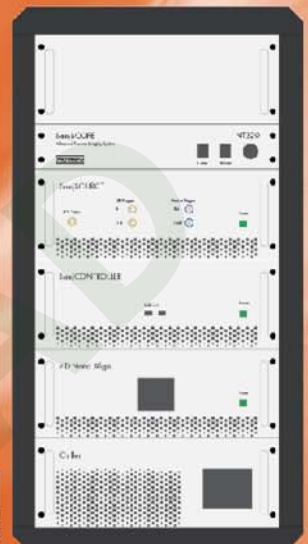
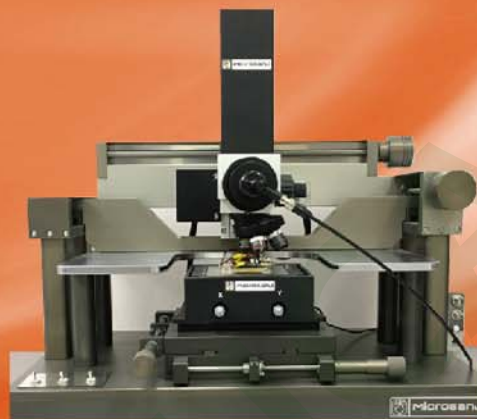


SanjSCOPE™

热成像系统

SanjSCOPE™ Thermal Imaging Systems

Microsanj is a leading provider of high-resolution transient thermal imaging services and solutions for both commercial and research applications. The system is based on optical thermoreflectance characterization; digital signal processing and advanced patented software algorithms that supports electronic and optoelectronic components measurement, thermal design validation of ICs, defects and failure analysis.



坤道

SIMUCAD

www.simu-cad.com

公司简介

上海坤道信息技术有限公司 (SIMUCAD Info Tech Co., 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。后成为 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金牌/专家级代理, 负责其产品的销售和服务事宜。同时, 上海坤道公司还是 ATSC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独家总代理。

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

SanjSCOPE™热成像系统: SanjSCOPE™主要采用基于 lock-in手段的反射率热成像技术, 结合数字信号处理手段以及先进的软件算法, 为用户提供一个集高空间分辨率、高时间分辨率, 可以对亚微米级别的微电子系统进行热分析的通用工具。

Simcenter T3STER SI 热瞬态测试仪: Simcenter T3STER SI 通过非破坏性地测试封装好的半导体器件的电压随着时间的瞬态变化, 快速地获得准确的, 重复性高的结温热阻数据以及结构内部信息。 Simcenter

T3STER SI 支持对器件进行在线测试，结壳热阻测试等。测试结果可以生成热阻热容模型供热仿真软件使用，同时也可以用于校准详细的仿真模型。

Simcenter Power Tester 集成功率循环&热瞬态测试的自动化测试系统: Simcenter POWERTESTER 是一台集成了 K 系数测试、热阻测试、结构函数分析以及功率循环测试功能的自动化测试系统，测试方法满足 AQG-324、IEC60747 以及 JEDEC JESD51 等标准。与传统设备相比，POWERTESTER 支持在功率循环期间，实时监控电学参数，热学参数，并定期使用结构函数在线原位评估封装结构是否发生老化，无需先进行功率循环，再用其他的设备进行热测试表征。可以快速高效地为新产品研发提供丰富的热学数据和可靠性数据，加速产品研发进程。

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。

Simcenter Flotherm XT 电子散热仿真软件: Simcenter Flotherm XT 是专业的电子散热仿真软件，它在继承了 Flotherm 优点的基础上，增加了等同于专业 CAD 软件的几何建模和处理能力，使得仿真工程师能轻松处理复杂几何模型，大大提高了仿真效率。Simcenter Flotherm XT 极大的增强了对于复杂曲面、不规则模型的几何处理能力，是真正意义上的加强版 Flotherm。

Simcenter 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。

Simcenter Flomaster 全球领先的一维流体及传热系统分析软件: 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。

了解以上产品的详细信息，请访问 www.simu-cad.com



微信公众号



官网

产品概述

SanjSCOPE™高空间分辨率高时间分辨率热成像系统主要采用基于lock-in手段的**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，为用户提供一个集高空间分辨率、高时间分辨率的，可以对亚微米级别的微电子系统进行热分析的通用工具。

- 高空间分辨率：根据衍射极限，SanjSCOPE™产品的空间分辨率可以高达300纳米左右，其空间分辨率可以高达 **300 纳米**左右，特别适用于目前微电子行业在微型化、高集成度化下的新型半导体器件的温度表征。
- 高时间分辨率：SanjSCOPE™产品具有 **50us, 5us, 50ns 以及 500ps** 几个规格的时间分辨率。特别适用于研究具有高频率响应特点的新型微电子器件的瞬态温度响应。
- SanjSCOPE™产品使用了 lock-in 技术来增强测试信噪比，**温度灵敏度典型值100mK~250mK**。
- SanjSCOPE™产品配备了高性能压电式样品台及控制器，该压电式样品台具备 x, y, z 三轴的自动定位功能，可以用于补偿由于热胀冷缩引起的样品位移和失焦现象，且**定位分辨率高达 1nm**。
- SanjSCOPE™产品的反射率热成像技术不仅能够测试半导体材料，还能够测试金属材料。



SanjSCOPE™的典型应用

SanjSCOPE 可以应用于以下场景的热分析：

热点探测；

GaN, GaAs, SiC, 以及其他宽禁带材料的半导体器件；

具有多层结构的高级封装器件；

InP, Si材料的光电子器件；

IGBT器件；

闩锁效应；

倒装焊芯片 Flip Chip；

应用行业： 通信、汽车电子、国防电子、物联网、光电子以及其他各种新兴应用



SanjSCOPE可以帮助您：

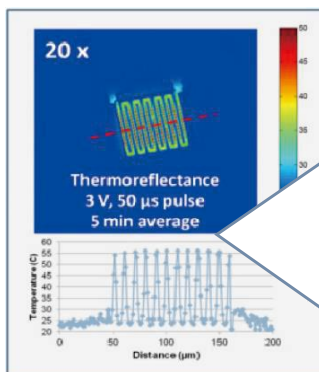
开发并确认器件的热模型；

评估器件加工过程的一致性；

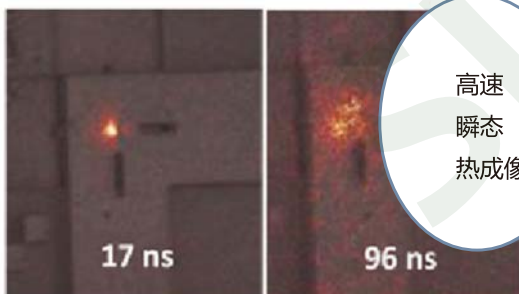
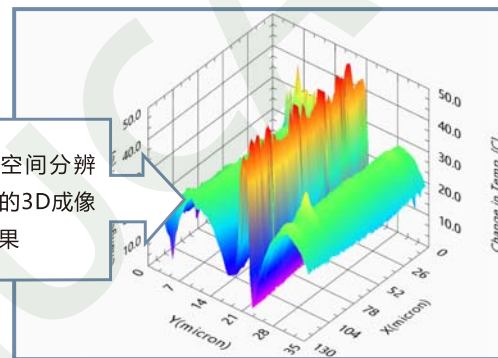
优化器件的热性能；

探测器件的瞬变热行为；

失效分析；

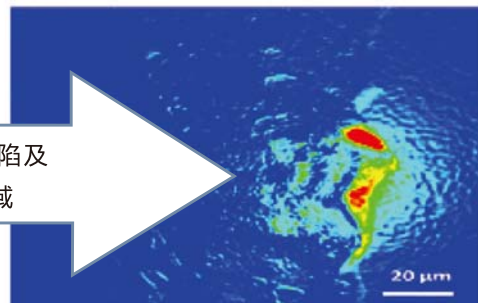


高分辨率
温度分布图



高速
瞬态
热成像

探测缺陷及
热点区域



技术原理

反射率热成像技术 (Thermoreflectance)

材料的反射率与温度有关，因此可以通过测试器件表面的反射光强度的改变得到其温度的改变。

$$\frac{\Delta R(x, y, \lambda)}{R_0(x, y, \lambda)} = C_{TR}(x, y, \lambda)\Delta T$$

ΔR 是施加激励后反射率的变化；

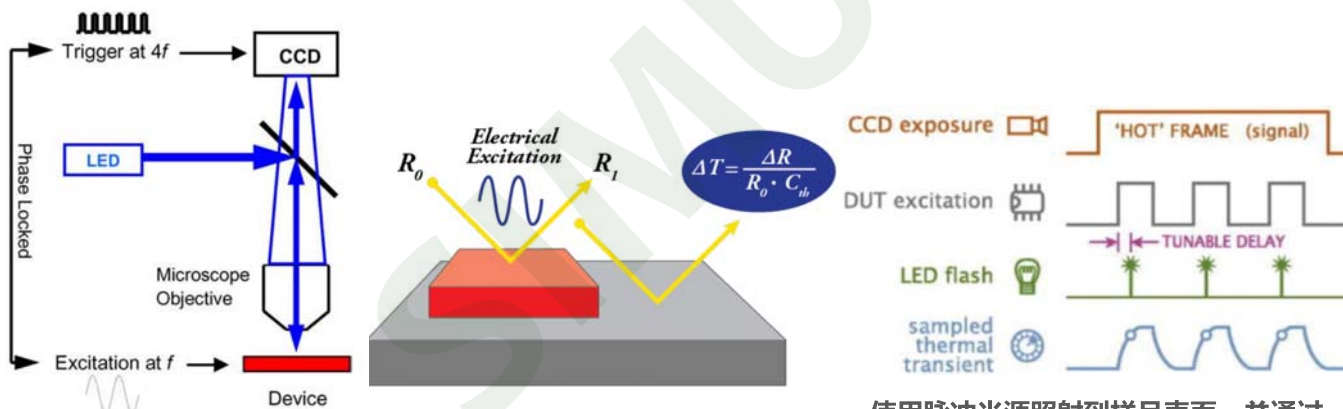
R_0 是未施加激励前的初始反射率值；

C_{TR} 是反射率-温度系数，一般是一个常数；

ΔT 是施加激励后的温度变化；

使用脉冲光源照射到样品表面，并通过探测样品表面由于施加激励后引起的反射率变化，通过提前标定的 C_{TR} 值即可获得温度变化。

- 空间分辨率：300nm~400nm（取决于光源波长，物镜的数值孔径等）；
- 时间分辨率：50us, 50ns（使用脉冲 LED 作为参考光源），500ps（使用脉冲激光器作为参考光源）；
- 温度灵敏度典型值：100mK~250mK（对于金属 Au 材料，5 分钟采样平均后）。



反射率热成像系统包含参考光源，探测器，显微系统等配件

芯片表面材料的反射率随温度而变化

使用脉冲光源照射到样品表面，并通过探测样品表面由于施加激励后引起的反射率变化，通过提前标定的 C_{TR} 值即可获得温度变化

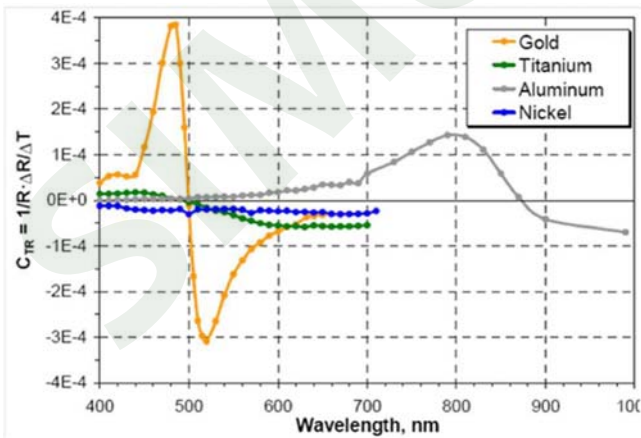
关于反射率-温度系数 C_{TR}

- C_{TR} 与材料相关：同一材料对于不同的照明波长表现出不同的 C_{TR} 幅值；

针对每种材料，应该选取 C_{TR} 幅值最大的最优波长；

* GaN 和 SiC 材料在大于 390nm 的波长下是透明的：因此针对 GaN 和其他宽禁带材料应该选择紫外波段的参考光源；

* Si 材料在大于 1000nm 的波长下是透明的；因此当使用近红外波段的参考光源照射到器件上时，可以穿透Flip-chip的硅衬底，实现穿透衬底的功能。

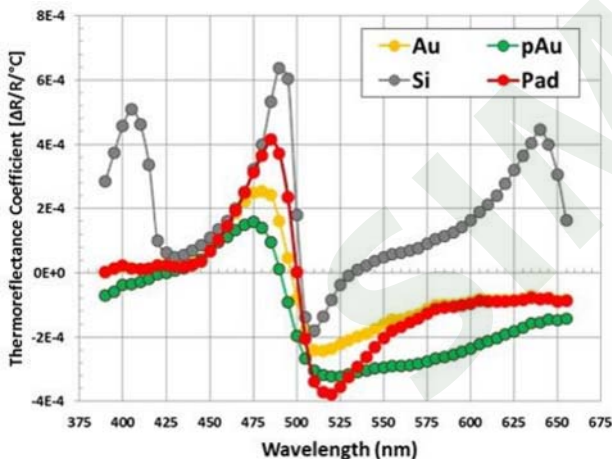


不同材料的 C_{TR} 值随着波长的变化关系

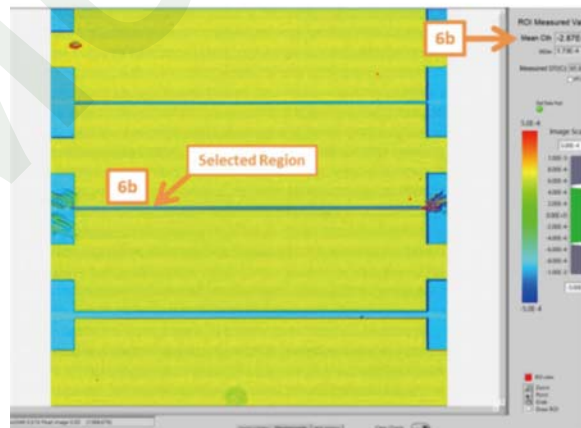
材料	最优波长	C_{TR}
GaN	365nm	$-3.00 \times 10^{-3}/K$
Au	470nm	$+1.90 \times 10^{-4}/K$
Au	530nm	$-2.50 \times 10^{-4}/K$
Si	470nm	$+3.40 \times 10^{-4}/K$
Si	530nm	$+2.00 \times 10^{-4}/K$
Pt	530nm	$-5.80 \times 10^{-5}/K$
Al	780nm	$+1.14 \times 10^{-4}/K$

典型材料的最优波长及对应的 C_{TR} 典型值

- C_{TR} 与制备工艺、掺杂浓度、入射角度等因素相关；
- 推荐使用逐像素标定的方法，获取每个像素点 C_{TR} 的值；

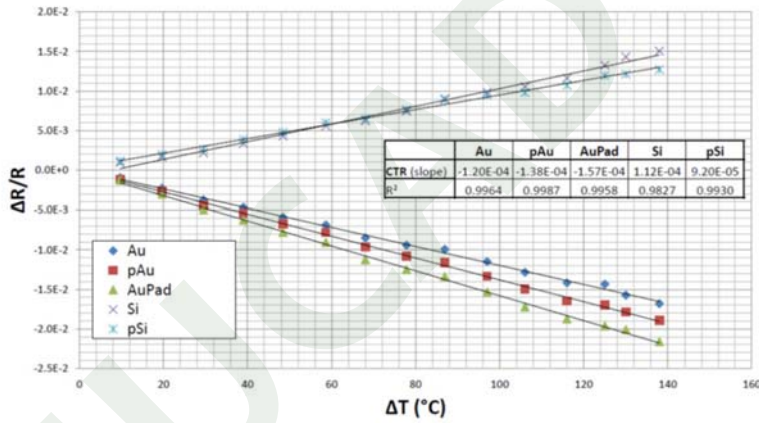


材料表面的钝化层会改变 C_{TR} 值



通过逐像素标定，每个像素点都会有一个对应的 C_{TR} 值

➤ 反射率的变化与温度的变化是线性的，即 C_{TR} 是常数。



反射率变化与温度变化的线性关系

极高的空间分辨率

TR 技术的空间分辨率受限于衍射极限：

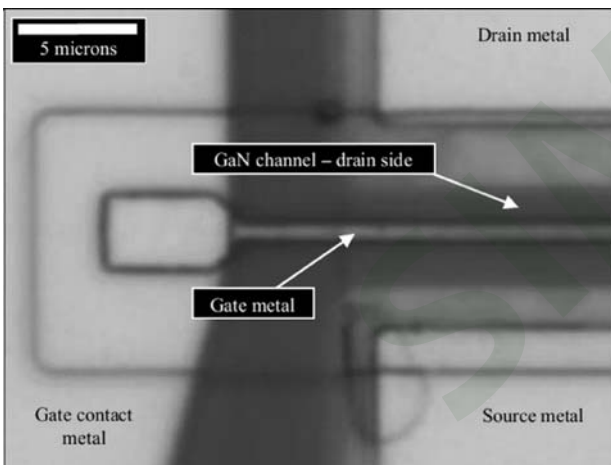
Abbe 衍射极限

$$d = \frac{\lambda}{2(n \sin \theta)}$$

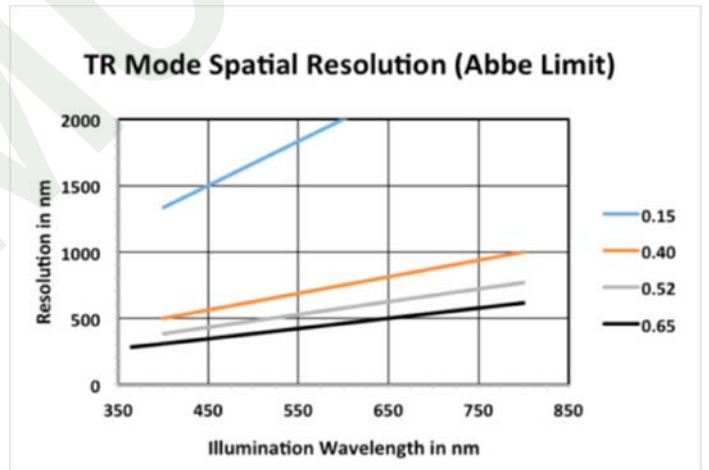
$n \sin \theta$ 是物镜的数值孔径 (NA)， λ 是参考光源的波长；

