

微光学阵列元件离子束刻蚀制作的分析与讨论

张新宇 易新建 何 苗 赵兴荣
(华中理工大学光电子工程系)

摘 要 阐述了利用离子束刻蚀技术制作微光学阵列元件的工艺条件. 研究和实验结果表明, 通过光刻热熔法制作的光致抗蚀剂掩模图形经具有不同能量的离子束刻蚀后可以有效地实现向衬底材料上所作的选择性转移, 所作的理论分析结果为非球面微光学阵列元件的制作提供了一条可行的技术途径

关键词 离子束刻蚀; 微光学阵列元件; 制作

分类号 TN 30

将离子束刻蚀应用于微光学阵列元件的制作是近年来发展较快的一种精密的微细加工技术. 该技术具有邻近效应少、刻蚀分辨率高、与由大多数通用的光致抗蚀剂所制成的掩模图形的匹配特性好、环境污染小、费用较为低廉、刻蚀工艺的可控性良好等特点, 在微光学阵列元件的制作方面具有广阔的发展前景, 正日益受到重视^[1, 2]. 本研究对通过利用光刻热熔法制作的柱形光致抗蚀剂掩模来制作具有不同曲率的微光学元件的离子束刻蚀技术进行了分析和讨论.

1 实 验

实验分为两个步骤, 首先在衬底材料上通过光刻热熔法制作光致抗蚀剂掩模图形, 然后利用离子束刻蚀制作若干种具有不同结构及尺寸的光学阵列元件.

a 光刻热熔法制模 在衬底材料上利用光刻热熔法制作光致抗蚀剂掩模图形的简要工艺流程如下: 首先对衬底材料进行预处理, 再利用旋转离心法涂胶, 每次涂胶后在适当的温度下快速烘焙, 然后利用紫外线通过铬版将光致抗蚀剂模板曝光, 经显影和冲洗后得到光致抗蚀剂掩模图形, 最后采用熔融成形法制出具有预定参数指标的光致抗蚀剂掩模图形并经固化处理. 图 1 所示为在石英衬底上制成的光致抗蚀剂掩模图形的表面探针测试曲线.

b 离子束刻蚀 在实验中, 选用电离后的氩作刻蚀离子, 刻蚀操作在国产 LD-3 型离子束镀膜刻蚀机上进行, 采用 Kaufman 宽束离子源, 真

空工作室的本底真空度为 10^{-4} Pa 量级, 工作气压为 10^{-2} Pa 量级, 氩离子束的能量为 10^2 eV 量级, 氩离子束的束流在 40 ~ 70 mA 的范围
内可调, 束流直径
约为 10 cm, 束流的入射角度约为 45° . 采用大功率半导体热电致冷器冷却衬底, 在刻蚀操作的过程中衬底匀速转动, 热阴极电流约为 6.0 A. 图 2 所示为氩离子束刻蚀的原理示意图.

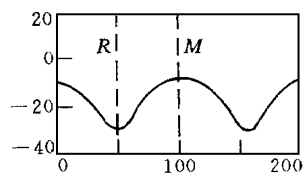


图 1 石英衬底上所制成的光致抗蚀剂掩模图形的表面探针测试曲线

(垂直 2 200 $7 \mu\text{m}$, 水平 $52 \mu\text{m}$)

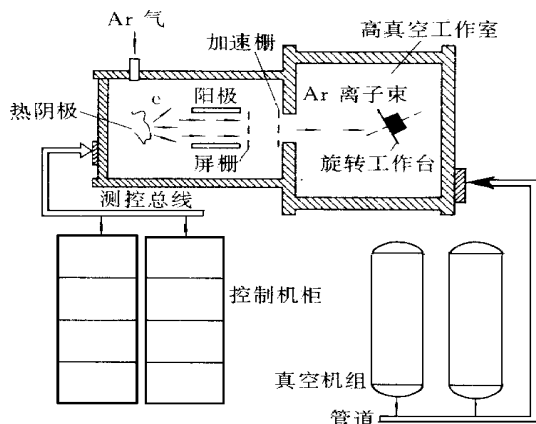


图 2 氩离子束刻蚀的原理示意图

2 分析与讨论

离子束刻蚀是一种利用具有一定能量的离子束轰击靶材料的表面从而使之被逐层剥离的技

收稿日期: 1997-10-08

张新宇, 男, 1965 年生, 博士; 武汉, 华中理工大学光电子工程系 (430074).

