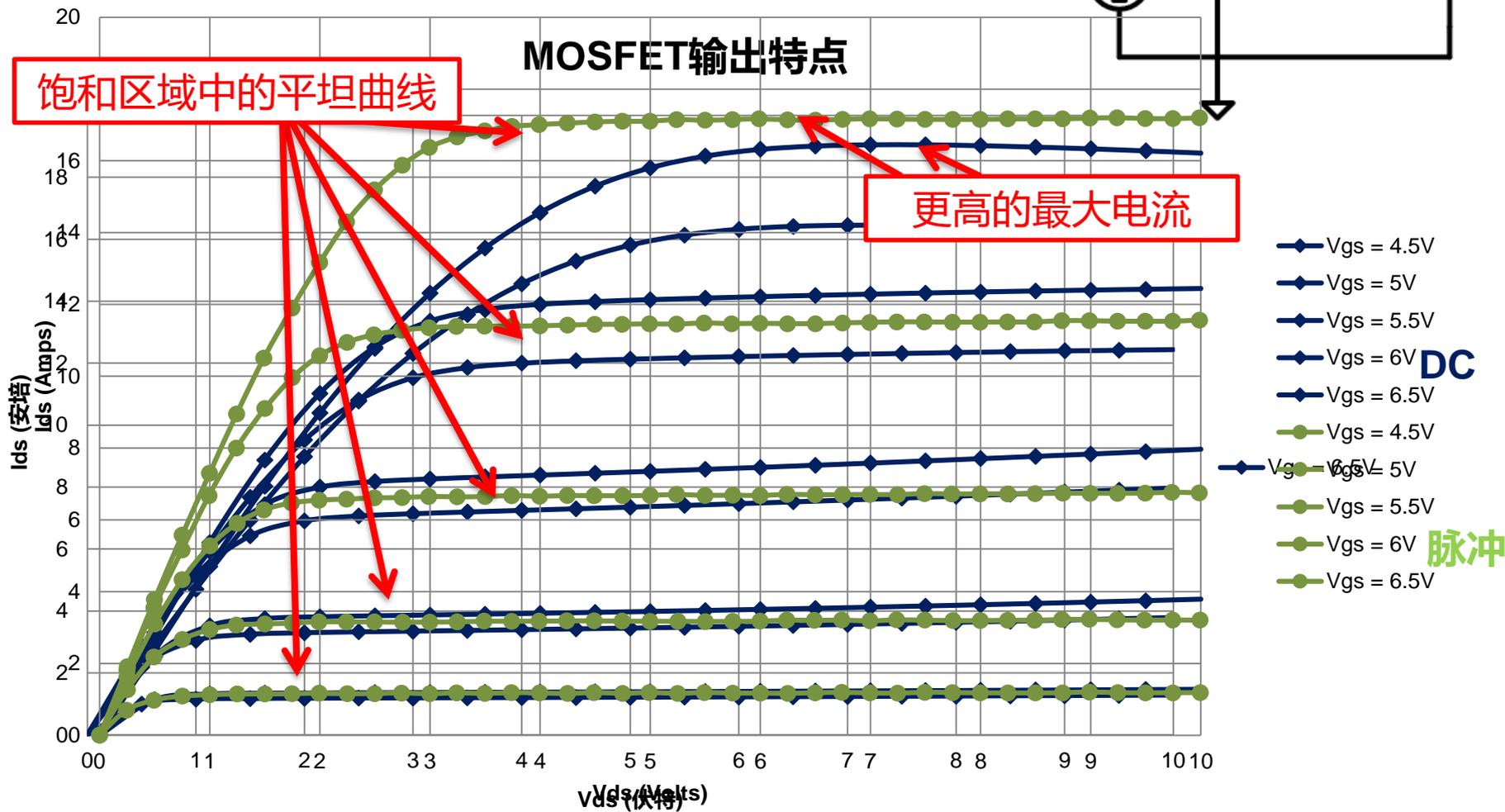
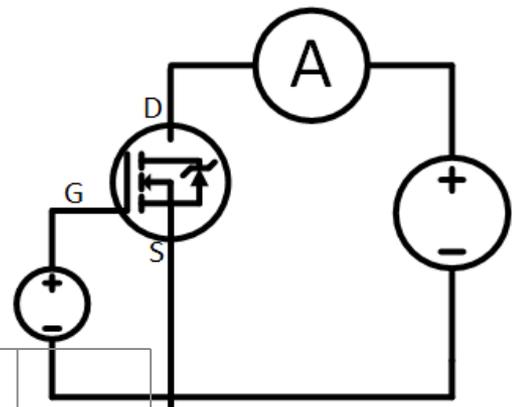
*1(+9.00E1, +3.50E2, 92)

直流测试的理想测试设备SMU:

- 通过SMU 可以让您同时给被测器件激励并同时测量, 一台4200可集成 2 ~ 9 块 SMU单元

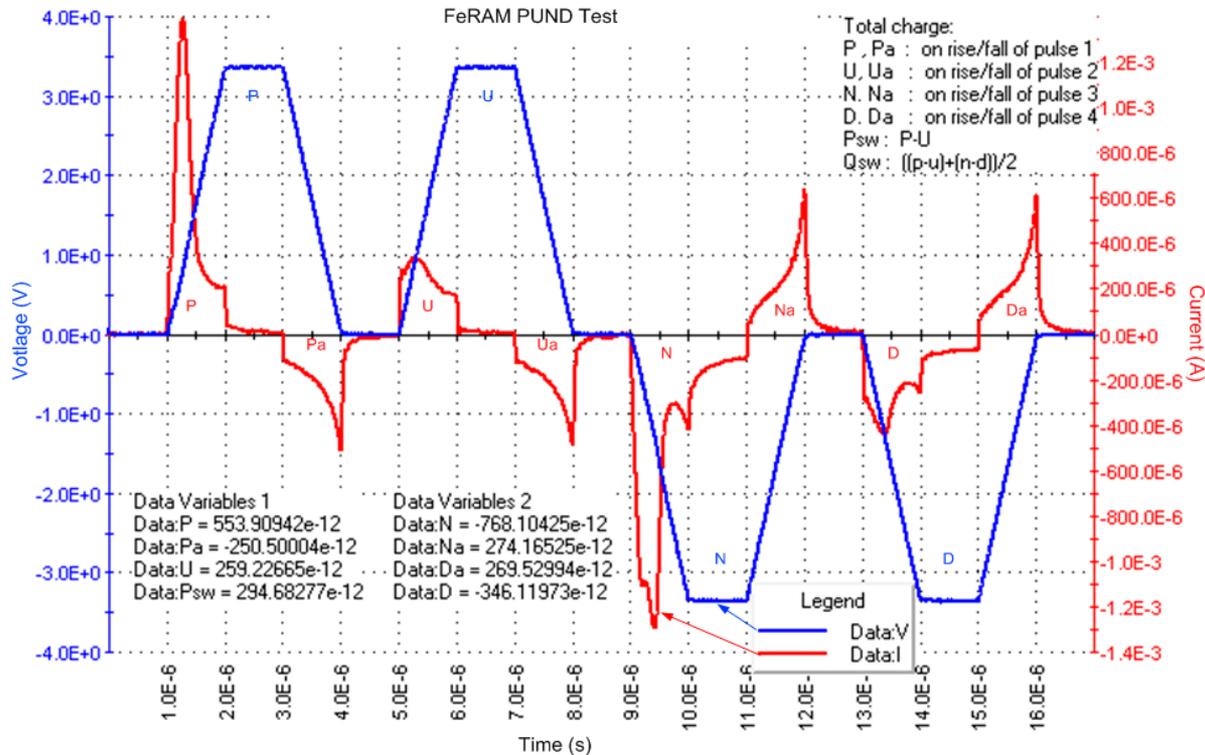


MOSFETs中的自热效应



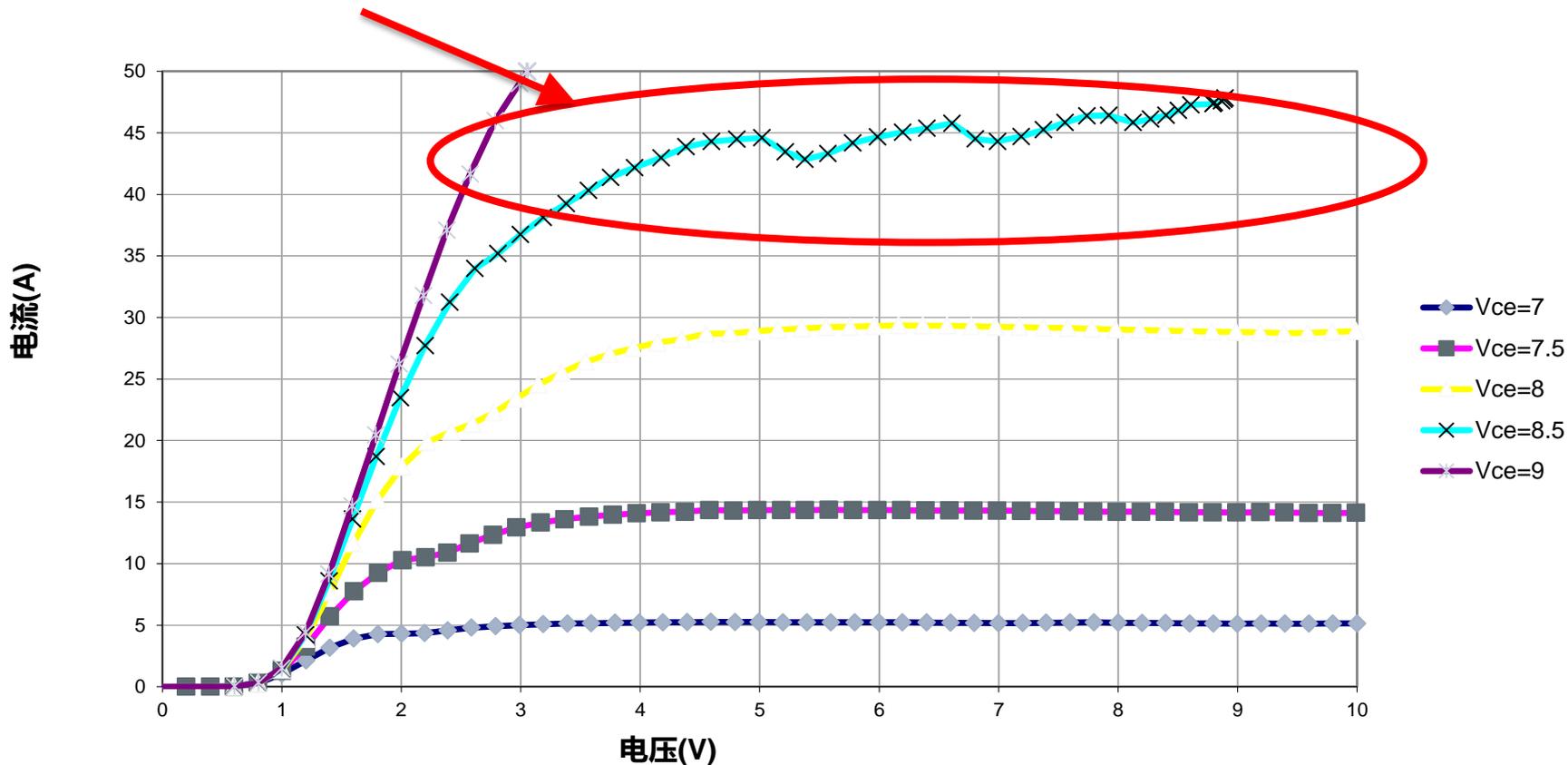
非易失性存储器

- 使用脉冲编程、读取和擦除NVRAM器件



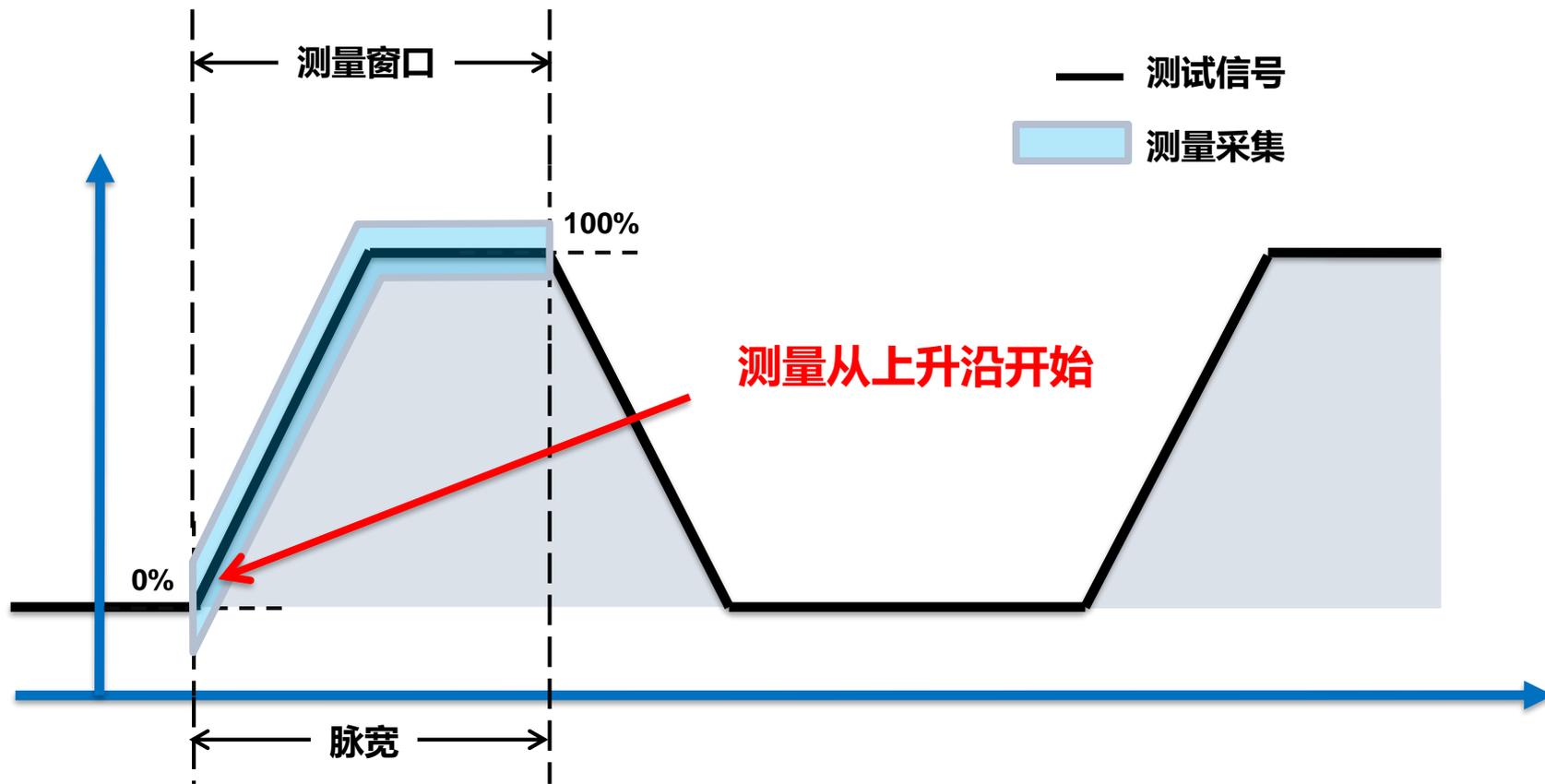
- 瞬态脉冲电流测量可以测量测试期间电荷的传输

什么时候开始测量 为什么我的读数这么差！！



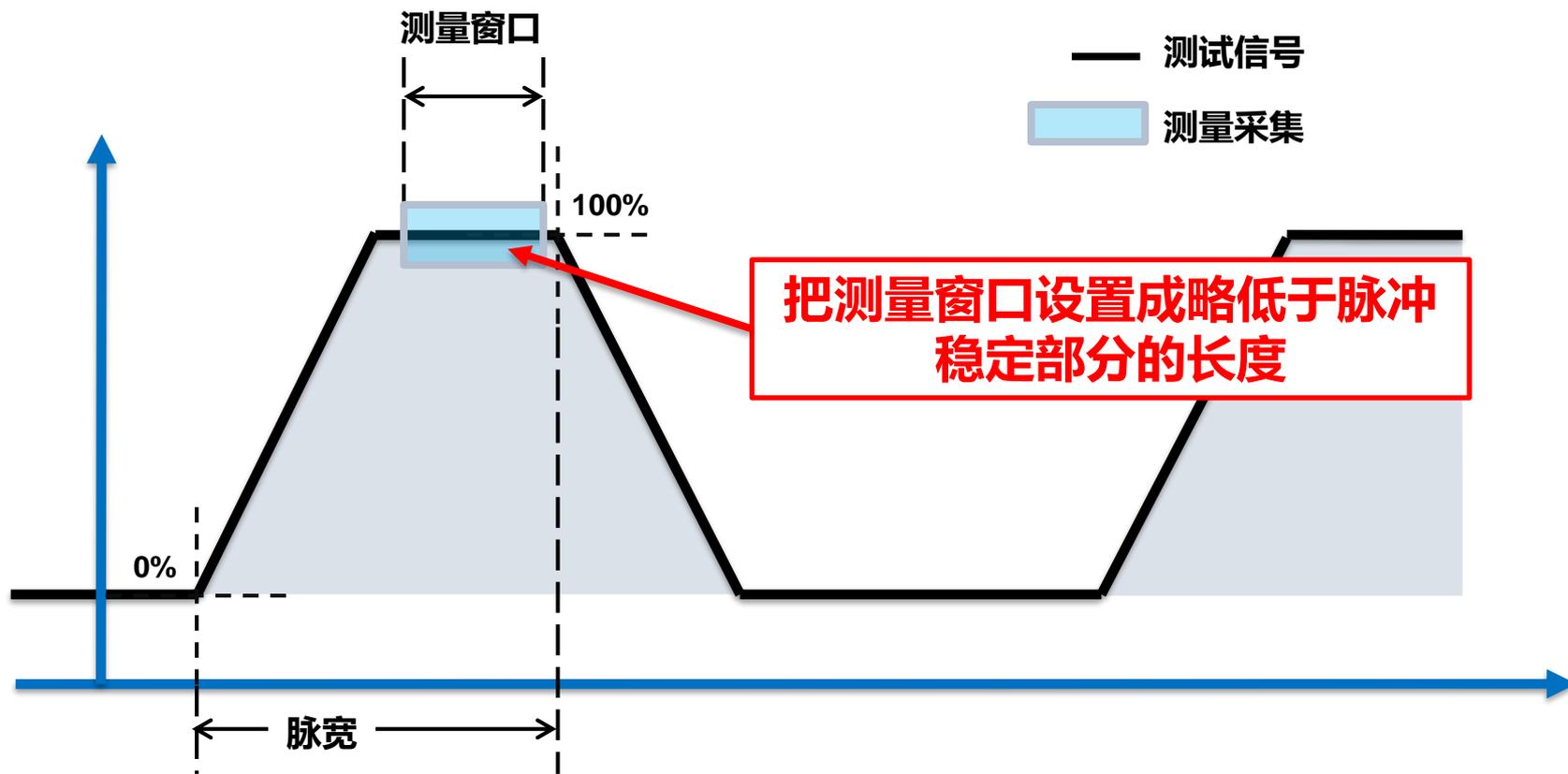
- 获取读数太快的结果

什么时候开始测量： 常见错误



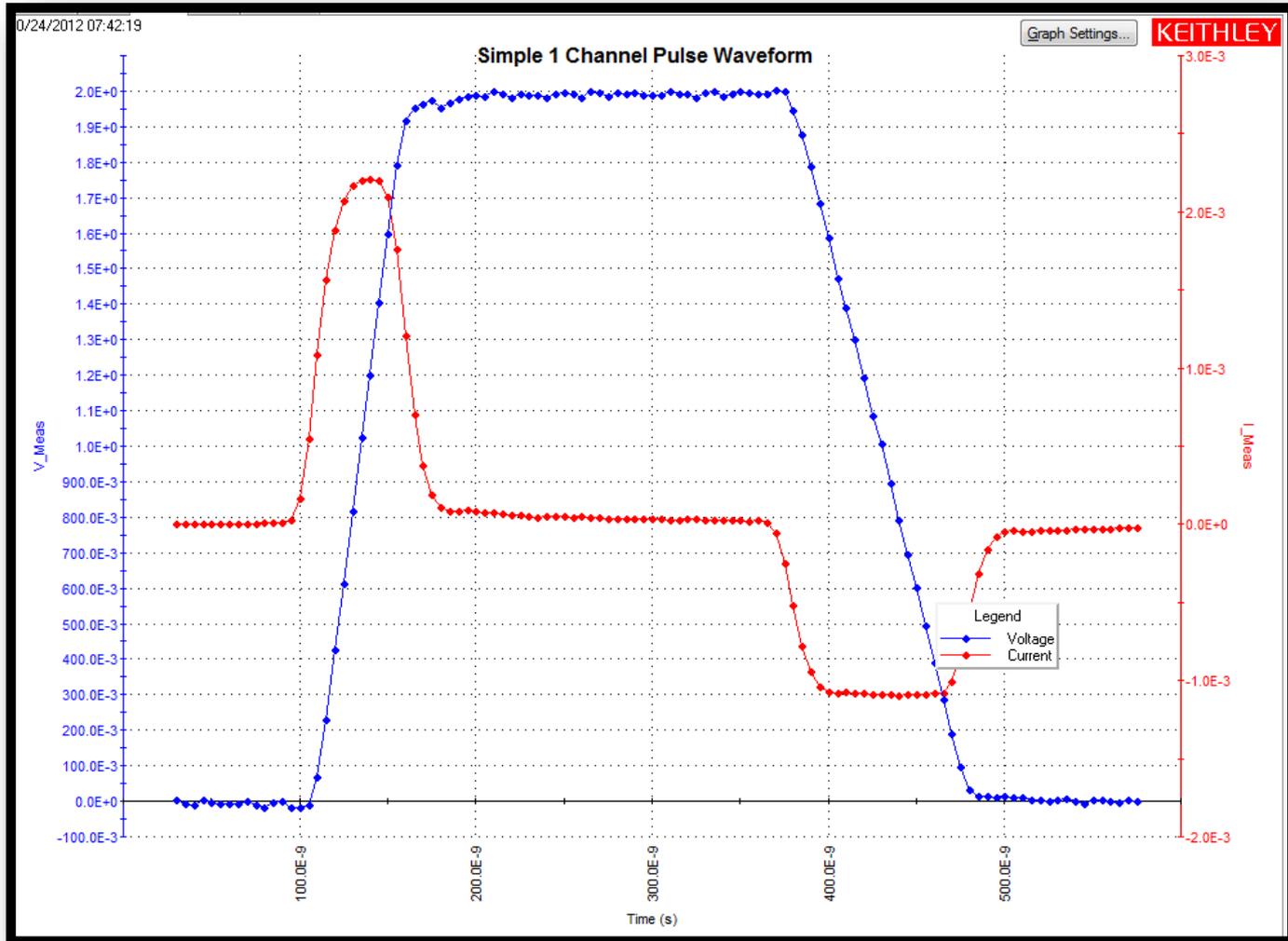
测量窗口=脉宽=差!

测量脉冲的平坦部分



- 脉冲平顶什么时候开始?
- 我怎样知道正确的延迟值?