空间分辨率 < 300 nm (NA=0.65, $\lambda=365$)；

像素分辨率在 100x物镜下可达 55 nm/pixel。



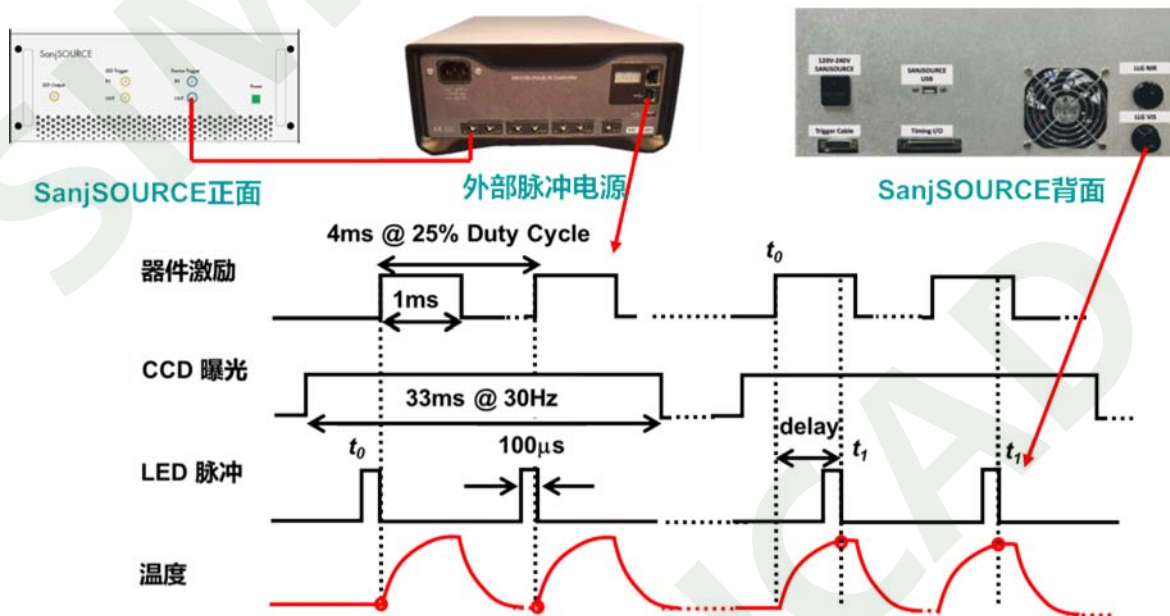
栅长为 500nm 的 GaN HEMT 器件的成像结果



空间分辨率与照明波长的关系

Lock-in技术

- C_{TR} 的幅值较低，为了提高反射率热成像技术的温度灵敏度，采用 lock-in技术；
- 待测器件必须工作在脉冲激励下；增强型器件可以脉冲激励栅压和漏压，耗尽型器件只能脉冲激励漏压；
- 给器件提供激励的脉冲电源必须与 SanjSCOPE™设备的 LED光源，探测器的信号实现同步；
- 同步方法：SanjSCOPE™会提供一个 TTL兼容的触发源，将其连接到器件脉冲电源的被触发口上；
- 设置好器件脉冲宽度和采样时间后，系统会不断重复采集该状态的反射率值并求平均，以提高温度灵敏度；
- 通过加长脉冲宽度可实现测试热稳态。



SanjSCOPE™会提供一个TTL兼容的触发源，将该触发源连接到外部脉冲电源的被触发口上，可以实现lock-in同步

稳态测试

在软件中设置 Device On Time（加热时长）， Image Averages（采样次数）和 Duty Cycle（占空比）：

Device On Time: 该时间需设置得足够长，保证器件已经达到热稳定状态；

Image Averages: 更大的数字代表采样平均次数更多，可以获得更高的温度灵敏度；

Duty Cycle: 应小于 50%，确保有足够长的时间来冷却。

开始测试时:

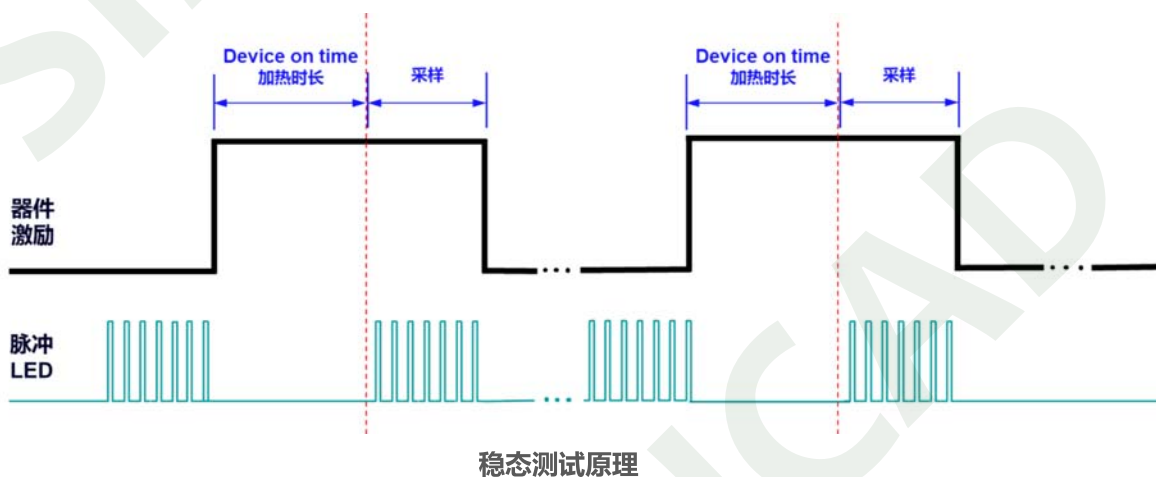
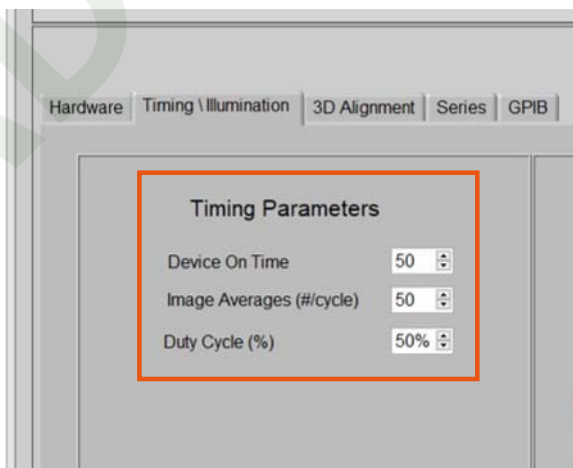
* 在器件未施加激励时, 重复打开 LED脉冲, 采集初始反射率 R_0 , 采集次数至少为满足条件的 Image Averages次;

* 给器件施加激励, 等待加热时长达到设定的 Device On Time;

* 重复打开 LED脉冲, 采集施加激励后的反射率 R , 采集次数为满足条件的 Image Averages次;

* 记录下真实的加热时长, 根据占空比计算出冷却时间;

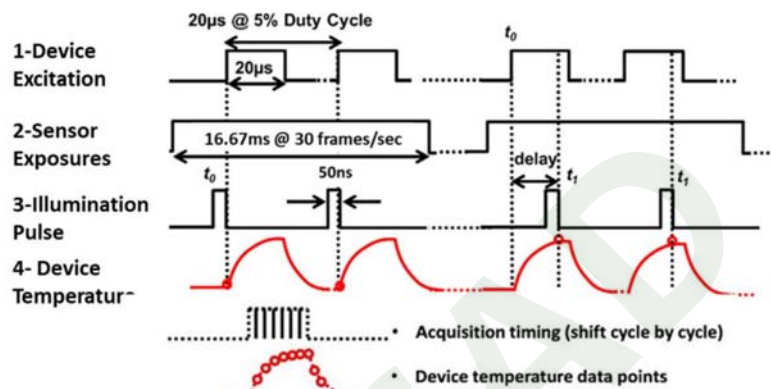
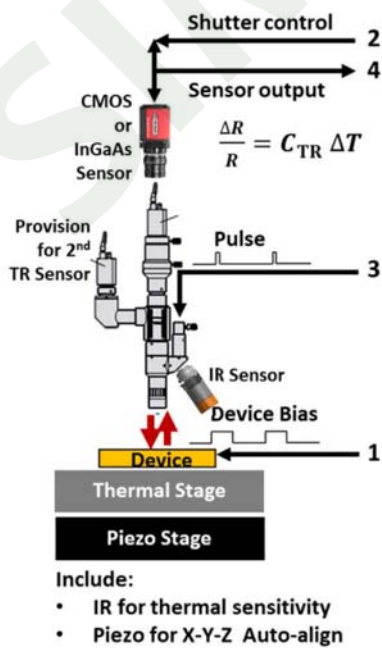
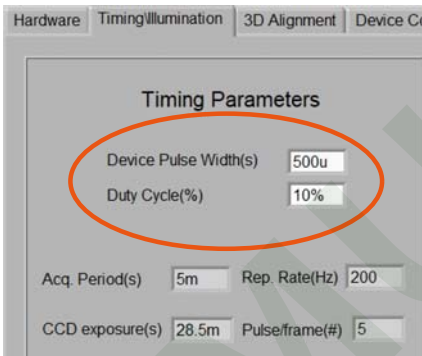
* 待器件冷却后, 再重复上述过程, 直到获得的温度灵敏度达到用户需求。



瞬态测试

- 在软件中设置器件激励脉宽(加热时长)和占空比;
- 在未施加激励脉冲前, 即 t_0 时刻, 打开 LED脉冲, 测试未加激励时的反射率 R_0 ;
- 每一个器件激励脉冲, 系统均会在 t_0 时打开 LED脉冲进行测试, 通过多次平均以提高灵敏度, 直到重复次数达到了软件设置的 Ave time;
- 根据设定的 Delay step, 系统将 LED脉冲与器件激励脉冲之间的延迟时间设置为 t_1 , 测试器件加热到 t_1 时的反射率 R_1 ; Delay step可以线性增加, 也可以对数增加;

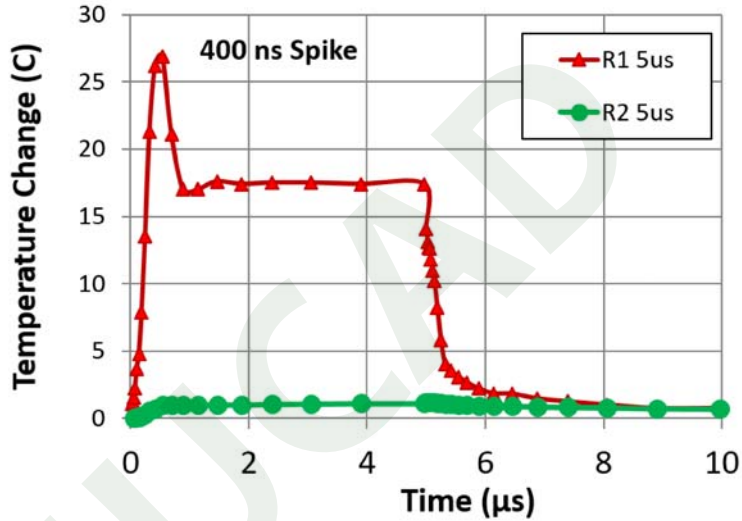
- 每一个器件激励脉冲，系统均会在 t_1 时打开 LED 脉冲进行测试，通过多次平均以提高灵敏度，直到重复次数达到了软件设定的 Ave time；
- 系统将 LED 脉冲与器件激励脉冲之间的延迟时间调整为 t_2 ，开始测试器件加热到 t_2 时的反射率 R_2



瞬态测试原理

瞬态测试时间分辨率

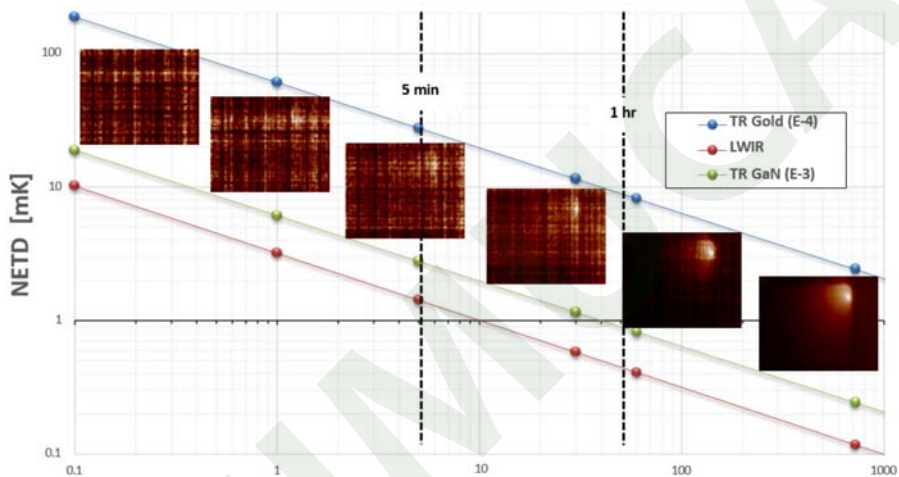
- 时间分辨率取决于光源的脉冲宽度：50us/5us；50ns；500ps；
- 时间分辨率与探测器的帧频无关；
- 进行瞬态测试时，器件脉冲宽度（加热时长）最长可设置为 10ms；
- 器件特征尺寸越小，对瞬态响应的分辨率要求越高。



测试器件在5us加热脉宽下的瞬态升温及降温曲线

温度灵敏度

- 温度灵敏度与 C_{TR} 值，探测器等因素相关；
- 反射率热成像技术的温度灵敏度略低于红外热成像技术；
- 反射率热成像技术采用了 lock-in 手段，可以通过增加平均时间来提高温度灵敏度。



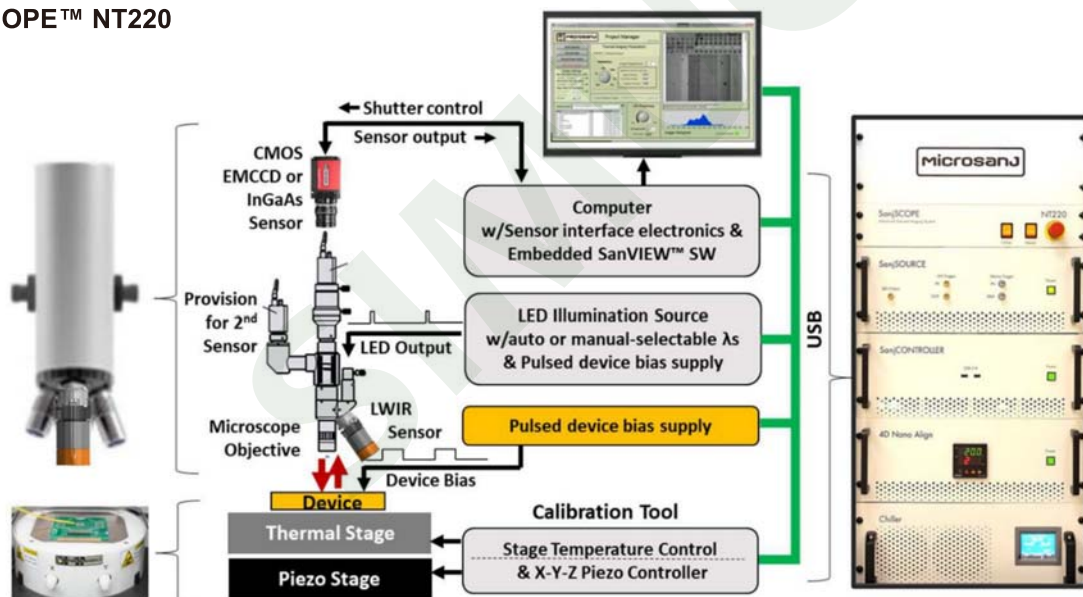
温度灵敏度 vs 采样平均时间

NETD: Noise Equivalent Temperature Difference(噪声等效温差)，用于表征当探测器内部的 S/N等于1时，探测到的温度信号。NETD值越小，说明设备的温度灵敏度越好，可以探测到更低的功率。

