

文章编号: 0258-7025(2002)05-0447-03

离子交换铒掺杂磷酸盐玻璃波导特性研究

郑 杰, 马少杰, 张家骅

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 中国科学院激发态物理开放实验室, 长春 130021)

提要 给出有关离子交换铒掺杂磷酸盐玻璃波导的制备以及发光特性的基本结果。用 $\text{Ag}^+ - \text{Na}^+$ 离子交换在含有适量氧化钠的铒掺杂磷酸盐玻璃上很容易实现低损耗平面波导, 并且离子交换过程对这种玻璃的光谱特性没有影响。

关键词 铒, 磷酸盐玻璃, 离子交换波导

中图分类号 TN 25 文献标识码 A

Study on the Properties of Ion-Exchange Erbium Doped Phosphate Glass Waveguides

ZHENG Jie, MA Shao-jie, ZHANG Jia-hua

(Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

Abstract Preliminary results on characterisation of optical waveguides fabricated in Er-doped phosphate glasses by ion-exchange are presented. Planar waveguides with low losses are easy to be fabricated in Er-doped phosphate glasses containing a suitable percentage of sodium oxide, and the ion-exchange process did not affect the spectroscopic properties of the glasses.

Key words erbium, phosphate glasses, ion-exchange waveguides

1 引 言

Er^{3+} 掺杂光纤放大器 (EDFA) 研究的巨大进展^[1], 使得商业通信系统中单根光纤的信号传输速率超过 10 Gbit/s。然而, 全光通信系统由于技术和投资造价等原因还处于实验研究阶段。在技术上, 一个急需解决的关键器件就是由无源分束器和光放大器集成一体的无损耗波导分束器^[2]。这种器件的特殊用途就是用于光纤到用户 (fiber to home) 的系统中。而实现这种器件的最佳方案就是利用 Er^{3+} 掺杂波导光放大器, 它具有价格低、集成化和小型化等优点。自从 1991 年 Kitagawa 等^[3]首次在 Er^{3+} 掺杂二氧化硅波导上实现了激光运转后的近十年时间, Er^{3+} 掺杂玻璃波导光放大得到了广泛研究。为了充

分发挥集成光学的优点, 实现紧凑型波导光放大器, 必须在几厘米长度下获得 10 dB 以上的增益, 这就意味着 Er^{3+} 掺杂浓度将比相应光纤掺 Er^{3+} 浓度高 2 个数量级。如果 Er^{3+} 浓度过高, 浓度淬灭、上转换以及激发态吸收作用将会影响 1.55 μm 波段的光放大作用。因此, 选择良好的 Er^{3+} 掺杂玻璃基质很有必要, 从近几年的研究来看, 硅酸盐和磷酸盐玻璃已被广泛用于 Er^{3+} 掺杂波导光放大的基质材料, 而 Er^{3+} 掺杂磷酸盐玻璃在 1.55 μm 波段具有较大的受激发射截面^[4], 因而是实现波导光放大器的最好基质材料。本文将给出有关离子交换铒掺杂磷酸盐玻璃波导的制备以及发光特性的基本结果。

收稿日期: 2001-02-28; 收到修改稿日期: 2001-04-16

基金项目: 国家自然科学基金 (批准号: 69977020) 和中国科学院留学基金资助项目。

作者简介: 郑杰 (1961. 4—), 男, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所副研究员, 长春骏河精机有限公司副总经理, 在职博士生, 主要从事光电子与集成光学器件的研究与开发。E-mail: jiezheng@public.cc.jl.cn

2 离子交换铈掺杂磷酸盐玻璃波导的制备与表征

2.1 铈掺杂磷酸盐玻璃材料特性

离子交换是制备玻璃波导最为简单、廉价的方法^[5]。这种方法通常要求玻璃中要有一定的碱金属含量,如在硅玻璃中要有超过 7 wt.-% 的 Na₂O 含量才被认为完全满足离子交换的要求。表 1 给出了几种铈掺杂玻璃的组份,从表中可看出 3 种铈掺杂磷酸盐玻璃均含有碱金属,Kigre Q89 商业玻璃只含有锂,而 Ag⁺-Li⁺离子交换的质量和重复性都不好,所以这种玻璃不适合采用离子交换制备波导。表中 PG-3 和 PG-5 两种玻璃都含有 Na₂O,比较适合离子交换制备波导。PG-3 样品的 Na₂O 含量很高,离子交换速度很快,几分钟的 Ag⁺-Na⁺离子交换就能得到多模波导,因此我们重点研究 PG-5 样品。在波导制备前首先看一下 Kigre Q89 商业玻璃和 PG-5 玻璃的光谱。图 1 为透射光谱,PG-5 比 Kigre Q89

