

文章编号: 100025013(2007)020151204

采用模压技术的聚合物矩形光栅制作

于百英, 庄其仁, 阮思旭

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 在适当的压力条件下, 通过控制压制的温度, 制作出性能优良的 PC(Polycarbonate) 聚合物矩形光栅, 光栅压制模板为采用感应耦合等离子体(ICP) 技术刻蚀的熔融石英矩形光栅模板. 对聚合物光栅的衍射观察和测量, 证明用模压技术制作的 PC 聚合物矩形光栅具有很好的衍射效率和表面质量.

关键词: 模压技术; 聚合物; 光栅; 莫尔条纹

中图分类号: TH 741.6 **文献标识码:** A

矩形光栅是一种典型的位相光栅, 其应用十分广泛, 如光谱学、分布反馈激光器、分布 Bragg 反射激光器、光波导耦合器、波长多路调节器和解调器件、VCD 与 DVD 和 CD-ROM 信号读出头用光栅, 以及制作光纤光栅的相位掩模板等都要用到矩形光栅, 因而受到了众多学者的重视. 目前, 制作矩形光栅的主要技术是刻蚀技术, 它包括反应离子刻蚀法^[124]、离子束铣削^[5]、电子回旋共振刻蚀法, 以及感应耦合等离子体刻蚀法^[6]等. 这些方法所用的设备昂贵, 操作复杂, 成本较高, 因此, 研究低成本、易实现的矩形光栅制作方法是很有意义的. 有机聚合物聚碳酸酯(Polycarbonate, 简称 PC)^[7] 是一种理想的光学材料, 光学质量很高. 聚合物光学器件具有质量轻、耐冲击性能好、成本低、能复制复杂的形状和易于批量生产等特点, 因此聚合物矩形光栅极具研究价值. 制作聚合物矩形光栅最简单可行的方法是采用模压技术^[8]. 模压技术是将模压材料放在模板的下面, 在一定的温度和压力作用下成型制品的一种方法, 其设备简单, 工艺控制便利, 易实现机械化和自动化, 在机械制造、工艺品加工等方面应用广泛. 本文介绍一种聚合物矩形光栅的模压技术制作方法, 并对其进行特性分析.

1 实验方法

1.1 模压材料

PC 材料作为模压材料, 其透明度可达到 90%, 折射率为 1.58, 机械性能较高, 熔融温度为 300 e 左右, 在 - 40~80 e 的温度条件下, 其几何尺寸变化极小.

1.2 模板

采用 ICP 技术刻蚀的熔融石英矩形光栅模板, 其参数为: 栅距 31 Lm, 长 18 mm, 宽 15 mm, 厚度为 1.5 mm, 折射率为 1.46.

1.3 实验装置

实验中, 采用恒温炉来进行模压温度控制, 温度调节范围为室温至 200 e. 图 1 为实验装置图. 实验采用重力压力方式, 以保证整个模压过程压力是恒定的, 最上层为重物

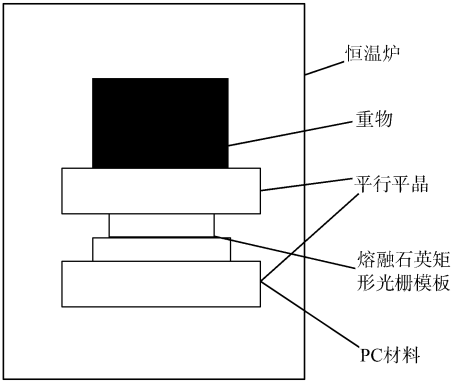


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Scheme of the experimental setup

收稿日期: 20060221

作者简介: 于百英(1982), 男, 硕士研究生, 主要从事光纤光栅传感的研究; 通信作者: 庄其仁(1960), 男, 研究员, E2mail: qrzhuang@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(A0410019)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

, 熔融石英矩形光栅模板置于 PC 材料上方, 凹凸面朝下 1 由于 PC 材料下表面和模板上表面所接触的夹具表面粗糙度必须是光学级的, 才不会对模板和模压材料造成损伤, 所以用两块平行平晶作为夹具. 实验中应注意 2 个问题: (1) 要保持模压平面置于水平面上, 以避免滑动; (2) 施加的压力要均匀, 即尽量保持重物的重心与模板和模压材料的中心在同一垂直线上.

