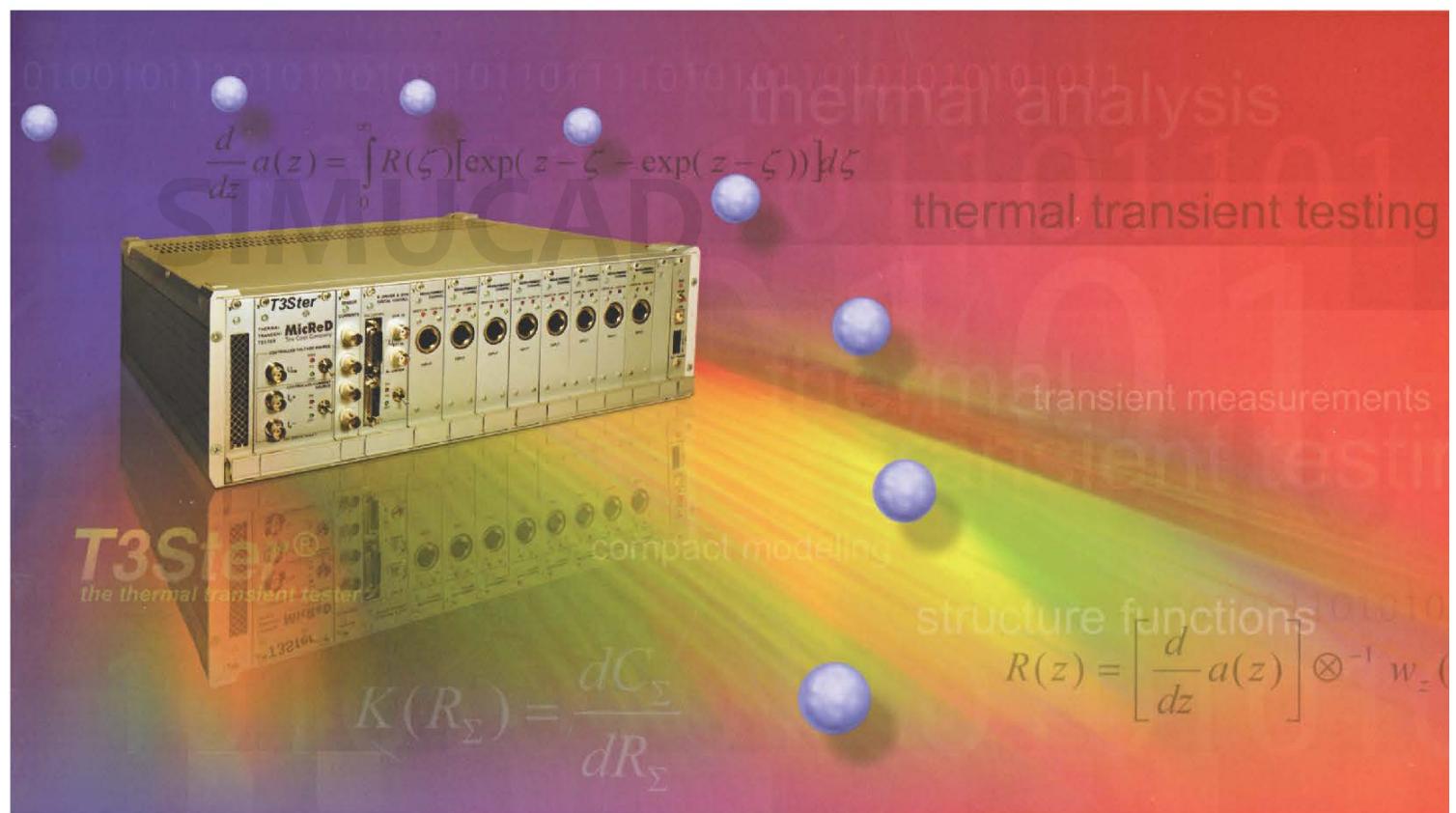


T3Ster

世界领先的半导体热特性测试仪



MicReD

SIMICAD

坤道

SIMUCAD

www.simu-cad.com

公司简介

上海坤道信息技术有限公司(SIMUCADInfoTechCo.,Ltd)是一家专注于高端计算机辅助工程(CAE)软件和高科技仪器设备的提供商和方案咨询服务供应商，致力于为机械电子产品之研发、生产和制造提供先进完善的设计、分析、测试和制造解决方案以及成熟高效的技术支持和咨询服务。

坤道公司的前身为Mentor Graphics公司流体分析、热设计和热测试部门(原英国Flomerics公司中国代表处)负责政府客户、国防与航空航天领域及高校(包括中科院)的业务部门。目前是Mentor Graphics公司(现西门子工业软件旗下)流体分析、热设计和热测试系列产品在中国大陆政府、国防与航空航天领域及高校(包括中科院)和国内中小企业客户的总代理，负责其产品的销售和服务事宜。同时，上海坤道公司还是美国C&R Technology公司Sinda/Fluint、Thermal-Desktop全系列产品、ATS公司全系列流体及热测量设备和美国Microsanj公司SanjSCOPE™反射率热成像系统在中国大陆的总代理。

坤道公司配备了一支技术精湛、业务娴熟、专业经验丰富的技术服务队伍，为客户提供工程咨询服务、客户培训，并举办各类研讨会、技术培训班和用户大会，帮助客户解决技术难题。优质的技术支持服务成为坤道公司的核心竞争力。

坤道公司在软件应用、工程师培训和售后技术服务方面帮助客户成功建立和完善技术平台，得到了广大用户的首肯与认可。客户包含中国电子科技集团、中国航空工业集团、中国航天科技集团、中国航天科工集团、中国兵器集团、中船重工、总参、各军工企业、中科院、广大高等院校、各类质量监督和检测机构以及广大电子、半导体、通讯、计算机和机械行业公司及研究机构等。

公司产品

世界领先的半导体热特性测试仪—T3Ster：T3Ster运用JEDEC测试方法(JESD51-1)中先进的实时采样静态测试方法(Static Mode),广泛用于测试各类分离器件(包括二极管、三极管、MOSFET、IGBT等)、各类IC (SoC、SIP等)、大功率LED、导热材料、散热器、热管等的热阻、热容及导热系数、接触热阻等热特性。

SanjSCOPE™反射率热成像系统：反射率热成像系统是基于反射率热成像技术,结合数字信号处理手段以及先进的软件算法，为用户提供一个高空间分辨率、高时间分辨率、高温度分辨率的，可以对亚微米级别的微电子系统进行热分析的通用工具。

温度、速度、压强测试设备及风洞:美国ATS公司是全球领先的电子热测试及热设计咨询公司，其开发的实验室级风洞、温度及流速测量仪器系列产品可以满足客户对电子系统和器件温度场及流场的高精度测量需要。

FloTHERM电子热设计软件系列:作为全球第一款专门针对电子器件/设备热设计而开发的仿真软件，FloTHERM可以实现从元器件级、PCB板和模块级、系统整机级到环境级的热分析。FloTHERM软件自1989年推出以来就一直居于市场领导地位(市场占有率达到70%)并引领该行业的技术发展。其研发人员是全球最早开始研究CFD理论的科研人员,也是最早一批将传统的CFD仿真技术工程化的技术先驱。

FloEFD流体及传热分析软件系列:FloEFD是新一代流体动力学分析的革命性工具。全球唯一完全嵌入三维机械CAD环境中高度工程化的通用流体传热分析软件,真正实现了仿真分析流程与设计流程的无缝结合,成为从事于流动、换热相关产品开发/设计工程师的高效工具。FloEFD不但可以令CFD专家更快捷地开展CFD分析工作,非CFD专业背景的机械/电子产品工程师也能快速掌握使用。

FloVENT专业暖通(HVAC)及环境级流场分析软件:FloVENT是专业的暖通(HVAC)、节能、数据中心流体及热分析软件，同时也是全球第一款环境级暖通及流场仿真软件,自从1989年推出以来就一直领导该行业的发展，在全球建筑通风仿真和数据中心热分析市场占有率达到50%。FloVENT可广泛运用于室内通风及空调设计、数据中心热分析、社区和建筑内外环境分析、洁净室设计、浓度扩散预测及火灾的仿真。

全球领先的一维流体及传热分析软件---FloMASTER:FloMASTER是全球领先的一维流体及传热分析软件,被广泛应用于航空航天、汽车、燃气轮机、船舶、兵器、能源动力、石油和天然气过程系统、水处理、流体管网等所有内流系统设计领域。

SINDA/FLUINT & Thermal Desktop航空航天专业热分析软件:SINDA/FLUINT是基于有限差分方法应用于复杂系统热设计分析和流体分析的软件。长期以来, SINDA/FLUINT已经成为航空航天业界用户最可靠的传热与流体设计工具，是美国NASA在轨飞行器热设计的标准工具。Thermal Desktop是一个利用集成参数、有限差分和有限元模拟方法、能让用户快速建模、分析和后处理复杂热/流体模型的软件工具,可作为SINDA/FLUINT软件的三维前处理工具。

欲了解关于以上产品的详情，请访问www.simu-cad.com

什么是T3Ster

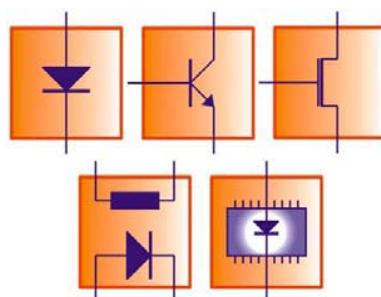
T3Ster[®] [发音 : tri-ster] — the Thermal Transient Tester : 热瞬态测试仪，是世界领先的半导体热特性热测试仪，可用于测试半导体分立器件及模块的结温、稳态热阻、瞬态热阻，同时可用于测试IC、SoC、SIP、散热器、热管等的热特性。

- T3Ster兼具JESD51-1定义的静态测试法(Static Mode)与动态测试法(Dynamic Mode)，能够实时采集器件瞬态温度响应曲线（包括升温曲线与降温曲线），瞬态采样时间分辨率高达1微秒，测试延迟时间高达1微秒，结温分辨率高达0.006°C。
- T3Ster既能测试稳态热阻，也能测试瞬态热阻抗，并且能够获得器件的脉冲热阻。
- T3Ster的研发者 MicRed是JEDEC最新的结壳热阻 (θ_{jc}) 测试标准(JESD51-14)的制定者，T3Ster的测试方法完全符合该标准，可以通过两种方法计算结壳热阻。
- T3Ster的测试方法符合IEC60747系列标准。
- T3Ster的研发者MicRed制定了全球第一个用于测试LED的国际标准JESD51-51，以及LED光热一体化的测试标准JESD51-52。T3Ster和TeraLED是目前全球唯一满足此标准所规定的光热一体化测试要求的设备。
- T3Ster的测试方法符合MIL-STD-883H method1012.1和MIL-750E 3100系列的要求。
- T3Ster独创的Structure Function(结构函数)分析法，能够分析器件热传导路径上每层结构的热学性能（热阻和热容参数），构建器件等效热学模型，是器件封装工艺、可靠性试验、材料热特性以及接触热阻的强大支持工具。因此被誉为热测试中的“X射线”。
- T3Ster能与FloTHERM、FloTHERMxtl以及FloEFD等热仿真软件协同工作，包括：
 - 1)、将待测器件的RC网络模型直接输出给热仿真软件进行仿真工作；
 - 2)、将待测器件的结构函数直接输出给热仿真软件，利用热仿真软件的自动优化功能对待测器件的详细热学模型进行校准。

T3Ster的应用范围及功能

◆ 应用范围:

- 各种三极管、二极管等半导体分立器件，包括：常见的半导体闸流管，BJT，MOSFET，IGBT，SiC器件以及GaN HEMT, GaAs FET等器件。
- 各种复杂的IC以及SIP、SoC等新型结构。
- 接触热阻的测试以及各种复杂的散热模组的散热性能的评估。



◆ 功能:

- 半导体器件结温测量；
- 半导体器件稳态热阻及瞬态热阻抗测量；

- 半导体器件热阻和热容测量，给出器件的热阻热容结构（RC网络模型包括Foster模型和Cauer模型）；
- 半导体器件封装内部结构分析，包括器件封装内部每层结构（芯片+焊接层+热沉等）的热阻和热容参数；
- 半导体器件老化试验分析和封装缺陷诊断，帮助用户准确定位封装内部的缺陷结构。
- 半导体器件的脉冲热阻；
- 半导体器件的SOA(安全工作区域)的绘制；
- 材料热特性测量（配合DynTIM配件，可以测试材料的导热系数）
- 接触热阻测量，包括导热胶、新型热接触材料的导热性能测试。

测试方法——基于电学法的热瞬态测试技术

◆ 测试方法——电学法

- 寻找器件内部具有温度敏感特性的电学参数，通过测量该温度敏感参数（TSP）的变化来得到结温的变化。
- TSP的选择：一般选取器件内PN结的正向结电压。

◆ 测试技术：热瞬态测试

- 当器件的功率发生变化时，器件的结温会从一个热稳定状态变到另一个稳定状态，T3Ster将会记录结温瞬态变化过程（包括升温过程与降温过程）。
- 一次测试，既可以得到稳定的结温热阻数据，也可以得到结温随着时间的瞬态变化曲线。
- 瞬态温度响应曲线包含了热流传导路径中每层结构的详细热学信息（热阻和热容参数）。

组件配置

◆ 热测试主机



计算机控制接口	USB接口，满足数据传输提取方便的要求
测试时间	以分钟为单位计
结温测试分辨率	典型值0.006°C
最大加热时间	不限
最小测试延迟时间	1μs(用户可根据需要在软件中调节)

世界领先的半导体热特性测试仪

➤ 功率输出模块

恒流源I _E 范围	-2A~2A , 最大可输出电压 : 7V
恒压源V _{ce} 范围	-10V~10V , 最大可输出电流 : 2A
测试电流源范围 (4路)	-25mA~25mA

➤ 数据采集模块及控制模块

最小测试延迟时间(t _{MD})	1μs	最小采样时间间隔(t _s)	1μs
每倍频采样点数	400 个(典型值) 1000 个(最大值)		
测量通道	2 个(最大可扩展至 8 个)		
电压变化测量档位	400mv/200mv/100mv/50mv		
电压测量分辨率	12μV(以 50mV 量程计算)		

◆ 温度控制设备

T3Ster为用户提供了各种不同的温度可控的恒温设备，包括：T3Ster Thermostat, Julabo加热制冷循环浴槽，以用于待测器件的K系数的标定。

➤ 干式温控槽(T3Ster Thermostat)

干式温控仪采用热电致冷芯片(Peltier 单体)来控制器件的温度。

计算机控制接口	EIA RS232 9 pole female D connector	恒温槽尺寸	52 x 52 x 10mm ³ 或 52 x 52 x 18mm ³
		温度控制精度	± 0.3 °C
温度控制范围	5 - 90 °C		



➤ Julabo加热制冷循环浴槽(Julabo Refrigerated/Heating Circulator)

Julabo加热制冷循环浴槽采用油浴的方式来控制待测器件的温度，使用时将待测器件浸没在液体中以获得恒温环境。此外Julabo加热制冷循环浴槽包含循环泵，当外接液冷板时，可以驱动液体流过液冷板的管道以控制液冷板的温度。

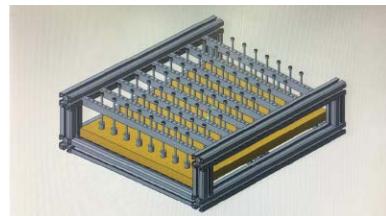
型号	温度范围 (°C)	温度稳定性 (°C)	加热功率 (KW)	制冷功率 20°C (KW)	油槽开口尺寸 (W×L/D cm)
F25-HE	-28~200	±0.01	2	0.26	12×14/14
F32-HE	-35~200	±0.01	2	0.45	18×12/15
F34-HE	-30~150	±0.01	2	0.45	24×30/15



SIMUCAD

➤ 液冷夹具(Cold Plate SCP-40/50)

带手动压紧装置的液冷测试夹具（通过导轨与顶杆的方式压紧待测器件），配合Julabo加热制冷循环浴槽或冷却水装置使用，为待测器件提供用于结壳热阻测试的液冷散热环境，尺寸：400*500 mm。