产品信息

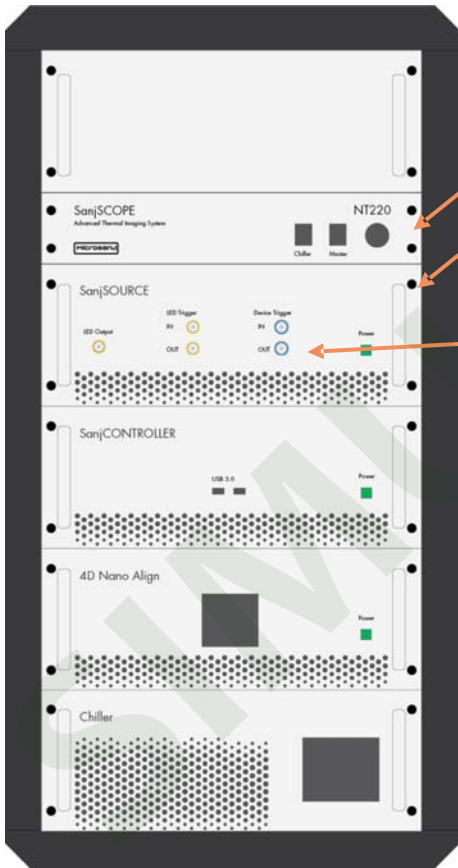
EZ-THERM™-Series 灵活的台式热成像系统	NanoTherm-Series 纳秒级瞬态热成像系统
 <p>Typical EZ-THERM Setup</p> <p>EZ500/EZ510/ EZ100-SYS</p>	 <p>NT220</p>
<p>主要性能指标:</p> <ul style="list-style-type: none"> * 瞬态时间分辨率: 50us (EZ500) , 5us (EZ510) ; * 支持 IR单模式系统 (EZ100-SYS) 和 TR+IR双模式系统 (EZ500/EZ510) ; * 轻便的, 灵活的台式热成像系统; * 模块化配置, 可分批购买需要的模块; * 支持和客户现有的半导体设备连接使用 (探针台, 光学显微系统等) 。 	<p>主要性能指标:</p> <ul style="list-style-type: none"> * 瞬态时间分辨率: 50ns (可升级为 500ps) ; * 支持 TR + IR的双模式, 最多支持 3个传感器; * 受市场认可的专业级别的热成像系统; * 瞬态时间分辨率最快的商业化热成像系统; * 可配置的产品架构, 方便用户选择适合自己应用的配置。

SanjSCOPE™ NT220



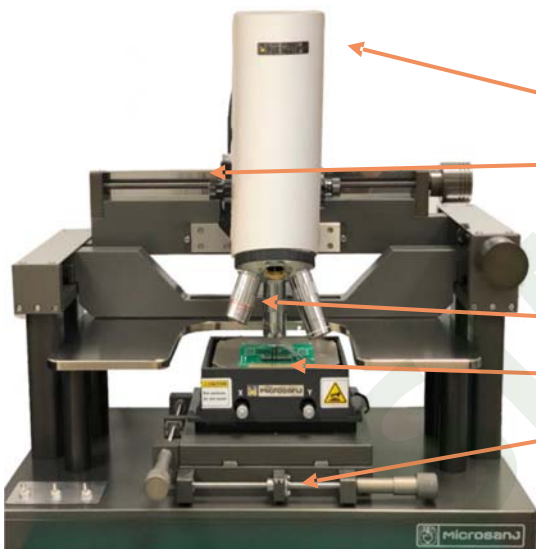
SanjSCOPE™ NT220系统模块图

SanjSCOPE™ NT220 电子控制部分




- * SanjSCOPE™ 电源模块
- * SanjSOURCE™ LED 光源
 - NT220-40: LS300-40: 365, 470, 530, 780 nm
 - NT220-80: LS300-80: 365, 405, 455, 470, 530, 625, 656, 780 nm
- * Device Trigger OUT:
TTL兼容的触发源，用于触发器件的供电电源，实现器件激励源与测试系统之间的同步；
- * SanjCONTROLLER™控制器
 - 内置操控软件 SanVIEW™ 和数据处理软件 SanjANALYZER-PLUS
- * 4D Nano Align
 - 带压电调节功能的标定工具的控制器
 - 4D: x-y-z 3轴的压电控制以及温度控制
- * Chiller 冷水机
 - 用于连接 AF-200的温控盘，提供冷源

SanjSCOPE™ NT220 光学部分



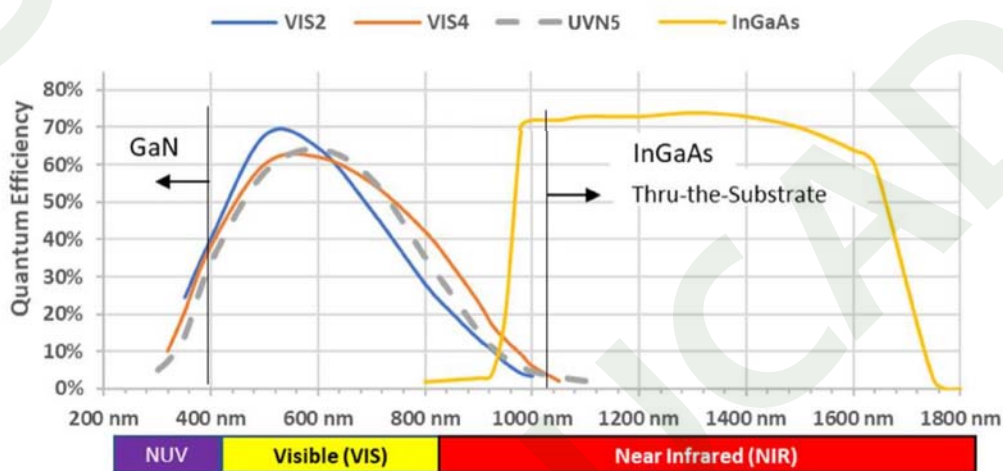
- * 探测器
- * 连接光源-SanjSOURCE的接口
- * 物镜
- * DUT及带压电调节功能的温控台
- * 探针台

探测器

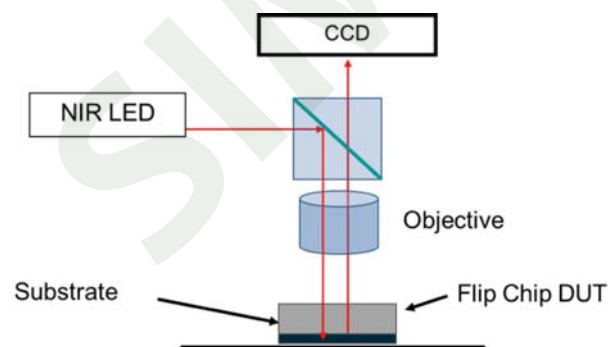
	SMC40-VIS2	SMC40-VIS4	SMC40-UVN5 ²	SMC40-NIRI
类型	CMOS	CMOS	sCMOS	InGaAs
像素点	2 MP	4 MP	5 MP	636x508
像素间距	5.86μm	5.5μm	6.5μm	25μm
光谱范围	365-780nm	365-780nm	365-1050nm	900-1700nm
FoV @ 5x	2.25 x1.41 mm	2.25 x2.25 mm	3.3 x2.8 mm	15.9 x12.7 mm
NETD ¹	100mK	250mK	1000mK	1250mK

注：1、NETD指的是对于 Au材料 5分钟采样平均的结果；
2、SMC-UVN5只能搭配 NT220系列使用。

Spectral Response for SanjSCOPE™ TR Sensors



穿透衬底热成像：Flip-chip的Si衬底材料在大于 1000nm的波长下是透明的。因此当使用近红外波段的参考光源照射到器件上时，可以穿透Flip-chip的硅衬底，实现穿透衬底的功能。



穿透衬底热成像原理示意图

物镜

近紫外波段 365-620 nm			可见光波段 400-780 nm			近红外波段 480-1800 nm		
Part #	NA	WD	Part #	NA	WD	Part #	NA	WD
20MNUV17	0.40	17.0 mm	1MVIS11	0.03	11.0 mm	2.5SNIR28	0.06	28.0 mm
20SNUV12	0.50	12.0 mm	2.5SVIS32	0.06	32.0 mm	5MNIR37	0.14	37.5 mm
50MNUV15	0.42	15.0 mm	5SVIS36	0.15	36.0 mm	20SNIR12	0.50	12.0 mm
50SNUV10	0.50	10.0 mm	20SVIS20	0.40	20.0 mm	20MNIR20	0.40	20.0 mm
50SNUV10	0.65	10.0 mm	100SVIS14	0.52	14.1 mm	50MNIR25	0.42	25.5 mm
100MNUV11	0.50	11.0 mm	100MVIS6	0.70	6.0 mm	50MNIR10	0.65	10.0 mm
			100MVIS1	0.90	1.3 mm	100MNIR10	0.70	10.0 mm

高放大倍数物镜的空间分辨率

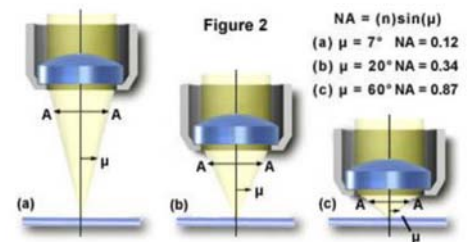
型号#/NA	照明波长			工作距离
	365nm GaN	530 nm Au, Si	470 nm Au, Si	
近紫外波段物镜 (365nm~620nm)	阿贝衍射极			
50MNUV15/0.42	435nm	560nm	631nm	15.0 mm
50SNUV10/0.50	365nm	470nm	530nm	10.0 mm
100MNUV11/0.50	365nm	470nm	530nm	11.0 mm
50MNUV10/0.65	281nm	361nm	408nm	10.0 mm
可见光波段物镜 (400nm~780nm)	阿贝衍射极			
100SVIS14/0.52	n/a	452nm	510nm	14.1 mm
100MVIS6/0.70	n/a	336nm	379nm	6.0 mm
100MVIS1/0.90	n/a	261nm	294nm	1.3 mm

空间分辨率受限于衍射极限:

$$d = \frac{\lambda}{2(n \sin \theta)}$$

在考虑高空间分辨率的同时也

要兼顾工作距离是否够用



集成 IR 功能

- 方便在更大的视野范围内快速找到热点，增强热点探测的能力；
- 探测器 (EZIR-LW12S) 参数：

探测器类型：Uncooled VOx (氧化钒) LWIR；

光谱范围：7.5 μm 到 13 μm ；

像素：640 x 512；

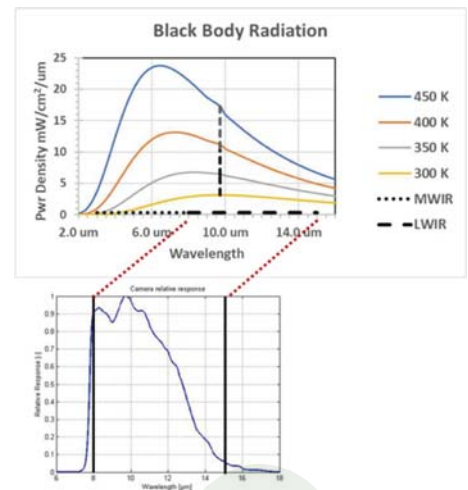
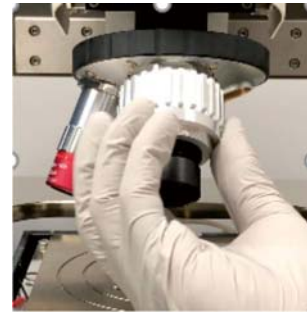
帧频：<8.6 Hz；

不需要液氮冷却。

- IR 物镜：

L05LWIR：0.5x, 24 μm /像素, FOV = 15.4 mm x 12.3 mm；

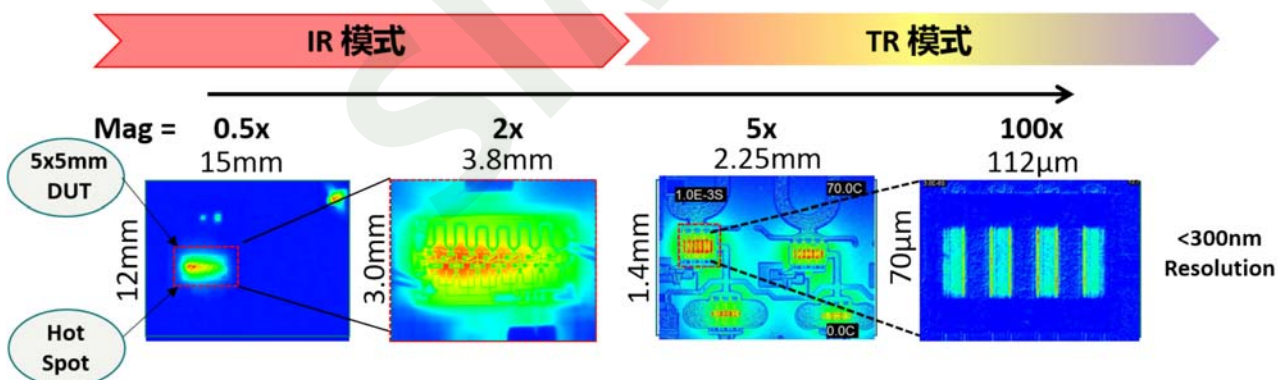
L25LWIR：2.5x, 4.8 μm /像素, FOV=3.1 mm x 2.5 mm。



集成 TR + IR 的优势

- * IR 基于黑体辐射；
- * 辐射系数 ϵ , 从金属的 <0.05 到其他材料的 0.8 ~ 0.9 左右；
- * 一般来说, IR技术的空间分辨率由 Nyquist-limited 决定, 即 $\sim 2 \times \text{Pixel Size}/\text{Mag}$ ；
- * 温度灵敏度好, 空间分辨率低。

- * TR 基于反射率热成像技术；
- * 50 ns瞬态时间分辨率：受限于 LED 脉冲的 FWHM；
- * 亚微米级别空间分辨率：受限于衍射极限。



带压电性能的定标工具：实现自动聚焦以及自动 X-Y对准

具有压电性能的热盘可以提供温度和位移控制，用于抵消在标定和测试过程中由于热膨胀引起的纳米级位移和失焦现象，提高标定结果的准确性。这个部件对于亚微米级别反射率热成像的标定和测试都非常重要。

EZCAL-50/AF-100



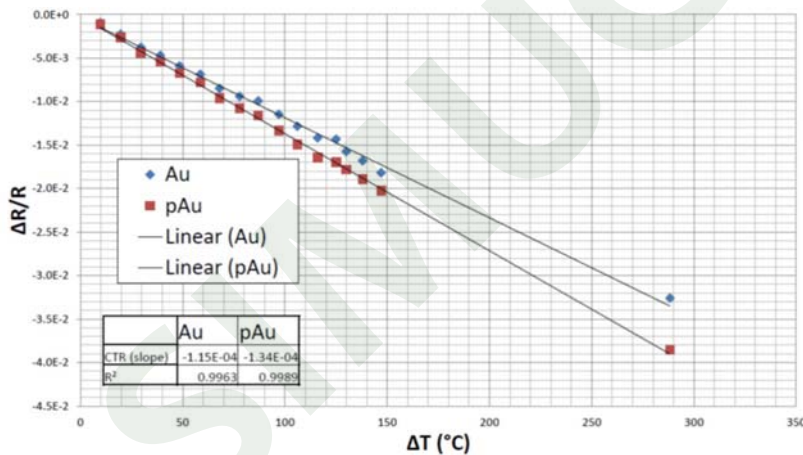
- * 包含 x-y-z 3轴方向的压电式平台及控制器；
- * 工作台直径：50 mm；
- * 温度范围：20°C~120°C；
- * 散热能力：50W；
- * 压电调节行程 (X-Y-Z)：100 x 100 x 100 μm 。

AF-200



- * 包含 x-y-z 3轴方向的高性能压电式平台及控制器；
- * 工作面积：125 mm x 125 mm；
- * 温度范围：20°C~120°C；
- * 散热能力：500W；
- * 压电调节行程 (X-Y-Z)：200 x 200 x 200 μm 。

