

后摩尔时代

蔡司化合物半导体解决方案



驭光而行， 加速“芯”进程

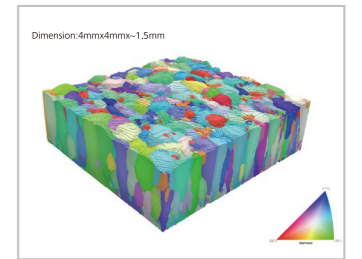
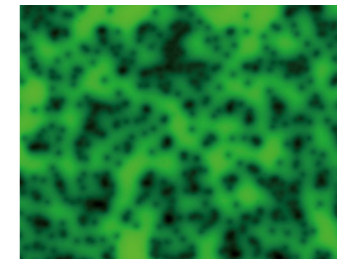
跨尺度、多模态的化合物半导体产业链显微镜解决方案

作为电子半导体行业的分支，化合物半导体材料研究和器件制造，离不开显微可视化分析。蔡司提供跨尺度多模态的完整成像分析解决方案，助力化合物半导体产业发展。从材料缺陷优化、器件结构测量，到工艺控制、失效分析，显微镜的使用贯穿整个产业流程，保障器件功能并实现关键技术突破。

衬底材料和外延生长

- 衬底缺陷检测
- 外延层质量分析
- 缺陷成因分析

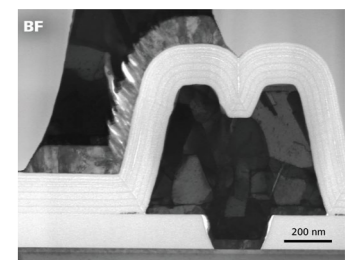
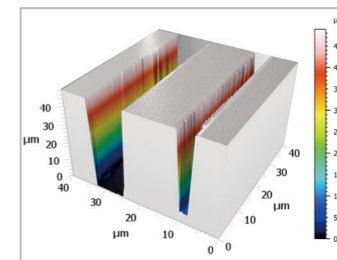
Page 02-05



芯片制造

- 微观结构光学检测
- 全晶圆表征
- 高精度无畸变微纳加工
- 失效分析

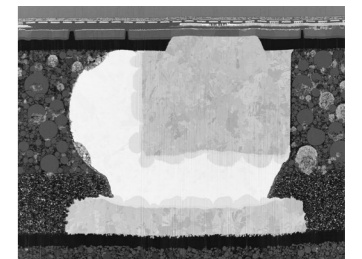
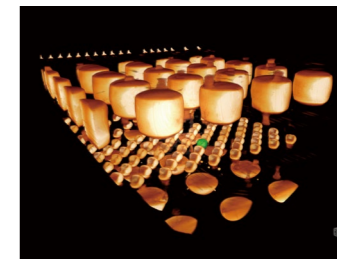
Page 06-07



封装测试

- 多设备联动
- 关联缺陷分析
- 高分辨率无损失效分析

Page 08-09



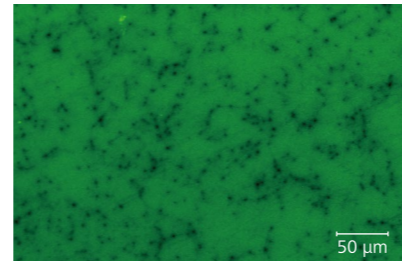
衬底材料和外延生长

缺陷表征分析

在器件制造中，化合物半导体材料作为衬底或外延层时，其晶体生长过程中形成的大量缺陷或夹杂对器件性能影响重大。蔡司显微镜解决方案，适用于观察衬底和外延层的晶体缺陷，同时能够精准定位缺陷位置并进行 TEM 样品制备，实现缺陷表征并分析缺陷内在成因。