➤ 气动压紧液冷试验台(SPCP 220/220)

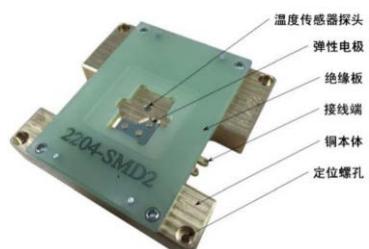
气动压紧液冷试验台（用户需自行配备气源），配合湿式温控仪使用，为待测器件的测试提供结壳热阻测试液冷温控环境，冷板尺寸：220*220mm。

SPCP 220/220 气动压紧液冷试验台技术指标	
符合标准	JEDEC JESD51-14和MIL-STD-883H method1012.1
外形尺寸	385mm*250mm*685mm
液冷板尺寸	220mm*220mm*30mm
液冷板供液管内径	10mm
可测器件高度范围	0~ 100mm
气缸	压力可调式
压力表	电子式
压力控制范围	0~ 0.5MPa
空气过滤器外接气管外径	6mm
温度传感器类型	J/K/T型热电偶
热电偶测试器件壳温的方法	完全符合MIL-STD-883H method1012.1标准的要求
测试夹具	可定制包含：TO封装、SMD封装等在内的各种测试夹具



SPCP 220/220气动压紧液冷试验台

TO-3夹具

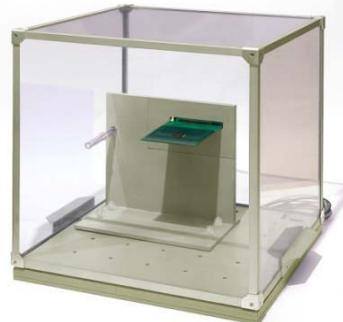


SMD夹具

世界领先的半导体热特性测试仪

➤ T3Ster自检查样品 (T3Ster Reference Device)

性能稳定的半导体器件，方便用户定期检测测试主机的参数是否正常。



➤ 标准静止空气箱 (T3Ster Still Air Environment)

1) 满足JEDEC JESD51-2要求

2) 尺寸：1立方英尺

SIMUCAD

➤ 连接T3Ster测试主机和热电偶的适配器 (T3Ster Thermocouple Preamplifier)

1) 方便T3Ster主机与J,K或T型热电偶的连接。

2) T3Ster主机可以方便地测试热电偶接触点的温度

随着时间变化的曲线。



➤ 辅助功率放大器(T3Ster Booster)

T3Ster Booster(50A/30V)双通道	辅助功率放大器，配合电源Keysight N5765A使用，为大功率待测器件提供加热电流。
T3Ster Booster(38A/40V)双通道	辅助功率放大器，配合电源Keysight N5766A使用，为大功率待测器件提供加热电流。
T3Ster Booster(200A/7V) Single Channel	辅助功率放大器，为大功率待测器件提供加热电流。加热电流输出范围: 40A ~200A。可购买电源 Keysight N5765A，以输出0~40A电流。
T3Ster Booster (240A/11V)	辅助功率放大器，为大功率待测器件提供加热电流。加热电流输出范围: 10A ~240A。
T3Ster Booster(10A/150V)双通道	辅助功率放大器，配合电源Keysight N5770A使用，为大功率待测器件提供加热电流。
T3Ster Booster(10A/280V)双通道	辅助功率放大器，配合电源Keysight N5770A使用，为大功率待测器件提供加热电流。
Keysight N5765A 直流系统电源	辅配合辅助功率放大器T3Ster Booster (50A/30V) Dual Channel使用的外部直流电源，输出功率: 50A/30V
Keysight N5770A 直流系统电源	直流系统电源，配合辅助功率放大器T3Ster Booster(10A/150V) Dual Channel使用的外部直流电源，输出功率: 10A/150V。
Keysight N5766A 直流系统电源	直流系统电源，配合辅助功率放大器T3Ster Booster (38A/40V) Dual Channel使用的外部直流电源，输出功率: 38A/40V。

配置	每通道 测试电 流范围	每通道加 热电流范 围	加热电 压范围	栅压 范围	说明
T3Ster Booster (50A/30V)双通道 + KeysightN5765A	0~2A	0~50A	0~30V	无	可配备两台Keysight N5765A电源，通过双通道并联最大输出100A加热电流。
T3Ster Booster (38A/40V)双通道 + KeysightN5765A	0~1.6A	0~38A	0~40V	无	可配备两台Keysight N5766A电源，通过双通道并联最大输出76A加热电流。
T3Ster Booster (200A/7V)单通道	1mA~500mA	40A~200A	0~7V	0~15V	用户可选配一台Keysight N5765A电源，输出0A~40A的加热电流。
T3Ster Booster (240A/11V)	5mA~1A	10A~240A	0~11V	-10V~20V	
T3Ster Booster (10A/150V)双通道	0~200mA	0~10A	0~150V	无	可配备两台Keysight N5770A电源，通过双通道并联最大输出20A加热电流。
T3Ster Booster (10A/280V)双通道	0~200mA	0~10A	0~280V	无	



双通道高电流booster



双通道高电压booster



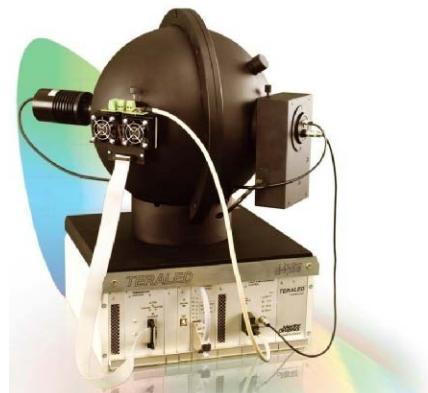
T3Ster Booster(200A/7V)单通道



T3Ster Booster (240A/11V)

➤ TeraLED

- 1) 完全符合CIE 127-2007关于LED光测试的要求。
- 2) 配合T3Ster可以满足JESD 51-52规定的LED光热一体化测试的要求。
- 3) 整套系统包括：Φ300mm或Φ500mm积分球1个，参考LED1个，多功能光度探头1个，TERALED控制系统1套，恒温基座1个。
- 4) 测试功能：
 - (1) 测试LED基于热功率的真实热阻；



(2) 测试不同的电流与结温下的

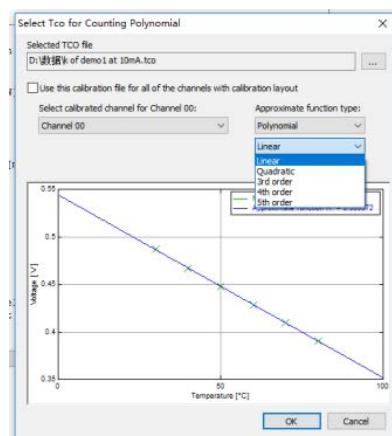
- a) 、二极管的伏安特性；
- b) 、光功率 (mW) ；
- c) 、光通量 (lm) (包括明视觉光通量和暗视觉光通量) ；
- d) 、流明效率 (lm/W) ；
- e) 、色坐标 (X,Y,Z 三刺激值) ；
- f) 、色温。

➤ 数据分析软件 (T3Ster Master)

数据分析软件T3Ster Master提供了数据的分析功能，分析结果包括：测量参数 (Record Parameters) , 测量得到的瞬态温度响应曲线 (Measured response) , 结温差随时间变化的曲线 (Smoothed response) , 热阻抗曲线 (Zth) , 时间常数谱 (Tau Intensity) , 频域分析 (Complex Locus) , 脉冲热阻 (Pulse Thermal Resistance), 安全工作区域 (SOA) , 积分结构函数以及微分结构函数等。

1) K系数曲线

T3Ster可以自动描绘待测器件的K系数曲线，且能够对K系数曲线进行线性拟合以及非线性拟合。

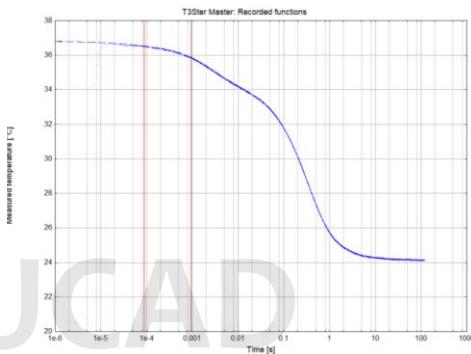


2) 测试参数 (Record Parameter)

详细记录了每次测试的测试参数，包括加热功率，待测器件的k系数，测试时间以及测试通道等。

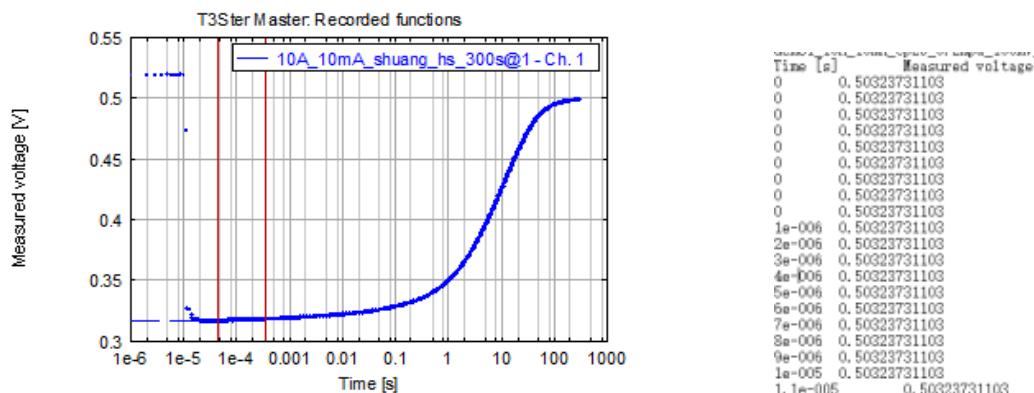
```
Recorded : 5-17-2012 15:38:41
-
Configuration = BOOSTER_V2
Power step [W] = 6.818
Algorithm = File
Sensitivity [mW/K] = 2.263
Wait/run = on/off
Tmax = 300.000 s
Sample/oct = 200
Single pulse : NO
Active channels = 0
Driving point = *
Deriv && tauint calculated
Complex locus calculated
Zth diagram calculated
Structure function calculated
```

3) 瞬态温度响应曲线

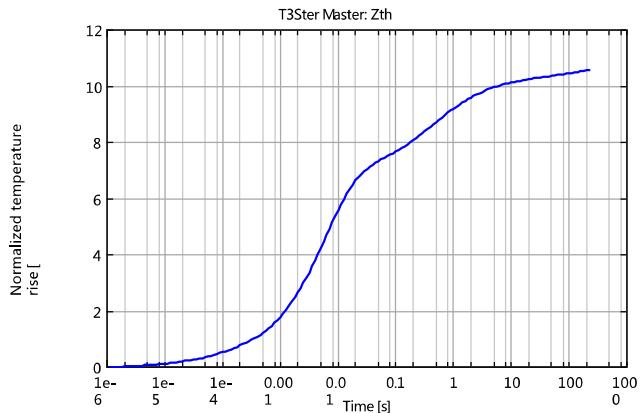


横坐标为时间，纵坐标为结温值，详细记录了结温随着时间瞬态变化的曲线。从该图可以得到待测器件在达到热稳定状态时结温值。

4) 原始瞬态数据 (温敏电压随时间变化的数据)



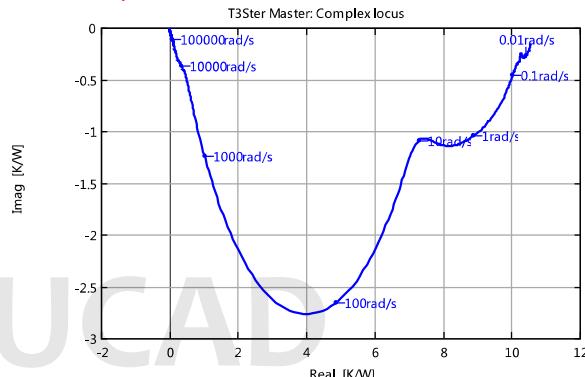
5) 热阻抗曲线



2.1e-005 0.50323731103
2.2e-005 0.50322731103
2.3e-005 0.50323731103
2.4e-005 0.50322731103
2.5e-005 0.50323731103
2.6e-005 0.49256381584

将瞬态温度响应曲线对加热功率进行归一化即可得到热阻抗曲线。横坐标为时间，纵坐标为热阻抗。可以从图中读出某一时刻的热阻抗以及达到热稳定状态后的总热阻。

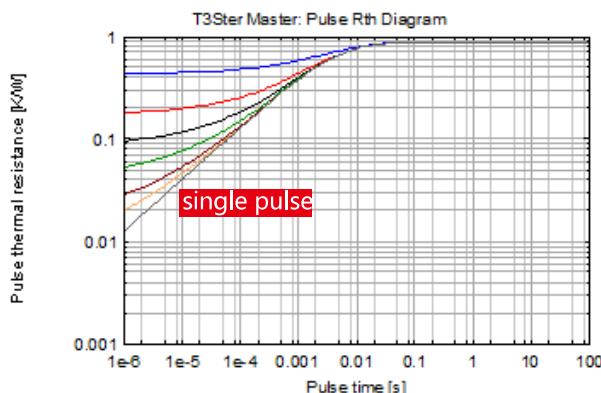
6) 频域响应 (Complex Locus)



图中横坐标为实部，表示幅值的改变，纵坐标为虚部，表示相位的变化。如图所示，在不同的频率下，其热阻值和相位延迟是不同的。

该特性主要用于高频器件的设计优化过程，可研究器件在各种不同频率情况下的热性能。当输入的功率信号为 $A\sin(\omega t + \Phi)$ 时，器件结温的升高不仅受幅值 A 的影响，还和输入功率的频率 ω 有关。由于热容的存在，温度变化的最大值和功率的最大值是不同步的，他们之间会存在一个相位延迟 $\Delta\Phi$ 。而且同一个功率值在高频工况下对器件造成的温升比低频工况下造成的温升低，这是由于在高频条件下，热量被更多地储存在芯片附近的热容层，并没有往外耗散。因此频域分析对于高频器件的设计优化非常有用。

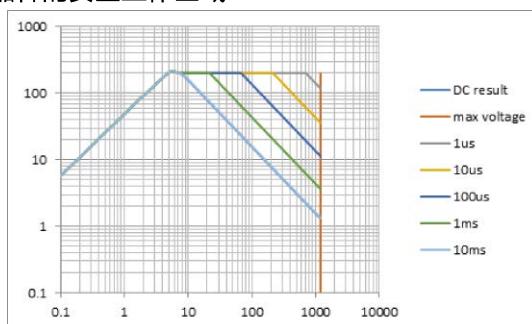
7) 脉冲热阻 (Pulse Thermal Resistance)



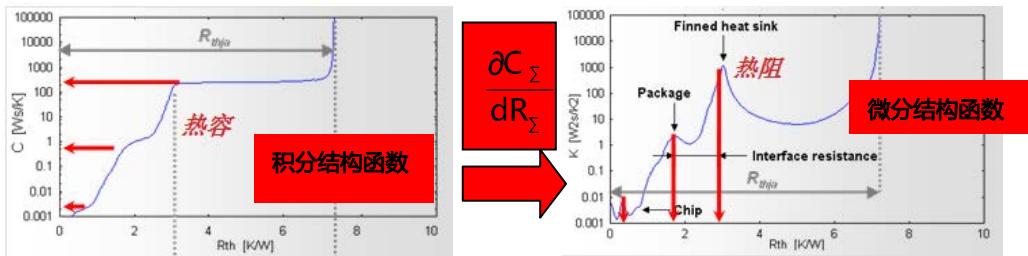
该功能描述的是器件工作在脉冲方波情况下的热学特性。横坐标是脉冲宽度 (s)，纵坐标是脉冲热阻值 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)。器件工作在脉冲方波情况下，其热阻值与脉冲宽度和占空比有关。

8) 安全工作区域 (SOA)