2 实验结果

2.1 模压参数的确定

通过对不同压力、不同温度和不同模压时间对聚合物矩形光栅形成的影响可以发现, 太小的压力要形成聚合物矩形光栅是很困难的, 而太大的压力容易使 PC 材料变形. 因此, 选择了合适的压力条件(重物加上平行平晶重 4.5 kg), 换算为对模压材料 PC 板的压强为 17 MPa. 在压力一定的条件下, 温度是影响聚合物矩形光栅质量的重要因素. 图 2 给出了不同温度条件下制作的聚合物矩形光栅的衍射图, 其入射光源是波长 650 nm 的半导体激光器. 从图 2 可以看出, 当温度为 160 e 时, 所制作的聚合物矩形光栅衍射效果很差; 而当温度为 175 e 和 190 e 时, 所制作的聚合物矩形光栅衍射效果很好. 然而, 当温度继续升高, 模压材料 PC 板会出现粘连现象.

2.2 衍射效率比较

比较熔融石英矩形光栅模板衍射图(图 3), 可以看到与 190 e 时压制的聚合物矩形光栅衍射效果基本一样. 为进一步说明它们的衍射效率, 我们用光功率计测量了各级衍射光斑的强度, 归一化强度(I)分布如图 4 所示. 由图 4 可见, 熔融石英矩形光栅的零级衍射效率为 0.420, 一级衍射效率为 0.167, 二级衍射效率为 0.024, 三级衍射效率为 0.038; 聚合物矩形光栅的零级衍射效率为 0.415, 一级衍射效率为 0.171, 二级衍射效率为 0.029, 三级衍射效率为 0.040. 实验衍射图还验证了常见的缺偶级(强度很弱)的现象, 这主要是矩形光栅占空比为 1/2 的缘故^[9].

下面, 我们从理论上对矩形位相光栅衍射效率进行分析. 矩形位相光栅位相延迟, 如图 5 所示. 图 5 中, 周期为 h , 位相条纹宽度为 b , 光栅长度为 L , 每个周期内的两部分之间的位相延迟(Δ) 分别为 $mP/2$ 和 $-mP/2$. 为了便于分析, 不考虑光栅有限尺寸, 则矩形位相光栅的复振幅透过率表示为

$$t(x) = \begin{cases} e^{j\Delta} (1 - 1) , & Pl < x < lb, \\ \tilde{e}^{-j\Delta} , & lb < x < lhl \end{cases} \tag{1}$$

采用单位振幅单色平面波垂直照射透明光栅, 夫琅和费衍射图样的 0 级衍射光和 ? n 级衍射光复振幅分布 (只考虑 x 方向)^[10] 为

$$T_0(0) = 4(\frac{b}{h})^2 \cos^2(\frac{mP}{2}),$$
$$T_{?n} = \frac{4\sin^2(\frac{bn}{h})}{(nP)^2} \# \sin^2(\frac{mP}{2})l$$

