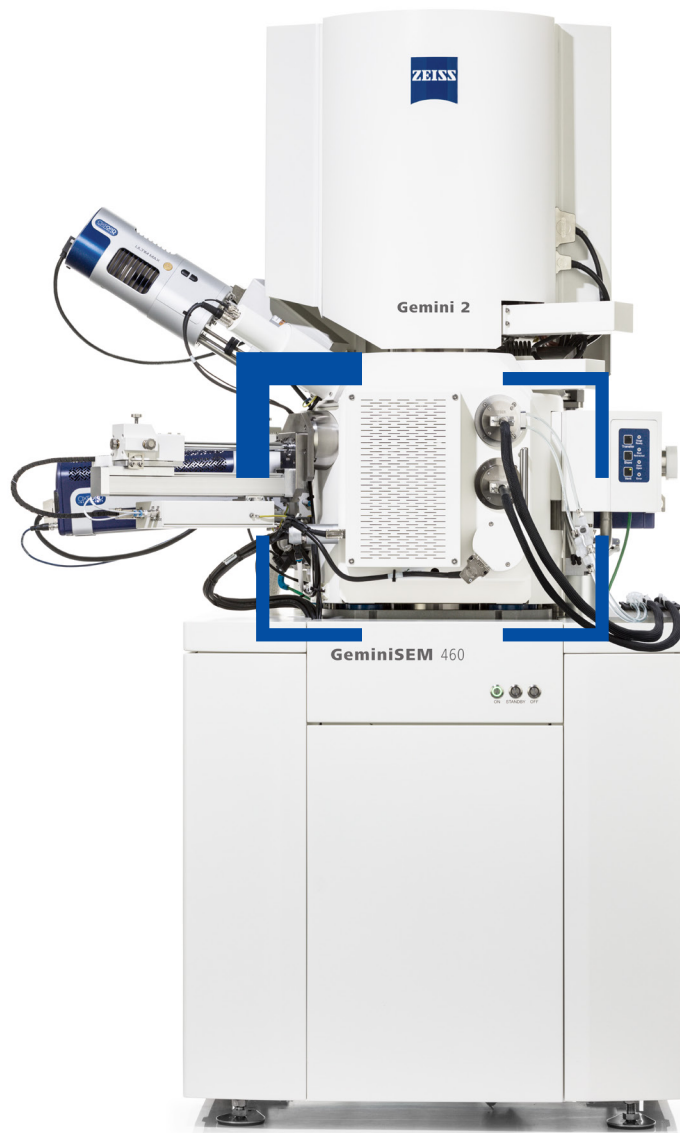


连接材料性能与微观结构的桥梁

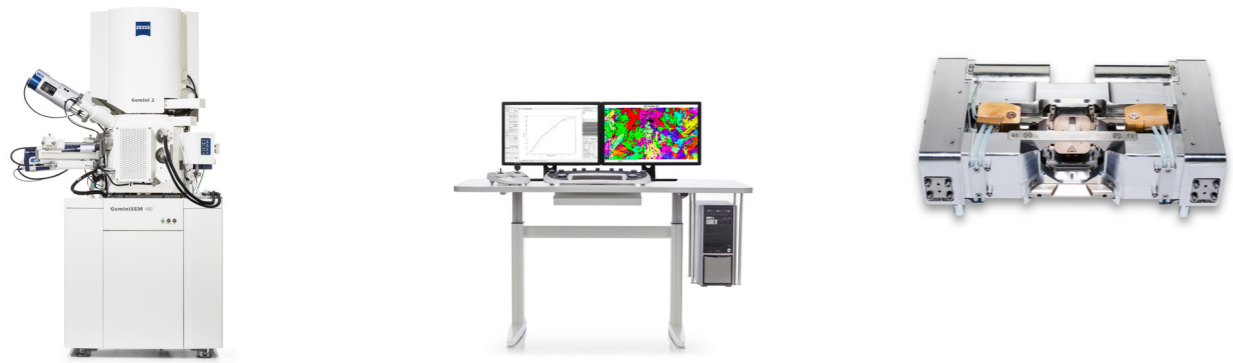


基于蔡司场发射扫描电镜的原位实验平台

基于蔡司场发射扫描电镜的原位实验平台

多模式原位实验集成解决方案

如果您需要将材料性能与微观结构建立关联，蔡司可为您提供一个自动化的原位加热和拉伸实验平台。在实验过程中，可自动观察材料在加热和拉伸时的情况，并实时绘制应力应变曲线。您可以借助这项用于加热和拉伸实验的原位解决方案扩展蔡司 FE-SEM* (场发射扫描电镜) 的功能。此外，所有的蔡司 FE-SEM 都加入了 ZEN core 生态系统。这让您在使用 ZEN core 工具包 Connect、AI 或材料应用程序时，能够访问互联显微镜以及基于 AI 的处理或分析系统。



该原位实验平台可将力学拉伸 / 压缩样品台、加热模块、专用高温 SE (二次电子) 和 BSE (背散射电子) 探测器，与 EDS (X 射线能谱) 或 / 和 EBSD(电子背散射衍射) 分析相结合。

蔡司 Gemini 电子光学镜筒的设计让原位硬件的集成变得非常简单。

所有系统组件均通过安装于单台电脑上的统一软件控制，可实现在蔡司 FE-SEM* 中进行无人值守的自动化材料测试。自动特征追踪功能可同时监控多个感兴趣区域，从而为您提供自动连续成像和分析 (如 EDS 或 EBSD 面分布) 的新标准。EDS 或 EBSD 数据的收集由统一的软件自动完成。通过该完全集成的原位实验平台，您可对金属、合金、聚合物、塑料、复合材料以及陶瓷等材料进行深入研究。