光学显微镜和共聚焦显微镜

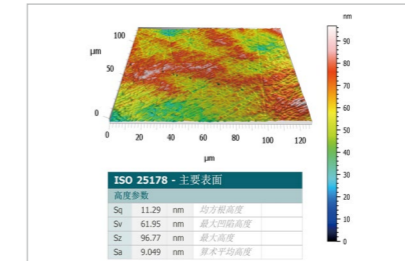
- 晶圆表面和晶体缺陷
- 共聚焦高分辨率荧光，观察可见光发光缺陷
- 表面形貌表征和粗糙度分析



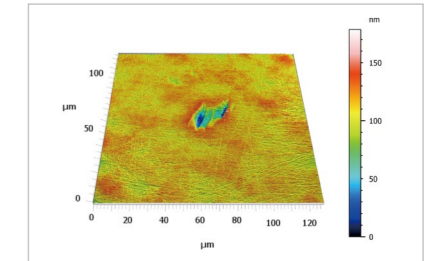
晶圆表面发光缺陷表征



晶圆表面缺陷的统计分析



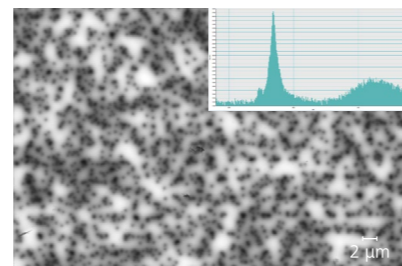
粗糙度测量



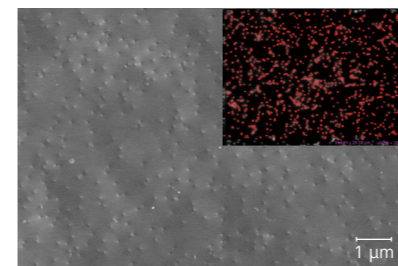
晶圆表面形貌表征

扫描电镜

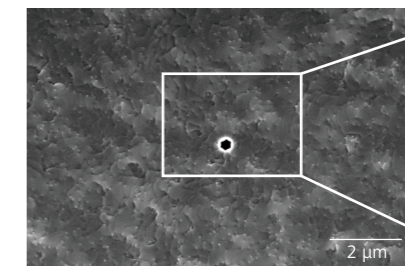
- 阴极荧光光谱 (CL) 探测器观察缺陷分布及材料发光特性
- 电子通道衬度成像 (ECCI) 高分辨观察缺陷分布
- 自动化软件对 CL、ECCI 图像进行缺陷提取与分布统计



