

激光直写方法制作透明导电金属网栅

李凤友 卢振武 谢永军 曹召良 高劲松 孙连春 赵晶丽

(中国科学院长春光机与物理研究所应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

摘 要 介绍了利用激光直写光刻技术在 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 基片上制作线宽为 $5\mu\text{m}$, 周期为 $350\mu\text{m}$ 的红外透明导电金属网栅的工艺过程, 对激光直写光刻技术和机械刻划掩模接触光刻制作金属网栅结构的两种方法进行了比较, 给出了激光直写制作金属网栅的优点.

关键词 激光直写光刻; 掩模; 金属网栅; 电磁屏蔽

0 引言

由于透明导电金属网栅结构具有屏蔽电磁干扰的性能, 越来越多的光学系统, 尤其是红外光学系统, 采用窗口表面镀有周期阵列的金属网栅来屏蔽电磁波, 而使有用的可见光、红外光高效率地透过. 对红外系统来说, 金属网栅的电磁屏蔽效率和红外透过率与金属网栅的周期、线宽有关¹, 综合考虑网栅的红外透过率和电磁屏蔽效率的要求, 网栅周期不能太大、线宽尽可能小些, 通常线宽 $1 \sim 10\mu\text{m}$. 文献 2 报道了采用机械刻划制作掩模, 接触光刻曝光和真空镀膜方法制作了周期 $350\mu\text{m}$ 、线宽 $7\mu\text{m}$ 的金属网栅, 透过率 95%, 零级衍射能量 90%. 这与理论值还有一些差距, 主要是由网栅掩模制作误差和接触光刻所导致的.

本文采用激光直写光刻技术和真空镀膜技术相结合的方法, 制作了大面积平面透明导电金属膜网栅, 省去了掩模板制作和接触光刻过程, 提高了制作精度, 增大了使用窗口面积, 周期定位精度优于 $0.2\mu\text{m}$, 具有控制线条宽度的灵活性, 线宽精度控制在 5% 以内.

1 激光直写光刻网栅结构

激光直写光刻技术是 20 世纪 90 年代开始新兴的制作技术, 是通过计算机控制系统实现聚焦的激光束的精确扫描, 直接在光刻胶上写入所需图形, 利用光刻胶的曝光显影特性, 获得特征尺寸

为微米和亚微米量级的图样.

金属网栅的光电性能主要取决于基片上胶膜中网栅结构线条和周期的制作精度. 采用普通的光刻方法制作网栅需要掩模板, 掩模的制作方法有机械刻划、电子束曝光、电子束直写和激光直写光刻. 机械刻划制作掩模板², 需要精密研磨抛光的掩模板基片, 在高真空状态下用电阻蒸发镀制铝膜, 然后用金刚石刀刻划网栅结构, 最后用电子束蒸发的方法蒸镀 SiO_2 保护膜. 机械刻划微米级的线条, 线宽控制比较困难, 容易损伤基片且线条边缘不光滑, 影响掩模质量. 掩模通常是采用电子束制作方法, 且掩模制作精度很高, 但是由于它主要是用于大规模集成电路, 制作的掩模尺寸往往很小, 不能直接满足网栅掩模大尺寸的要求. 可以使用小尺寸掩模多次拼接光刻完成大尺寸网栅结构, 但是对准误差影响制作精度, 况且电子束制作需要条件较高, 掩模制作费用昂贵, 数量少的金属网栅制作成本较高. 激光直写制作方法可以制作掩模, 也可以省去掩模板, 直接在基片上胶膜中写入光刻所要求的网栅结构, 然后利用真空镀膜技术得到金属网栅. 同具有同样功能的电子束直写制作方法相比, 激光直写更适合于加工单个或几个、大口径、特征尺寸在亚微米级以上的元件.

