



信息公告

» 新闻·动态

» 公告·公示

» 报告讲座

» 招聘信息

新闻·动态

首页 > 信息公告 > 新闻·动态

化工系魏飞团队利用低剂量相位衬度电镜技术助力MOF原子级成像达到新高度

发布时间：2020-06-03

金属有机骨架（MOF）是一类由金属节点和有机连接体组成的典型多孔材料。由于其可调的骨架结构（包括孔隙率、连通性、表面和缺陷），这类材料在催化、气体分离、存储和药物输送方面引起了广泛关注。因此，深入解析结构与功能之间的关系是一个重要的研究课题。其中，扫描透射电子显微镜（STEM）作为最强大的成像工具之一，能够对晶体中缺陷、界面、表面和形变等非周期性的局部结构实现精准成像。然而，高能电子束将对这类有机、无机杂化材料造成结构性的破坏，因此，在过去的很长一段时间里，研究人员一直对电子束非常敏感的MOF材料的局部结构缺乏足够的了解。如何在保持现有分辨率和信噪比的同时减小电子束的影响，是目前电子显微学中最关键的问题之一。

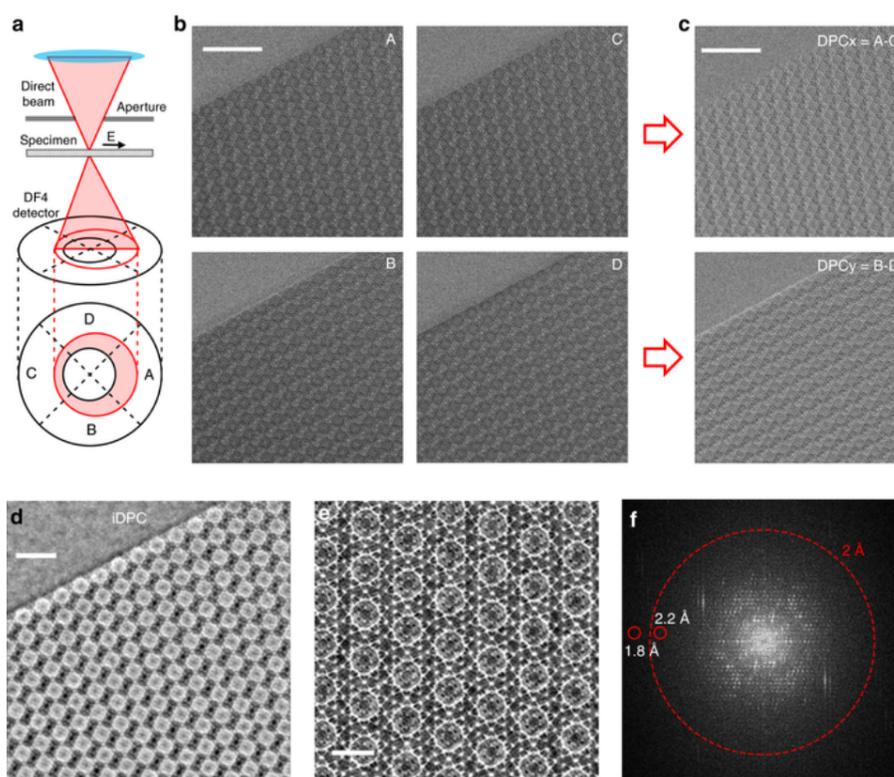


图1 MIL-101 iDPC STEM图像以及对应的傅里叶变换

针对这一问题，清华大学化工系魏飞教授课题组借助积分差分相位衬度技术（iDPC-STEM），解决低电子束流下图像分辨率和信噪比低的问题，并通过控制电子剂量，以非常高的分辨率和信噪比对MIL-101，一种稳定的MOF材料，实现了原子级成像，分辨率可达1.8埃（图1所示），是目前文献报道中此材料的最高分辨率。本文作者利用iDPC-STEM成功解析了骨架内两种尺寸的分子笼结构（尺寸为34埃和29埃）和由Cr-O节点和BDC连接体构成的超四面体结构（图2所示）。基于这些原子级观察，揭示了MIL-101晶体两种不同的{111}表面结构及其稳定性（图2所示）。同时还观察了自组装晶体的表面、界面和缺陷的结构及演化。通过这些局部结构的表征，可以更好地了解MOF中节点和连接体的配位方式，进一步研究MOF的结构-性能关系。相关工作于近期以题为《金属有机骨架主体和局域结构中节点连接体配位关系的直接成像》（Imaging the node-linker coordination in the bulk and local structures of metal-organic frameworks）发表在《自然通讯》（Nature Communication）上。

