

激光直接光刻制作微透镜列阵的方法研究

杜春雪 林大键 冯伯儒 孙国良

(中国科学院光电技术研究所, 微细加工光学技术国家重点实验室, 成都 610209)

徐 平 郭履容

(四川大学信息光学研究所, 成都 610064)

摘 要 介绍了利用激光直接光刻技术制作 8 相位台阶菲涅尔衍射微透镜列阵的工艺方法, 并对元件的衍射效率及光刻过程中的制作误差进行了分析, 透镜列阵在小形 Shack-Hartmann 波前传感器中得到了应用。

关键词 激光直接光刻, 微透镜列阵, 衍射光学元件。

用激光直接光刻技术制作衍射光学元件把计算机产生全息术与微细加工技术结合起来, 使衍射光学元件的设计和制作方法得到极大改善, 提高了制作精度。本文介绍利用激光直接光刻系统及反应离子刻蚀方法制作 8 相位台阶菲涅尔衍射透镜列阵的工艺方法, 并给出实验结果。

1 8 相位菲涅尔衍射透镜列阵的制作

菲涅尔衍射微透镜可以实现对入射光的聚焦、成像, 形成的列阵器件可具有很高的密度。它在自适应光学、CO₂ 激光材料处理、医学、光通讯、信息处理、激光扫描、波面探测、整形及像差修正等方面得到广泛应用。8 相位台阶菲涅尔衍射透镜的理论衍射效率为 95%, 制作需要 2 次套刻和精密对准技术。

1.1 激光直接光刻系统

激光直接光刻系统由计算机控制曝光并配有精密的对准装置, 能够用于实现套刻且误差小, 质量高。工艺实验是在德国 Erlangen 大学光学研究所进行的, 所用的设备是瑞典 Micronic 公司生产的 LPG-15P 激光直接光刻系统, 该设备如图 1 所示^[1]。使用 HeCd 激光扫描曝光, 波长 442 nm, 聚焦光斑直径 0.8 μm, 焦深 1.7 μm, 对准精度小于 0.2 μm, 曝光速度为 1 cm²/min。当工作台在 X 方向连续运动时, 激光头通过声光偏转器在 Y 方向以 128 μm × 0.5 μm 的光带扫描, 同时声光调制器控制光强实现 128 μm 范围的曝光。然后 XY 工作台调整到下一个曝光带。最大曝光范围是 150 × 150 mm。

1.2 制作工艺过程

为得到高精度相位图形, 本文采用石英基片, 在基片上镀一层厚度为 80~100 nm 的铬, 增强光刻胶与基片的结合力。再涂 g 线光刻胶 AZ1350 于铬层上并做预烘焙。制作前, 要在基片的边缘用激光直接光刻系统制作对准标记, 经过显影和铬刻蚀后得到铬标记。在第一次曝光前, 由激光直接光刻系统测量并记录对准标记的反射信号, 即确定基片的曝光位置。在以后的曝光中, 通过调整基片位置使对准标记反射信号与第一次相同, 达到对准目的。曝光后, 用 AZ400K 显影液对光刻胶图形进行显影(图 2(a))。显影过度或不足都会引起误差, 因此, 须选择正确的显影时间。显影后, 进行铬刻蚀和反应离子刻蚀, 反应离子刻蚀前需要对对准标记进行保护并对光刻胶图形进行再烘焙, 增强刻蚀效果。

反应离子刻蚀是通过腐蚀气体的原子团与基片表面的原子起反应, 使材料从基片的表面以化学、各向异性、垂直的方式离开表面。光刻胶图形便传递到基片上(图 2(b))。石英与光刻胶的刻蚀选择率为 3:1, 使用的刻蚀气体是 CHF_3 , 参数标定后, 刻蚀率为 40 nm/min。重复上面的过程, 后一次曝光所用数据掩模的周期总为前一次的一倍, 刻蚀深度也增加一倍。两次套刻后得到 8 台阶轮廓(图 2(f))。制作 8 台阶菲涅尔衍射透镜列阵, 首先由计算机算出单个透镜的结构参数, 再由计算机复制成列阵元件的掩模数据。加工相位台阶数为 8 时, 需计算三组掩模数据, 其掩模图形对应的周期以二倍的关系递增或递减, 制作需要三次曝光和刻蚀完成。

