

文章编号: 1001-3806(2002)01-0024-03

畸变的掩模对光刻图形质量的影响*

杜惊雷 曾阳素 黄晓阳 粟敬钦 郭永康 崔 铮¹
(四川大学物理系, 成都, 610064)

(¹ Central Microstructure Facility, Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, Didcot, OXON, OX11 0QX, U. K.)

摘要: 基于描述激光直写邻近效应的双高斯函数之差抗蚀剂模型, 计算分析了邻近效应带来的掩模加工的偏差, 及其对光刻图形质量的影响。模拟结果表明, 当掩模的特征尺寸为 $1.5\mu\text{m}$ 时, 激光直写所加工掩模的相对面积偏差达 5%, 并对最终的光刻图形的质量产生严重影响。

关键词: 激光直写; 邻近效应; 分辨力; 抗蚀剂模型
中图分类号: TN249 文献标识码: A

Effect of distortion of mask on photolithography pattern quality

Du Jinglen, Zeng Yangsu, Huang Xiaoyang, Su Jingqin, Guo Yongkang, Cui Zeng¹
(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu, 610064)

(¹ Central Microstructure Facility, Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, Didcot, OXON, OX11 0QX, U. K.)

Abstract: Following the difference of double Gaussian function describing the proximity effects in laser direct writing, the distortion of the mask and its influence on projection lithography pattern quality are simulated. The results show that the area deviation of the mask fabricated by laser writer is about 5% and make the projection lithography quality worse.

Key words: laser writing; proximity effect; resolution; resist model

引 言

激光直写系统在掩模制作和微光学元件加工等方面应用甚广^[1,2], 颇受使用者欢迎。然而, 激光直写的分辨力有限, 常用的激光直写设备可制作线条的特征尺寸约为 $1\sim 2\mu\text{m}$, 因此, 用它加工线条特征尺寸在 $1\mu\text{m}$ 左右的掩模时, 所加工的图形将产生邻近畸变, 从而将影响投影光刻图形的质量。不过, 若能有效减少激光直写加工中的邻近畸变, 与电子束直写等其它掩模加工手段相比, 其具有性能稳定、造价便宜、结构简单、使用方便等特点, 仍有一定优势。

尽管光学图像传递和加工中的邻近效应对投影光刻图形质量的影响已引起了人们广泛关注, 但掩模加工中的邻近效应引入的偏差却往往被归于掩模修补技术中的事情或单独校正, 而较少予以总体考虑, 有关报道也相对较少。我们认为, 为了减少生成

在基片上的最终刻蚀图形的畸变, 一体化考虑激光直写掩模加工中的邻近效应及投影光刻过程中的邻近效应的影响是十分必要的, 其可为获得最佳的刻蚀图形提供有效的校正依据, 并能减轻对掩模畸变校正和修补技术的要求。作者分析了激光直写邻近效应的成因^[3], 并提出了一种描述这种邻近效应的双高斯函数之差抗蚀剂模型。在本文中, 基于上述模型, 我们进一步模拟分析激光直写邻近效应所带来的掩模加工的偏差, 讨论了其对投影光刻的抗蚀剂图形质量的影响。分析表明, 当所加工掩模的特征尺寸接近激光直写系统的分辨极限时, 加工掩模图形将产生严重偏差。这一误差将经投影曝光最终传递到光刻图形上, 加大了最终光刻图形的畸变, 成为制约光刻图形质量提高的一个重要因素。

1 双高斯函数之差抗蚀剂模型

与投影光刻成像过程有很大不同, 激光直写无需掩模也不是通过光学成像方法产生图样的, 它是利用聚焦光束直接在抗蚀剂上写出图形的, 因此, 很适合制作掩模供其它光刻设备使用。激光直写系统的分辨力一般都不高, 限制激光直写分辨力提高的

* 微细加工光学技术国家重点实验室基金、国家自然科学基金及博士点基金资助项目。

作者简介: 杜惊雷, 男, 1964 年出生。教授, 博士。从事波前工程、微工程、激光等方面研究。

收稿日期: 2000-09-22

主要原因是,任何聚焦光束都有一定的尺寸而不能看成为一个几何点,它在抗蚀剂上形成的曝光剂量分布将影响到邻近图形的曝光量分布,发生邻近效应,导致曝光图形质量下降。针对激光直写的这一特点,我们建立了双高斯函数之差的抗蚀剂模型^[3]:

$$E(r) = \frac{E_0}{\pi(1+\delta)} \left[\frac{1}{\alpha^2} e^{-r^2/\alpha^2} - \frac{\delta}{\beta^2} e^{-r^2/\beta^2} \right]$$

式中,括号内第1项表示激光光束在抗蚀剂内的能量分布,第2项表示表面散射和基底吸收等损失引起的能量分布偏差。 E_0 是激光束光斑中心的能量密度, r 是离激光束中心的距离, δ 是比例系数, α 和 β 是高斯函数的参数,可通过实验测量来计算求得。

