

文章编号: 0253-2239(2005)12-1722-2

软 X 射线相位型聚焦波带片的研制

肖 凯 刘 颖 徐向东 付绍军

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 合肥 230029)

摘要: 软 X 射线波带片是软 X 射线光学中聚焦、色散和成像的重要元件。以激光全息-离子束刻蚀技术制作金的振幅型软 X 射线聚焦波带片, 以此为掩模, 利用接触式同步辐射光刻和离子束刻蚀技术在聚酰亚胺衬底上, 分别制作出了镍和锗的软 X 射线相位型聚焦波带片。

关键词: X 射线光学; 相位型波带片; 镍, 锗; 同步辐射光刻; 离子束刻蚀

中图分类号: O434.1 文献标识码: A

Fabrication of Soft X-Ray Phase Condenser Zone Plates

Xiao Kai Liu Ying Xu Xiangdong Fu Shaojun

(National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract: Soft X-ray zone plate is an important element which has the function of concentration, dispersion and imaging in soft X-ray optics. An Au condenser phase zone plate mask is fabricated using holography and ion beam etching process. Soft X-ray Ge and Ni condenser phase zone plates are fabricated by ion-beam etching technology on polyimide substrate and contact synchrotron radiation lithography with the mask.

Key words: X-ray optics; phase zone plate; Ni, Ge; synchrotron radiation lithography; ion-beam etching

1 引 言

X 射线波带片是 X 射线波段聚焦、色散和成像的理想元件^[1]。在以同步辐射为光源的 X 射线显微术、微束技术等领域具有不可替代的地位^[2,3]。波带片图形由线密度沿径向逐渐增加的透光和不完全透光的圆环构成, 实际上是一个圆形的变间距光栅。相位型波带片将振幅型波带片中对 X 射线完全不透明的材料替换为吸收较小的相位型材料^[4], 在相邻的波带片环带之间引入适当的相位差, 以达到提高波带片衍射效率的目的。

图 1 是工作波长为 3.2 nm 时, 用振幅叠加法^[4]计算出的三种不同材料(金、镍和锗)制成的波带片的一级衍射效率随材料厚度的变化曲线, 计算衍射效率用的光学常数来自于劳伦斯-伯克利实验室 X 射线光学中心。金的振幅型波带片的效率最高为 10.1%; 而镍和锗相位型软 X 射线波带片的最高理论效率分别可以达到 19.7% 和 15.2%, 从而大大提

高主焦点衍射效率。

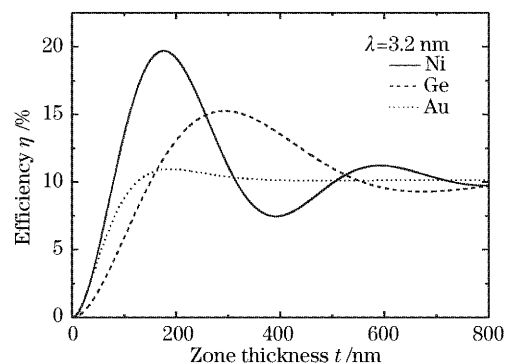


图 1 工作在 3.2 nm 的三种不同材料波带片的衍射效率-波带片厚度图

Fig. 1 Diffraction efficiency versus zone thickness of the zone plates with three different materials operated at 3.2 nm

软 X 射线相位波带片的制作分两步: 1) 利用全息光刻-离子束刻蚀技术制作振幅型软 X 射线聚焦波带片(金波带片直径为 2.8 mm, 主焦距为 566 mm, 最

作者简介: 肖 凯(1979~), 男, 重庆巴南区人, 博士研究生, 主要从事衍射光学和微细加工技术的研究。

E-mail: scarscar@ustc.edu.cn

收稿日期: 2005-07-08; 收到修改稿日期: 2005-09-09

外环线条宽度约 647 nm ^[4], 以此作为相位波带片的掩模; 2) 以软 X 射线金振幅型波带片为掩模, 利用离子束溅射镀膜-接触式同步辐射光刻-离子束刻蚀技术制作相位型波带片。其主要工艺流程如图 2 所示。

