

文章编号: 1001-3806(2006)02-0189-03

电场辅助离子交换制备玻璃光波导

李长红^{1,2}, 戴基智^{1*}, 宋新祥¹, 易 鹏¹

(1. 电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054; 2 广西工学院 信息与计算科学系, 柳州 545006)

摘要: 使用电场辅助离子交换和热离子交换技术在玻璃基片上制作了平板波导。实验结果表明, 这两种方法制作的波导的有效折射率分布不同, 电场辅助离子交换技术制作的波导有效折射率呈近似阶跃型分布, 而热离子交换制作的波导有效折射率分布为渐变型。经数值计算发现, 近似阶跃型折射率分布的波导对光场限制得更好, 更适用于制作有源光器件和集成光器件。

关键词: 光学器件; 热离子交换; 电场辅助离子交换; 光波导

中图分类号: TN252 **文献标识码:** A

Fabrication of optical waveguides in glass with field-assisted ion exchange

LI Chang-hong^{1,2}, DAI Ji-zhi¹, SONG Xin-xiang¹, YI Peng¹

(1. School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 610054, China; 2 Department of Information and Computing Science, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China)

Abstract: Planar optical waveguides in glass have been fabricated with field-assisted ion exchange and thermal ion exchange technology. The results show that the refractive profiles of the waveguides are different with the above two methods. A waveguide with step-index profile has been got using field-assisted ion exchange technology while a variable index profile waveguide has been obtained with the latter method. The numerical results show that the optical waveguide with step-index profile fabricated by electric field-assisted ion exchange technology confines the optical field better. It has more advantages to fabricate active optical devices and integrated optical devices.

Key words: optical devices; thermal ion exchange; field-assisted ion exchange; optical waveguide

引 言

近年来, 由于现代全光通信波分复用和密集波分复用系统的日益复杂化, 集成光器件越来越受到关注。以玻璃为基底的光波导器件由于其体积小、结构紧凑、便于集成等特点被广泛应用, 并且玻璃光波导与石英光纤折射率接近, 适宜与光纤耦合, 选择合适的波导制备工艺, 可以制得低损耗, 能承载高功率密度的玻璃光波导^[1,2]。

在玻璃光波导多种制备工艺中, 离子交换技术工艺简单、成本低廉、易于操作、最稳定可靠, 因而被广泛应用。热扩散与电场辅助离子交换相比较, 热交换重复性好, 但电场辅助离子交换可以减少扩散时间, 减小熔盐对波导表面的腐蚀, 降低损耗; 能通过合适的控制交换条件, 有效地控制折射率剖面的形状, 使形成的波

导对光场进行更好的限制, 并且与光纤更好地匹配^[3~5]。特别是对于有源光波导, 通过改善光场限制能够有效地提高其增益。作者在玻璃基底上, 采用热交换和电场辅助离子交换实验结果比较, 确定电场辅助离子交换可以制作比较理想的光波导。

1 实 验

利用离子交换制作波导, 在扩散形成波导过程中, 交换离子受到浓度梯度的化学势作用和由于玻璃基片中交换离子运动速度的不同, 基片中获得不同的交换离子浓度, 形成渐变的折射率变化的玻璃波导^[6]。波导的性能与外加电场、扩散系数和离子迁移率以及基底材料有关。当外加电场时, 外加电场力会对离子浓度分布曲线产生影响。

实验中采用载玻片作为平板光波导的玻璃基底, 基底单片尺寸为 35mm × 15mm × 1mm, 用混和熔盐作为交换离子源, 扩散交换温度为 300℃ ~ 340℃, 外加辅助电压变化范围在 10V ~ 45V 之间, 交换时间从 5min 到 50min。

热交换过程: 玻璃基片标准清洗并预热后, 浸入熔

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (90201011)

作者简介: 李长红 (1974-), 女, 讲师, 硕士研究生, 主要从事光纤通信、光放大器方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: jzdai@uestc.edu.cn

收稿日期: 2005-01-17; 收到修改稿日期: 2005-02-25

盐,制出多个不同的平板波导。熔盐是硝酸银、硝酸钾、硝酸钠混和的稀释熔盐,各个波导熔盐组分、温度和交换时间各不相同。电场辅助离子交换,将玻璃基片标准清洗后固定在石英槽里,预热后放入熔盐加电进行交换,装置见图1。

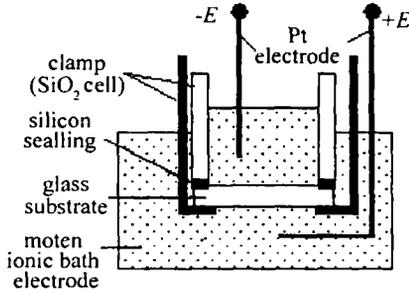


Fig 1 Experiment equipment of field-assisted ion exchange

对制作好的平板波导,其特性使用 m 线法来确定,应用棱镜耦合法进行测量,测量中使用波长为 632.8nm 的 He-Ne 激光,确定波导承载各模式的有效折射率,然后利用反 WKB (Wentzel Kramers Brillouin) 法计算确定波导的折射率剖面。图2中给出热交换平板波导典型有效折射率分布剖面轮廓,图3为电场辅助离子交换制得平板波导典型有效折射率分布剖面轮廓。

