

四方阵列聚苯乙烯/聚甲基丙烯酸甲酯微结构 光纤的制造与光学特性*

郭昭龙, 王丽莉

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710019)

摘 要:用聚苯乙烯光纤填充 625 孔聚甲基丙烯酸甲酯微结构光纤预制棒中的空气孔制备了新型微结构光纤预制棒. 拉伸后得到了四方阵列聚苯乙烯/聚甲基丙烯酸甲酯微结构聚合物光纤. 该光纤的纵方向可以作为传递图像介质, 而纵截面上折射率的周期性结构可以作为透射光栅使用, 该光栅产生的 moiré 条纹可以用于测量小角度移动.

关键词:微结构光纤; 传像功能; 光栅功能

中图分类号: TN929.11

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)12-3176-4

0 引言

光子晶体光纤在光通讯^[1]、光传感^[2-5]等领域有广阔的应用前景, 因此成为国际国内热点研究课题. 曾有人报道: 一定尺寸的 112 孔阵列的四方阵列二维光子晶体光纤中的空气孔阵列可以作为传递图像的介质用于短距离图像传递^[6]. 我们进一步的研究发现: 在一些条件下, 利用空气孔阵列, 可以实现图像传递, 但是对于高质量图像的传递、远距离图像的传递都是不可能实现的, 因为基于空气芯波导阵列传递图像的光纤是不能弯曲的, 单个空气孔道直径也不能太小, 所以分辨率也是有限的^[7].

用高折射率材料填充微结构光纤中的空气孔, 空气孔阵列就变为包埋在低折射率材料中的高折射率阵列, 从而使该光纤具有传像功能. 我们课题组已经用高折射率液体填充微结构光纤孔洞的办法制造了液芯光纤阵列, 实现了较高质量的图像传递^[7-8]. 它比空气芯阵列传递图像的质量有很大提高, 但是液芯光纤阵列存在封装问题, 所以应用范围有很大的局限性.

本研究首先利用热挤出法^[7,9-10]制备 625 孔四方阵列微结构光纤(MPOF)预制棒; 然后将 PS 光纤填充到这些空气孔中, 得到具有聚苯乙烯(PS)芯、聚甲基丙烯酸甲酯包层的聚合物微结构光纤预制棒, 拉伸后得到微结构光纤. 这种新型微结构光纤不但可以传递图像, 其纵截面经机械加工后还可以形成微结构光栅.

1 四方阵列 PS/PMMA 微结构光纤预制棒的制造

在本研究中, 首先利用热挤出法^[7,9-10]制备一个 625 孔的四方阵列 MPOF 预制棒, 棒的长度为 18 mm、空气孔直径为 1.5 mm, 然后用直径和长度分别为 1.45 mm 和 200 mm 的 PS 光纤填充空气孔, 之后将该预制棒在 85 °C 干燥后 8 h. 干燥后放入一个金属圆筒中, 在 145 °C 真空烧结 10 h. 烧结时先在 100 °C 预热 2 h, 之后升温到 145 °C 烧结. 得到结构完整的预制棒. 如图 1, 可以看到该预制棒已经具备传像功能. 烧结过程中一定要保证真空度. 如果真空度不够高, 则会在烧好的棒子中会存在大量气泡, 影响传像.

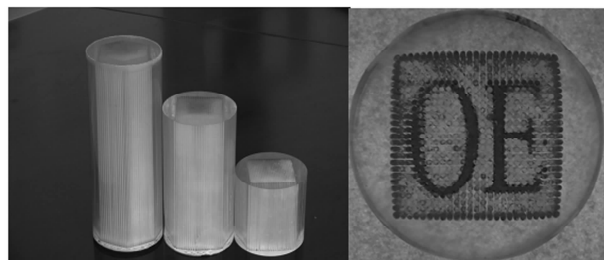


图 1 PS/PMMA 四方阵列微结构光纤预制棒

Fig. 1 A photo of PS/PMMA square array microstructured optical fiber preform

2 四方阵列微结构光纤的拉伸工艺

利用本课题组已经报道了的自制光纤拉制设备^[7]来控制 PS/PMMA 微结构光纤. 采用三段法加热系统^[11], 将 PS-PMMA 预制棒放入拉丝炉内, 起始温度设定为 100 °C, 每 10 min 升温 10 °C, 这个步骤很重要, 因为如果升温速度过快, 在预制棒中就会出现气泡, 从而导致传像质量下降. 当温度达到 190 °C 时, 将预制棒在炉内上下移动, 先将预制棒拉

