

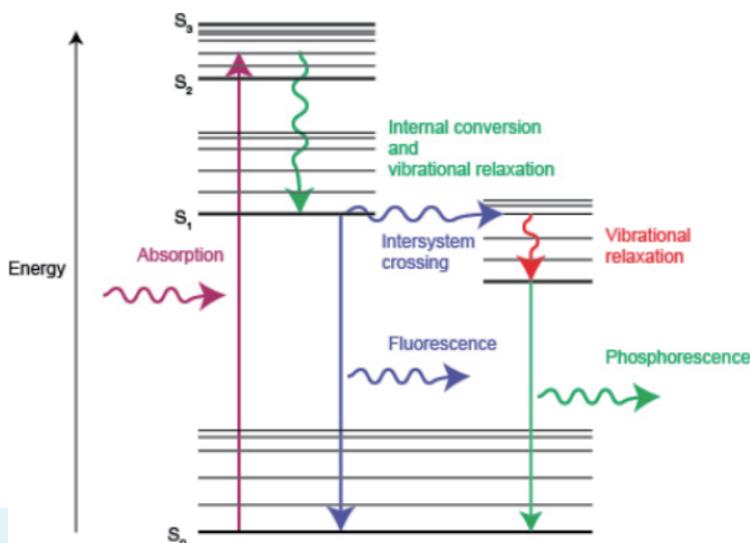
SPM900 半导体晶圆缺陷与少子寿命测试系统

PL测试是一种无损的测试方法，可以快速、便捷地表征半导体材料的缺陷、杂质以及材料的发光性能。其主要功能包括：1) 组分测定；对三元或四元系合金，如InGaN等，通过PL峰位确定半导体材料的禁带宽度，进而确定材料组分X；2) 杂质识别；通过光谱中的特征谱线位置，可以识别材料中的杂质元素；3) 杂质浓度测定；4) 半导体材料的少数载流子寿命测量；5) 位错等缺陷的相关作用研究。

BASIC PRINCIPLES

基本原理

光致发光大致经过光吸收、能量传递及光发射三个主要阶段，光的吸收及发射都发生于能级之间的跃迁，都经过激发态。而能量传递则是由于激发态的运动。光吸收：样品受到紫外或可见光的照射，导致材料中的电子跃迁到高能态，在价带留下空穴，电子和空穴各自在导带和价带中占据最低激发态，即导带底和价带顶，成为准平衡态，也是一种暂态，不稳定状态，能量传递：准平衡态下的电子和空穴复合发光，产生特定波长的光子，激发的电子在一段时间后返回到低能态。光发射：在电子返回低能态的过程中，释放出能量，以光子的形式发射出来。电子跃迁到不同的低能级，就会发出不同的光子，但是发出的光子能量肯定不会比吸收的能量大。这发射的光子具有不同的波长，可用于研究材料的性质。通过探测光的强度或能量分布得到曲线，形成光致发光谱(PHOTOLUMINESCENCE SPECTROSCOPY, 简称PL谱)。



主要应用与功能

组分测定

通过测量光致发光峰位来确定半导体材料的禁带宽度，从而推断材料的组成。例如， $\text{MAPBI}_x\text{BR}_3\text{-X}$ 的带隙随X值而变化，因为发光的峰值波长取决于禁带宽度且禁带宽度和X值有关，因此通过发光峰峰值波长可以测定组分百分比X值。

杂质识别

通过测量材料的光致发光光谱，标定特征谱线的位置，可以识别材料中的杂质元素，以及对杂质浓度进行测定。

位错缺陷研究

光致发光可以提供有关材料的结构、成分及环境原子排列的信息，是一种非破坏性的、灵敏度高的分析方法。光致发光光谱可以用来研究晶体缺陷，例如离子空位和取代，这对于钙钛矿这样的材料尤其重要。过多的缺陷会导致电子与空穴进行非辐射复合并以热能的形式耗散，降低材料的光致发光性能以及光伏性能。

载流子寿命研究

可以通过强度相关的光致发光寿命测量,确定载流子扩散的影响以及其对总体寿命的影响。



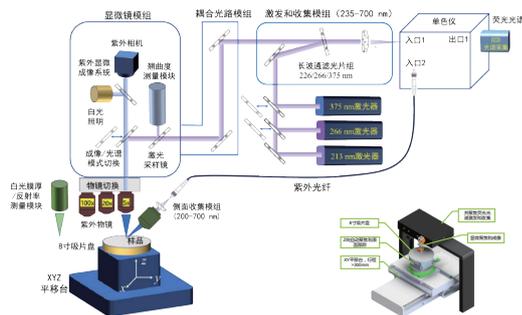
MEASURED DATA

实测数据

晶圆级半导体光致发光谱测试系统 (稳态 / 时间分辨) Wafer-scale Semiconductor Photoluminescence (PL) Mapping System (Steady-state / Time-resolved)

针对光电半导体晶圆的发光特性检测需求, 以共聚焦方式在晶圆表面逐点采集光致发光光谱并成像。

- 整晶圆上的荧光强度、波长、寿命等发光参数的一致性评估
- 杂质、缺陷、组分等对复合机制的影响



产品特性和核心技术:

● 激光自动聚焦	● 可选配正方向和侧向双路荧光接收光路。
● 自主研发的激光辅助离焦传感器: 可在荧光光谱测量的同时工作, 能够在晶圆圆的范围内扫描时实现实时自动聚焦和表面跟踪。	● 应对AlGaIn等深紫外半导体选择定则造成的侧面出光情形。
● 提供紫外到可见多个不同波长的激光激发, 可按用户需求选配。	● 全自动操作。
	● 提供自动化的控制软件和数据处理软件, 全软件操作。

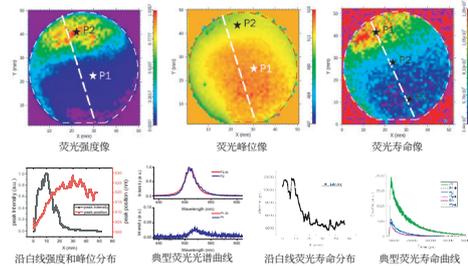
性能参数:

