



ionTOF

全新 M6

用于表面分析的先进离子束技术

M6 - SIMS 技术捷足先登

M6 是 IONTOF 开发的最新一代高端 TOF-SIMS 仪器。

其设计保证了 SIMS 应用在所有领域的卓越性能。

新的突破性离子束和质量分析器技术使 M6 成为 SIMS 仪器中的标杆、工业和学术研究的理想工具。

- 1 新型 Nanoprobe 50 具有高横向分辨率 ($< 50 \text{ nm}$)
- 2 质量分辨率 $> 30,000$
- 3 独特的延迟提取模式可同时实现高传输, 高横向质量
- 4 无与伦比的动态范围和检测限
- 5 用于阐明分子结构具有 CID 片段功能的 TOF MS/MS
- 6 先进智能的 SurfaceLab 7 软件, 包括完全集成的多元统计分析 (MVSA) 软件包
- 7 新型灵活的按钮式闭环样品加热和冷却系统, 可长期无人值守运行



全新 M6 TOF 质量分析器

更高水平的质量分辨率和灵敏度

质量分辨率
优于 30,000

传输率，质量分辨率和质量精度是飞行时间质量分析器最重要的优势性能。M6 反射型质量分析器具有高传输率和高质量分辨率的特点。不论在 SIMS 正谱还是 SIMS 负谱应用中，两种高性能都是同时实现的。

仪器最新的性能水平可以检测例如 $\text{CH}/^{13}\text{C}$ 、 CH_2/N 等含有待解析分子的高质量二次离子，甚至更高质量范围的二次离子，从而有助于鉴定分子峰。

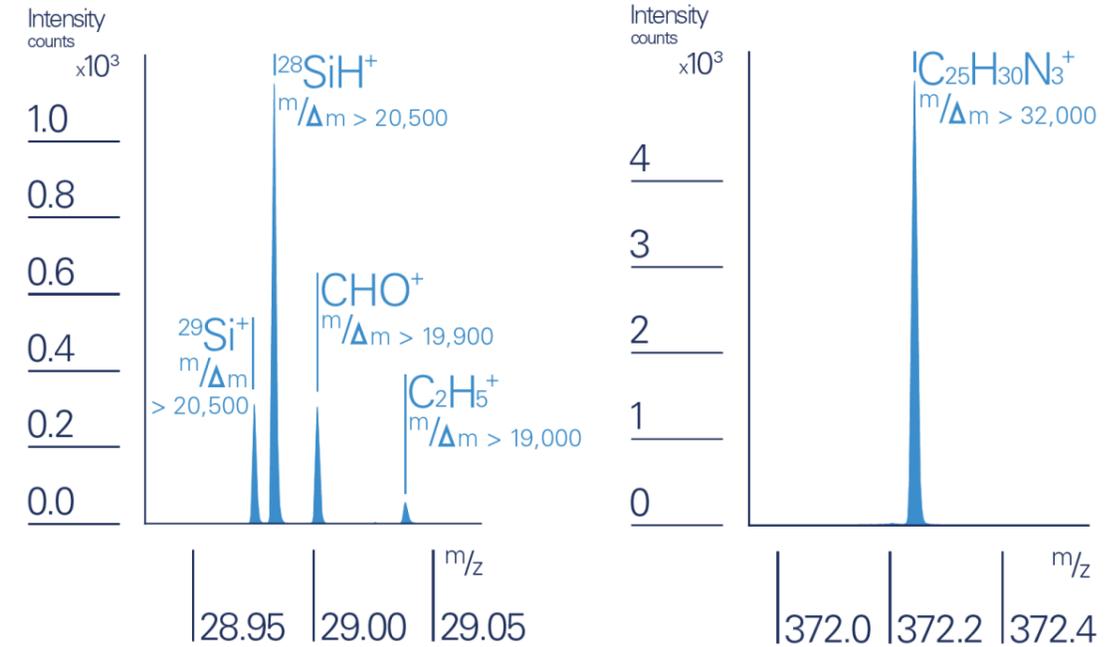
此外，可达到的质量精度是清晰峰鉴定的重要前提。M6 质量分析器具有线性质量标度，可提供优于 10 ppm 的卓越质量精度。

灵敏度提高 3 倍

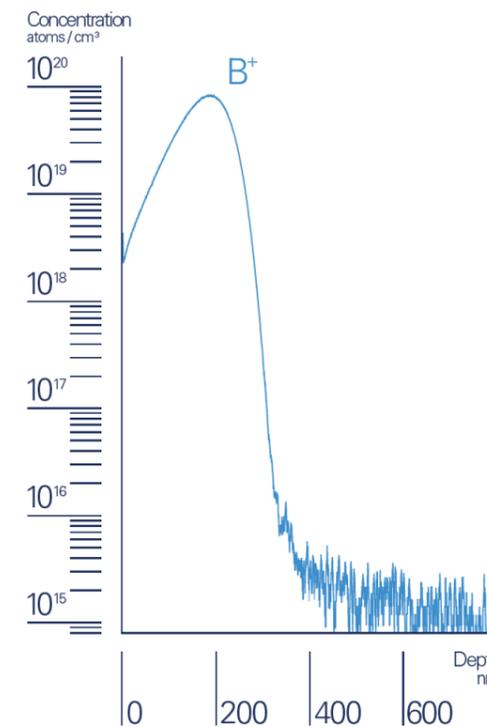
提取光学系统和检测系统的革新性设计使传输率提高了三倍。结合高重复率和经过改进的 Nanoprobe 50 的一次离子电流，在双束深度剖析中的检测限提高了三倍。

新的开发还使成像速度提高了三倍。曾经耗时的图像采集如今只需要几分钟。

利用获得专利保护的扩展动态范围（EDR）分析器技术，可以实现七个数量级的动态范围。能以出色的线性和可重复性记录信号强度超过 100 个离子的单个质量脉冲。



高分辨率质谱展示了在低质量范围和高质量范围内质量分辨率的新水平。



硼掺杂的 NIST 标准样品（SRM 2137）的深度剖析。

全新 M6 TOF 质量分析器

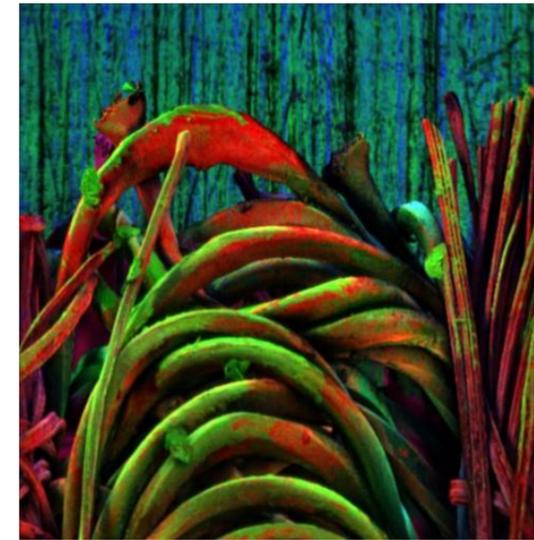
10,000 的质量分辨率结合 50 nm 的横向分辨率

延迟提取模式-将最高横向分辨率与高质量分辨率相结合

在传统的 TOF-SIMS 仪器中，质量分辨率取决于一次离子源的脉冲宽度，并因此决定最终的采集时间和图像分辨率。M6 的延迟提取模式克服了这一限制，并以独特的方式将最佳图像分辨率与高质谱性能相结合。