* 国家自然科学基金重点项目(60437020)和中国高技术发展计划(2007AA032452)资助

Tel: 029-88887506

Email: Wangll@opt.ac.cn

收稿日期: 2009-01-21

修回日期: 2009-02-19

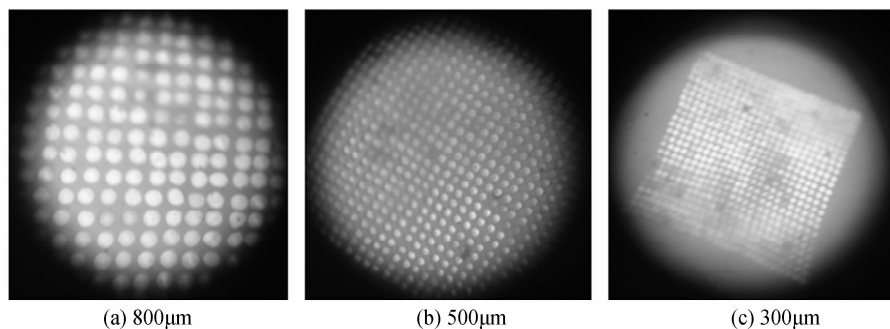


图 2 不同直径的光纤横截面照片

Fig. 2 Cross section of MPOF with different diameter

制成细棒,之后进行二次拉伸.当温度达到 200 ℃时开始拉丝.图 2 给出了各直径下光纤的横截面显微照片.

用 20×物镜和 16×目镜的显微镜观测,从图可以看出,像素的阵列保持完好,亮点就是 PS 固芯像素点,这表明光可以通过 PS 通道从光纤一端传到另一端,表明通道是完好的.图中直径为 800、500、300 μm 的光纤中像素点直径分别为 17、10、6 μm.在实际制备过程中 PS 像素点的尺寸可以通过拉伸光纤条件来控制.

3 四方 25×25 阵列微结构光纤的纵向光学性质

本文搭建了一个观测光纤成像效果的装置.如图 3.这个系统包括一个光源、一根长 10 cm、外径为 350 μm、625 像素的 PS-PMMA 光纤、一台显微镜和一台 CCD 相机,显微镜用测微尺作为被观测样品,该测微尺的最小刻度为 10 μm.将测微尺放在光源上面,传像光纤放在测微尺刻度上.用 20×物镜和 12.5×目镜的显微镜观察,并用 CCD 相机拍摄照片.

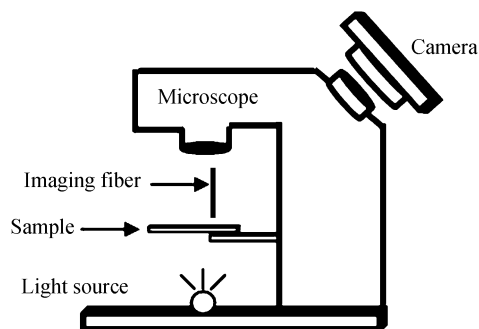


图 3 光纤成像效果测试装置

Fig. 3 Schematic diagram used to observe the imaging capabilities of the image MPOF