T3SterMaster软件可以绘制器件的安全工作区域



9) 积分结构函数与微分结构函数

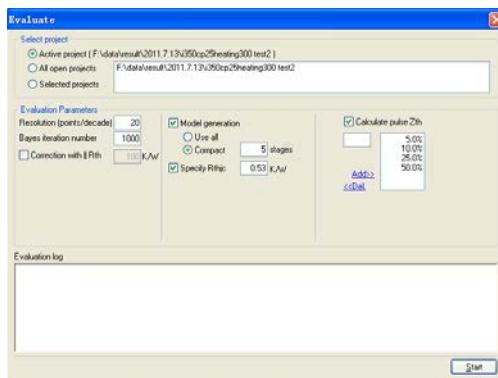


通过积分结构函数和微分结构函数可以分析热传导路径上每层结构的热阻以及热容信息，构建器件等效热学模型，作为器件封装工艺、可靠性试验、材料热特性以及接触热阻的强大支持工具。

9) RC网络模型

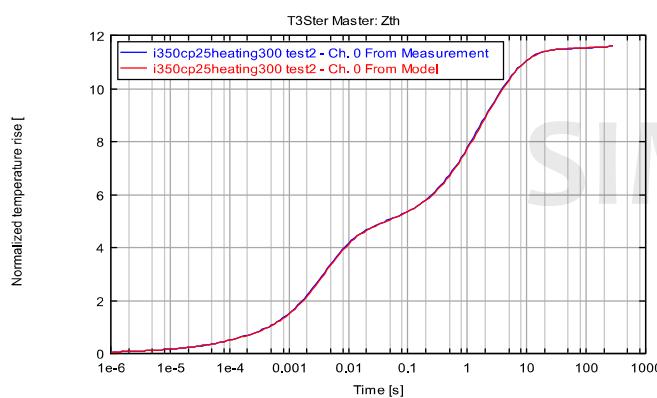
用户可根据实际需求在分析软件中选择且用户可指定RC网络模型的级数，软件会自动生成FOSTER网络模型及CAUER网络模型。

RC模型的级数或者选择软件默认的全部RC模型级数，RC模型级数：2-100个，并将分析得到的RC数值保存在测试文件中。



```
.SUBCKT LADDER 1 0
C0 1 0 9.91099e-003
R0 1 2 5.043921e-004
C1 2 0 8.519040e-003
R1 2 3 5.081056e-004
C2 3 0 6.361907e-003
R2 3 4 7.392838e-004
C3 4 0 4.366599e-003
R3 4 5 1.115609e-003
C4 5 0 3.194800e-003
R4 5 6 1.561340e-003
C5 6 0 2.644097e-003
R5 6 7 1.940215e-003
```

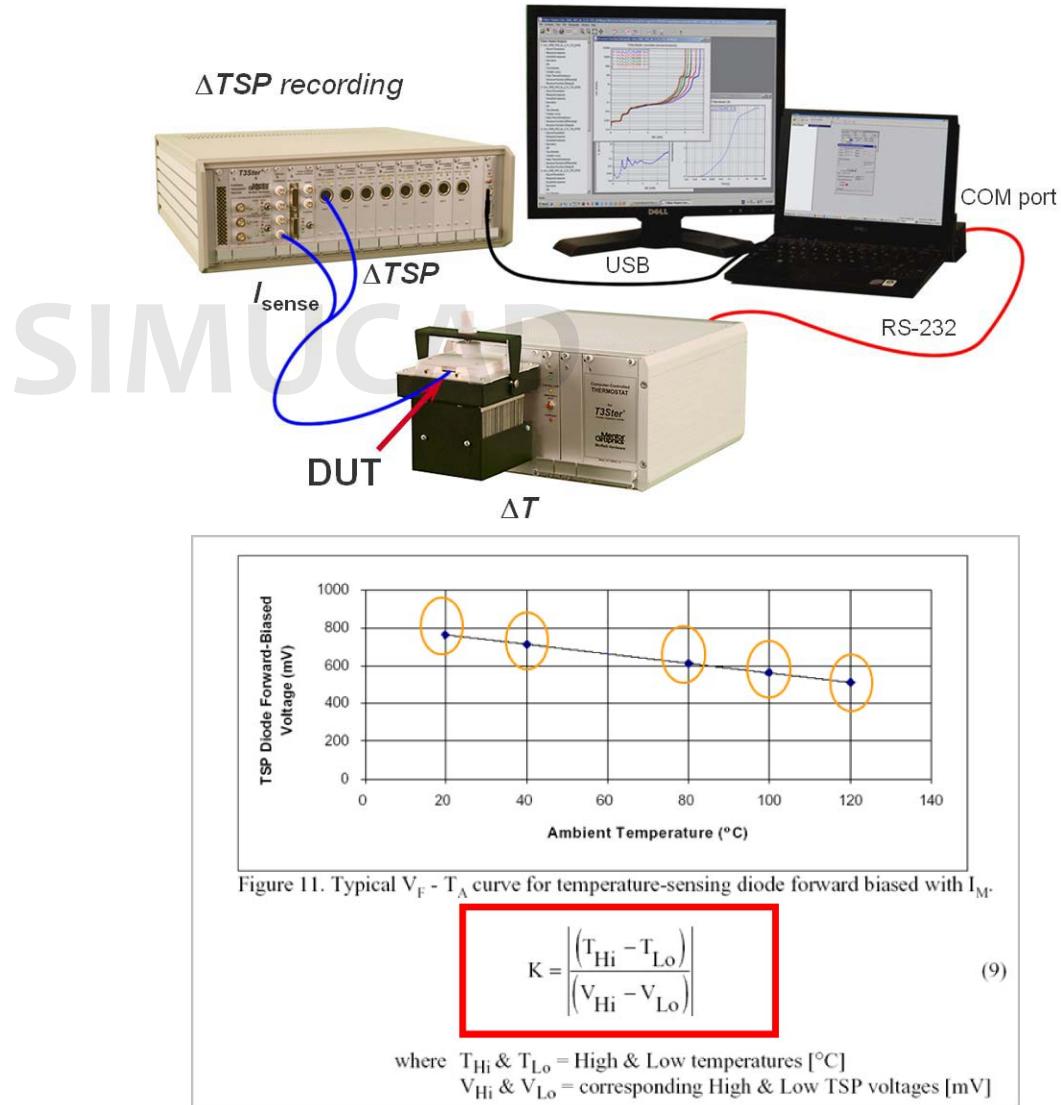
软件会给出根据RC模型得到的瞬态热阻抗曲线与实测瞬态热阻抗曲线的对比。



◆ T3Ster的工作原理（硬件实时采集+结构函数分析）

➤ 测试K系数：建立结温与电压之间的关系

在器件本身的自发热 (self-heating) 可以忽略的情况下，将器件置于温度可控的恒温环境中，改变环境温度，测量TSP。得到一条校准曲线。该直线的斜率即为k系数。



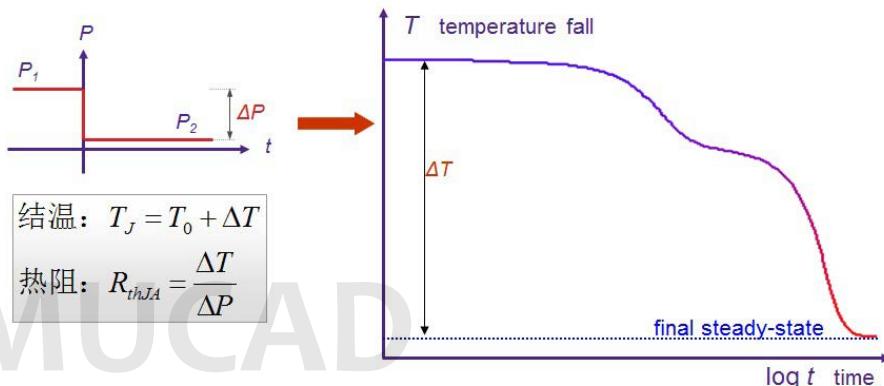
$$\Delta T = \Delta V_F \cdot K$$

对于器件的电压-结温标定结果，T3Ster支持线性拟合与非线性拟合。将数据拟合好以后，后期在相同测试电流下测试得到的电压，通过拟合的公式换算即可得到结温。

- ◆ 热测试
- 常规测试步骤

- 1、通入工作电流，使结温升高达到稳定。
- 2、进行工作电流到测量电流的高速切换（1μs）。

3、在结温下降过程中，实时采样pn结电压，再通过K系数得到结点的冷却曲线，采样间隔最快为1μs。



T3Ster的测试方法符合JEDEC JESD51-1, JEDEC JESD51-14, IEC60747及美军标MIL 883H关于测试器件冷却曲线的要求。在整个测试过程中，只需从加热电流切换到测试电流一次，既获得了稳定的结温热阻数据、也获得了结温随着时间的瞬态变化曲线。当把器件放置在液冷板上测试时，一次测试的总时长不超过10分钟。

➤ T3Ster硬件的技术优势

1) 先进的静态实时测试方法。

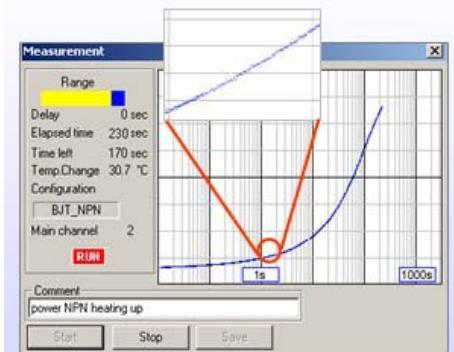
T3Ster推荐的实时静态测试方法(static mode)与传统的动态测试法不同，可以实时地采集待测器件的结温随着时间的变化。而动态测试法是通过人为构建脉冲加热功率来模拟瞬态过程，并非器件实际的瞬态温度响应。静态法的测试时间短测试数据点密而且测试数据的信噪比更高。

T3Ster在测试器件的冷却曲线时，整个测试过程只从加热电流切换到测试电流1次。且T3Ster保存了器件的完整测试过程的结温冷却曲线数据供客户查阅。且提供的原始瞬态结温数据真实可靠，不存在违背物理常识的数据点出现（比如负值）。为了能充分描述器件整个热流路径的热学信息，冷却曲线的测试时间不低于100s。

2) 测试延迟时间高达1μs，保证了测试结果的准确性

研究表明，在测试中如果瞬态变化最初1ms时间内的温度没有被采集到，最终的热阻值将被低估10%-15%左右。

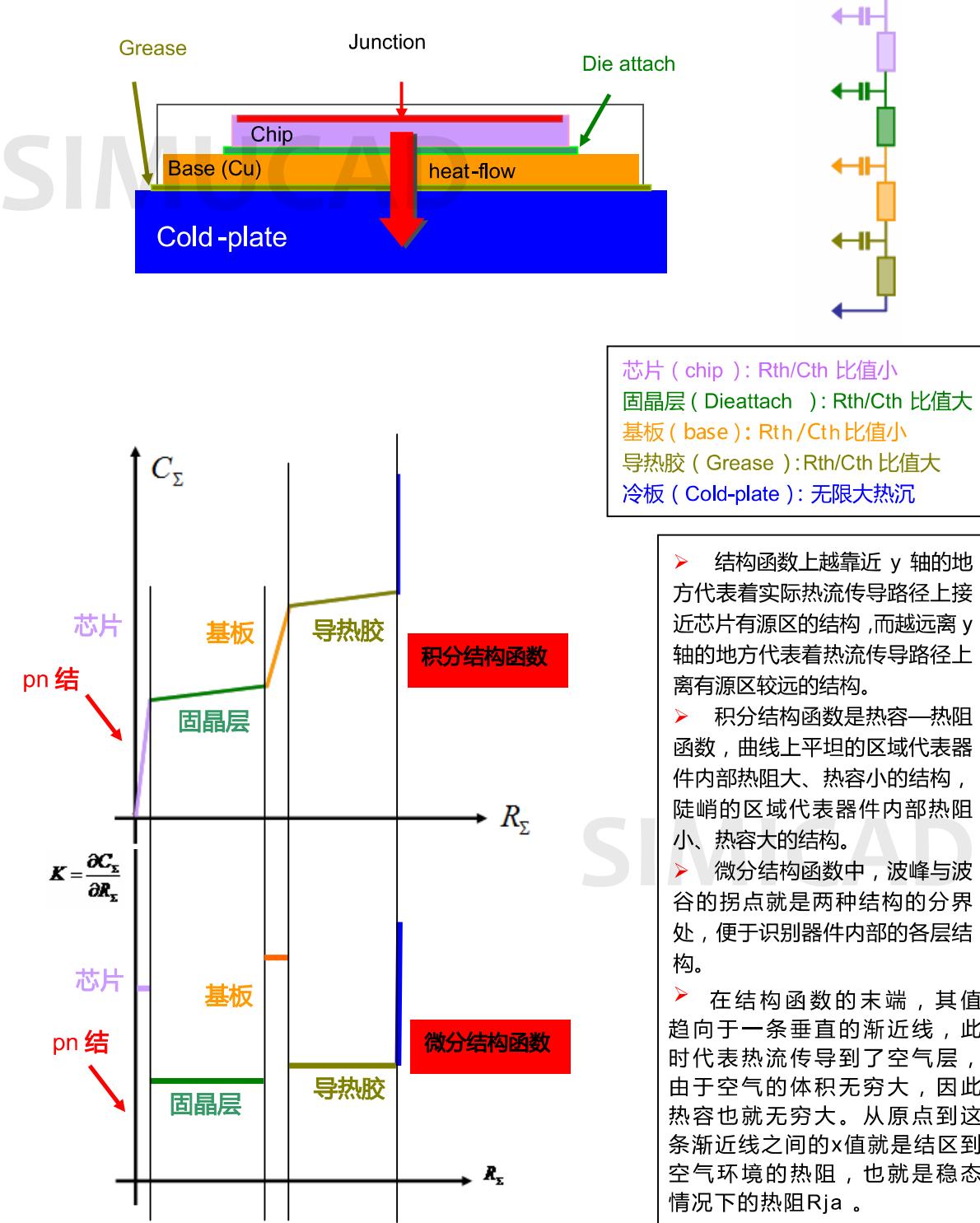
3) T3Ster的实时采样采用变频采样技术，最快采样间隔可达1us。



➤ 结构函数

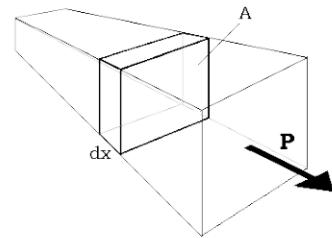
硬件采集完毕后，通过数据分析软件T3Ster Master，帮助用户得到可以直接分析器件内部结构的结构函数。结构函数：将器件封装结构可视化的函数。方便用户进行热传导路径上各种结构的分层、进行结构分析。