使用4225-PMU进行波形捕获的实例



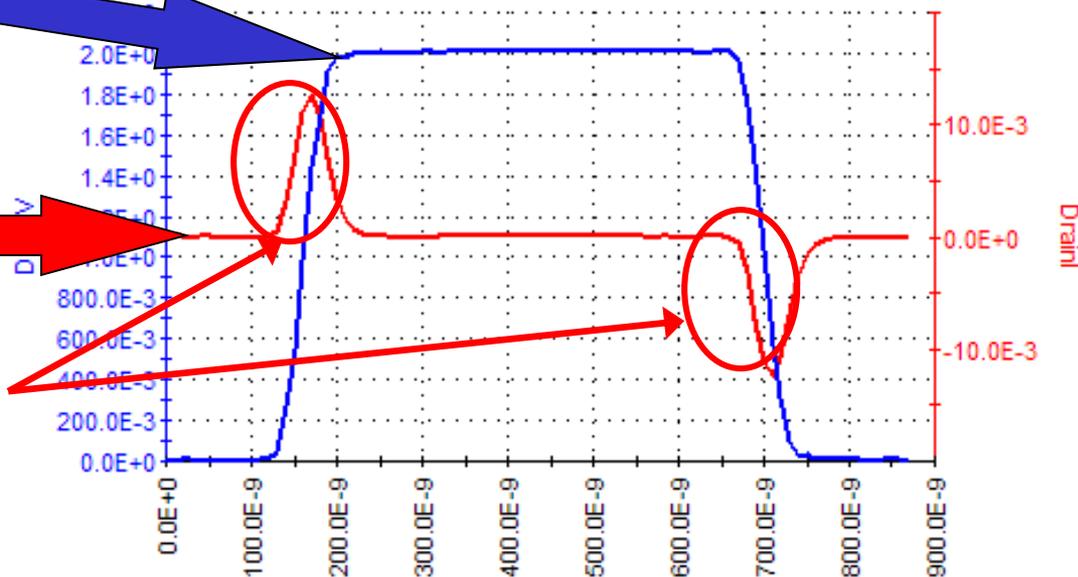
瞬态脉冲测量的电流波形中的尖峰

■ 电压

- 波形与预计相符

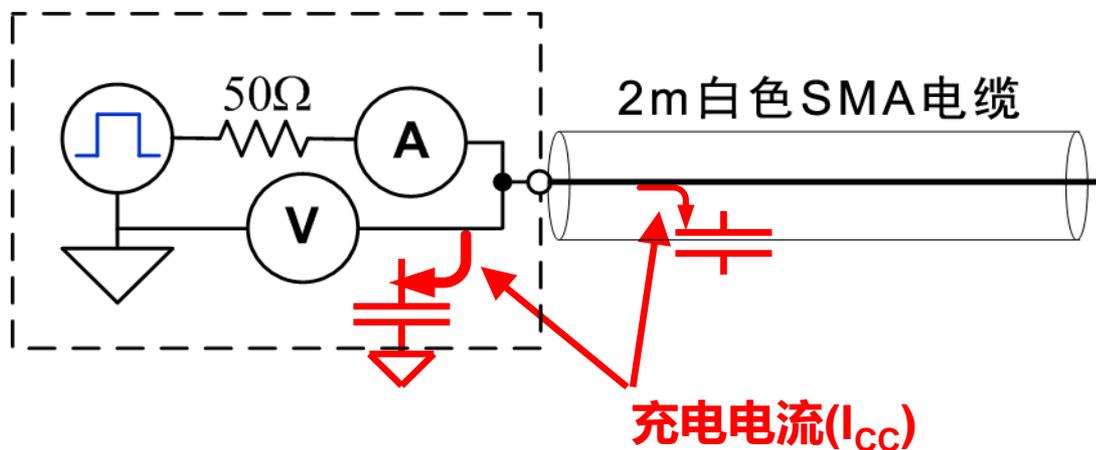
■ 电流

- 为什么有这些尖峰?



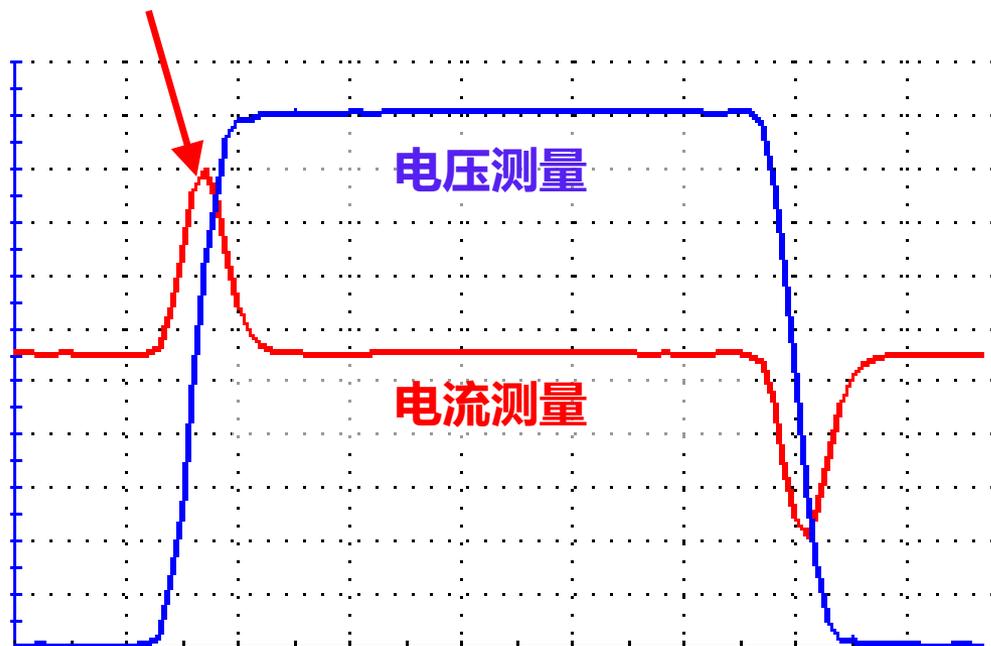
是什么引起这种效应?

4225-PMU 通道



■ 寄生电容

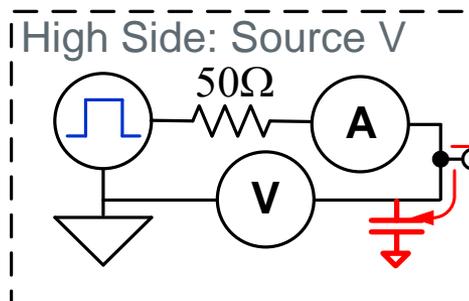
- 在脉冲电压上升时流入寄生电容的电流
- 在电压返回0V的反向放电效应



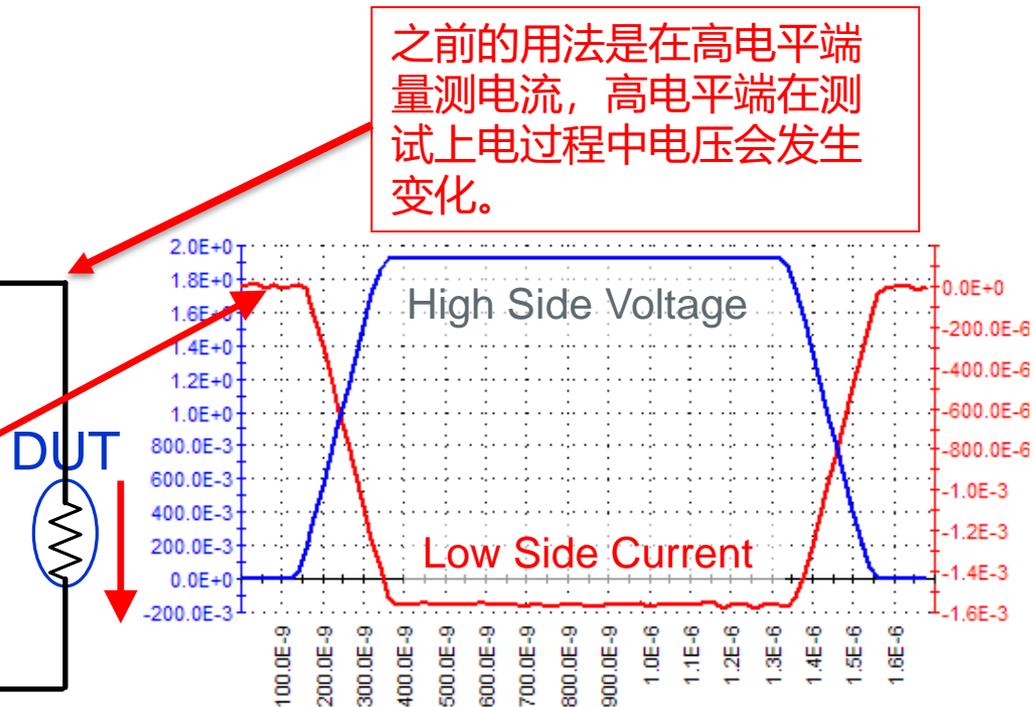
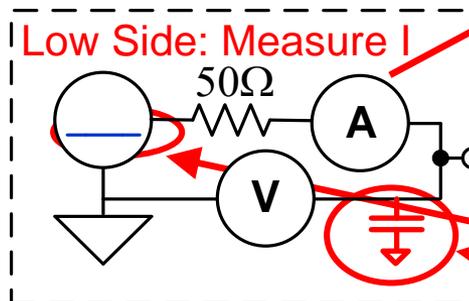
如何用第二台测试仪器消除尖峰

