

薄片上弯曲的X射线

(北京大学 王树峰 编译自 Tamela Maciel. *Physics*, November 9, 2015)

在薄片上一个细微的波导像光纤一样将X射线弯折，这可能会推进分子尺度的成像。

通常来说，控制X光传播的技术不改变它的直线传播特性，不过科研工作者现在可以制备出弯曲的波导，而且小到可以置入一小块薄片上。这种波导是在一小片金属上刻入的纳米尺度通道，它可以束缚纤细的相干X射线束，从而用于高分辨X射线成像。这个装置将光束偏折了 30° ，因此比传统设备在更小的尺度上实现方向的控制。这个波导可以增强纳米尺度X射线成像的分辨率，也可以用于化学反应的超快探测。

由于其短波长的特性，X射线自然地用于小尺度结构的成像，如果采用多光束并且这些光束是像激光一样的相干光源时效果更好，因为此时它们的峰与谷是同步的。比如，德国哥根廷大学的Tim Salditt和他的同事们最近拍摄了细菌细胞的全息图，分辨率达到50 nm。但是如果他们可以用弯曲的X射线波导，装置就可以更加简化，同时也可以将更多的光束引导到细胞上，

从而获得更高的分辨率。

发展X射线器件具有挑战性，这是因为它具有很高的能量而且通常只是在很浅的角度范围内发生反射。当科研工作者需要在最新的成像技术中利用弯曲或延迟X射线时，他们会利用晶体反射光束，或者使用长的玻璃毛细管使光线偏转几度。这些技术不仅需要较大的实验装置，而且其中的毛细管方式无法保持光束的相干特性，也就无法应用于许多高分辨成像技术。改进的X射线波导同时具有小型化和简化的光学设置，可以用于高亮度的窄X射线束。

现在Salditt和他的同事利用一小片金属上的弯曲波导来引导X射线。这个波导是一条在金属表面刻出的狭长、开放的凹槽或者通道。大部分的光束会被约束在通道内，在内壁上由于持续地掠入射和反射实现传播。通道必须很窄，保证反射角低于全反射临界角，这个角度小于 1° 。这就要求通道的宽度低于

100 nm。最终他们使光线在5 mm的距离上弯曲了 30° 。这个波导使光源的不完全相干的相干特性得以改进，同时使光束的宽度减小到约100 nm。

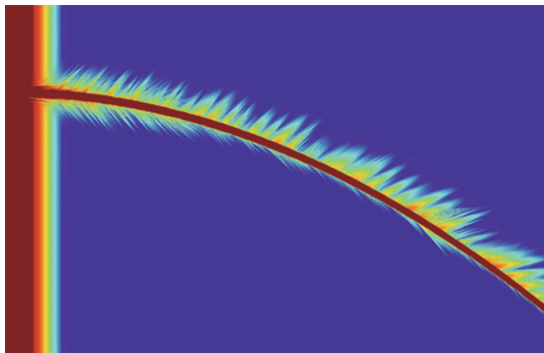
Salditt和他的同事们设计了一系列弯曲通道，并利用光刻将其制备在5 mm边长的钽金属片上。这是一种高密度金属，具有较大的临界

角和较高的X射线吸收率。研究组使用了位于德国汉堡的德国电子同步加速器研究所(DESY)的同步辐射装置的高亮度光源，第二次测试则使用了位于法国的欧洲同步辐射装置。他们将光束聚焦到波导的入口，宽度约几百纳米。研究组检验了曲率逐渐增加的情况，发现光束可以在5 mm的尺度上弯曲达到 30° ，但是一旦超过这个角度，X射线就几乎完全泄露进了钽金属里，要么被吸收掉，要么穿透波导的壁而消失。

Salditt希望将来能够精细地调节薄片材料和X射线能量，从而使光束弯曲 90° 甚至 180° 。利用弯曲波导对研究对象多角度成像可以使X射线成像的分辨率提高一倍以上，这就像通过提升望远镜的光圈来提升分辨率。更重要的是，这些可以自行设计的弯曲波导使得传统的X射线光学装置缩小到几个毫米的尺度。

加州大学圣地亚哥分校的Sunil Sinha评论这个新成果“将X射线光学大尺寸装置转变为微型装置，将有利于各个研究领域。”DESY的Ralf Röhlsberger同意这一看法，并且表示这个成果是一个“重要进展”，因为他使得X射线的方向可以“非常灵活地”设计。他建议这些薄片上的波导可以用于监视纳米粒子触发的化学反应，或者为单个生物细胞以非常高的分辨率成像。

更多内容详见：T. Salditt et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2015, 115: 203902。



弯曲的X射线视图。计算机模拟显示出，在这种新型波导中，大部分的X射线沿着弯曲的路径传播(深红色)，但还有一些泄露到周边材料中