关于标定工具的温度范围：20°C~120°C

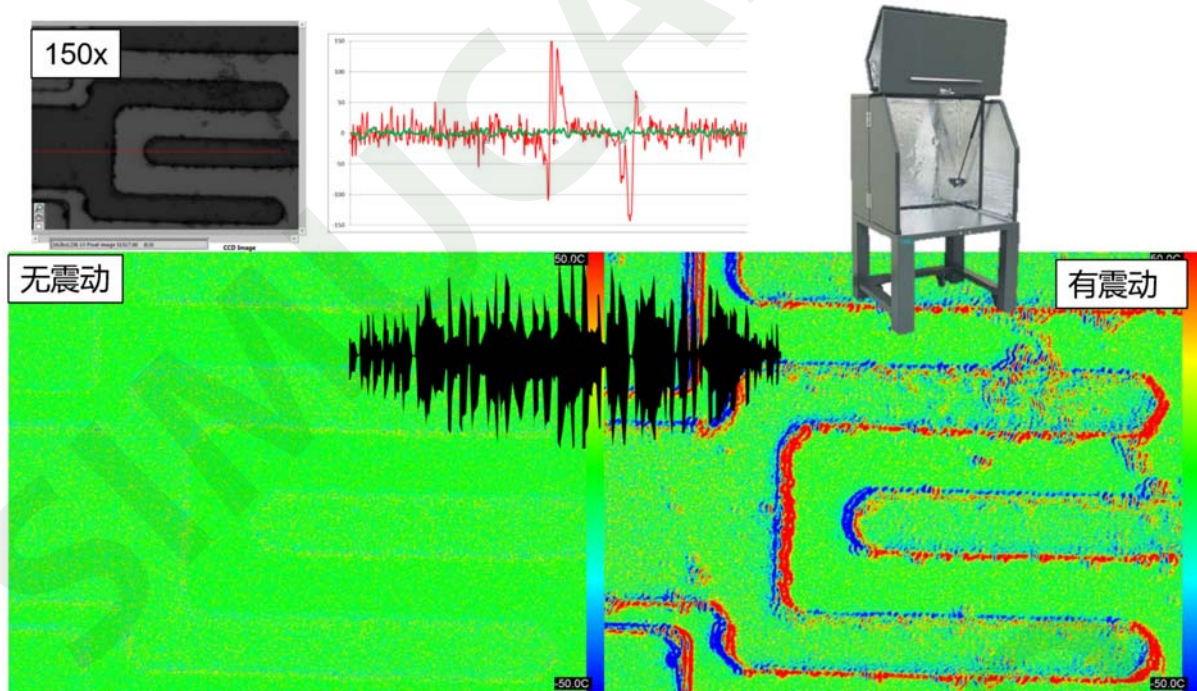


金属Au材料在高温300°C时的反射率值与120°C以内时保持线性关系

SanjSCOPE™ 的标定工具提供了 20°C~120°C的温控范围。试验数据表明，在 120°C以内标定的 C_{TR} 值和高温 300°C时是一致的。

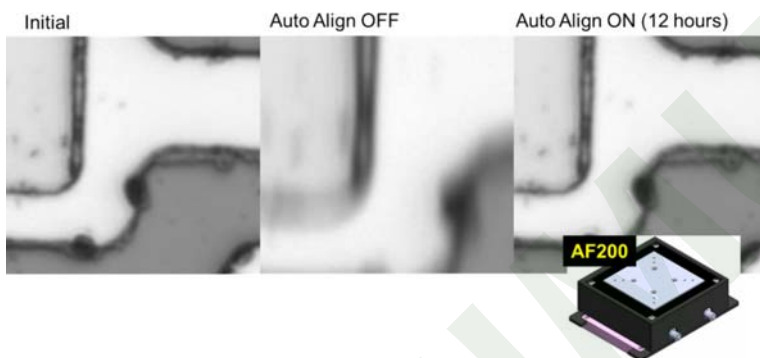
震动/边缘效应对反射率热成像结果的影响

对于纳米尺度的热成像来说，我们需要专业的隔震系统来帮助减少/去除由于震动引起的边缘效应。在100x或者更高的放大倍数下，即使是声音引起的扰动也会对测试结果造成影响。

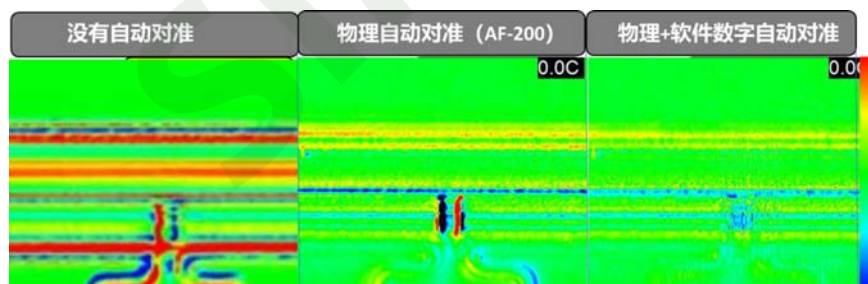


AF-200的实际效果:

通过压电调节实现自动聚焦/对准可以有效地降低热膨胀引起的边缘伪影。



测试条件: 150 x NA=0.9 30nm/pixel
自动聚焦, 自动对准功能对于更高时间常数的温度测试来说是非常必要的



探针台

	SPS-系列	GPS-系列
型号	 普通型号	 龙门式（横梁式）
真空卡盘尺寸	SPS-400: 4-inch SPS-600: 6-inch	GPS-150: 6-inch GPS-200: 8-inch GPS-300: 12-inch
卡盘调节行程 X-Y	SPS-400: 100mm x 100mm SPS-600: 150mm x 150mm	GPS-150: 150mm x 150mm GPS-200: 200mm x 200mm GPS-300: 300mm x 300mm GPS-300MS: 电动控制
适用样品尺寸	5 x 5 mm 到 卡盘尺寸 (4 或 6-inches)	5 x 5 mm 到 卡盘尺寸 (6, 8或 12-inches)
探针	3个直流探针头	

* 正常使用SanjSCOPE™产品还需要配备光学防震台

测试软件 SanjVIEW

LED光源控制功能区
样品光学成像



测试功能:
稳态测试
瞬态测试
器件标定
简单数据处理

各个部件的
通讯情况

显微系统及探测器
控制功能区

压电调节功能区

Microsanj Project Manager

Steady State Image
Transient Image
Calibration
Data Analysis
QUIT

System Status: NT2206
SanjSOURCE Timing
Signal Camera
15-300 15-300

40 ATEC 300
40 NanoAPP 200

Image Histogram

2500

Show Crosshair
Zoom
Shift+Click = Zoom Out

Source: LED (1.000)

Brightness(%) 42

Get Image

Multi-Wavelength Pulsed Source
Wavelength(nm) 405

Microscope Camera
Magnification 20x
Current Camera Default
G-board
Frame Rate 30
Gain Factor 0.5

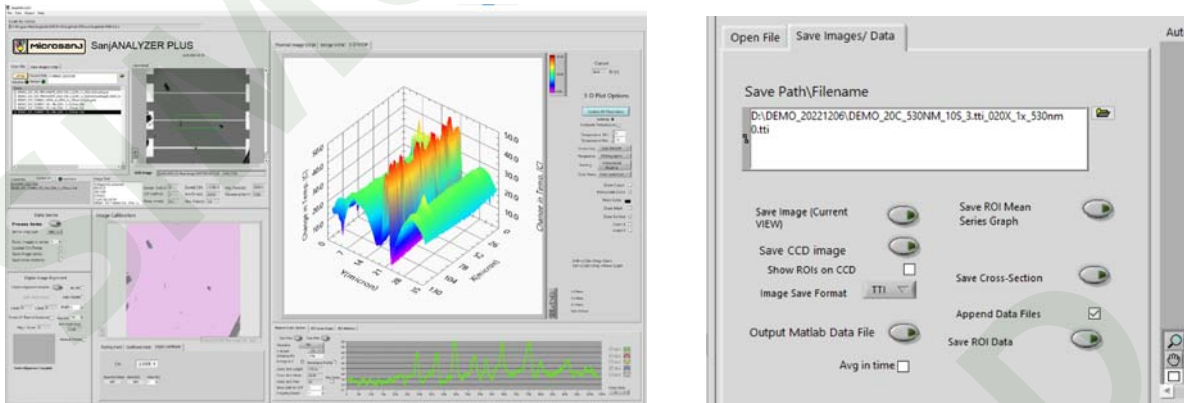
Motion Control
Center Stage
Focus 0.2008
Enable 3D Motion
Voltages to Piezo Stage
400 40.0 S PP 400 1.27
100 40.0 S

样品光学成像

SanjVIEW软件界面

高级数据后处理软件 SanjANALYZER-PLUS™

- 用于对热成像数据进行后处理的软件；
- 超光谱/多光谱热成像分析功能；
- 高级成像数据处理功能；
- 直接将测试数据输出为 Matlab 文件格式：xxx.mat，方便使用 Matlab 处理数据；
- 将成像结果进行 3D 展示；
- 对成像系列和标定结果进行亚像素级别数字对齐；
- TransientCAL™：利用瞬态标定技术对低于衍射极限的特征尺寸区域，准确地进行标定，消除由于热膨胀引起的误差。

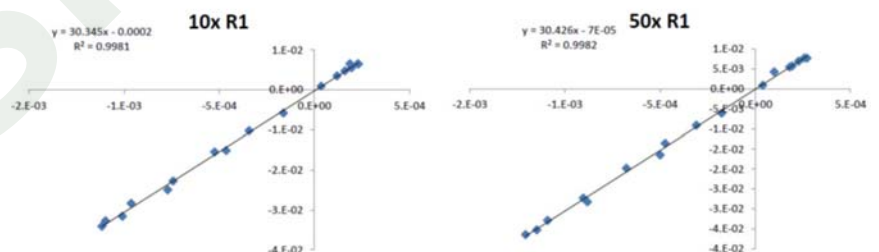


SanjANALYZER-PLUS™软件界面

超光谱热成像 (Hyperspectral thermal imaging)

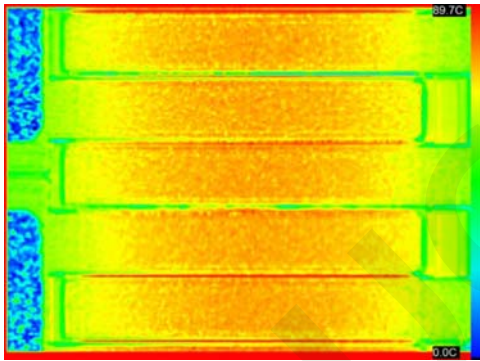
- 一个芯片的表面一般都会包含多种材料，比如半导体材料硅，金属电极，以及在材料上面做了钝化处理。当选择了金属金材料的最优波长 530nm 作为参考 LED 时，很可能该波长对样品表面的其他材料并没有很好的响应，因此其他材料的温度数据信噪比比较差；
- HTI 就是对同一个器件，在相同的放大倍数下，分别使用至少 3 种波长的参考 LED。针对每一个波长的 LED，分别在软件中运行一次标定测试和反射率测试；
- SanjANALYZER-PLUS 软件会自动导入不同波长的 C_{TR} 数据和反射率数据。并对其拟合：以 C_{TR} 为横坐标，反射率为纵坐标，拟合得到的斜率即为温差 ΔT ；

$$\frac{\Delta R(x, y, \lambda)}{R_0(x, y, \lambda)} = C_{TR}(x, y, \lambda) \Delta T$$

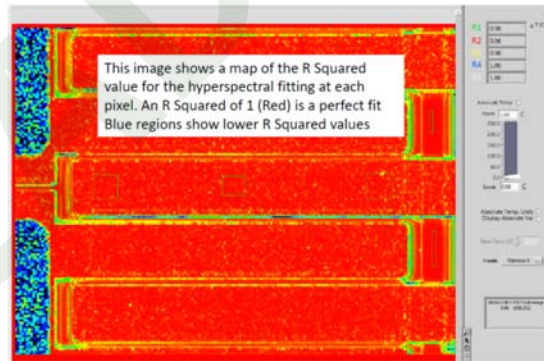


不同波长的CTR与反射率的关系：横坐标为 C_{TR} ，纵坐标为反射率

- HTI图不仅提高了测试结果的准确性，并保证在同一幅图中，每个像素的温度都是经过优化和校准的；
- 同时还会导出 R2图谱，图像中 R2越大的像素，其对应的温度结果越准确。



超光谱HTI热成像结果



R2图谱

TransientCAL™瞬态标定技术

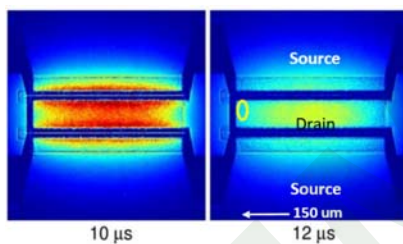
- 大尺寸的区域是容易通过改变热盘温度获得准确的 C_{TR} 值，如 GaN HEMT 器件中的 Source 区域；
- 小尺寸的区域在使用热盘标定过程中，由于受到热膨胀等因素的影响，往往很难获得准确的 C_{TR} 值；
- TransientCAL 技术：

通过正常的热盘标定法对器件进行标定；

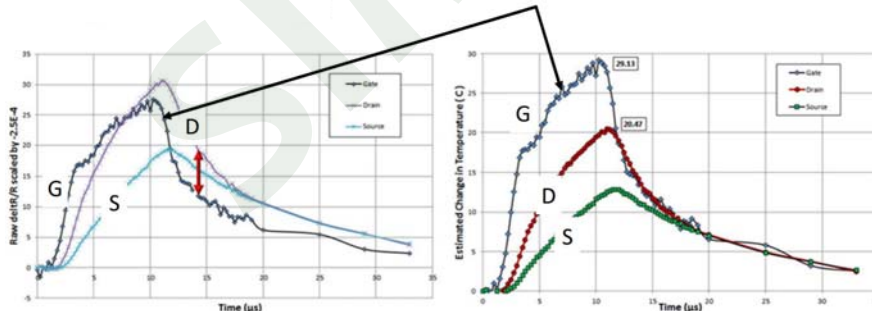
测试器件（包括大尺寸区域和小尺寸区域）的冷却曲线；

因为同一器件的不同区域在完全冷透后，其温度应该保持一致；因此通过将冷却曲线的末端重叠在一起，从而准确标定小尺寸区域的 C_{TR} 值。

- 这种方法可以用来准确标定特征尺寸为 200nm 左右的区域。



- 源极Source的 C_{TR} 值可以通过正常标定流程得到，即 $C_{TR} = -2.4E-4$
- 5μm栅极Gate的 C_{TR} 值未知
- 测试器件的瞬态升温和降温曲线，在器件完全冷却后，源极和栅极的温度应该保持一致
- 因此可以通过调节栅极的 C_{TR} 值，使之与源极的温度在冷却后保持一致



TransientCAL™瞬态标定技术的工作原理

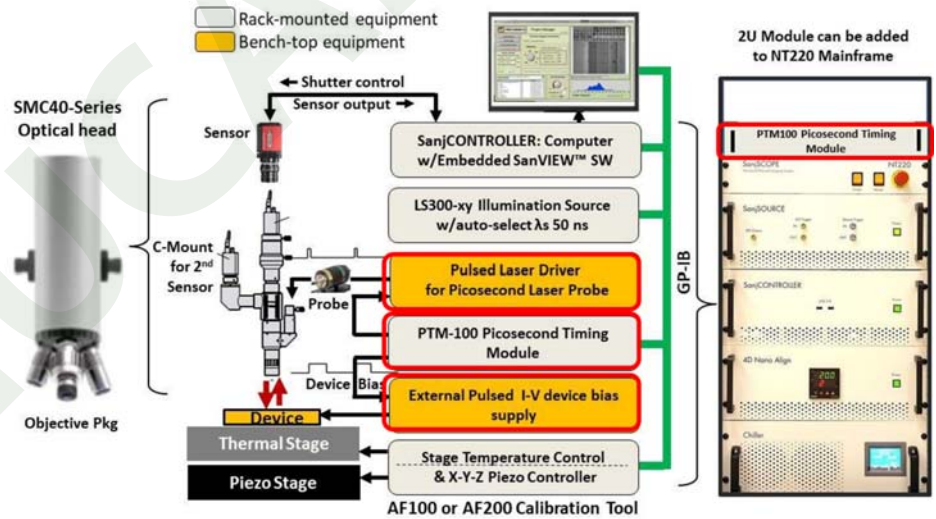
NT220升级选项：皮秒级别瞬态响应升级模块

➤ 使用脉冲激光器作为参考光源，可将瞬态时间分辨率提升到 500ps；

➤ 应用场景：需要更高分辨率的情况，例如：

金刚石器件、ESD 器件、2D 材料、3D IC、薄膜等；

➤ PTM-100 皮秒时序模块：用于实现NT220系统和用作探测光、用作激励源的激光器实现同步；



皮秒级别瞬态响应升级模块示意图

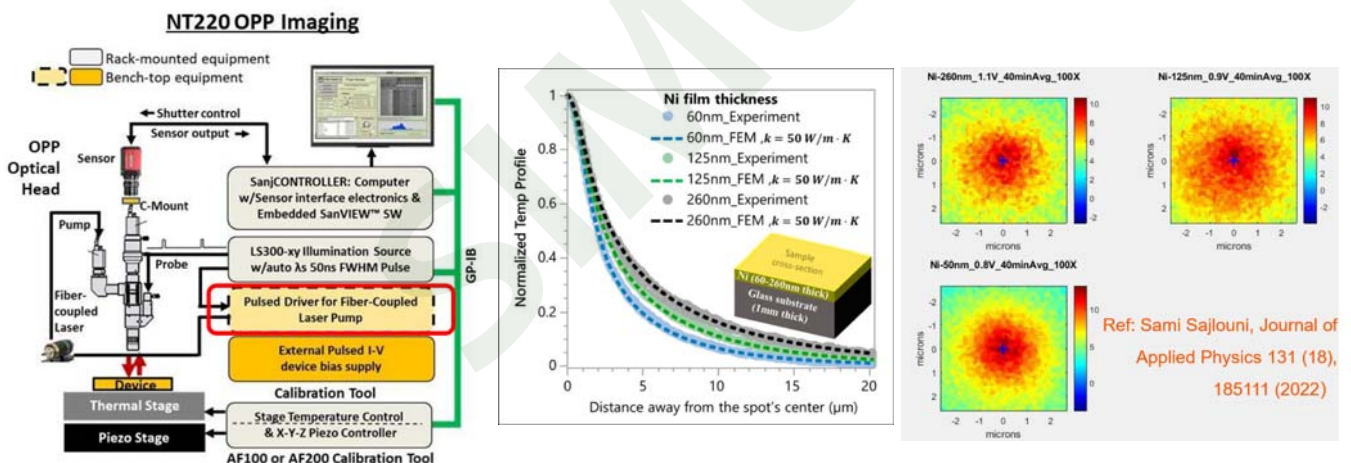
➤ 用作探测光的皮秒级别激光器及驱动：用于代替 LED 作为探测光源；可以通过光纤导入到光学系统中；

