

Talos (S)TEM 搭载前所未有的 X-CFEG

超高亮度冷场 FEG 支持以最低工作量获取最优质的图像和分析信息

简介

材料科学领域表征的挑战不仅在于通过扫描透射电子显微技术 (STEM)、能量色散X 射线谱 (EDS) 和电子能量损失谱 (EELS) 等手段分析各种亚纳米或原子级尺度的材料、同时还要追求更好的信噪比和更高的分辨率。

更优质、更快速的 STEM 和分析

当高分辨率 STEM 图像不够清晰和/或分析谱学 (EDS/EELS) 的谱图结果噪音过于严重、导致细节不清楚、难以分析时、挑战就出现了。纳米颗粒或 (原子) 结构难以进行成像和化学分析的一个典型原因是无法从 STEM 中的小点获得足够的 EDS/EELS 信号、而如果采集时间过长、样品可能会受到损伤。这就拖累了研究进度、文章发表和材料的开发或优化。

要克服这些挑战、需要更小的光源尺寸和更高的光源亮度。我们在 Thermo Scientific™ Talos™ (S)TEM 上搭载了新型超高亮度冷场 FEG 电子光源 (X-CFEG)、X-CFEG 能够以最低工作量提供更好的空间分辨率和更优质的图像和谱学数据。

更高的能量分辨率提供更好的化学分析

为了将能谱解析得足够精细、以获取样品化学状态细节的准确信息、您必须能够以优于 0.8 eV 标准的能量分辨率开展 EELS 表征。而我们的 X-CFEG 可提供远超标准要求的 0.3 eV 的能量分辨率。

灵活性

另一个挑战在于、样品在 200 kV 条件下会受到很大的敲击辐照损伤。如果按照一般情况、降低高压至 80 kV、可以减少这种辐照损伤；然而、如果使用标准场发射电子枪、低电压下又会牺牲太多的 HRSTEM 空间分辨率。如果能像 X-CFEG 那样优化能量分辨率 (即降低色差) 并改进亮度、则可改善在 80 kV 条件下 HRSTEM 的成像和分析。

此外、超高的自动化水平使得在 Talos (S)TEM 上调整模式、束流和其他光学设置都变得非常直观。Velox™ 软件提供了一个最快且最简单的方法来获取和分析多模态数据。

这把全新电子枪的拥有成本更低、保修期更长。针对 X-CFEG、我们将提供 5 年保修、而非 1 年保修。

在 Talos (S)TEM 上搭载 X-CFEG 可提高 Talos 仪器的成像和分析性能、生产效率和易用性。这项新产品有助于材料学家以最低工作量和纳米级分辨率开展材料分析、并提高 STEM、EDS 和 EELS 的信噪比和分辨率。

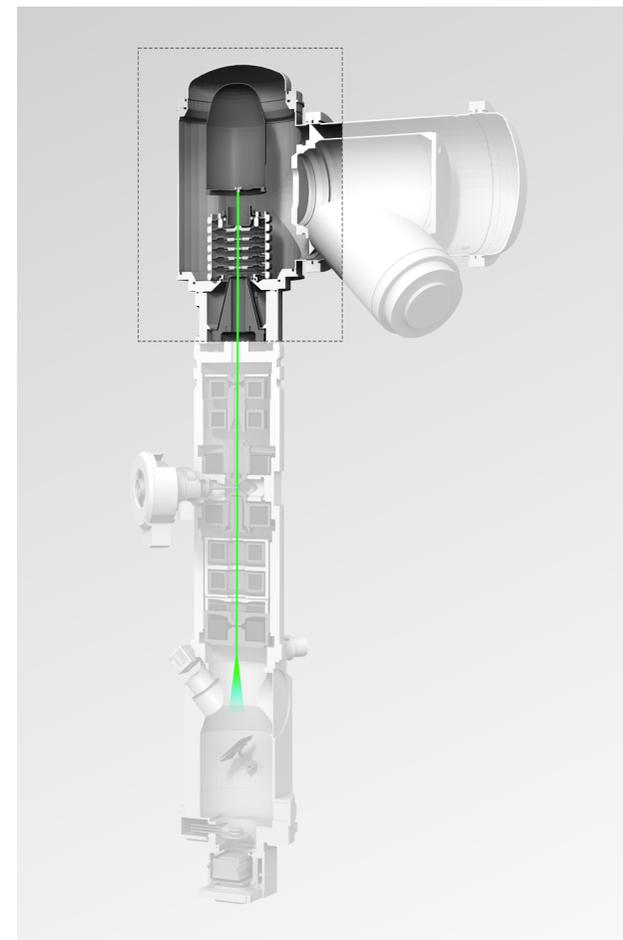


图 1. 配备了超高亮度的冷场场发射电子枪 (X-CFEG) 的 Talos (S)TEM 镜筒、可以快速实现高质量的 STEM 成像和分析。

性能

Thermo Scientific Talos F200i 和 Talos F200X G2 (S)TEM 现在可以配备全新超高亮度场发射电子枪 (X-CFEG)。X-CFEG 具有前所未有的高亮度、更小的光源尺寸 (针尖) 和更低的能量展宽、可提供以下优势：

- 1. 更迅捷的 STEM 成像**，这归功于更尖锐的电子枪针尖。用 X-CFEG 拍摄 STEM 图像比用 Schottky S-FEG / X-FEG 至少快 30%。
- 2. 更轻松、更出色的高分辨率 STEM 成像**。凭借 X-CFEG 与 Talos 光学器件的强强结合、可实现更出色的 0.136 nm HRSTEM 系统分辨率。
- 3. 凭借高分辨率 STEM 成像与高束斑电流的结合、可实现高通量、高采集效率的 STEM 和更快速的 EDS 和 EELS 分析**。凭借 X-CFEG 与 Talos 光学器件的强强结合以及高水平的自动化、可常态化实现高分辨率的 STEM 成像以及高束流的快速 EDS/EELS 化学分析。图 3 和图 4 展示了高束流下 Si[110] 和 SrTiO₃ (STO) 的 STEM 成像结果、图 5 和图 6 展示了 SrTiO₃ (STO) 的原子级 EDS Mapping 谱图。

