

微透镜阵列的加工技术研究*

陈祥献 杨国光 陈洪谬 侯西云 许 乔

(浙江大学高技术现代光学中心, 杭州, 310027)

摘 要

我们运用紫外光刻及热熔成型的方法, 制作了 $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的折射型微透镜阵列, 单元微透镜相对口径为 $F/2$, 单元透镜直径 $90\mu\text{m}$, 中心间隔 $100\mu\text{m}$. 在此基础上进行了电铸和注模复制技术的研究. 本文详细讨论了光刻热熔、电铸制模、注模复制的工艺参数控制.

关键词: 微透镜阵列; 微光学; 光刻胶; 电铸; 浇铸; 复制

中图法分类号: TN 203

0 引 言

目前各种微光学元件、微结构器件以及微系统研究在世界范围内蓬勃兴起. 微透镜阵列作为重要的光学元件, 在很多领域中发挥着重要作用, 如应用于光束扫描、光束准直、聚焦成像、简化光学系统结构等方面. 折射型微透镜是微光学元件的一个重要类别, 具有宽波段应用时色差小等重要优点.

微小元件的加工技术有多种, 本文讨论的技术是采用紫外线进行曝光, 为适应折射型连续面形的微透镜制作, 在紫外光刻的基础上采用了光刻胶热熔成型技术. 我们在实验中运用该方法, 获得了 $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的光刻胶折射型微透镜阵列, 单元微透镜相对口径为 $F/2$, 单元透镜直径 $90\mu\text{m}$, 中心间隔 $100\mu\text{m}$. 在光刻胶微透镜阵列的基础上, 通过电铸金属镍, 得到了基本符合复制需要的镍模板. 最后采用单体塑料注模成型的方法, 进行了初步的注模复制工艺研究.

1 光刻热熔、电铸制模、注模复制技术的基本原理和方法

1.1 光刻热熔

光刻胶热熔成型是制作连续面形微透镜阵列的关键基础, 是将有一定厚度的光刻胶在具有适当孔径的圆形图案的掩膜的遮蔽下, 进行紫外曝光, 经过显影后在基底上就形成了相对应的孤立的岛状圆柱形胶体; 再进行热处理, 加热光刻胶至熔融态温度, 此时熔融的光刻胶由于表面张力的作用, 形成了以图案孔径为边界的光滑的球面, 从而就得到折射型微透镜的表面结构. 整个工艺过程可分为如图 1 所示的三个步骤: (1) 光刻胶板在掩膜的遮蔽下进行紫外曝光;

* 本文于 1996 年 9 月收到 陈祥献: 男, 1967 年 10 月出生, 讲师

(2) 对已曝光的光刻胶板进行显影和清洗; (3) 热熔成形

1.2 电铸制模

首先将制作好微透镜阵列图案的光刻胶板表面真空蒸镀一薄层银, 作为电铸时的初始导电层。然后将镀有银层的光刻胶板作为阴极, 将一镍块作为阳极, 浸入一定配比的电铸液(镍盐溶液)中, 加以一定大小的电流, 这样在阴极表面就不断有金属镍析出, 若干时间后形成一定厚度的镍层。将阴极拉出电铸槽, 冲洗后剥离, 就得到了带有微透镜阵列图案的镍板, 作为塑压或注塑的原始模板。图2所示的是电铸工艺示意图



图1 光刻热熔微透镜阵列制作过程

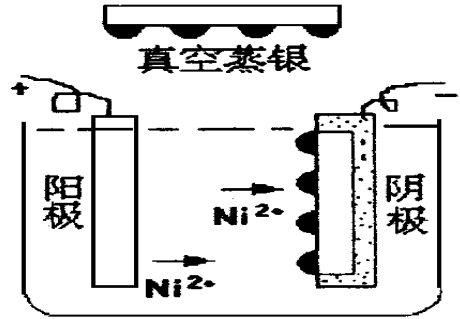
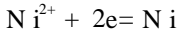


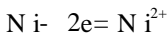
图2 电铸成形复制示意图

在电场作用下, 溶液中的带正电粒子(Ni^{2+} , H^+)向阴极运动, 带负电粒子(OH^-)则向阳极运动, 在阴极和阳极分别发生着还原和氧化反应

阴极主要是 Ni^{2+} 还原成 Ni 原子沉积于样品表面:



