

微透镜阵列的铸塑复制技术

陈祥献

(浙江大学高技术现代光学中心, 杭州 310027)

摘 要 在光刻热熔成型以及电铸复制得到的微透镜阵列镍板基础上, 采用静态铸塑技术, 得到了高质量的 PMMA 微透镜阵列. 本文介绍了静态铸塑的聚合反应理论基础、模具设计以及工艺过程. 最后对微透镜阵列的复制精度进行分析, 结果表明复制精度优于 $0.5\mu\text{m}$.

关键词 微透镜阵列; 微光学; 铸塑; 复制

0 引言

微电子技术的发展应用, 对各个领域都带来了深刻的变化. 目前各种微光电元件、微光学元件、微结构器件以及微系统的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的作用, 诸如应用于光束扫描、光束准直、激光器泵浦、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, 它具有宽波段应用时色差小等重要优点^[1].

本文讨论的光刻胶微透镜阵列是采用光刻热熔技术得到的. 光刻热熔工艺过程可分为如图 1 所示的三个步骤: 光刻胶板在掩膜的遮蔽下进行紫外曝光; 对已曝光的光刻胶板进行显影和清洗; 热熔成型.

接着通过电铸金属镍, 得到微透镜阵列镍模板.

在此基础上, 采用单体塑料浇铸成形的静态铸塑方法, 进行了微透镜阵列的静态铸塑复制工艺研究. 实验中运用该方法, 获得了 $(20 \times 20)\text{mm}$ 的折射型微透镜阵列, 单元直径 $130\mu\text{m}$, 中心间隔 $135\mu\text{m}$. 对微透镜阵列的表面轮廓仪定量分析表明, 铸塑复制精度优于 $0.5\mu\text{m}$.

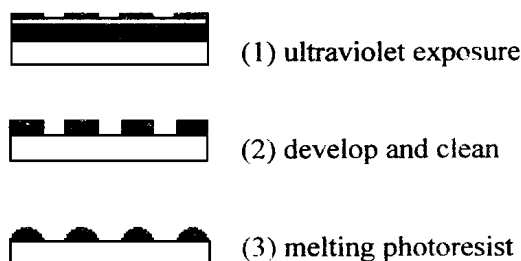


图 1 光刻热熔工艺过程

Fig. 1 The process of melting photoresist

1 聚合反应与铸塑成型

1.1 聚合反应

利用相同或不同低分子化合物聚合成高聚物的反应, 称为聚合反应, 它是合成高聚物的重要反应. 我们选择聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA, 俗称有机玻璃) 作为微光学元件的制作材料. 聚甲基丙烯酸甲酯是最重要的光学塑料, 透明度比玻璃还高, 透光率为 92%, 折射率为 1.491, 机械、温度性能极好.

聚合反应需要引发剂的参与, 在适当的引发剂作用下, 碳双键就会打开, 连锁反应的结果就形成一个长链分子, 单体也就聚合成为高聚物塑料. 一般的引发剂为自由基类型, 它是一种能产生具有未成对电子的自由基的化合物. 例如, 氧原子通常有两个价键, 但其自由基则只形成了一个价键. 过氧键断裂 ($-\text{O}-\text{O}-$) 就会形成这种自由基. 在本实验中选择过氧化二苯甲酰作为聚合反应的引发剂.

单纯的单体聚合得到的聚合物往往脆性较大, 当与模具剥离以及在以后的使用过程中容易造成断裂.

收稿日期: 1997—08—04

裂,影响了使用性能.在形成的塑料复制件厚度较小时脆性造成的影响更大.因此需要增加塑料制件的韧性.在聚合过程中加入增塑剂可以很大程度上解决这一问题.增塑剂是一些非活性液体或低分子量的固体,它能使聚合物中的长分子链分开,并且起到润滑作用,使聚合物长分子链易于运动.增塑剂分子与聚合物分子间存在的范德华力阻止了增塑剂的挥发.将增塑剂添加到塑料中可以提高塑料的韧性,改善整体物理-机械性能.我们在实验中选择邻苯二甲酸二丁酯作为增塑剂.

1.2 铸塑成型

铸塑又称浇铸,它是参照金属浇铸方法发展而来的.该成形方法是将已准备好的浇铸原料(通常是单体,或经初步聚合或缩聚的浆状聚合物与单体的溶液等)注入一定的模具中,使其发生聚合反应而固化,从而得到与模具型腔相似的制件.这种方法也称为静态铸塑法.静态铸塑技术可用来将电镀镍模板上的微光学图形转移到塑料表面.

铸塑法得到的制件无针眼,无内应变,无分子取向.重要的是,对于非晶态塑料来说,静态铸塑得到的制件相对于其它工艺一般具有更高的透光率,表现出优越的光学性质.