实验采用四轴激光直写系统³ 中直角坐标写入线宽 $5\mu\text{m}$ 、周期 $350\mu\text{m}$ 的网栅结构. 图 1 为激

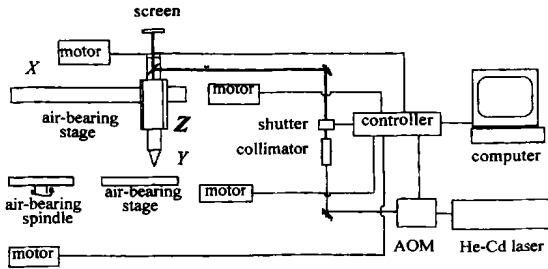


图 1 四轴激光直写系统结构图

Fig. 1 Schematic of main components of four-axis laser direct writing system

光直写系统的结构草图, 系统采用 150mW He-Cd 激光器($\lambda = 442\text{nm}$)发出的细光束经声光调制后, 扩束到 15mm 并引导到光刻头上, 由写入物镜聚焦到工件表面, 有四种不同数值孔径的写入物镜可换. X 、 Y 、 Z 轴选用空气静压导轨, 精密丝杠和步进电机驱动, 压电系统微位移驱动, 并采用光栅尺作为实时测量进行闭环控制和修正. 直角坐标最大运动范围 $220\text{mm} \times 220\text{mm}$, Z 轴最大行程为 50mm. X 、 Y 在 200mm 内位移精度为 $\pm 0.2\mu\text{m}$, Z 轴在 50mm 内位移精度为 $\pm 0.1\mu\text{m}$.

激光写入系统由一台 PC 机控制, 在平面基片上写入图形时, 将涂有光刻胶的基片放置在 Y 轴平台, 调整 Z 轴上下移动使激光束聚焦到胶面上, 光刻头沿 X 轴扫描, 载有基片的平台可沿 Y 轴扫描, 同时控制激光强度写入全部可编程的二维曝光图案.

金属网栅薄膜光电性能要求与线条均匀性、周期定位精度有关, 这对能够制作精密光学元件的激光直写系统来说是非常容易达到的. 然而, 与采用掩模接触光刻方法一样, 在 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 这样大面积基片上, 光刻胶薄膜的非均匀性可能降低网栅结构的质量, 所以为提高线条分辨率, 减小膜层非均匀性对网栅结构的影响, 采用较薄光刻胶膜层, 但要保证显影后的膜层厚度适合于薄膜淀积制作金属网栅. 从文献 4 激光直写光刻中光刻胶层内的光强分布讨论可知, 对 $4 \times$ 写入物镜($NA = 0.12$, 焦斑 $5\mu\text{m}$) 来说, 胶膜厚度为 $0.5 \sim 1\mu\text{m}$ 时胶层内强度分布变化很小, 而由基片胶层厚度不均匀产生的离焦(小于 $0.2\mu\text{m}$) 所导致线条宽度的变化量更小, 同曝光显影过程引起线宽误差相比, 完全可以忽略不计. 大基片表面的平整度好坏也可能引起线条宽度的变化, 这取决于直写系统的工作焦深大小. 由焦深公式 $DOF = 0.61\lambda/NA^2$ 计算可知 $4 \times$ 写入物镜的焦

深为 $18.7\mu\text{m}$, 实验使用的红外基片表面面形控制在几个波长之内, 基片表面平整度引起的离焦量不超过 $2\mu\text{m}$, 对线条宽度变化影响也很小.

激光直接写入制作金属网栅结构分为以下步骤: 第一步, 采用 Shipley 公司的 Microposit S1805 正性光刻胶在 $220\text{mm} \times 220\text{mm}$ 红外基片上均匀涂布薄胶膜, 胶厚约为 $0.9\mu\text{m}$. 第二步, 在光刻胶上写入网栅结构, 首先, X 轴精确定位栅线间距, Y 轴以 4.8mm/s 速度扫描; 然后, Y 轴精确定位栅线间距, X 轴以同样速度扫描; 扫描激光功率为 1.5mW . 第三步, 显影使用 Microposit MF 319 显影液, 用去离子水稀释比例为 1:10, 在 20°C 显影时间为 15s; 进行显影处理后, 后烘坚膜. 第四步, 放入箱式真空镀膜机镀 10nm 左右厚的 Cr 膜作为连接, 再镀 Al 膜约 150nm 作为导电膜层, 最后用丙酮溶液去胶得到金属网栅.