荧光激发和收集模块	激发波长	213 / 266 / 375 / 405 nm
	自动对焦	在全扫描范围自动聚焦和实时表面跟踪。 对焦精度<0.2 μm。
	显微镜	可见光物镜: 100 × / 50 × / 20 ×, 用于405 nm激光。 近紫外物镜: 100 × / 20 ×, 用于375 nm激光。 紫外物镜: 5 ×, 用于213 nm / 266 nm的紫外激光。
样品移动和扫描平台	平移台	扫描范围大于300 × 300 mm ² , 最小分辨率1 μm。
	样品台	8吋吸气台 (12吋可定制) 可兼容2、4、6、8吋晶圆片
光谱仪和探测器	光谱仪	焦长320 mm单色仪, 可按需定制探测器。 光谱分辨率: 优于0.2 nm @ 1200 g/mm
	荧光寿命测试模块	荧光寿命测试精度 8 ps, 测试范围50 ps - 1 ms
软件	控制软件	可选择区域或指定点位自动进行逐点光谱采集
	Mapping数据分析软件	可对光谱峰位、峰高、半高宽等进行拟合。 可计算荧光寿命、衰减常数、强度等等。 将拟合结果以二维图像方式显示。

● 上述表格中的激光波长、物镜和单色仪等部件可以根据客户需求调整。

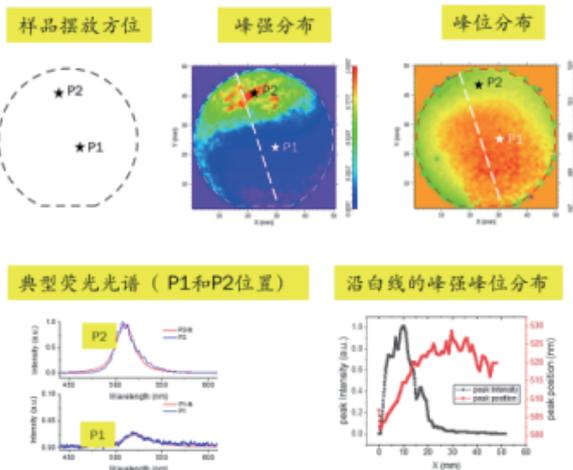
应用案例:

2英寸绿光InGaIn晶圆扫描



应用案例——InGaIn晶圆荧光光谱

◆2英寸绿光InGaIn晶圆荧光光谱测试



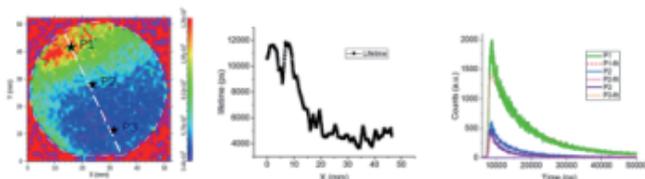
从InGaIn的峰强分布来看, 在晶圆上峰强分布非常不均匀, 最强发光大约位于P2点附近, 而有些位置几乎不发光。发光峰位在500-530nm之间, 分布也很不均匀。波长在510nm (P2位置) 发光最强。波长越靠近530nm (P1位置), 发光越弱。

应用案例——InGaN晶圆荧光光谱和寿命

荧光寿命像

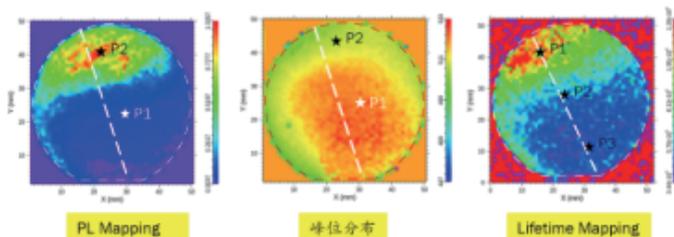
沿白线的荧光寿命分布

不同位置荧光寿命曲线



从以上荧光寿命成像得到，绿光InGaN荧光寿命在4ns-12ns之间。沿着P1-P3白线，荧光寿命减小。

从晶圆上分布看，荧光寿命与荧光强度成像的趋势大致相符，而且峰位有明显关联。即沿着峰位蓝移方向（蓝移至500nm），荧光发光强度增强而且寿命增加，说明辐射复合占据主要比例。而沿着峰位红移的方向（蓝移至530nm），发光强度减弱，同时寿命减小，说明非辐射复合占据主要比例。