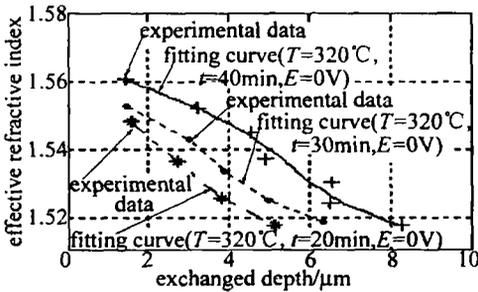


Fig 2 Refractive profile of planar waveguide with thermal ion exchange

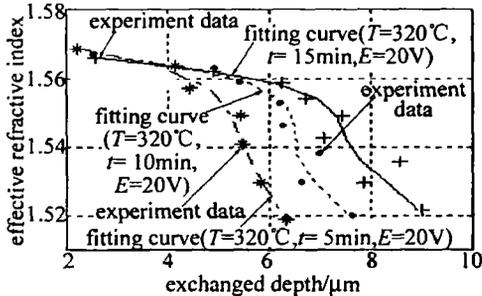


Fig 3 Refractive profile of planar waveguide with thermal ion exchange

从处理结果看,热交换制作波导的有效折射率为渐变分布,而电场辅助离子交换波导的有效折射率在波导表面附近变化缓慢,随深度增加折射率变化变得剧烈,形成接近于阶跃型的折射率分布,这与理论计算所得结果符合得很好^[7]。

实验中发现,电场辅助离子交换时,交换时间越短电场的作用越明显,并且随着交换深度的增加,电场的作用变弱。这说明在交换过程中,玻璃内部产生了内

建电场,其方向与外加电场反向。另外发现热交换具有更好的重复性,电场辅助离子交换工艺稍显复杂,需要采取一些改善措施使波导制作过程更加具有重复性:如交换过程精确的温度控制,稳定通过玻璃基片的电场等。下一步将改进工艺,对有源玻璃上制作条形波导和掩埋波导进行研究。

2 理论分析

热交换和电场辅助离子交换相比,热交换制作的波导折射率分布为渐变形式,而电场辅助离子交换所制得波导折射率分布近似为阶跃型,不同形状的折射率剖面对光场的限制作用不同。波导对光场的限制越好,能量就越集中于波导芯层,光的传输损耗也就越小,对于有源光波导还能提高增益。

为了比较不同形状折射率分布的波导对光场的限制作用,进行了数值计算。使用有限差分束传播法 (FD-BPM)^[8],分别计算渐变折射率分布的光波导和阶跃折射率分布的光波导中,光传输的光场分布。渐变光波导采用 $1/\cosh^2 x$ 型折射率分布,计算中所用数据:传输光波长 $\lambda = 1550\text{nm}$,衬底与覆盖层折射率 $n_0 = 1.51$;阶跃型均匀折射率波导的折射率 $n_1 = 1.512$,传输距离 $L = 1\text{cm}$ 。图4,图5中分别示出不同折射率分布的光波导中光传输的光场分布情况。

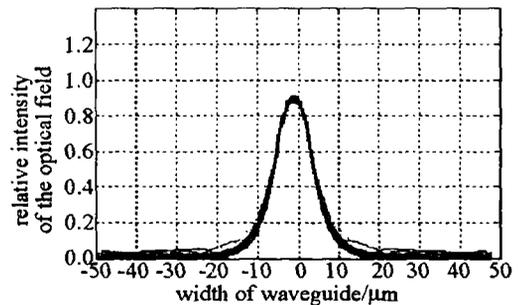


Fig 4 Distribution of optical field in the variable waveguide

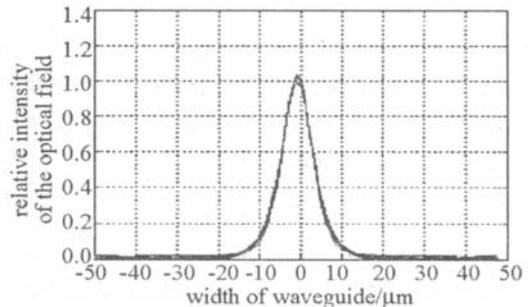


Fig 5 Distribution of optical field in the even waveguide

从图上看,渐变波导中相对光强峰值约为 0.9,而均匀波导中光强峰值达到了 1.0,大于渐变波导光强峰值,并且渐变波导衬底和覆盖层中光强明显较均匀波导大。这说明在渐变波导中传输的光,有更多的能量辐射进入衬底和覆盖层,即具有阶跃型折射率分布