- 两端器件，两个 PMU 通道

4225-PMU Channel



4225-PMU Channel



之前的用法是在高电平端量测电流，高电平端在测试上电过程中电压会发生变化。

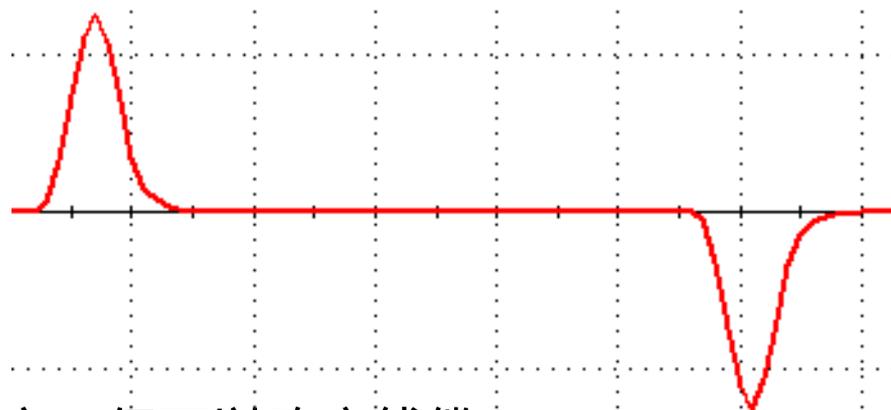
几乎没有dV/dt的变化，所以没有充电电流流过

降低寄生电容

- 寄生电容越低，尖峰幅度越小。

- 寄生电容的三个主要来源

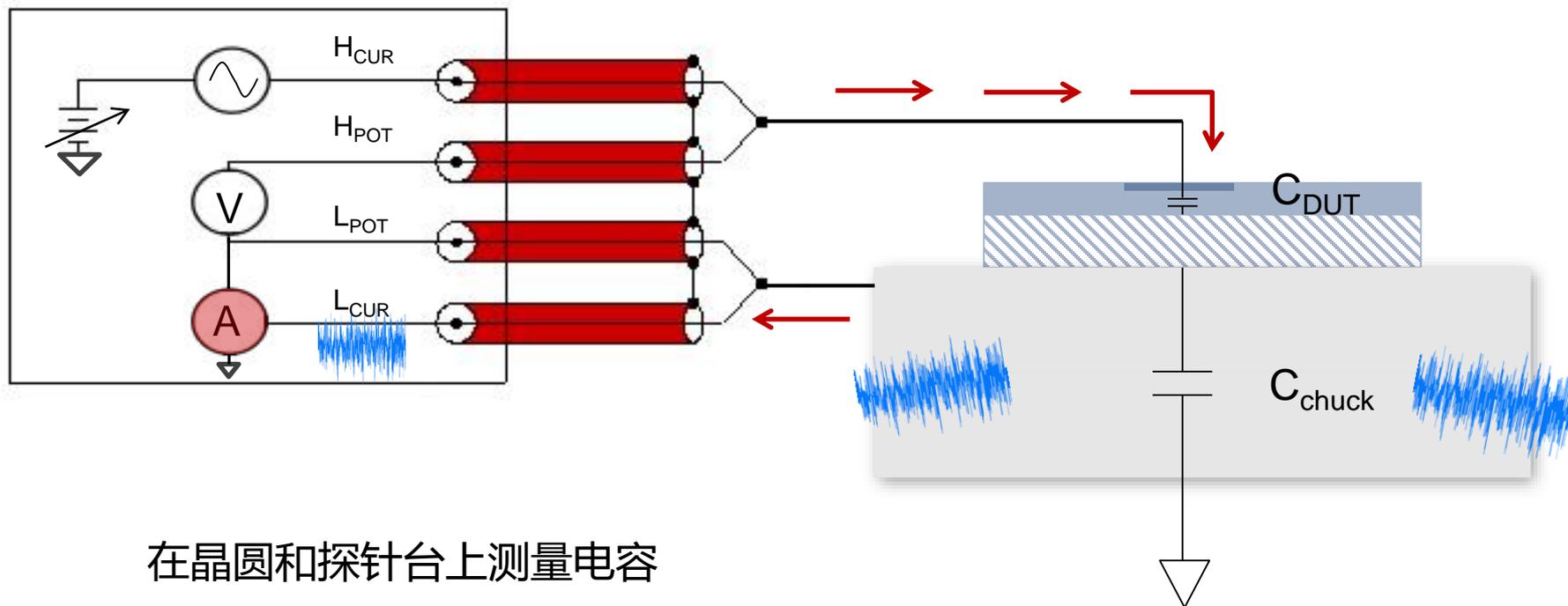
- 仪器
- 线缆
- 被测器件



- 不能改变仪器或被测器件的电容，但可以改变线缆！

- 缩短电缆长度，降低电容。

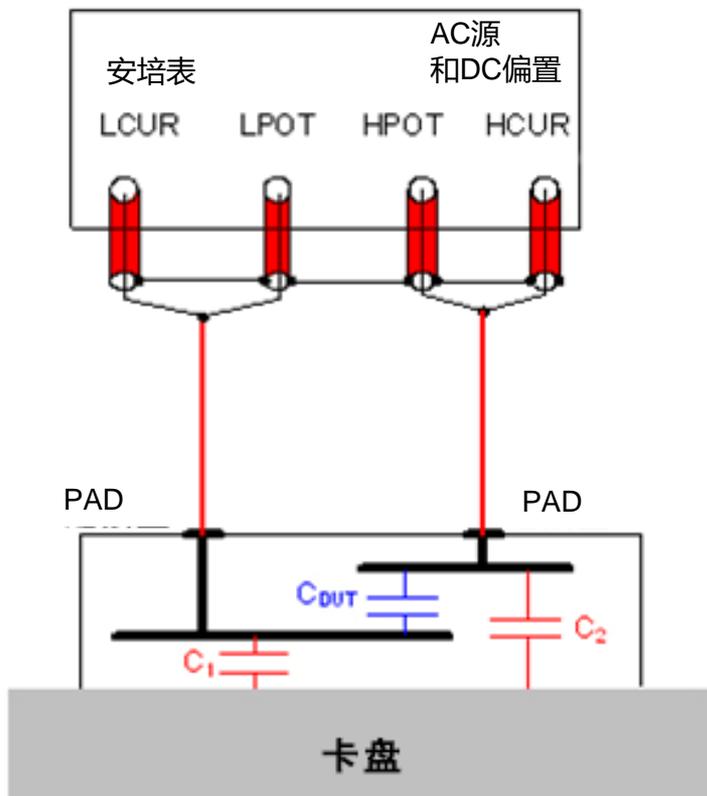
电容测试时可能会遇到的问题



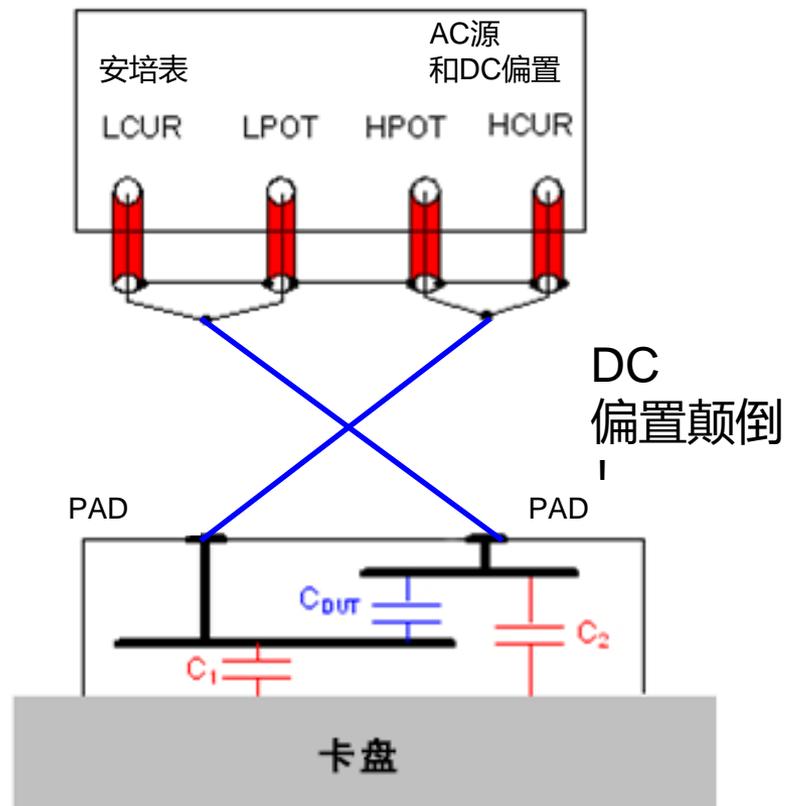
在晶圆和探针台上测量电容

交换High 和 Low端连线

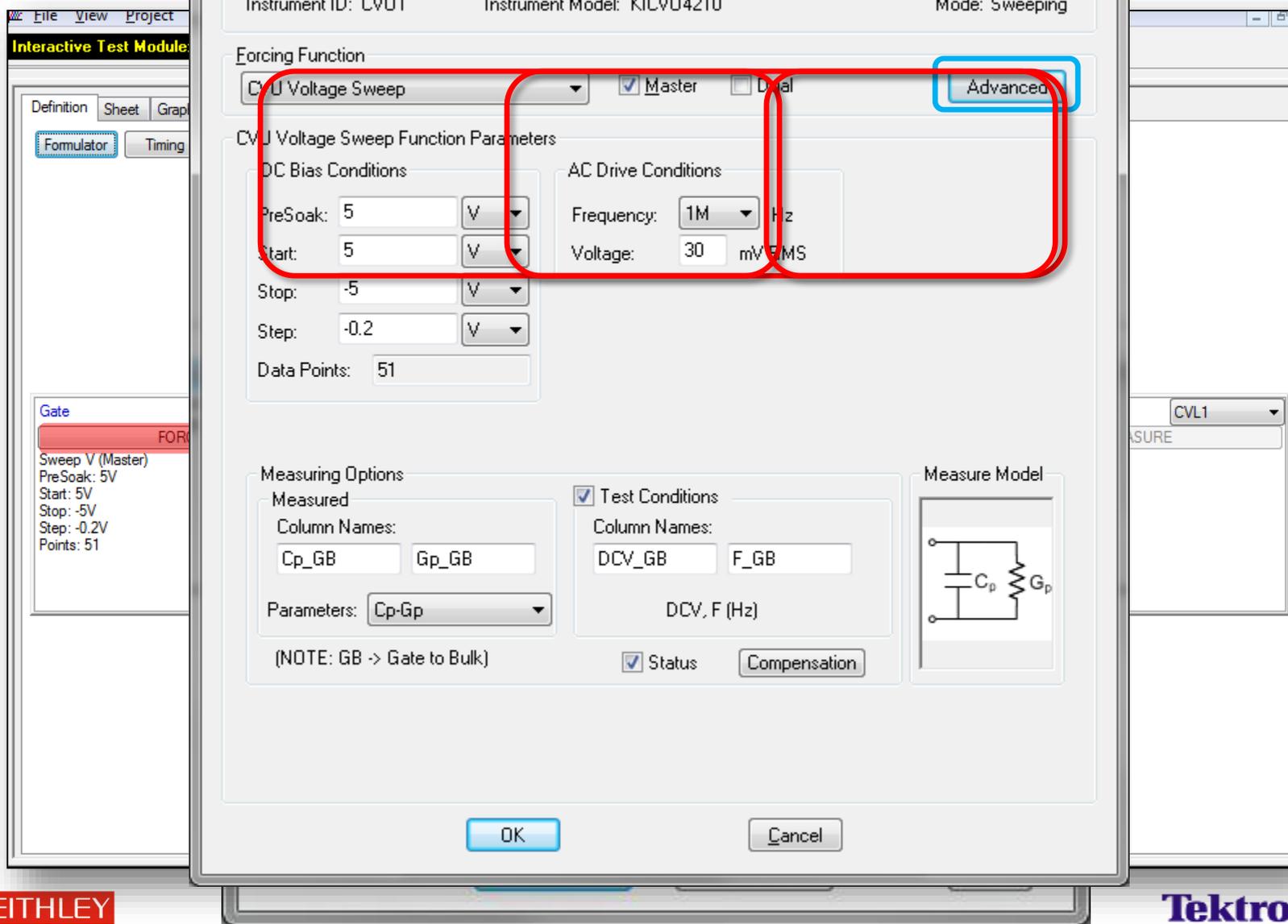
有噪声的测量连接方式



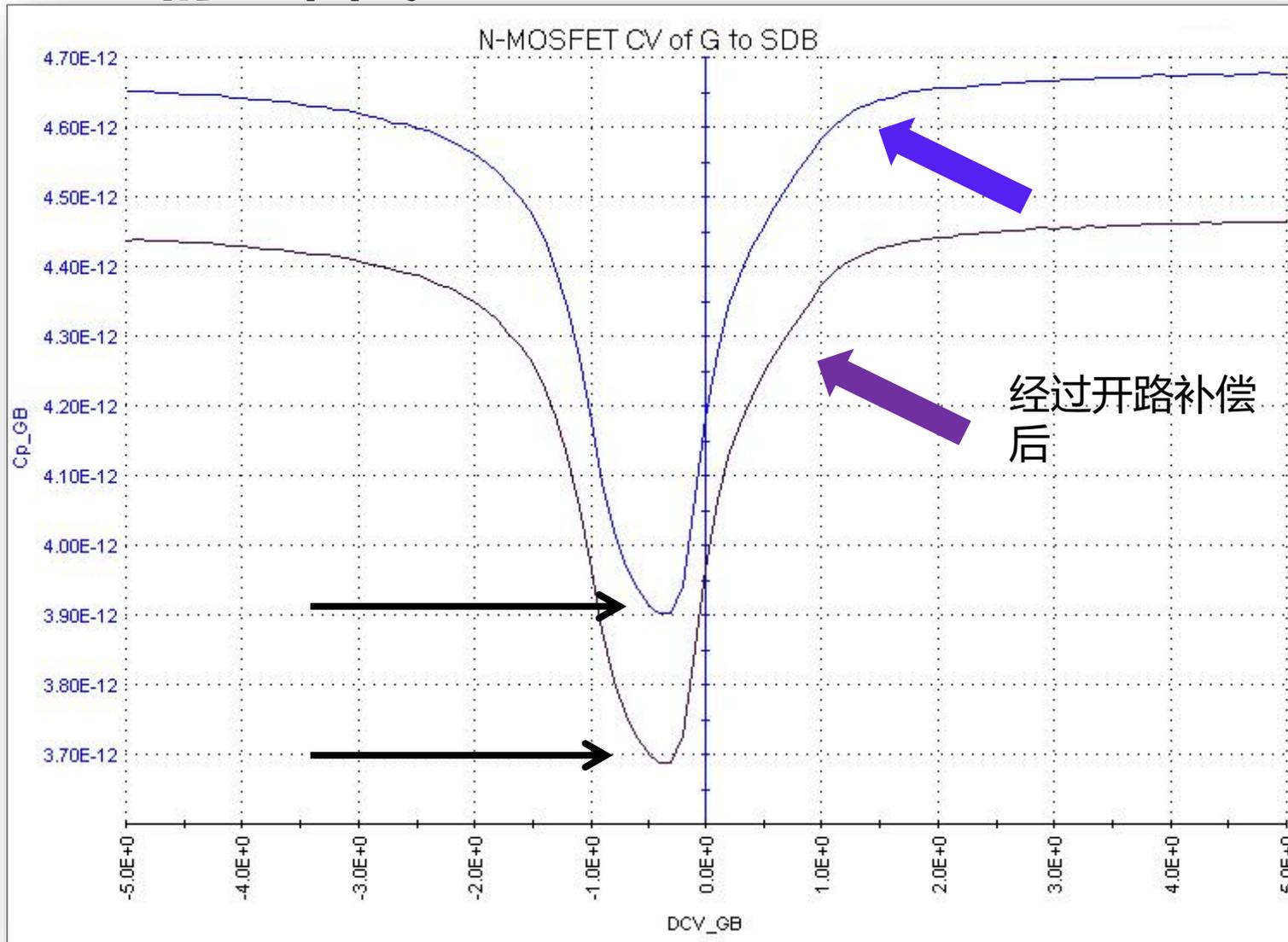
交换过连线的连接



#2: 轻松点击鼠标, 切换DC电压源



MOSFET的CV曲线



一般经验法则

开路

- $< 10 \text{ pF}$
 - $> 1 \text{ M } \Omega$,
- 大阻抗 DUT**

短路

- $> 10 \text{ nF}$
 - $< 10 \text{ } \Omega$,
- 小阻抗 DUT**

负载

- **增益误差校正**
- **对DUT使用负载补偿尽可能接近真值**

调试指引

错误表现	可能原因	最大限度地减少错误或避免错误的建议
测得电容比预期高很多	线缆和连接电容影响测量	<ol style="list-style-type: none">1. 执行测量补偿和Enable2. 使用短接地环路，使寄生电容达到最小3. 尽可能缩短电缆长度
	开灯测试或未关闭屏蔽箱	<ol style="list-style-type: none">1.关灯或关闭屏蔽箱
	其他端子寄生电容影响测量	<ol style="list-style-type: none">1.使用GUARD
	DUT短路	<ol style="list-style-type: none">1.试试另一个DUT。使用confidence check进行检验。