3 结果与讨论

由于激光直写设备定位精度远高于金属网栅的周期间隔精度要求, 只对光刻胶上写入的网栅线条用原子力显微镜进行了检测如图 2 所示, 膜厚 $0.895\mu\text{m}$, 线宽 $5.156\mu\text{m}$, 线宽控制误差 3.2%; 胶膜中线条笔直、侧壁边缘光滑, 经真空镀金属膜后会得到质量好的金属线条.

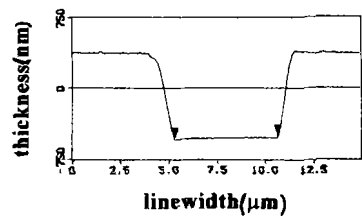


图 2 实测光刻胶膜厚 895nm, 线宽 $5.156\mu\text{m}$ (AFM)

Fig. 2 Linewidth is $5.156\mu\text{m}$ in photoresist film with thickness $0.895\mu\text{m}$ by using atomic force microscope

金属网栅光电性能测试结果: 网栅薄膜的红外波长透过率 97%, 零级衍射能量 94%, 电磁屏蔽效率大于 8dB, 接近于理论值. 显然, 激光直写方法制作金属网栅结构工艺过程比较简单、快捷, 大幅度地减小制作误差, 使金属网栅性能明显提高.

目前在大面积、大曲率的球面或曲面基片上通过平面掩模在曲面上投影光刻制作网栅结构, 出现十分严重的网栅畸变, 制作误差会更大; 激光直写光刻技术可以直接在曲面或球面上写入网栅结构, 避免了网栅畸变问题. 但是, 激光直接写入网栅线条时, 随着由中心向外径的移动扫描刻画,

线条逐渐展宽, 线条中心定位发生侧移变化. 该 变侧移问题. 总之, 激光直写光刻是制作类似于
问题解决的办法是通过激光扫描强数据的修正改 网栅结构的一种很好的办法.

参考文献

1 Kohin M, et al. Analysis and design of transparent conductive coatings and filter. Opt Eng, 1993, 32(5): 911~ 925
2 高劲松, 孙连春, 郑宣明等. 红外透明导电金属网栅薄膜. 光学技术, 2001, 27(6): 558~ 559
3 Li Fengyou, Lu Zhenwu, Xie Yongjun, et al. Laser direct writing system with Cartesian and polar coordinate. Acta Photoica Sinica, 2002, 31(5): 616~ 619
4 李凤友, 卢振武, 谢永军等. 离焦激光直写光刻工艺研究. 中国激光(录用待发表)

TRANSPARENT CONDUCTIVE METALLIC FILM MESH
FABRICATED BY LASER DIRECT WRITING TECHNIQUE

Li Fengyou, Lu Zhenwu, Xie Yongjun, Cao Zhaoliang, Gao Jingsong, Sun Lianchun, Zhao Jingli
State Key Lab of Applied Optics, Changchun Institute of Optics,
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Jilin, Changchun 130022
Received date: 2002-01-15

Abstract A film-taped metallic mesh with linewidth $5\mu\text{m}$ and period $350\mu\text{m}$, which is transparent for infrared and shielding electromagnetic wave, is made on the $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ IR substrate by using the laser direct writing (LDW) photolithography and coating technology. The characteristics of the mesh structure made by LDW technique are compared with that by the contact photolithography through the mask made by the mechanical cutting method. The advantages in fabricating the mesh film by LDW are presented.

Keywords LDW photolithography; Mask; Metal mesh; Shielding of electromagnetic wave



Li Fengyou received his BS degree in physics from Jilin Normal College in 1992 and his MS degree in optics from Changchun Institute of OFM, Chinese Academy of Science in 1999. Currently, he is working toward his PhD in State Key Laboratory of Applied Optics in CIOMP, Chinese Academy of Science. His research interests include micro-lithography, laser direct writing techniques, aspherical surface testing and ion beam etching techniques.