图 3 是利用上述方法制作的软 X 射线相位型波带片的扫描电镜照片。其中图 3(a) 和图 3(b) 分别为镍的软 X 射线相位波带片的中心和外边缘扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)照片。

下一步将在此基础上开展软 X 射线波带片衍射特性的定量评价研究; 在制作工艺方面, 探索以氮化硅为衬底的新型软 X 射线相位波带片等方面研究。

致谢 作者感谢阙娅老师和刘刚博士在波带片研制过程中给予的热心指导和帮助。

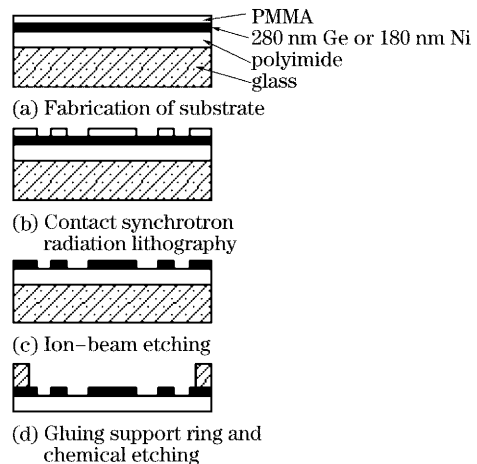


图 2 相位型聚焦波带片的制作工艺步骤

Fig. 2 Processing steps for the fabrication of condenser phase zone plates

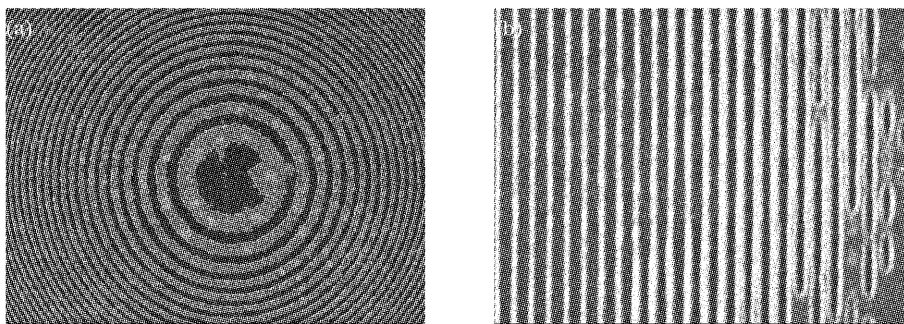


图 3 Ni 波带片的扫描电镜照片。(a) 中心, (b) 最外边缘

Fig. 3 SEM photographs of Ni phase zone plates fabricated. (a) Center, (b) outmost region

参 考 文 献

- 1 Gerd Schneider. X-ray microscopes: methods and perspectives [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2003, **376**: 558~561
- 2 Zhang Yuxuan, Jiang Shiping, Fu Shaojun *et al.*. In-line soft X-ray holographic image and digital reconstruction at "Water Window" wavelength region [J]. *Acta Optica Sinica*, 1997, **17**(11): 1599~1600 (in Chinese)
- 3 Zhang Yuxuan, Jiang Shiping, Fu Shaojun *et al.*. Soft X-ray in-line holographic microscopy and numerical reconstruction [J]. *Acta Optica*

Simica, 1997, **19**(2): 145~150 (in Chinese)

张玉焯, 蒋诗平, 付绍军 等. 同轴软 X 射线全息成像及其数字重现 [J]. *光学学报*, 1999, **19**(2): 145~150

- 4 Fu Shaojun, Hong Yilin, Tao Xiaoming *et al.*. Fabrication of soft X-ray condenser zone plate [J]. *Acta Optica Sinica*, 1995, **15**(8): 1148~1150 (in Chinese)

付绍军, 洪义麟, 陶晓明 等. 软 X 射线聚焦波带片制备工艺的研究 [J]. *光学学报*, 1995, **15**(8): 1148~1150

- 5 Janos Kirz. Phase zone plate for X-rays and the extreme uv [J]. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1974, **64**(3): 301~309