

文章编号 1004-924X(2002)05-0483-04

光通信用自聚焦透镜的制备

金龙文, 郝寅雷, 王 岩, 齐 冰, 赵文兴

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要:制备了自聚焦透镜的基础玻璃,对其透过率进行了测试,并对由这种玻璃制成的梯度折射率(GRIN)棒的折射率分布进行了分析。结果表明,基础玻璃在可见和近红外波段的透过率大于89%;GRIN棒内部的折射率分布接近理想分布。

关键词:光通信;梯度折射率;自聚焦透镜;离子交换

中图分类号: TN929.1 **文献标识码:** A

1 引言

自聚焦透镜是一种折射率沿径向变化的圆柱状光学元件^[1]。这种透镜内部距中心轴 r 处的折射率 N_r 可用式(1)^[2]表示:

$$N_r = N_0 \sec h(gr), \quad (1)$$

其中:

N_0 ——棒透镜中心轴上折射率;

g ——折射率分布常数。

由于这种透镜内部折射率的梯度分布特征,从透镜端面入射的光线在透镜内部将沿正弦曲线传播。将适当长度的 GRIN 棒用于光学系统,便可实现一定的功能^[3-8](聚焦、准直、成像等)。由于这种 GRIN 棒内部的折射率变化可以调节,当它用于复杂的光学系统时,可以减少系统中光学元件的数量,在某些场合可以代替非球面光学元件。此外这种光学元件的几何形状简单,容易进行光学加工,且使用这种光学元件的系统具有结构紧凑、性能稳定、成本低廉等优点。因此 GRIN 棒透镜已经被越来越多地应用于光学系统,尤其是在光纤通信领域中^[9]。其中自聚焦透镜用于光纤之间的连接、隔离、定向耦合、波分复用/解复

用器件以及光开关等显示出独特的优势。

离子交换法是制备自聚焦透镜最为常用的方法,它具有成本低和容易控制等优点,被广泛地用于光通信用自聚焦透镜的制作^[10-12]。美国的 Rochester 大学光学研究所和日本的 NSG(Nippon Sheet Glass)公司已经采用这种方法研制并开发出了光通信用自聚焦透镜光学元件。

本文描述了利用 Ti^{+}/K^{+} 离子交换工艺制备光通信用自聚焦透镜的工艺和性能测试结果。

2 基本理论

离子交换法制备梯度折射率材料的基本原理如图1所示。用熔盐中的对折射率贡献较小的离子部分替换基础玻璃中对折射率贡献较大的离子,使这两种离子在玻璃中的浓度形成一定的梯度,而在玻璃中产生折射率梯度。一价金属离子在玻璃中具有最大的迁移能力,在离子交换过程中起关键作用。

在梯度折射率光学元件的制备过程中,为了获得较高的折射率变化值 N ,基础玻璃中必须具有足够的高极化率离子(Ti^{+} , Cs^{+} , Ag^{+} 等),而用于离子交换的熔盐应含有 K^{+} 或 Na^{+} 。

收稿日期:2002-01-10;修订日期:2002-06-07

基金项目:中科院创新基金(No. C01L01)

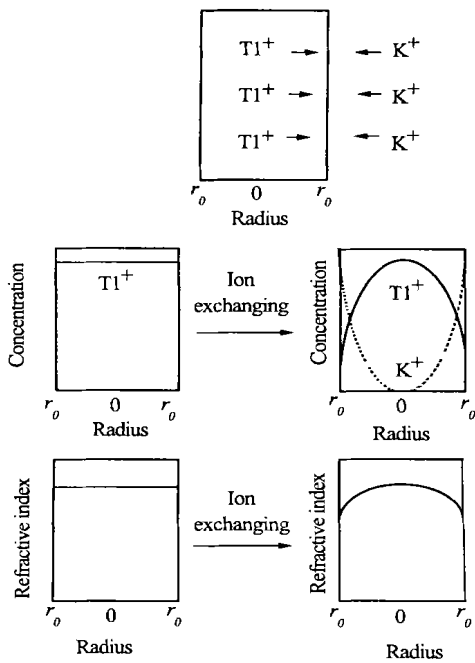


图 1 离子交换原理

Fig. 1 Principles of ion exchanging.