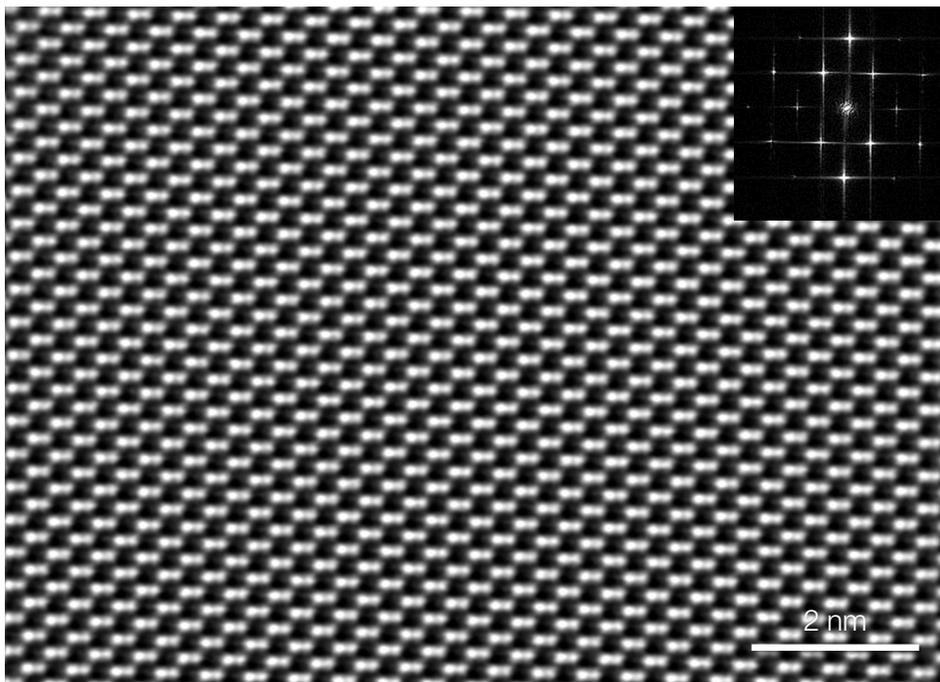


图 2.X-CFEG 在亮度、光源尺寸和能量展宽方面都优于其他电子枪。图中显示的是能量分辨率 <math><0.4\text{ eV}</math> 的 Si[110] HAADF HRSTEM 图像，其中哑铃结构的两个 Si 原子 (0.136 nm) 清晰可见。如果使用传统 Schottky FEG，通过 0.8 eV 的能量分辨率仅可以看到 0.16 nm 的结构。这些结果是在搭载 X-CFEG、Panther STEM 和 Gatan Continuum 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的。

50 pA	100 pA	150 pA	250 pA	500 pA	800 pA	1 nA
0.136 nm	0.136 nm	0.136 nm	0.16 nm	0.19 nm	0.19 nm	0.19 nm
0.40 eV	0.40 eV	0.40 eV	0.40 eV	0.40 eV	0.40 eV	0.40 eV

图 3a.在 Talos F200 X-CFEG 上，保持指定的 STEM 分辨率的同时，在 50 pA 到 1 nA 范围的束流下拍摄的 Si[110] HAADF HRSTEM 图像 (200kV)。改进后的 0.136 nm 的 HRSTEM 系统分辨率，即使在 >100 pA 的束流条件下也可以实现。

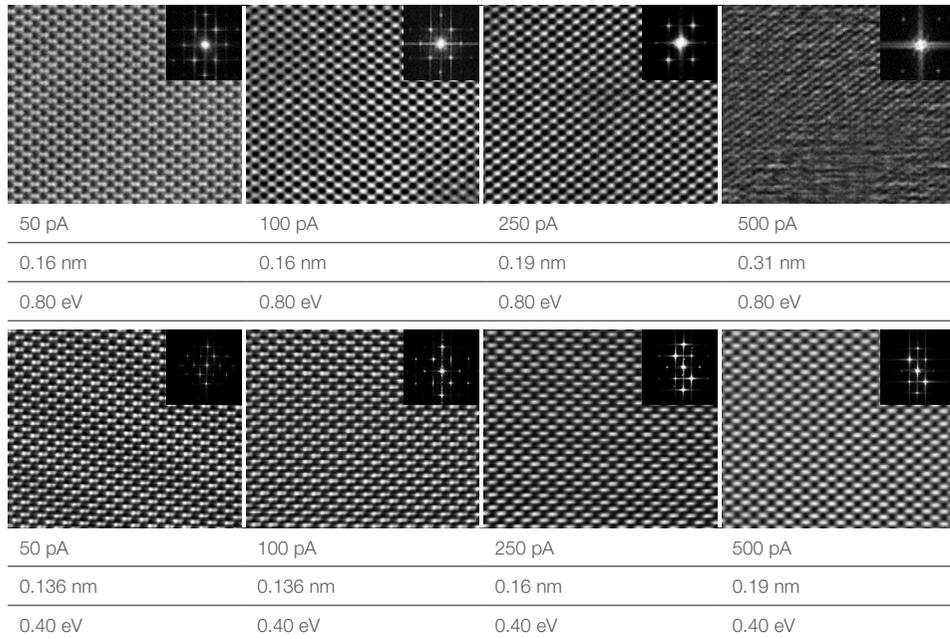


图 3b.在 50、100、250 和 500 pA 束流的条件下,使用 X-FEG (上方图) 和 X-CFEG (下方图) 拍摄的典型分辨率 HRSTEM 图像对比。