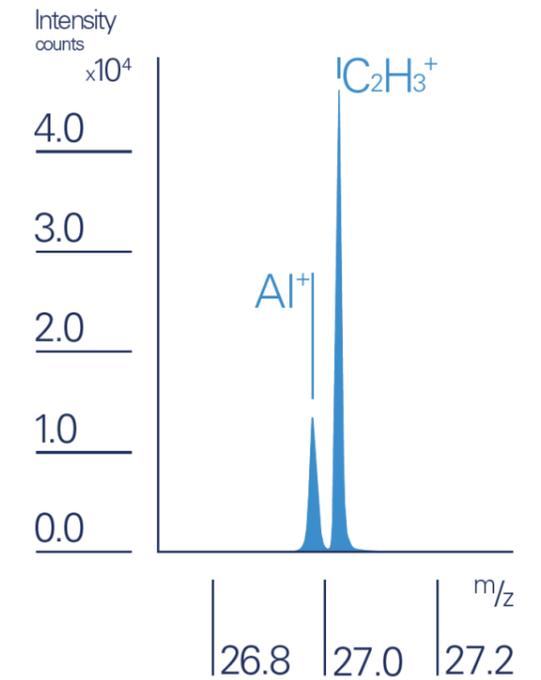
可以实现 10,000 以上的质量分辨率，同时得到优于 50 nm 的横向分辨率。以往这种质量分辨率只能在有限横向分辨率的质谱专用工作模式下才能实现。

延迟提取模式应用在非常粗糙的样品上也同样表现出优越的性能，再结合 M6 提取光学器件的出色景深，显著降低了形貌衬度。



叠合图: $C_4H_9^+$ (红), Na^+ (绿), Al^+ (蓝)
一次离子: Bi_3^{++} , 像素大小: $1 \mu m$,
Field of view: $500 \times 500 \mu m^2$

市售创可贴的纤维结构分析，显示出 C_4H_9 (红)，Na (绿) 和 Al (蓝) 的表面分布。该图像很好地展示了 M6 TOF 分析仪的出色景深。



从纤维的顶部到铝基板的高度差大于 $300 \mu m$ 。然而，相应的质谱显示出无机峰和有机峰明确分离的良好质量分辨率。



Nanoprobe 50

团簇离子束技术的新标杆

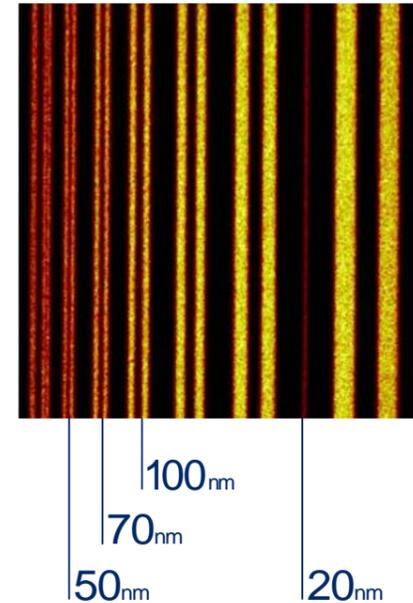
保证 50 nm 的横向分辨率
和提高两倍的数据传输率

Nanoprobe 50 是 M6 最新一代的铋离子团簇离子源。该源可提供高达 40 pA 的脉冲一次离子电流和远低于 50 nm 的最佳横向分辨率。

新的双极集束系统能以高达 50 kHz 的重复频率运行，从而得到极高的数据速率和更高的检测限。Nanoprobe 50 是用于高横向分辨率显微分析和成像以及高质量分辨率表面质谱分析和深度剖析的理想一次离子源。

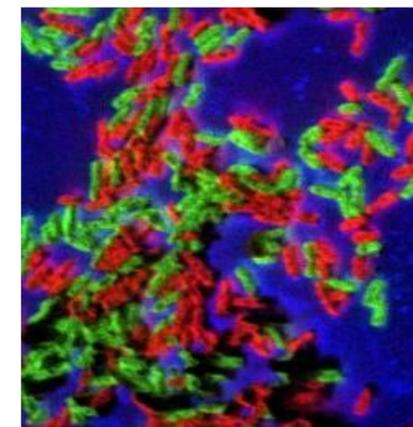
- 1 保证 50 nm 的横向分辨率
- 2 40 nA 的 DC 电流和高达 40 pA 的脉冲电流
- 3 质谱性能和操作便捷性都更上一层楼的新的双极集束系统
- 4 分离质量和一次离子脉冲电流的内部测量

新型 Nanoprobe 50 还配备了高精度光阑切换系统，结合全自动离子束对准功能，可提供更高的灵活性。操作员可从 9 个不同的光阑中进行选择，然后迅速（小于 2 s）以纳米精度对准，为手头的分析任务提供最佳的离子源设置。



显示出标准测试样品（L-200，由德国 BAM 提供）上的铝元素分布的表面成像。
可见图示的横向分辨率优于 50 nm。
Field of view: 8 x 8 μm^2
一次离子: Bi_3^{++} ，像素大小: 15 nm

更大的灵活性和全自动离子束对准



显示出硅片上经过 ^{12}C 和 ^{13}C 标记的大肠杆菌细胞的 ^{12}CN 、 ^{13}CN 和 Si 元素表面分布的表面成像。
对于本次分析，采用了 M6 TOF 质量分析器的延迟提取模式以同时达到最佳成像分辨率和 10,000 以上的质量分辨率。
Field of view: 15 x 15 μm^2
一次离子: Bi_3^{++} ，像素大小: 60 nm

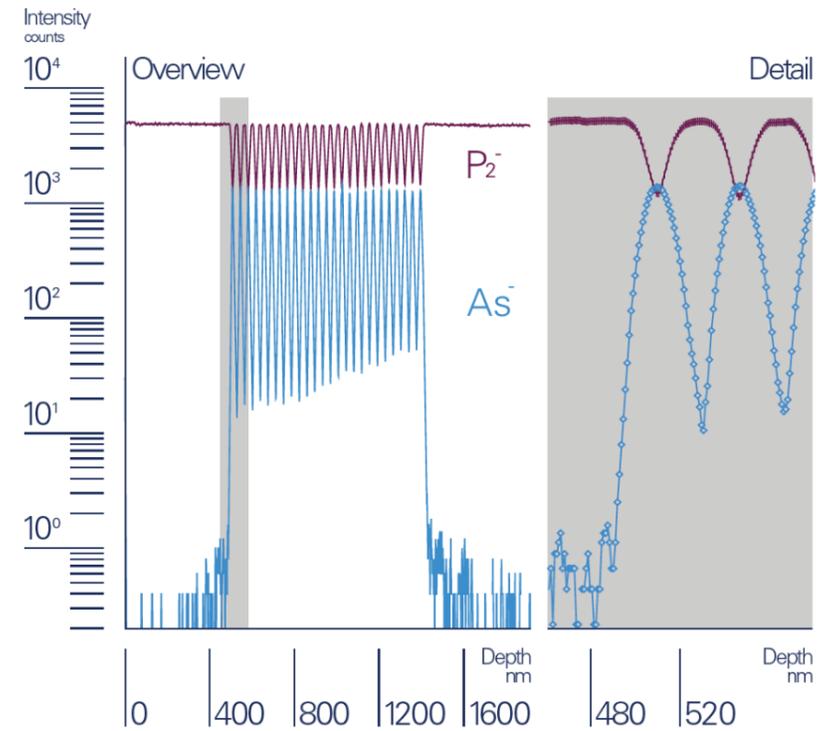
叠合图: ^{12}CN (红), ^{13}CN (绿), Si (蓝)

高端双束深度剖析

从 nm 到 μm ——DSC，用 O_2 和 Cs 进行无机深度剖析的高性能耐用仪器

双束离子源 (DSC) 是适用于所有无机深度剖析应用的新型高电流溅射源。该离子光学镜筒配有两个离子源，一个用于运行 O_2 , Ar 或 Xe 作为工作气体的电子撞击气体离子源，另一个是热电离铯离子源。