您可尽享以下优势：

- 自动化的原位工作流程可实现具有高重复性、高精度和高可靠性的数据采集
- 高分辨率的高通量数据采集，可快速获取在统计意义上具有代表性的结果
- 将高质量的数据用于可靠的后期处理，如可使用 GOM 开发的数字图像相关 (DIC) 软件进行应变分布计算
- 简便的数据后期处理和管理

通过集成的原位工作流程更深入地了解材料特性

在扫描电子显微镜中进行的原位材料测试可精准测量微观结构在特定温度条件下对力学载荷的动态响应。这使得材料研究人员能够了解宏观力学性能和微观结构之间的关联。而获取更多的信息，例如使用综合分析技术 (如 EDS 和 EBSD) 获取局部化学成分或晶粒取向等信息，可帮助人们更深入地理解材料性能与微观结构之间的关系，从而有助于高效开发新型材料。

通过自动特征追踪和自动聚焦功能获取有意义的数

通过定义多个感兴趣区域 (ROI) 开始您的原位实验，软件可以将它们自动居中、自动聚焦并使用不同的成像放大倍率、扫描速率或探测器。随后，在每个形变点通过自动工作流程对各个 ROI 进行研究。您可为每个 ROI 单独选择不同的成像条件，如扫描方式、驻留时间和图像分辨率等。也可在设定温度下进行拉伸实验，并为所选的 ROI 自动触发 EDS 和 EBSD 测试。