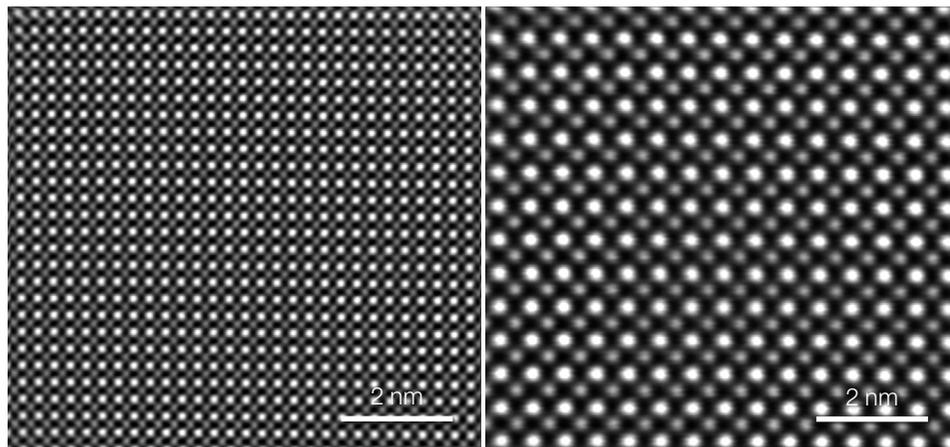


图 4.图中所示为 75pA 束流和 <0.19 nm 分辨率条件下拍摄的 SrTiO₃ (STO) HAADF STEM 图像,能量分辨率为 <0.40 eV。这些结果是在搭载 X-CFEG 和 Panther STEM 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的。

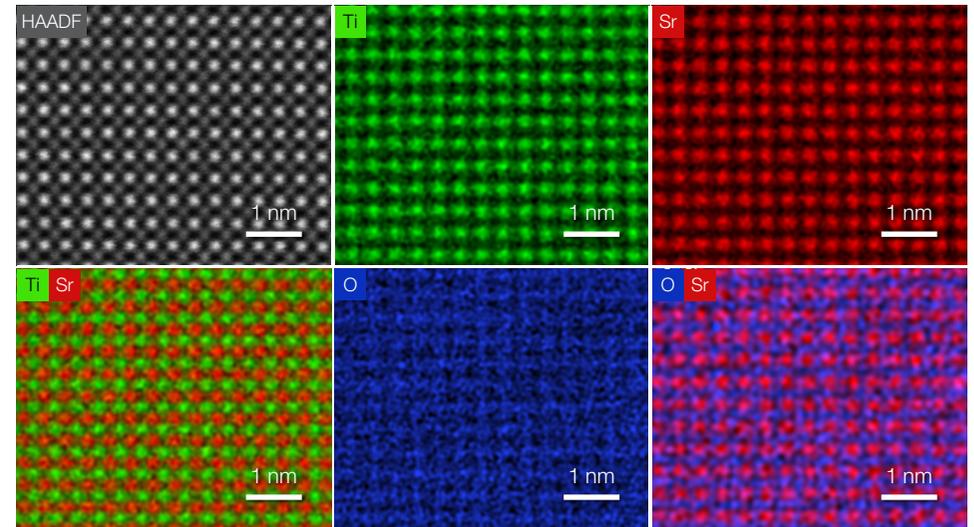


图 5a.图中所示为 75 pA 条件下的 STO HAADF STEM 图像和 EDS 谱图 (512x512)。这些结果是在搭载 X-CFEG、Panther STEM 和 Bruker Dual-X 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的。

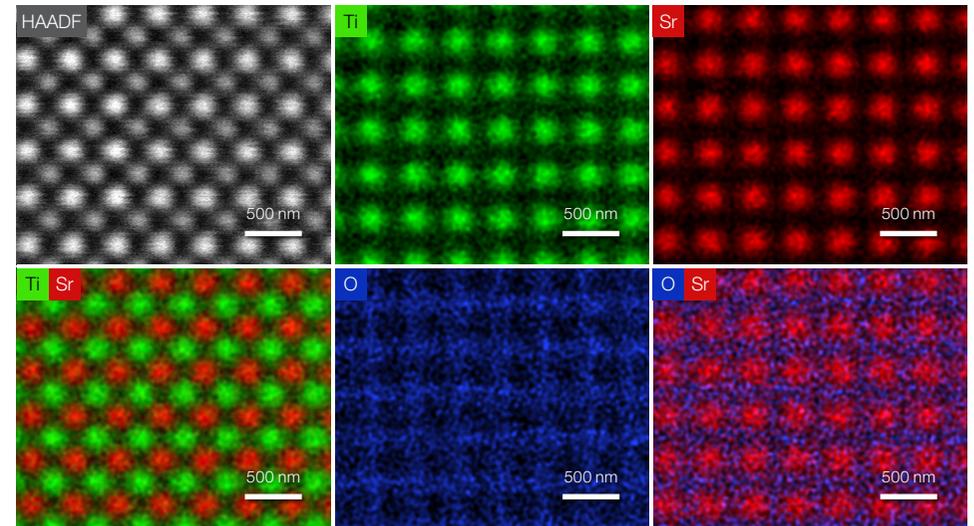


图 5b.图中所示为 75 pA 条件下更高放大倍数的 STO STEM 图像和 EDS 谱图 (512x512)。氧原子都清晰可见。这些结果是在搭载 X-CFEG、Panther STEM 和 Bruker Dual-X 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的。

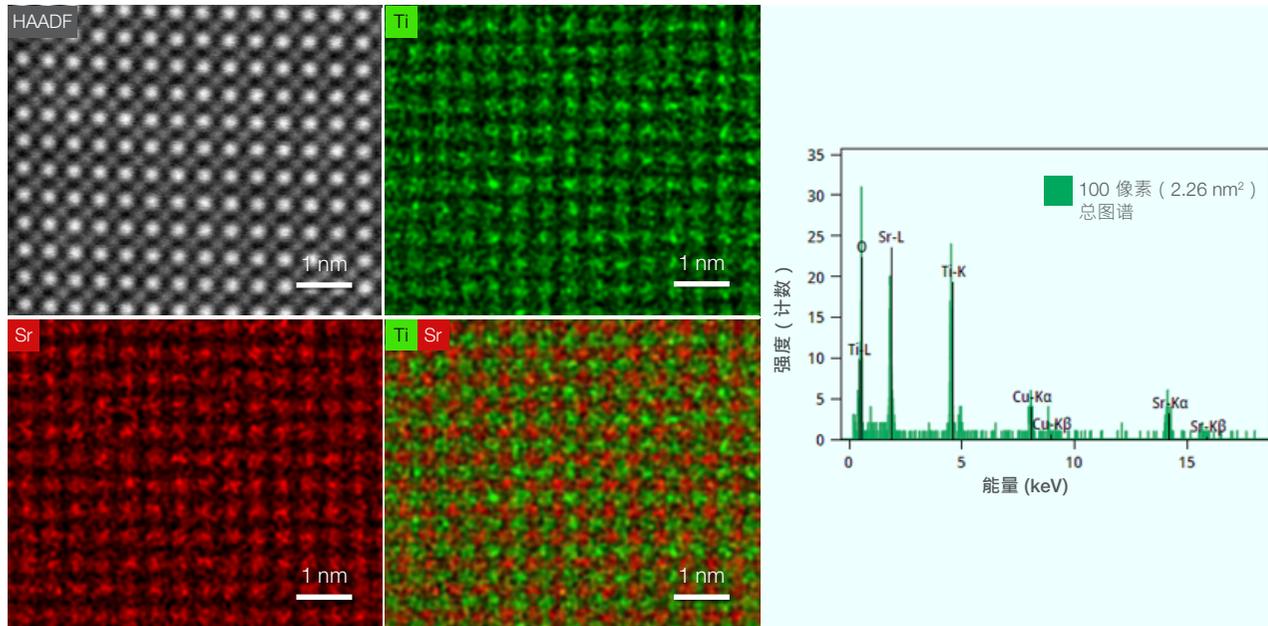


图 6.图中所示为 400 pA 条件下的 STO STEM 图像和超高速 EDS 谱图 (512x512)。这些结果是在搭载 X-CFEG、Panther STEM 和 Bruker Dual-X 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压在仅仅 40 秒内拍摄的。

小束斑大束流：

4. 改进的 EELS 能量分辨率 (相比传统 FEG) 可以解析更多的样品化学信息。图 7 展示了一个束流 >14 nA 时获得的 <0.40 eV 的零损峰图谱示例, 这使得同时实现高信噪比成像和快速高分辨率的 EELS 谱学分析称为可能、图 8 展示了 STO 样品的原子级 EELS 谱图结果。

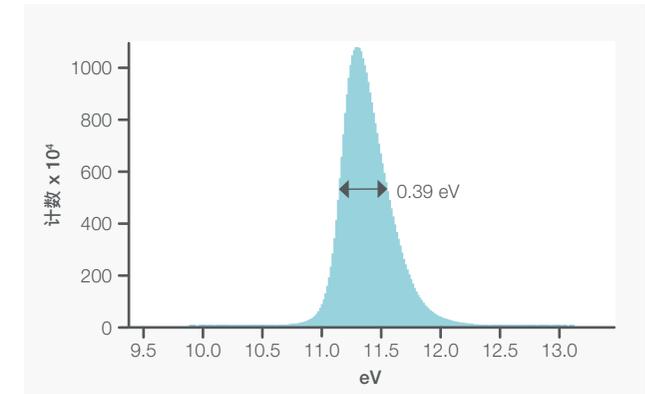


图 7.图中所示为束流 >14.0 nA 条件下 <0.40 eV 的能量分辨率。这些结果是在搭载 X-CFEG 和 Gatan Continuum 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的。

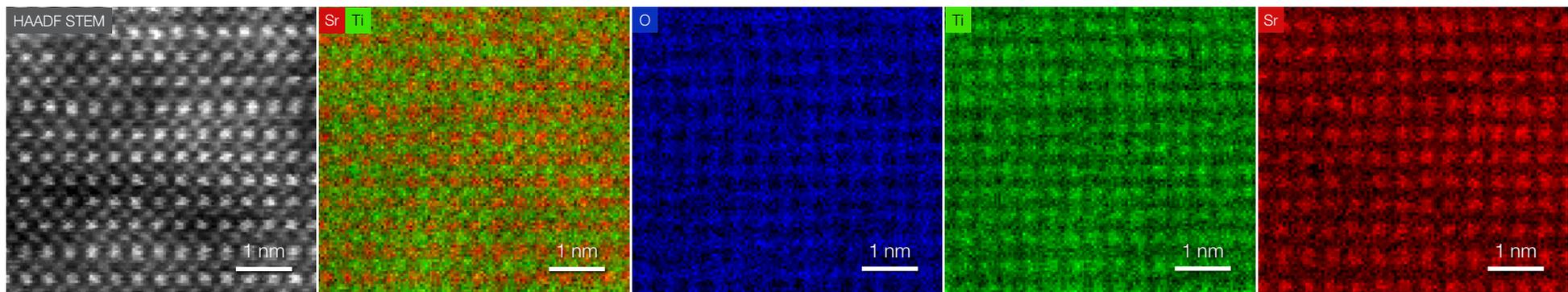


图 8.图中所示为 220 pA 条件下的原子分辨率的 STO STEM 和 EELS 谱图、能量分辨率为 <0.40 eV。这些结果是在搭载 X-CFEG、Panther STEM 和 Gatan Continuum 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压在仅仅 2 分钟内拍摄的。

图 9 显示了氧化钴 (Co_3O_4) 的 HREELS 谱。 Co_3O_4 是一种用于氧化 CO 的催化剂。在地球上很丰富也很有吸引力。通过取代活性位点附近的非活性阳离子来优化纳米结构金属氧化物催化剂,从而提高暴露表面的整体活性。过渡金属中的 EELS L 峰源自电子从 2p 轨道激发到 3d 轨道。 $L_{2/3}$ 峰的形状和权重取决于 3d 轨道的占用率。