术 通过控制离子束的能量可以实现掩模图形向衬底材料上所作的选择性转移,进而制作出若干种具有不同光学特性的微光学阵列元件.我们根据实验所得出的离子束刻蚀速率 S 的经验关系式为:

$$S=K_1\frac{Y(E,\theta)(K_2-Q^{K_3/b}\sin K_4(\theta-\theta_0))}{\lg(K_5\rho/\rho_0)},$$

式中, J_b 为离子束的束流密度($\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$); ρ 为靶材料的密度($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); ρ_0 为作离子束刻蚀的材料所必须具有的最小密度; $Y(E,\theta)$ 为单个入射离子所能溅射出的粒子数; θ 为离子束对靶材料所作刻蚀的角度; θ_0 为初始位相; K_1 至 K_5 及 Q 均为各相关常数

为了通过离子束刻蚀有效地实现光致抗蚀剂掩模图形向衬底材料上所到之处作的转移,在衬底材料及工作条件选定的情况下,须合理配置各项工艺参数.具体的分析过程如下所述.图 3 为光致抗蚀剂掩模图形向衬底材料上所作转移的示

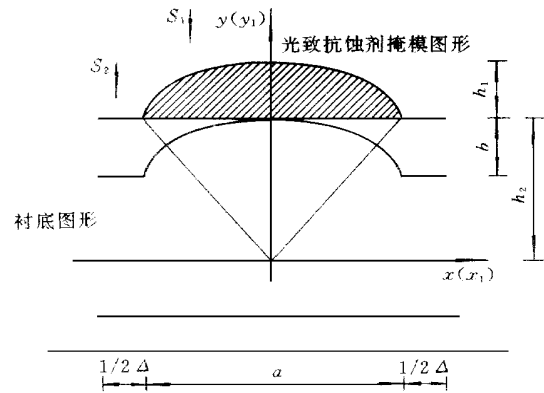


图 3 光致抗蚀剂掩模图形向衬底材料上转移的示意图

意图.由此图可见,圆弧形的光致抗蚀剂掩模图形横剖面的轮廓线方程为:

$$x^2+y^2=r^2\quad(|x|\leq a/2,r-h_1\leq y\leq r).$$

相邻圆弧图形间的平坦区域的方程为:

$$y=h_2\quad(|x|\geq a/2,|x|\leq(a+\Delta)/2).$$

在不考虑光致抗蚀剂掩模图形在离子束刻蚀过程中的收缩效应和局部表面薄层胶膜被离子束无效剥离的效应的前提下,可得出最终转移到衬底材料上的图形的轮廓线方程,

$$x_1^2+c^2[(y_1-h_2)+g/c]^2=r^2\quad(|x_1|\leq a/2),\tag{1}$$

式中, $c=S_1/S_2$,其中的 S_1 为经固化处理后的光致抗蚀剂掩模图形的离子束刻蚀速率; S_2 为衬底材料的离子束刻蚀速率.衬底材料上相邻凸状图形间的平坦区域的方程为:

$$y_1=h_2-b\quad(|x_1|\geq a/2,|x_1|\leq(a+\Delta)).\tag{2}$$

方程 (1) 和 (2) 是制作微光学阵列元件的理论基础.以下讨论制作具有不同曲率的光学阵列元件的情况

a 当 $0<c\ll 1$ 时,由式 (1) 可得:

$$y_1=-x_1^2/(2gc)+(r^2-g^2)/(2gc)+h_2,\tag{3}$$

此为抛物线方程,即每单元微光学元件的横剖面的轮廓线为抛物线弧

b 当 $c\gg 1$ 时,同理可得:

$$y_1=\pm r/c-g/c+h_2,\tag{4}$$

此为直线方程,即每单元微光学元件为微棱镜

c 当 $c=1$ 时,有

$$x_1^2+[(y_1-h_2)+g]^2=r^2,\tag{5}$$

此为圆弧方程,即光致抗蚀剂掩模图形可以无失真地传递到衬底材料上

d 当 c 在 1 附近但 $c\neq 1$ 时,亦有

$$x_1^2/r^2+[(y_1-h_2)+g/c]^2/(r/c)^2=1,\tag{6}$$

此为椭圆弧方程,即每单元微光学元件的横剖面的轮廓线为椭圆弧线.式 (3)~(6) 中的 x_1 变量的变化范围与式 (1) 的相同.各类微光学阵列元件中相邻凸状图形间的平坦区域的解析表达式仍由式 (2) 表示.以上所述为仅考虑横剖面处的柱图形的情况,对三维图形而言,制作条件是类似的.