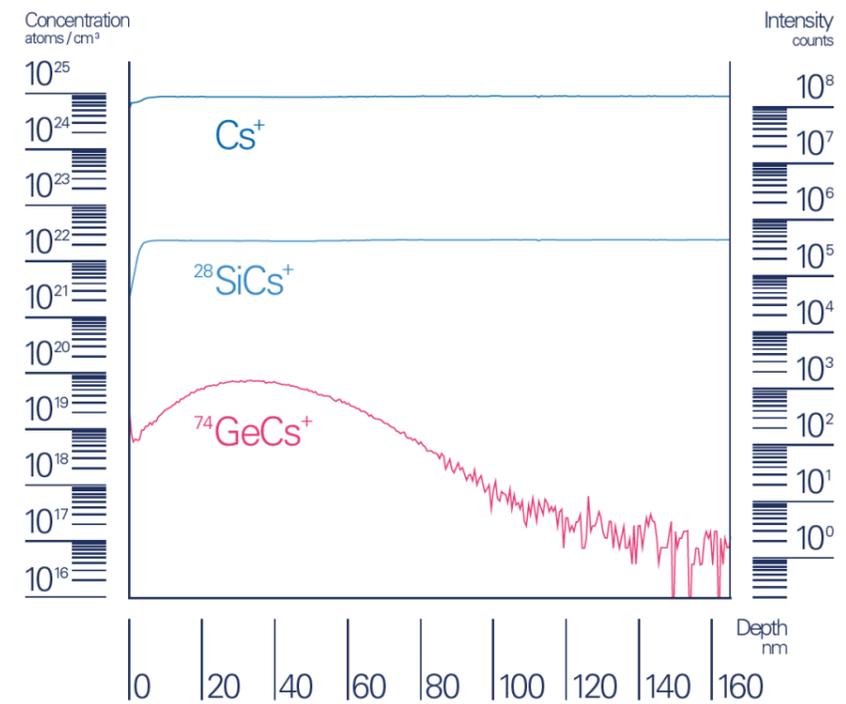
M6 可在完全隔行模式下以高达 50 kHz 的重复频率运行，从而保证了最高的数据速率和最佳的样本结构采样。该示例显示出了埋入式多层结构的深度剖析。由于高重复率，尽管溅射速率很高 (100 nm / min)，仍可以成功进行深度剖析。



MCs^+ 模式下的
量化深度剖析

MCs^+ 模式已在 TOF-SIMS 应用中变得非常流行，因为它可以轻松地对许多无机样品体系进行定量。M6 具有极高的铯离子团簇电流，高性能的铯离子溅射源和先进的 EDR 技术，是实现这种极为强大的分析模式的理想工具。

采用 IONTOF 独特的获得专利保护的 EDR 技术可以实现即使在多层体系的样品上，也可以同时测量非常高的 Cs^+ 强度和较低的 MCs^+ 强度，以补偿基体效应并实现更好的定量。

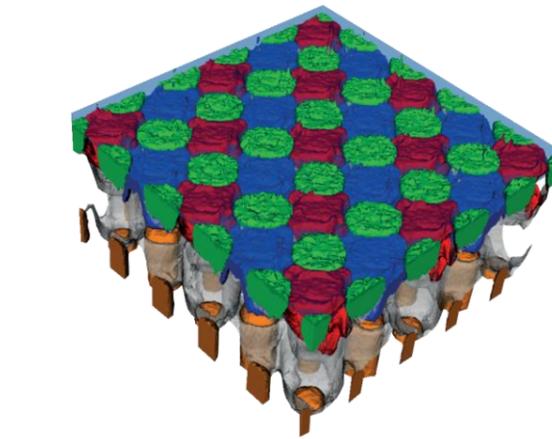
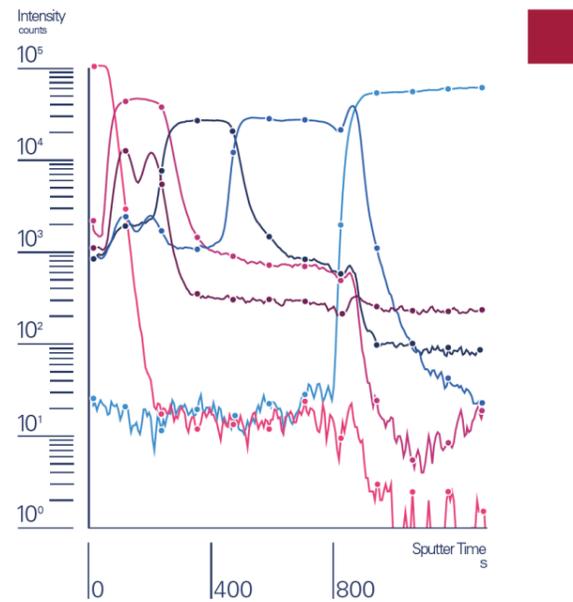


气体团簇离子源

有机材料深度剖析的最佳解决方案

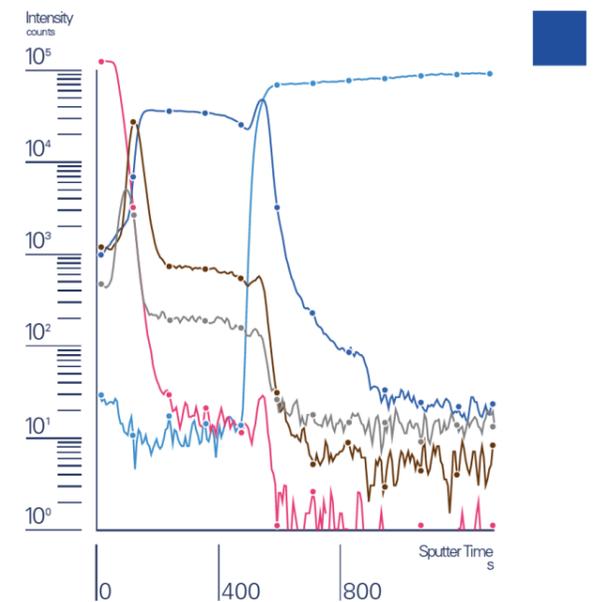
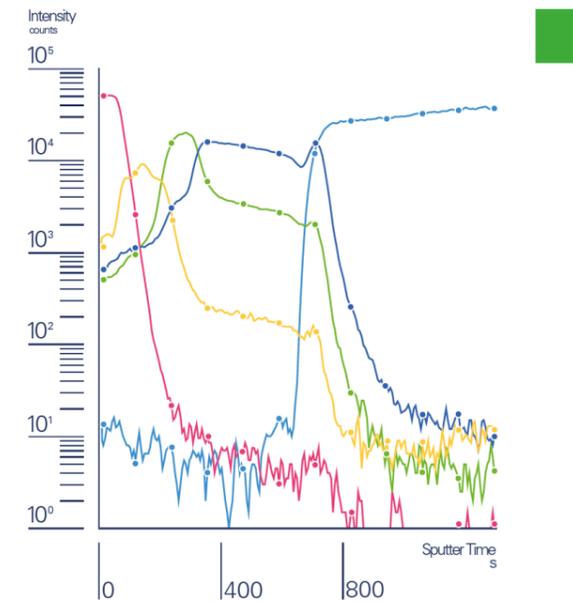
在 TOF-SIMS 实验中使用大型氙气团簇离子作为溅射物，可以实现对有机材料进行深度剖析的同时保留完整分子信息。这使得气体团簇离子源成为 SIMS 应用于有机分析领域的有力工具。

- 1 针对双光束和单光束深度剖析进行优化的完全集成的解决方案
- 2 最高可调能量范围达 20 keV
- 3 提供分析模式



该示例为对 OLED 器件有机层结构中的各个像素进行 SIMS 深度剖析。

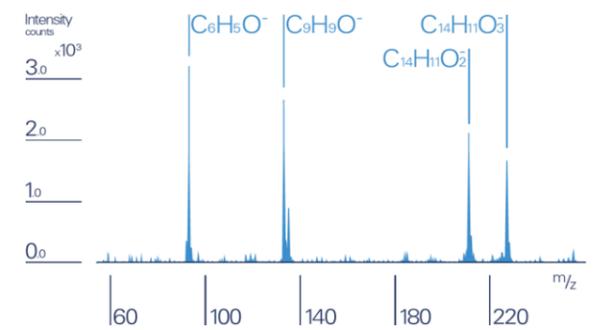
In ⁺
158.09 u
613.34 u
639.38 u
675.90 u
679.19 u
730.25 u
769.44 u
781.38 u
1057.41 u