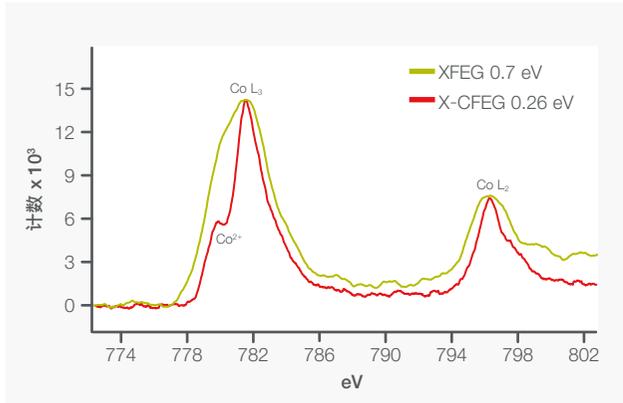
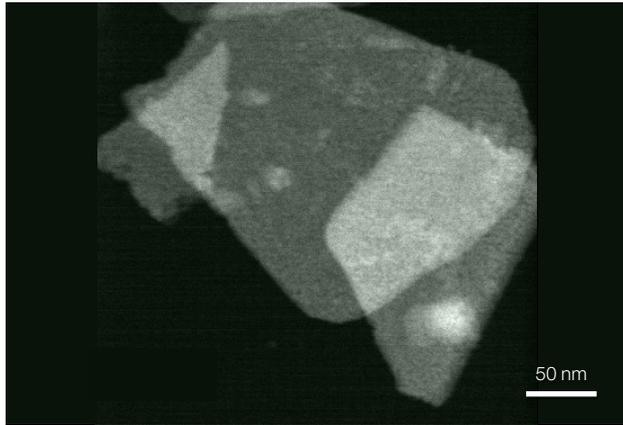
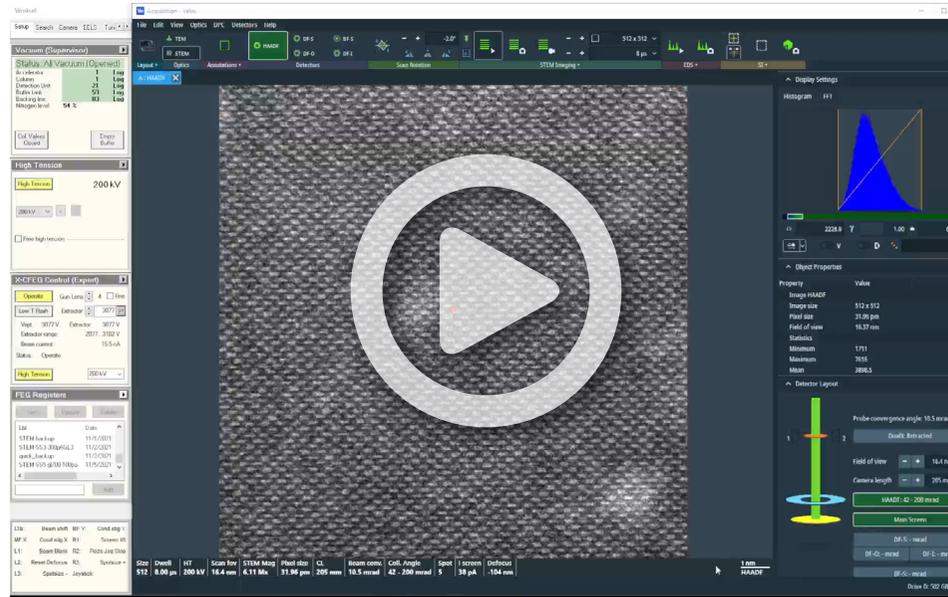


图 9.氧化钴 STEM 图像和能量分辨率 < 0.26 eV (红色) 时的 EELS 图谱。同一样品还在能量分辨率为 0.7 eV (绿色) 的传统 FEG 上进行了分析。很明显, X-CFEG 精细结构 (红色) 更加清晰可见, 显示出 Co L_3 上的一个肩峰, 具体为 Co^{2+} 。这个肩峰在绿色光谱上不可见。这些结果是在搭载 X-CFEG (红色) 或 X-FEG (绿色) 以及 Panther STEM 和 Gatan Continuum 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的。



- X-CFEG 可在 20 到 200 kV 之间运行, 并且有助于提高在 80 kV 条件下的 HRSTEM 分辨率。改进的能量分辨率 (降低色差 C_c) 加上更高的亮度, 进一步改善了 HRSTEM 成像和分析。
- 超高亮度的 X-CFEG 有助于加快三维重构 (EDS)、Maps 成像 (EDS)、APW、掺杂材料分析等长耗时实验的速度。
- 探针的使用寿命更长、拥有成本更低, 并可享受 5 年保修。通过对电子枪和聚光镜光学元件的精细控制, STEM 的束流可在低于 1pA 至几个 nA 的范围内灵活设置, 因而可以适应最广泛的试样和实验。

与所有冷场发射源一样, 锋利的灯丝针尖需要定期再生 (也称作 Flashing) 以保持束斑电流。使用 X-CFEG, 针尖每个工作日只需 Flashing 一次或两次, 此过程可在一分钟内完成。即使在最高分辨率的成像条件下, 也不会对图像产生明显影响 (参见下方视频), 而且每天的 Flashing 不会对灯丝寿命产生任何影响。

新一代的 X-CFEG 还可产生足够高的总束流 (>14 nA), 支持通过大束流平行光开展标准 TEM 成像实验 (如原位), 因此是一款优异的多用途、高性能的冷场 FEG 电子枪。

视频 X-CFEG 电子枪 Flashing 的实时视频。在 200 kV 的电压下 0.14 nm 的空间分辨率 (0.40 eV 能量分辨率) 在电子枪 Flashing 前后保持不变, 亦无需调整电子光路。视频是在搭载 X-CFEG 和 Panther STEM 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的, 持续时间 1.33