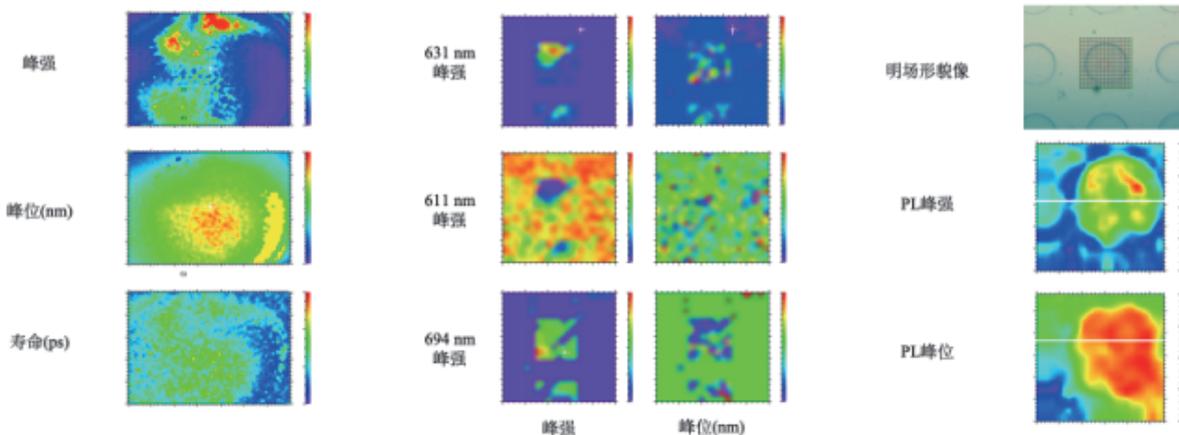


micro-LED 相关制程测试

无图案晶圆大范围PL Mapping

像素化晶圆大范围PL Mapping

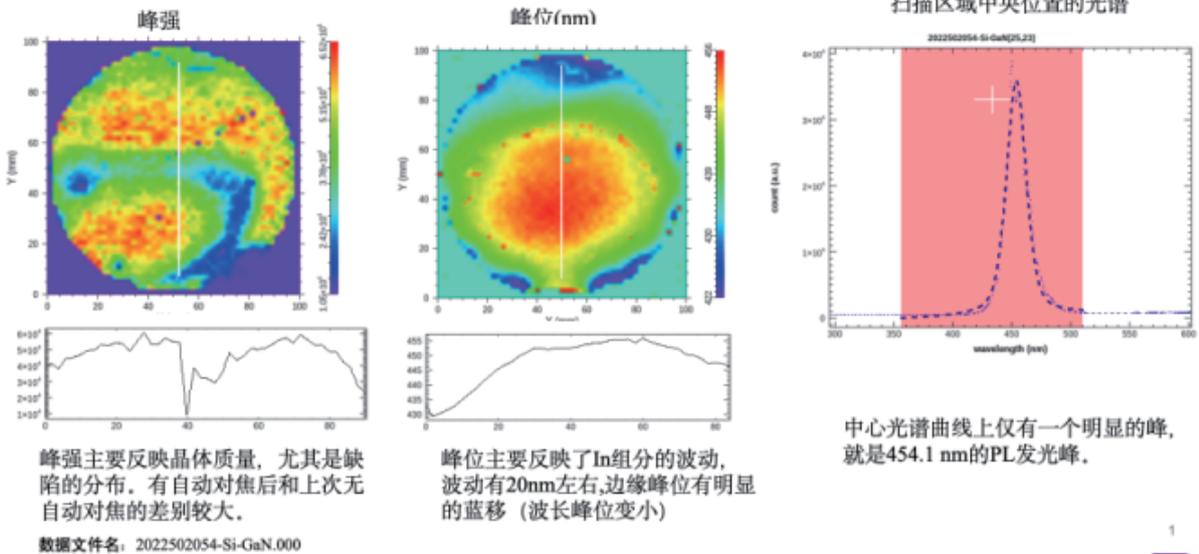
像素化晶圆单颗粒PL Mapping



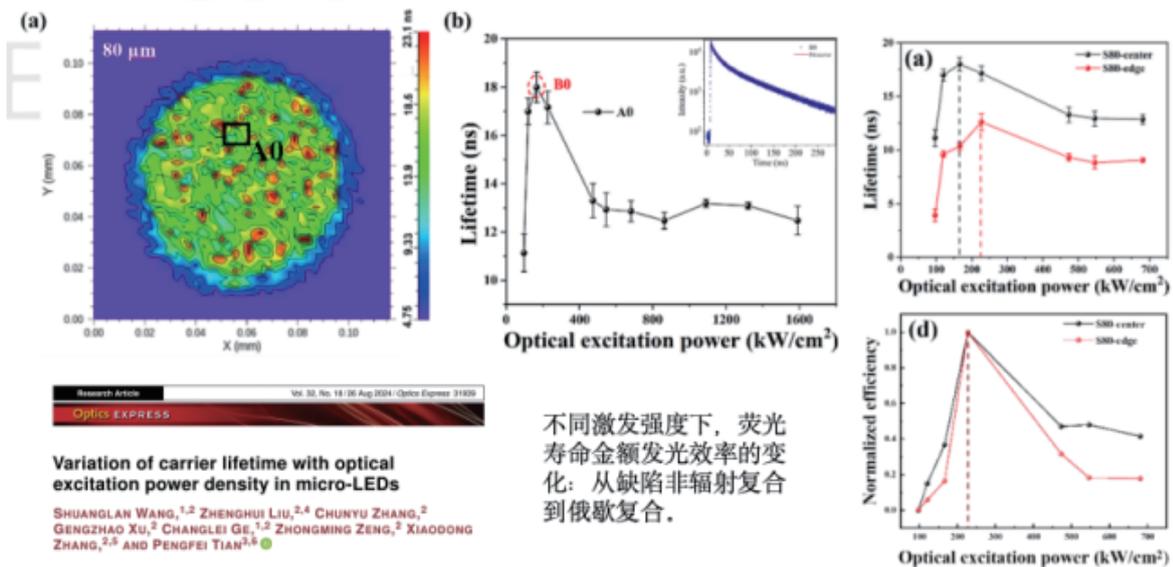
MEASURED DATA

实测数据

Si量子阱外延片—PL Mapping



microLED荧光寿命、激发强度和载流子复合机制

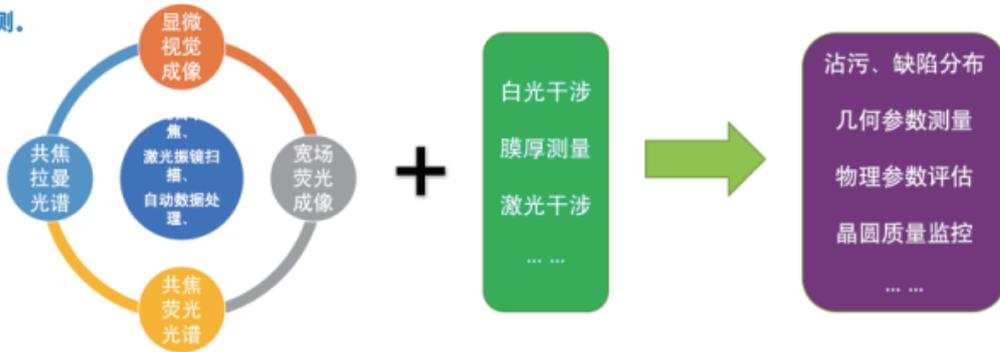


实测数据

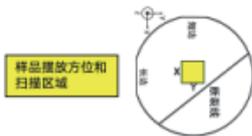


定制化解决方案

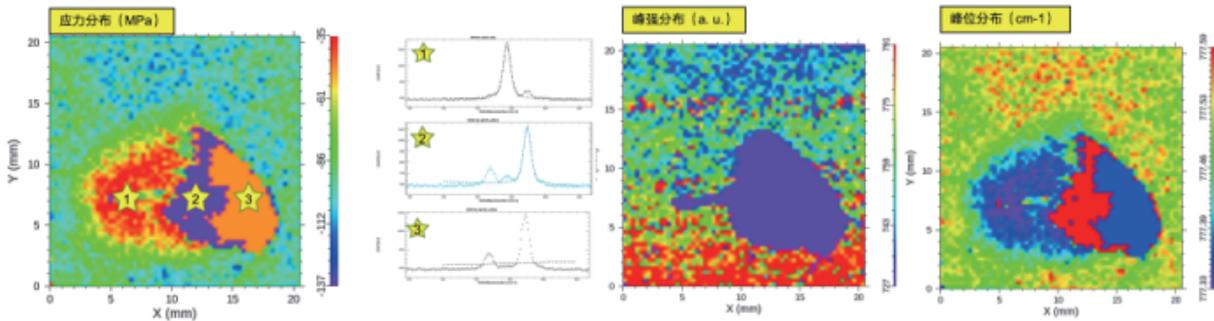
基于自主研发的激光自动聚焦、自动化显微成像、宽场荧光成像、共焦光致发光光谱和共焦拉曼光谱等核心测试技术和模组，联合白光干涉等其它3D测量技术，根据客户的需求灵活组合相应的技术搭配，为客户开发定制化的半导体参数测试解决方案，获