的均匀波导,其中传输的光更多能量被限制在波导内部,相应的传输损耗就比较小。另外,对于有源光波导,提高波导对光场的限制作用,就可以提高其增益:更多的光能量集中在波导中时,对于抽运光就有更多的能量被吸收,增加了离子反转数,也就提高了抽运效率;对于信号光,波导中有源粒子对信号光的吸收增加,使得更多的有源粒子参与激光放大,这样就可以有效地提高有源光波导的增益。

实验结果表明,电场辅助离子交换制作的波导比热交换制得波导具有更好的光学特性,因为具有较好的模场限制,更适合做集成光器件和有源光器件。

3 结论

在玻璃上用热交换和电场辅助离子交换技术制备了平板光波导,通过比较发现,热交换制作的波导,有效折射率分布为渐变型,而电场辅助离子交换制作的波导有效折射率分布为阶跃型,并且电场辅助离子交换,可以更方便地通过调整交换条件控制波导折射率剖面,能够通过实验条件的控制制作与光纤匹配的掩埋波导。经过数值计算得出,电场辅助离子交换方法制作的光波导具有更好的光学特性,这种方法用于制作有源玻璃光波导能够提高增益。实验研究为在有源或无源玻璃上制作平板波导,条形波导或掩埋波导具

有一定的指导意义,并且为进一步制作基于玻璃光波导的光通信或光传感器件提供依据。

参考文献

- [1] JOSE G, SORBELLO G, TACCHEO S *et al* Ag⁺-Na⁺ ion exchange from dilute melt: guidelines for planar waveguide fabrication on a commercial phosphate glass [J]. *Optical Materials*, 2003, 23 (3~4): 559~567.
- [2] FRANCO IS V, OHTSUKI T, PEYGHAMBAR IAN N *et al* Thermally silver ion exchange integrated-optic lasers in neodymium-doped silicate glass [J]. *Opt Commun*, 1995, 119: 104~408.
- [3] WEST B R, MADASAMY P, PEYGHAMBAR IAN N *et al* Modeling of ion-exchanged glass waveguide structures [J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2004, 347 (1~3): 18~26.
- [4] SORBELLO G, TACCHEO S, MARANO M *et al* Comparative study of Ag/Na thermal and field-assisted ion exchange on Er-doped phosphate glass [J]. *Optical Materials*, 2001, 17 (3): 425~435.
- [5] M L DU A, ZHENGUANG H, CHEN H C *et al* Fiber-compatible K⁺-Na⁺ ion-exchanged channel waveguides: fabrication and characterization [J]. *IEEE J Q E*, 1989, 25 (8): 1889~1898.
- [6] RAMASWAMY R V, SR MASTAVA R. Ion-exchanged glass waveguides: a review [J]. *IEEE Journal of Lightwave Technology*, 1988, 6 (6): 984~1002.
- [7] LI CH H, DA IJ Zh, YI P. The influence of the field assisted ion-exchange on the active waveguides' gain [J]. *Optoelectronic Technology*, 2005, 25 (1): 24~27 (in Chinese).
- [8] LIU Zh, YANG Y P, DA IJ Zh *et al* A new kind of advanced FD-BPM [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2003, 14 (6): 639~642 (in Chinese).

(上接第188页)

方法能较好地由设定的输出三倍频光场分布求得入射基频光场分布,且迭代计算的收敛速度较快、计算精度较高,从而为三倍频系统的优化设计提供了一种新的途径。此外,该算法在一定范围内也适用于光场存在空间位相扰动的情况。

参考文献

- [1] WEGNER P J, HENESIAN M A, SPECK D R *et al* Harmonic conversion of large-aperture 1.05 μm laser beams for inertial-confinement fusion research [J]. *Appl Opt*, 1992, 31 (30): 6414~6426.
- [2] M LONN I P W, AUERBACH J M, D EMERL D. Frequency conversion modeling with spatially and temporally varying beams [J]. *Proc SPIE*, 1997, 2622: 230~241.
- [3] CRAXTON R S, STEPHEN D, JOSEPH E *et al* Basic properties of

KDP related to the frequency conversion of 1 μm laser radiation [J]. *IEEE J Q E*, 1981, QE17 (9): 1782~1785.

- [4] EMERL D, AUERBACH J M, M LONN I P W. Paraxial wave theory of second and third harmonic generation in uniaxial crystals: I Narrow-band pump fields [J]. *Journal of Modern Optics*, 1995, 42 (5): 1037~1067.
- [5] ZHANG B, LÜ B D. Solution of the inverse of high-power multi-pass amplifier with improved successive iteration method [J]. *Laser Technology*, 2002, 26 (1): 12~14 (in Chinese).
- [6] CHU X L, ZHANG B, WEI X F *et al* The inverse problem of chip pulse propagating through Ti sapphire amplifier [J]. *Optik*, 2004, 115 (5): 201~204.
- [7] AGRAWAL G P. *Nonlinear fiber optics, third edition & applications of nonlinear fiber optics* [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2002. 33~35 (in Chinese).