

使用平行束软 X 光透镜的 深亚微米 X 射线光刻*

颜一鸣 王大椿 赫业军 杨存耿 张胜基 刘安东

(北京师范大学低能核物理研究所,北京市辐射中心,北京100875)

摘要 使用本实验室研制的整体平行束软 X 光透镜作为准直器和电子枪软 X 光源相配,作成了平行束软 X 光源。用此平行束软 X 光源进行了深亚微米 X 射线光刻实验,刻出了 $1.0\mu\text{m}\sim 0.2\mu\text{m}$ 的线条,文中对实验装置和光刻结果作了简要的介绍。

关键词: X 射线;平行束软 X 光透镜;软 X 射线光刻

1 引言

近年来利用小角掠射的 X 光多次全反射效应进行 X 光传输的导管 X 光学得到了迅速的发展和广泛的应用[1]。Kumakhov 发明了利用导管组合系统制成的 X 光透镜(Kumakhov 透镜)[2]。这种透镜可以实现宽波段大功率 X 光束的调控。可以将发散的 X 光会聚形成很小的束斑或形成准平行 X 光束。

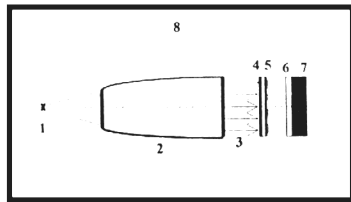
深亚微米光刻是微电子器件小型化的关键技术。迄今为止,光刻技术一直是由可见光光刻到真空紫外光光刻的延伸。用准分子激光光源已经刻出线宽为 $0.25\mu\text{m}$ 的图形,正在发展线宽为 $0.19\mu\text{m}$ 的准分子激光光刻技术。与此同时 X 射线光刻技术也一直在发展。这是一种很有前景的光刻技术,有可能应用于 $(0.18\sim 0.1)\mu\text{m}$ 线宽,甚至更细的线宽的微电子器件生产。目前的 X 射线光刻实验主要都是在同步辐射 X 光源上进行的。但正如 P. N. Dunn 在介绍美国的 ALP (Advanced Lithography Program) X 射线光刻方案进展时指出的,由于同步辐射源价格至少 2000 万美元,再加上昂贵的束流线的费用,基建费用以及运行人员的费用,要实现产业化还相当困难。而等离子体软 X 光源要便宜得多。但等离子体源发射的软 X 光是各向同性的。要用于 X 射线光刻还需要准直器[3]。

Kumakhov 在介绍他的 X 光聚束系统时就曾经指出,将平行束 X 光透镜作为准直器和小束斑的等离子体软 X 光源相配有用于亚微米 X 射线光刻[2]。美国 X 光学系统公司的 Vartanian 等进行了用于深亚微米 X 射线光刻的复合管装配式平行束透镜的计算机模拟设计[4]。

* 中国航天总公司资助项目

收稿日期:1995年6月22日

北京师范大学低能核物理研究所 X 光学实验室自 1990 年起系统地进行了导管 X 光学和 X 光透镜的研究开发[5]。先后研制了装配式单导管 X 光透镜, 装配式复合管 X 光透镜和整体拉制 X 光透镜 (Monolithic X-ray lens) 并进行了使用软 X 光平行束透镜的深亚微米 X 射线光刻技术的应用开发研究。本文将介绍这方面的最新进展。



1. X 射线源 2. X 光透镜 3. 平行束软 X 光
4. 掩模衬底 5. 掩模图形 6. 光刻胶
7. 样片 8. 真空室

图1 带 X 光透镜的平行束 X 射线光刻原理图

2 实验安排

图1给出了带软 X 光透镜的平行束软 X 射线源工作原理示意图。本实验中使用的是铜靶电子枪软 X 光源。电子枪电压 $V \leq 10\text{kV}$, 电流 $I \leq 100\text{mA}$ 。铜靶上的束斑约 $2 \times 2\text{mm}^2$ 。曝光工作条件为: $V = 7\text{kV}$, $I = 60\text{mA}$ 。铜的 $L\alpha, \beta$ 线波长 $\sim 1.4\text{nm}$ 。曝光时使用了整体透镜, 透镜长 $L = 60\text{mm}$, 焦距 (由软 X 光源至透镜入口端距离) 100mm , 透镜为正六角形, 入口端对边长 9.6mm , 出口端对边长 12mm , 软 X 光视场 108mm^2 。透镜子管入口端直径 $100\mu\text{m}$, 出口端直径 $126\mu\text{m}$ 。透镜的软 X 光传输效率约 20% , X 光收集角 $\sim 6^\circ$ 。图2给出了透镜的照片。光刻实验中使用的是意大利的直径为 4 英寸的掩模的碎片, 其中图形面积约 $1 \times 1\text{mm}^2$, 衬底为 $3\mu\text{m}$ 厚的硅薄膜, 吸收体是 $0.8\mu\text{m}$ 的金, 掩模图形上刻有 $1\mu\text{m}$ 、 $0.8\mu\text{m}$ 、 $0.6\mu\text{m}$ 、 $0.4\mu\text{m}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ 和 $0.2\mu\text{m}$ 宽度的金线条。分三线、双线和单线三组。光刻胶为国产 XHR-ZP-1 型胶 (正胶)、PCMS 胶 (负胶) 和德国 PN-114 胶 (负胶)。样片为硅片。整个光刻实验在自制的可五维调整的真空测试设备中进行。图3给出了该装置的照片[6]。