得从粗糙度、图形尺寸和膜厚等几何参数，到位错、层错等缺陷，再到发光波长、寿命、载流子浓度、组分和应力等物理参数的综合测量，实现无需任何前处理的全晶圆无损自动化检测。



中心应力异常区域



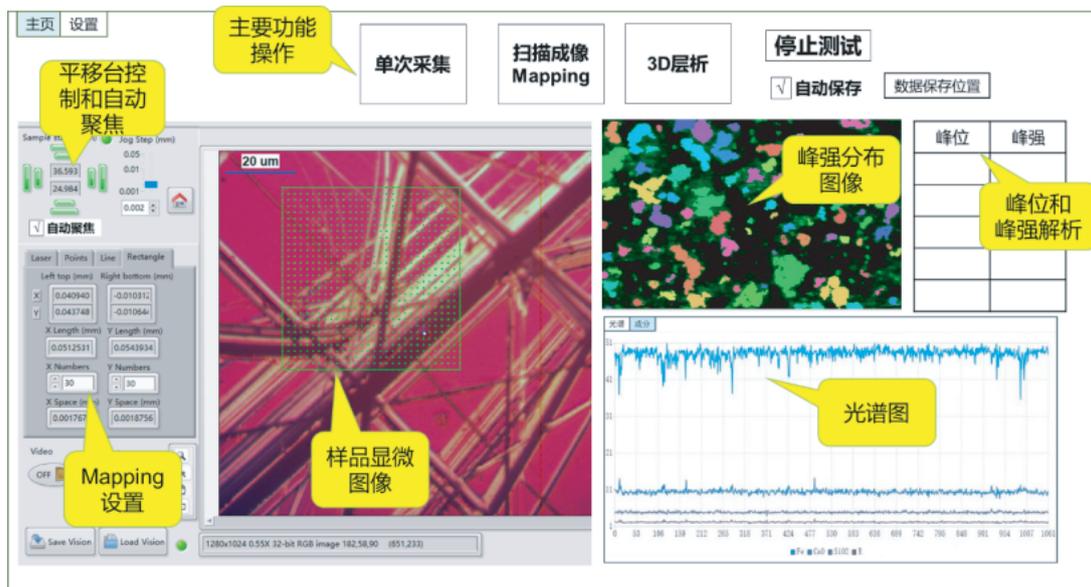
材料: 4H-SiC | 计算方法: 应力(MPa) = -[拉曼峰位(1/cm) - 777.22] (1/cm) × 323.00 (正值为拉应力)



智能化软件平台和模块化设计

- ▶ 统一的软件平台和模块化设计
- ▶ 良好的适配不同的硬件设备：平移台、显微成像装置、光谱采集设备、自动聚焦装置等
- ▶ 成熟的功能化模块：晶圆定位、光谱采集、扫描成像Mapping、3D层析，Raman Mapping, FLIM, PL Mapping, 光电流Mapping等。
- ▶ 智能化的数据处理模组：与数据拟合、机器学习、人工智能等结合的在线或离线数据处理模组，将光谱解析为成分、元素的分布等，为客户提供直观的结果。可根据客户需求定制光谱数据解析的流程和模组
- ▶ 可根据客户需求进行定制化的界面设计和定制化的RECIPE流程设计，实现复杂的采集和数据处理功能。