在加聚反应和缩聚反应中,会放出大量的热量,当单体的转化率达到(14~40)%时,单体溶液的粘度上升很快,聚合速度显著提高,常常导致局部过热,发生爆炸性聚合.这种现象称作凝胶效应.产生这种现象的原因是:在转化率为(0~50)%的聚合过程中,反应物中大分子链的活动逐渐变得困难,以致分子链终止的速率会随着反应物粘度的逐步上升而下降(通常下降的数量级大约达 10^3),而单体的扩散速率则不受影响,使链增长速率不致发生大的变化.由于链终止速率大大下降而链增长速率不变,又加上聚合反应放出的大量热量所造成的温度升高,总的结果是造成聚合速率加快,以致发生爆炸性聚合.因此,在聚合过程中需要严格控制这种现象的产生,否则,将使产品带有大量气泡,软心,物理-机械性能恶化.

基于上述原因,在铸塑中一般均用单体与聚合物组成的浆状物为原料进行浇铸,而不使用纯单体,这样做的结果不仅使生产过程控制较容易,避免爆发性聚合的发生,同时也可减少原料在模具中的漏损并使生产周期缩短.基于同样理由,实验中将单体直接进行部分预聚合后再用于浇铸.

2 静态铸塑复制工艺

2.1 微透镜阵列模具

静态铸塑工艺中一般不需要压力,依靠流体的自重使流体充满型腔.因此对模具强度的要求不高,只要模具材料对浇铸过程无不良影响,能经受浇铸过程所需要的温度和加工性能良好即可.由于铸塑

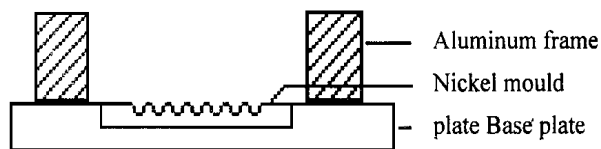


图2 微透镜铸塑复制的模具

Fig 2 The mould of casting plastic

过程中不需要压力,可以只采用阴模,即模具的上部敞开,我们在微透镜阵列铸塑复制实验中即采用这种模具.这种模具的优点是结构简单,易于排气,因而所得制件内部的缺陷较少.图2所示的是浇铸所用的模具,采用

敞开式结构,模具底面板是电镀得到的镍模板,带有微光学图形的负图案.镍模板固定

在铝金属底板表面,接缝平整.模板四周用平直的铝条围成一个正方形的边框,粘接在底板上.铸塑工艺需要加热条件.单体在一定温度下聚合成高聚物,同时温度需要变化,分几个温度区域.要提高制件质量,各工艺段温度和时间需要较好的控制.我们在实验中采用热空气浴的办法对反应物进行加热.热空气浴通过烘箱产生,调温范围较宽,在室温~300 的范围内,可达精度为 ± 1 .

2.2 工艺过程

首先,将甲基丙烯酸甲酯单体进行部分预聚合,形成聚合物与单体混合的浆状物.预聚合要掌握聚合物占整个混合物的比例,若聚合物所占比例太高,会严重影响浇铸时反应物的流动性,造成凹槽底部面形的失真;若聚合物所占比例太低,则起不到预聚合的效果,不能很好的克服凝胶效应,引起一定程度的爆炸性聚合,导致最后制件的光学特性和物理-机械性能恶化.所以应反复实验,控制预聚合的温度

和时间. 通过实验比较, 较好的预聚合温度为 $30\sim 50$, 时间为 $15\sim 20$ 小时. 经预聚合的聚甲基丙烯酸甲酯浆状混合物, 暂置于冷藏室中备用.

然后, 配制浇铸用的原料, 采用邻苯二甲酸二丁酯作为增强塑料韧性的增塑剂. 下面是各成分的组成:

甲基丙烯酸甲酯单体混合物 100g; 过氧化二苯甲酰 0.1g; 邻苯二甲酸二丁酯 1.0g.

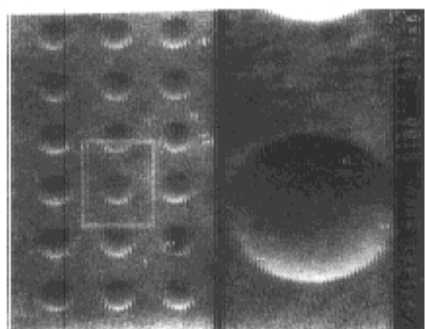
将上述配制的浇铸原料, 注入到模具中. 控制浇铸厚度大约在零点几个毫米. 然后将模具放入烘箱, 在 $80\sim 100$ 下处理 $5\sim 10$ 小时. 此时, 单体就聚合成为聚甲基丙烯酸甲酯聚合物. 随后, 将模具取出, 置于冷水中急冷至室温(一般在 30 以下). 最后, 取下模具四周的铝金属边框, 将成形的聚甲基丙烯酸甲酯薄片脱模取出.

采用以上工艺条件, 得到了薄片型折射微光学阵列元件, 厚度在 $0.5\sim 1\text{mm}$ 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.