1) 如何利用结构函数识别器件的结构



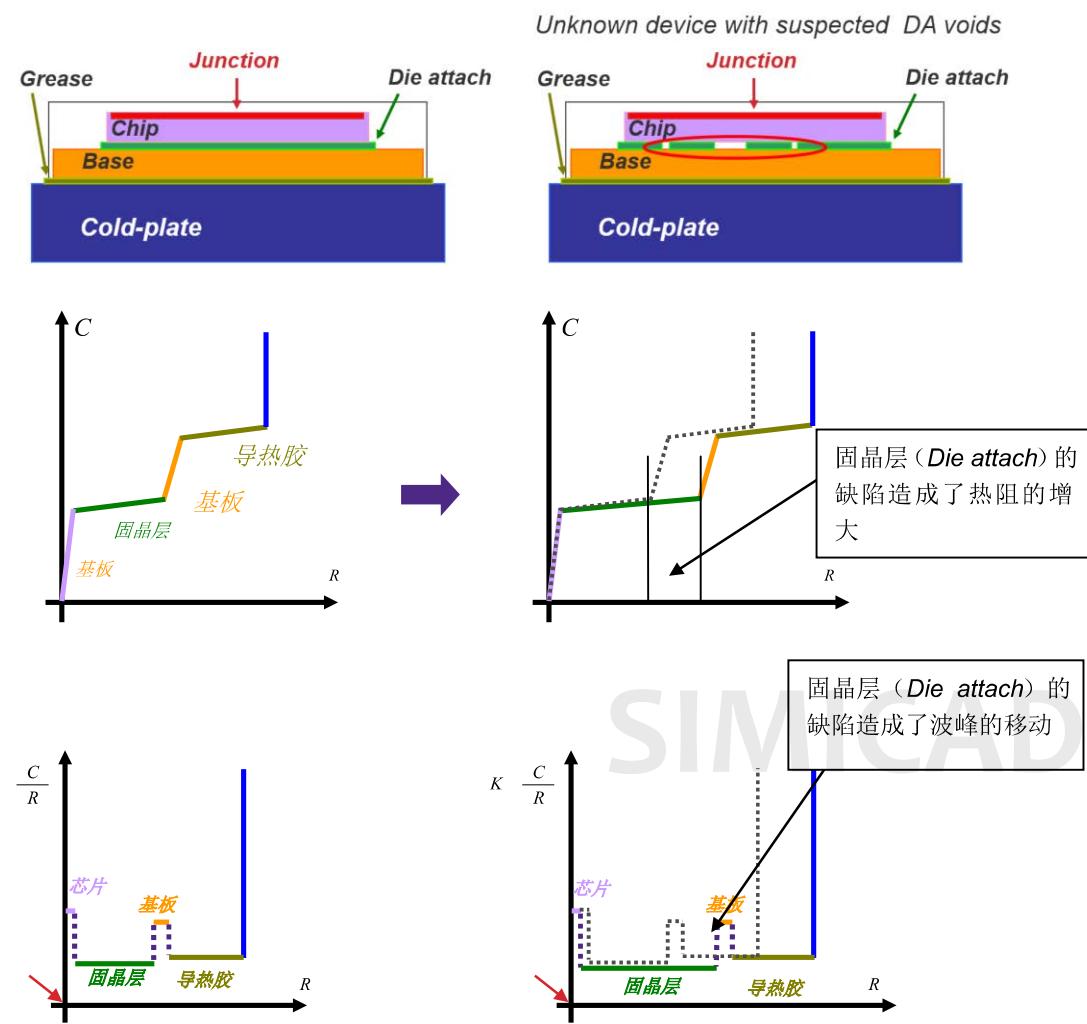
$$\text{微分结构函数分析: } K(R_{\Sigma}) = \frac{\partial C_{\Sigma}}{\partial R_{\Sigma}} = \frac{cAdx}{dx/\lambda A} = c\lambda A^2$$

可见微分结构函数既与材料属性有关，也与热流横截面积相关。



2) 利用结构函数识别器件封装内部的“缺陷”

当器件某个结构或接触发生变化时，我们可以通过对比试验清晰地看到



利用结构函数可以帮助用户识别器件内部的缺陷，并能定量得到该缺陷引起的热阻变化。

T3Ster的应用案例

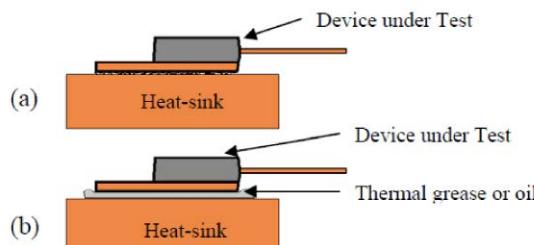
- ◆ 测量结壳热阻 (junction-to-case thermal resistance) (JEDEC 组织2010年11月公布最新测试标准JESD51-14)

JEDEC (国际固态技术协会) 于2010年11月正式通过并颁布了由T3Ster研发团队联合英飞凌技术专家提交的基于热瞬态测试技术和结构函数分析法的最新结壳热阻测试标准。与传统的测试方法相比，最新的热瞬态测试界面法 (Transient Dual Interface) 具有更高的准确性和可重复性，而T3Ster是目前唯一满足此标准的商业化产品。通过这种高重复性的方法，可以方便地比较各种器件的结壳热阻，而且这种方法同样适用于热界面材料 (TIMs) 的热特性表征。

JEDEC STANDARD

**Transient Dual Interface Test Method
for the Measurement of the Thermal
Resistance Junction to Case of
Semiconductor Devices with Heat
Flow Through a Single Path**

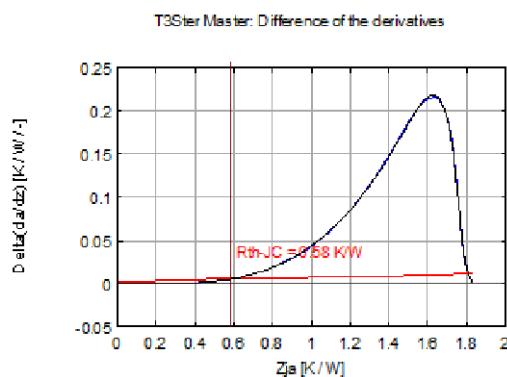
JESD51-14



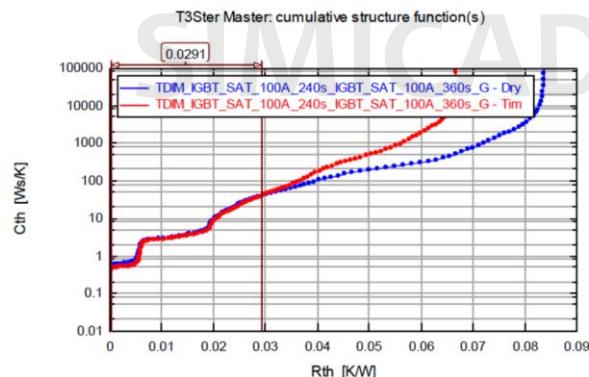
第一次测量：直接将器件干接触到热沉上；
第二次测量：在器件和热沉之间放置一个分离层。由于两次散热路径的改变仅仅发生在器件封装壳 (Case) 之外，因此结构函数上两次测量的分界处就代表了器件的壳。

➤ 测试结壳热阻

根据JESD 51-14的规定，T3Ster支持分别使用：A、Z_{θJC}曲线的分离点以及B、利用积分结构函数曲线的分离点两种方法来计算器件的结壳热阻。



利用Z_{θJC}曲线的分离点计算结壳热阻



利用积分结构函数曲线的分离点计算结壳热阻

◆ 封装结构的质量检查

利用T3Ster可以非破坏性测量器件热流传导路径上的结构热阻这一特点，在实际应用中可以用来实现：

- 1) 结构无损检测；
- 2) 封装材料和工艺优化；
- 3) 器件可靠性筛选

➤ 结构无损检测



ST Microelectronics 公司利用 T3Ster 瞬态测量的方法成功测量出了固晶层(Die attach)的缺陷，而且测试结果也得到了超声显微图像的验证。ST将同样的芯片通过三种不同的工艺焊接到金属层上，通过T3Ster的无损检测，成功测试除了三种不同焊接结构的热阻。

通过对比的方法，T3Ster的测试结果不仅可以定性地找出存在缺陷的结构，而且还能定量的得到缺陷引起的热阻的变化量。

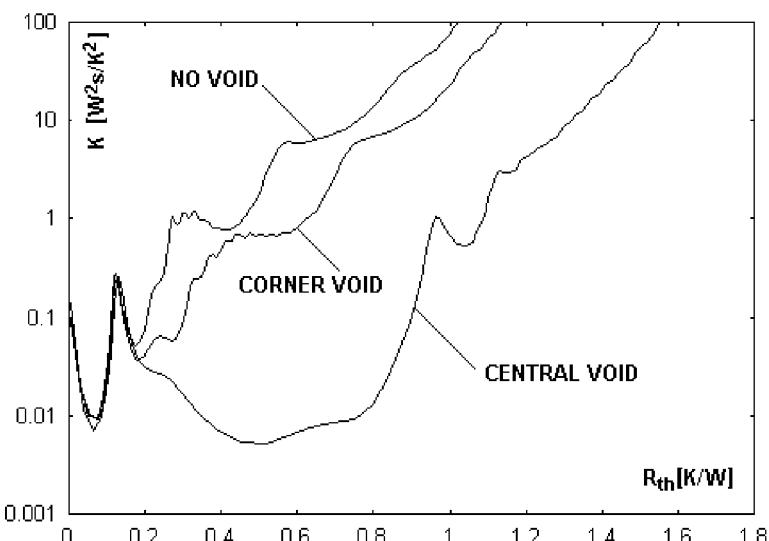
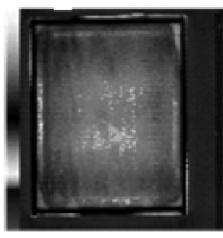
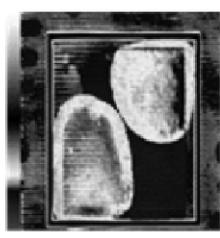


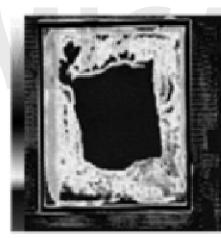
图1



REFÉRENCE (NO VOID)



CORNERS VOID



CENTRAL VOID

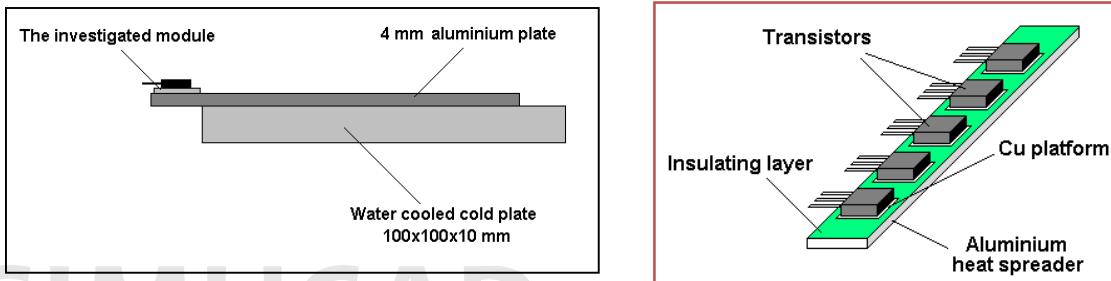
图2

图3

图4

图1为T3Ster测试得到的微分结构函数，图2、3、4为超声显微结果。在这个案例中，工程师将相同的芯片，通过不同的die attach工艺固定到case上。从微分结构函数可以明显看出，表征芯片部分的曲线完全重合在一起，表征die attach部分的曲线随着NO VOID，CORNER VOID和CENTRAL VOID的变化而向右移动，说明由于上述三种变化，die attach部分的热阻越来越大。

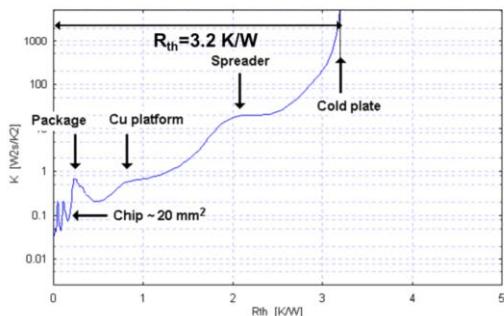
➤ 失效分析 (BJT器件)



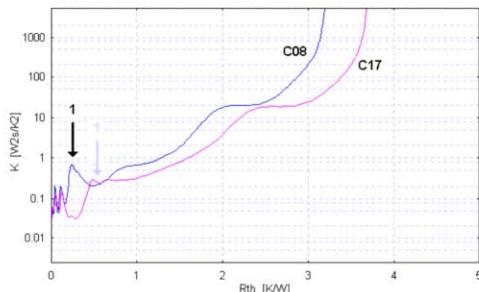
样品：焊接到铜基板上的三极管

存在的问题：两种不同位置缺陷定位（封装内部固晶层缺陷以及器件与plate之间的焊接缺陷）

分析方法：利用 T3Ster 进行热瞬态测试，分析其结构函数

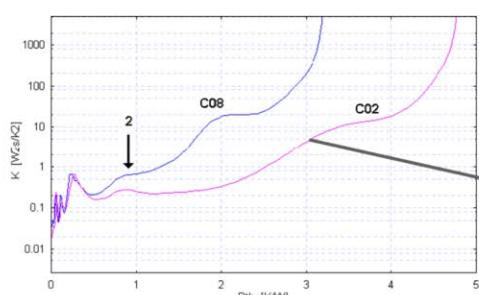


一个完好结构的结构函数



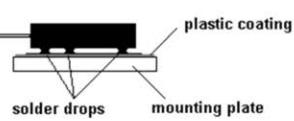
Die attach delamination inside the package