➤ 用作激励源的激光器及驱动：由于传统的脉冲电源，其时间响应达不到皮秒级别；往往需要通过脉冲激光来给待测样品施加光激励，实现光致发热；可以通过光纤导入到光学系统中。

NT220升级选项：光激励发热

➤ 使用脉冲激光器代替脉冲电源来给待测样品的表面施加激励；将可测试样品从器件扩展到材料；

➤ 可以利用百万像素级别的热成像图研究材料表面的一致性。

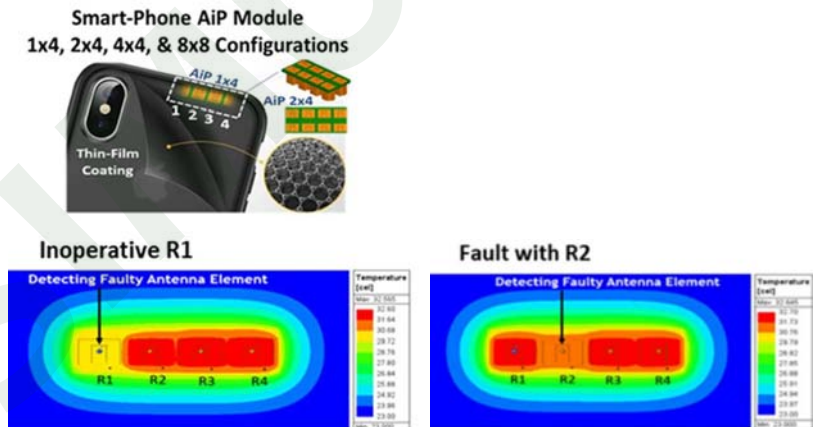
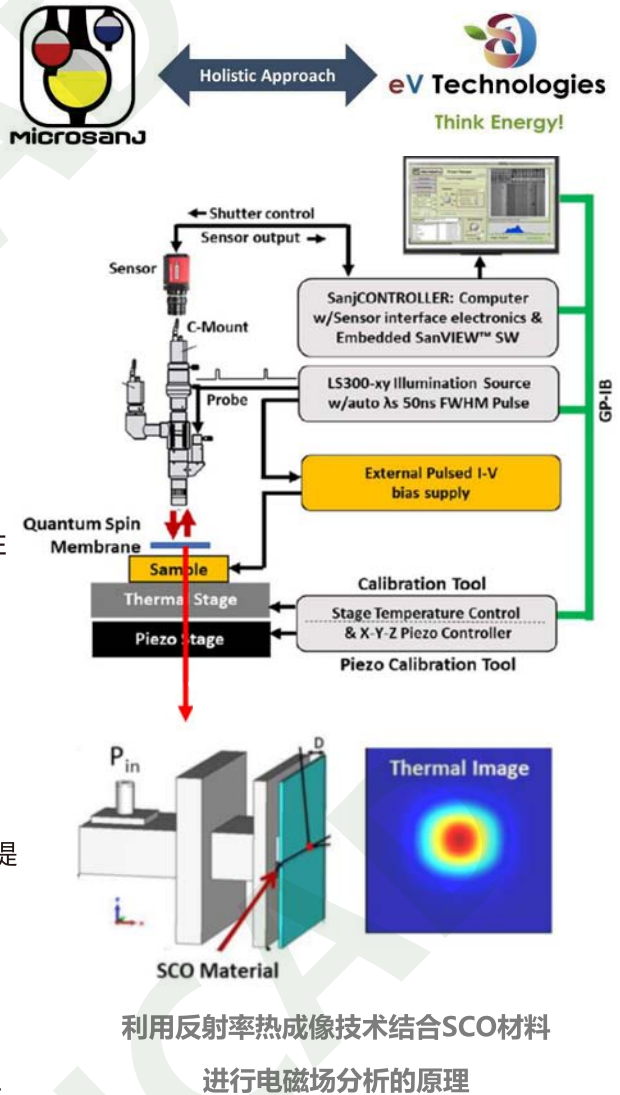


光激励发热的原理及应用

emSCOPE：利用热成像技术进行电磁场分析

- emSCOPE是用于分析微波，毫米波AoC, AiP和PCB天线阵列的工具；该方法无需使用耗时的，复杂的消声室来对天线进行测试；
- emSCOPE在测试天线时，会在测试样品和反射率热成像系统的镜头中间放一块eV Technologies专门研发的基于量子自旋交叉（SCO）的材料；
- SCO材料会对包括电磁场在内的多种外部物理刺激进行响应，进而转换为温度场，最终被SanjSCOPE系统捕捉；
- SCO材料作为将电磁场转换为热能的变换器，不需要和待测样品直接接触；
- emSCOPE是一种非破坏性的，快速的测试方法，提供了优秀的温度分辨率和空间分辨率；
- 失效的天线元素可以被快速地识别，定位；
- 无需使用耗时的，复杂的消声室来对天线进行测试；
- 可测试的天线类型包括：

- 芯片级
- 封装级
- PCB板级
- 系统/天线级



智能手机 AiP 1x4 天线阵列近场测试结果

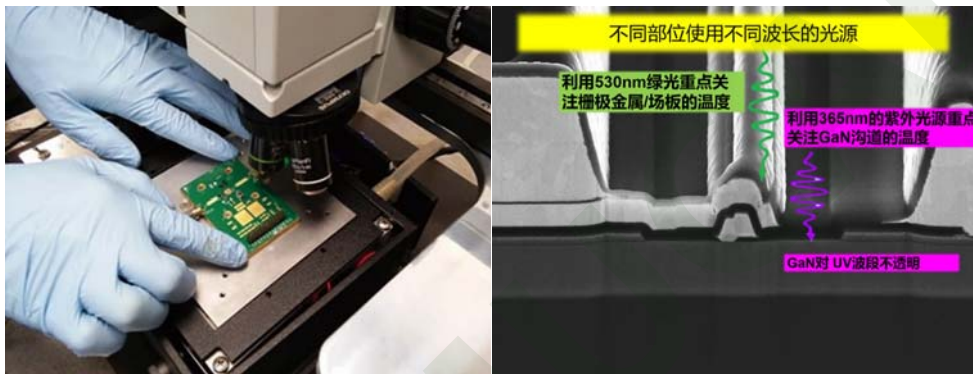
测试案例

GaN HEMT

案例一 器件 CREE GH40035F测试结果

不同部位使用不同波长的光源：

利用 530nm绿光测试栅极金属/场板的温度；利用 365nm的紫外光测试 GaN沟道的温度。

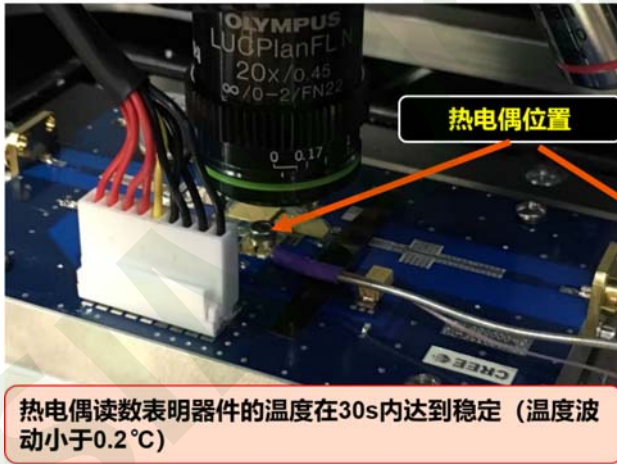


测试装置

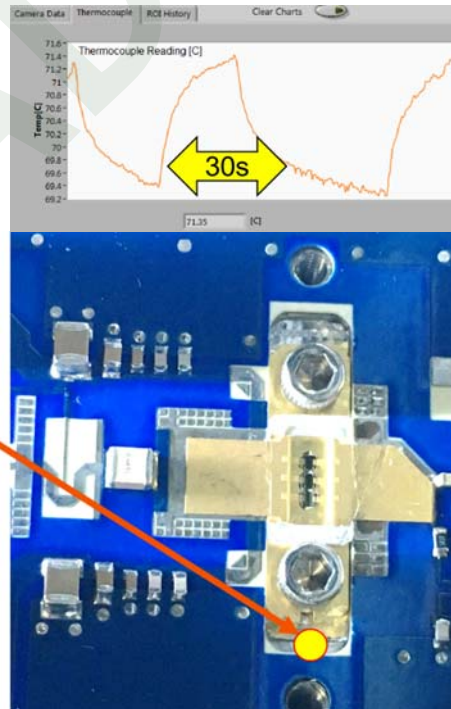


测试条件

- * 偏置条件：28V, 500mA；
- * 加热时间：>30s；
- * 基板温度：70°C。



热电偶读数



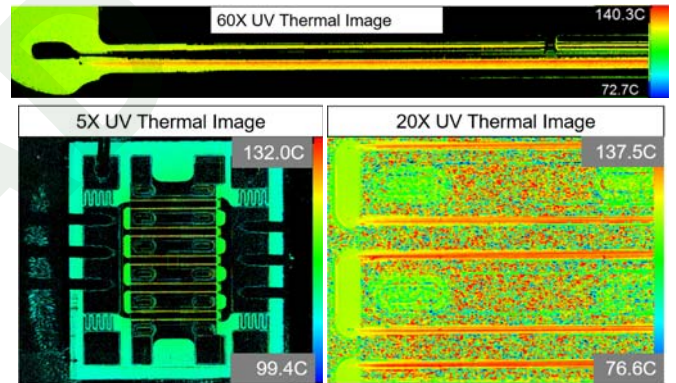
测试结果概览

表中的温度为峰值温度，利用 UV光源准确读取 GaN材料的峰值温度，利用 530nm光源准确读取金材料的峰值温度。

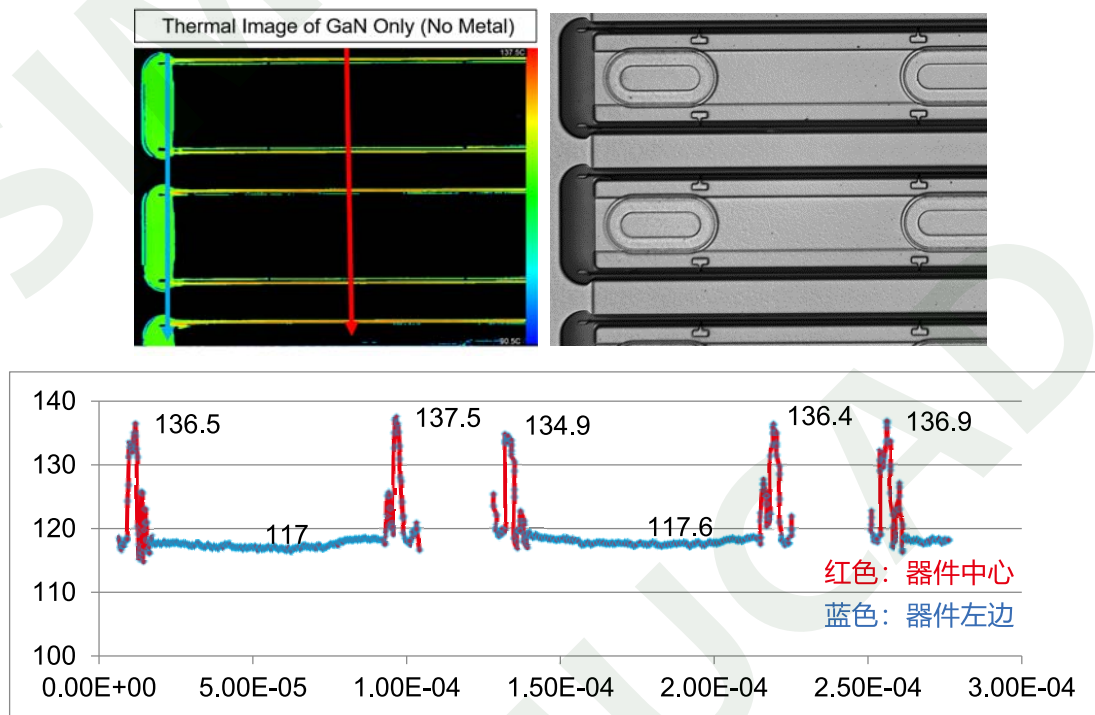
峰值温度[°C]					
结构	530nm/UV	UV	UV	530nm	各种情况下最大值[°C]
	参考光源放大倍数 5X	20X	60X	100X	
GaN (UV)	131.4	138.0	140.3		140.3
Gate	133.0			139.0	139.0
Drain	123.6				123.6
Source	118.2				118.2
Source Via	115.4			121.0	121.0
Side GaN (UV)	112.3	117.5	117.7		117.0

UV参考光源下，不同放大倍数结果比较

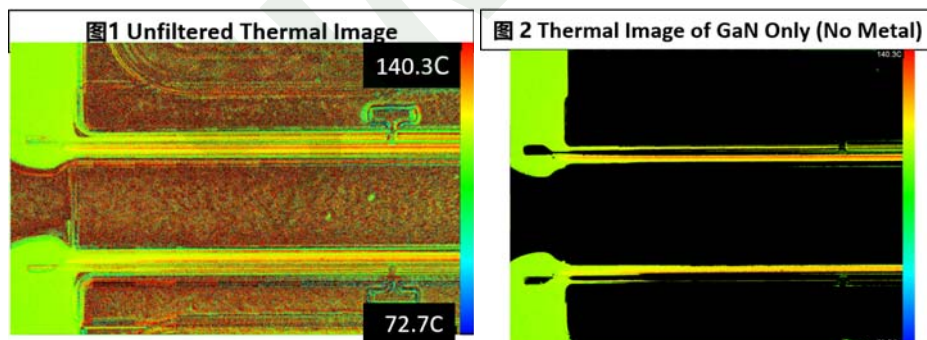
结构	530nm	UV	UV	530nm	Over All 峰值温度 [°C]	
	参考光源 放大倍数	5X	20X	60X		100X
GaN		131.4	138.0	140.3	N/A	140.3
Gate		133.0	N/A	N/A	139.0	139.0
Drain		123.6	N/A	N/A	N/A	123.6
Source		118.2	N/A	N/A	N/A	118.2

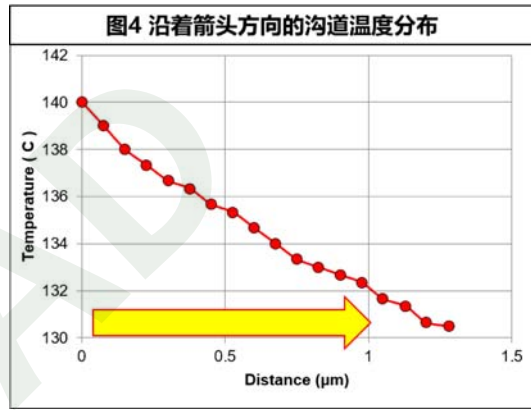
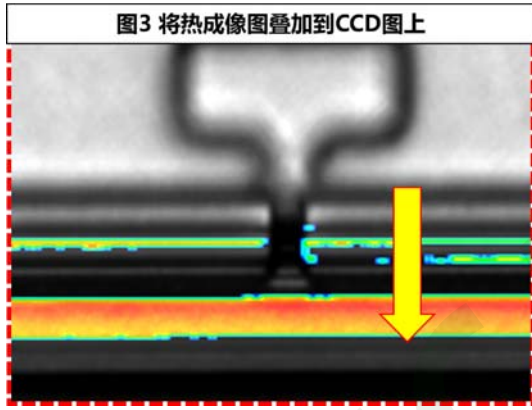