示例：电池

X-CFEG 的灵活性还包括可通过改变拔出电压来调整能量分辨率。灯丝的使用寿命不会受到实验中所选拔出电压的影响。

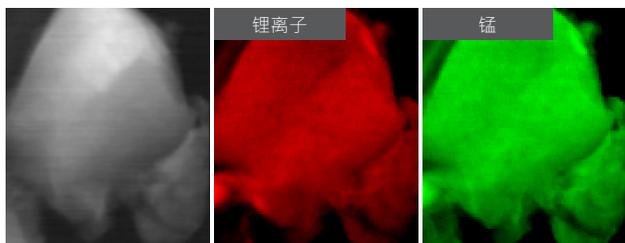


图 10a. 图中所示为 <0.28 eV 能量分辨率条件下的 STEM 图像和对应的 EELS 谱图。这些结果是在搭载 X-CFEG、Panther STEM 和 Gatan Continuum 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200kV 的电压拍摄的。样品由来自 PNNL 的 Chongmin Wang 博士提供。

图 10a 显示了一个用 EELS 分析可充电电池阴极材料的示例。该材料含有锰、锂和钛。这种新的电池材料比以前的材料更环保。

超高的能量分辨率让我们可以看到对光束敏感的锂的精细结构、以及锰的精细结构和钛的精细结构（分别参见图 10b 和 10c）。然而，通过传统的 FEG，这种与电池中元素的不同价态直接相关的精细结构都是不可见的。由于能量分辨率有限，这个通过分辨率为 1.0 eV EELS 的传统 FEG 分析电池的示例未能捕捉到 $Ti L_2$ 和 L_3 峰的劈裂。然而，X-CFEG 的分辨率 (0.28 eV) 则完全可以捕捉到这两个峰的分裂（参见图 10b）。

本例中的环保型电池材料是在不使用钴等稀缺自然资源的情况下开发的。由于镍属于不可持续材料，所以研究人员希望使用地球上丰富的材料（如锰）来调整电池结构，以获得高容量。这样一来，就必须用到 X-CFEG 的高分辨率 EELS。

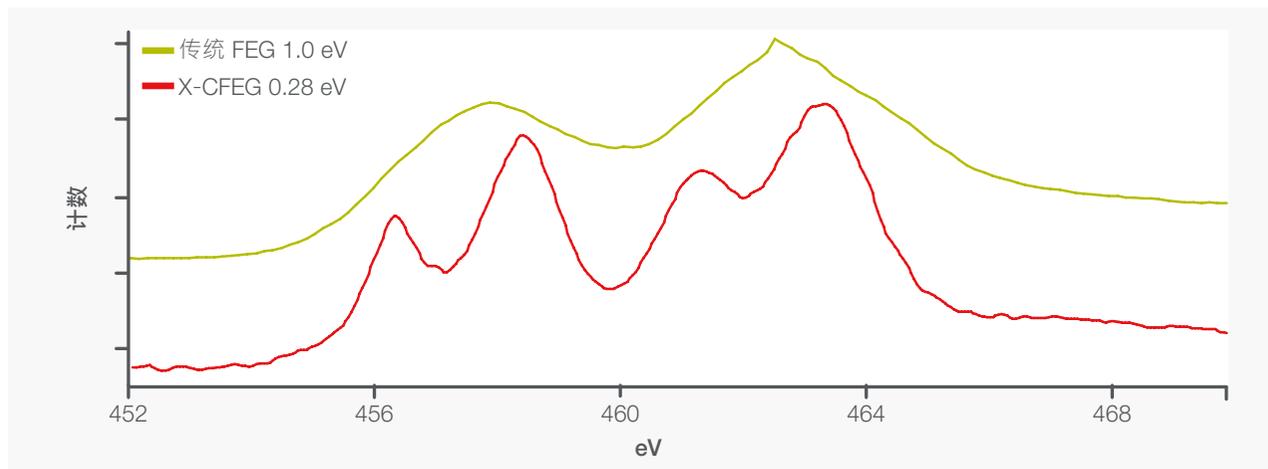


图 10b. 锂电池中的 $Ti-L_{2,3}$ 的吸收边。图中所示 EELS 图谱来自于与图 10a 相同的样品，其中显示了 0.28 eV (X-CFEG, 红色) 和 1.0 eV (传统-FEG, 绿色) 能量分辨率之间的差别。显然，在 X-CFEG 光谱 (红色) 中可以看到更多的峰和更多的细节。这些结果是在搭载 X-CFEG、Panther STEM 和 Gatan Continuum 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的。样品由来自 PNNL 的 Chongmin Wang 博士提供。

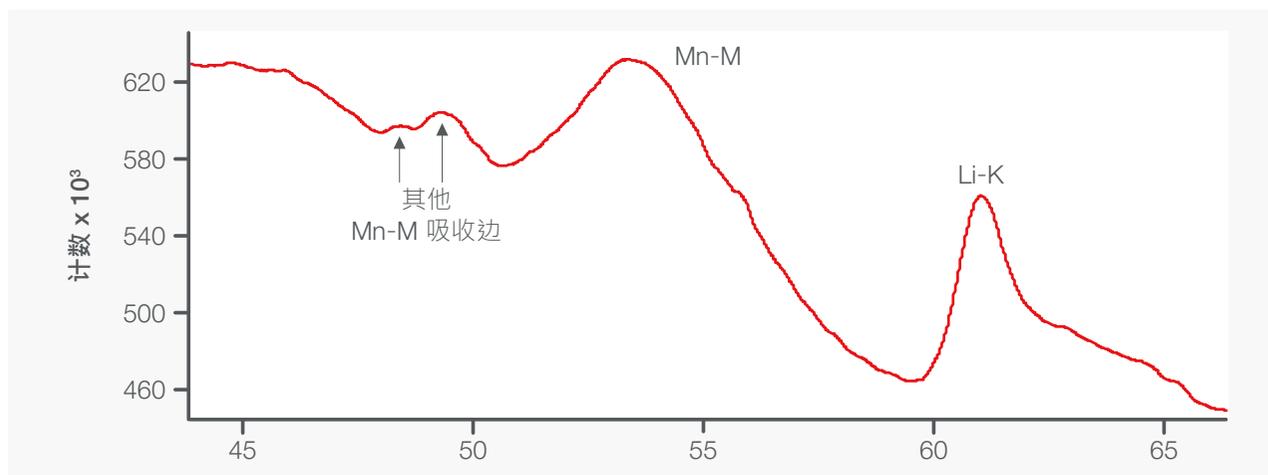


图 10c. 图中所示为来自同一样品的低能区 EELS 图谱，能量分辨率 <0.28 eV。锂电池中的 Mn-M 边精细结构和 Li-K 边得到了区分。这些结果是在搭载 X-CFEG、Panther STEM 和 Gatan Continuum 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的。样品由来自 PNNL 的 Chongmin Wang 博士提供。

示例：金纳米棒

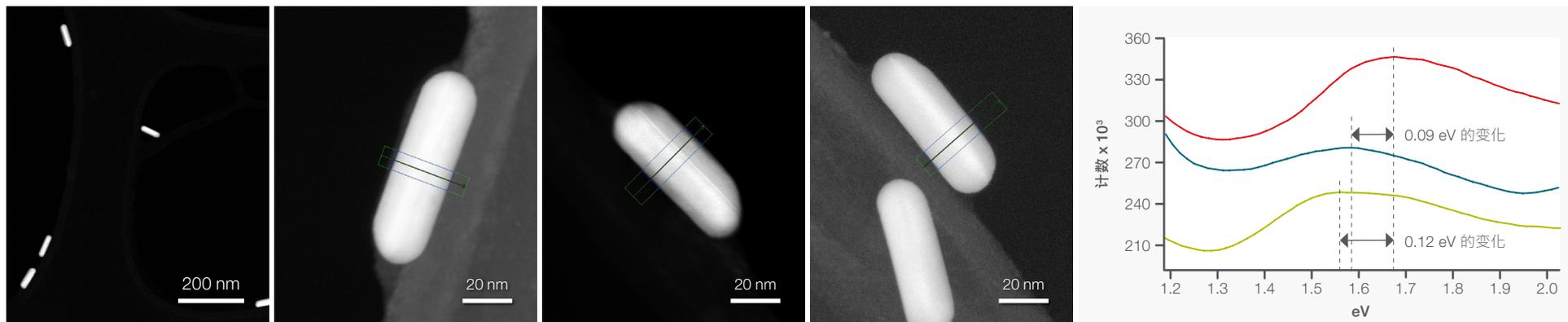


图 11：图中所示为三种不同直径和共振条件下的 STEM 图像和 EELS 图谱，表明了相对于最小直径、其他两种直径的样品分别产生了 0.09 和 0.12 eV 的很小但相关的吸收峰偏移。这些结果是在搭载 X-CFEG、Panther STEM 和 Gatan Continuum 的 Talos F200 (S)TEM 上以 200 kV 的电压拍摄的。样品由来自安特卫普大学的 Sara Bals 教授提供。

表面等离子体共振的应用范围很广，既可应用于生物医学、如细胞成像、分子诊断和靶向治疗，也可应用于光子、半导体和聚合物应用。最常用的要数贵金属纳米颗粒和纳米棒。电子束可以激发表面等离子体共振，从而为以高空间和高能量分辨率开展测量、成像和分析提供了可能。图 11 展示了一个用 HREELS 分析不同直径的金纳米棒的示例。金纳米棒的

共振模式随着金纳米棒直径的变化而变化；因此，频率和被吸收的能量损失量也会随之变化。共测量了三个直径、分别为：23.0、23.5 和 24.0 nm，发现吸收峰分别产生了 0.09 和 0.12 eV 的偏移。

X-CFEG 在 Talos (S)TEM 上提供的高能量分辨率和高亮度揭示了金纳米棒的直径及其共振模式随直径的变化情况。然而，这些信息在传统 FEG 中都是不可见的。因此，Talos (S)TEM 上搭载的 X-CFEG 可以让研究人员更进一步了解这些纳米棒的性能。

标准	Talos L120C Thermionic LaB ₆	Talos F200i/S Schottky S-FEG	Talos F200X Schottky X-FEG	Talos F200i/X X-CFEG
灯丝寿命 (年)	~0.5	>1	>1	>5
HRTEM 信息分辨率 (nm)	0.2 (仅线分辨率)	0.12	0.12	0.11
HRSTEM (nm)	1.0	0.16	0.16	0.14
亮度 200 kV (A/cm ² /sr)	低	4×10 ⁸	1.8×10 ⁹	2.4×10 ⁹
能量分辨率 200 kV (eV)	~1.5	0.8	0.8	0.3

表 1. 最重要规格的对比概况。

关于赛默飞世尔科技

我们是科学服务领域的世界领导者。我们的使命是帮助客户使世界更健康、更清洁、更安全。



视频 2昂首向前。超越梦想。持续时间 1.33

我们在电子显微镜、X 射线层析成像、表面分析和微分析方面的创新解决方案可帮助材料科学研究人员推进样本表征、以便从宏观尺度到纳米尺度、更深入地了解材料的物理和化学性质（形态、结构、磁、热和机械）。我们的多尺度、多模态解决方案涵盖了多个行业和研究领域的广泛应用（发现新材料、解决分析问题、改进流程和确保产品质量）、可为学术界、政府和工业界的客户提供服务。我们的 TEM、DualBeam™ FIB-SEM 是 SEM、microCT、XPS 和微分析解决方案的全面组合、并结合了软件套件、通过跨规模 and 模式将高分辨率成像与物理、化学、元素、机械和电气分析相结合、可帮助客户将问题转化为有用的数据。