封装内部的层离缺陷



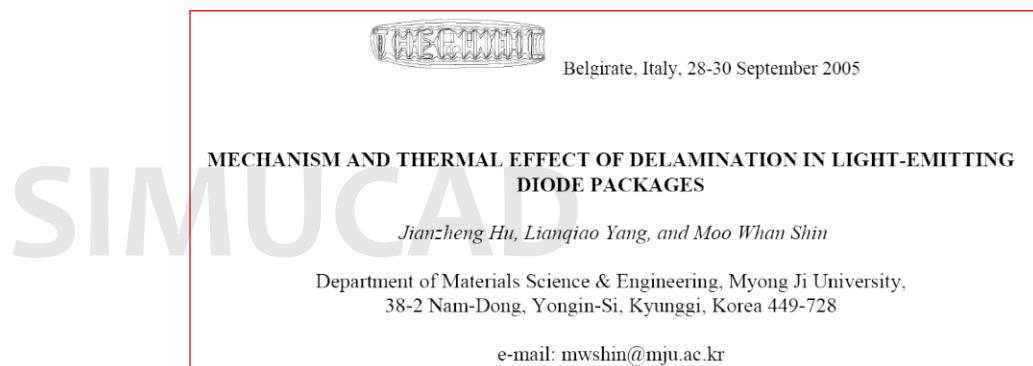
Imperfect soldering of the package

封装结构的不完美焊接缺陷



◆ 老化试验表征手段

通过 T3Ster 强大的结构函数分析功能，不仅能够分析老化前后总热阻的变化量，还可以得到每层结构的热阻变化，从而为分析老化机理提供数据。



老化方法：

周期性温度变化

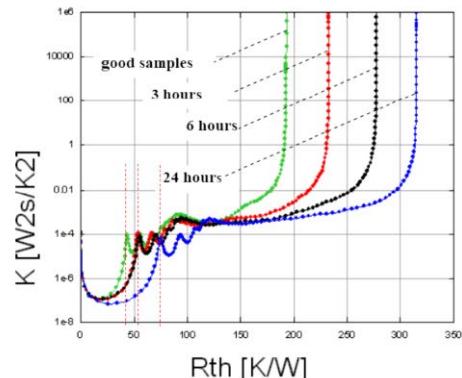
湿度条件

试验方法：

利用T3Ster 进行热瞬态测试

分析方法：

利用T3Ster Master 分析软件提供的结构函数
进行分析



从芯片后的波峰的移动可以清晰地看出由于老化造成的分层（*delamination*），导致了芯片粘结层（Die attach）的热阻增大。

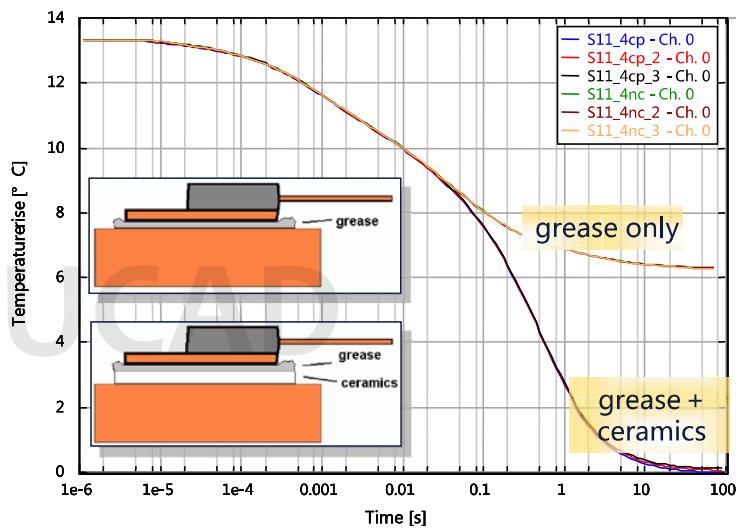
◆ 利用T3Ster研究MOSFET器件

- 英飞凌利用T3Ster按照JESD51-14测试其MOSFET器件的结壳热阻

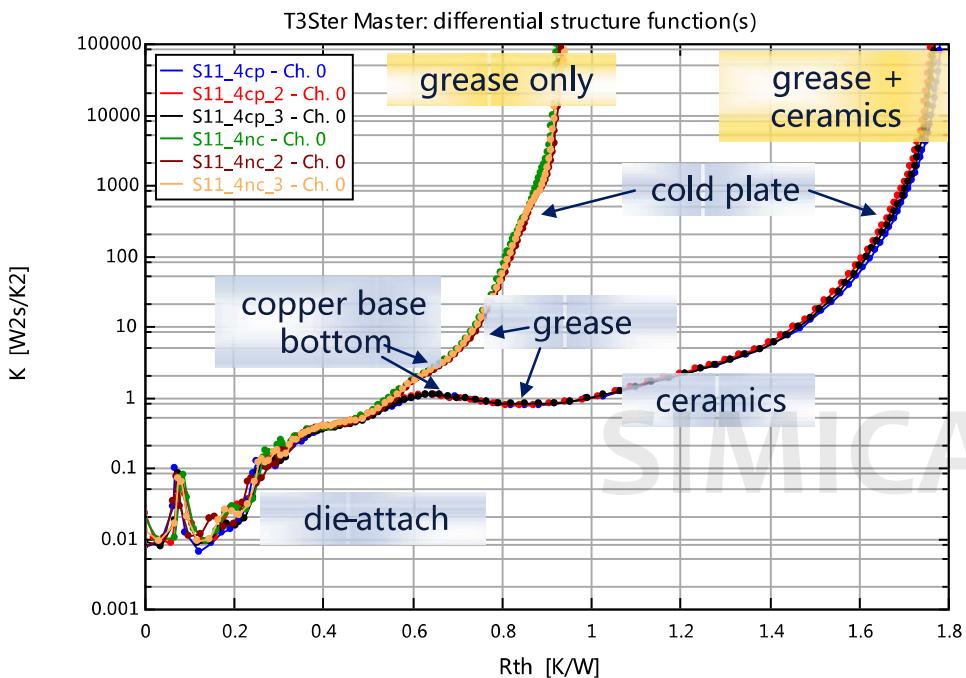


产品型号：SPP80N06S2L-11 TO 封装

➤ 测试结果



器件在两种不同的散热环境下结温随着时间的变化曲线



器件在两种不同的散热环境下的微分结构函数

英飞凌是T3Ster的战略合作伙伴，共同制定了全新的结壳热阻测试标准JESD51-14。通过T3Ster，不仅可以测试器件的结壳热阻，还可以通过结构函数分析器件热流传导路径上各层结构的热阻值。

- ◆ 利用T3Ster对IGBT进行热阻测试及封装结构的研究
- 待测器件及其规格参数：ABB 5SNA 1500E330305

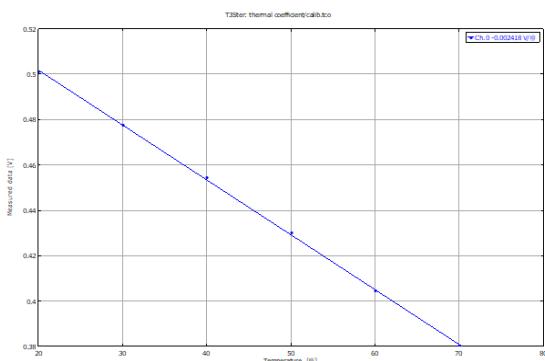


SIMUCAD
Package properties⁷⁾

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
IGBT thermal resistance junction to case	R _{th(j-c)} IGBT				0.0085	K/W
Diode thermal resistance junction to case	R _{th(j-c)} DIODE				0.017	K/W

➤ IGBT的k系数测试

- 1) 温度范围: 20°C到70°C, 步长 : 10°C
- 2) 测试电流I_{MEAS}=200mA
- 3) TSP: V_{ce} @ V_{ge}=15V

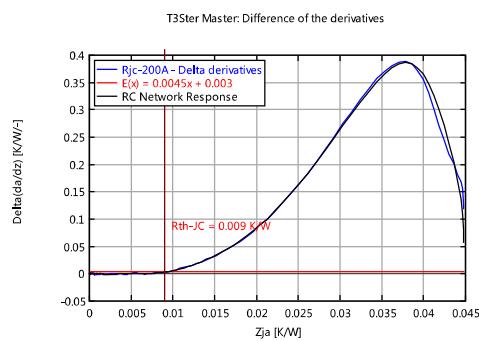


➤ IGBT的结壳热阻

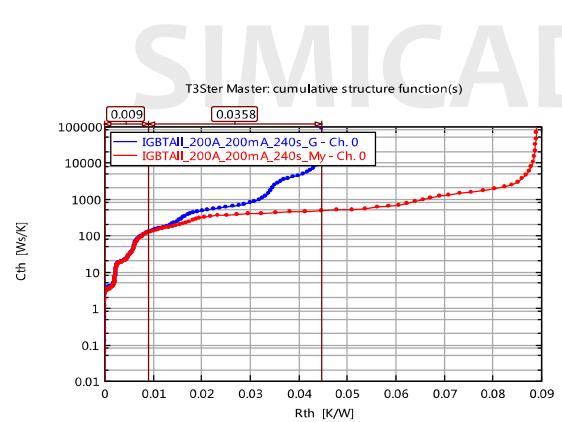
1) 测试条件1

A、加热电流: 200A

B、测试电流I_{MEAS}=200mA



软件根据JESD51-14自动计算结壳热阻值

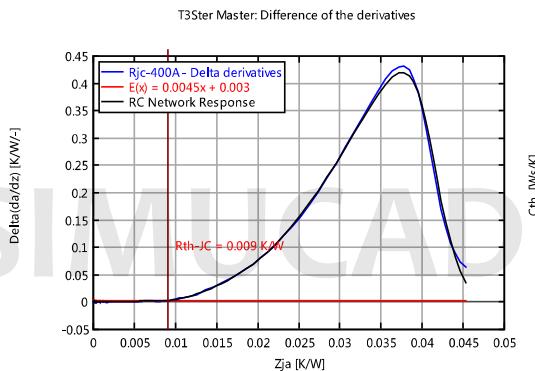


软件根据JESD51-14自动计算结壳热阻值

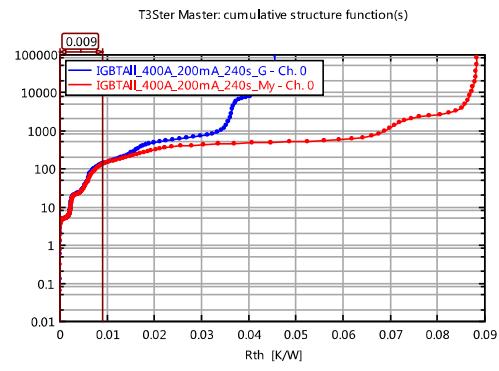
2) 测试条件2

A、加热电流: 400A

B、测试电流 $I_{MEAS}=200mA$



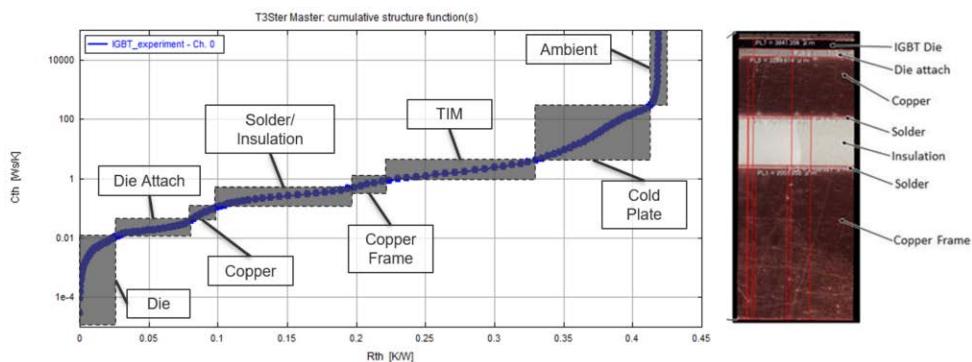
软件根据JESD51-14自动计算结壳热阻值



软件根据JESD51-14自动计算结壳热阻值

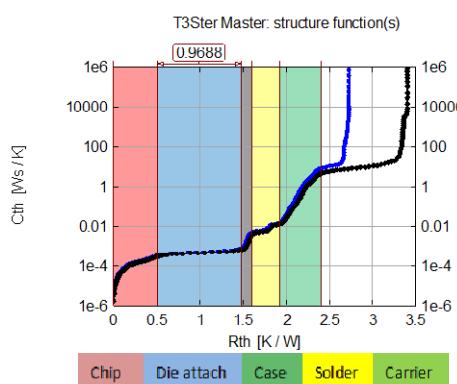
➤ 利用结构函数分析IGBT的封装结构

1) 结构函数中的每一段都代表了实际热传导路径当中的真实物理结构。

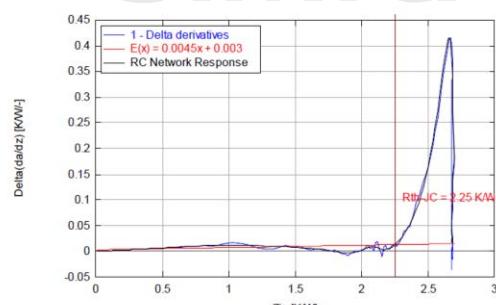


◆ 利用T3Ster研究GaAs FET及GaN HEMT器件

➤ 利用JESD51-14定义的方法测试GaAs FET的结壳热阻



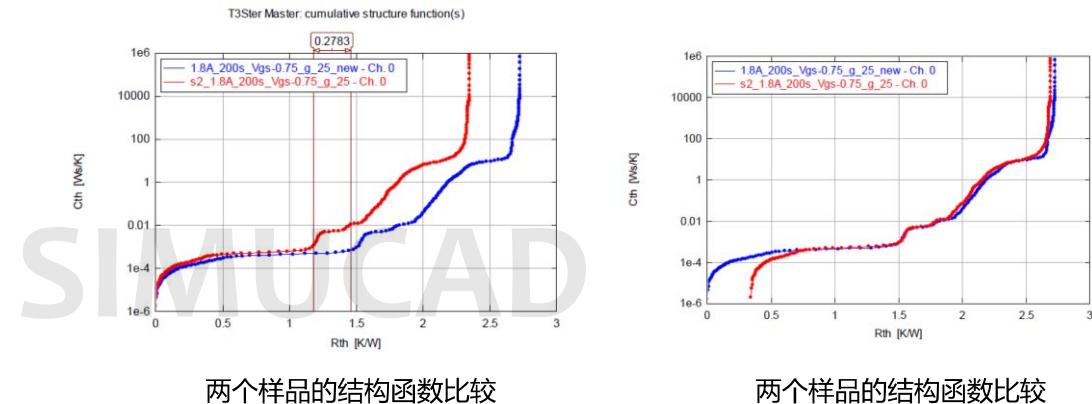
结构函数



结壳热阻

➤ 利用结构函数比较两个具有不同封装结构的GaAs FET器件

从结果可知，两个器件总热阻的差异完全是由die attach的热阻不同而导致的。



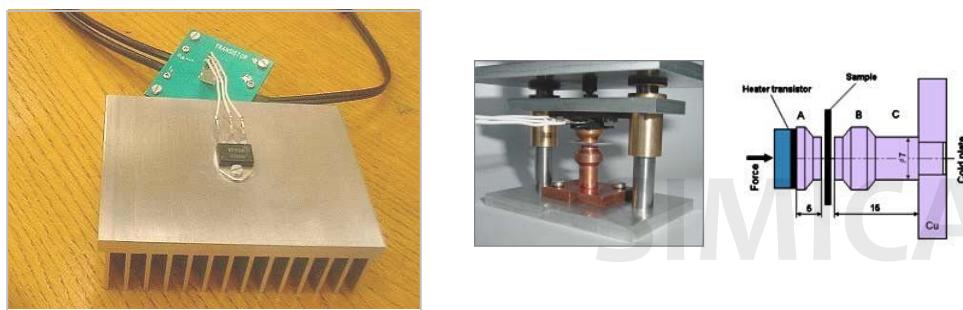
◆ 利用T3Ster进行接触热阻的研究

随着半导体制造技术的不断成熟，热界面材料（TIM）的热性能已经成为制约高性能封装产品的瓶颈。接触热阻的大小与材料、接触质量是息息相关的。

采用T3Ster，可以快速准确地测试各种接触热阻：

- 1) 导热胶；
- 2) 导热垫片；
- 3) 螺钉联接；
- 4) 干接触。

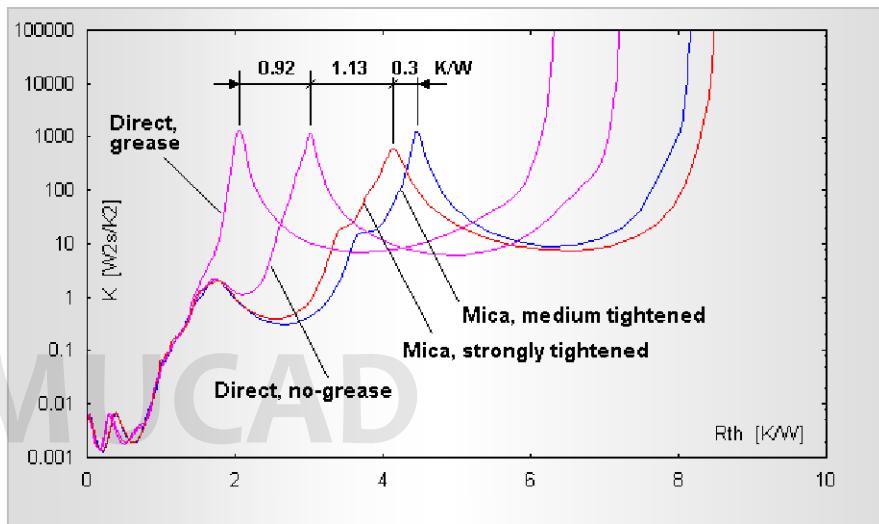
➤ NANOPACK FP7与欧盟(9M EUR)的合作项目:利用T3Ster测量接触热阻和热界面材料



实验设计：在器件和热沉之间放置不同的界面材料，并施以不同的力，用T3Ster 测试其接触热阻的大小。

两组实验设计

- Direct , grease 通过导热胶接触
- Direct , no-grease 没有导热胶直接接触
- Mica, strongly tightened 通过云母接触，紧密压紧
- Mica, strongly tightened 通过云母接触，部分压紧



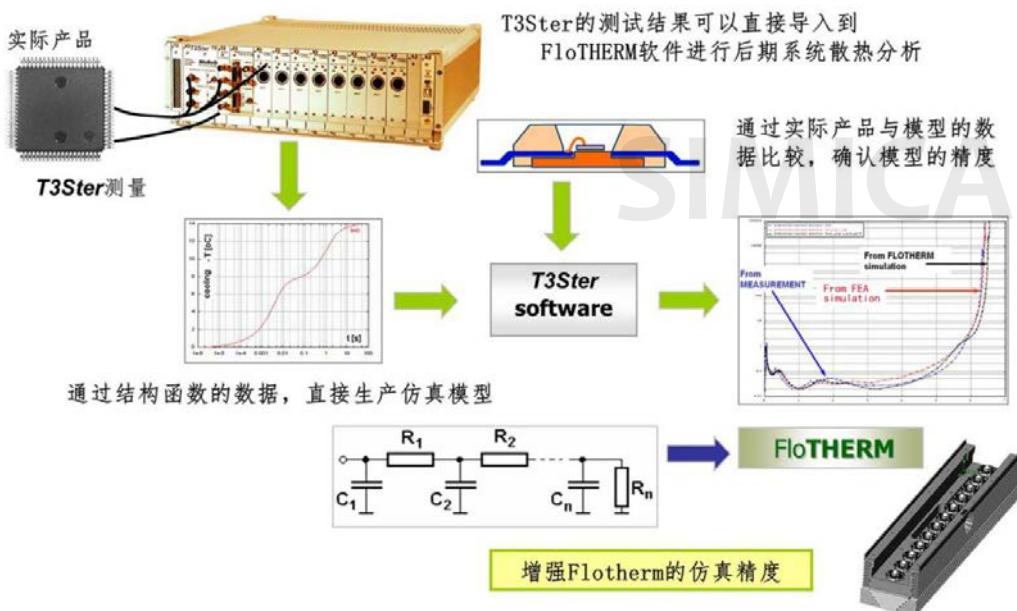
结论：接触热阻的大小不仅与接触材料有关，还与接触的质量有关。接触材料的导热系数越大，接触热阻越小。接触质量越好，接触热阻越小。