20X UV 剖面数据分析

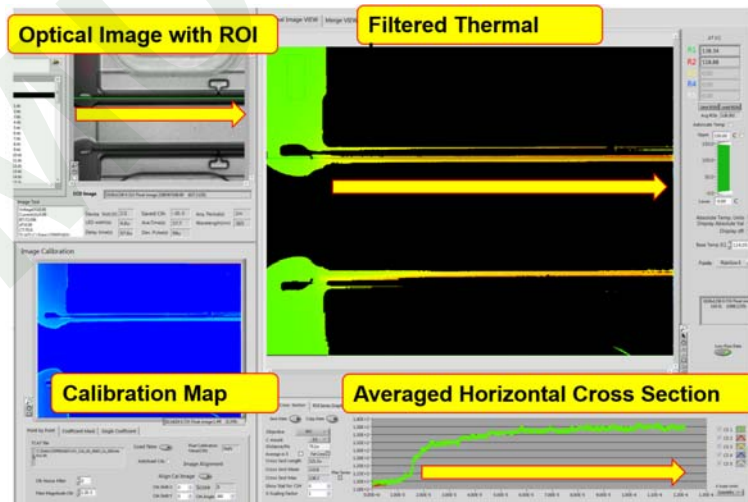


60X UV沟道内部温度分布结果

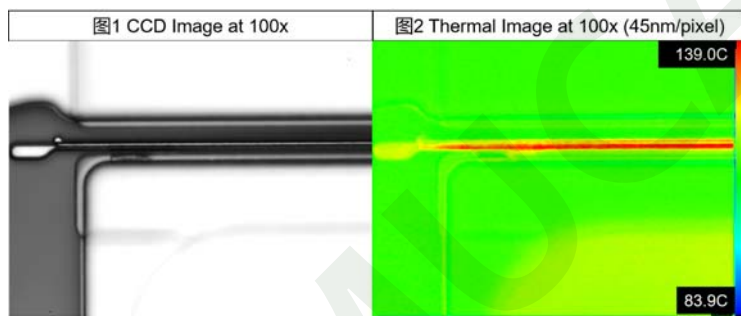




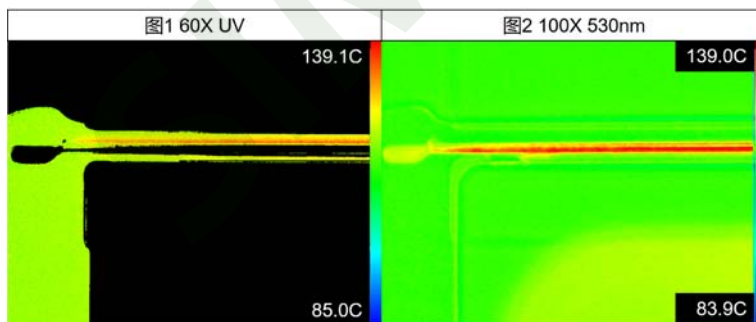
60X, UV结果: 沿着 GaN沟道方向剖面数据分析



100x 530nm 热成像测试结果 (100X, 数值孔径0.8)



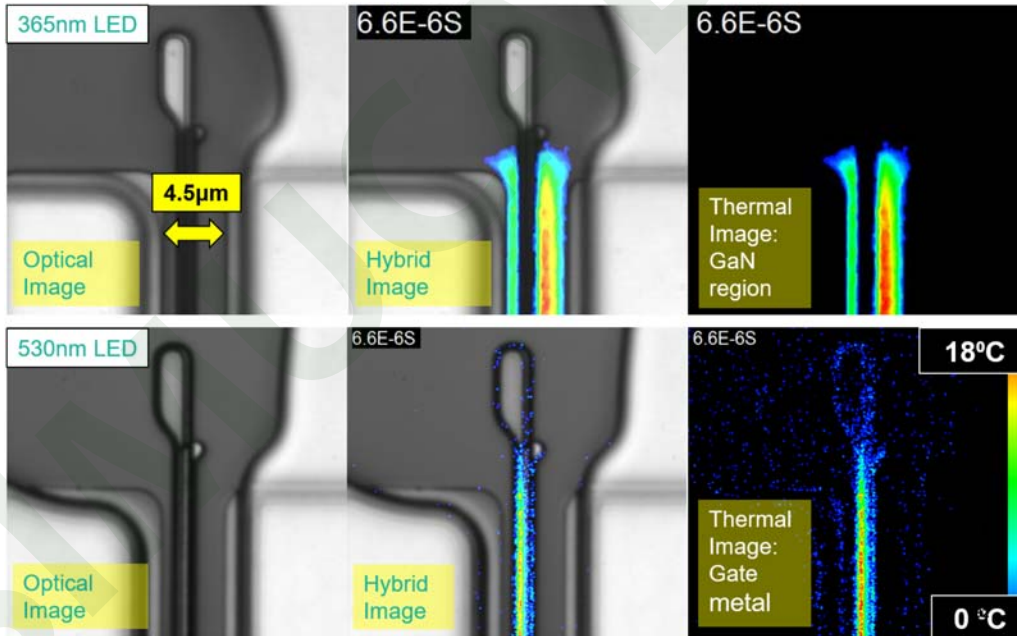
60X, UV与 100X, 530nm结果的对比



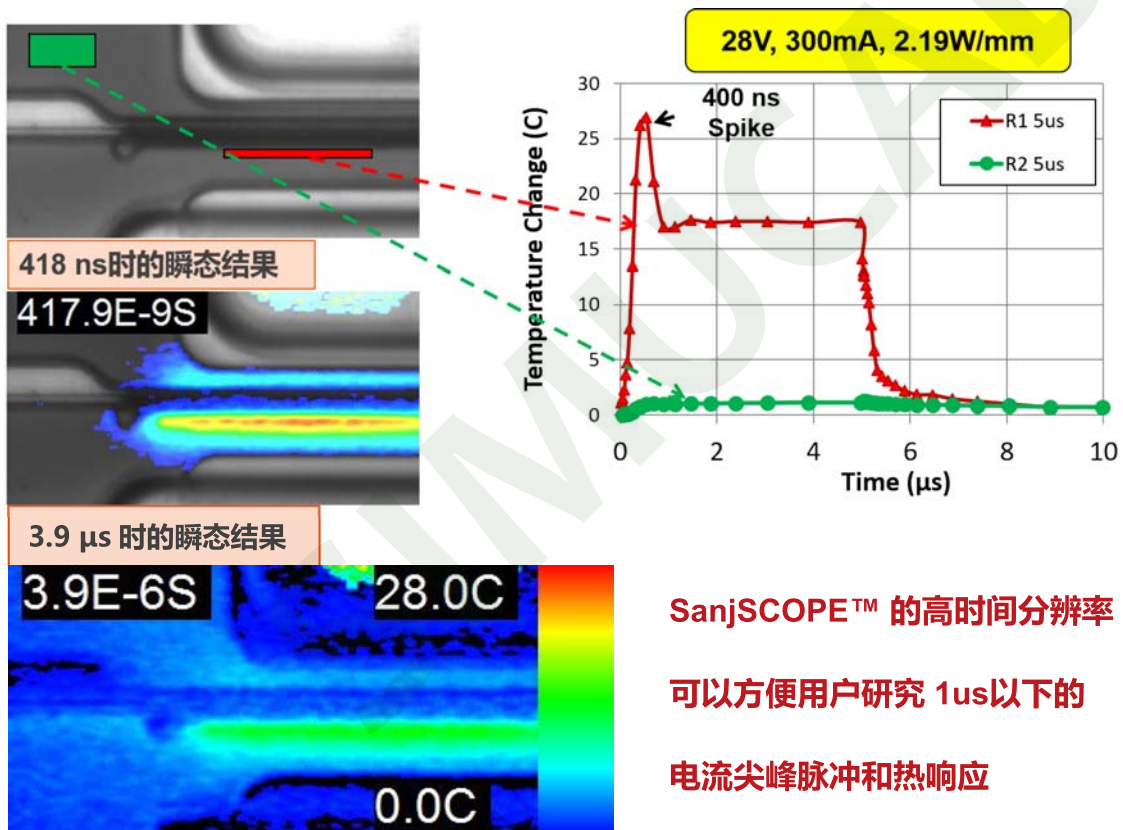
显示在 GaN区域的温度分布

显示栅极金属的温度分布

案例二：365nmUV与 530nm可见光测试结果对比（加热时间 6.6 μ s）



瞬态测试结果



SanjSCOPE™ 的高时间分辨率
可以方便用户研究 1 μ s以下的
电流尖峰脉冲和热响应

案例三： GaN on SiC vs GaN on 金刚石的衬底界面

如图1所示，尽管金刚石材料的导热系数更高，可以使得衬底的热阻更低，但是金刚石的接触热阻却远远大于SiC材料，所以在这个样品中，金刚石衬底并未产生预期的效果。因此客户在图2的新样品中改进了接触界面的工艺，从而降低了金刚石衬底的总热阻。

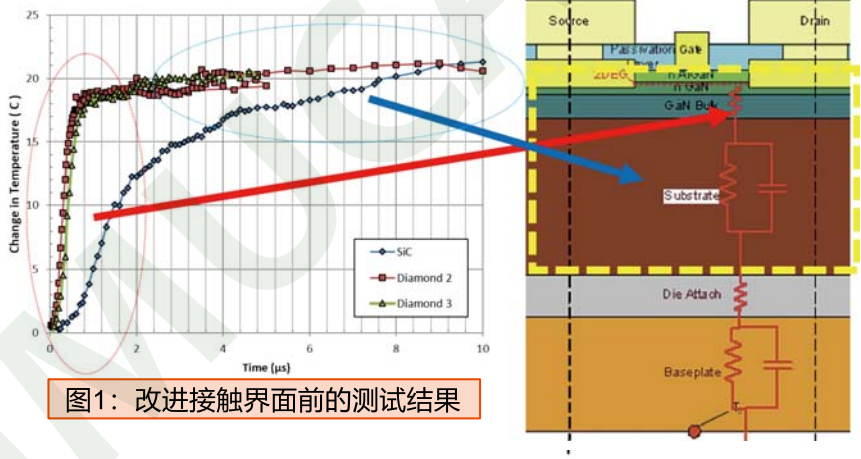


图1：改进接触界面前的测试结果

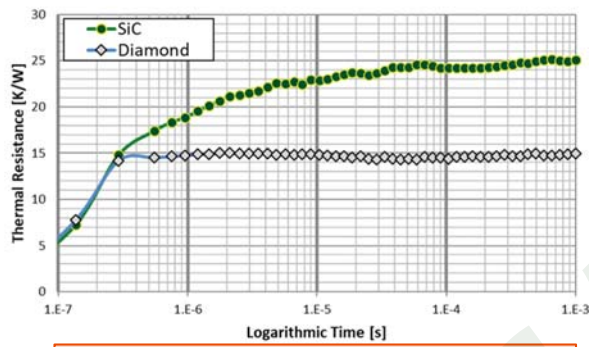
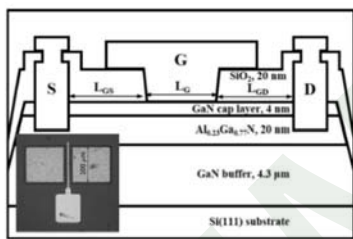
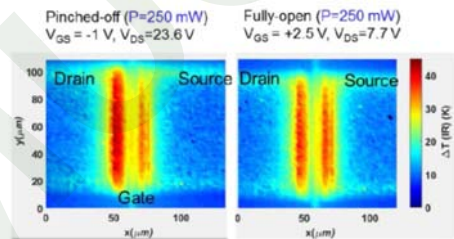


图2：改进接触界面后的测试结果

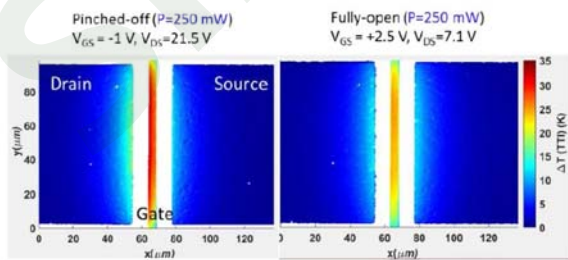
案例四：利用 TR的高空间分辨率校准仿真模型



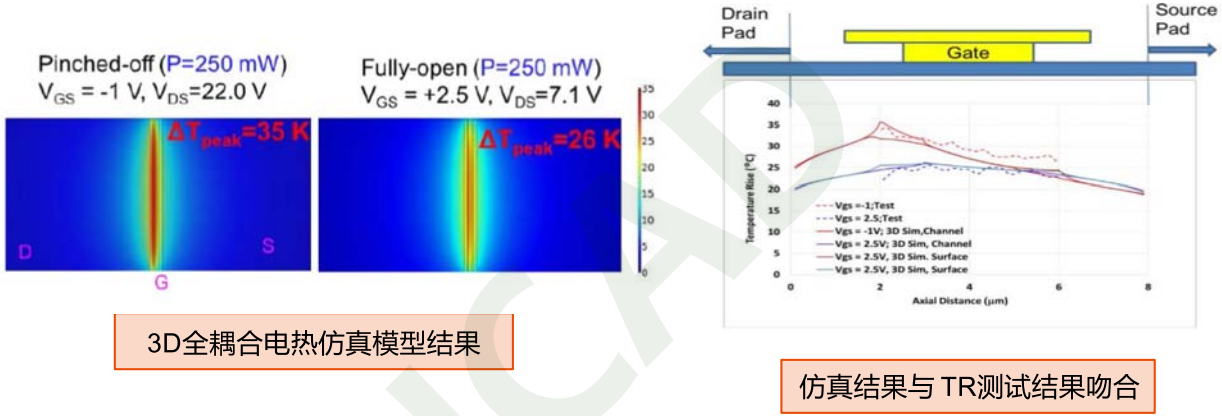
器件结构



IR结果



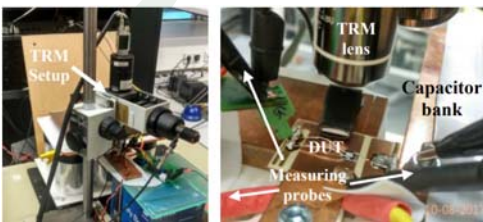
TR测试结果



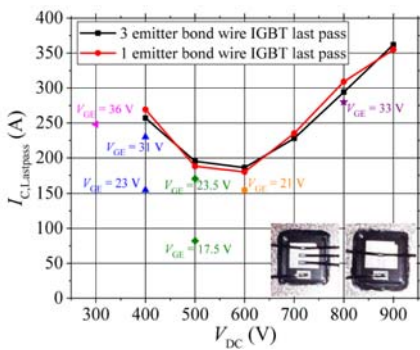
测试案例：功率 IGBT 器件

IGBT 的 current filament 现象

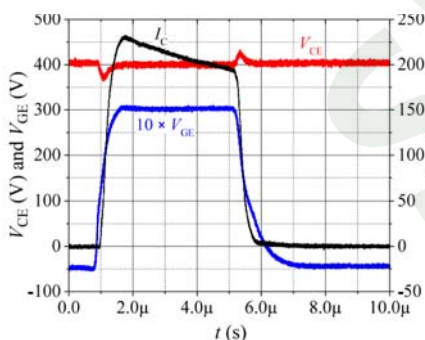
Low inductive Short-Circuit Setup



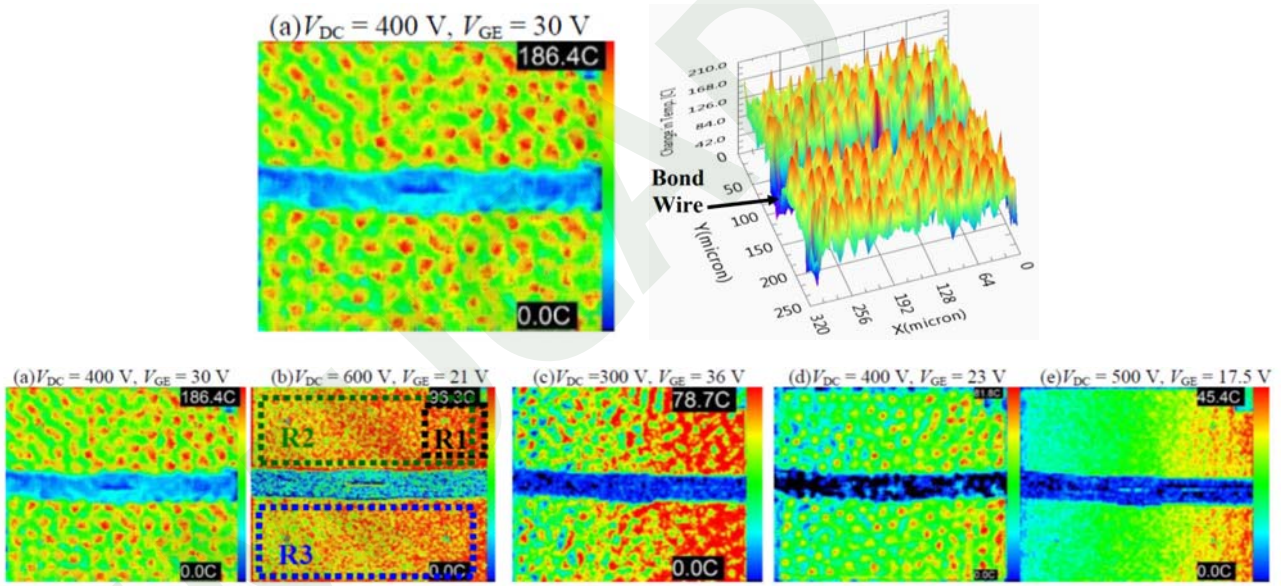
测试装置；
DUT 直接焊接在 DCB 上；
使用 SanjSCOPE™ NT 系列测试芯片表面 Al 金属的温度分布；
通过施加重复的短路状态，来提高温度灵敏度；
在低于损坏器件的极限值下，测试不同的 V_{DC} 下的温度分布。