2 激光直写加工过程掩模中引入的偏差

假定我们利用激光直写设备加工一个线条特征尺寸为 $1.5\mu\text{m}$ 的掩模,如图1a所示。这一掩模如果用于5倍缩小的I线投影光刻系统上(设照明光源的部分相干因子 $\sigma=0.5$,系统物镜的数值孔径 $\text{NA}=0.7$),则可在基片上获得 $0.3\mu\text{m}$ 的光刻图样。

我们基于双高斯函数之差抗蚀剂模型(这里, $\delta=0.107$, $\alpha=0.5\mu\text{m}$, $\beta=0.24\mu\text{m}$),模拟了用激光直写系统加工图1a所示掩模的过程,其结果如图1b和图1c所示。其中,图1b是抗蚀剂吸收能量分布图,图1c是模拟激光直写加工所得的掩模。这里,直写光束的曝光步距选为 $0.1\mu\text{m}$ 。

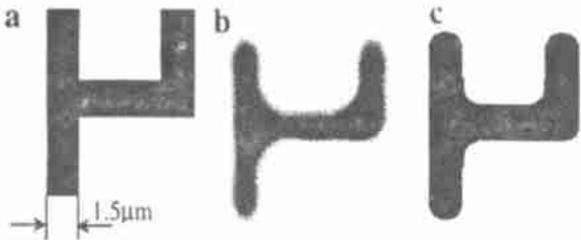


Fig. 1 a—the ideal design mask b—energy distribution absorbed by photoresist c—simulation mask fabricated by direct writing

图1b中可以看出,因抗蚀剂吸收能量的分布与理想情况有一定差别,尤其在边角处其分布较圆化,故经显影、去铬、去胶后,获得的掩模图形(见图1c)相对设计掩模有明显的畸变。计算表明,模拟加工的掩模相对理想掩模产生的面积偏差约为5.1%。那么,掩模加工的偏差究竟对最终的光刻图形将产生多大影响?我们有必要进一步模拟分析投影光刻后光刻图形的质量,以便为掩模制作、光学传递及加工过程中的邻近效应的整体校正提供指导性依据。

3 投影光刻邻近效应对光刻图形质量的影响

假定我们已有一块如图1a所示的理想掩模,并用激光直写加工了如图1c所示的实际掩模,现用它们在5倍缩小的I线投影光刻系统上进行曝光实验。其中光源照明波长 $\lambda=365\text{nm}$,部分相干因子 $\sigma=0.5$,系统物镜的数值孔径 $\text{NA}=0.7$ 。使用我们自编的Lithund, Compare等软件进行了投影成像、曝光、显影过程的模拟,其结果如图2~图4所示。

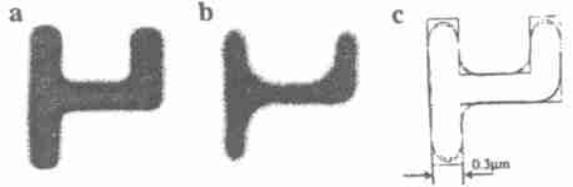


Fig. 2 a—spatial intensity distribution of ideal mask b—spatial intensity distribution of simulated mask fabricated by laser writer c—comparison of the spatial profiles

图2a、图2b是两个掩模的空间像光强分布。由于投影成像过程中衍射受限,像面的光强分布有一定畸变,而激光直写加工的掩模空间像光强分布的畸变显然更严重一些。图2c是给定阈值空间像的二维轮廓图,最外层的图形是理想像,中间连线的图形是理想掩模的空间像轮廓,最内层连线图示了激光直写加工的掩模的空间像轮廓。计算表明,对于光学成像过程,理想掩模空间像的相对面积偏差约为13.61%,激光直写加工的掩模的空间像的相对面积偏差约为18.02%,这说明掩模加工中的偏差影响了空间像的质量。

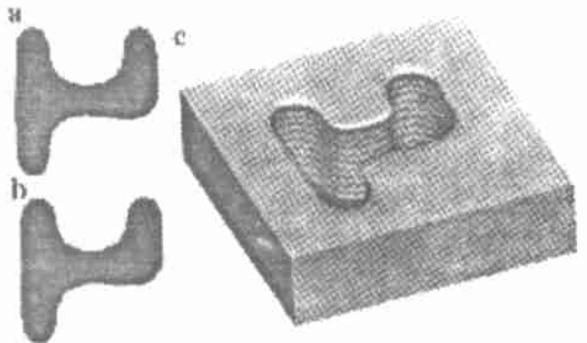


Fig. 3 a—2D resist pattern of ideal mask b—2D resist pattern of the mask fabricated by laser writer c—3D resist pattern of the mask fabricated by laser writer

