

水窗波段同轴 X 射线全息成像及其数字重现

张玉烜 蒋诗平 付绍军 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)

水窗波段软 X 射线对生物样品成像时, 不需要电子显微镜观察时那样要经过切片、脱水、染色等过程, 它可以对自然状态下含水的甚至是活着的生物样品直接成像, 是进行生命科学研究的有力的工具。并能应用于材料科学、微电子学等领域。因此, 长期来一直受到人们的关注。

早在 1952 年 Balz^[1] 就提出利用 X 射线全息的思想。然而由于缺少高亮度的单色 X 射线源, 以及合适的水窗波段的 X 射线光学元件和高分辨率探测器, 因此 X 射线全息术进展相当缓慢。

近年来由于世界各地同步辐射源的相继建立并成功地投入使用, X 射线激光的诞生, 又重新唤起人们对 X 射线全息的兴趣。八十年代中期, 日本筑波的光子工厂^[2]、美国 Brookhaven 国家实验室^[3] 以及法国的电磁辐射实验室^[4] 先后利用电子同步加速器弯转磁铁及波荡器产生的 X 射线进行了全息实验。

进入九十年代后, 国内开展了 X 射线全息的理论和实验研究并取得了许多有意义的结果^[5-7]。由于在北京和合肥先后建立了同步辐射源, 为 X 射线全息提供了实验条件。

本文报道合肥国家同步辐射实验室和中国科学院上海光学精密机械研究所合作研究, 在国家同步辐射实验室软 X 射线显微镜站上, 利用合肥同步辐射光源拍摄成功了国内第一张软 X 射线全息图, 并用计算机进行了数字重构, 获得了清晰的重构像。

光源为一台 800 MeV 电子储存环, 特征波长为 2.4 nm。由于同步辐射是连续光谱, 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。波带片与源相距为 10600 mm, 与针孔相距为 600 mm, 针孔直径为 30 μm , 单色光中心波长为 3.2 nm, 线宽约为 0.15 nm。单色仪出口处 X 射线光强度约为 $10^6 \sim 10^7$ photon/s。实验光路为一典型同轴全息装置, 样品是直径为微米量级的蜘蛛丝。蜘蛛丝上粘有一系列微球物, 如图 1(a) 所示, 记录介质为甲基丙希酸醋(MMA)。曝光是在真空中进行, 储存环束流为 100 mA 时, 曝光时间为 30 min。拍摄的全息图如图 1(b) 所示。全息图数字化以后, 用计算机重现的重构像如图 2(c) 所示, 横向分辨率优于 2 nm, 这主要是由于作者采用的光刻胶的分辨率以及大口径的针孔的限制。详细

结果作者将另文发表。

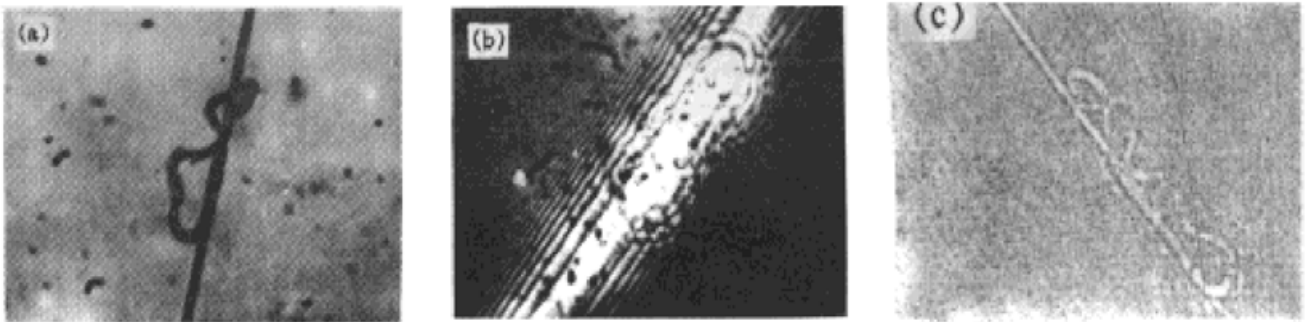


Fig. 1 (a) original image of a cobweb, (b) hologram of the cobweb and (c) its reconstruction image. Fig. 1(a) shows a section of a coiled cobweb adheres to a section of a straight cobweb. The diameter of the cobweb is about $1\ \mu\text{m}$. In Fig. 1(b), the sampling step $\Delta\zeta$ is less 10 percent than that given by theory, so the reconstructed step is larger about 10 percent that digitized step, the scope of reconstruction image is large about 20 percent than the hologram. Therefore the left and the below black sections appear in Fig. 1(c)

参 考 文 献

- [1] V. A. Balz, A study in diffraction microscopy with special reference to X-ray. *J. Opt. Soc. Am.*, 1952, **42**(3) : 756~ 762
- [2] S. Aoki, S. Kiknfa, X-ray holographic microscopy. *Japan. J. Appl. Phys.*, 1974, **13**(9) : 1385~ 1392
- [3] M. Howells, C. Jacobsen, J. Kirz *et al.*, X-ray holography at improved resolution: a study of zlymogen gramoles. *Science*, 1982, **238** : 514~ 517
- [4] D. Joyeux, F. Polack, in OSA Proc. on Short Wavelength Choerent Radiation: Generation and Applications. Vol.2, eds. R. W. Falcone, J. Kirz, *Opt. Soc. Am.*, Wash. DC, 1988 : 295~ 296
- [5] 陈建文, 徐至展, 朱佩平等, X 射线全息术. *物理学进展*, 1995, **15**(2) : 333~ 358
- [6] 陈建文, 徐至展, 朱佩平等, 软 X 射线多缝干涉实验研究. *中国激光*, 1996, **23**(8) : 737~ 740
- [7] 陈建文, 徐至展, 肖体乔等, 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

In-Line Soft X-Ray Holographic Image and Digital Reconstruction at "Water Window" Wavelength Region

Zhang Yuxuan Jiang Shiping Fu Shaojun Zhang XinYi

(National Synchrotron Radiation Laboratory, Univesity of Science and
Technology of China, Hefei 230029)

Chen Jianwen Xu Zhizhan Chen Min

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract X-ray Gabor in-line holograms of wire-like object is recorded in photoresist. After enlarged to film by microscope and digitized by scanning microdensitometer, the holograms are reconstructed by using numerical methods, and the origin objects can be clearly observed in the image plane. The 3.2 nm soft X-rays used in experiments are the bending magnet radiation of a 800 MeV electron storage ring and have been monochromatized by linear monochromator. The estimated resolution of the reconstructed images are better than 2 micrometers and remains to be improved in the future.

Key words synchrotron radiation, soft X-ray, holography, microscopy