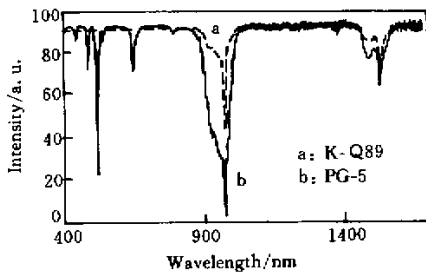


图 1 透射光谱

Fig.1 Transmission curves

商业玻璃在 980nm 附近有更好的吸收。另外我们用氩离子激光(波长为 514.5 nm)为抽运源测得样品的荧光光谱如图 2(a)所示,发射峰在 1540 nm 附近。为了体现光波导放大器的集成性,要求在几厘米的长度上获得 10 dB 以上的增益,因此需要较高的 Er³⁺ 掺杂浓度,但是过高的 Er³⁺ 掺杂浓度会引起浓度淬灭,从表 2 中可以看到 Er³⁺ 的掺杂浓度对能级寿命的影响,在 Er₂O₃ 的重量百分比浓度为 3.6% 时 Er³⁺ 离子在 ⁴I_{13/2} 能级上的寿命大约是 8 ms,已适合器件应用的要求。而 Er₂O₃ 的掺杂重量百分比浓度为 7.1% 时寿命已降到大约 4 ms,可见过高的 Er³⁺ 掺杂浓度确实引起了浓度淬灭作用。

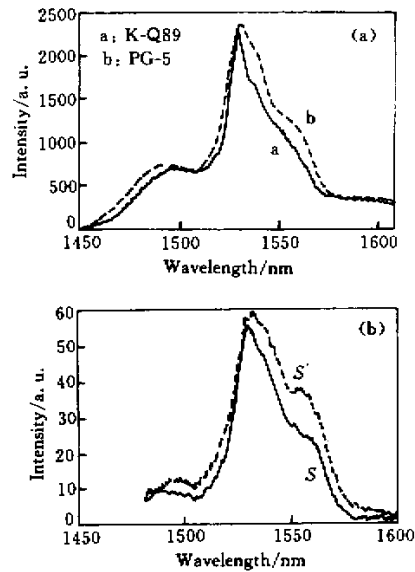


图 2 荧光光谱

Fig.2 Fluorescence curves

表 1 几种 Er³⁺ 掺杂玻璃的主要组份(wt.-%)

Table 1 Main components of some Er-doped glasses (wt.-%)

Glass	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Li ₂ O	Na ₂ O	Er ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃
Kigre Q89	*	*	4		2	4
PG-3	54	19		23	7.1	
PG-5	54	*		7.91	2.71	17

* 代表精确含量不详。

表 2 几种 Er³⁺ 掺杂玻璃的寿命

Table 2 Lifetime of various Er-doped glasses

Glass	Er ₂ O ₃ wt.-%	Lifetime/ms
Kigre Q89	2	9.5±1.0
PG-1	3.6	8.1±0.2
PG-2	3.6	5.5±0.015
PG-3	7.1	4.53±0.02
PG-4	7.1	3.00±0.01

2.2 离子交换铈掺杂磷酸盐玻璃波导特性

首先采用 K⁺-Na⁺离子交换,在 390 C 下将 PG-5 样品放入熔融的 KNO₃ 溶液中交换几个小时,可以得到多模波导(在 632.8 nm 波长下),可能是由于 K⁺ 和 Na⁺ 离子半径差别很大,使玻璃被交换层

产生较大的应力,因而造成样品表面有一定程度的损坏,或熔融的 KNO_3 溶液损坏了样品表面,使得波导的传输损耗较大,一般的传输损耗都远远大于 1 dB/cm 。由此我们改用 $\text{Ag}^+ - \text{Na}^+$ 离子交换,一般都采用 NaNO_3 来稀释 AgNO_3 。在 325 C 温度下用 $\text{AgNO}_3 : \text{NaNO}_3$ 的摩尔浓度在 $5\% \sim 0.1\%$ 之间的熔融的溶液进行交换实验发现:如果 AgNO_3 的浓度过大,离子交换速度太快,不易控制,同时所制备的波导的传输损耗也较大,减小 AgNO_3 的浓度,可增加交换时间,同时也可以降低波导的传输损耗。将 PG-5 样品放入摩尔浓度在 0.5% 熔融的 $\text{AgNO}_3 : \text{NaNO}_3$ 溶液中交换 3 个小时,用棱镜耦合技术测量,在 632.8 nm 波长下有 4 个模式,用反 WKB 方法拟合得到的折射率分布为余误差(erfc)分布,表面折射率改变量为 0.03 (PG 样品在该波长下的折射率为 1.495 左右),波导结构如图 3 所示。平面波导的传输损耗是用与计算机连接的摄像机探测波导传输线的衰减得到的,传输损耗小于 1 dB/cm 。如果在更为稀释的 $\text{AgNO}_3 : \text{NaNO}_3$ 溶液中交换可得到传输损耗更低的平面波导,最低传输损耗小于 0.3 dB/cm 。