阳极主要是 Ni 原子氧化成 Ni^{2+} 不断溶解于电铸液中:



一定时间内在阴极表面析出的镍金属层厚度可由法拉第定律得到。阴极上所形成产物的质量 W 与电流 I 和通电时间 t 成正比, 即 $W = kIt$, 式中比例常数 k 与物质的克当量 E 有关, $k = E/26.8$ ($\text{g}/\text{A} \cdot \text{h}$), 对于镍来说, $E = 29.35\text{g}$, 则 $k = 1.095$ ($\text{g}/\text{A} \cdot \text{h}$)。

所以, 镍电铸层厚度为

$$D = W / (\rho \cdot S) = kIt / (\rho \cdot S) = (k/\rho) \cdot (I/S) \cdot t$$

式中 ρ 为镍的比重($8.9\text{g}/\text{cm}^3$), S 为镍电铸层面积, 因此可得电铸镍的理论速度:

电流密度 $1\text{A}/\text{dm}^2$ 时电铸1小时, 厚度为 $12.3\mu\text{m}$ 。

1.3 注模复制

实验中采用浇铸(又称铸塑)的方法来进行注模复制, 该成型方法是将已准备好的浇铸原料(通常是单体溶液)注入一定的模具中, 通过完成聚合或缩聚反应使其固化, 从而得到与模具型腔相似的制作。在电铸得到的镍模板(带有微透镜阵列负图形)基础上制作一个注塑模具, 单体高分子材料甲基丙烯酸甲脂在常温下呈现液态, 将它浇注到模具中; 在较高的温度($80\sim 100$)下处理, 单体分子不断聚合成大分子链, 这样液态单体材料就凝结成固态, 脱模剥离之后就得到了薄膜微透镜阵列元件。

2 工艺参数

2.1 光刻热熔

光刻胶热熔关键是形成良好的球面面形。通常情况下,光刻胶对某一材料的浸润程度是一定的,即光刻胶在熔融状态时与基底的表面张力是一定的,这样热熔成形后,微透镜的球面轮廓与基底之间存在着一定的夹角,可称之为临界角。由于临界角的存在,当胶层厚度不足时,胶体并不能形成一半径较大的球面。如图3中的微透镜表面轮廓曲线,表示口径为 $180\mu\text{m}$ 的微透镜在初始涂胶量不足时热熔得到的面形和胶层厚度足够时的面形。

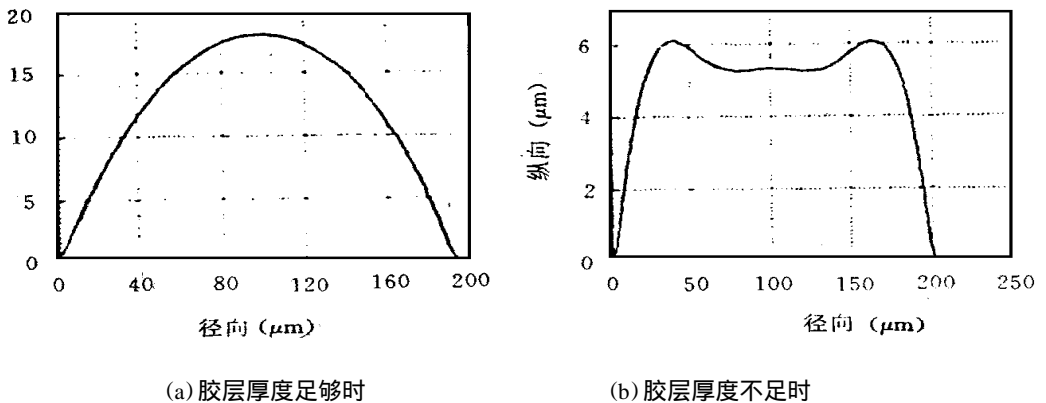


图3 口径为 $180\mu\text{m}$ 的微透镜单元面形轮廓

涂抹光刻胶时,既要得到设计要求的胶层厚度,又要达到一定的均匀性。实验中使用的是AZ-1375型正性光刻胶,按照一般工艺,这种光刻胶可得到的厚度为 $2.29\sim 3.24\mu\text{m}$,这个厚度对制作微透镜阵列显然不够。实验中采用控制涂胶量、涂胶转速和涂用时间等手段来控制胶层厚度,获得了厚达 $16\mu\text{m}$ 的胶层。用SPGIII型数字波面干涉仪测量,发现胶层厚度不均匀度小于 $0.3\mu\text{m}$ 。