调试指引

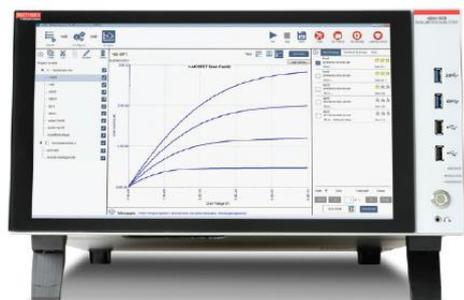
错误表现	可能原因	最大限度地减少错误或避免错误的建议
测得电容值太低	器件没有处于平衡状态	1. 提高延迟时间
	器件接触不良或没有接触	1. 使用置信度检查, 检验连接 2. 可能需要改善晶圆和卡盘之间的接触
	DUT开路	1. 试试另一个DUT, 检验问题是由DUT引起的还是其他地方引起的 2. 使用confidence check
	没有连接同轴电缆屏蔽	1. 在DUT附近连接屏蔽 2. 降低测试频率。

调试指引

错误表现	可能原因	最大限度地减少错误或避免错误的建议
测量有噪声	DUT或环境有噪声	使用安静模式或自定义模式； 视电容幅度，提高或降低测试频率； 检查探针是否与DUT良好接触
	DUT没有进行静电屏蔽	保证正确屏蔽测试夹具。屏蔽必须在与同轴电缆屏蔽层短接
C-V扫描最后出现“尾巴”	器件没有处于平衡状态	把PreSoak电压设置成扫描中第一个电压， 使用足够的Hold Time（保持时间）， 让DUT充电
	器件有泄漏	试着使用SMU测量泄漏电流， 降低dc电压

吉时利半导体测试解决方案

4200-SCS



半导体测试系统，
集成PC 及测试软件，
工作站式测试

Parametric Curve Tracer



高功率，可灵活配置
及组合的参数曲线追踪仪；
集成功能强大的测试软件

S530, S500 & ACS



自动化半导体测试设备；
面向半导体器件级特性
分析的参数测试系统及软件

功率半导体器件的主要特性

650 V IGBT HB series



■ 几种功率器件的典型特征参数

Characterization	Test Category	Devices and Parameters		
		IGBT	Power MOSFET	GTR
Static	ON-state	V_{CE-I_C} V_{GE-I_C}	V_{DS-I_D} V_{TH} V_{GS-I_D} $R_{DS(on)}$	V_{CE-I_C} Gummel plot
	OFF-state	I_{CEO} I_{CES} BV_{CES} BV_{CEO} BV_{CBS}	I_{GSS} I_{DSS} BV_{DSS} BV_{DG}	I_{CEO} I_{CES} BV_{CES} BV_{CEO}
Dynamic	Charge	Q_G	Q_G	NA
	Capacitance	C_{iss} (a.k.a. C_{ies}) C_{oss} (a.k.a. C_{oes}) C_{rss} (a.k.a. C_{res})	C_{iss} (a.k.a. C_{ies}) C_{oss} (a.k.a. C_{oes}) C_{rss} (a.k.a. C_{res})	
Switching	Timing	$T_{d(on)}$ T_r $T_{d(off)}$ T_f	$T_{d(on)}$ T_r $T_{d(off)}$ T_f	T_s T_f

静态特性 (Static Characterization) 测试简便, 表征器件本身直流特性

Series 2600B和2650A SMUs

Model 2636B SMU

- 两个独立的SMU通道
- 高达200V
- 高达10A脉冲
- 0.1fA测量分辨率



Model 2651A SMU

- 高达50A脉冲(两台仪器高达100A)
- 高达2000W脉冲 / 200 W DC电源
- 100us ~ DC脉冲宽度
- 配备高速度及积分ADCs



Model 2657A SMU

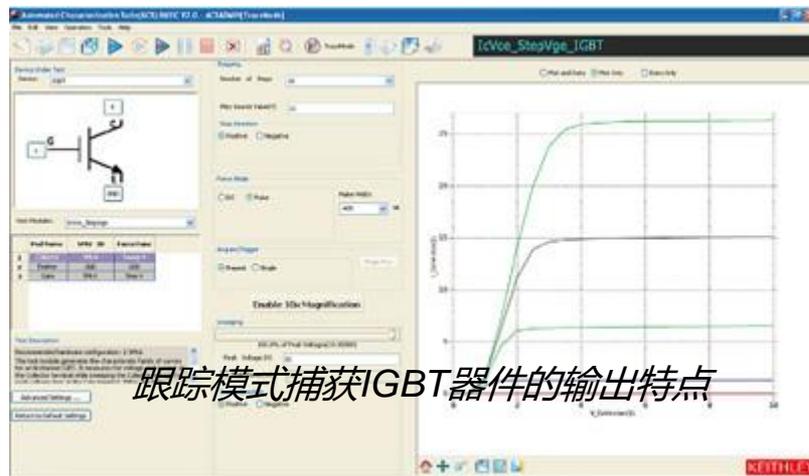
- 高达3000V, 高达180W功率
- 四象限操作 (源端和电子负载)
- 1fA测量分辨率
- 配备高速度及积分ADCs



参数曲线跟踪仪

■ 功率器件解决方案

- 完善的解决方案，包括SMU仪器、电缆、测试夹具、软件、测试程序库和样本器件
- 测试管理软件包括实时绘图的跟踪模式及提取参数的参数模式
- 提供了宽动态范围：
 - 从 μV 到3kV
 - 从fA到100A
- 灵活的可重新配置的系统，满足不断变化的功率测试要求



Series 2290高压电源

- Series 2290高压电源及Series 2600B SMU仪器
 - 包括安全互锁
- 新保护模块附件, Model 2290-PM-200,
- ACS BE 2.1软件将包括运行泄漏电流测试的程序库
- 带有2290和SMU仪器



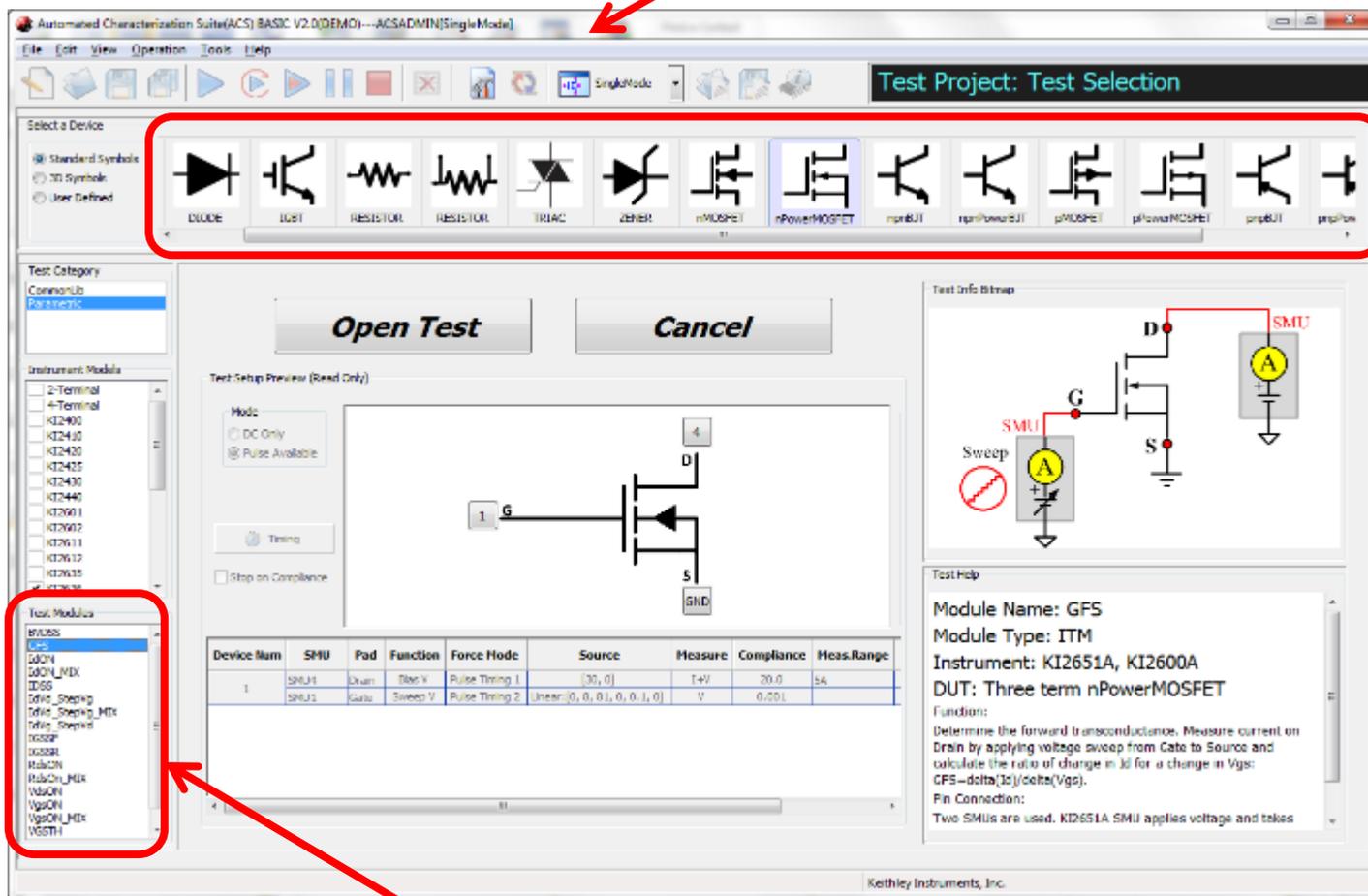
- +50V ~ +5,000VDC
- 高达5mA电流输出(25W)
- 1 μ A电流测量分辨率
- 超低输出噪声; 3mVrms @5kV, 启用输出滤波器时
- 安全互锁
- GPIB接口



- +100V ~ +10,000VDC
- 高达1mA (10W)
- 1 μ A电流测量分辨率
- 低输出噪声; 1Vrms最大值
- 安全互锁
- RS-232和GPIB接口

参数曲线跟踪仪测试库

支持所有最常见的器件



包括每种器件类型最常见的测试

Model 8010测试夹具



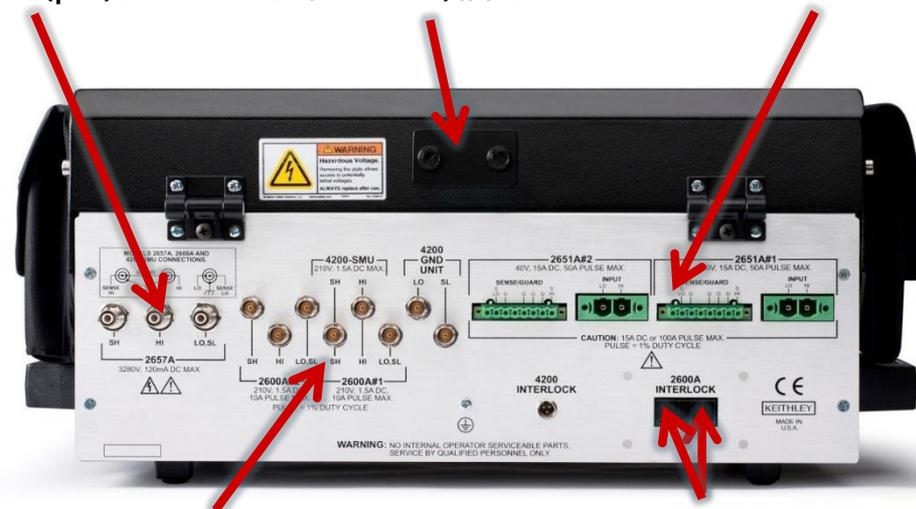
- 为3kV和100A测试提供安全环境
- 包括TO-220和TO-247封装和自定义器件测试插座
- 简便易用的香蕉头跳线连接方式
- 包括全彩连接指引手册



连接一台Model 2657A, 执行3kV和低电流(pA)测试

接入端口, 传送外部仪器 (示波器探头, 热电偶)信号

并连两台Model 2651A, 执行100A脉冲式测试



连接最多两台Model 2636B或Model 4200 SMU, 执行200V和低电流(pA)测试

连接SMU互锁。在打开测试夹具中禁用SMU的高压输出

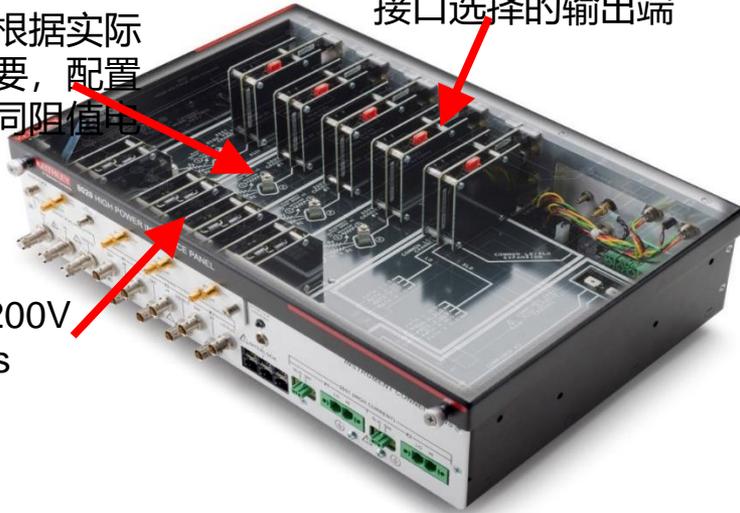
PCT系统配合8010夹具盒可以方便安全地对封装好的功率半导体器件进行测试

连接Model 8020接口转换面板

用户可根据实际
测试需要，配置
串联不同阻值电
阻

可灵活配置，丰富
接口选择的输出端

3KV及200V
CV Bias
Tees



另外还包括对200V和公共端通道设计的过压保护
可以简便扩展，支持更多的SMUs和器件管脚连接



3kV SMU
Channel

200V SMU
Channels

Safety
Interlock
Hub

Two 50A SMU
Channels (100A
pulse in parallel)