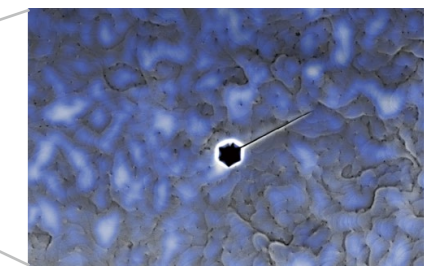
GaN 单晶材料缺陷分布的 CL 图像和光谱



GaN 材料的缺陷分布 ECCI 图像和软件自动缺陷提取结果 (右上角)。



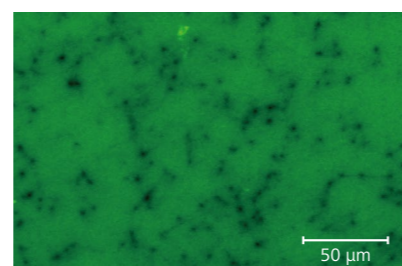
SiC 样品的位错线和螺位错 ECCI 图像



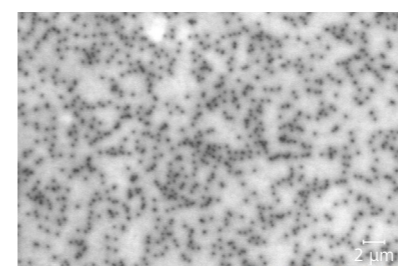
ECCI 叠加 CL 图像，清晰显示低位错浓度区域。

光电关联解决方案

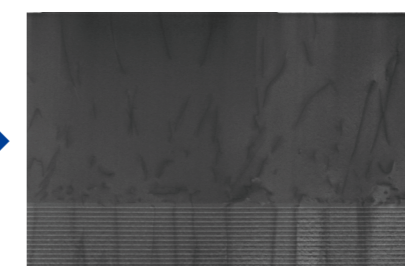
- 多模态缺陷观察分析
- 光电关联实现缺陷高分辨观察和精准定位加工



GaN 单晶材料的缺陷分布图像



GaN 单晶材料的高分辨缺陷分布 CL 图像



选择特定缺陷，制备 TEM 样品。STEM 模式可观察到缺陷的延伸生长。

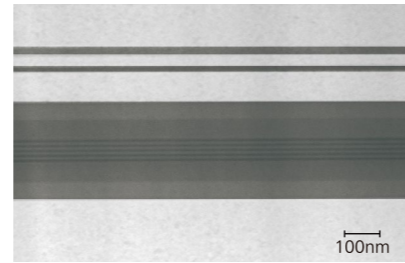
衬底材料和外延生长

元素分析和外延层尺寸测量

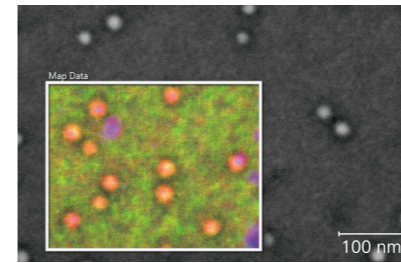
在化合物半导体器件制造中，电子电路生产同样基于衬底和外延层。衬底的晶体缺陷和夹杂，或是外延层的尺寸和掺杂异常，都可能造成器件报废，因此对于衬底材料和外延生长的质量控制非常重要。蔡司显微镜解决方案，适用于观察衬底单晶材料的晶体取向以及外延层的形貌等，可实现从表面到内部，从痕量到主元素，从轻元素到重元素的全方位结构观察和成分分析。

双束电镜

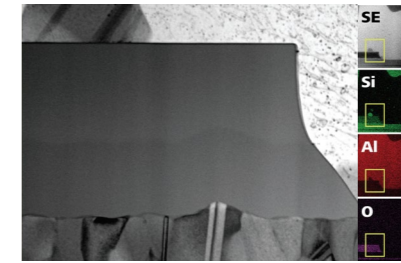
- 外延层尺寸测量
- 量子阱高分辨 STEM 成像和尺寸测量
- 高分辨率 EDS 分析缺陷元素成分



InP 基边发射激光芯片中的量子阱结构 STEM 图像



GaAs 基底上的 10 nm 量子点 EDS 分析

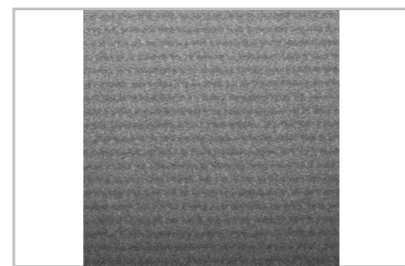


IGBT 器件栅极的 STEM 和 EDS 图像，缺陷结构的形貌和元素分析。

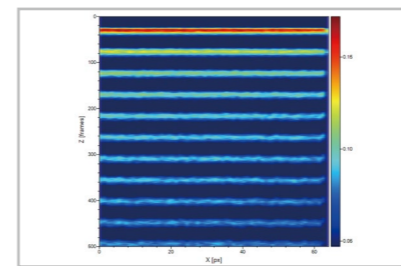
双束电镜

TOF-SIMS 技术

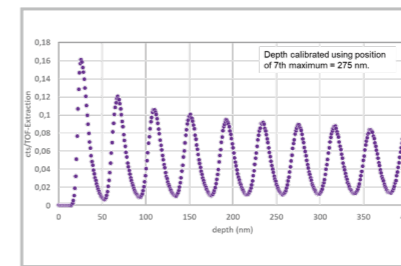
- 量子阱截面元素分布和谱图
- 轻元素探测
- 低至 ppm 级痕量元素探测
- 2D 元素分布
- 深度方向高精度元素分析