结果如图 4,PS 固芯的阵列保持完好,像可以清晰的通过 PS 固芯传到光纤的另一端.图 4(a)中

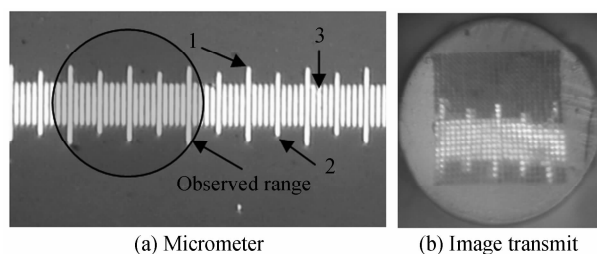


图 4 光纤成像效果

Fig. 4 Micrometer and image transmit by the image fiber 的 NO. 1 线和 NO. 2 线可以被分辨出来,二者之间的距离是 50 μm.该结果表明,这种新型的传像光纤具有非常好的图像分辨能力.

4 四方 25×25 阵列微结构光纤的纵截面光学性质

在本研究中制造的微结构光纤的纵截面上 PS 和 PMMA 呈周期性分布,光如果从该截面入射,可能观测到衍射条纹.为了研究这一推测,将光纤将该光纤片断的两个侧面研磨、抛光后,用 4×物镜、16×目镜观察光纤的纵截面,结果看到如图 5 的条纹.证明它具有光栅的分光作用.



图 5 光纤纵截面的光栅效应

Fig. 5 Grating effect of the longitudinal section of the fiber

将两个完全相同的光栅按一定角度叠加时,可以观察到 Moiré 条纹.将本研究中制备的微结构光纤纵截面研磨、抛光后,按一定角度叠加在一起,用 20×物镜和 10×目镜的显微镜观察,得到了图 6(a)的结果.红线所示的就是 Moiré 条纹.

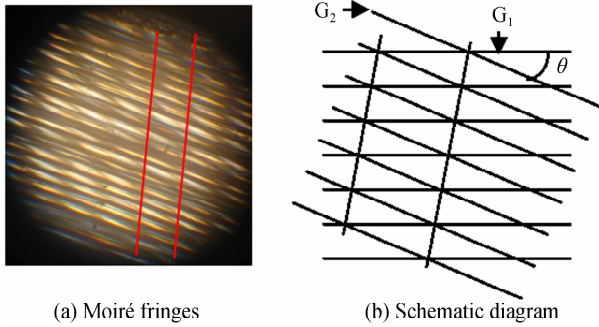


图 6 两个光纤光栅产生的 moiré 条纹和 moiré 条纹测角的原理图

Fig. 6 Moiré fringes generated by two fiber gratings and Schematic diagram of moiré fringes used to measure small angle movement

Moiré 条纹可以被用来测量微小角度移动,在机械测量领域应用非常广泛.其原理如图 6(b).如果光栅的栅距和 Moiré 条纹的宽度已知,则角度 θ 可以用式(1)^[12]来计算

$$\cos \theta = \frac{d_1^2 \omega^2 + d_2^2 \omega^2 - d_1^2 d_2^2}{2d_1 d_2 \omega^2} \quad (1)$$

d_1, d_2 分别是 G_1 和 G_2 的栅距 ω 为 moiré 条纹的宽度.当 $d_1 = d_2$ 时, θ 可以用式(2)来表达.

$$\sin \theta/2 = d/2\omega \quad (2)$$

moiré 条纹的宽度 ω 从 ω_1 变为 ω_2 时, $\Delta\theta$ 可以表示为式(3)

$$\Delta\theta = 2 \left| \arcsin(d/2\omega_1) - \arcsin(d/2\omega_2) \right| \quad (3)$$

在本研究中对该光栅进行角度变化测量,所用 PS/PMMA 微结构光栅的栅距为 $39 \mu\text{m}$,表 1 给出了实验条件和用式(3)计算的实验结果. moiré 条纹的宽度用 $20\times$ 物镜和 $10\times$ 目镜的显微镜测量.当角度移动小于 $\leq 10^\circ$ 时,计算值和实际值差值很小,当角度移动大于 10° 时,计算值和实际值出现差值,而且随着转动角度的增大,二者的差值越大.说明本研究设计、制造的新型光栅也可以用于小角度测量.因为本文的光栅是使用微结构光纤技术所制造的,它可以实现规模化制造.