3 基础玻璃配方实验

为满足光通信用自聚焦透镜的要求,基础玻璃配方必须符合如下条件:

符合设计要求的光学性能(折射率,光吸收等);

合理的熔制温度,以及高温下合适的粘度;

满足成型所要求的料性;

较高的离子交换系数;

高温及常温下的足够的化学稳定性。

考虑到上述条件,本实验中所用的基础玻璃配方如表 1。

表 1 基础玻璃配方

Table 1 Base glass ingredients

Ingredients	SiO ₂	TiO ₂	B ₂ O ₃	Tl ₂ O	Na ₂ O	ZnO	Other
Content mol %	60~65	2~3	4~8	7~13	9~18	4~5	1~2

玻璃的折射率 $N(\lambda = 0.6328\mu\text{m})$ 为 1.6070, 玻璃转变温度为 460。

玻璃熔炼在电阻加热炉中进行,熔炼温度为

1250, 澄清温度为 1350。

将熔制后的玻璃加工出直径约为 2mm, 长度大于 10mm 的圆棒, 将圆棒放入 KNO₃ 的熔盐中进行交换, 交换温度为 460。交换时间 150~240h。

光透过率用美国 PE 公司的 LAMB-BA 型紫外可见近红外分光光度计进行测试, 样品厚度为 5mm, 测试波长范围 300~2000nm。

在交换后和退火后的玻璃棒的中部截取一薄圆片, 圆片的厚度研磨至一定厚度后进行抛光处理。抛光后的样品在自制的干涉测量仪(工作波长 $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$) 上进行测量。

4 实验结果与分析

图 2 是对厚度为 5mm 的基础玻璃的透过率曲线。从图中可以看出, 在可见光和红外波段, 基础玻璃的透过率大于 89%, 与国外同类产品相当。

图 3 是直径为 2mm 的自聚焦透镜内部折射率梯度的干涉测量结果。离子交换时间为 192h。

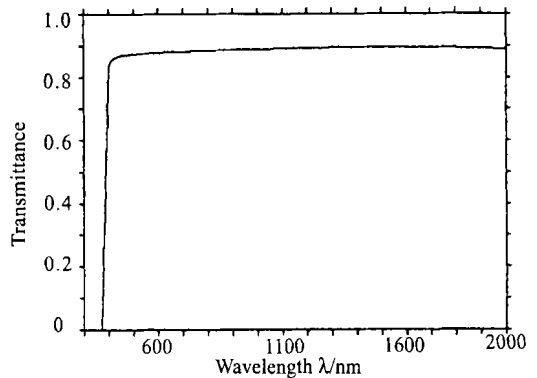


图 2 基础玻璃透过率

Fig. 2 Transmittance of the base glass.

图 4 是对图 3 中折射率梯度的拟合结果。如图例所示: 图中的星号表示实验值; 实线表示对实验结果的拟合曲线; 虚线表示理想的双曲正割曲线, 其中双曲正割分布中的 g 值由拟合结果中的 r 的二次项系数决定。



图 3 GRIN 棒切片(厚度 0.12mm)干涉图

Fig. 3 Interferogram of the GRIN rod slice (0.12mm in thickness).

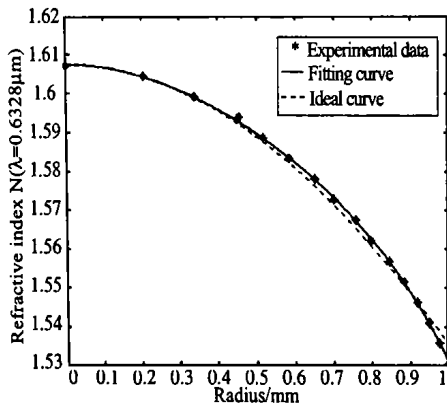


图 4 GRIN 棒中的折射率分布

Fig. 4 Refractive index profile in the GRIN rod.