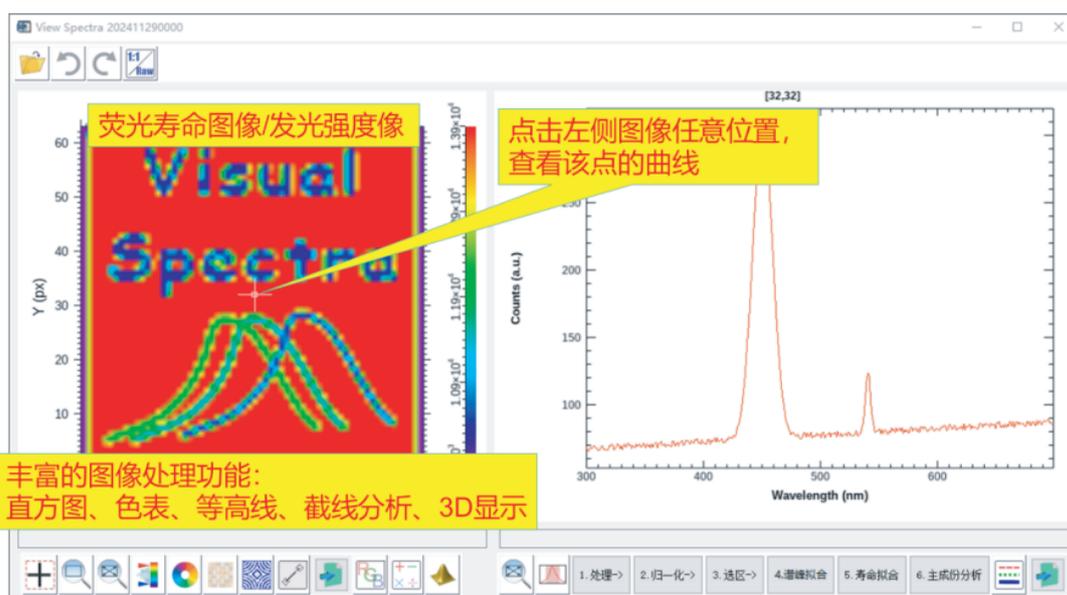
显微光谱成像控制软件界面：



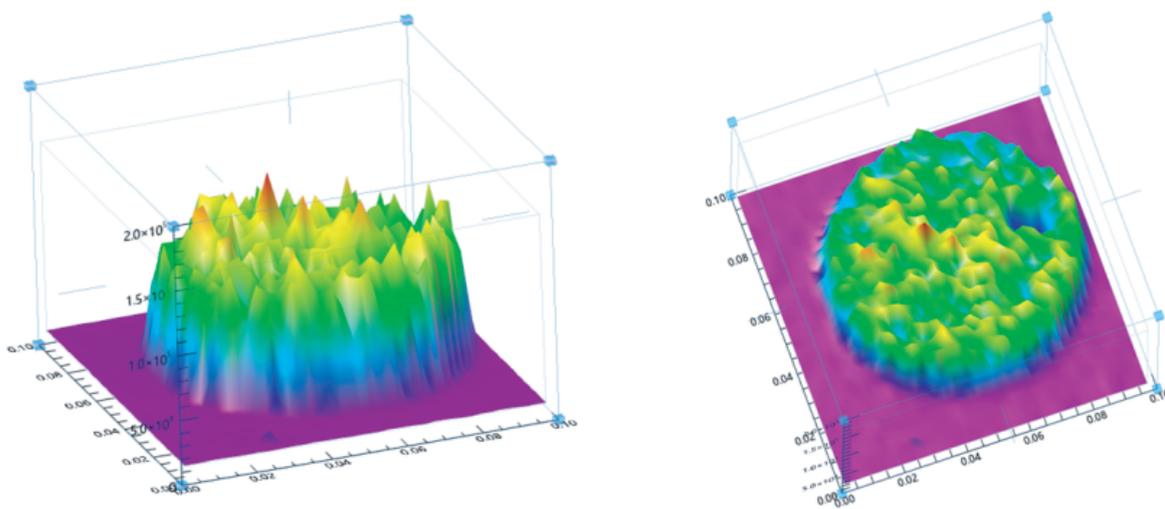
强大的光谱图像数据处理软件VISUALSPECTRA

显示：针对光谱Mapping数据的处理，一次性操作，可对整个图像数据中的每一条光谱按照设定进行批处理，获得对应的谱峰、寿命、成分等信息，并以伪彩色或3D图进行显示。