输出端面板



High Current
(Combined
2651) Channel

Common
LO Channel

200V Channels

High Voltage
(2657)
Channel



Model 8020-
KHV
Keithley HV
Triax Card

Available for
all channels



Model 8020-
AHV
Agilent HV
Triax Card

Available for
all channels,
Useful for
connecting to
Cascade
Tesla probe
station



Model 8020-
STC
Standard
Triax Card

Available for
200V and
Common LO
channels only

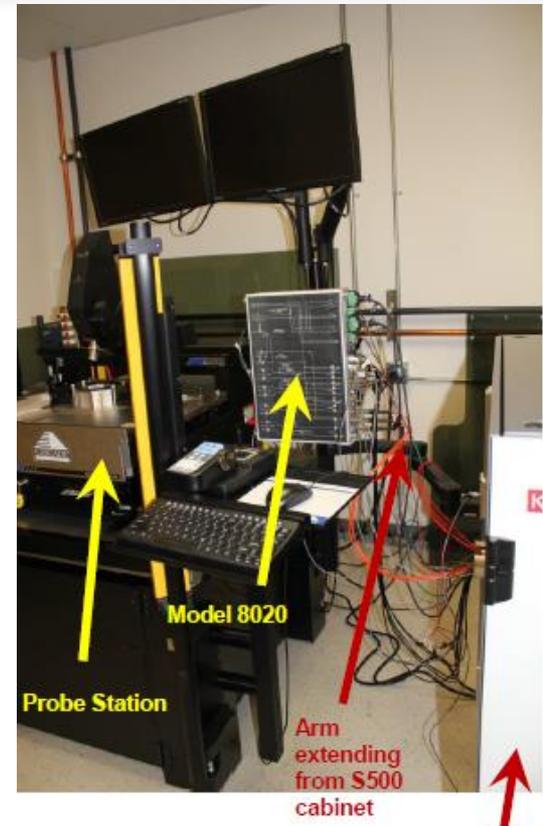


Model 8020-
SHV
SHV Card

Available for
all channels

连接Model 8020接口转换面板

1. 方便了高功率仪器（如PCT）与高功率探针台的连接：丰富且标准的接口使晶圆级别功率半导体测试成为现实
2. 使高压 C-V 测试更方便的接口转换面板：避免了 DC - IV，AC - CV换线的烦恼

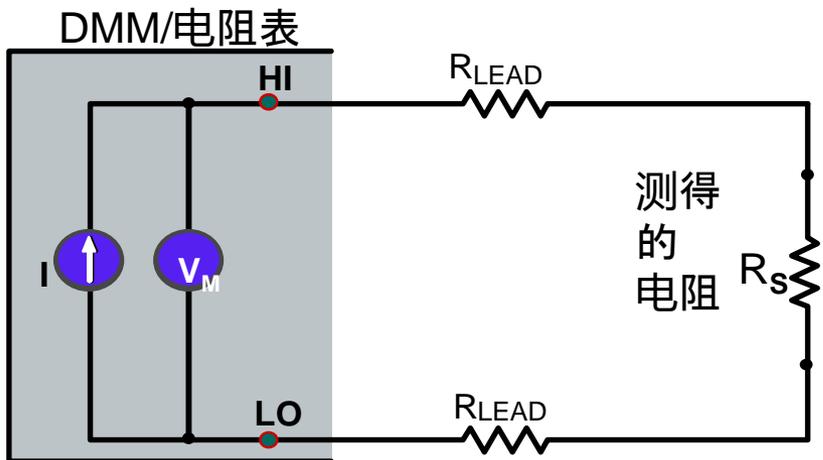


S500 cal

Tektronix®

A. 高电流测试时的连线方法--- 四线法连线 (remote sense)

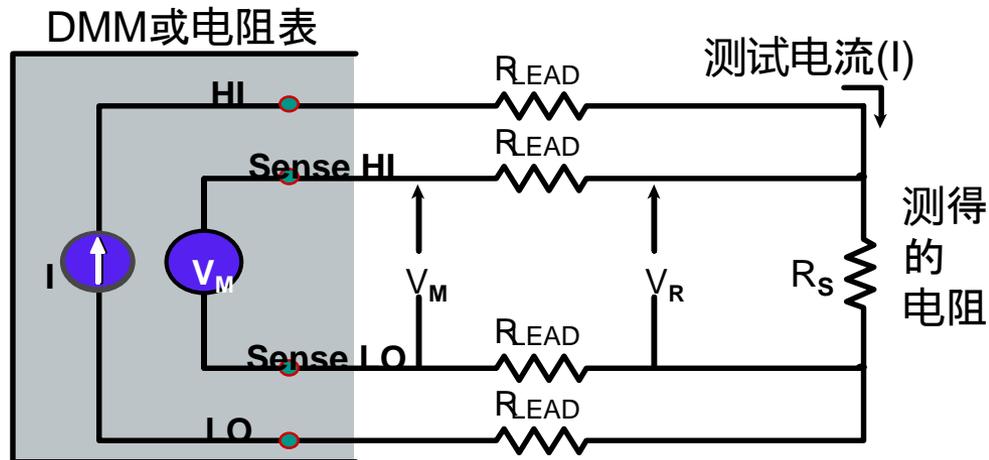
2线电阻测量 (Local sense)



$$R_{\text{measured}} = R_s + R_{LEAD} + R_{LEAD}$$

$$R_s \gg R_{LEAD}$$

4线电阻测量(remote sense)



V_M = 电阻表测得的电压

V_R = 经过电阻器的电压

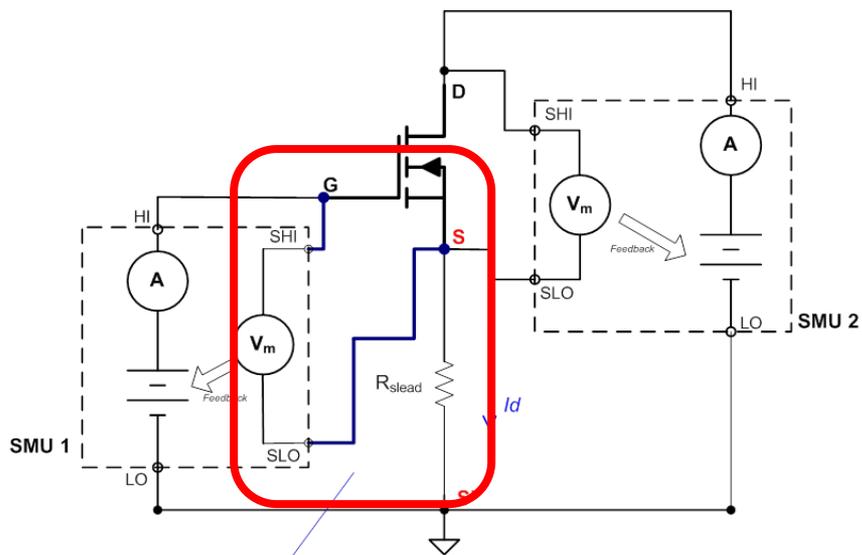
可以忽略Sense 端电流, $V_M = V_R$

$$\text{测得的电阻} = \frac{V_M}{I} = \frac{V_R}{I}$$

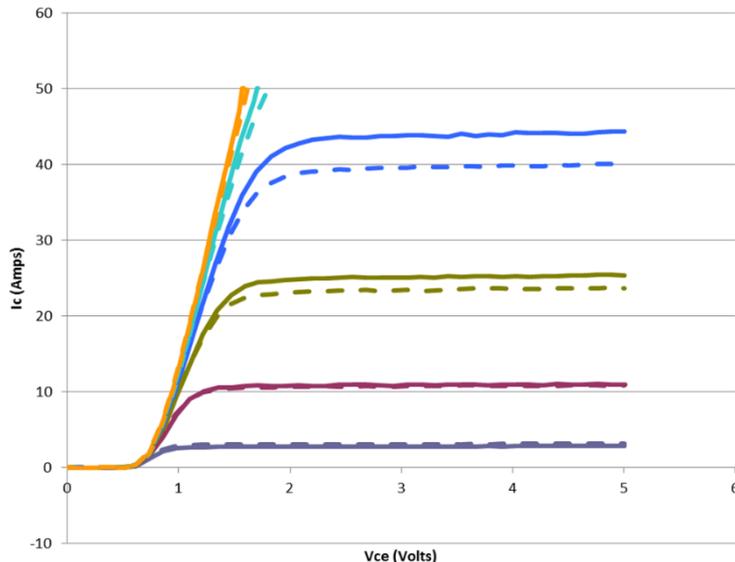
2线法测试适用于阻值比较大, 电流比较小的测试; 而当被测电阻非常小, 测试电流较大时, 应用4线法连线方式去测试.

A. 高电流测试时的连线方法--- 四线法连线 (remote sense)

高增益器件的开态测试连线



Using 4-wire on the gate SMU allows it to measure and correct the output voltage based on the voltage at the actual device terminal.



图中虚线为不合理连线测得结果。实线为合理连线后测得结果。合理连线后，实际电流要大一些。

在高增益器件测试中， Gate端微弱的电压变化也会导致导通电流剧烈变化。推荐Gate端也要做4线连接，以便获得正确稳定的控制电压。

B. 自热效应---- 脉冲测试 (Pulse Measurement)



Figure 4. One Cubic Foot Still Air Chamber

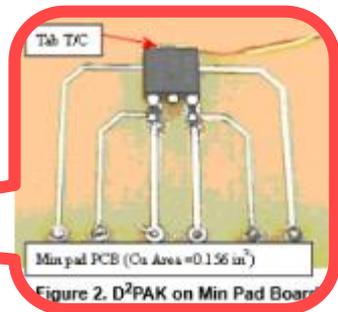
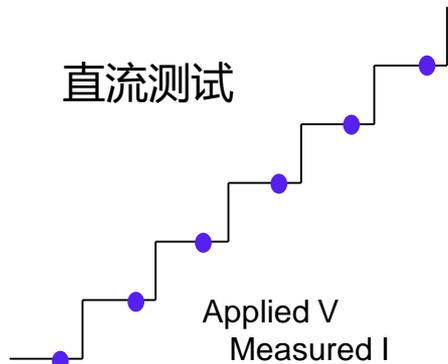
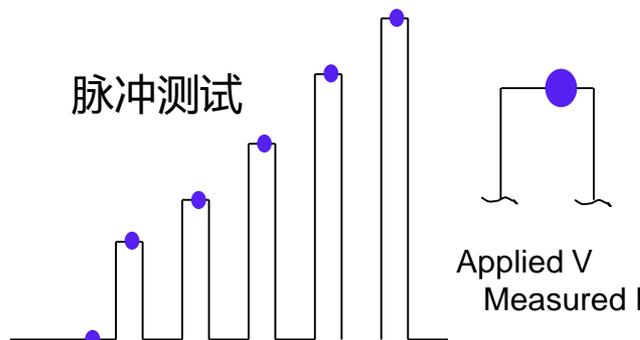