拟合结果为:

$$N_r = 1.607[1 - \frac{1}{2}(0.3049r)^2 + 1.609(0.3049r)^4 - 18.44(0.3049r)^6], \quad (2)$$

理想分布曲线为:

$$N_r = 1.607 \operatorname{sech}(0.3049r), \quad (3)$$

理想分布曲线按 Tylor 级数展开后为:

$$N_r = 1.607[1 - \frac{1}{2}(0.3049r)^2 + \frac{5}{24}(0.3049r)^4 - \frac{61}{720}(0.3049r)^6 + \dots], \quad (4)$$

比较式(2)和式(4)可以看出,拟合结果与理想分布的 r 的四次项系数和六次项系数之间有一定差距,但从图 4 可以看出,拟合曲线形状非常接近理想分布曲线的形状,这是由于四次项偏差与六次项偏差之间相互补偿的结果。

5 结 论

研制并制备出了用于光通信的自聚焦透镜的基础玻璃,通过 Ti^{+}/K^{+} 离子交换,制备了直径 2mm 的梯度折射率棒,对基础玻璃的透过率进行了测试,并对梯度折射率棒中的折射率分布进行了分析,结果表明:

(1) 基础玻璃在可见和近红外波段的透过率约为 89%,与国外同类产品相当;

(2) 基础玻璃的离子交换深度满足光通信用自聚焦透镜的要求;

(3) GRIN 棒内部折射率分布接近理想分布。

参考文献:

[1] 李育林,傅晓理. 微光学[J]. 光学精密工程,1994,2(1):1-8.
 [2] 杨安,汪翠莲,曹庆林,等. 混合熔盐离子交换的研究[J]. 光子学报,1994,23(4):355-359.
 [3] Atkinson L G, Moore D T, Sullo N J. Imaging capabilities of a long gradient-index rod[J]. *Appl. Opt.*, 1982, 21(6):1004-1008.
 [4] Bally G V, Schmidhaus W, Sakowski H, et al. Gradient-index optical system in holographic endoscopy[J]. *Appl. Opt.*, 1984, 23(11):1725-1729.
 [5] Nishi H, Ichikawa H, Toyama M, et al. Gradient-index objective for the compact disk system[J]. *Appl. Opt.*, 1986, 25(19):3340-3344.

- [6] Nishizawa K. Chromatic aberration of the Selfoc lens as an imaging system[J]. *Appl. Opt.*, 1980, 19(7):1052-1055.
- [7] Krishna K S R, Sharma A. Chromatic aberrations of radial gradient-index lenses[J]. *I. Theory. Appl. Opt.*, 1996, 35(7):1032-1036.
- [8] Krishna K S R, Sharma A. Chromatic aberrations of radial gradient-index lenses[J]. *II. Selfoc lenses. Appl. Opt.*, 1996, 35(7):1037-1040.
- [9] Mitsuhashi Y. Selfoc lenses: applications in DWDM and optical data links[J]. *SPIE* 1999, 3666: 246-251.
- [10] Koizumi K. Gradient-index micro-optic glasses based on ion-exchange techniques[J]. *SPIE*, 1989, 1128: 74-79.
- [11] Fujii K, Ogi S, Akazawa N. Gradient-index rod lens with a high acceptance angle for color use by Na⁺ for Li⁺ exchange[J]. *Appl. Opt.*, 1994, 33(34):8087-8093.
- [12] Stepien R, Kociszewski L, Pysz D. Technological problems in manufacturing glass for GRIN rod lens[J]. *SPIE*, 1996, 2943: 60-68.

Preparation of a self-focusing lens for optical communication

JIN Long-wen, HAO Yin-lei, WANG Yan, QI Bing, ZHAO Wen-xing

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: The base glass for a self-focusing lens was prepared. The test on its optical transmittance was conducted, and analysis of the refractive index profile of a gradient index (GRIN) rod made of the base glass was performed. The results show the current base glass possesses transmittance higher than 89% in visible and near infrared bands, and the refractive index profile in the GRIN rod is in close proximity to the ideal distribution.

Key words: optical communication; gradient index; self-focusing lens; ion-exchanging

作者简介:金龙文(1967-),男,吉林省长春市人,硕士,1997年获中国科学院长春光学精密机械与物理研究所硕士学位,主要从事光学材料方面的研究工作;

郝寅雷(1974-),男,河南省汤阴县人,博士,2001年获中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士学位,主要从事光学材料方面的研究工作。