当图形进一步传递进抗蚀剂时,新的偏差又被引入,我们也给出了其模拟结果,见图3和图4。这里所用的抗蚀剂为JSR-IX500,胶厚为 $1.12\mu\text{m}$,曝光剂量为 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$,显影时间为60s。从图中可以看

出,抗蚀剂图形与设计图形间的偏差在曝光显影过程中进一步加大,而理想掩模和激光直写加工的掩模的抗蚀剂图形也有一定的差别。计算表明,理想掩模的投影光刻抗蚀剂图形的面积偏差为21.1%,而激光直写加工的掩模的投影光刻抗蚀剂图形面积偏差为25.1%。

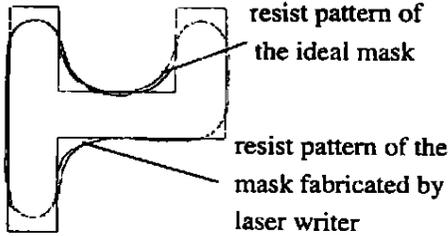


Fig. 4 Comparison of the 2D resist profiles

4 分析和结论

针对研究制作 0.34 μm 光刻图形,我们从掩模加工到投影成像,再到曝光显影进行了全过程的计算机模拟分析。尽管空间像的畸变是影响光刻图形质量主要因素,但掩模制作和曝光显影过程中的邻近效应对光刻图形质量也产生严重影响(引入邻近畸变的面积偏差都在 5% 以上),并导致最终光刻图形

大大超过工业光刻的偏差允许极限。值得注意的是,激光直写加工的掩模经投影光刻过程后,所获得抗蚀剂图形的相对面积偏差与理想掩模投影光刻的结果相比只增大了 4%,小于掩模图形本身的面积偏差 5.1%。这说明投影光刻图形传递过程存在许多非线性因素,掩模设计时合理采用预畸变掩模形状的方法,可减少最终光刻图形的畸变,改善光刻图形质量。目前,投影光刻成像和曝光显影的邻近效应已引起人们的注意^[4,5],而对掩模制作中的邻近效应对光刻图形的影响讨论尚少。总体来看,掩模图形的偏差达 5.1%,可使最终光刻图形相对面积偏差增大 4%,应在邻近效应精细校正中予以总体考虑,以期获得最佳的光刻图形效果。有关邻近效应一体化考虑的校正方法和实验结果,我们将在以后予以报道。

参 考 文 献

- [1] Langlois P. SPIE, 1992, 1751: 2~ 12.
- [2] Guo L R, Guo Y K. 光子学报, 1994, 23(22): 43~ 52.
- [3] Du J L, Gao F H. Opt. Engng, 2000, 39(3): 771~ 775.
- [4] Du J L, Su J Q, Luo K J *et al.* 光学学报, 2000, 20(4): 518~ 524.
- [5] Maurer W, Dolainsky C, Thiele J *et al.* SPIE, 1998, 3334: 245~ 253.

(上接第 19 页)

中剂量组以及 14d 时小、中剂量组与地塞米松组比较,有显著性差异($p < 0.050 \sim 0.01$)。地塞米松组与烧伤组之间无显著性差异。如表 6 所示,激光烧伤后 21d,烧伤组、IL-1ra 小剂量组和中剂量组的角膜烧伤面积分别为 11.577 mm^2 , 6.757 mm^2 和 7.078 mm^2 。

3 讨 论

已有研究证明,在机体对烧伤和感染的反应中,细胞因子作为炎症介质起着重要作用。烧伤后,IL-1 释放增加,在疾病过程中相互诱导、协调,增加炎症介质的连锁作用。IL-1ra 能特异性与 IL-1 受体结合,从而阻断其在机体中的炎症反应和组织损伤作用。

本实验中通过角膜裂隙灯观察表明,IL-1ra 能减轻激光角膜烧伤的各种炎症反应。病理组织学观

察进一步证明,IL-1ra 可明显减轻角膜基质水肿,抑制炎症细胞浸润,有利于角膜上皮细胞再生。此外,IL-1ra 有利于角膜透光率的恢复,并对激光烧伤后角膜上皮细胞活性的恢复具有促进作用。图像分析也表明,IL-1ra 有利于角膜透明度的恢复以及角膜烧伤混浊斑的缩小。

IL-1ra 作为首个被发现的细胞因子拮抗剂,不仅具有治疗作用,而且副作用小,安全性高,这些特点使之有望成为治疗角膜烧伤的新型药物。本实验首次将 IL-1ra 用于激光角膜烧伤的治疗,尚未见报道,它为激光烧伤的治疗开辟了新途径。

参 考 文 献

- [1] 白晋,陈国民. 中国实用眼科杂志, 1997, 15(7): 416~ 418.
- [2] 张文华,孙旭光,武宇影 *et al.* 眼科, 1997, 6(3): 135~ 136.
- [3] 孙旭光,张文华. 眼科, 1996, 5(2): 110~ 111.