

亚微米分辨力的软 X 射线全息实验研究*

蒋诗平 张玉焯 张新夷

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 合肥 230029)

陈建文 徐至展 陈 敏

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

朱纪军 沈耀春 陆祖宏

(东南大学吴健雄实验室, 南京 210096)

早在 1952 年, Baez^[1]就把全息术的思想推广到 X 射线领域。可是在以后长达 20 年的时间里, 虽然有许多关于 X 射线全息术应用潜力的讨论, 但是在实验上没有取得大的进展, 主要是缺少高亮度的 X 射线源^[2]。直到 70 年代初期, 这种状态才被打破。首先 Aoki 和 Kikuta 以及他们的合作者进行了一系列的实验。他们用微聚焦 X 射线管和同步辐射源, 以化学纤维和红血球为样品, 记录了一维 X 射线无透镜傅里叶变换全息图和 X 射线同轴全息图, 重现时获得了 4 μm 的分辨力。1986 年, Howells 等^[3]在 Brookhaven 国家实验室, 用高分辨力的光刻胶记录 X 射线同轴全息图, 并用计算机进行了数字重现。1992 年, McNulty 等^[4]在 Brookhaven 国家同步辐射实验室, 以金箔(厚度 250 nm)制作的波带片和辐条靶为样品, 用焦斑半径为 60 nm 的菲涅耳波带片产生参考点源, 波长为 3.4 nm, 并用 CCD 作记录, 拍摄了 X 射线无透镜傅里叶变换全息图, 计算机数字再现。

在 90 年代以前, 由于没有适合拍摄 X 射线全息图的 X 射线源, 国内在软 X 射线全息术方面的实验研究是一片空白。进入 90 年代后, 随着北京和合肥两套同步辐射装置相继建成, 为 X 射线全息术的实验研究提供了前提条件^[5]。1997 年我们合作研究小组在合肥同步辐射实验室成功地拍摄出了国内第一张生物样品 X 射线全息图^[6], 激发了国内光学界对软 X 射线全息术的研究兴趣。近年来, 在软 X 射线全息成像研究中不断取得进展: 成像样品从金属网格到生物组织; 成像环境从真空到大气; 重构方法有光学重现和数字重现等等。但是重现像的分辨力不够理想, 没有达到亚微米的水平。主要原因在于所用光源的相干性较差以及记录介质和全息图读出系统的低分辨力。最近, 我们在这些方面作了一些改进, 从而获得了亚微米分辨力的 X 射线全息图和它的重构像。

实验是在合肥国家同步辐射实验室显微成像站上完成的。光源为一台 800 MeV 电子储

* 国家自然科学基金(19655001)、国家同步辐射实验室开放基金和上海市应用物理中心资助项目。

收稿日期: 1999-08-23; 收到修改稿日期: 1999-09-28

存环, 特征波长为 2.4 nm 。由于同步辐射是连续光源, 采用一台有波带片及针孔组成的软 X 射线线性单色仪进行滤波。因此, 是采用部分相干光来记录全息图的。自制的 Si_3N_4 膜窗放置在空气中, 落在膜窗上的粉尘作为实验样品。将附着粉尘颗粒的膜窗和记录介质光刻胶固定在同一样品架上。样品与记录介质之间的距离为 $400 \mu\text{m}$ 。全息图以同轴方式在真空中记录, 所用 X 射线波长为 2.3 nm 。显影后的光刻胶上的全息图用原子力显微镜(AFM, Nanoscope IIIa, Digital Instrument Inc.) 读出, 得到数字化的全息图像。通过数字重现方法获得了原始物的重构像。

图 1 是粉尘颗粒的 X 射线全息图, 视场范围为 $15 \mu\text{m} \times 15 \mu\text{m}$ 。干涉条纹的起伏最大值约为 14 nm 。图 2 的重构像中可分辨的最小颗粒尺寸小于 $0.3 \mu\text{m}$ 。比较我们以前的工作^[6], 由于采用了高分辨率的记录介质作为记录介质, 并且采用原子力显微镜来放大全息图, 因而分辨力得到了极大地提高。

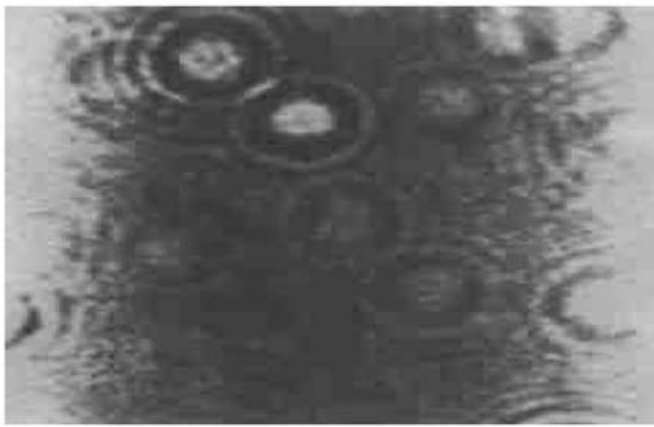


Fig. 1 X-ray holography of dust granules, readout by AFM



Fig. 2 Reconstruction of the hologram by numerical method

参 考 文 献

- [1] Balz V A. A study in diffraction microscopy with special reference to X-ray. *J. Opt. Soc. Am.*, 1952, **42** (3): 756~ 762
- [2] 陈建文, 徐至展, 朱佩平等. X 射线全息术. *物理学进展*, 1995, **15**(2): 125~ 147
- [3] Howells M, Jacobsen C, Kirz J *et al.*. X-ray holography at improved resolution: a study of zymogen granules. *Science*, 1985, **238**(4826): 514~ 517
- [4] McNulty I, Kirz J, Jacobsen C *et al.*. High-resolution imaging by Fourier transform X-ray holography. *Science*, 1992, **256**(5059): 1009~ 1012
- [5] 陈建文, 徐至展, 朱佩平等. 合肥国家同步辐射源 X 射线束时间相干长度的估算. *光学学报*, 1997, **17** (8): 1135~ 1138
- [6] 张玉焯, 蒋诗平, 付绍军等. 水窗波段同轴 X 射线全息成像及其数字重现. *光学学报*, 1997, **17**(11): 1599~ 1600