10 nm AlAs/30 nm GaAs 多层结构样品断面的扫描电镜图像



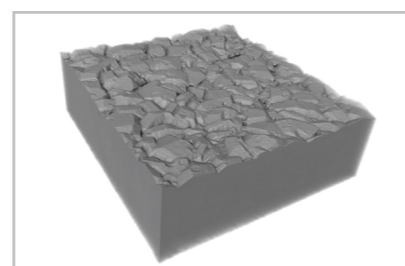
FIB TOF-SIMS 采集的多层结构中 Al 元素在深度方向上的分布图



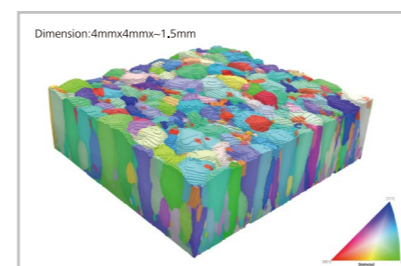
Al 元素在深度方向上的含量分布曲线

X射线显微镜

- 高分辨率无损三维成像获得内部结构信息
- 多晶金刚石的三维晶粒取向分布



多晶金刚石三维结构表征：无损三维成像



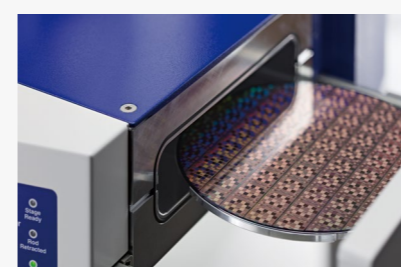
三维晶粒取向分布图

八英寸解决方案

- 无需裂片，直接观察八英寸全晶圆
- 在任意位置与任意方向制备 TEM 样品
- 节约成本，提高分析效率



适应八英寸晶圆的载物台和样品仓



八英寸样品交换仓



八英寸晶圆夹具

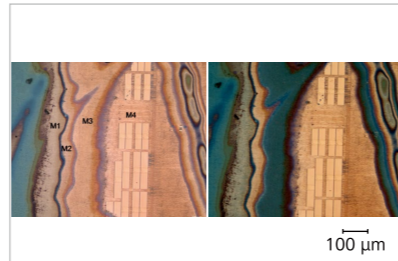
芯片制造

芯片制造各环节中需要用到多种表征技术找到缺陷和进行工艺诊断，以确保生产出符合要求的器件并保证良率。显微镜技术不仅应用于样品的微观形貌观察和结构尺寸测量，还能够通过高效率、高精度的微纳加工，高质量的性能测试和样品制备，实现器件性能分析进而优化工艺流程。

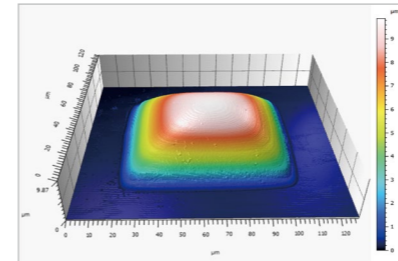
光学显微镜

光学检测

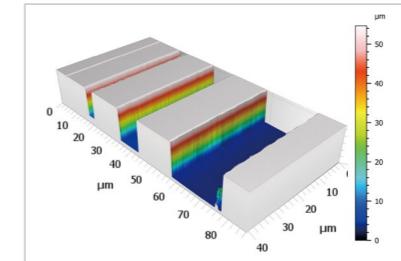
- 辅助样品制备
- 尺寸测量
- 透明样品形貌分析
- 深槽样品槽深测量



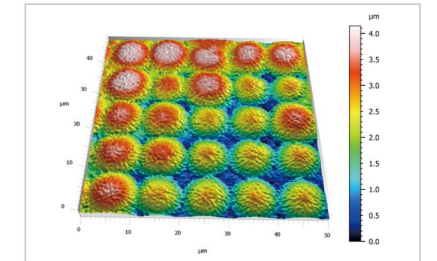
芯片不同层衬度增强观察，便于定位感兴趣层。明场（左）和圆微分干涉（右）分别观察芯片去层的过程。