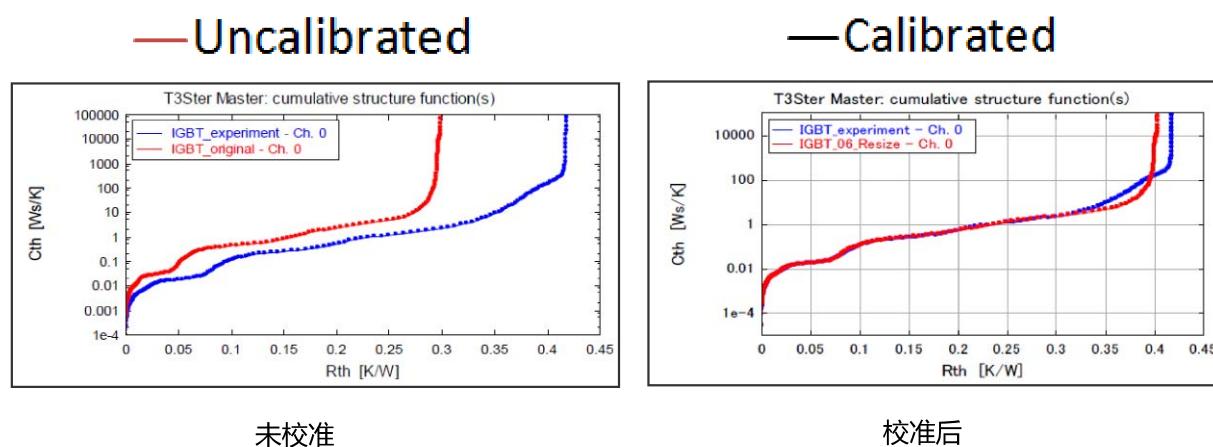
为了降低芯片与散热器间的热阻，IBM 苏黎世研发实验室认为降低在温度循环中的压力分布，能大大加强导热胶的安装质量，而利用 T3Ster，IBM 能够快速测量热阻，验证他们的想法。

◆ 利用T3Ster提供器件的准确热学模型

T3Ster可以将待测器件的RC网络模型直接输出给热仿真软件进行仿真工作。

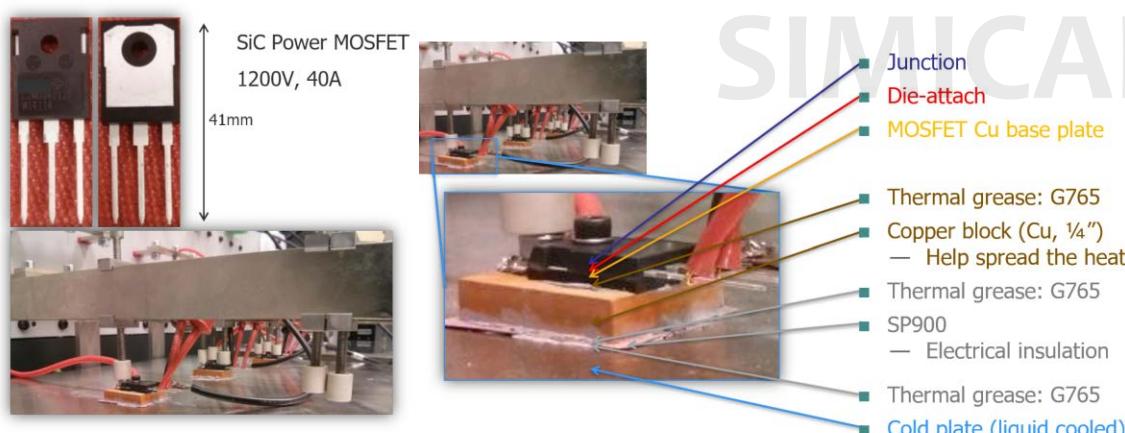


- ◆ 利用T3Ster和FloTHERM对器件的热学模型进行校准
 - FloTHERM软件自动校准仿真模型
 - 利用power tester测试器件的结构函数，并导出给FloTHERM软件
 - FloTHERM软件利用其优化功能，自动优化出符合实测结果的仿真模型，使得模型完全符合实际测试结果
 - 1) 此时模型中任意一个部件都能确保是正确的
 - 2) 此时模型仿真出来的3D温度场确保是准确的
 - 3) 此时模型中所有的部件的时间常数（热阻和热容的乘积）都和实测的结构函数吻合
 - 4) 因此其在任意功率驱动条件下得出的温度分布数据都能确保是准确的

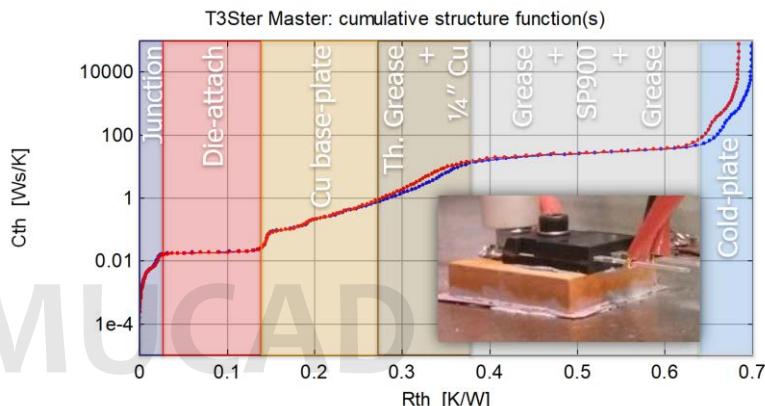


◆ 利用T3Ster测试SiC MOSFET

- 测试样品及结构



➤ 利用结构函数对SiC MOSFET的封装结构进行分析

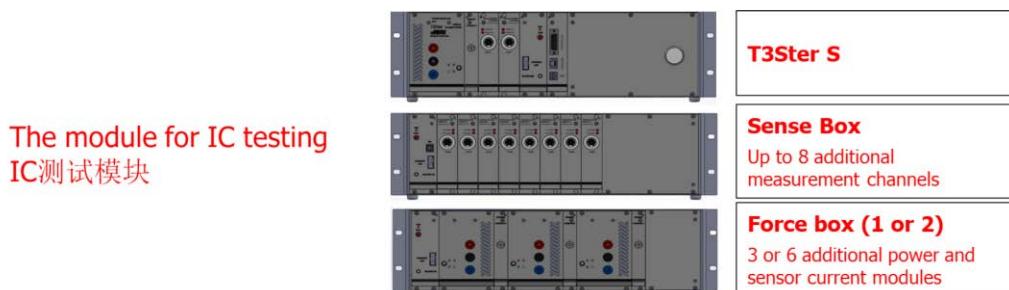


◆ 利用T3Ster测试IC

➤ T3Ster IC

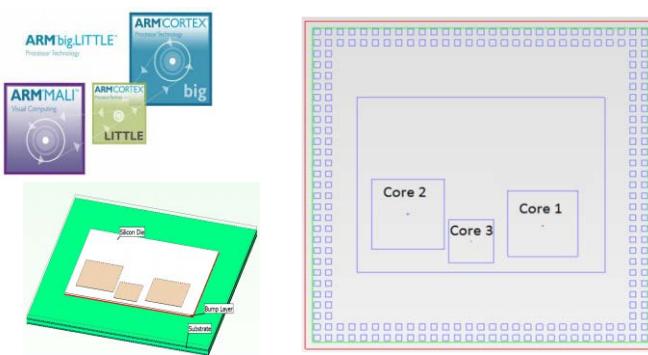
T3Ster专门为多核IC的测试推出了T3Ster IC产品，欲了解更多关于T3Ster IC的信息，请联系我们的技术工程师。

- Multicore IC measurements (negative current) 多核IC测试（负电流）
- Transfer thermal resistance measurements 传递热阻测试



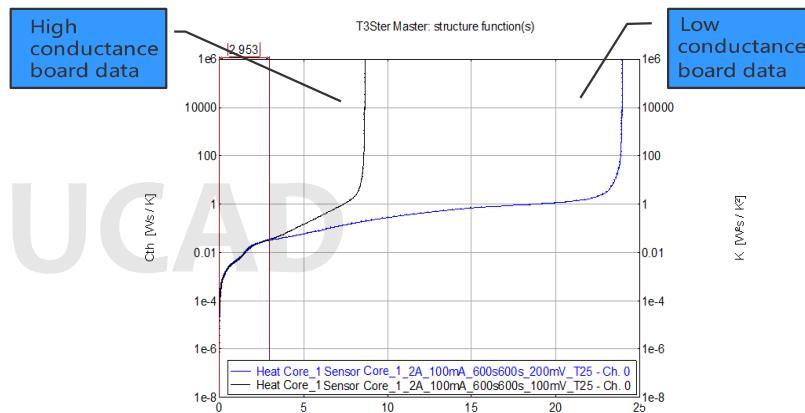
➤ SoC测试

SoC样品含有三个核，“Core1”到“Core3”被嵌入在同一个硅片上。Core2还有一个电容，因此需要仔细选择合适的测试电流。



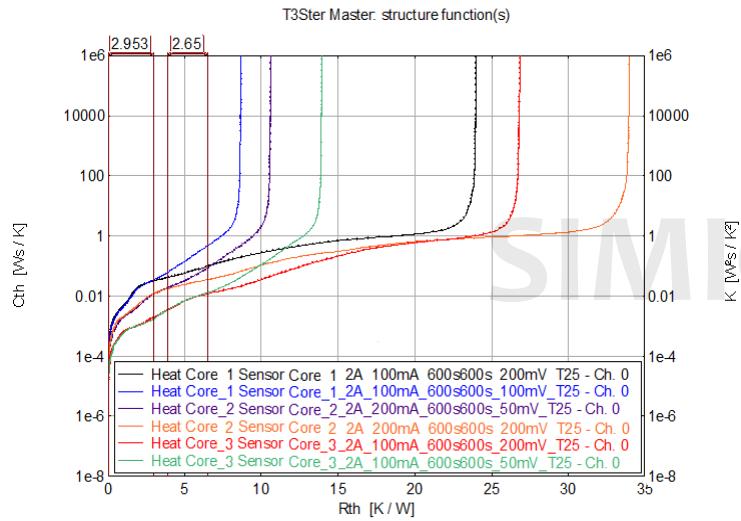
➤ SoC测试结果

- 1) 这个结果是对core1的substrate diode的结果，黑色曲线是焊接在高导热系数PCB板上，蓝色曲线是焊接在低导热系数PCB板上。前面重合部分即为结到封装焊点的热阻。

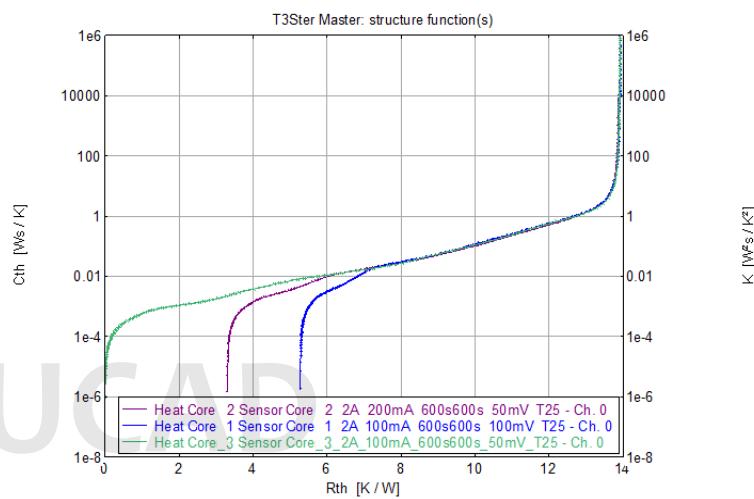


- 2) 用同样的方式测出了三个core的热阻

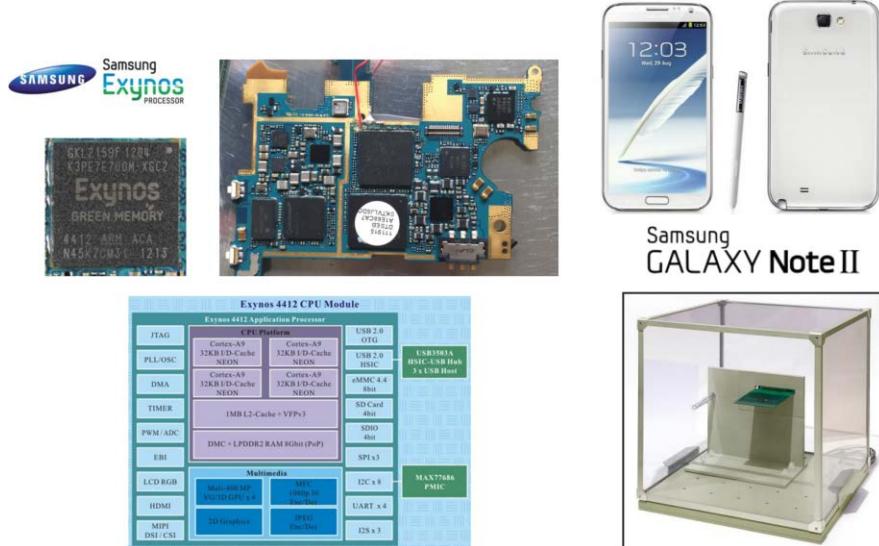
	测试结果	
	Area [mm ²]	R _{th_JBL} [K/W]
Core 1	21	2.95
	15.5	3.53
	9.5	6.26



- 3) 该结果是分别测试core1 , core2 , core3在相同的PCB板上的结果，由于三个核的面积不同，所以结构函数的最初这一段不重合，后面当热量传递到PCB的时候又重合了。