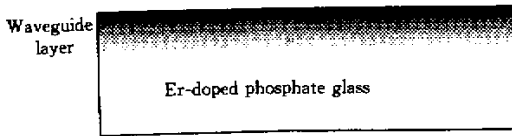


图 3 $\text{Ag}^+ - \text{Na}^+$ 离子交换波导结构剖面图

波导参数: 1) 折射率分布为余误差(erfc)分布。2) 表面折射率改变量为 0.03 。3) 传输损耗小于 1 dB/cm

Fig. 3 Cross-section of the Ag-Na ion-exchange waveguide

Parameters of the waveguide: 1) the refractive index profile is erfc. 2) the surface refractive index change is of 0.03 . 3) the propagation losses are under 1 dB/cm

为了检验离子交换过程是否对钕掺杂磷酸盐玻璃的发光产生影响,我们用棱镜耦合将被斩波过的氩离子激光束(波长为 514.5 nm)抽运钕掺杂磷酸盐玻璃波导,用 InGaAs 光探测器测量 1540 nm 波段的荧光寿命,结果与未进行离子交换前的测量寿命均为 8 ms 左右。另外,我们还检验了样品可能的老化过程,用相同的实验测量了两个波导的荧光光谱,如图 2(b)所示, S 样品为波导制备 4 个月后所测量的结果, S' 样品为该波导制备后立刻测量的结果。两条曲线未呈现太大的差异。综上所述,离子交

换过程对钕掺杂磷酸盐玻璃的发光过程没有大的影响,时间和环境稳定性较好,其平面波导可以适合器件的要求。

众所周知,波导放大器和激光器只有制备在条形波导上才能发挥波导对光束的束缚作用,实现低阈值、高效率抽运。虽然钕掺杂磷酸盐玻璃无论从材料的发光特性和平面波导制备上看都是目前实现激光放大器的最好材料,但是条形波导的制备还是一个未能很好解决的问题。事实上,这种玻璃无法抵抗用光刻手段制备掩膜过程对玻璃表面的破坏,尤其是在用腐蚀液去掉铝膜时,会严重损坏玻璃表面,使所制备的条形波导具有很大的传输损耗。采用抗蚀剂作条载也未能得到好的结果,损耗高达 10 dB/cm 以上。不过选择适当的金属掩膜以及对这种玻璃无损坏的腐蚀液,将会得到条形波导,此工作还在进行中。

3 结 论

本文研究了钕掺杂磷酸盐玻璃材料以及离子交换钕掺杂磷酸盐玻璃波导的特性,表明含有适量 Na_2O 的钕掺杂磷酸盐玻璃用 $\text{Ag}^+ - \text{Na}^+$ 离子交换很容易实现低传输损耗的平面波导,并且离子交换过程对材料的发光过程没有大的不良影响,所以,无论从材料的发光特性和离子交换平面波导的发光特性及稳定性上看该种玻璃都是目前实现激光放大器良好材料。但是,条形波导的制备还有一定的难度。由此可见,制备出高质量的离子交换条形波导是在这种玻璃上实现实用化波导放大器和激光器的关键。

参 考 文 献

- 1 R. Giles, M. Newhouse, J. Wright *et al.*. Special issue on system and network applications of optical amplifiers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(5):701~702
- 2 P. Camy, J. E. Roman, F. W. Willems *et al.*. Ion-exchange planar lossless splitter at $1.5 \mu\text{m}$ [J]. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(4):321~323
- 3 T. Kitagawa, K. Hattori, M. Shimizu *et al.*. Guided-wave laser based on erbium-doped silica planar lightwave circuit [J]. *Electron. Lett.*, 1991, **27**(4):334~335
- 4 Shibin Jiang, Tao Luo, Michael Myers *et al.*. Phosphate glasses for high average power lasers [C]. *SPIE*, 1998, **3280**:2~13
- 5 R. V. Ramaswamy, R. Srivastava. Recent advances in ion-exchanged optical waveguides and components [J]. *J. Mod. Opt.*, 1988, **35**(6):1049~1067