显微光谱成像控制软件界面：



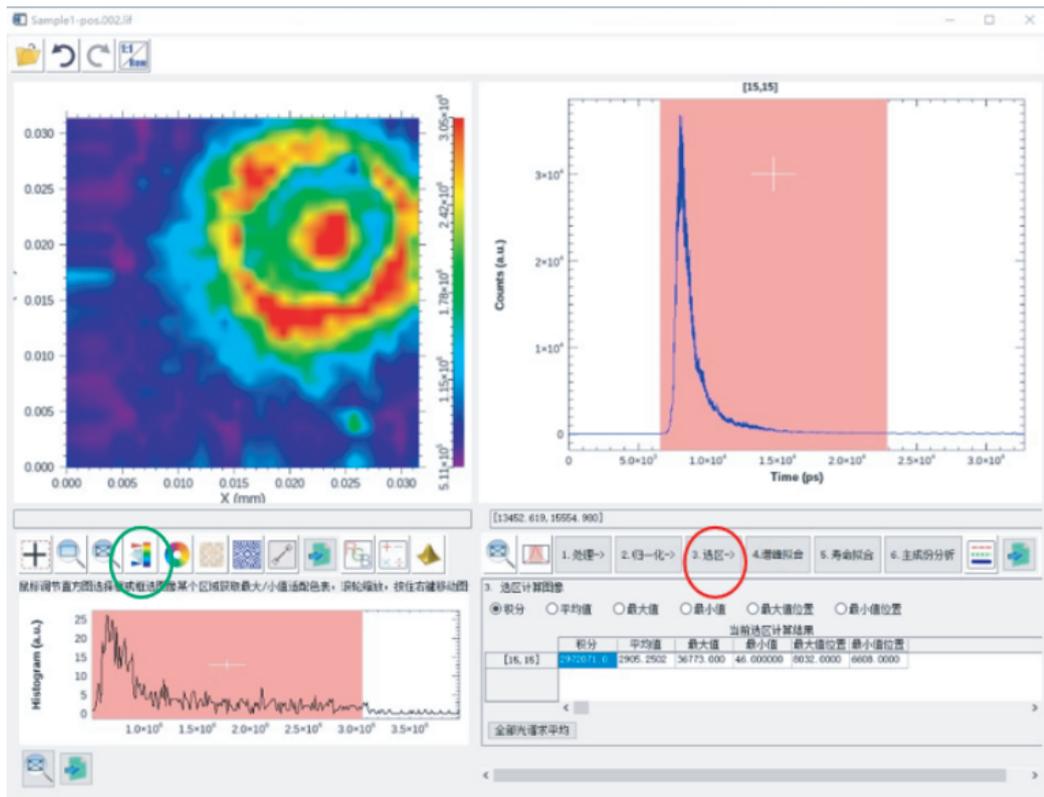
3D显示：



基础处理功能:去本底、曲线平滑、去杂线、去除接谱台阶、光谱单位转化



进阶功能:光谱归一化、选区获取积分、最大、最小、最大/最小值位置等



谱峰拟合:采用多种峰形(高斯、洛伦兹、高斯洛伦兹等)对光谱进行多峰拟合,获取峰强、峰宽、峰位、背景等信息。

4.1 峰拟合

线型选择 Gaussian 本底阶数 1阶(线性) 峰的个数 1 峰/谷 峰

拟合当前曲线... 拟合所有曲线... 图像显示: 峰高(1) 导出拟合结果...

拟合结果

	峰高(1)	峰位(1)	半高宽(1)	本底偏移	本底斜率	残差平方和	峰面积(1)
0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
1	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
2	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000

高级功能:应力拟合:针对Si、GaN、SiC等多种材料,从拉曼光谱中解析材料的应力变化,直接获得应力定量数值,并可根据校正数据进行校正。

s068-Si-1#-Raman Mapping-curve-step-0.5um.hr.txt

s068-Si-1#-Raman Mapping-curve-step-0(13.26)

Counts (a.u.)

Wavelength (1/cm)

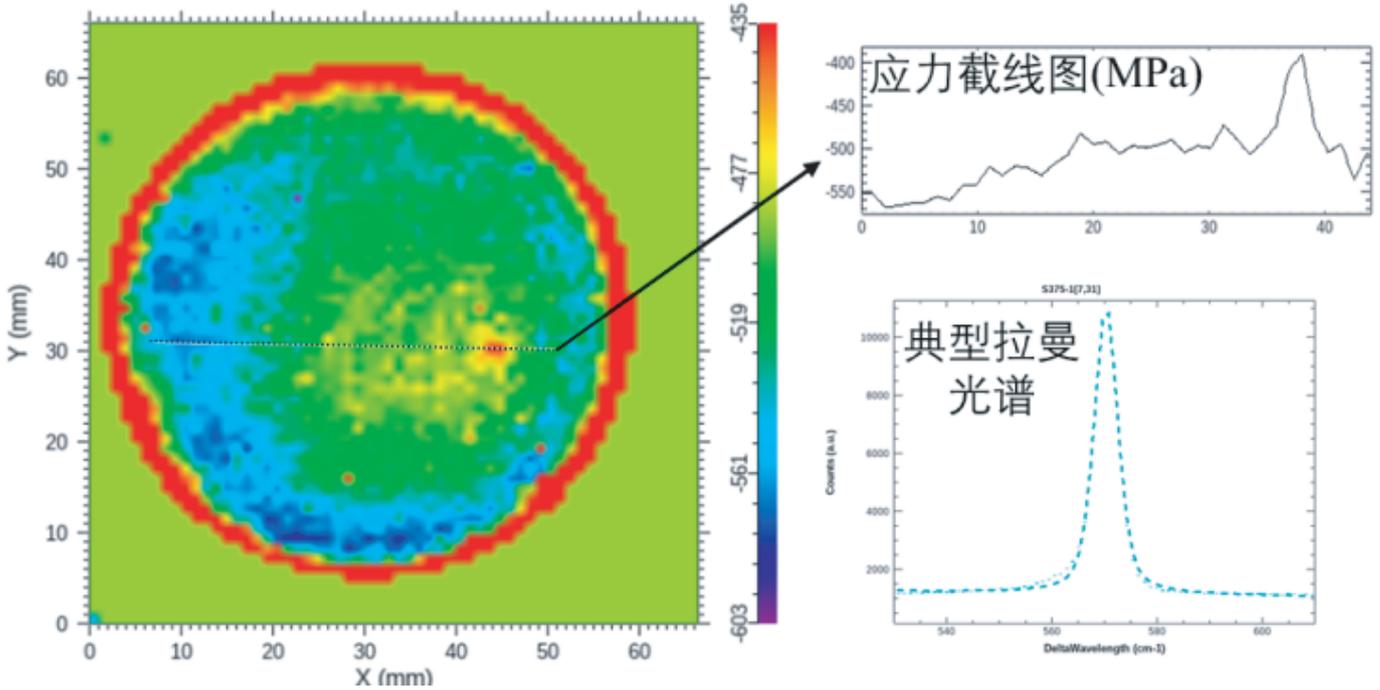
1. 处理-> 2. 归一化-> 3. 选区-> 4. 谱峰拟合 5. 寿命拟合 6. 主成份分析

- 峰形拟合
- 应力拟合
- 斯托克斯拟合
- n型半导体载流子浓度拟合
- 温度拟合

高级功能:应力拟合:针对Si、GAN、SiC等多种材料,从拉曼光谱中解析材料的应力变化,直接获得应力定量数值,并可根据校正数据进行校正。

应力分布(MPa)