◆ 手机的热测试

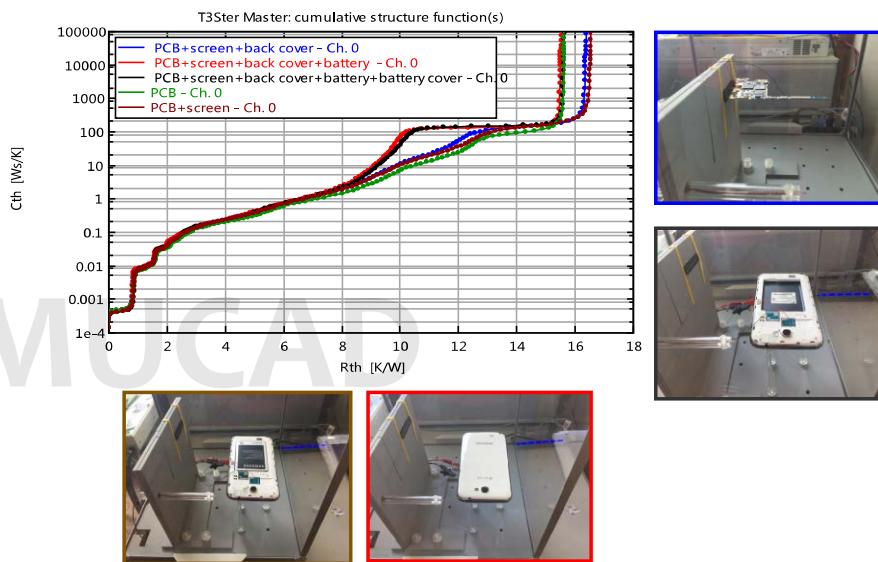


◆ 测试描述

➤ 思路: 找到手机中的主要发热IC，并对其substrate diode进行热瞬态测试



➤ 不同边界条件下的测试结果

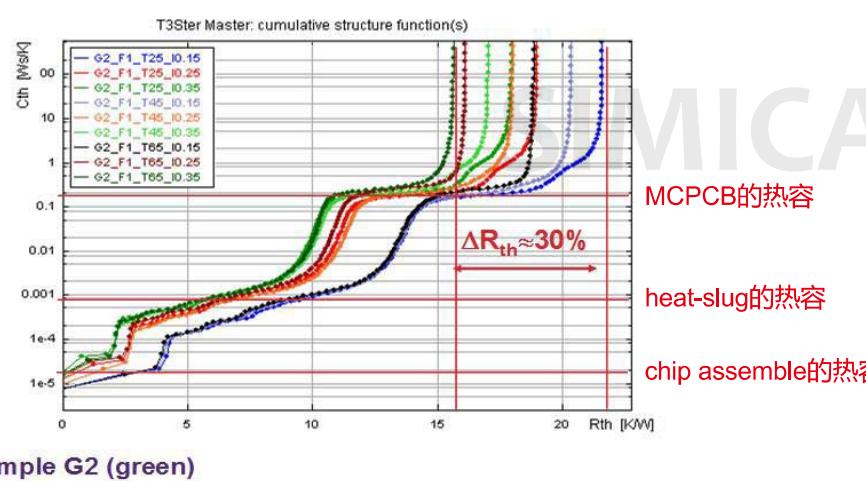


◆ T3Ster在LED领域的应用

伴随着LED的功率越来越大，合理有效的热管理也变得越来越重要。因为 LED 的结温直接影响其光学性能和寿命。

- 如图所示，对于LED产品来说，如果不考虑光功率的影响，其热阻值 $R_{th,JA}$ 会随着环境温度和驱动电流的变化而不同，这显然是不符合物理实际的。
- 因此，对于LED的热阻定义，必须考虑其光输出的影响。

$$\begin{aligned} R_{thr} &= \Delta T / P_{heat} \\ &= \Delta T / (P_{el} - P_{opt}) \end{aligned}$$



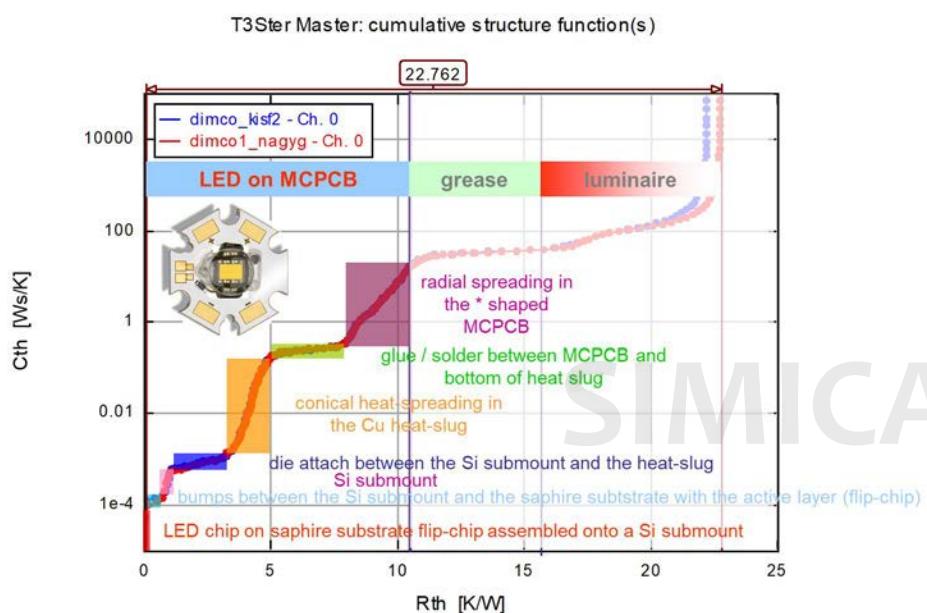
此处的热阻定义为： $R_{thel} = \Delta T / P_{el}$

因此 T3Ster 专门为 LED 产业开发了实现 LED 光热一体化测量的 TERALED : ThErmal and RAdiometric Measurement of power LEDs。



Teraled 与 T3Ster 能够实现 JESD 51-52 规定的光热一体化测试要求

- ◆ 基于MCPCB封装的LED详细结构分析
- 利用T3Ster提供的结构函数分析功能，可以得到：
 - a、LED在该环境下的总热阻；
 - b、LED内部各层结构的热阻（包括热界面材料的接触热阻）。



- LED灯具测量
 - 1) 研究对象：LED 灯具选择两种不同材质的转接头的散热性能比较，其中一个是采用金属材料的转接头，另一个是采用塑料材质的转接头。



灯具一：金属转接头

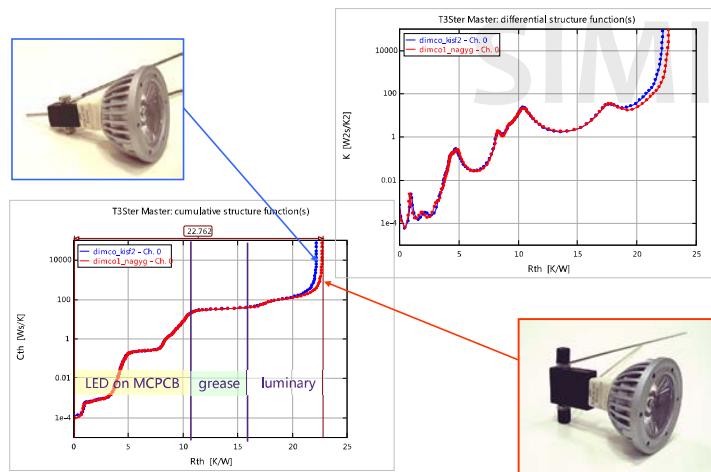
灯具二：塑料转接头

2) 研究方法：



将 LED 灯具放置到 JEDEC 规定的一立方英尺的标准静止空气箱中，利用 T3Ster 进行热瞬态测试。

3) 结果分析：



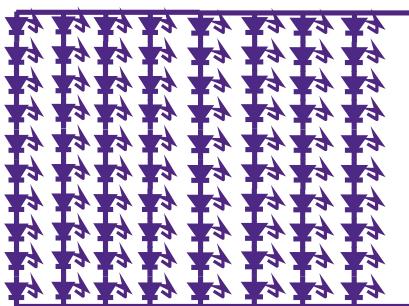
利用T3Ster进行结果分析：

- a. 得到两种散热条件下该LED灯具到周围环境的热阻 R_{ja} ；
- b. 通过结构函数可以清晰地看到由于散热器引起的热阻的差异；
- c. 同一种结构的测量重复性非常好。

本案例表明，采用不同材质的转接头对灯具散热效果影响很小，批量制造可以选择价格便宜的塑料材质作为转接头。

◆ LED模组的热测量

➤ 研究对象：由八十个 LED 组成的LED 模组，十个串联为一组，共八组。



➤ 研究方法：利用 T3Ster 配置的选配件 T3Ster Booster 来驱动该 LED 模组。



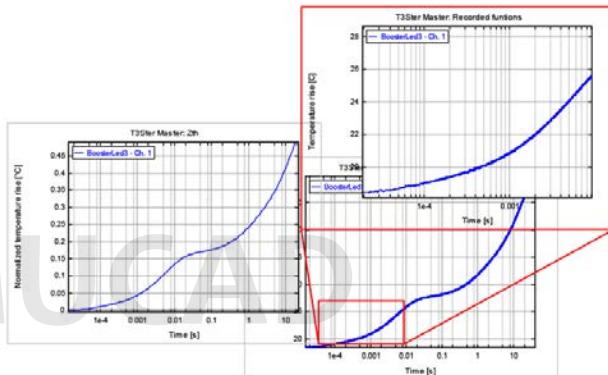
加热状态：35V @ 2A 加热电流



测量状态：35V @ 350mA 测量电流

➤ 测试结果：

- 高分辨率, 高精度的测试结果



SIMULIA



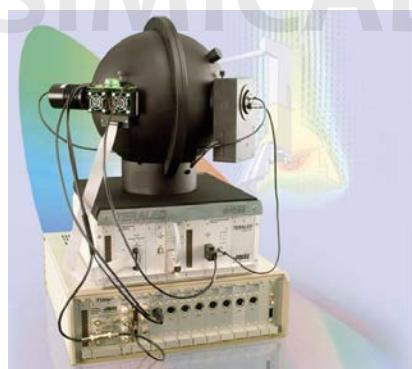
OSRAM作为知名半导体照明企业，在全世界范围内将T3Ster 确定为公司LED Light For You 项目核心合作伙伴认证并成为 OSRAM公司LED Light For You 项目Thermal Solution(热解决方案)中热设计/测试工程领域唯一核心合作伙伴。通过T3Ster结合 FloTHERM软件OSRAM构建了其所有LED产品的热仿真模型，并公布在其网站上。

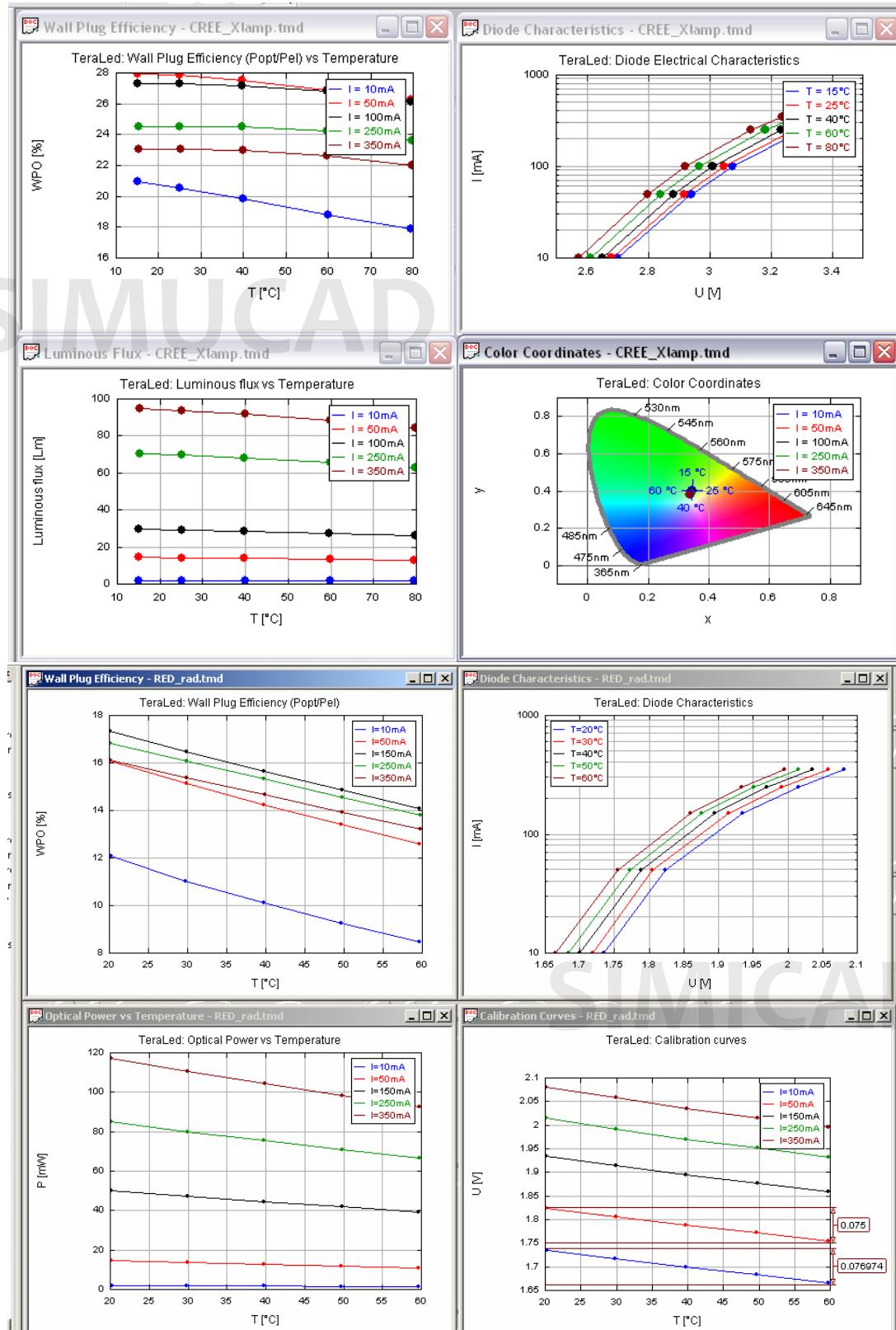


➤ 光热一体化测试结果

通过 T3Ster 与 TeraLED 的光热一体化测试功能，可以帮助用户分析 LED 的各项光电色参数与驱动电流、结温等的关系，包括：

- 1、二极管的伏安特性；
- 2、光功率 (mW)；
- 3、光通量 (lm)(包括明视觉光通量和暗视觉光通量)；
- 4、流明效率 (lm/W)；
- 5、色坐标 (X,Y,Z 三刺激值)；
- 6、色温。



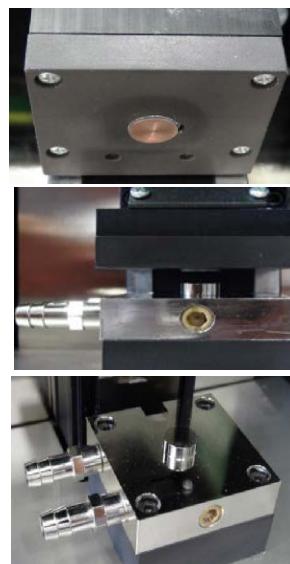


热界面材料 (TIM) 的测试：T3Ster DynTIM Tester与T3Ster DynTIM S

- DynTIM 能够模拟真实的电子散热环境，衡量热界面材料在不同压力的条件下的散热性能，方便封装工程师根据实际应用情况选择合适的热界面材料。
- DynTIM 能够提供稳定的测试环境，改变热界面材料的一个重要变量：厚度。通过改变热界面材料的厚度准确测试其导热系数。（可测试材料包括：导热硅脂，黏合剂，间隙填充材料，导热垫以及部分刚性材料）。
- DynTIM 可以自动设置材料的压紧厚度，提高测试精度。
- DynTIM 可以进行材料的老化研究。
- DynTIM 内置加热电流源