透明光刻胶结构的三维形貌图像。图像由中国科学技术大学微纳研究与制造中心提供。



深硅刻蚀结构的三维形貌及深度测量。图像由中国科学技术大学微纳研究与制造中心提供。

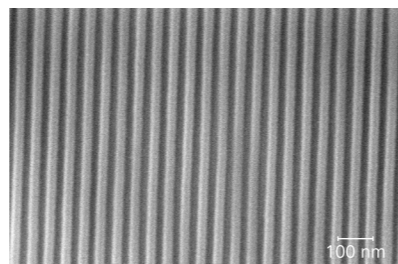


微结构表面形貌分析

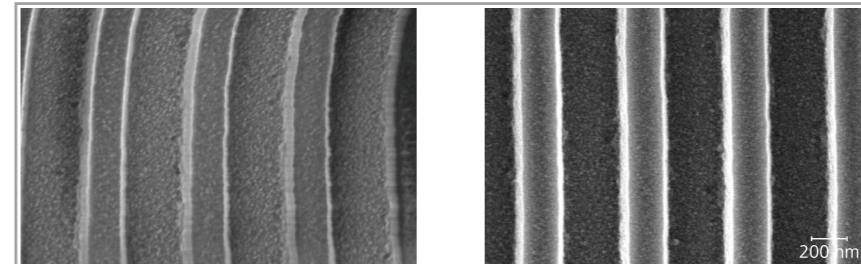
扫描电镜

电子束微纳加工 形貌表征

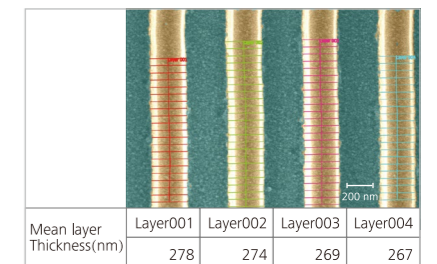
- 高精度无畸变微纳加工电子束光刻（EBL）
- 特有的 NanoVP 模式，助力不导电晶圆无损高分辨成像
- 加工线宽的量化分析



SEM-EBL 加工的50 nm 周期光刻胶图形



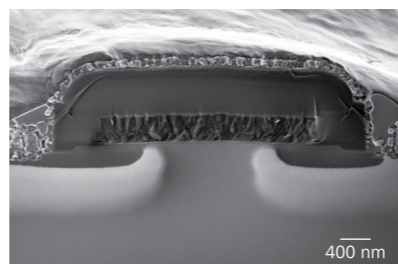
6寸不导电玻璃片上的光刻胶样品。左图：低电压拍摄，电荷扭曲；右图：特有的 NanoVP 模式，细节兼顾景深。样品无需喷金处理。