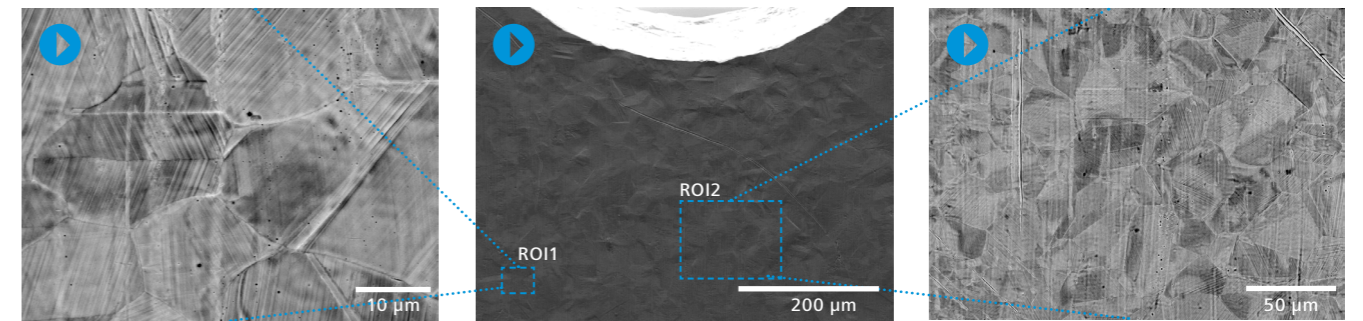


图 1: 使用不同放大倍率和不同探测器对不锈钢样品进行原位拉伸实验。左图: ROI 1, 放大倍数 2000 倍 (宝丽来胶片比), 图像分辨率 1k (768 * 1024 像素), BSE 探测器。图像具有极高的通道衬度, 并捕捉到原位拉伸过程中滑移带的形成。中图: 概览图, 200 倍, SE 探测器, 图像分辨率 4k (3072 * 4096 像素)。右图: ROI 2, 500 倍, BSE 探测器, 1k 图像。

接下来, 您可进行长期无人值守的拉伸测试实验。在研究样品的形变时, 可以设置不同的感兴趣区域, 并在数百个形变点下进行自动追踪和成像, 直至样品断裂。软件会检测到样品断裂并安全地停止实验。尽管样品的形变量可能已达几毫米, 但仍能成功追踪感兴趣区域, 并且始终将其置于 SEM 图像中央。这些实验测量可以在夜间常规自动进行, 无需用户干预。

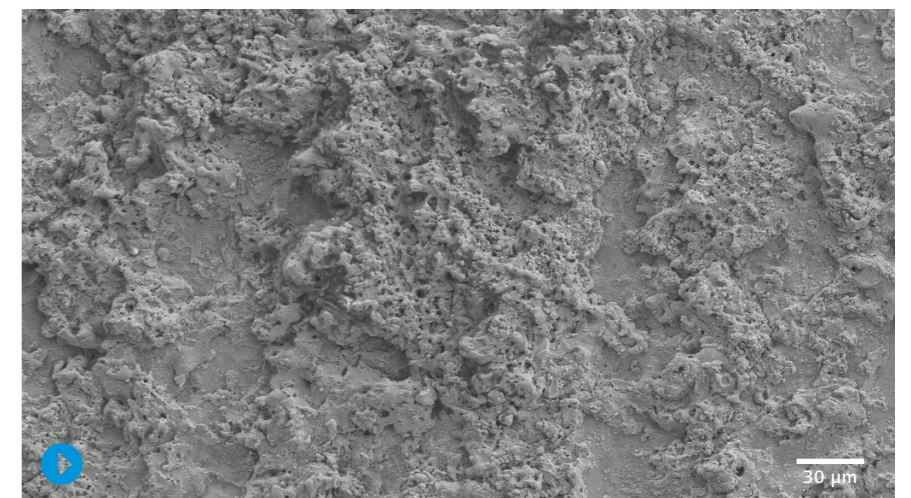


图 2: 对 3D 打印的镍基高温合金进行原位拉伸实验。对三个不同的 ROI 进行追踪, 并用 SE 探测器在超过 200 个变形下对其自动成像, 直至样品断裂。图像示例显示了一个 ROI。

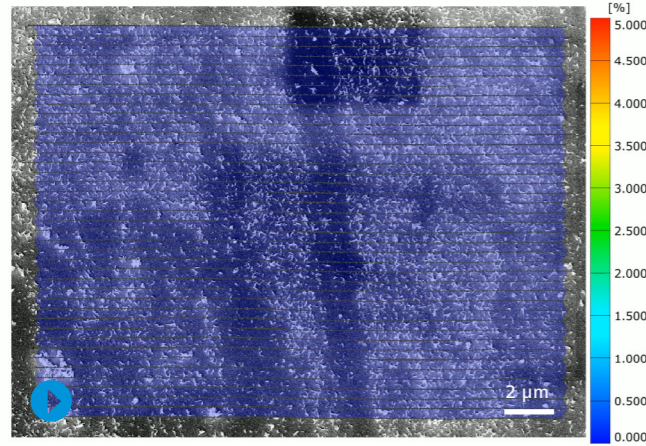


图 3: 抛光后的低碳钢样品 (S235JRC), 样品表面的小颗粒用于 DIC 标记。在形变过程中使用自动特征追踪。主应变的大小和方向可在图像中显示, 颜色表示应变大小, 箭头方向表示应变方向。