由此可以得到位相光栅衍射图样的特点是, 0 级和 ? 1 级衍射光的总衍射效率达到 70%~ 98%. 在

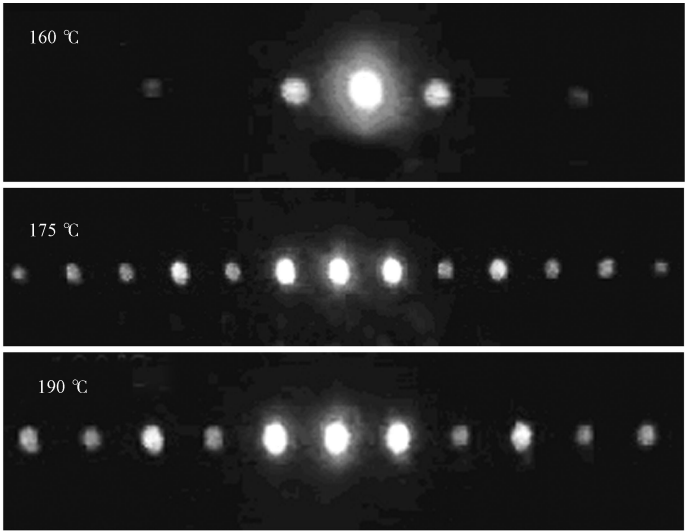


图 2 聚合物矩形光栅衍射图
Fig. 2 Diffraction patterns of the polymer rectangle gratings

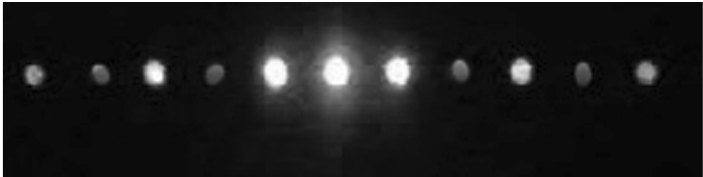


图 3 模板光栅衍射图
Fig. 3 Diffraction pattern of the templet grating

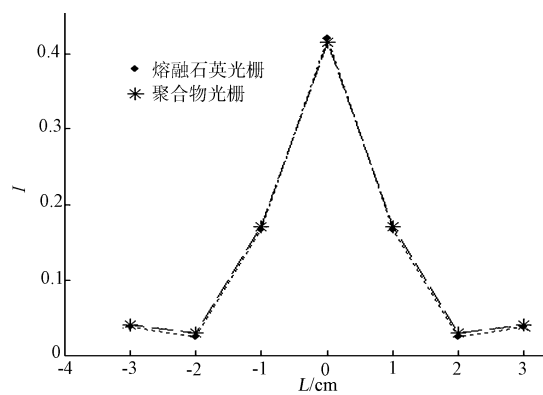


图 4 各级衍射光斑的归一化光强分布图

Fig. 4 Normalized intensity distribution of different levels diffraction spot

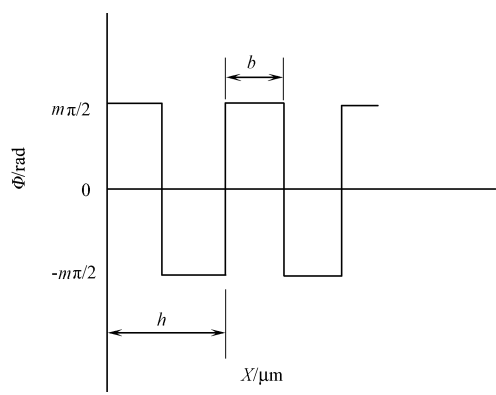


图 5 矩形位相光栅的位相延迟

Fig. 5 Phase delay with an rectangle gratings

实际应用中, 以光栅的 0 级和 1 级光衍射效率是否符合要求, 作为评价光栅是否合格的标准. 由图 4 可知, 实验得出的 0 级和 1 级衍射光的总衍射效率为 76%, 实验结果和理论计算相吻合.

2.3 模压聚合物矩形光栅的表面质量

用 100 倍显微镜观察聚合物矩形光栅表面的均匀性, 可以发现光栅线条平直, 分布均匀, 没有气泡、塌陷或凸起等现象, 如图 6 所示. 聚合物矩形光栅表面的整体平面变形情况用莫尔条纹^[1212]观察, 莫尔条纹原理如图 7(a) 所示. 将两块矩形光栅重合在一起, 其中一块光栅相对于另一块光栅栅线之间存在一个微小角度时, 在透射光中可看到一组与刻线垂直的条纹就是一种莫尔条纹. 图中, $P_1 = P_2$ 为光栅的栅距, H 为两光栅的夹角. 当 H 很小时, 莫尔条纹宽度 B 可表示为