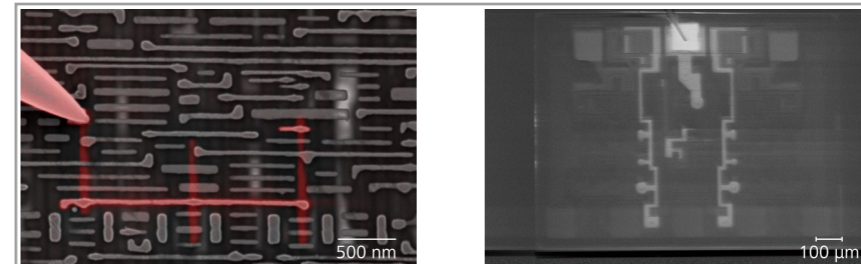
利用自动边缘检测技术实现微纳加工线宽的测量，提升测量效率和准确性。

失效分析

- SEM 电压衬度助力电性故障分析
- 低电压高分辨成像和稳定的电子束流有利于测试样品电学性能
- 精准定位失效位置并降低电子束损伤



SiC MOSFET 功率器件的 NPN 结电压衬度图像

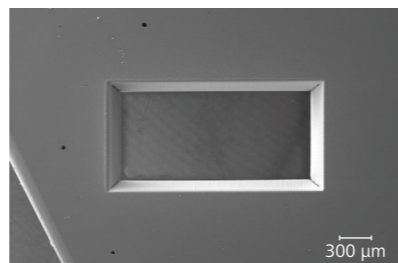


搭载纳米探针测试器件的电学性能。左：在金属层使用 EBAC 技术验证金属线的链接；右：使用 EBIC 技术对 p/n 阱区域或缺陷进行表征。

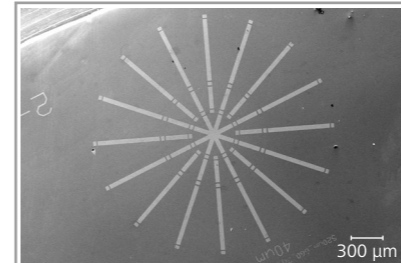
双束电镜

离子束微纳加工 样品制备

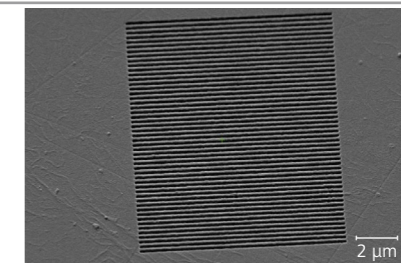
- 全晶圆快速换样
- 飞秒激光快速加工超大尺寸截面
- 最高可达 100 nA 的离子束流保证快速精准的微纳加工
- 低电压高性能离子束助力大面积超薄样品制备



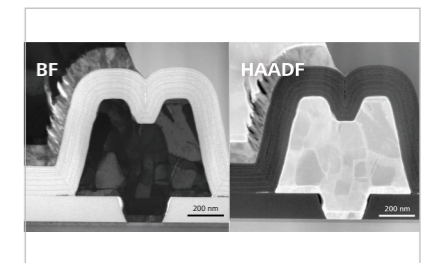
LaserFIB 快速加工高硬度 SiC 材料，5 分钟刻穿 2 mm³ 体积。



FIB 加工 GaN 表面金膜，在辐射状图形上加工了3圈矩形光栅结构。



FIB 加工的矩形光栅结构的放大图像



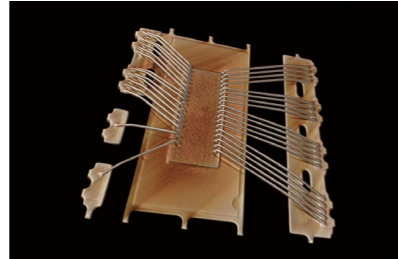
GaN HEMT 器件的 STEM 明场和高角暗场像。使用 FIB 背切方法制备样品，图像更均匀。

封装测试

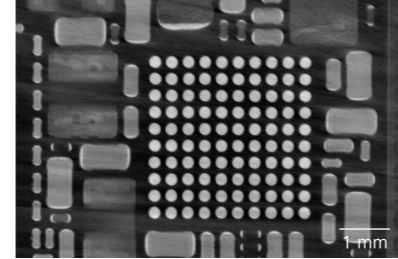
封装芯片中缺陷的存在将直接影响相关产品的正常使用，失效分析是研究电子元器件失效机理，提高产品良率和可靠性的重要手段。蔡司关联解决方案为芯片失效分析提供了高分辨率、高精度和高效率的检测方式，能够快速定位和分析复杂封装产品中的微观缺陷。

X射线显微镜

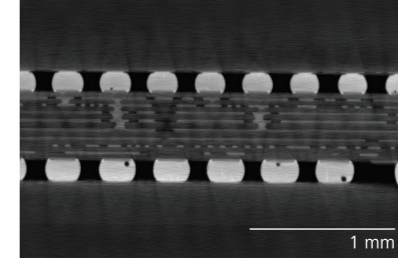
- 从系统、封装到互联结构的无损三维分析
- 封装和器件结构的高分辨尺寸量测



GaN 快充主控芯片三维渲染图



电源管理芯片封装 (X 射线显微镜虚拟切片)