除了胶层厚度外,控制各级烘烤温度和烘烤时间也是工艺的关键。如果热熔温度偏低,未达到光刻胶的玻璃态温度,光刻胶不能完全自由流动,无法形成球面面形。如果热熔温度偏高,则光刻胶极易分解,会出现表面焦糊、内部有气泡等现象,影响微透镜的光学性能。反复实验发现,前烘温度应控制在 $85\sim 95^\circ\text{C}$,后烘温度为 120°C 左右,热熔温度为 190°C ,时间5分钟。

2.2 电铸制模

2.2.1 真空蒸镀银

将微透镜阵列光刻胶板图案面朝下,固定在真空镀膜机真空室的顶部,从底部蒸发纯净的银,使光刻胶表面沉积上极微细的金属银颗粒,形成一个只有零点几微米厚的银层。这样,光刻胶板上的微透镜阵列图案真实的转移到金属银表面上,形成了金属模板的最初雏型,同时在以后的加厚电铸中,也作为阴极芯将不断吸引镍离子在其上沉积。这一导电层要求均匀、致密,不能有针孔或疵点。

2.2.2 电解液和应力

由于基底是光刻胶板,与金属层的结合较差,所以内应力的不均匀分布很容易引起电铸镍层的曲卷,以致脱落。在实验中选择了氨基磺酸镍作为电解液的主盐,这是因为该电解液所得电铸层的内应力最低。

电解液中主盐浓度对电铸层内应力也有影响,我们在实验中发现,500g/L左右的主盐浓度是合适的。氨基磺酸镍产生的内应力为拉应力,表现为电铸层边缘曲卷。为了进一步减少应力,应在电解液中加入适量添加剂,改变应力的添加剂有两类:一类产生拉应力,一类产生压应力,只要适当调节其添加量,可使得压应力与拉应力相抵消。通过反复试验,加入一定量上述两种应力消除剂,得到内应力极低的电铸镍层。应力的消除在电铸20 μm 以上的厚镍层时,显得更加重要。

2.2.3 pH值

pH值过低,使阴极电流效率下降,当 $\text{pH} < 2$ 时,无金属镍沉积,只有氢气析出。pH值过高,容易在阴极表面附近形成氢氧化镍胶体,造成氢气泡滞留,使电铸层出现针孔,并且变脆。实验中发现pH值在3.5~4.5之间最好。

2.2.4 温度

电铸过程中,温度的控制很重要,实验中选定了40~50的加热温度。发现当温度过低时,电铸速度慢,阳极镍块不能溶解正常,电解液的导电性变差;而当温度过高时,发现电铸镍层背底的麻点严重。

2.2.5 电流密度

总的来说,化学电铸的速度是较慢的,根据理论计算,电流密度 $1\text{A}/\text{dm}^2$ 时电铸1小时,厚度为12.3 μm ,因而电流密度不能太低。我们在实验中发现,当电流密度高于 $10\text{A}/\text{dm}^2$ 时,阴极析氢和阳极析氧变得明显。在实验中发现,电流密度为1~4 A/dm^2 是恰当的。

2.2.6 阳极形状

为了保证以后热塑压或注塑的质量,镍模板的厚度均匀性必须很好。在电铸过程中,由于电力线分布的不均匀,存在着不可避免的边缘效应,模板中心薄,边缘厚。实验中整个阴极板的面积比微透镜阵列大得多,减小有效使用面积上的厚度变化。在实验中还发现,阳极形状对厚度均匀性有很大影响,根据实验,阳极面积应小于阴极,并且应有一定的电流方向的尺寸。

