

# 实验简报

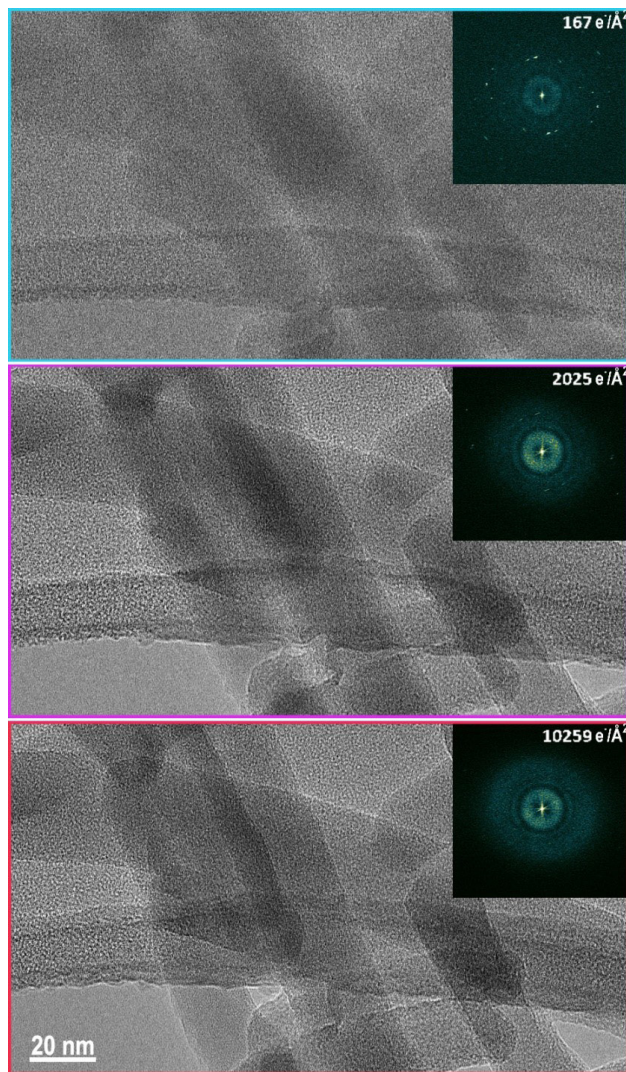
## Metro 相机

### 标题

通过低剂量连续成像监测和量化电子束损伤

### 使用 Gatan 设备

Metro™ 相机采用简单的用户界面，通过实时电子计数实现低电压下的低剂量成像和衍射。



### 背景

沸石和金属有机框架 (MOFs) 是容易被电子束损坏的纳米结构材料，故而难以通过透射电子显微镜 (TEM) 成像表征它们。随着能够对电子逐个计数的灵敏直接检测相机的出现，样品上的剂量率可以保持在足够低的水平，以便以最小的损伤对这些材料进行长时间成像。这为表征单个纳米结构内缺陷、支撑金属以及其他结构特征的分布创造了机会。

### 材料和方法

此处成像的沸石结构是羟钙霞石 (hydroxycancrinite) 纳米棒，所使用的 TEM 是配备冷场发射枪的 JEOL F200，工作电压为 200 kV。使用 Metro 相机，以 10 fps 的速度录制一段 >10 分钟的视频数据集，初始剂量率为  $3.7 \text{ e}^-/\text{Å}^2/\text{s}$ 。这导致了结构的轻度降解，可以从 FFT 中看到，其晶格斑点的强度降低。由于降解缓慢，因此有足够的时间来观察样品的原始结构并调整聚焦。在视频开始 7.5 分钟时，剂量率增加到  $35 \text{ e}^-/\text{Å}^2/\text{s}$ 。这导致了结构的迅速降解，2 分钟后就没有可见的晶格间距。图像帧进行了漂移校正和累加，以给出图 1 所示的每个 2.5 s 帧。

### 小结

Metro 相机用于以低电子剂量率捕获该视频数据集。使用 Metro 相机的原位 (*in-situ*) 视频记录功能对样品进行连续观察，能够监测逐渐增加的电子剂量造成的损伤。因此，用户可以轻松确定临界剂量或剂量率，低于该剂量或剂量率，即使对于电子束敏感样品，损伤也会降至最低。在这个数据集中，一部分晶格能见度的降低开始于  $200 \text{ e}^-/\text{Å}^2$  以下，但一些晶格条纹在高达  $7500 \text{ e}^-/\text{Å}^2$  时仍然可见。原始结构可以在视频开始时观察到，因为在初始低剂量率下结构损伤很缓慢。

### 致谢

感谢 University of New South Wales 的 Shery Chang 博士提供沸石样品。

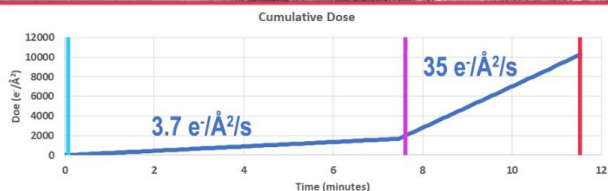


图 1. 来自原位视频数据集 (视频密码: Gatan1) 的三帧及其相应的FFT，显示了晶格条纹最初清晰可见，然后随着总电子剂量的增加而破坏。如累积剂量图所示，剂量率起初保持较低，以实现更长的观察时间，然后在近 8 分钟后增加一个数量级。

Gatan, Inc. 是世界领先的用于增强和扩展电子显微镜的仪器和软件制造商之一——从样品制备操作到成像分析。