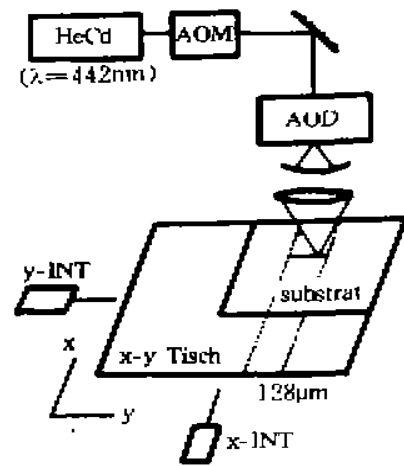


Fig. 1 Schematic of laser direct lithography system

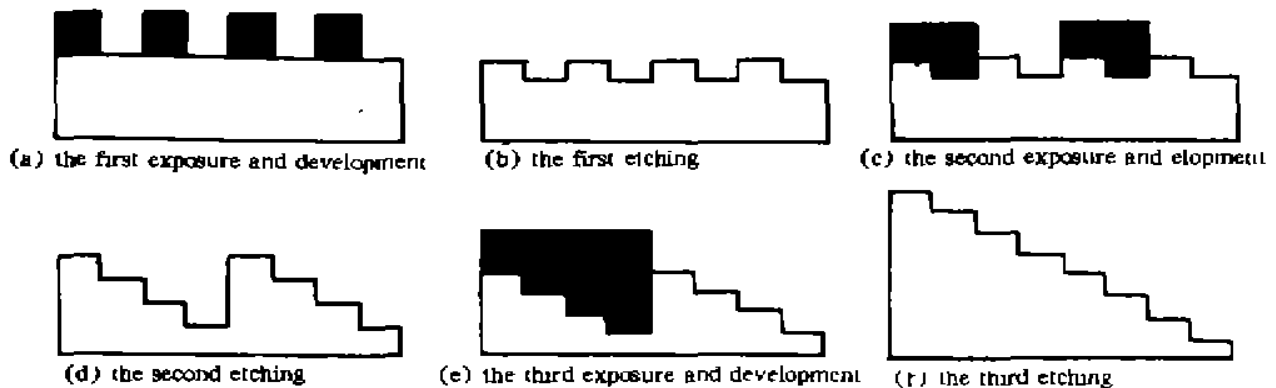


Fig. 2 The fabrication procedures

1.3 制作误差分析

加工衍射光学元件时, 曝光、刻蚀次数越多, 积累制作误差越大。工艺过程中存在的主要误差有台阶高度误差、对准误差、显影误差及曝光误差等, 再考虑元件表面的反射与吸收, 实际衍射效率总比理论值低。这里, 对准误差和刻蚀误差引起衍射效率的降低最明显。对于利用激光直接光刻系统制作的 8 相位台阶菲涅尔衍射透镜列阵, 实测衍射效率在 80% 以上。

2 实验结果

作者设计制作了光电技术研究所自适应光学实验室所需的紫外波段 Shack-Hartmann 波前传感器用 8 相位台阶菲涅尔衍射微透镜列阵。设计指标为: $\lambda = 248 \text{ nm}$, 通光孔径为 $0.2 \times 0.2 \text{ mm}^2$, $F^\# = 70$, 焦距为 14 mm, 列阵数为 30×30 。基片材料为石英玻璃(折射率为 1.508)。计算出外带最细结构为 $3 \mu\text{m}$, 三次刻蚀深度分别为 61 nm、122 nm 和 244 nm, 总的浮

雕深度为 427 nm。刻蚀率标定后,可用时间控制刻蚀深度。用上述制作工艺,作出 8 台阶菲涅尔衍射微透镜列阵(图 3(a))。在光谱干涉轮廓仪^[2]上可测量微透镜列阵的微观结构,图 3(b)给出列阵中某一单透镜中心带台阶的轮廓,测量结果表明刻蚀深度偏差为 ± 10 nm。对于这类大 F^* 的衍射微透镜列阵,不存在像差。

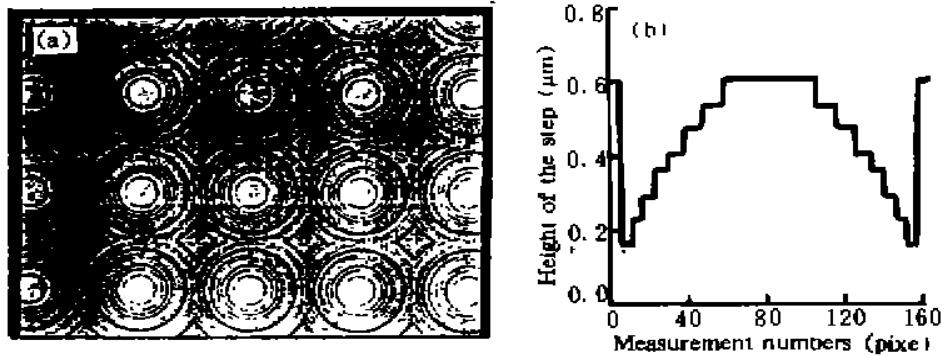


Fig. 3 8 step Fresnel zone lens array and step profile

结 论 本文介绍了制作衍射微透镜列阵的工艺方法,它同样适于制作如相位光栅、柱锥镜等其它衍射光学元件。激光直接光刻技术的应用避免了制作多块掩模的繁琐过程,为研究设计新型元件提供了极大的方便,用该技术制作衍射微透镜列阵可实现不同数值孔径的设计要求,单个透镜之间没有死区且制作误差小,衍射效率高。

作者感谢 Erlangen 大学 Prof. Schwider, 周良, Brinkmann 及 Dresel 等同事对该工作给予的支持和帮助。

参 考 文 献

- [1] U. Krackhardt, J. Schwider, M. Schrader, Synthetic holograms written by a laser pattern generator. *Opt. Engng.*, 1993, 32(4): 781~784
 [2] J. Schwider, Liang Zhou, Dispersive interferometric profilometer. *Opt. Lett.*, 1994, 19(13): 995~997

Microlens Array Fabrication by Using Laser Direct Lithography System

Du Chunlei Lin Dajian Feng Beru Sun Guoliang

(Institute of Optics and Electronics, The Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209)

Xu Ping Guo Lurong

(Institute of Information Optics, Sichuan University, Chengdu 610064)

(Received 7 June 1995; revised 13 September 1995)

Abstract In the paper, the method for fabrication of diffractive microlens array using laser direct lithography system and reactive etching machine is described. The diffractive efficiency and the fabricating errors are analyzed. The microlens array has been used in a miniature Shack-Hartmann wavefront sensor.

Key words laser direct lithography, microlens array, diffractive optical element.