Figure 2. D²PAK on Min Pad Board



直流测试

功率器件长时间在直流偏置下,特性开始改变



脉冲测试

快速的脉冲测试 (微秒至毫秒级别), 减少功率器件在电压/电流偏置下的stress时间

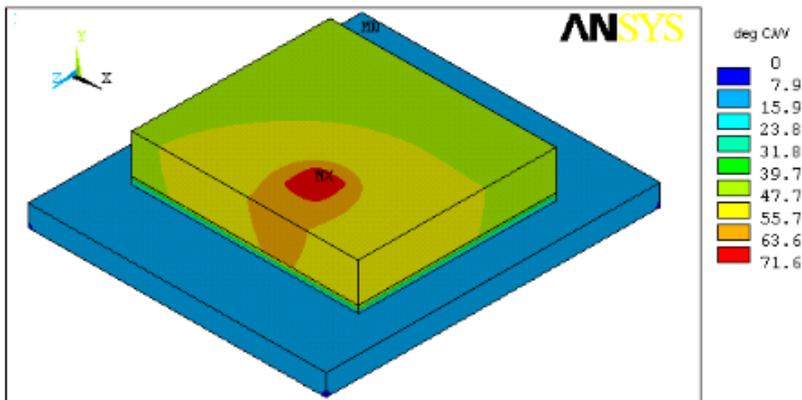


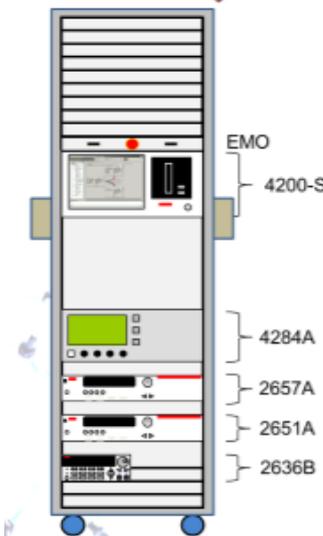
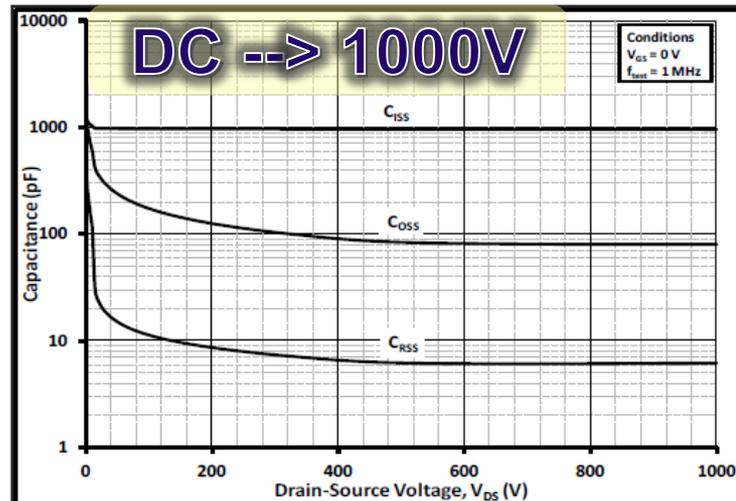
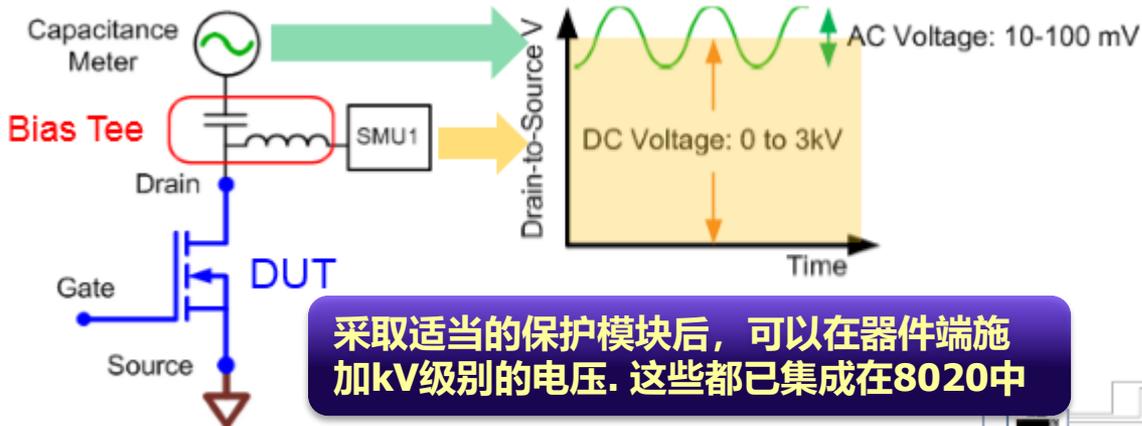
Figure 12. Finite Element Model of Quad-Op-Amp Die on Leadframe, One Output Heated

ONSEMI某款IGBT的Thermal 模拟模型

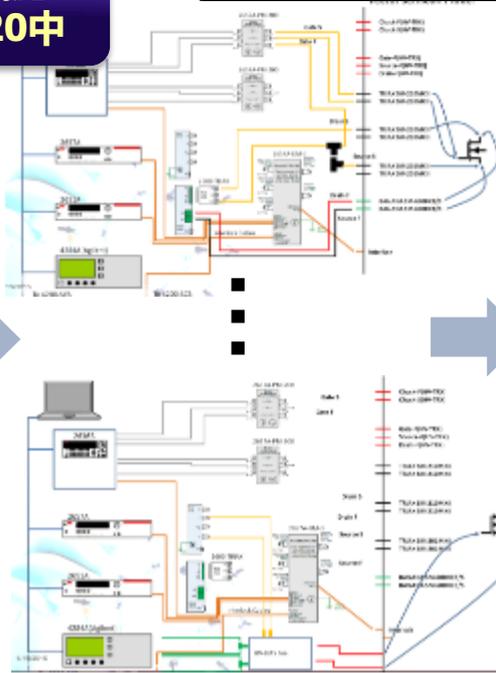
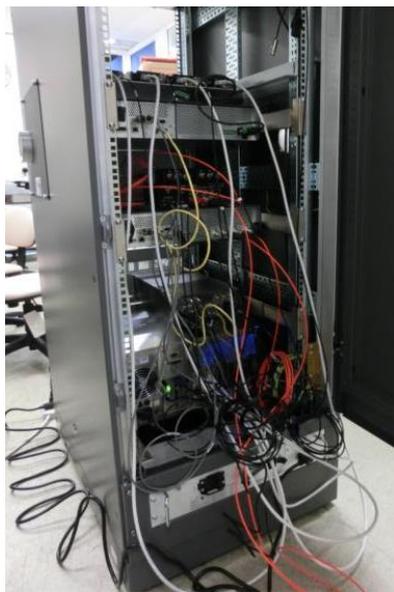
IGBT等大功率器件由于其功率特点极易产生大量热量, 传统直流测试会使温度迅速上升, 严重时会使器件损坏。且不符合器件工作特性。

C. 高压电容测试---- BiasT, Protection Module, CV测试

Bias Tee 将较大直流电压引入CV测试



KEITHLEY
A Tektronix Company



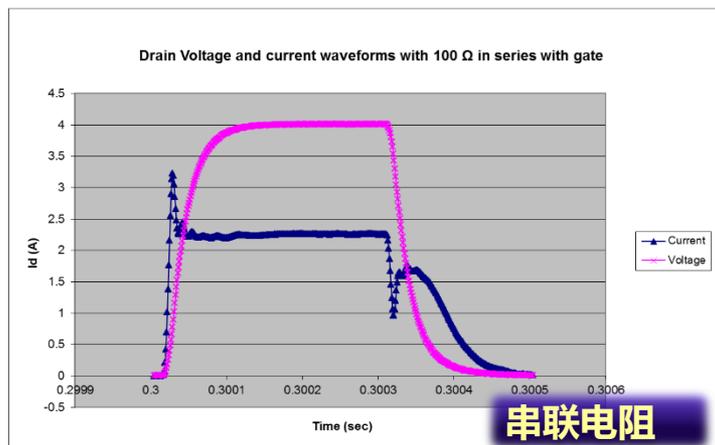
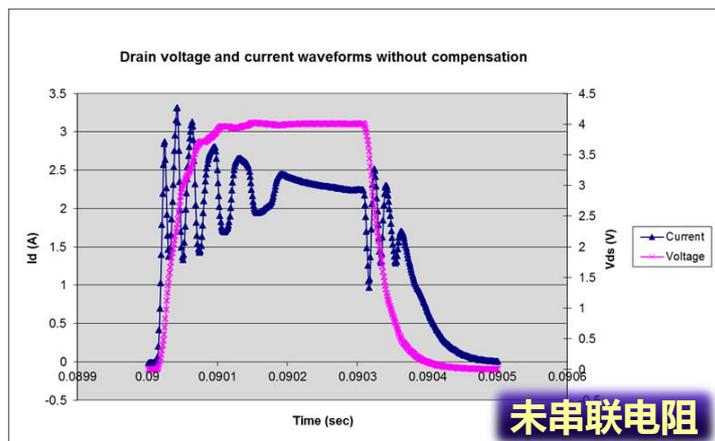
**BiasT 及 保护模块
都已集成在8020中**

Tektronix

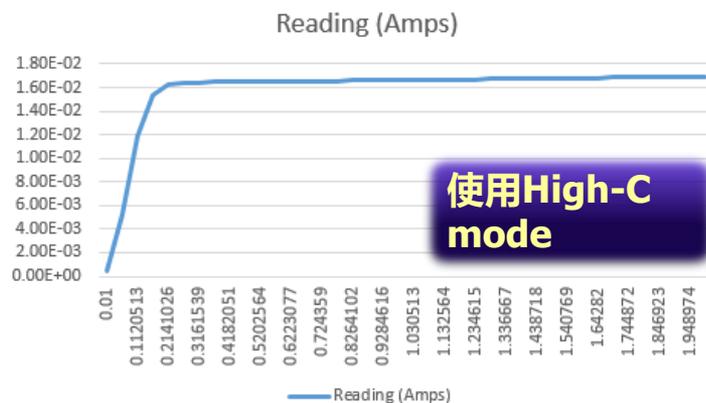
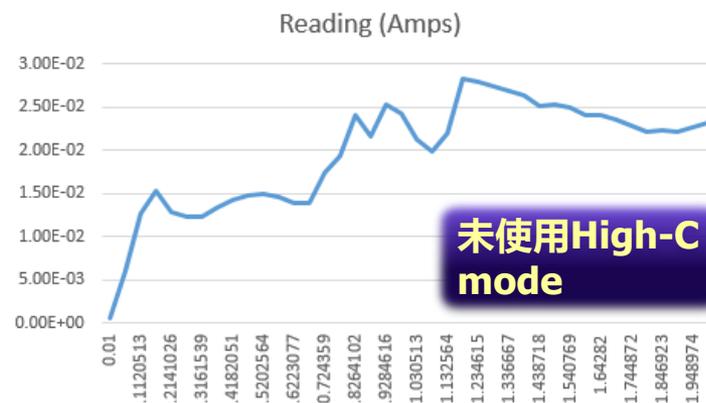
D. 器件振荡及解决方案