气体团簇分析

大型氙气团簇离子也可以用作 TOF-SIMS 中的一次离子。气体团簇源的独特 IONTOF 90° 脉冲系统可产生短一次离子脉冲，以进行高质量分辨率的表面质谱分析，并使所施加的团簇大小可在 500 到 10,000 个原子/簇的范围内调节。

由于使用气体团簇离子作为一次离子束时，团簇中的单个原子能量可以低至 2 eV，因此能够深入研究原子的能量，团簇大小对图谱质量、分子破碎度和二次离子产额的影响。右图为离子束能量为 20 keV 的氙气团簇作为一次离子分析源而得到的聚碳酸酯样品的质谱图。

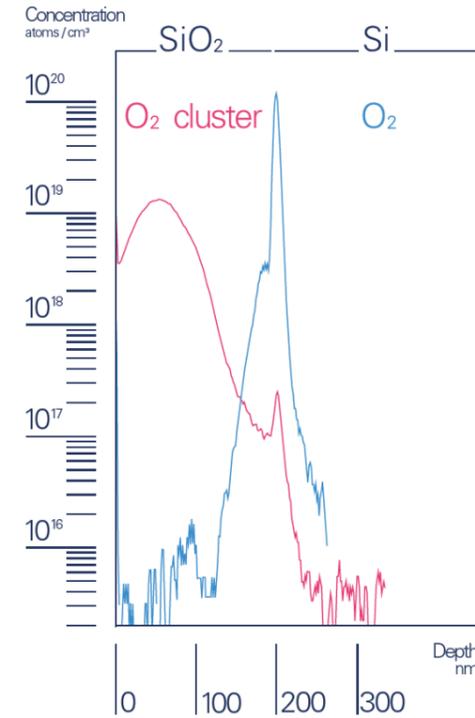


氧气团簇和 FIB 应用

GCS 的 O₂ 团簇功能

M6 气体团簇源也支持氧气团簇功能。氧气团簇将大型气体团簇的使用从有机应用扩展到具有挑战性的无机样品体系。优异的溅射速率与即使在团簇轰击下也能保持高氧化态的能力相结合，可实现高灵敏度的无机深度剖析。有趣的应用是 SiGe 定量分析或在非导电材料（例如玻璃或 SiO₂）中 Li, Na 或 K 深度分布的无伪测量。

该示例显示了分别使用 O₂ 和 O₂ 团簇作为溅射物测得的 200 nm SiO₂ 薄膜内部的 Li 元素深度分布之间的比较。使用 O₂ 团簇溅射得到的深度剖析显示了预期的深度分布，但使用 O₂ 溅射得到的深度剖析明显受到了溅射离子束诱导的 Li 元素化学迁移的影响。



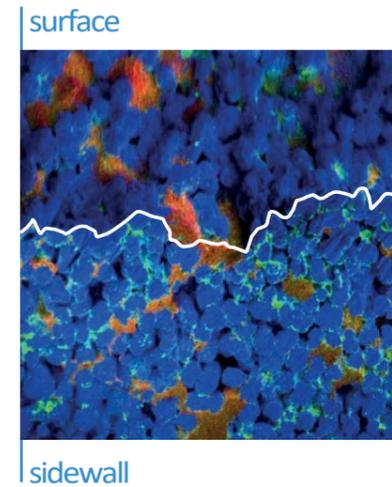
分别使用 O₂ 和 O₂ 团簇作为溅射物得到的 7 keV 锂注入 200 nm SiO₂ 层样品中的锂元素的深度分布。

聚焦离子束 (FIB)

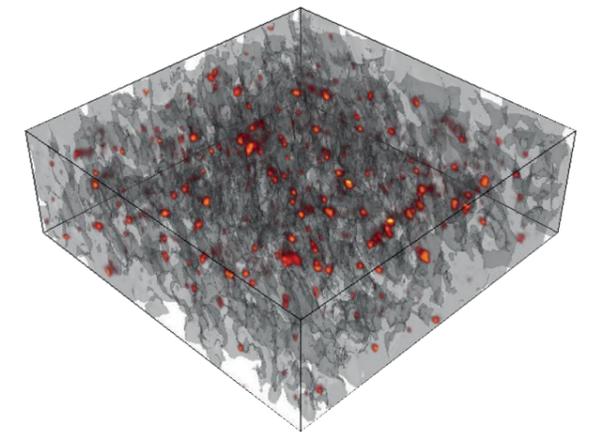
对于传统的 SIMS 深度剖析来说，对极粗糙样品，具有空隙的样品以及密度或溅射产额具有较强局部变化的样品进行三维分析几乎是不可能的。M6 的 FIB 扩展功能允许操作员通过将 FIB(Focus Ion Beam)与高分辨率 SIMS 成像相结合来克服这些限制。在此 FIB 装置中，使用单原子 Ga 束在样品中铣削出一个溅射坑，随后可以用 Nanoprobe 50 对所生成的溅射坑侧壁成像而无需移动样品。

通过进行一系列溅射铣削得到的连续溅射坑侧壁切片及其中间成像分析，可以最终合成得到样品的断层式全三维成像。

- 1 完全集成的软硬件解决方案
- 2 在铣削和成像作业之间无需移动样品
- 3 铣削过程的实时监控
- 4 支持自动 3D 断层扫描



显示有锂离子电池中的 O (蓝)、F (绿) 和 C (红) 分布情况的 FIB 溅射坑侧壁和样品表面的图像。



显示有锂离子电池中的 Li (灰) 和 Na (红) 分布情况的断层式三维分析。

全新 M6



为工业和学术研究而生

样品加热和冷却

超快速高效的闭环冷却系统

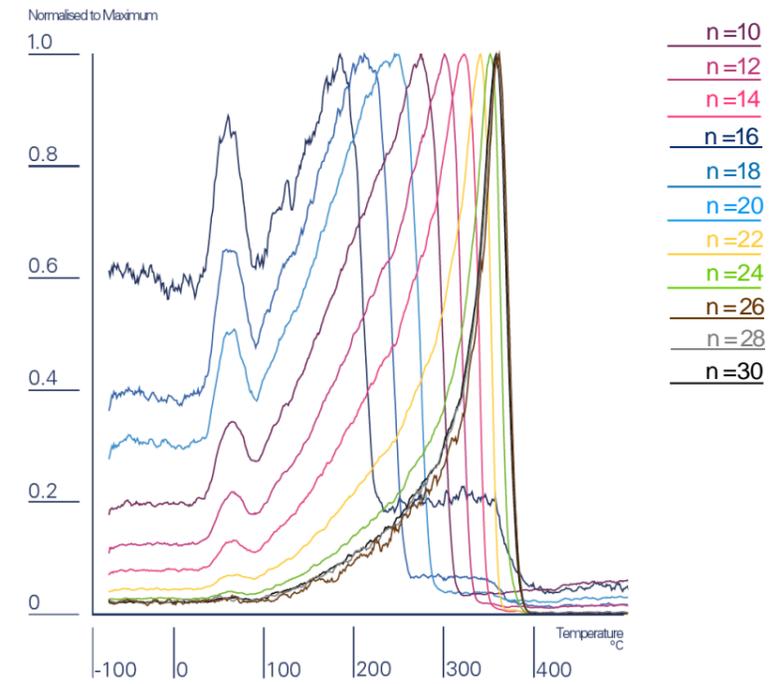
M6 的新型样品加热和冷却系统结合了独特性能和简易操作。闭环液氮泵送系统允许在分析室和进样室中进行超过 24 小时的无人值守式按钮式样品冷却操作。