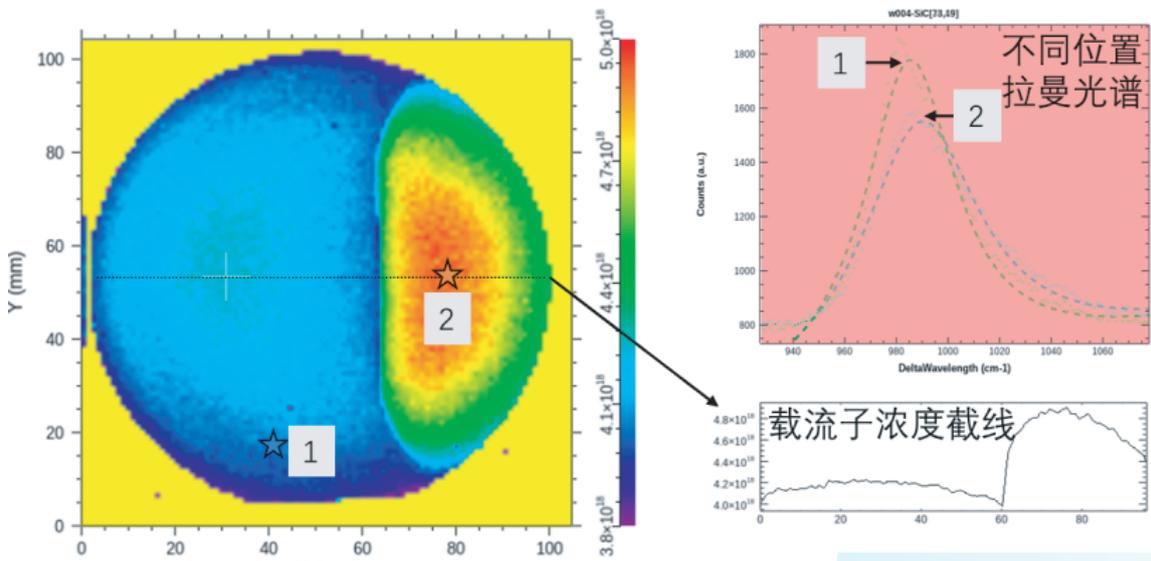
直径2.5吋GaN晶圆,



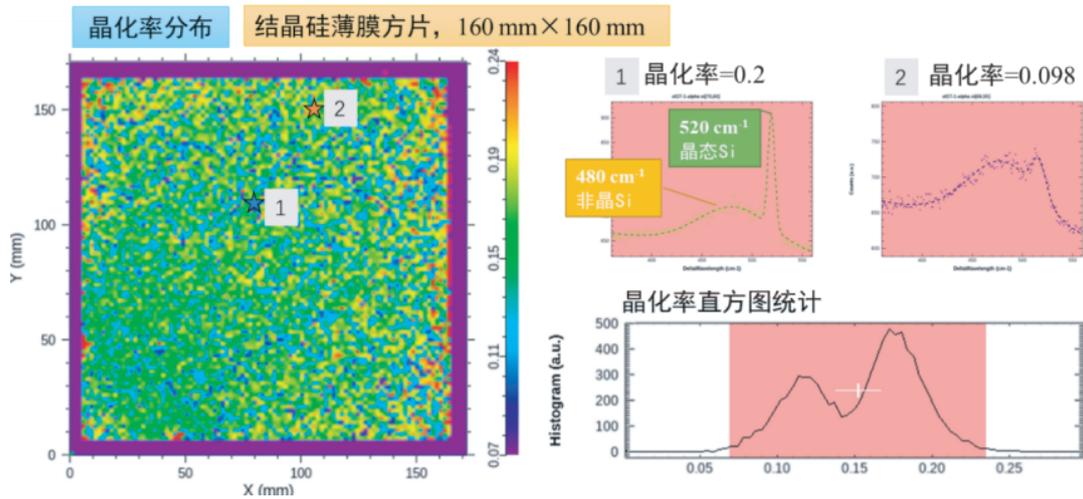
载流子浓度拟合

载流子浓度分布(cm^{-3})

SiC晶圆, 直径4英寸



晶化率拟合



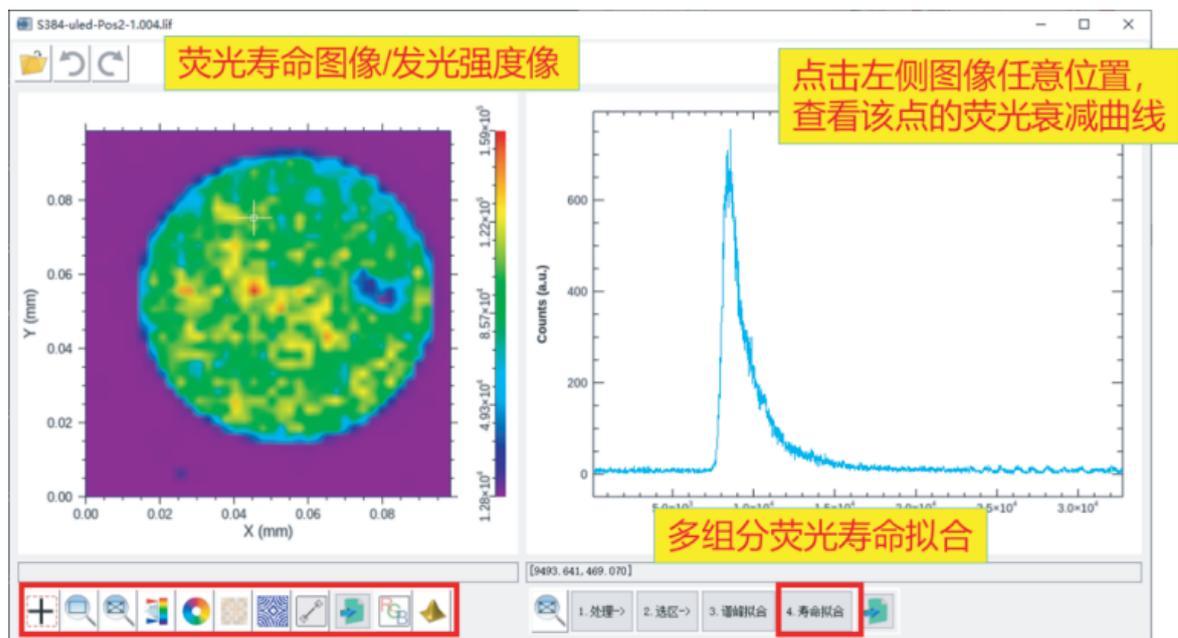
荧光寿命拟合

自主开发的一套时间相关单光子计数 (TCSPC) 荧光寿命的拟合算法，主要特色

1. 从上升沿拟合光谱响应函数 (IRF)，无需实验获取。

2. 区别于简单的指数拟合，通过光谱响应函数卷积算法获得每个组分的荧光寿命，光子数比例，计算评价函数和残差，可扣除积分和响应系统时间不确定度的影响，获得更加稳定可靠的寿命数值。