高增益器件及开关器件经常会在特定的电压偏置下产生振荡，导致测试不准确。严重会损坏器件及测试设备。下面举例两种解决振荡的方案：

Gate 串联电阻



使用SMU的High-C模式



吉时利半导体测试解决方案

4200-SCS



半导体测试系统，
集成PC 及测试软件，
工作站式测试

Parametric Curve Tracer



高功率，可灵活配置
及组合的参数曲线追踪仪；
集成功能强大的测试软件

S530, S500 & ACS



自动化半导体测试设备；
面向半导体器件级特性
分析的参数测试系统及软件

S530及S500系统

- 自动测试解决方案

软件



硬件



S530 Parametric Test System



S500 Integrated Test System



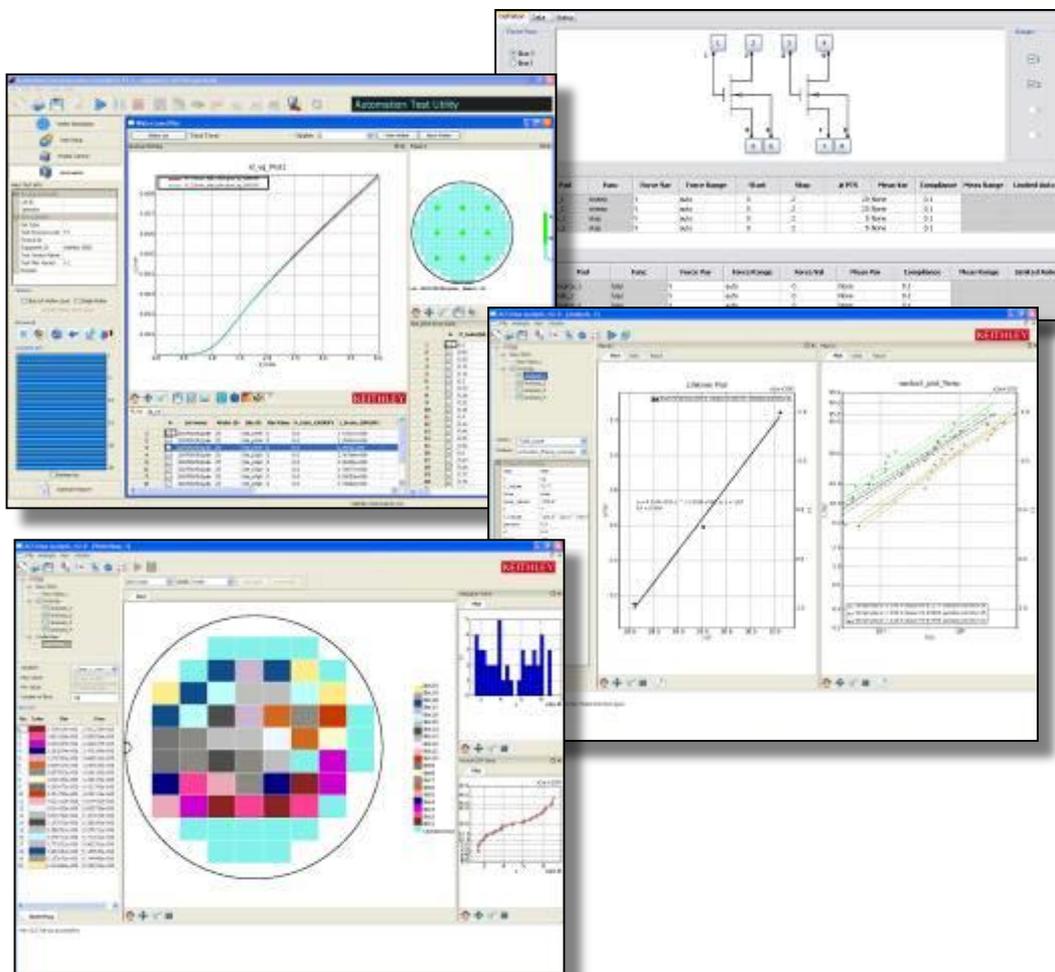
Instruments

配置标准化的测试系统

可根据实际情测试需求定制硬件及特殊测试程序

1. WLR (Wafer Level Reliability)

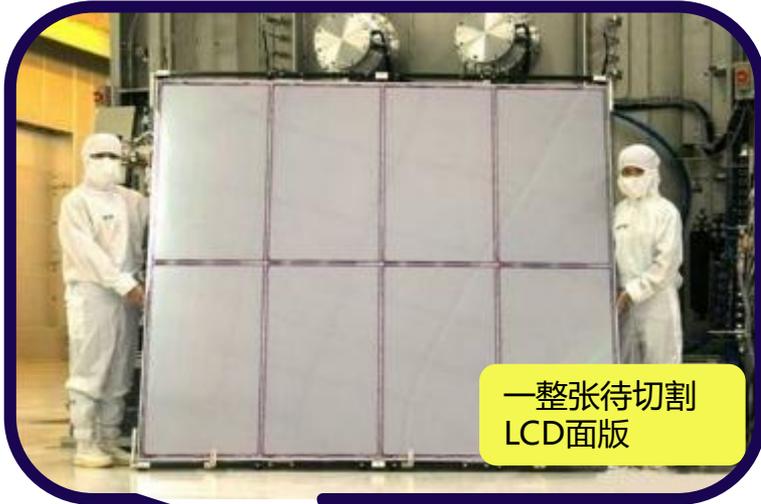
■ ACS软件控制下的测试系统



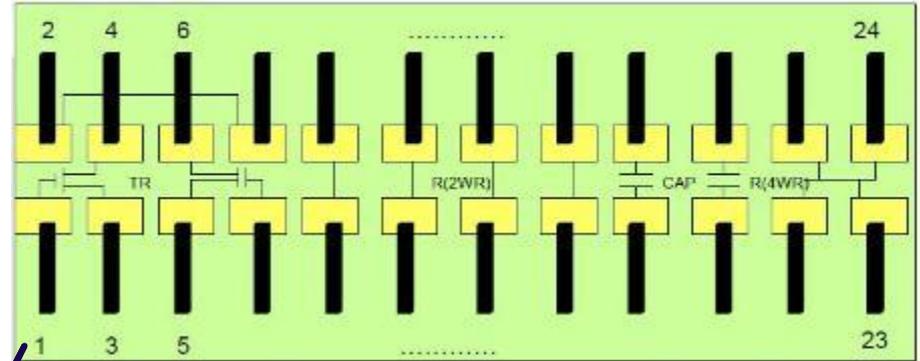
- 可以扩充为真正的并行测试
- Lot级别或Wafer级别批次作业
- 完整原始数据本地记录及上传功能
- 数据处理及分析功能

2. Display: TEG test

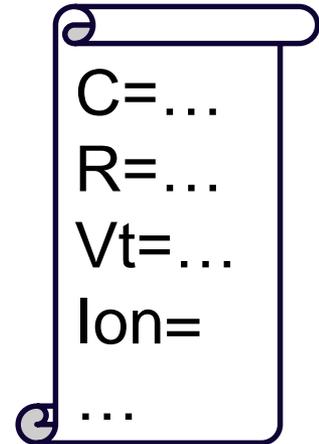
Display → TFT (cell) → TEG (parameter)



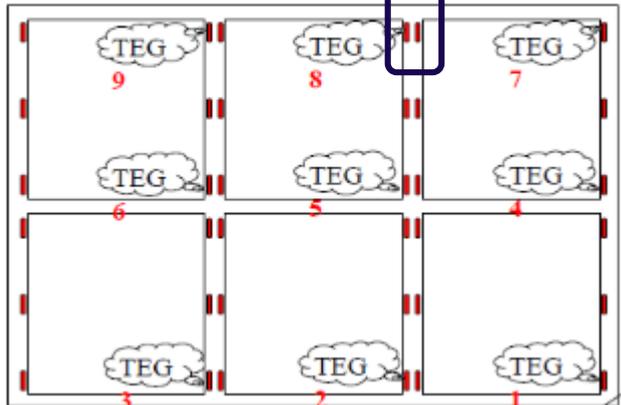
一整张待切割
LCD面版



集成测试系统S500/S530:



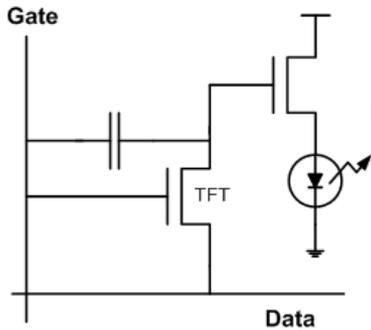
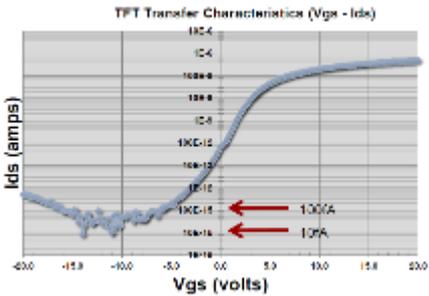
TEG sampling positions



TEG(Test Element Group) 中各结构的测试结果反映了制程中的工艺条件是否合规

2. Display

测试应用:



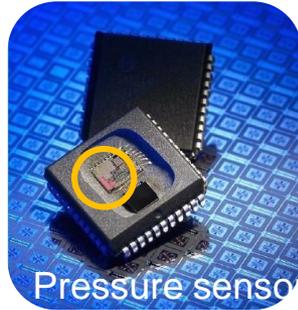
IV 测试

开关矩阵

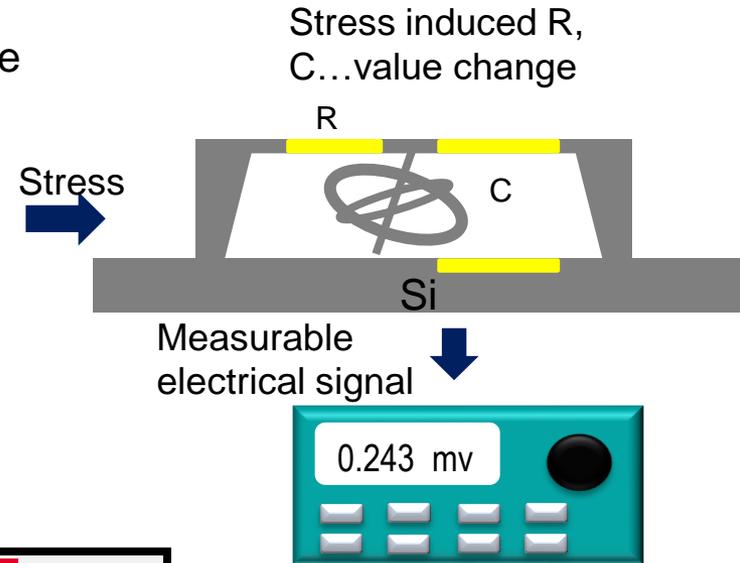
CV/IV 测试

U #	
23	
22	
21	
20	
19	
18	
17	
16	
15	
14	
13	
12	
11	
10	
9	
8	
7	
6	
5	
4	
3	
2	
1	

4. MEMS

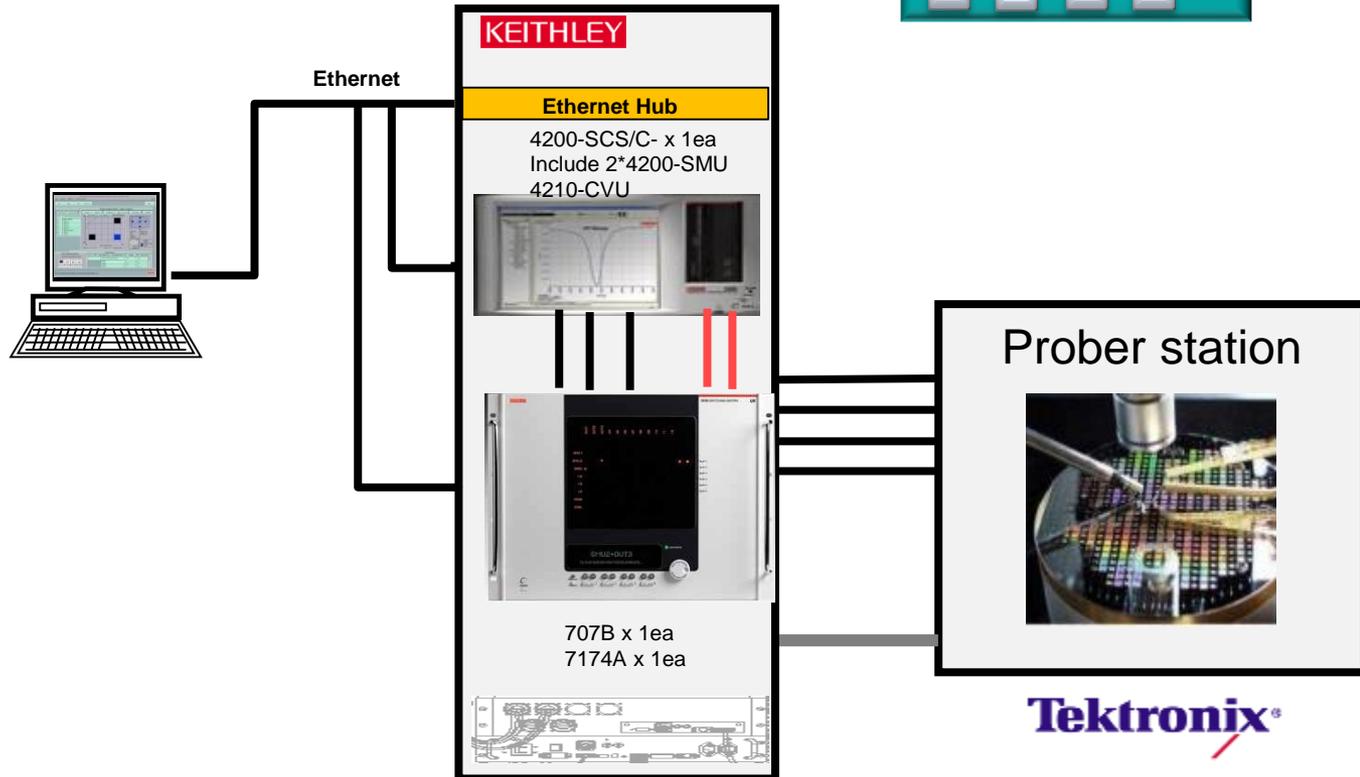


- ◆ Pressure/Force
- ◆ Light
- ◆ Vibration/ acoustic wave
- ◆ Fluidics
- ◆ Temperature
- ...



S500可用于MEMS传感器中对传感单元电性的测量，如R，C等，反应工艺参数

如搭配可提供stress的探针台，则可实现完整传感过过程的参数监控



总结

- 测试理论：时间与精度，选用合适的设备，线缆及合理连线方法，选用适当测试手段。
- 三种类型的测试：传统半导体器件特性测量（含脉冲及CV测试）；大功率器件测量；及自动测试系统。

泰克吉时利服务热线： 400 820 5835