使用数字图像相关 (DIC) 实现应变分布计算

当您的实验目的是获得微观的应变分布时, 一系列高分辨率的 SEM 图像是您首选的实验工具: 在形变过程中进行特征追踪并将获取的图像最终用于数字图像相关 (DIC) 计算。您可将获得的图像导出至 2D DIC GOM Correlate 软件**中, 以分析应变分布并与 SEM 图像进行叠加。高分辨率的 SEM 图像可传输至相关的可计算应变分布的 DIC 软件中。

**2D DIC 软件 GOM Correlate
<https://www.gom.com/3d-software/gom-correlate.html>

在力学测试中自动连续成像, 并与 EDS 分析相结合

您在这里可以了解到金属和合金的力学性能, 以及夹杂物如何影响断裂的发生和迁移。在力学测试中对夹杂物进行自动 SEM 成像和 EDS 面分布分析, 以全面研究裂纹的行为。结合成像和分析, 您可对夹杂物参数 (形状、尺寸、数量、间隔、分布和界面强度) 对力学性能的影响进行表征。

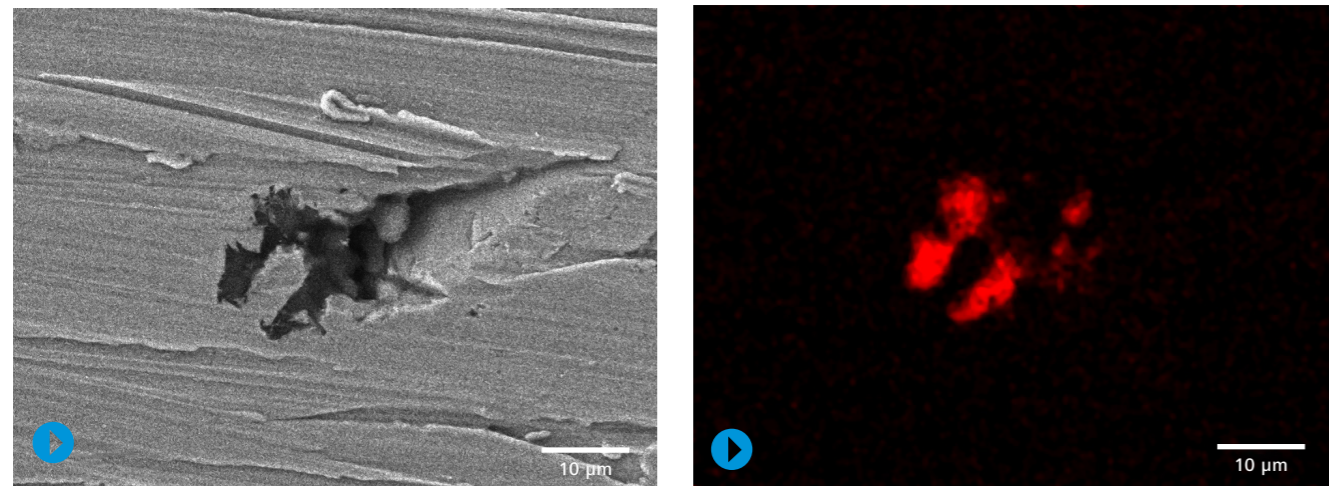


图 4: 对黄铜样品进行原位拉伸实验, 在 20 kV 下使用 500 pA 的束流成像, 呈现了连续成像和分析 (左: SE 图像, 右: EDS 面分布图)。在每个变形步骤中对样品进行成像, 并自动获得相应的 EDS 面分布图。这些面分布图显示了在裂纹生成处的夹杂物上 Si 元素的分布。

用分析补充您的成像——高温下拉伸实验的 EBSD 面分布表征

当您想全面表征样品时, 仅有成像是不够的。将 EBSD 分析和原位力学拉伸实验相结合, 可以观察诸如在高温下载荷加载过程中晶粒中产生的取向差或缺陷, 获取自动原位实验中的应力应变曲线, 并在原位加热台时进行一系列 EBSD 面分布表征。