金融和租赁服务

赛默飞世尔科技不会让预算成为您进行下一项伟大发现的绊脚石。

我们是您的一站式合作伙伴、可为您提供最棒的实验室产品和分析技术、以及独特的融资方案来帮助您加快取得科学或工业领域的成功。

为每个客户设计高成本效益融资方案是资本设备解决方案取得成功的关键。

我们不仅了解您的先进技术和应用要求、还了解您在为关键设备资产融资时面临的业务挑战。几十年来、我们一直与企业、医院、大学和市政当局密切合作、可提供灵活的融资条款、以支持其成功运作。

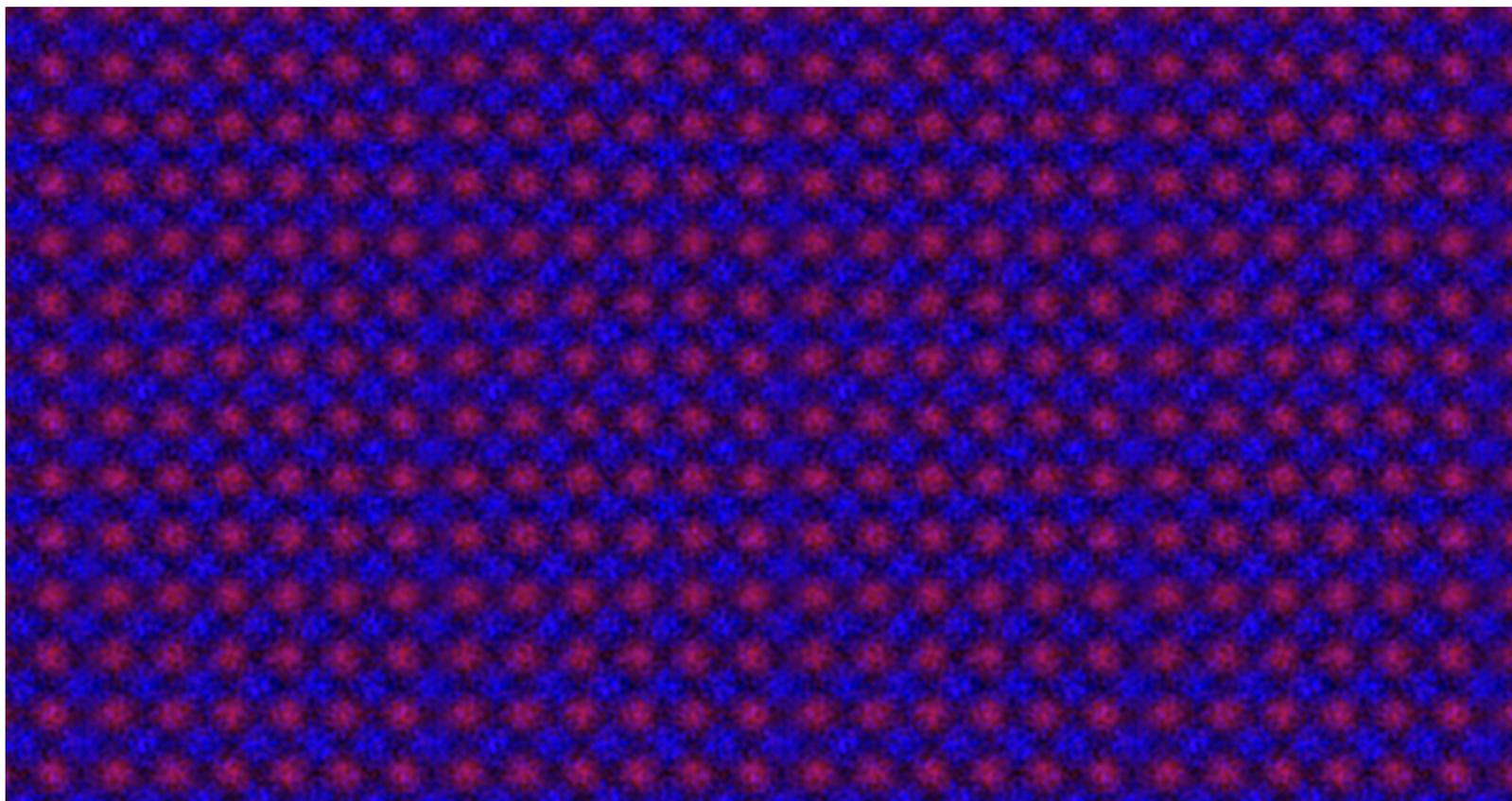
如果您正在寻找资产负债表以外的融资、希望加速投资回报、技术保护或现金流管理、我们的创新型融资方案可帮助贵公司满足预算需求和底线目标。

除此之外、我们还提供仪器维护和培训服务。

[了解设备租赁和金融选项](#)

Talos (S)TEM 搭载前所未有的 X-CFEG

超高亮度冷 FEG 支持以最低工作量获取最优质的图像和分析信息



电子枪的亮度

- 电子枪的电流密度指单位时间内单位面积上的电子 (或电荷) 数量。
- 电子枪的亮度指电子光源每单位立体角发射的电流密度。
- 电子光源的尺寸各有不同, 所以, 离开电子光源时, 不同位置发射出的电子之间会有一定的发散角度, 电子的这种出射角度分布与亮度相关。
- 在 STEM 和分析性 EDS 和 EELS 中, 当使用非常小的会聚束斑时, 亮度特别重要。在传统 TEM 中, 我们使用的是大的散焦光束, 这时亮度的概念不是那么重要, 但仍然与我们在屏幕上看到的强度相关, 因而会影响我们操作显微镜以及查看图像和衍射花样的难易程度。
- 用于 (S)TEM 的最具相干性电子光源由于其优异的高相干性和亮度, 就代表其具有在场发射电子枪中最锋利的针尖。

更多信息请访问 thermofisher.com/talos