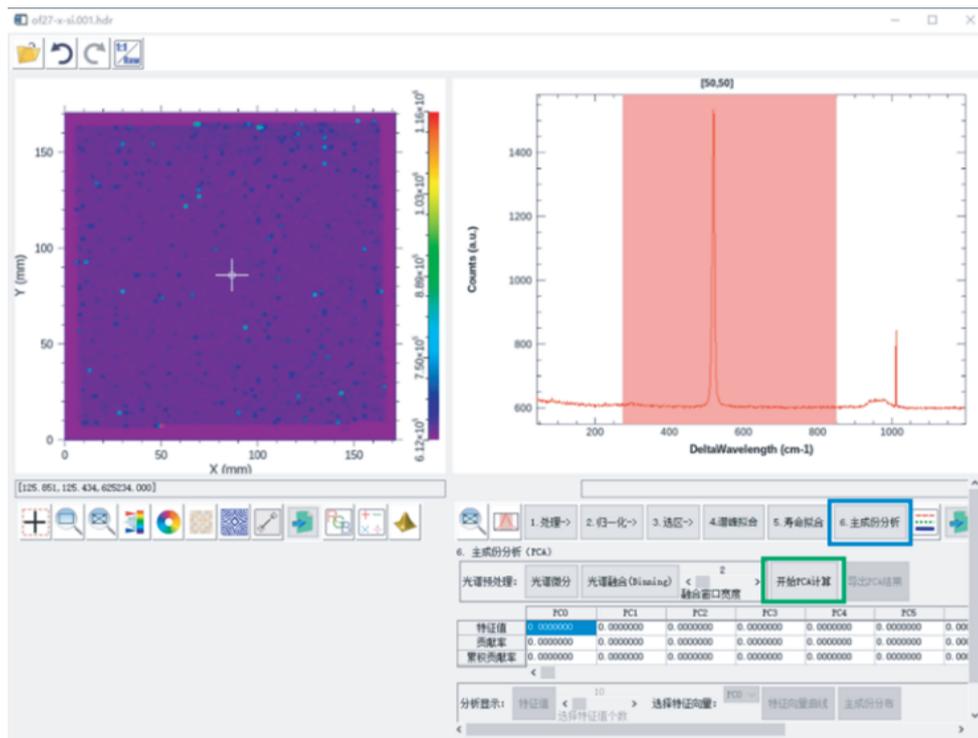
3. 最多包含4个时间组分进行拟合。



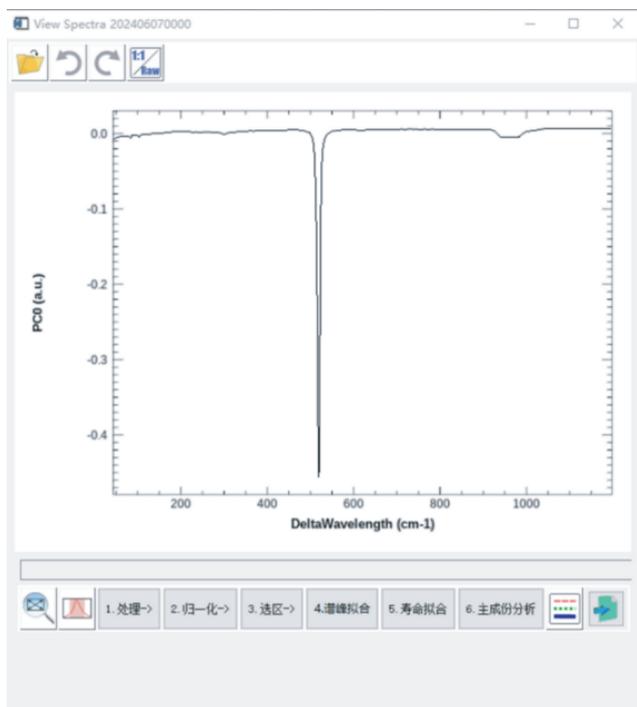
荧光寿命拟合



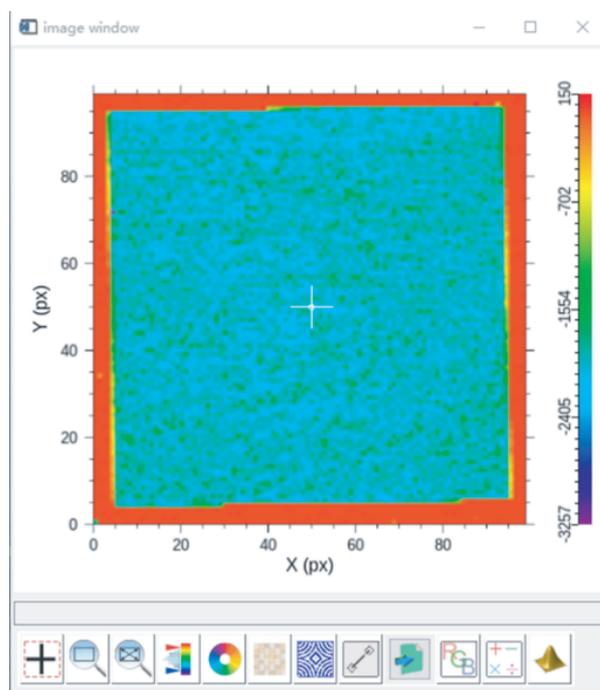
主成分分析和聚类分析



每个主成分的谱显示



主成分的分布图



主成分聚类处理和分析