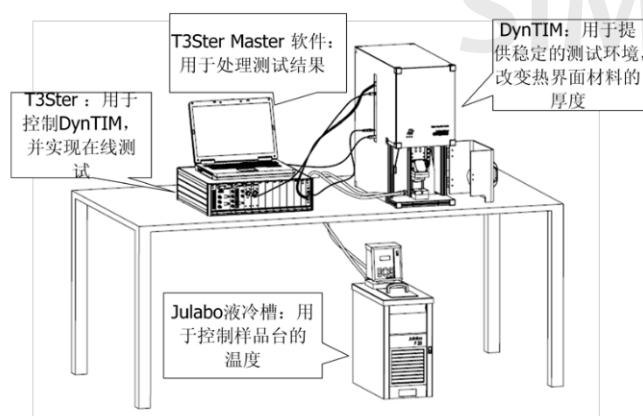
DynTIM



DynTIM

◆ T3Ster DynTIM Tester

T3Ster DynTIM Tester：热界面材料测试仪，必须配合T3Ster主机使用，用于测试热界面材料的导热系数。



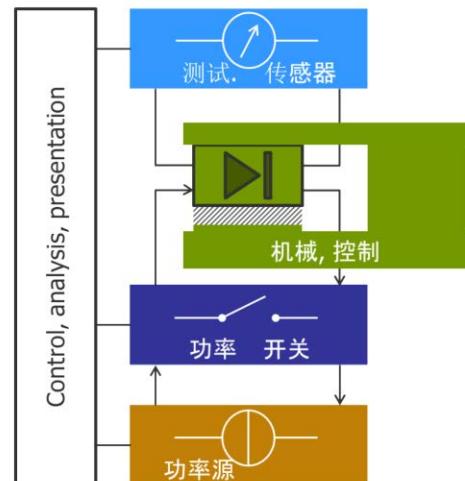
利用 T3Ster 结合 DynTIM 测试热界面材料的推荐配置

◆ DynTIM S – 独立的系统，无需搭配T3Ster使用

通过改变热界面材料的厚度，测试其导热系数

DynTIM S 包括：

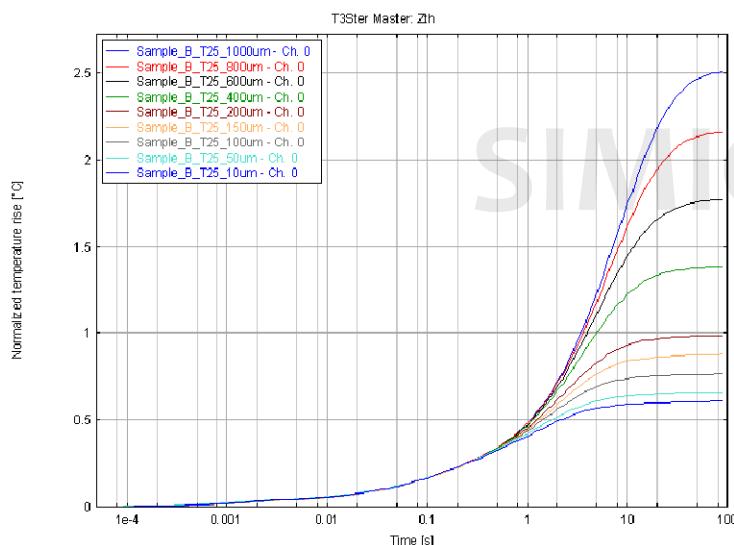
- 控制厚度的机械结构
- 用于产生热量和测试的 二极管
- 电子控制部分
- 加热及测试电路



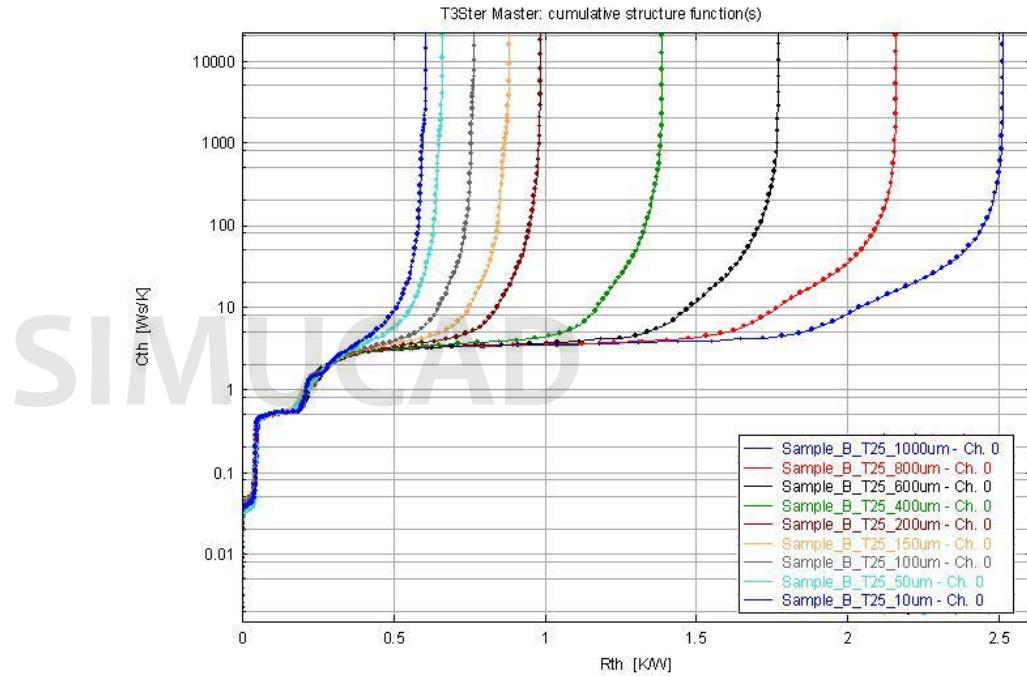
SIMUCAD

◆ 实验室同时拥有T3Ster和DynTIM的益处：

- DynTIM结合T3Ster可以精确地测试材料的导热系数
 - 1) 帮助用户选择合适的热界面材料，以降低成本
 - 2) 帮助用户在模拟软件中建立更加准确的热学模型，以获得更精确的仿真结果
- 热界面材料在真实环境中的性能会有所不同
 - 1) 用户在选择了导热系数合适的材料后，可以使用 T3Ster 验证该材料在实际应用环境下的真实热性能
 - 2) 用户可以通过 T3Ster 和 DynTIM 的完整表征系统，确保做出最佳的选择



热界面材料在不同厚度下引起的温度变化



热界面材料在不同厚度下的热学性能



通过改变热界面材料的厚度，可以有效地屏蔽接触热阻对测试结果的影响。

T3Ster SI 简介

◆ Simcenter T3STER SI

➤ T3Ster SI 为全新设计，不同以往 T3Ster的硬件架构和软件操作。

➤ Key Benefits:

1) 更强的易用性

2) 更简单的集成化

3) 更灵活的产品配置以及更高的测试能力



◆ 更强的易用性

➤ 为了能够使得测试更加简便，提高用户体验，改进了硬件和软件的设计

1) 对操作人员的电子背景要求更低，即使对于比较复杂的器件或模组，也能通过简单操作进行测试

2) T3Ster SI在测试控制方面提供了更加灵活的连接方式：用户通过网络连接和网络浏览器Chrome即可对测试过程进行控制

➤ 控制软件分为服务器端和客户端

1) 客户端软件结构基于标准的web技术

2) 服务器端软件运行于内置的SoC

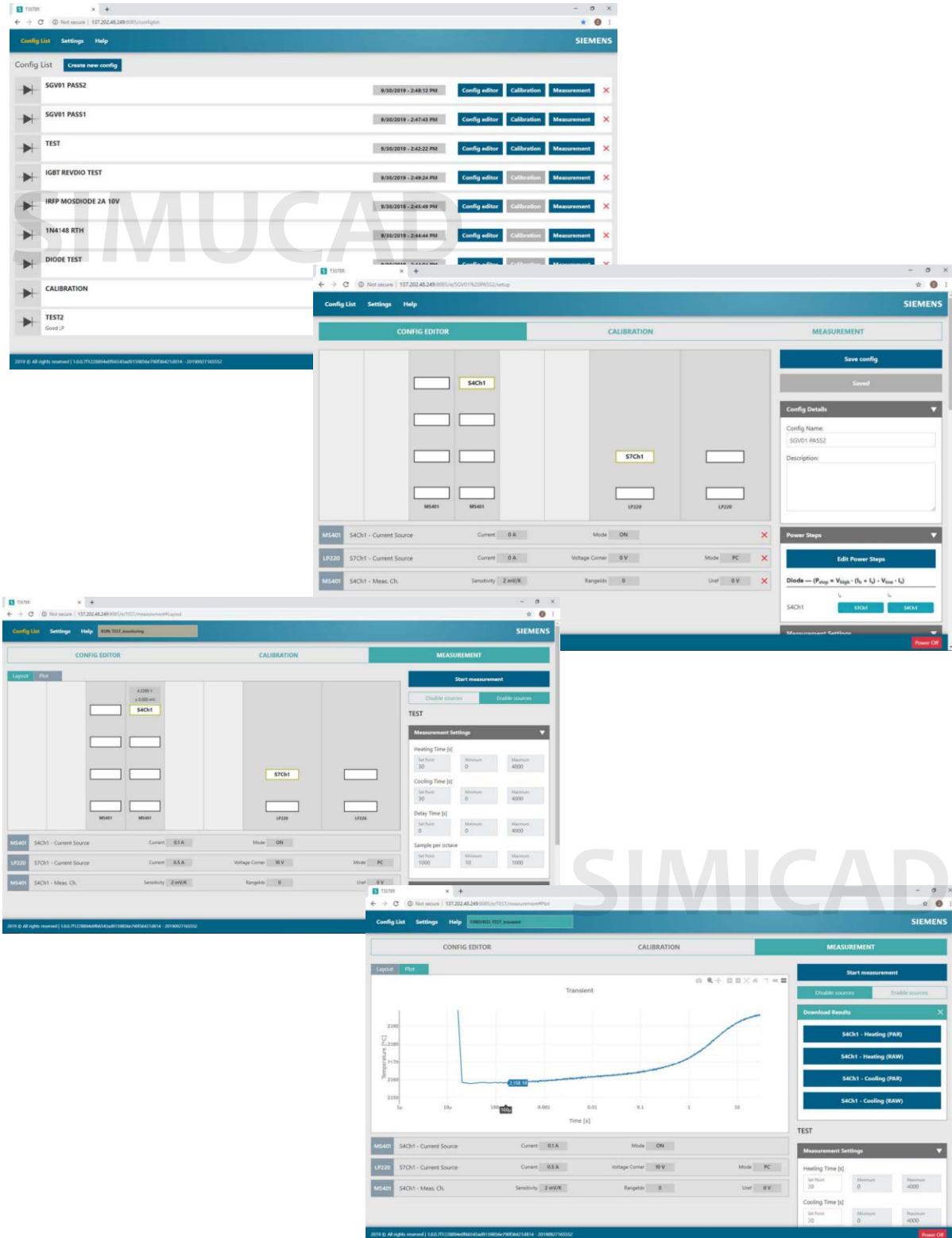
3) 客户端只提供GUI(图形用户界面)，所有的测试操作均由服务器端控制

➤ 重新设计的用户界面

1) 为基础用户提供了更简便的用户界面，更易于基础

2) 并为有经验的客户提供了高灵活性

◆ T3Ster SI 软件界面



◆ 更简单的集成化

- T3Ster SI可以方便地通过控制或被控制地方式，继承与复杂的测试系统中
- 可以通过不同等级的界面，集成于生产线测试设备中进行热阻测试（如：批量热阻测试设备，嵌入式在线测试应用）
- 控制软件采用标准的web技术，并提供API文档，方便用户进行自动化操作

◆ 更灵活的产品配置以及更高的测试能力

- 一个T3Ste SI产品可以支持最多10个可插入的功能单元（PIU）
 - 1) 客户可根据测试需求灵活配置 heating channel和measurement channel 的数量
 - 2) 最多可支持5个加热电流（heating current）输出模块
 - 3) 最多可支持40个测试通道（measurement channels）

◆ T3Ster SI LP220

- T3Ster SI加热电流源单元，占用2个PIU
- 规格
 - 1) 1个单元包含2个加热电流输出源，最大可输出20W（2A/10V或1A/20V或0.5A/40V）。
 - 2) 同一个加热电流源单元的2个输出源共地，但是不同的加热电流源单元之间独立接地。



◆ T3Ster SI MS401

➤ T3Ster SI测试通道单元，占用1个PIU

➤ 规格

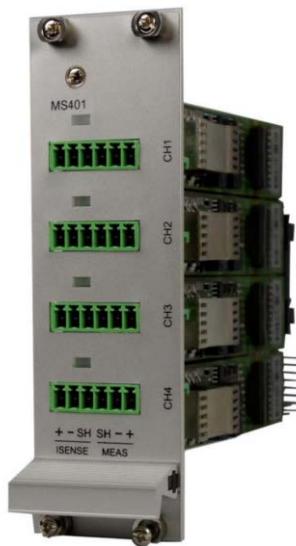
1) 1个单元包含4个支持瞬态测试的测试通道：

采样率：1M samples/s

温度分辨率：0.002 C

2) 1个单元包含4个测试电流源（200mA/10V或100mA/20V或50mA/40V）

3) 所有的测试输入和测试电流源均为独立接地。



◆ 更灵活的产品配置以及更高的测试能力



T3Ster国内部分客户

中国科学院半导体研究所
中国科学院电工所
中国计量科学研究院(NIM)
中国科学院上海技术物理研究所常州分所(常州光电技术研究院)
中国空间技术研究院器件可靠性中心(511)
中国空间技术研究院总体部(501)
中国空间技术研究院西安分院(504)
中国航天科工集团北京无线电测量研究所(航天二院23所)
中国航天时代电子公司七七二所(北京微电子技术研究所)
工业和信息化部电子工业标准化研究院(电子四所)
工业和信息化部电子第五研究所
广州广电计量检测股份有限公司(信息产业部军工电子602计量测试站)
中国电子科技集团第十研究所
中国电子科技集团第十三研究所
中国电子科技集团公司第五十五研究所
中国电子科技集团公司第五十八研究所(无锡微电子科研中心)
陕西航空电气有限责任公司(航空115厂)
中国空空导弹研究院
四川九洲电器集团有限责任公司
北京信息技术研究院
国家半导体器件质量监督检验中心(石家庄)
国家半导体器件质量监督检验中心(潍坊半导体照明产品检测中心)
国家半导体发光器件应用产品质量监督检验中心(厦门质检所)
国家半导体照明产品质量监督检验中心(常州质检所)
广东省半导体照明产业联合创新中心
济宁国家半导体及显示产品质量监督检测中心
广东省东莞市质量监督检测中心
贵州省机械电子产品质量监督检验院(国家电子基础元器件质量监督检验中心)
中国振华集团永光电子有限公司
中国振华集团深圳振华微电子
佛山市香港科技大学LED-FPD工程技术研究开发中心
香港应用技术研究院(ASTRI)
中国工程物理研究院电子工程研究所(绵阳九院五所)
中国工程物理研究院应用电子学研究所(绵阳九院十所)
北京空间机电研究所/航天科技集团第503研究所
北京卫星制造厂/航天科技集团第529研究所
海军701工厂
中国航天科工集团元器件可靠性中心(航天2院201所)
中国航天科工航天晨光股份有限公司
北京微电子研究所(航天772研究所)
北京航天时代光电科技有限公司
上海精密计量测试研究所(航天808所)
上海航天电源研究所(航天811所)
山东航天电子技术研究所(航天513所)
重庆平伟实业股份有限公司
华中科技大学(武汉光电国家实验室)
桂林电子科技大学
香港大学
上海大学
复旦大学
南京理工大学
中国计量学院
厦门理工学院
宁波诺丁汉大学
北京航空航天大学
青岛科技大学
深圳大学
香港科技大学
香港城市大学
中国商车集团
上海汽车集团股份有限公司
上海捷能汽车技术有限公司
上海新微技术研发中心有限公司
上海亚明照明
三安光电
华灿光电(浙江)有限公司
德豪润达
深圳天电光电
华为技术公司(HUAWEI)
欧普照明股份有限公司
广州市鸿利光电股份有限公司
Philips上海研发中心
广州视源科技股份有限公司
深圳瑞丰光电
宜昌惠科科技有限公司
山东阳信长威电子有限公司
芯封科技(清华长三角研究院)
Lumileds上海研发中心
三星电子南京研发中心
三星电子广州研发中心
LG中国研发中心
哈曼国际
上海汉高(Ablestik部门)
(注:汉高公司的Ablestik系列产品是世界领先的自填充晶圆键合剂)
无锡欧司朗照明
北京世纪金光半导体有限公司
苏州硅能半导体科技股份有限公司
陕西唐华能源有限公司
大洋电机新动力科技有限公司
华进半导体封装先导技术研发中心有限公司NCAP
成都先进功率半导体股份有限公司

上海坤道信息技术有限公司
Shanghai SimuCAD Information Technology Ltd.

上海市南京西路555号503室
邮编:200041
电话:+86-21-62157100,62580542
传真:+86-21-62151794
邮箱:info@simu-cad.com
网址:www.simu-cad.com

Copyright @2020 SimuCAD Ltd.

Mentor Graphics, FloTHERM, FloEFD, FloMASTER, Power Tester, MicRed and t3Ster are registered trademarks of Mentor Graphics Corporation



(产品图片仅供参考)