新设计的样品托在样品尺寸方面提供了很高的灵活性，并允许在样品冷却或加热过程中样品台的所有轴方向依然可以自由移动。

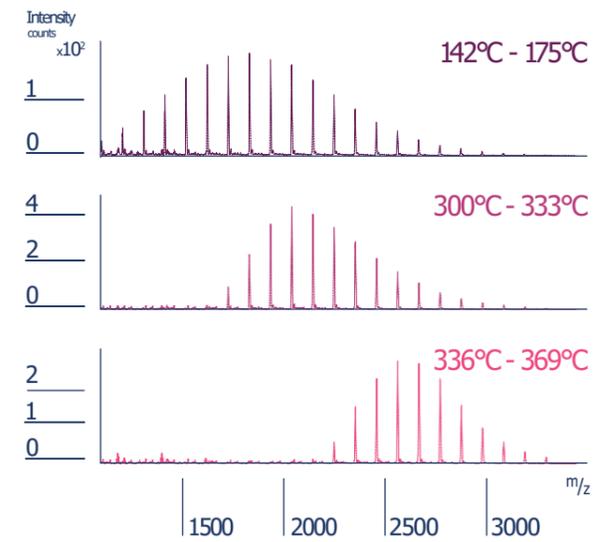
- 1 样品台所有轴方向完全自由移动，包括旋转和倾斜
- 2 可对已冷却或加热的样品进行大面积扫描
- 3 冷却时间极短
- 4 液氮消耗低 (< 0.5 升/小时)

该案例显示出了聚苯乙烯低聚物的温度依赖性。对于本次分析，温度以每秒 0.3 °C 的加热速率从 -100 °C 升高到 500 °C。

随样品表面温度的变化而变化的不同聚苯乙烯低聚物的信号强度。



n= 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30



聚苯乙烯样品在不同温度范围内的表面质谱。



SurfaceLab 7

功能强大的交互式数据分析

SurfaceLab 7 是适用于所有 IONTOF 仪器的最新仪器操作，数据采集和数据分析软件。IONTOF 借助此多功能软件包为当今的学术和工业实验室提供专业的解决方案。

极其强大的交互式数据分析系统使费时的数据重建变得过时，并且彻底改变了如今 TOF-SIMS 数据的处理方式。

该软件还包括用于质谱、成像、深度剖析和 3D 分析数据的完全集成的多元统计分析(MVSA)软件包。

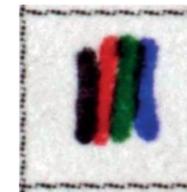
- 1 交互式数据分析
- 2 完全集成的 MVSA 软件包
- 3 完全集成的质谱库
- 4 先进的脚本和自动化功能

多元统计分析

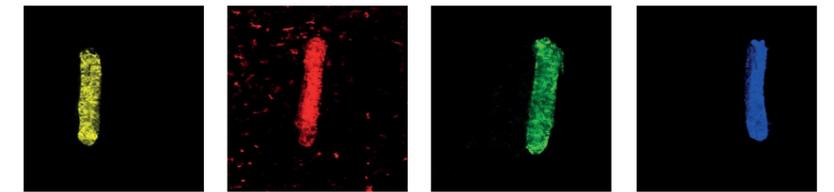
MVSA 是指一组统计方法，可以同时检查多个变量之间的关系。它通常用于在不会破坏基本信息的前提下通过减少变量的数量以降低数据集的复杂程度。SurfaceLab 7 包含以下 MVSA 方法：

- 1 主成分分析 (PCA)
- 2 最大自相关因子 (MAF)
- 3 多元曲线分辨 (MCR)

作为示例，图示为对由来自不同颜色墨水的条纹图案组成的样品进行的 MCR 分析。在执行了面扫描和一个包含 800 多个质量峰的自动峰搜索之后，这些峰几乎代表了 90% 的所有测得的信号强度，应用了 SurfaceLab 7 中包含的 MCR 方法。MCR 分析结果给出了图示的代表不同化学物质横向分布的 score image。从示例中可以明显看出，MCR 分析结果可以清楚地区分样品上的不同墨水。