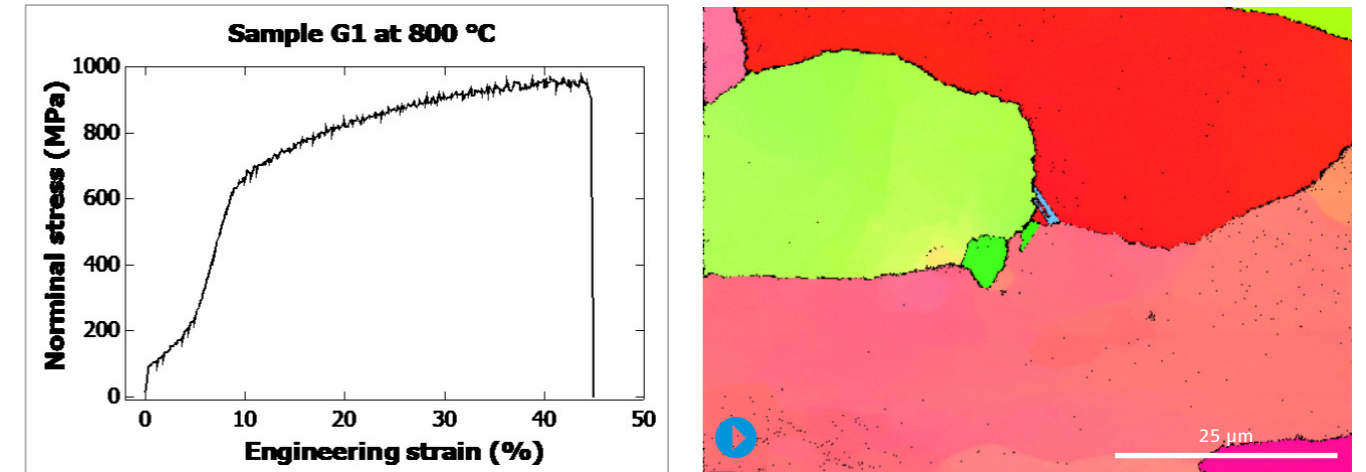


图 5: 使用 Haynes 282 样品进行原位力学拉伸实验和 EBSD 分析, Haynes 282 是一种 γ' 强化合金, 其常用于高温结构并会导致晶粒产生取向差和缺陷。左侧为应力应变曲线。右侧为原位高温拉伸实验中一个感兴趣区域的一系列 EBSD 面分布图。滑移带清晰可见。靠近绿色小晶粒 (EBSD) 的位置形成了一个位于中央的空腔, 在 SEM 图像中生成了一个凹陷区域。

获得出色的通道衬度

在加热实验中, 可利用高温 BSD 探测器的优势。该探测器提供出色的通道衬度, 让您从样品中获得更多信息。在原位拉伸测试中研究不锈钢等样品时, BSD 图像可显示通道衬度, 使您能够捕捉到滑移带的形成。您可从量身定制的配备冷却装置、可进行长时间连续成像的高温 BSD 探测器中受益。

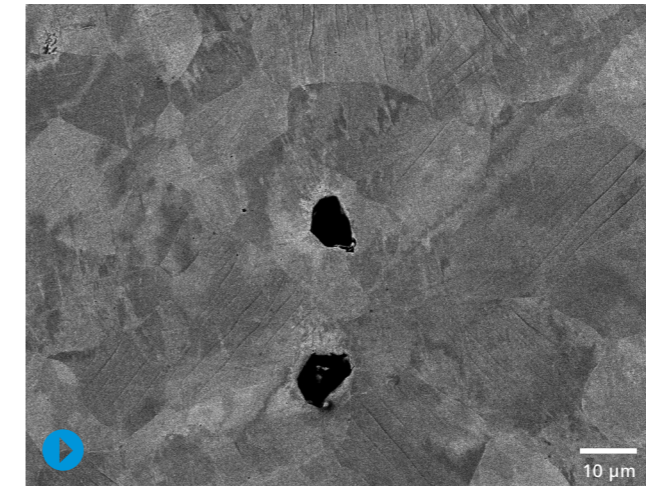


图 6: 使用基于闪烁体的带有冷却功能的 BSD 探测器, 在原位拉伸载荷下对 600° C 的钢样品进行成像。图像显示了极佳的通道衬度, 并捕捉到原位拉伸载荷过程中滑移带的形成, 如视频中所示。