研究表明关键的短路电流与表明金属 Al 金属层上的键合线数量无关；
因此可以采用只有一个键合线的器件来进行 TR 成像研究。



反射率热成像结果



- 在 $V_{DC}/V_{GE} = 300\text{ V}/36\text{ V}$, $400\text{ V}/23\text{ V}$ 和 $500\text{ V}/17.5\text{ V}$ 的偏置条件下, 同样也出现了filament现象;
- 对于上图 (d) 和 (e) 中的情况, 当 $V_{DC}=400\text{ V}$ 和 500 V 时, V_{GE} 远小于 30 V 的极限值也出现了, 说明了在很大的范围内, 都会出现非破坏性的 filament;
- 当 V_{DC} 达到 400 V 时, filament出现的模式就已经出现规律了。

瞬态结果

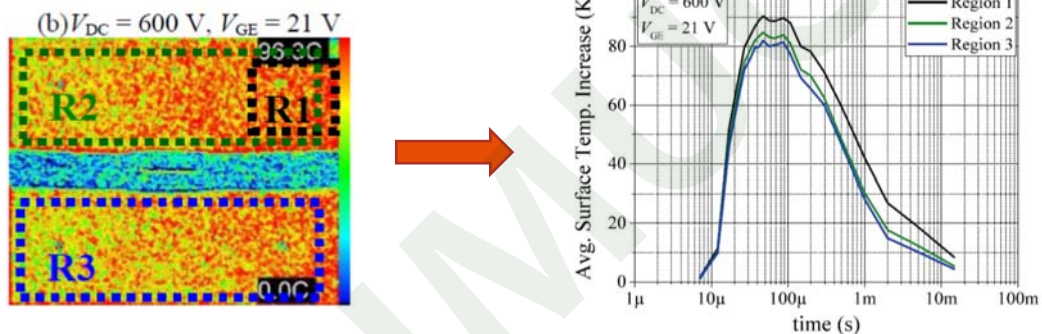
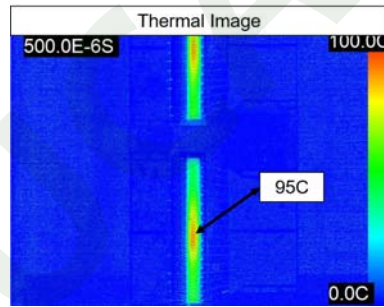
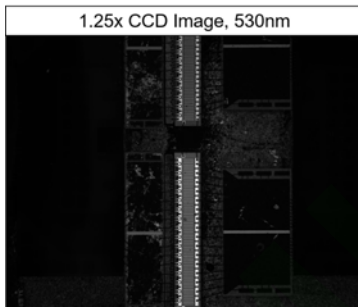


Fig. 11. Measured average surface temperature profile on top of the Al metallization from three different regions with respect to time.

- 热量从内部传递到芯片表面需要一定的时间, 最开始的温升出现了延迟;
- 50us 后, 温度达到最大值并保持稳定, 持续了 50us 后开始下降;
- 10ms 后, 温度回到了初始温度。

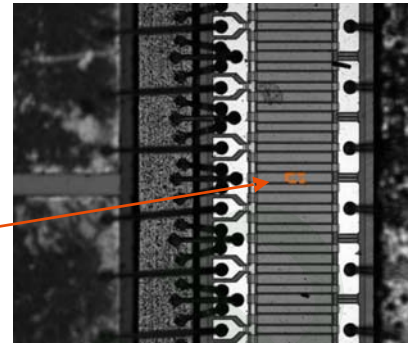
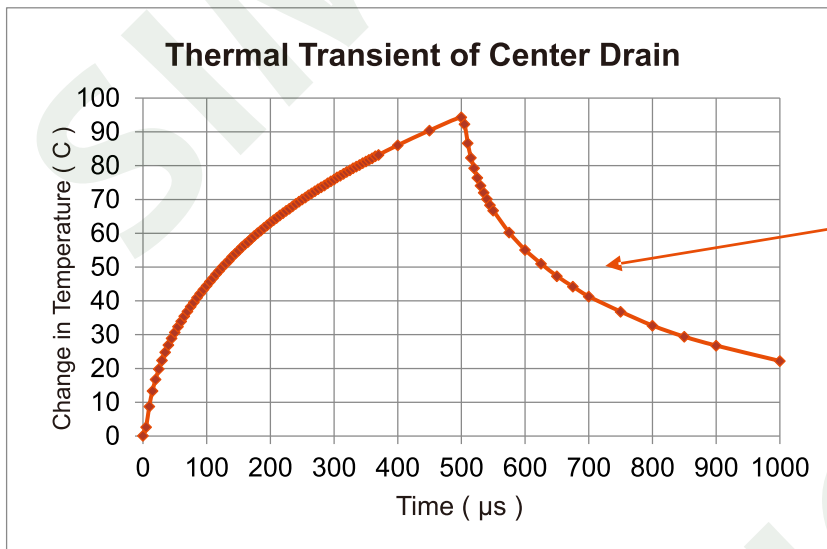
测试案例：HPA

HPA 1.25X反射率热成像



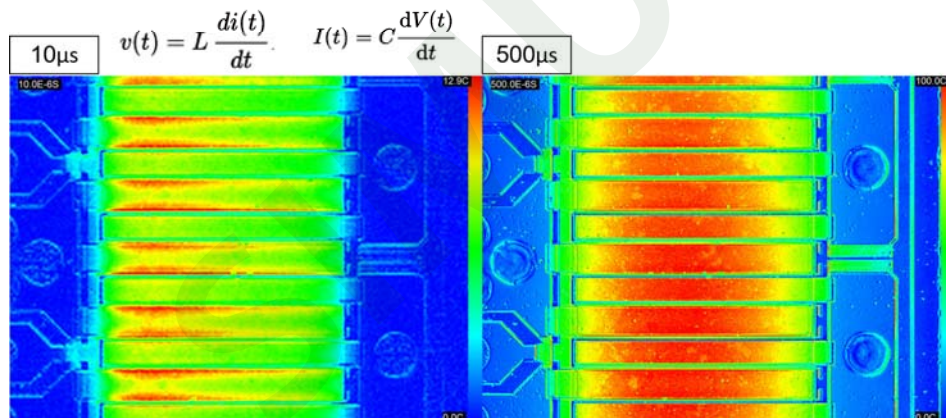
- * 测试条件：30°C 基板温度
- * 偏置条件：Vg -2.5V, 150W RF射频
- * 加热时间：500us
- * 物镜：1.25X
- * 530nm LED

500μs 瞬态测试数据



- * 50X, 500μs, 占空比：20%
- * 基板温度：39°C
- * 偏置条件：Vg -2.5V, 150W RF Power
- * 530nm LED

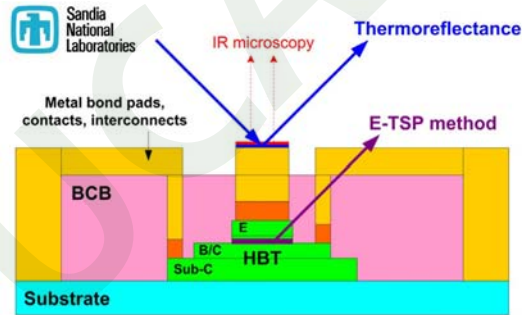
10μs 和 500μs 热成像对比



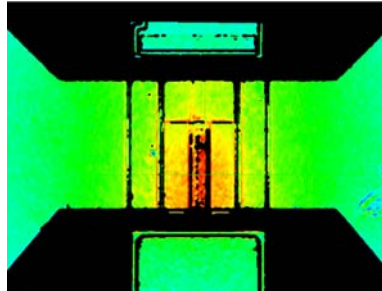
- * 上图显示了在加载射频信号的前提下，10us 和 500us 的分布图，10us 的结果显示出了更强的非对称性。

测试案例：HBT

案例一：某典型 HBT 的结构

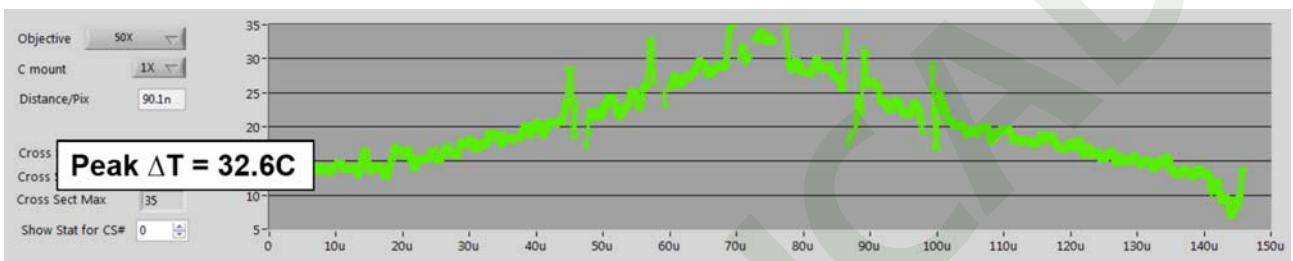


50x 稳态热成像

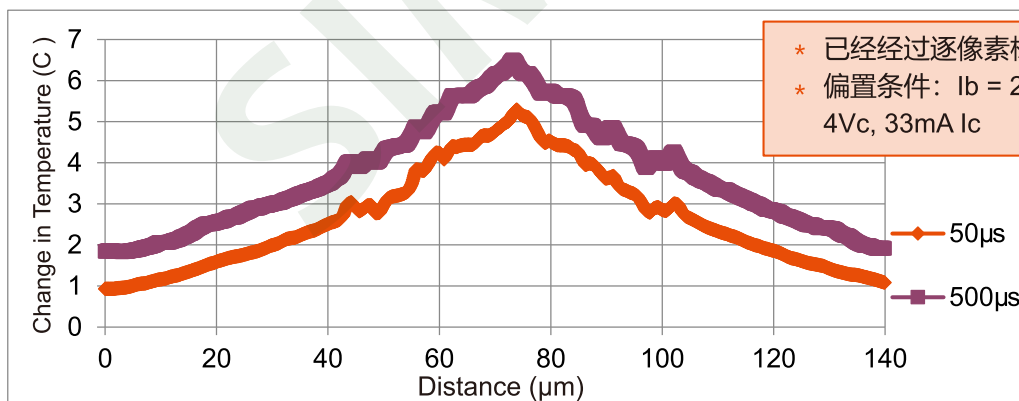
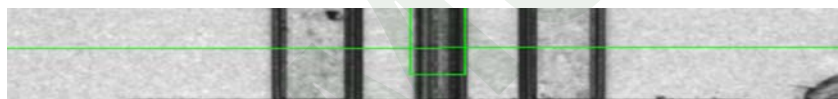


- * 已经过逐像素标定
- * 偏置条件: $I_b = 3.3\text{mA}$, 6Vc , 54mA Ic

* 器件垂直结构的边缘部分，由于其反射光不能回到探测器，在成像结果中会出现温度过高的伪影。在该结果中已经将这部分边缘伪影过滤掉了。

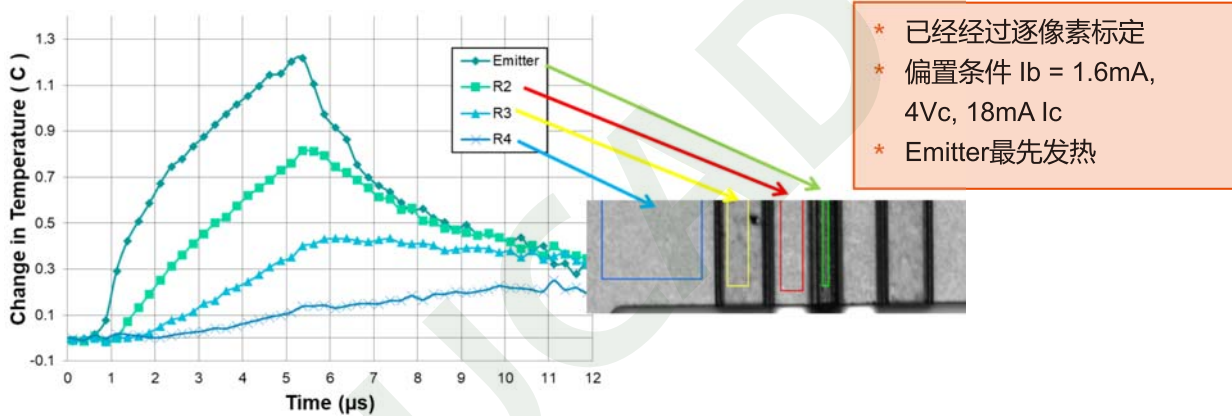


瞬态热成像剖面数据分析



- * 已经过逐像素标定
- * 偏置条件: $I_b = 2.2\text{mA}$, 4Vc , 33mA Ic

5μs 脉冲响应

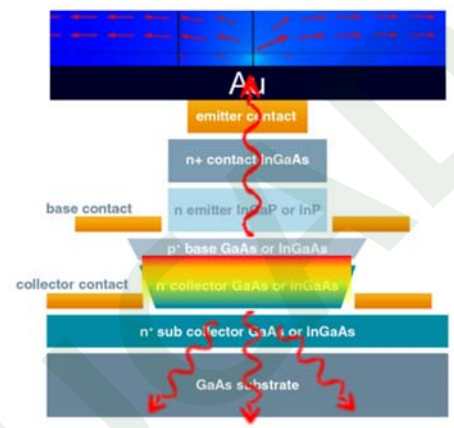
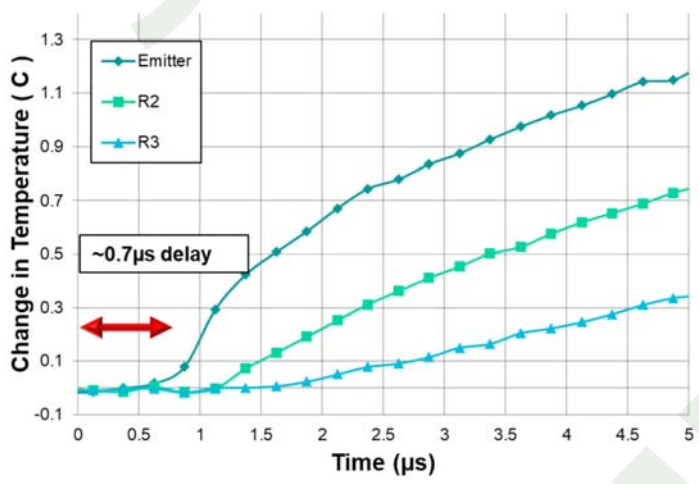


热扩散时间

* 热量从结区扩散到表面的发射极区域，需要耗费一定的时间 (0.7us)

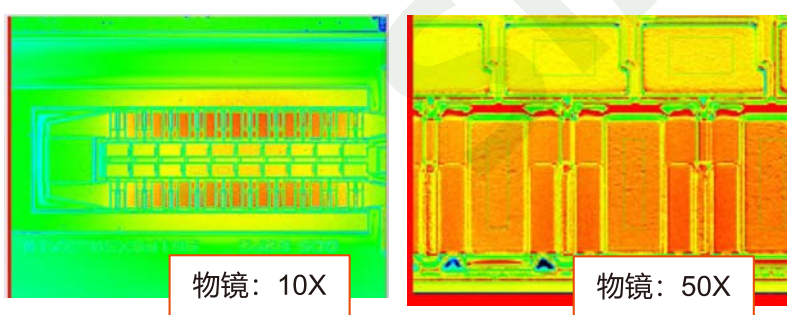
$\mu_t = 2\sqrt{\alpha t}$ Effective thermal diffusion length (in the time domain, for pulsed heating)
 $\mu = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega}}$ Thermal diffusion length (in frequency domain, for periodical heating)
 $t = \frac{\mu^2}{4\alpha}$

	SiO ₂	Silicon	Copper
Thermal Diffusivity (cm ² /sec): α	0.0083	0.88	1.11
Distance: d	Diffusion Time: $\tau = d^2/4\alpha$		
1 micron	300 ns	2.8 ns	2.3 ns
10 microns	30 μs	280 ns	230 ns
100 microns	3 ms	28 μs	23 μs