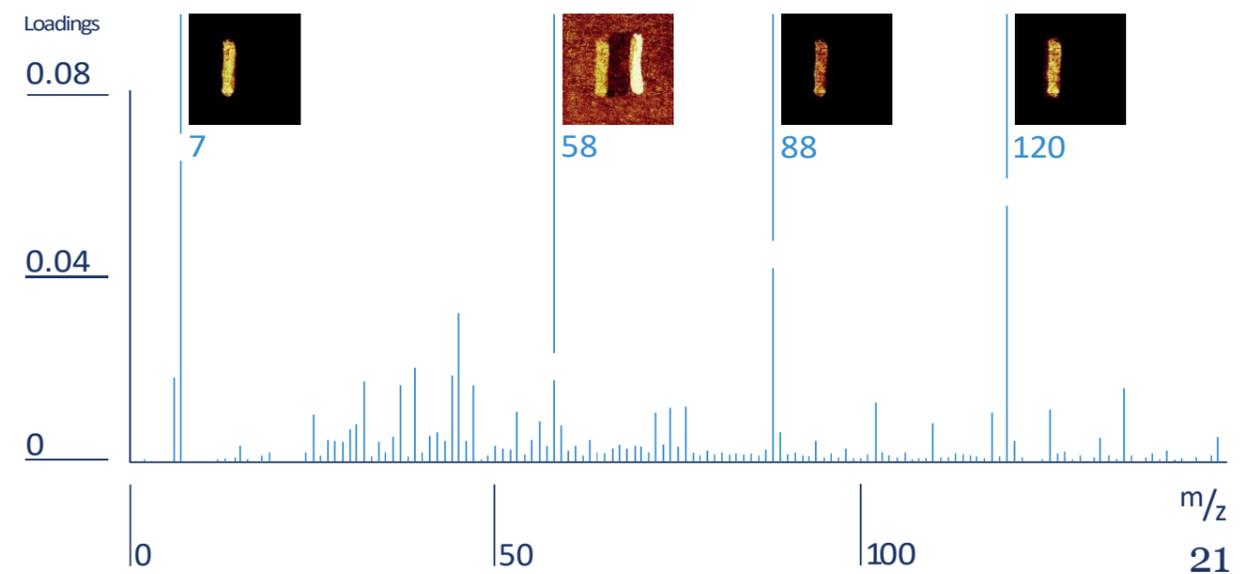
光学图像
Field of view 5 x 5 mm²



代表不同化学物质横向分布的不同 MCR 组分的 Score images

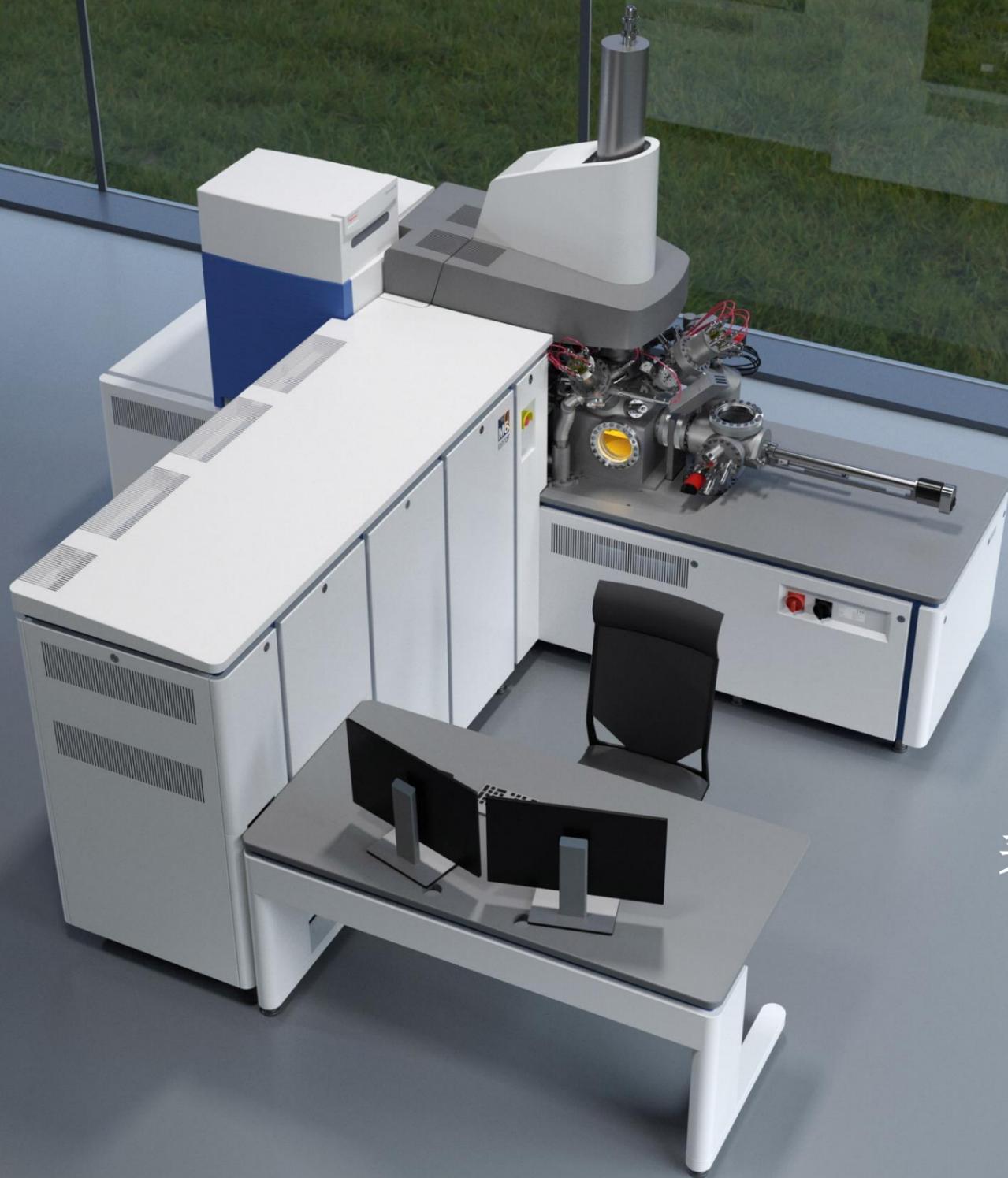
除了 scores images 外，还生成了相应的 loadings spectra。这些 loadings spectra 通过在质谱图上显示每个二次离子对相应组分即化学物质的贡献来表征化学组成。由于 MVSA 软件包已完全集成到 SurfaceLab 7 软件包和交互式数据分析之中，因此选定质量对应的二次离子图像会在 loadings plot 中显示出来。

图示的 loadings plot 与上面黄色的 score image (即黑色墨水)相对应。该图清楚地表明 7 u、88 u 和 120 u 这三种质量的成分仅存在于黑色墨水中，而 58 u 质量的物质还存在于蓝色墨水中。



通过将 MVSA 方法应用于海量数据集，可以显著降低复杂程度，从而轻松推导出主要化学成分及其组成。

M6 Hybrid SIMS



表面分析结合有机质谱

Hybrid SIMS

表面分析结合有机质谱

借助带有 Q Exactive™ 扩展的 M6, IONTOF 推出了结合最高质量分辨率(> 240,000)、最高质量精度(< 1 ppm)和高分辨率的团簇源 SIMS 成像的首款商用 SIMS 仪器。

TOF 分析仪的快速成像功能与 Q Exactive™ 独特的超精准峰鉴定性能相结合为有机样品的分析和检测提供了更高水平的 SIMS 信息。

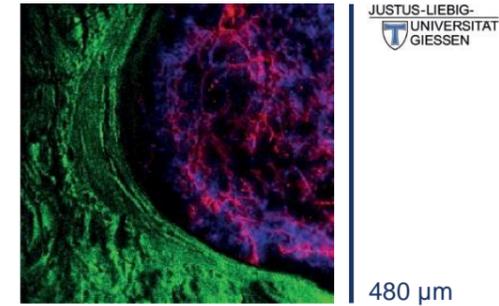
该新扩展升级还提供高端 MS/MS 联用功能对分子信息进行进一步确认。为高分辨率的分子信息 SIMS 应用树立了一个新标杆。

- 1 使用 TOF 和 Orbitrap™ 双分析器配置
- 2 超越静态 SIMS 极限的高分辨气体团簇成像和质谱测定
- 3 质量分辨率 > 240,000, 质量精度 < 1 ppm
- 4 高分辨 MS/MS 功能

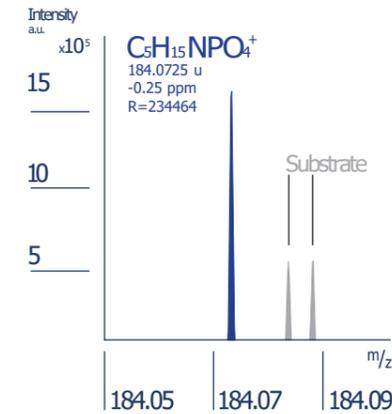
有了气体团簇离子源和 Orbitrap™ 的强大功能联合, 即使对于分析极其复杂的有机样品体系也能清楚地区分不同的特征。

以下两个示例中所示的所有质谱均获得了相同水平的质量分辨率和质量精度。两者都是高清峰鉴定的前提。

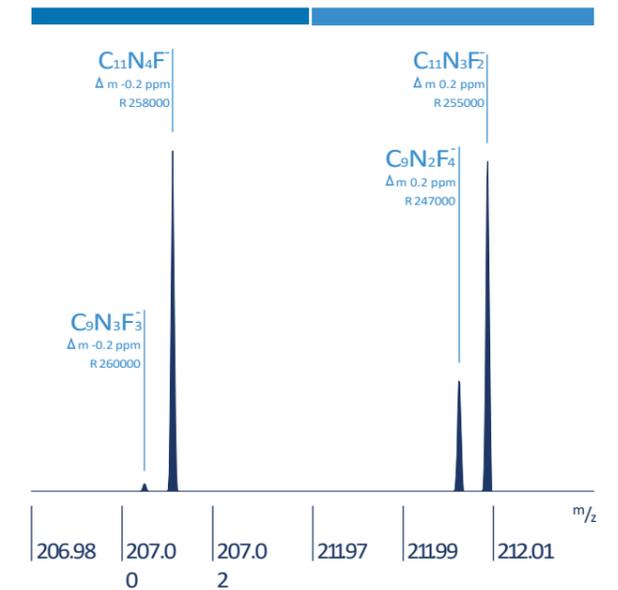
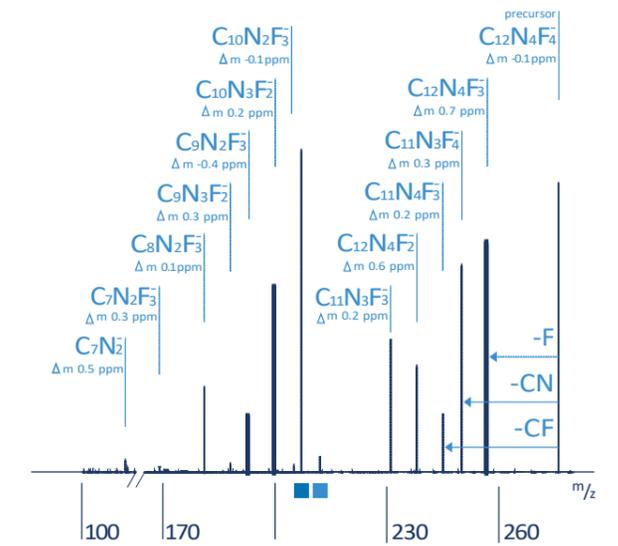
第一个案例是人体骨骼切片。红色代表骨髓内的胶原纤维, 蓝色代表 $C_5H_{15}NPO_4^+$ 的分布, 对应于磷脂酰胆碱特征基团。



由 Kaija Schäpe 和 Marcus Rohnke 博士 (德国吉森大学) 提供



第二个案例是一种用于 OLED 器件的有机分子的高分辨率结构分析。该总离子质谱图显示了完整的有关预选离子 $C_{12}N_4F_4^+$ 的 MS/MS 信息。两个高清质谱截图分别显示了不同质量碎片离子附近的质谱详细细节。