基于蔡司场发射扫描电镜的原位实验平台

多模式原位实验集成解决方案

图 7: 拉伸台。样品倾斜至 70°, 以进行 EBSD 分析。
加热模块安装在样品下方, 用于进行高温实验。

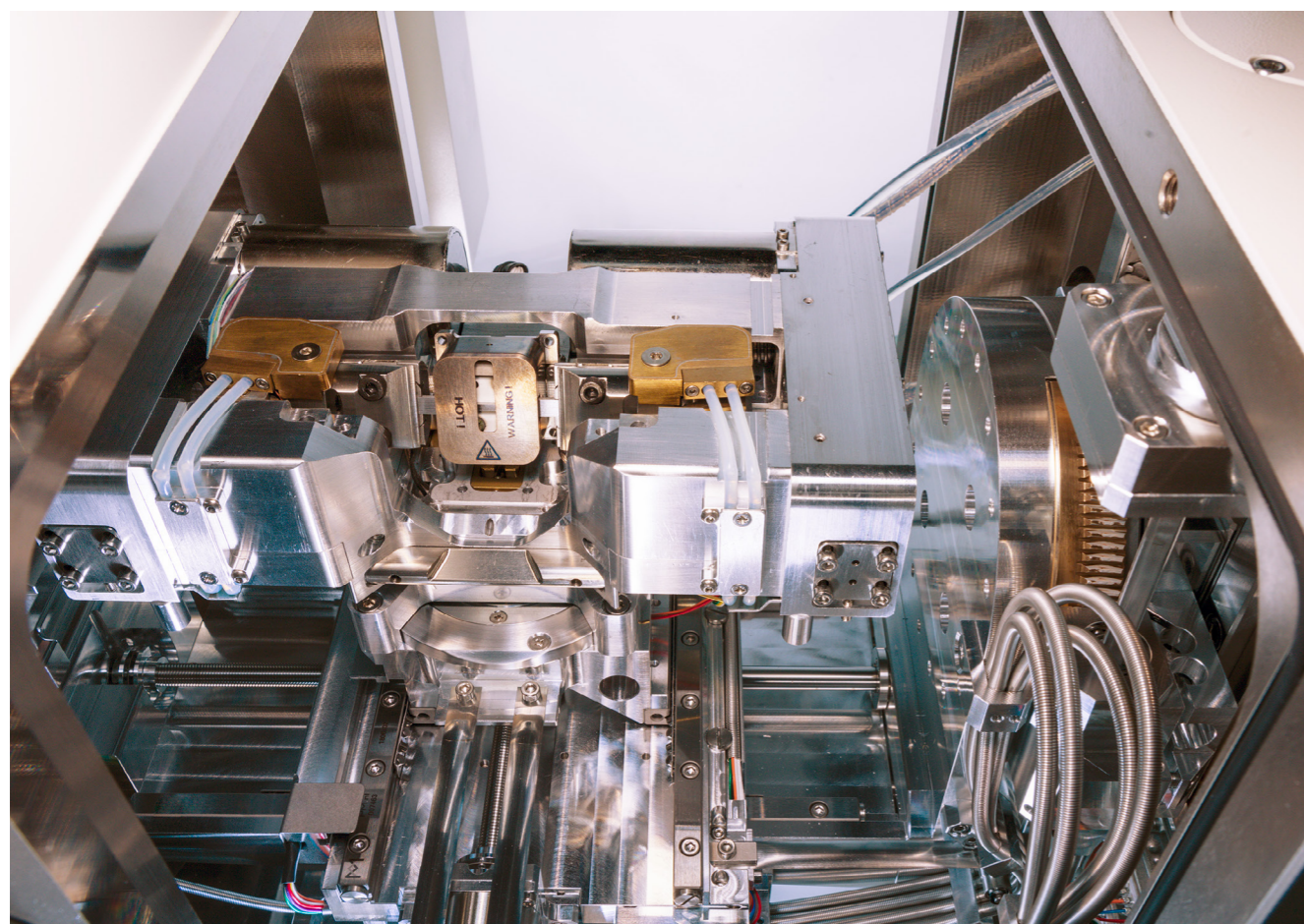
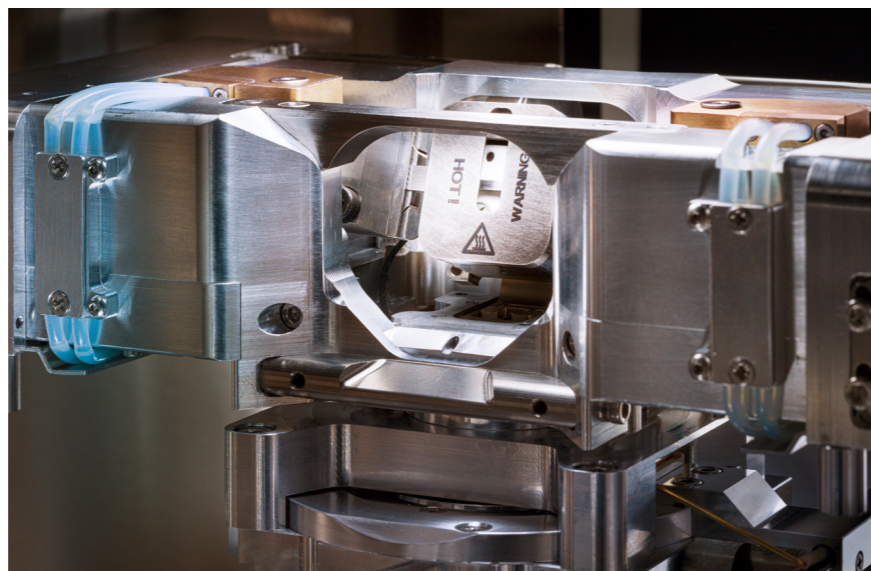