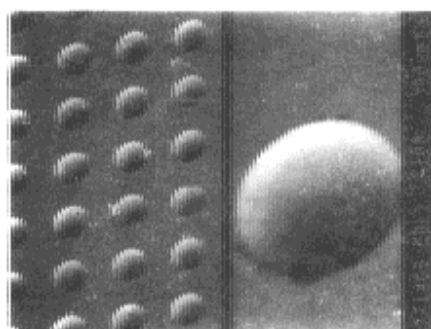
3 实验结果

3.1 SEM 表面形貌

PMMA 复制件的表面形貌质量是首要关心的问题, SEM (扫描电子显微镜) 表面形貌分析比较直观, 是有效的定性分析手段. 镍模板及 PMMA 塑料复制件表面的 SEM 照片分别如图 3 所示. 从得到的 SEM 照片看, 微透镜的铸塑复制是成功的.



(a) Nickel plate



(b) PMMA copy

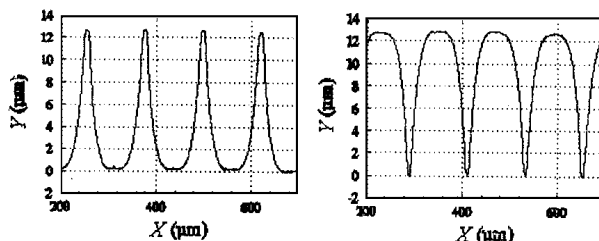
图 3 镍模板及 PMMA 复制件的微透镜阵列 SEM 照片

Fig 3 The SEM photos of microlens array of Nickel plate and PMMA copy

3.2 表面轮廓仪测量

表面轮廓测量则可以提供定量的表面形貌数据, 从而可以得到静态铸塑复制微透镜阵列的误差情况. 我们采用 Dektak III 型表面轮廓仪, 对微透镜阵列镍模板和 PMMA 复制件进行测试. 实际测量结果如图 4 所示.

对图 4 中所示曲线叠加比较可以发现, 静态铸塑得到的 PMMA 塑料复制件与电镀镍模板的面形误差不超过 $0.5\mu\text{m}$. 在面形轮廓比较时, 由于对准有误差, 并且无法确定单个球面透镜的一一对应, 所以额外的引入了误差. 因此, 实际上静态铸塑带来的面形误差远小于 $0.5\mu\text{m}$.



(a)

(b)

图 4 (a) 镍板板与 (b) PMMA 复制件的表面轮廓仪

Fig 4 The profiles of (a) Nickel plate and (b) PMMA copy

4 结论

本文在光刻热熔成型以及电铸复制得到的微透镜阵列镍模板基础上,采用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)单体浇铸成形的静态铸塑方法,进行了微透镜阵列的静态铸塑复制工艺研究.实验中运用该方法,获得了 $20 \times 20 \text{ mm}$ 的折射型微光透镜阵列,单元直径 $130 \mu\text{m}$,中心间隔 $135 \mu\text{m}$.

研究表明,用来浇铸的PMMA单体应经过预聚合形成浆状混合物,预聚合温度为 $30 \sim 50^\circ\text{C}$,时间为 $15 \sim 20$ 小时.在已预聚合的浆状混合物中加入过氧二苯甲酰为引发剂,加入邻苯二甲酸二丁酯为增塑剂,配制成浇铸原料,注入到微透镜镍模板组成的模具中,在 $80 \sim 100^\circ\text{C}$ 下处理 $5 \sim 10$ 小时.随后,急冷至室温脱模,得到高质量的PMMA微透镜阵列.

对微透镜阵列的表面轮廓仪定量分析表明,铸塑复制精度优于 $0.5 \mu\text{m}$.

参考文献

- 1 许乔,叶钧,包正康,侯西云.仪器仪表学报,1996,17(1):125~128
- 2 汤一新,王辉,蔡铁权,金国藩.仪器仪表学报,1995,16(5):361~364
- 3 许乔等.光学学报,1996,16(9):182~187
- 4 Gale M T, Rossi M, Schutz H. SPIE, 1996, 2045: 54~62
- 5 李川奇等.仪器仪表学报,1995,16(1):65~69

REPLICATION OF MICROLENS ARRAY BY CASTING PLASTIC

Chen Xiangxian

High Technology Optical Center, Zhejiang University, Hangzhou, 310027

Received date: 1997-08-04

Abstract PMMA microlens arrays are fabricated by the replication technology of static casting plastic, on the basis of Nickel mould plate fabricated by melting photoresist and electroforming. This paper describes the polymerization theory about casting, design of mould and technological routine. Measurements of surface profiles show, the accuracy is better than $0.5 \mu\text{m}$.

Keywords Microlens array; Micro optics; Casting plastic; Replication



Dr. Chen Xiangxian gained the master degree on semiconductor in 1992, was promoted to lecturer in 1994, and gained PhD on Optics in June 1997. He made research works on electric characteristics of semiconductor before 1994, and has worked on fabrication technology of Micro-Optics and Binary Optics elements since 1994.