TOF MS/MS

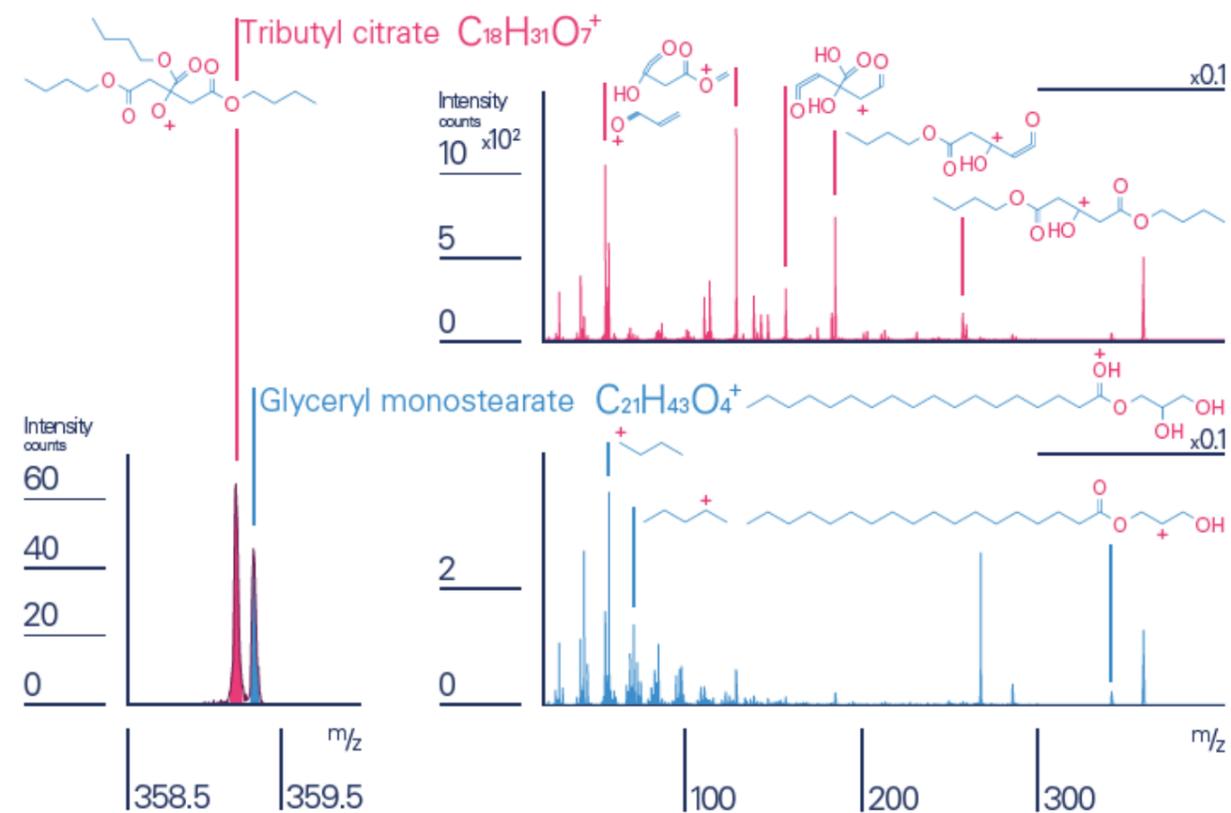
高传输率高质量分辨率的预选择和 MS/MS 成像

飞行时间二次离子质谱是一种用于表征有机材料体系表面信息和层信息的出色技术。但是，有机质谱的解读可能会非常具有挑战性，并且要求用户具有丰富的解谱经验。为了进一步简化谱图数据处理，IONTOF 为 M6 提供了各种工具，例如质谱图库，完全集成的多元统计分析 (MVSA) 软件包以及终极性能的 Q Exactive™ 功能扩展，可提供最高的质量分辨率 (> 240,000)，最高的质量准确度 (< 1 ppm) 和高端 MS/MS 功能。

借助新的 ToF MS/MS 功能选项，IONTOF 现在还为 M6 提供了更经济的 MS/MS 解决方案。该选项非常适合于快速确认预期的污染物或成分，以及快速的 MS / MS 成像或深度剖析应用。新的 TOF MS / MS 的主要特点是：

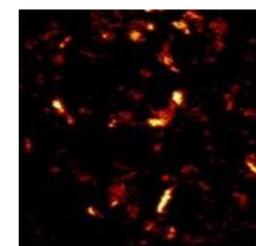
- 1 高传输率 (> 80%) 和高灵敏度
- 2 高质量分辨率的离子预选择，以免 MS2 碎片造成图谱干扰
- 3 可分别独立优化分析条件的连续完整的 MS1 和 MS2 数据流
- 4 支持多个预选离子的全自动 MS/MS 采集
- 5 MS1 的性能不受接收角、传输率或质量分辨率的影响

第一个示例显示了柠檬酸三丁酯 (Tributyl citrate) 和单硬脂酸甘油酯 (Glyceryl monostearate) 的混合物的 MS/MS 分析。两个分子在相同的标称质量下均显示出特征分子峰。通过独特的高质量分辨率的离子预选择，可以生成任何目标分子的独立 MS2 光谱，以避免碎片图谱干扰。

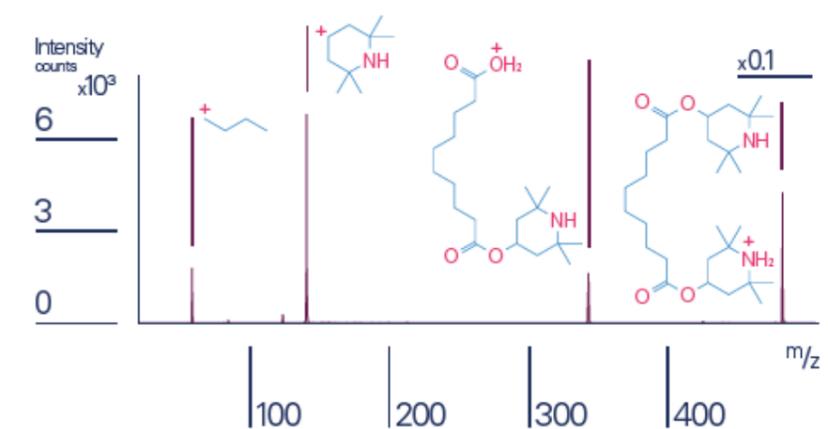


第二个示例为巴斯夫光稳定剂 Tinuvin 770 在小视野 ($100 \times 100 \mu m^2$) 上的高分辨率 MS/MS 成像分析，反映了 IONTOF TOF MS/MS 系统出色的高传输率。