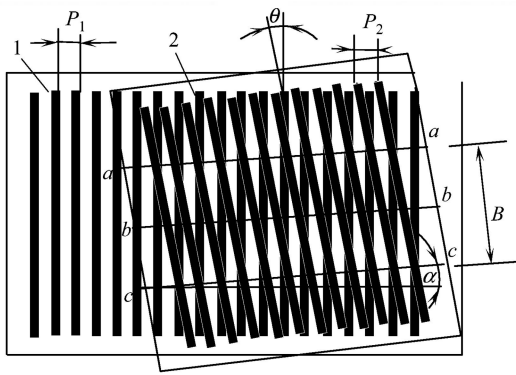
$$B = \frac{P_2}{\sin H}$$

因为 $H \ll 1$, 所以莫尔条纹具有尺寸放大作用, 若聚合物矩形光栅表面的整体平面变形, 则莫尔条纹就会产生扭曲. 我们压制的聚合物矩形光栅和熔融石英矩形光栅模板组成的光栅, 对产生的莫尔条纹具有很好的直线平行度, 莫尔条纹宽度也是均匀的, 如图 7(b) 所示.



图 6 聚合物矩形光栅的表面图像

Fig. 6 Surface image of the polymer rectangle gratings



(a) (b)

图 7 模板光栅与聚合物光栅的莫尔条纹

Fig. 7 The morie fringes formed by templet gratings and polymer gratings

3 结束语

模压技术是一种设备简单、容易实现工艺控制和自动化的制造技术,我们将该技术应用于聚合物光栅的制作,得到了性能优良的 PC 聚合物矩形光栅.对聚合物光栅和石英光栅模板衍射图形的对比,以及光栅莫尔条纹的观察,说明模压技术制作的 PC 聚合物矩形光栅具有很好的衍射效率和表面质量.

参考文献:

[1] JALALI B, TRINH P D, COPPINGER F, et al. Guided-wave optics in silicon-on-insulator technology[J]. IEEE Proc Optoelectron, 1996, 143(5): 3072311.

[2] WU Ming. Micromaching for optical and optoelectronic systems[J]. IEEE Proc, 1997, 85(11): 1 8321 856.

[3] LOPEZ A G, CRAIGH EADH G. Subwavelength surface-relief gratings fabricated by microcontact printing of self-assembled monolayers[J]. Appl Opt, 2001, 40(8): 2 0622 075.

[4] MAIT J N, SCHERER A, DAI O, et al. Diffractive lens fabricated with binary features less than 60 nm[J]. Opt Lett, 2000, 25: 38 2383.

[5] 马军山. 基于矩波紫外激光的光学元件成形[J]. 激光与光电子学进展, 2001, 38(8): 3243.

[6] 王顺权, 周常河, 茹华一, 等. 感应耦合离子体技术用于熔融石英表面凹凸光栅的刻蚀[J]. 激光与光电子学进展, 2004, 41(11): 3240.

[7] 候珍秀, 王仲仁. 聚碳酸酯板材高温力学拉伸性能实验的研究[J]. 塑料工程学报, 2003, 10(2): 6266.

[8] 梁国正, 顾媛娟. 模压成型技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999: 182193.

[9] 巴音贺希格, 齐向东, 唐玉国. 矩形光栅衍射效率的一般表达式及其缺级现象[J]. 光电子# 激光, 2003, 14(10): 1 02121 024.

[10] 蓝 斓, 张 平, 吴 震, 等. 位相光栅衍射图样识别算法研究[J]. 光学与光电技术, 2003, 1(5): 5 255.

[11] 鲍 超. 信息检测技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2002: 132139.

[12] 王 东, 海 清, 廖光曙, 等. 一种新型莫尔条纹的生成方法及应用[J]. 应用光学, 2005, 26(1): 32235.

Research on Making the Polymer Rectangle Grating
with Pressing Technology

YU Baiying, ZHUANG Qiren, RUAN Sixu

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: A method of making the grating with mould pressing technology on the polymer optics material is presented in this paper. Under the proper pressure and temperature, we have made out of PC (Polycarbonate) polymer rectangle gratings with good performance. The mask pattern is the melting quartz rectangle grating carved by ICP (Inductively Coupled Plasma) technology. By observing and measuring diffraction of the polymer grating, we prove that the PC polymer rectangle grating made in mould pressing technology has a higher diffraction efficiency and good surface quality.

Keywords: mould pressing technology; polymer; grating; morie fringe

(责任编辑: 黄仲一)