采用上述工艺条件,得到了基本符合复制需要的镍模板。图4给出了所得镍模板的SEM照片。显微维氏硬度测试表明,该模板硬度为HV400.4。

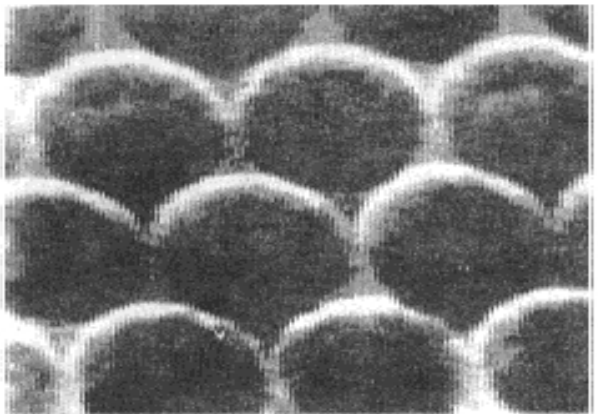


图4 电铸镍模板的SEM照片

2.3 注模复制

注模复制的方法很多,我们在实验中采用静态浇铸的方法。比较其它几种技术,静态浇铸具有设备简单、成本较低、制件应力较小等诸多优点。实验中选用了聚甲基丙烯酸甲脂作为浇铸材料。图5所示的是浇铸所用的模具,采用敞开式结构。模具底面板是电铸得到的镍模板,带有微透镜阵列的负图案。

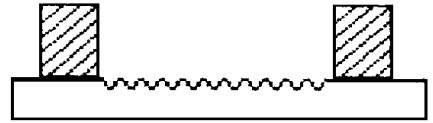


图5 微透镜阵列浇铸复制的模具

采用空气浴的方法促使聚合反应的进行。在聚合反应中,当单体转化率达到14%~40%时,聚合速度显著提高,常导致局部过热,发生爆发性聚合。实验中发现,当这种现象发生时,得到的塑料制件带有大量的气泡,破坏了微透镜的光学特性,并且机械性能也不好。因此,在浇铸过程中,先将甲基丙烯酸甲脂单体部分预聚合,再进行浇铸。预聚合的温度为30~50℃,时间为15~20小时;然后再在65~100℃下处理5~10小时;最后降至室温,脱模取出。

采用以上工艺条件,得到了薄膜型微透镜阵列元件,厚度在0.5~1mm不等。在此工艺过程中,各段温度及其时间的控制对最后制件的质量非常重要,各段温度及其时间的掌握也很困难,需要不断摸索、改进。目前,主要的问题是制件中还存在一些气泡,尚待进一步深入研究加以改进与提高。

3 结 论

我们运用光刻胶热熔成型的方法,制作了20mm×20mm的光刻胶折射型微透镜阵列,单元微透镜相对口径为 $F/2$,单元透镜直径 $90\mu\text{m}$,中心间隔 $100\mu\text{m}$ 。实验中发现涂胶厚度、热熔温度和时间等是影响质量的要点,最佳热熔温度为190℃。在此基础上,采用微电铸镍的方法进行成形复制技术的研究,获得了可用于热塑压或注塑的镍模板。我们的研究表明,在温度为40~50℃、pH值为3.5~4.5的氨基磺酸镍电解液中,加入若干种适量添加剂,采用一定形状的阳极材料,在 $1\sim 4\text{A}/\text{dm}^2$ 电流作用下,可以得到基底平整、硬度较高(在HV400以上),表面图案质量良好的金属镍模板。最后,采用聚甲基丙烯酸甲脂静态浇铸的方法,进行了微透镜阵列的注模复制,得到了塑料薄膜型微透镜阵列元件。

参 考 文 献

- 1 许乔等. 热熔微透镜阵列的综合性能测试. 仪器仪表学报(增刊), 1996, 17(1)
- 2 汤一新等. 二元光学元件的复制技术. 仪器仪表学报, 1995, 16(1)
- 3 许乔等. 折射型微透镜阵列的光刻热熔法研究. 光学学报, 1996, 16(9)
- 4 Michael T. Gale, Markus Rossi and Helmut Schutz, Fabrication of continuous-relief microoptical elements by direct writing in photoresist, SPIE, 1994, 2045: 54~62
- 5 叶雄英, 周兆英. 准LIGA工艺. 仪器仪表学报(增刊), 1996, 17(1)

The research of fabricating micro lens array

Chen Xiangxian Yang Guoguang Chen Hongm iu Hou Xiyun Xu Q iao

(High Technology Optical Center, Zhejiang U niversity, Hangzhou, 310027)

Abstract

We use a new technology of ultraviolet photoetching and melting photoresist to fabricate micro lens array. This process was used to get the micro lens array, composed of 20×20 mm, $F/2$ micro lens with $90\mu\text{m}$ diameter on $100\mu\text{m}$ centers. This paper discusses the process conditions of melting photoresist, electroforming and pattern copying in detail.

Key words: micro lens; micro optics; photoresist, electroforming; plastics casting, copying