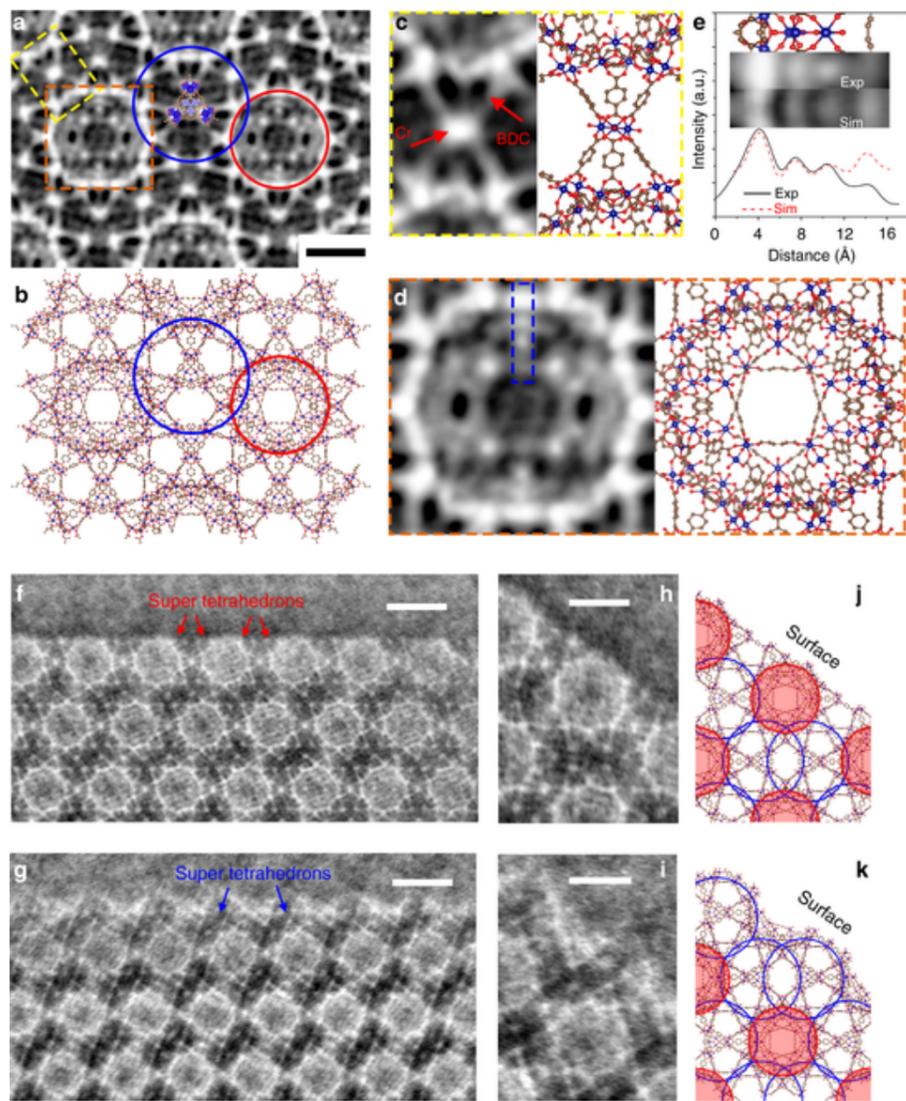


图2 MIL-101原子级分辨率下的孔结构及表面结构

本文中所使用的iDPC-STEM技术是近几年刚刚兴起的一种基于STEM的成像模式。此成像技术具有以下特点。首先，iDPC-STEM是直接电子相位的成像模式，能够反映样品的投影电势信息；第二，iDPC-STEM图像衬度与原子序数近似呈线性关系，有利于轻元素和重元素同时成像；第三，iDPC-STEM模式电子利用率较高，且在图像积分过程中可以过滤不可积分的噪音信息，进而能够在极低电子剂量的条件下，同时保持较高的分辨率和信噪比，得到足够的结构信息。本研究结果进一步表明iDPC-STEM技术对电子敏感样品的低剂量成像和轻元素组分成像具有天然的优势。