由以上分析可见,通过离子束刻蚀使光致抗蚀剂掩模图形转移到衬底上后可以形成外形及结构尺寸各异的微光学阵列元件,其技术关键在于合理把握离子束对所刻蚀的经固化处理后的掩模图形和衬底材料的刻蚀速率比.因此,在衬底材料选定的条件下,合理选择光刻胶的类型和作刻蚀用离子的种类及配置优化的工艺流程,以得到最佳的实验结果,就成为制作出合乎使用要求的微光学阵列元件的核心.

图 4 所示为横剖面处的轮廓线为圆弧形的石英柱微透镜阵列的情况,

图 5 所示为横剖面处的轮廓线为椭圆弧形的石英柱微透镜阵列的情况,所用光刻胶为国产 BP212 紫外正型.尽管在实验中所使用的衬底材料和光致抗蚀剂的种类相同,但通过控制对光致抗蚀剂掩模图形所作固

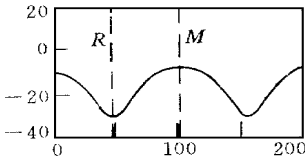


图 4 圆弧形轮廓线的石英柱微透镜阵列的表面探针测试曲线

(垂直 $2\,200.7\,\mu\text{m}$, 水平 $53\,\mu\text{m}$)

化的程度和调节离子束的能量可以显著改变离子束对光致抗蚀剂掩模图形的刻蚀速率。实验发现, 以此来调节离子束对石英衬底和经固化处理后的光致抗蚀剂掩模图形的刻蚀速率比是较为有效的手段之一。

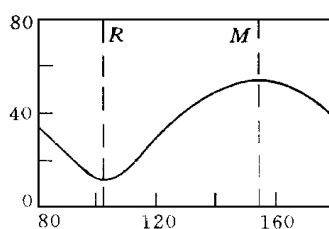


图5 椭圆弧形轮廓线的石英柱微透镜阵列的表面探针测试曲线

(垂直 $4\ 088.8\ \mu\text{m}$, 水平 $53\ \mu\text{m}$)

3 结语

分析和实验表明, 通过合理选择工艺条件, 可以利用光刻热熔法制模及离子束刻蚀来制作具有

不同性能特点的微光学阵列元件。但对具体的器件而言, 需要进行大量的实验以摸索出合理的工艺条件。通过利用离子束刻蚀的方法来制作非球面 (或非圆弧形轮廓线) 的微光学阵列元件可以拓展该项微细加工技术的适应范围, 为非球面微光学阵列元件的应用奠定基础。

参 考 文 献

- 1 Walker J F, Moore D F, Whitney J T. Focused Ion Beam Processing for Microscale Fabrication. Microelectron Eng (Netherlands), 1996, 30 (1~4): 517~522
- 2 Schneidewing H, Schmidl F, Linzen S, et al. The Possibilities and Limitations of Ion-Beam Etching of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Thin Film and Microbridges. Physica C (Netherlands), 1995, 250 (1~2): 191~201

Micro-optics Arrays Device Etched by Ar Ion Beam

Zhang Xinyu Yi X injian He M iao Zhao X ingrong

Abstract The fabricating conditions for micro-optics device are discussed etched by Ar ion beam. The results of experiment and theoretical analysis show that the photoresist pattern prepared by the photolithography and melting method can be transformed into the substrate effectively by ion-beam milling with different etching energy. The theoretical results can be applied to fabricating non-shape-surface micro-optics arrays device.

Keywords ion beam etching; micro-optics array device; fabricat

Zhang Xinyu Ph. D.; Dept. of Optoelectronic Eng., HUST, Wuhan 430074, China

《华中理工大学学报》稿件要求 (1)

《华中理工大学学报》是由国家教委审核、国家科委审批的中央级期刊。把本刊办得更具特色, 使之更好地为教学、科研和学术繁荣服务, 是编辑和广大作者的共同心愿。为此, 对稿件特提出如下要求:

1. 总体要求 本刊主要刊登我校工科、理科和管理学科等各专业有创见 (达到国际先进水平或国内先进水平) 的学术论文。要求论文选题新颖、重点突出、论证充分、结构严密, 使之“富有创造性, 符合科学性, 具有理论性, 显出简洁性。”力戒写成教材式、讲稿式、综述式、实验报告式、工作总结式、产品介绍式和广告式的文章。每篇论文的篇幅 (含图、表) 一般不超过 6 000 字; 作者署名不得超过 4 位, 具体署名人数和顺序是作者的权利, 但一经署名投稿后, 不应改动。请勿一稿多投。其他刊物上发表过或拟用之稿件, 本刊不再录用。