表 1 moiré 条纹测角实验

Width of the moiré fringes/ $(\omega \cdot \mu\text{m}^{-1})$	Angle/ $(^\circ)$	
	Actual angle	Calculated angle
450	5	5.0
225	10	9.9
175	15	12.8
150	20	14.9
125	25	18.0
100	30	22.5

5 结论

本研究首次研制成功 25×25 四方阵列 PS/PMMA 微结构光纤.该微结构光纤纵方向具有传像效果,纵截面经机械加工后,可以用作二维透射光栅.

参考文献

- [1] EIJKELNBORG M A, LARGE M, ARGYROS A, *et al.* Microstructured polymer optical fibre[J]. *Opt Express* 2001, **9**: 319-327.
- [2] EIJKELNBORG M A, ARGYROS A, BARTON G, *et al.* Recent progress in microstructured polymer optical fibre fabrication and characterisation[J]. *Opt Fiber Technol*, 2003, **9**: 199-209.
- [3] YANG Xing-hua, WANG Li-li. Silver nanocrystals modified microstructured polymer optical fibres for chemical and optical sensing[J]. *Opt Commun*, 2007, **280**: 368-373.
- [4] YANG Xing-hua, WANG Li-li. Fluorescence pH probe based on microstructured polymer optical fiber[J]. *Opt Express*, 2007, **15**: 16478-16483.
- [5] YANG Xing-hua, WANG Li-li, YANG Sheng, *et al.* Potential applications of Ag-microtubes modified polymer crystal optical fibres as chemical and optical sensor materials [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(7): 1338-1341.
杨兴华, 王丽莉, 杨晟, 等. 纳米银修饰的微结构聚合物光纤作为化学-光学传感材料的初步研究[J]. 光子学报, 2008, **37**(7): 1338-1341.
- [6] EIJKELNBORG M A. Imaging with microstructured polymer fibre[J]. *Opt Express*, 2004, **12**(2): 342-346.
- [7] WANG Jian, YANG Xing-hua, WANG Li-li. Fabrication and experimental observation of monolithic multi-air-core fiber array for image transmission[J]. *Opt Express*, 2008, **16**(11): 7703-7708.
- [8] WANG Jian, WANG Li-li. Liquid-filled microstructured polymer fibers as monolithic liquid-core array fibers[J]. *Appl Optics*, 2009, **48**(5): 881-885.
- [9] WANG Li-li. Progress in extrusion technology of big size holey POF preforms[C]. in 16th International conference on Polyme Optical Fiber, 2007; 206-208.
- [10] WANG Li-li. A new approach to mass fabrication technology of microstructured polymer optical fiber perform[J]. *Chin Opt Lett*, 2005, **3**: 94-95.
- [11] YANG Sheng, WANG Li-li, YAN Wei, *et al.* The research on direct draw of big-size microstructured polymer optical fibre preform using three-step heating system[J] *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(9): 1861-1864.
杨晟, 王丽莉, 延魏, 等. 三段加热系统对大尺寸 MPOF 预制棒一步拉伸工艺[J]. 光子学报, 2008, **37**(9): 1861-1864.
- [12] YANG Guo-guang. Modern times optical test tehcnology [M]. Beijing: China Mchine Press, 1986; 189.
杨国光. 近代光学测试技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986; 189.

Fabrication and Characterization of Polystyrene-polymethylmethacrylate-based Square-array Microstructured Fiber

GUO Zhao-long, WANG Li-li

(*State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China*)

Abstract: Square-array microstructured polymer optical fibers with polystyrene core and polymethylmethacrylate cladding are fabricated. The image and grating function of the fiber are investigated with home-made specialized system. This new type of fiber provides strong potential for applications in imaging fiber and grating measuring.

Key words: Microstructured optical fibers; Image fiber; Gratings



GUO Zhao-long was born in 1982. He received the M. S. degree from Department of Chemical Engineer, Xi'an Jiaotong University in 2008. Now he is an assistant researcher at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS.