

实验简报

eaSI 4D STEM

标题

使用K3 IS相机进行电子叠层成像研究：解析SrTiO₃中的氧元素。

使用的Gatan仪器

K3[®] IS相机可以实现直接探测电子计数、连续快速数据采集和低剂量成像。STEMx[®] 系统通过eaSI[™]技术将STEM电子束与K3 IS的高帧率同步，高速获取高质量的4D STEM数据。

背景

4D STEM研究中最有前途之一的应用是电子叠层成像。电子叠层成像是一种高效利用电子剂量的方法，可以实现高空间分辨率成像（达到超越传统的多级光阑限制的分辨率）并且与传统的环形暗场成像相比，叠层成像可以通过高信噪比和高对比度线性度同时表征轻原子和重原子。最近发表电子叠层成像研究中往往使用混合像素探测器进行数据收集，这主要是因为这类探测器具有大像素尺寸、高动态范围和高帧率。在这期实验简报中，我们展示了K3 IS相机（一种基于单片有源像素技术的探测器）同样也可以用于高质量的电子叠层成像研究。

材料与方法

我们使用SrTiO₃作为模型样品，因为其同时含有相对高、中和低核电荷数的三种元素，SrTiO₃叠层成像的衍射数据由K3 IS相机采集，数据的重构则使用自适应传播因子叠层成像（APP）算法[1]。在典型的4D STEM数据采集过程中，JEOL Grand ARM的STEM使用的束斑为10 C，汇聚半角为24 mrad，离焦为-20 nm。我们采集100 x 100 x 512 x 512像素的4D STEM的数据集，步长为0.3 Å，然后使用APP方法重构SrTiO₃样品的原子分辨相位图，可以看到氧原子的分布非常清晰（图1 (d) 中小白点），而这些氧原子在正焦状态获取的HAADF参考图像中是不可见的（图1 (a)）。

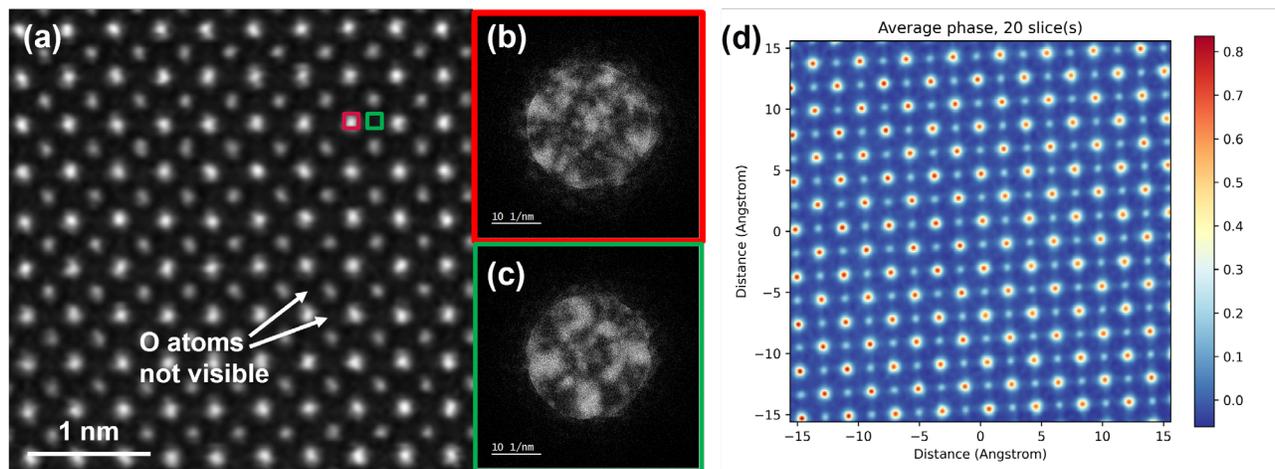


图1沿 [001] 晶带轴线的SrTiO₃：(a) STEM-HAADF正焦图像，箭头表示那些不可见的氧原子的位置。红色 (b) 和绿色 (c) 的CBED分别来自离焦时a图中的重原子位置和氧原子的位置。(d) 沿 [001] 晶带轴线的SrTiO₃叠层成像相位图，小白点揭示了氧原子的位置。

总结

与混合像素探测器（比如Stela*相机）类似，单片有源像素探测器（如 K3 IS）也能够收集高质量的电子计数4D STEM数据用于叠层成像研究。在这次实验简报中，我们成功地使用了K3 IS相机和APP方法解析了SrTiO₃中氧原子的位置。这种实验也可以应用于其他材料的结构表征和缺陷分析。

参考文献

[1] Sha, H., et al “Deep sub-angstrom resolution imaging by electron Ptychography with misorientation correction.” Science Advances 8.19 (2022): eabn2275.

特别致谢

特别感谢清华大学的杨文峰，张铁桥还有于荣。
*Stela camera utilizes DECTRIS hybrid-pixel technology