图 8: 拉伸台安装在 SEM 样品台上。

技术参数

基于蔡司场发射扫描电镜的原位实验平台

蔡司场发射扫描电镜原位实验平台提供:

基本参数	测试样品台和软件
样品台	力学拉伸 / 压缩最高可达 5kN, 双电机设计
载荷传感器	带有内置式热补偿, 可更换 200N (@ 分辨率 0.02N); 1kN (@ 分辨率 0.1N); 5kN (@ 分辨率 1N)
加热模块 (选配)	可拆卸, 可从室温调节至最高 800°C (加热模块表面), 控温调节精度为 0.1°C
拉伸和压缩速度	0.55 至 30 $\mu\text{m}/\text{秒}$
夹具倾角	0° 用于成像和 EDS; 70° 用于 EBSD 面分布表征
水平成像工作距离	最小 10 mm
软件	自动拉伸和 / 或加热实验 自动特征追踪 可设置结果图像 样品更换向导 带有任意成像或分析参数的多个感兴趣区域 (ROI) 使用 GOM 软件的数字图像相关计算
建议用于数字图像相关计算的推荐软件	GOM Correlate
高温 BSD 探测器 (选配)	配备冷却功能的高温 BSD 探测器, 可用于长时间实验 (加热模块温度最高可达 800°C)
* 兼容性	可作为选件用于蔡司 FE-SEM 系列 GeminiSEM 360、GeminiSEM 460 和配备优中心样品台的 Sigma 560。 选择 GeminiSEM 460 用于您要求较严苛的应用: 它基于 Gemini 2 的设计, 可以使您在超高且可调的束流强度下提高您的分析能力, 即使在低电压条件下也是如此。Sigma 560 和 GeminiSEM 360 结合了基于 Gemini 1 电子光学镜筒的成像和分析功能。 欲了解更多信息, 请联系本地蔡司销售代表。



蔡司显微镜

Carl Zeiss Microscopy GmbH
07745 Jena, 德国
microscopy@zeiss.com
www.zeiss.com/fesem-insitu

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：4006800720