案例二：另一款 HBT 稳态测试结果

* 偏置条件: Vce=3V, Ice=155mA, Ibe=2mA
 * 物镜: 50X, 参考光源: 530nm



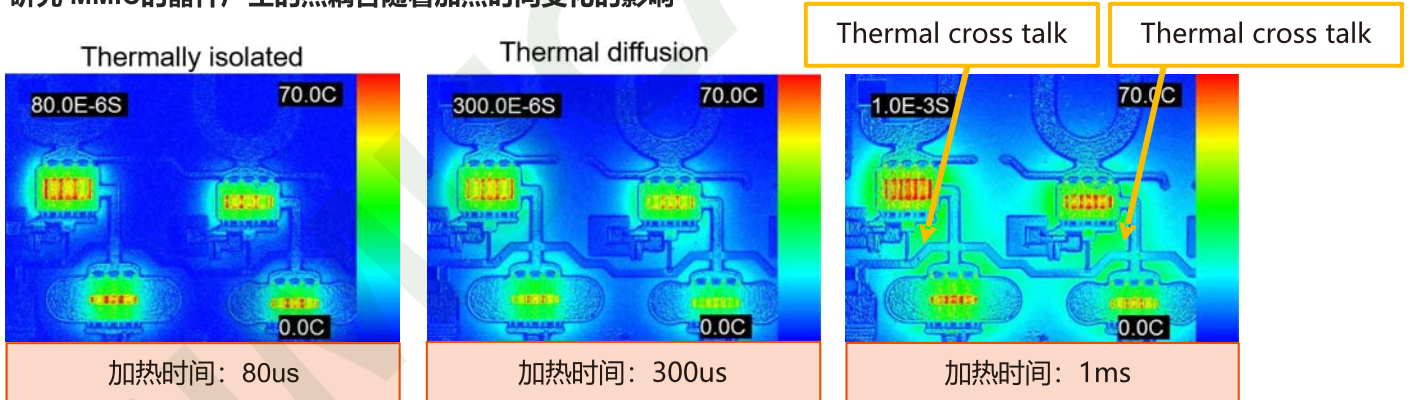
	10x	50x	$\Delta(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\%$
R1	30.73	30.91	0.18	0.6%
R2	30.48	30.51	0.03	0.1%
R3	29.96	29.88	-0.08	-0.3%
R4	26.92	26.66	-0.26	-1.0%
R5	27.34	27.26	-0.08	-0.3%

结论：相同区域在不同放大倍数下的温度误差小于 0.6%

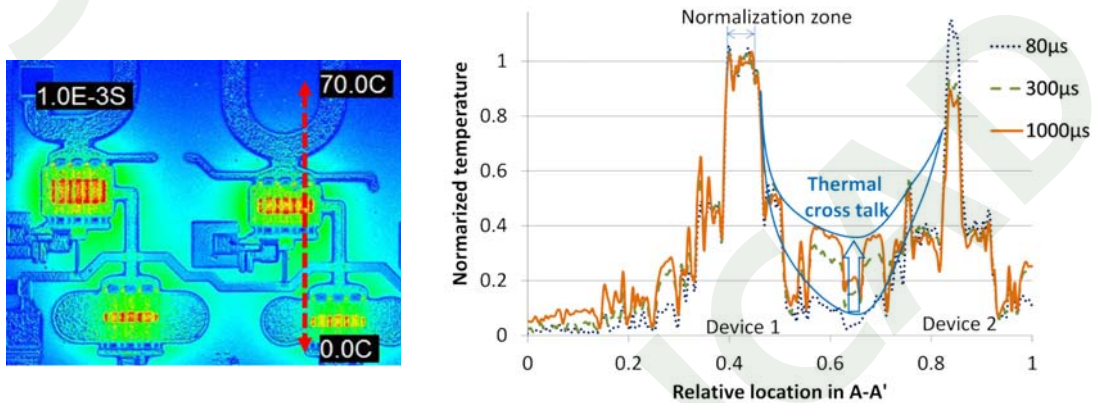
测试案例: MMIC

利用瞬态测试研究 MMIC热耦合过程

研究 MMIC的器件产生的热耦合随着加热时间变化的影响

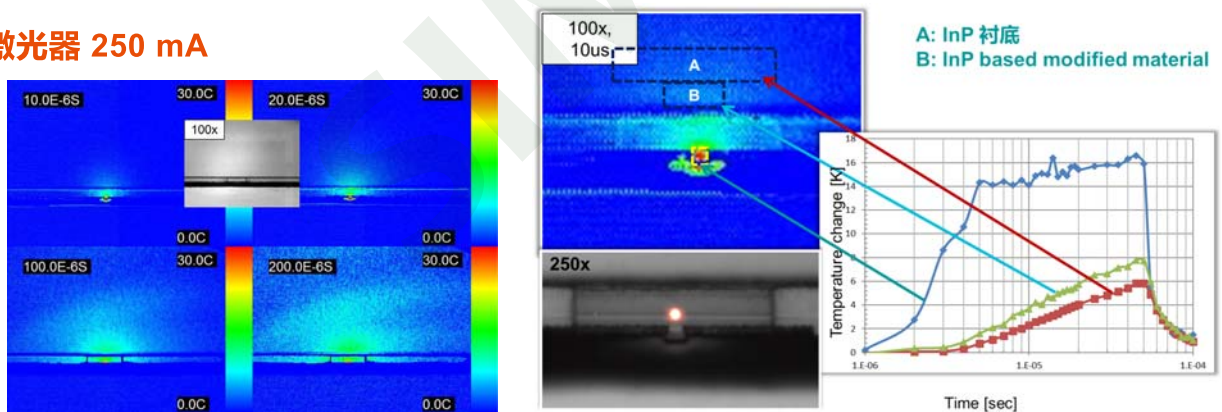


1ms时热耦合剖面数据分析



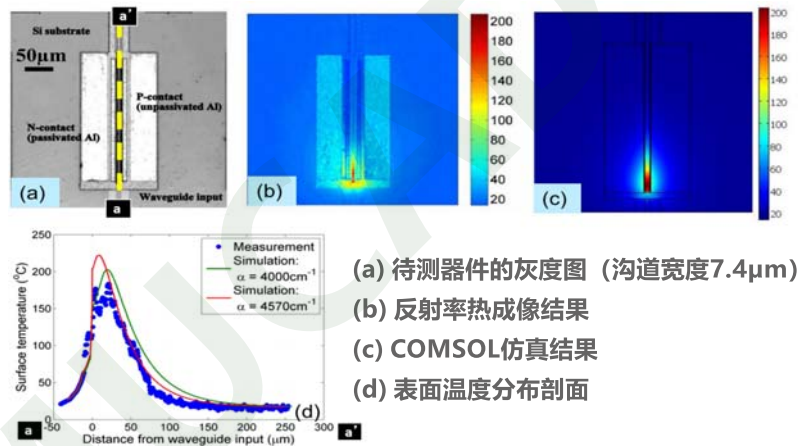
测试案例 光电子器件

InP 激光器 250 mA



Ge/Si p-i-n 波导光电二极管

表征光电子器件的性能并验证热仿真



(a) 待测器件的灰度图 (沟道宽度 $7.4\mu\text{m}$)

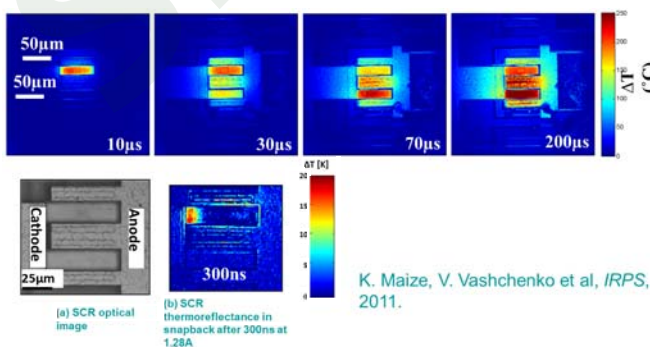
(b) 反射率热成像结果

(c) COMSOL仿真结果

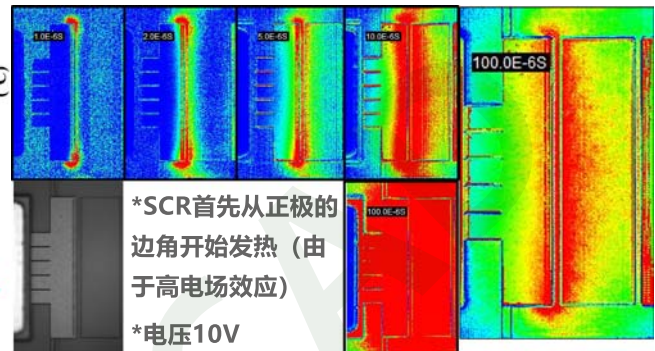
(d) 表面温度分布剖面

测试案例：ESD静电保护器件

SCR的瞬态发热过程



SCR的瞬态热响应



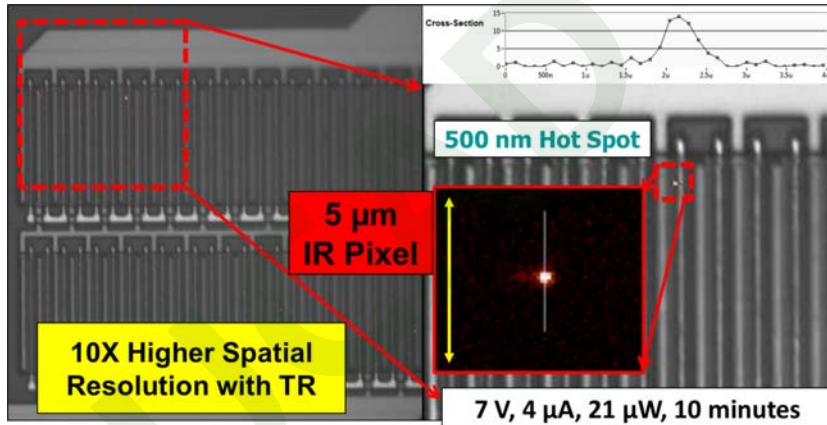
- 实验显示了 ESD 从 10us 到 200us 的温度分布图；
- 具有对称结构，发热却不均匀，其发热过程与时间相关，这是由于电流分布是一个时间的函数；
- 最初的 300ns 的瞬态响应体现了强烈的局部加热效应。

测试案例：失效分析

失效分析

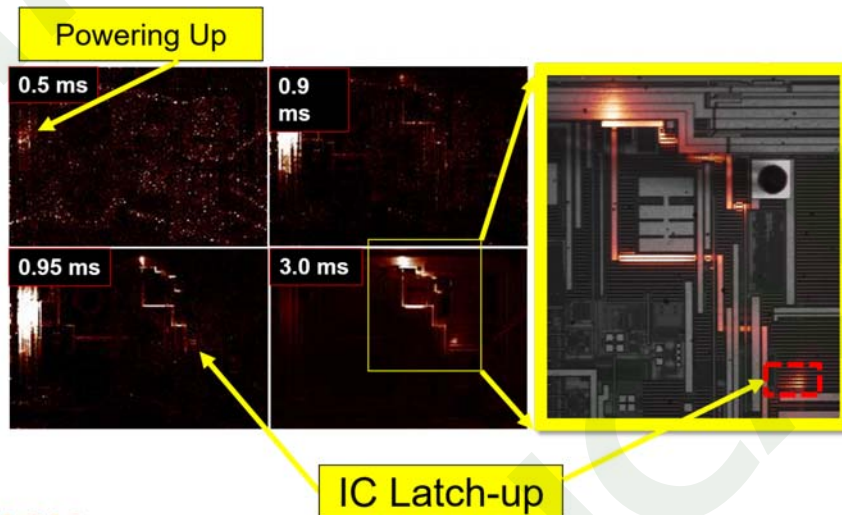
- 由于大多数的缺陷或者失效都会引起发热，因此热成像技术可以作为最基本的 FA 工具；
- TR 技术拥有极高的空间分辨率，因此可以准确地定位尺寸较小的失效点；
- TR 技术拥有极高的时间分辨率，因此可以研究失效点随时间的瞬态变化过程。

在 100X镜头下观察尺寸<500 nm 的栅极氧化层缺陷

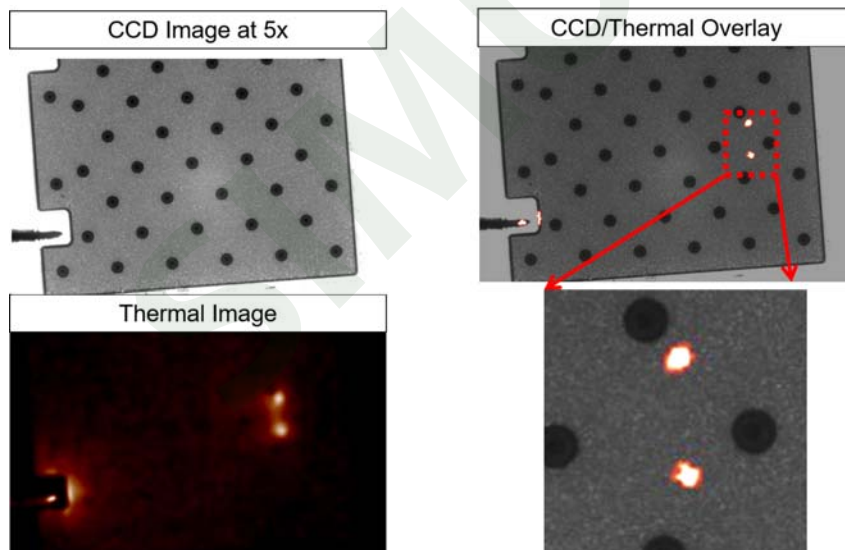


闩锁效应的瞬态变化过程

- 快速的瞬态热成像技术方便用户观察失效点随着时间变化的过程；
- 在瞬态测试过程中，可以将失效集中在局域范围，预防损坏器件。



倒装焊 LED失效分析

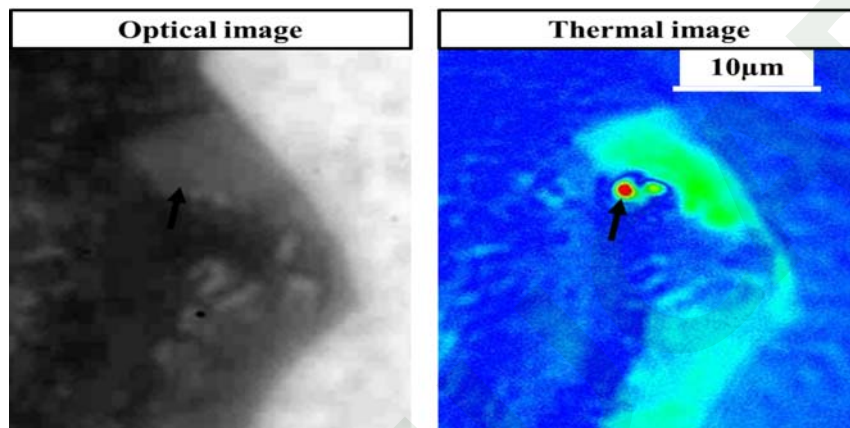


SiC MOSFET器件的热点探测



研究太阳能电池背面由于划片槽引起的分流缺陷

- 钼划痕缺陷的直线距离 < 900 nm;
- 在光学成像图里面看不到明显的缺陷。



部分客户名单

清华大学
复旦大学
上海大学
西安电子科技大学
北京航空航天大学杭州创新研究院
华为技术有限公司
中国电子技术标准化研究院 (电子四院)
中国电子产品可靠性与环境试验研究所 (电子五所)
季华实验室
三安集成电路
中科院西安光机所
Intel Corporation 英特尔
Apple 苹果
Qualcomm 高通
Raytheon 雷神
Analog Devices 模拟器件
Air Force Research Lab
Radiant Optronics Pte Ltd
Protochips, Inc.
ATN Japan
Western Digital
Silicon Image
MaCOM Ireland
Mellanox-Kotura
Georgia Tech

Test Asia Equipments Pte Ltd
Design Engineering Inc.(DEI)
Chip Test Solutions
Infinera
BSW Test Systems AG
Birck Nanotechnology Center
University of Cincinnati
Penn State University
University of Surrey
加州大学伯克利分校
National University of Singapore
Instituto de Microelectronica de Barcelona
University of California at Santa Barbara
Nanyang Technological University of Singapore
Air Force Research Lab

合作研究机构

Agilent Technologies
Sharp
Altera Corporation
Silicon Frontline
A*Star Singapore
SimTech
CNES
Si-Ware Systems
ESA
Stanford University
Georgia Tech
ST Microelectronics
.....

扫码关注

上海坤道公众号



扫码访问

上海坤道官方网站



更多关于产品的信息，请联系：

上海坤道信息技术有限公司
Shanghai SimuCAD Information Technology Ltd.
中国·上海市虹口区西江湾路388号凯德虹口商业中心A座2502室
电话：021 62157100，021 62555891
传真：+86 21 62151794
邮箱：info@simu-cad.com
网址：www.simu-cad.com

Copyright © 2024 SimuCAD Ltd.

Mentor Graphics, FloTHERM/XT, FloEFD, FloVENT, Flowmaster and T3Ster are registered trademarks of SIEMENS/Mentor Graphics Corporation.