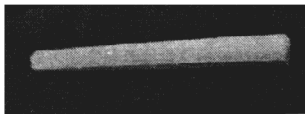


图2 深亚微米 X 射线光刻中使用的整体透镜

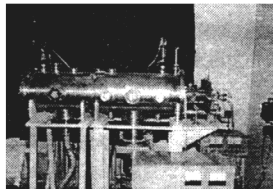


图3 用于软 X 光学系统测量的可五维调整的真空测试设备

软 X 光曝光时间对 XHR-ZP-1 (PMMA) 胶为 $5 \sim 11$ 小时, 对 PN-114 胶为 $2 \sim 6$ 小时, 相应的功率密度约为 $130 \sim 280\text{mJ}/\text{cm}^2$ (PMMA 胶) 和 $52 \sim 150\text{mJ}/\text{cm}^2$ (PN-114 胶)。样片掩模距 $5 \sim 7\mu\text{m}$, 掩膜置于距透镜出口 $70 \sim 90\text{mm}$ 处。

3 实验结果

光刻实验得到的图形见图4和图5。图中标尺,每小格为 $5\mu\text{m}$ 。

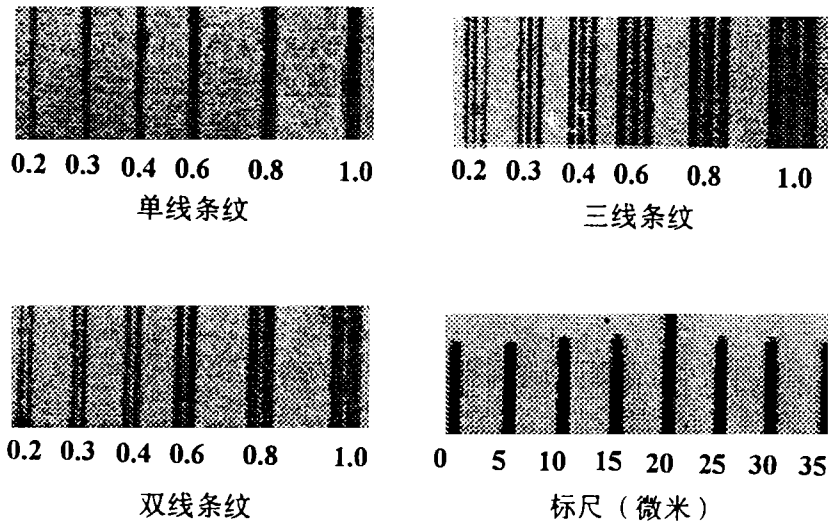


图4 PMMA胶光刻的图形

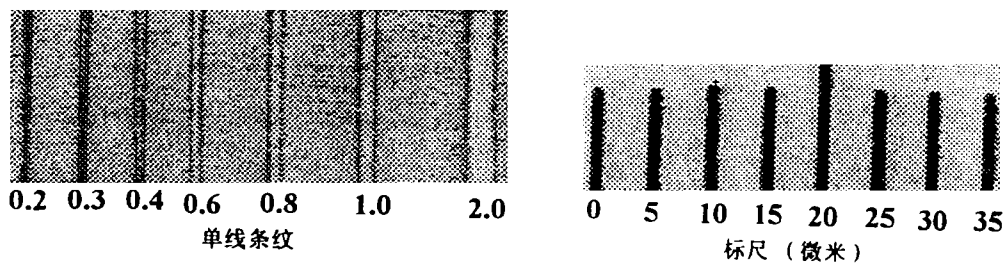


图5 PN-114胶光刻的图形

由图4和图5可以看到,从 $1.0\mu\text{m}$ 到 $0.2\mu\text{m}$ 共六种线宽的线条均清晰地刻出。这表明,用X光透镜作为准直器与软X光源相配可以刻出直至 $0.2\mu\text{m}$ 线宽的线条。这项实验显示了新型准平行束软X光源用于深亚微米光刻的良好前景。进一步的研究工作正在进行。可以相信,进一步改进X光源和透镜结构,只要有更细线条的掩模,刻出 $<0.2\mu\text{m}$ 的更细线条是完全可能的。

作者感谢中国科技大学康士秀副教授提供了掩模并对参加整体透镜研制工作的罗萍、李崇惠同志,参加透镜性能测试工作的王英同志表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 颜一鸣,刘安东,导管X光学和X光聚束系统. 北京师范大学学报(自然科学版). 1995, 31:增刊(待发表)
- [2] Kumakhov M. A. and Komarov F. F., Multiple Reflection for Surface X-Ray Optics. Phys. Rep., 1990, 191(5), 289-530
- [3] Dunn P. N., X-ray's future: a cloudy picture. Sol. State Tech., 1994, (6):49-62

- [4] Vartanian M. et al., Polycapillary collimator for point source proximity x-ray lithography. *J. Vac. Sci. Tech.*, 1993, **13**(11), 3003
- [5] Yan Yiming and Liu Andong, The research of x-ray focusing system x-ray lens and its applications at Beijing Normal University. *J. of Beijing Normal University (Natural Science)*, 1995, **31**; additional (to be published)
- [6] 王大椿, 用于软 X 光学系统特性研究的可五维调整的真空中测试设备. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 1995, **31**, 增刊(待发表)

A deep sub-micron X-ray lithography by using a soft parallel beam X-ray lens

Yan Yiming, Wang Dachun, He Yejun, Yang Cungeng,
Zhang Shengji and Liu Andong

*(Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University,
Beijing Radiation Center Beijing 100875)*

Abstract

With combination of a parallel beam soft X-ray lens used as an X-ray beam collimator and an electron gun soft X-ray generator, a parallel soft X-ray source was developed for deep submicron X-ray lithography in the X-ray laboratory of Beijing Normal university. A testing lithography experiment was carried out by using this source and 0.2—1.0 μm lines were observed. The experimental setup and preliminary results of X-ray lithography is described briefly in this report.

Key words: X-ray, X-ray lens, X-ray lithography