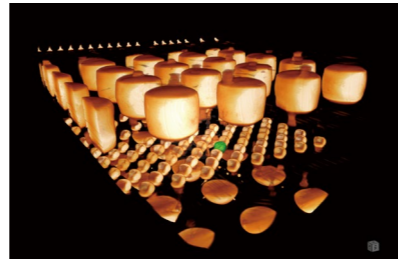


电源管理芯片的焊锡凸块和通孔 (X 射线显微镜虚拟切片)。

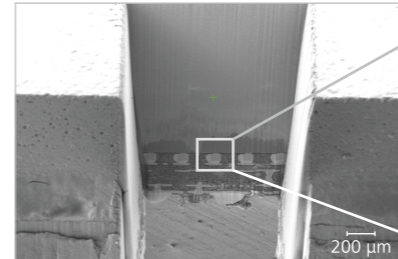
关联解决方案

X射线显微镜和双束电镜

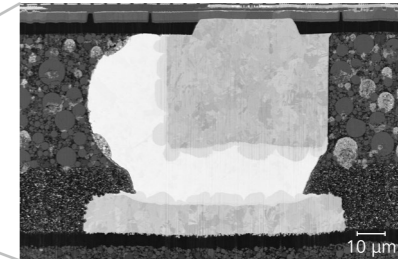
- 高分辨率无损三维分析样品内部缺陷
- 高精度、高效率定位切割大样品内部失效位置



X 射线显微镜无损三维成像并在虚拟切片中识别目标 ubump (绿色标识)，通过关联技术定点切割大尺寸截面。



通过关联技术定位切割截面的位置，利用飞秒激光定点切割，切割体积为 $0.95 \times 1 \times 1.4 \text{ mm}^3$ ，时长不超过 5 分钟。



局部离子束抛光15分钟，背散射电子成像观察到焊锡和铜的成分衬度。

蔡司显微镜系列产品线

光学显微镜

大尺寸半导体专用光学显微镜



- 高效的缺陷检测和尺寸测量
- 光电关联缺陷定位
- 高分辨率，丰富的观察方式
- 优越的光学质量和电动组件

共聚焦显微镜



- 发光缺陷观察
- 光电关联缺陷定位
- 表面形貌分析
- 横向120 nm，纵向10 nm 的高分辨率。

电子显微镜

场发射扫描电子显微镜



- 高分辨率和多模态观察缺陷
- 电性测试
- 出色的低电压高分辨精准定位失效位置。
- 高通量统计缺陷并探究材料发光特性。

飞秒激光-双束电镜



- 飞秒激光助力超大体积和大截面高效率加工，短时间内实现样品内部缺陷精准定位切割和失效分析。
- 高性能离子束保证高精度微纳加工，最高分辨率< 3 nm。
- 激光加工热损伤区域小，避免机械加工的应力损伤。
- 激光加工独立仓室，避免污染。

X射线显微镜

X射线显微镜



- 高分辨率大样品三维成像，无需破坏或制备样品。
- 三维重构实现任意角度虚拟截面定位和观察缺陷结构，提高失效分析成功率。
- 缺陷定位可用于后续 FIB 截面加工定位，缩短制样时间。
- 基于人工智能的重构算法提升 4 倍以上的失效分析效率。



Carl Zeiss Microscopy GmbH
07745 Jena, Germany
microscopy@zeiss.com
www.zeiss.com

卡尔蔡司（上海）管理有限公司
200131 上海，中国
E-mail: info.microscopy.cn@zeiss.com
全国免费服务热线: 400 680 0720

上海办: (021) 2082 1188
北京办: (010) 8517 4188
广州办: (020) 3719 7558
成都办: (028) 6272 6777



Seeing beyond