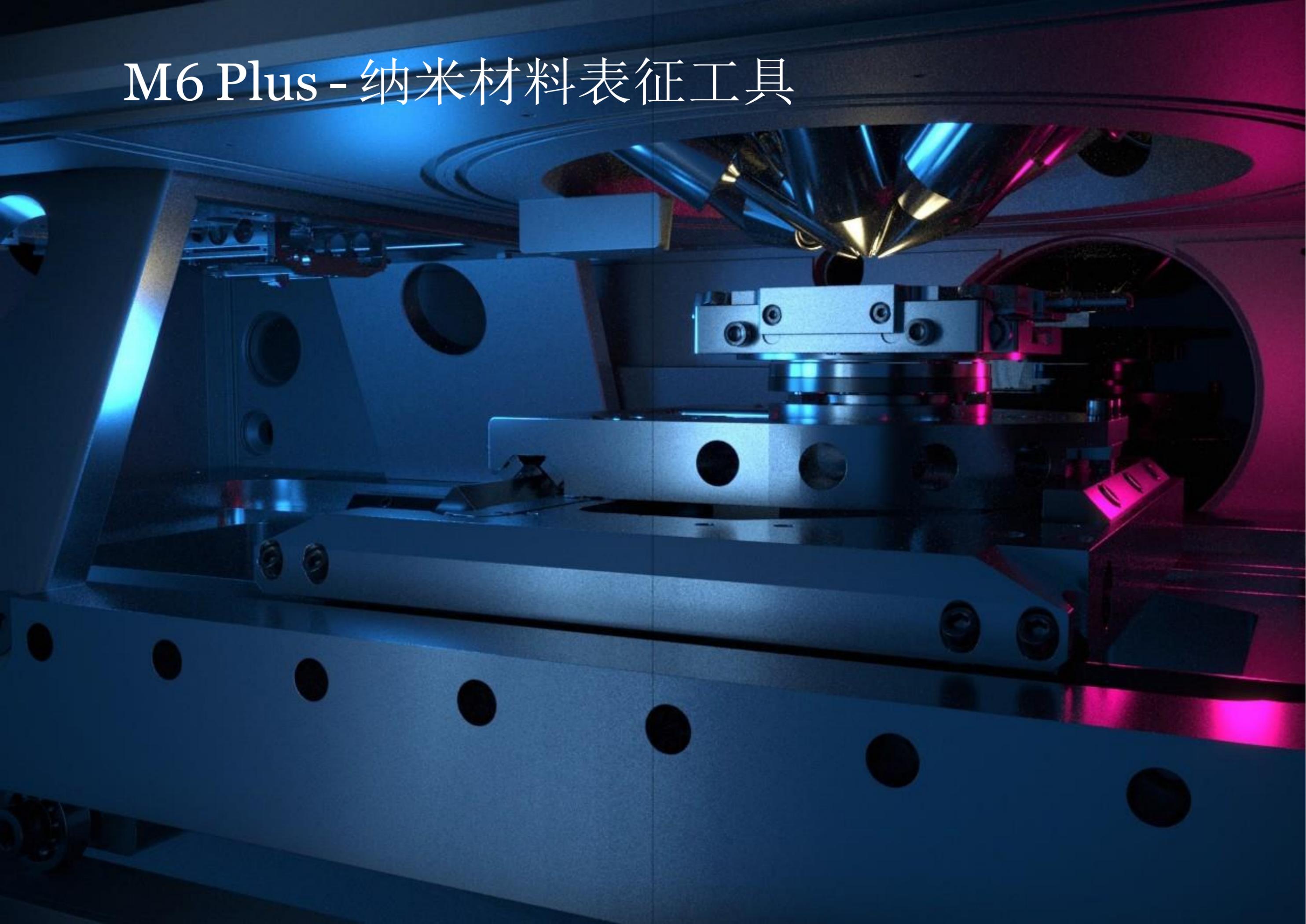
相应的 MS2 质谱图可以清楚地鉴定特征分子片段。



巴斯夫光稳定剂 Tinuvin 770 的 MS2 质谱和 MS2 成像。
Field of view: $100 \times 100 \mu m^2$



M6 Plus - 纳米材料表征工具



M6 Plus

强大的纳米表征 分析平台

有关纳米级材料和器件的化学成分，物理性质和三维结构的信息对于纳米科学和纳米技术的新发展至关重要。

在 3D SIMS 测量中，不易识别样品表面的初始形貌以及实验过程中的形貌变化。

扫描探针显微镜(SPM)可提供有关表面形貌的补充信息，也可以用于测量分析样品的物理性质。

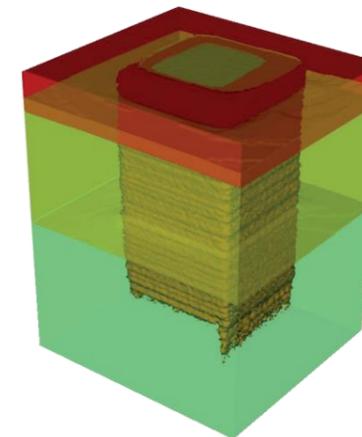
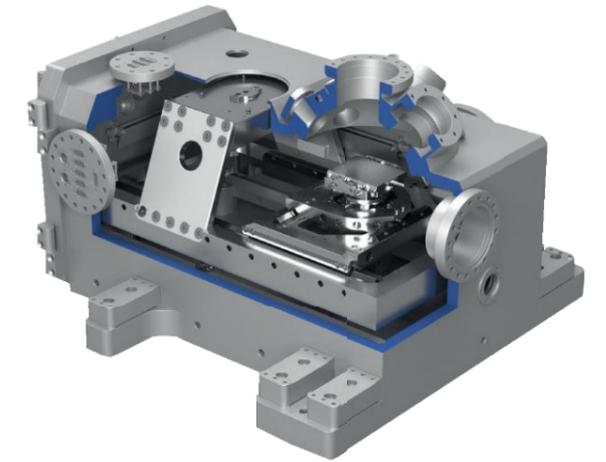
通过两种技术的结合使真正的原位三维化学成像成为可能。

新的 M6 Plus 分析平台结合了 M6 的高端性能以及执行原位 SPM 测量的可能性。

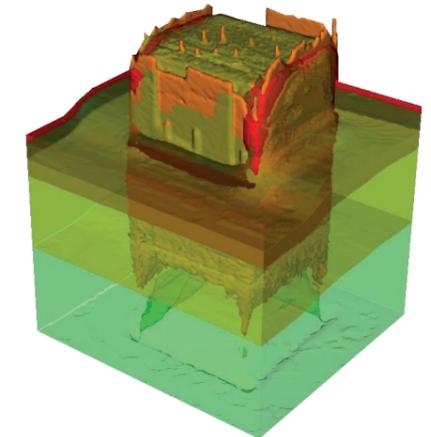
具有大扫描范围的 SPM 单元是为真正的 3D SIMS 测量提供形貌信息的理想选择。

- 1 支持所有标准 SPM 模式，例如 AFM, MFM, KPFM 以及多频模式
- 2 80 x 80 x 10 μm^3 的大面积 SPM 扫描范围
- 3 适用于测量大型 SIMS 溅射坑的表面轮廓分析模式

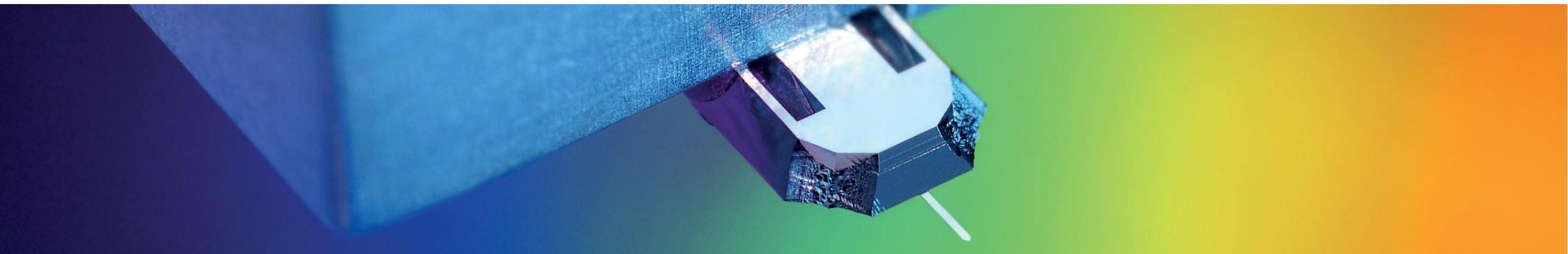
M6 Plus 的压电样品台具有亚微米级别的定位精度，可确保在 TOF-SIMS 和 SPM 测量位置之间快速而精确地移动。该样品台具有 10 nm 的最小步长和高达 10 mm/s 的行进速度，可确保更高水平的精度和稳定性。



未经形貌矫正的三维分析图： SiN (红), Ge (橙), SiO₂ (黄) and Si (绿).
Field of view: 25 x 25 μm^2



经过形貌矫正的三维分析图： SiN (红), Ge (橙), SiO₂ (黄) and Si (绿).
Field of view: 25 x 25 μm^2



北京艾飞拓
科技有限公司

海淀区阜外亮甲店 1 号，
中关村互联网文创园，
乙 3 号楼，232 室。

电话 010-88129851
邮箱 juning.gao@iontof.com.cn
网址 www.iontof.com.cn

ionTOF

海森堡路 15 号
48149 明斯特
德国

电话 +49 251 1622-100
邮箱 sales@iontof.com
网址 www.iontof.com