因此，iDPC-STEM技术在其他由轻元素组分构成的电子敏感材料的表征上具有广阔的应用前景。如图3的几种电子敏感材料，我们可以观察到UIO-66中的苯环和ZSM-5中直孔道上十元环结构，并首次可以看清SAPO-34的孔结构。这些结果为将来探究这些电子束敏感材料的缺陷、界面、表面等局部非周期性结构信息提供了新的工具。

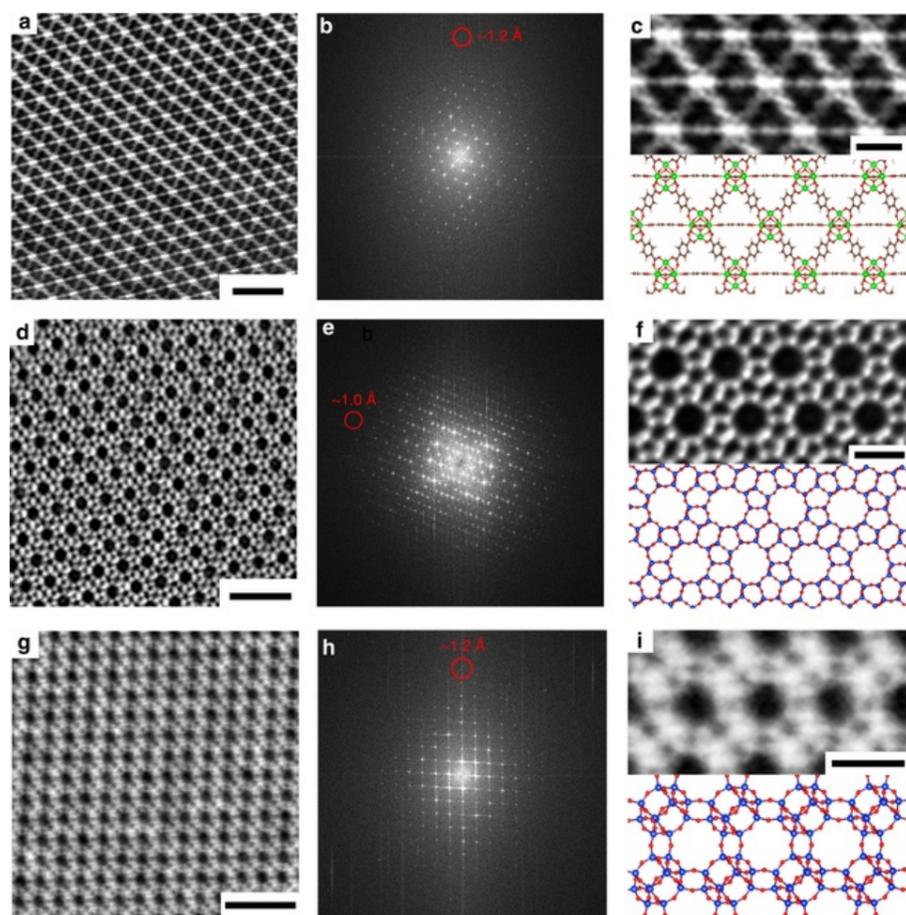


图3 其他电子束敏感材料的iDPC-STEM图像

论文第一作者为清华大学化工系2015级博士生申博渊，通讯作者为清华大学化工系陈晓博士和魏飞教授。

论文链接：

<https://rdcu.be/b4yes>

