

2009

Digital Camera Photographing in Measuring Propagation Loss Properties of Ion2exchange Planar Optical Waveguides

Ling-Hua Jia
Jilin University

Feng Qiu
Jilin University

Jian Ying
Jilin University

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://arrow.tudublin.ie/engscheceart>



Part of the [Electromagnetics and Photonics Commons](#)

Recommended Citation

Jia, L., Qiu, F., Jian, Y., Yun-Jiang, T., Zheng, J., Wang, P., Farrell, G.: Digital Camera Photographing in Measuring Propagation Loss Properties of Ion2exchange Planar Optical Waveguides. *Acta Photonica Sinica*, Vo. 38, 5, 2009, pp. 1058-1061. doi:10.21427/D7404Z

This Article is brought to you for free and open access by the School of Electrical and Electronic Engineering (Former DIT) at ARROW@TU Dublin. It has been accepted for inclusion in Articles by an authorized administrator of ARROW@TU Dublin. For more information, please contact arrow.admin@tudublin.ie, aisling.coyne@tudublin.ie, vera.kilshaw@tudublin.ie.

Authors

Ling-Hua Jia, Feng Qiu, Jian Ying, Ti Yun-Jiang, Jie Ziheng, Pengfei Wang, and Gerald Farrell

数码照相机测量离子交换平面光波导损耗特性*

贾凌华¹, 邱枫¹, 钱颖¹, 提运强¹, 郑杰^{1,†}, 王鹏飞², FARRELL G²

(1 集成光电子学国家重点联合实验室(吉林大学实验区), 吉林大学电子科学与工程学院, 长春 130012)

(2 都柏林理工学院 应用光电子中心, 都柏林)

摘 要:利用数码相机对离子交换平面玻璃光波导传输线进行数字成像, 根据传输线上的光强分布拟合出光强传输衰减曲线, 计算出波导的传输损耗. 对光波导进行退火处理, 研究了波导退火前后的传输损耗特性. 退火后 0 阶模式下传输损耗由 $2.1489 \text{ dB} \cdot \text{cm}^{-1}$ 降为 $0.7460 \text{ dB} \cdot \text{cm}^{-1}$. 结果表明, 波导的传输损耗是随着模阶数的增加而递增, 适当的退火处理明显改善了离子交换波导的质量.

关键词:集成光学; 离子交换光波导; 数码照相; 传输损耗; 退火

中图分类号: TN252

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)05-1058-4

0 引言

离子交换玻璃光波导由于其传输损耗小、制作成本低廉和易于集成等优点, 在光通信以及光学传感领域具有极好的应用前景^[1-4]. 离子交换玻璃光波导的制备过程虽然简单, 但是对制备好的光波导的参量测量和质量评估却相对比较复杂, 而平面光波导参量(如折射率分布, 传输损耗等)的确定和了解是筛选玻璃衬底和进一步设计与优化器件的基础. 平面光波导折射率分布的确定一般都采用棱镜耦合技术结合反 WKB 方法^[5-6] 获得, 而传输损耗的测量方法虽多^[7-14] 但比较复杂. 因此研究一种简单方便的传输损耗测量方法就显得非常重要.

传统的测量光波导传输损耗的方法有截断法(Cut-off Method)^[7], 末端耦合法(End Coupling Method)^[8], 滑动棱镜法(Sliding-prism Method)^[9], 三棱镜耦合法(Three-prism Method)^[10] 和法布里-珀罗干涉法(Fabry-perot Technique)^[11-12]. 截断法要把待测波导截成几块, 属于有损测量; 末端耦合法对低损耗的波导测量结果不是很准确; 滑动棱镜法是把棱镜装在一个导上滑动, 这样测出每点的光强信息求出损耗, 需要很复杂的实验技巧; 三棱镜耦合法需要波导比较长; 法布里-珀罗干涉法对平面光波导不适用. 本文采用散射光法^[13-14], 通过数码相机对光波导中的传输线进行取像, 然后将照片输入计算机中通过数字图像处理技术对光波导的传输线的光强进行分析并拟合其线形, 可计算得到波导的传输损耗. 这种方法具有无损、准确度高、快速测量等优点, 利用此测量方法研

究并表征了离子交换玻璃平面光波导的损耗特性.

1 离子交换光波导的制备

首先对英国产的 GoldenStar 载波片玻璃进行清洗. 由于基片的清洁程度在很大程度上影响到波导的传输特性, 所以在离子交换前对波导进行严格清洗. 过程主要包括超声波清洗、去离子水清洗、酒精清洗、丙酮清洗和烘烤.

然后将清洗过的玻璃投入到 350°C 的 AgNO_3 和 NaNO_3 混合熔液(摩尔比例为 1:100)中进行离子交换, 扩散时间为 8 min. 实验装置如图 1. 再用棱镜耦合技术(如图 2)在 632.8 nm 波长下测得波导

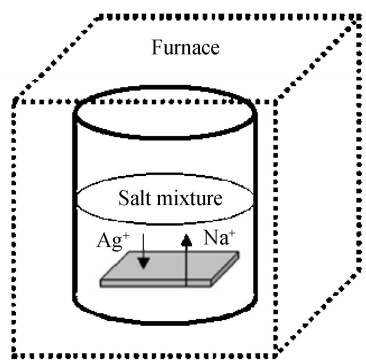


图 1 离子交换过程
Fig. 1 Process of ion-exchange

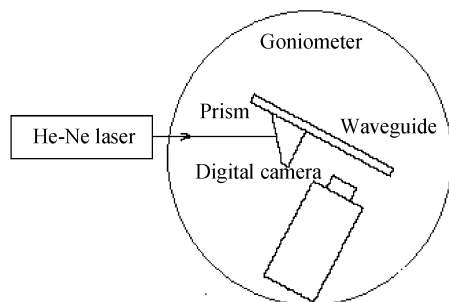


图 2 测量设备
Fig. 2 Measurement setup

* 国家自然科学基金(60577008 和 60777038)和吉林省科技厅国际合作项目(20070708-3)资助

† Tel: 0431-85168241-8121 Email: zhengjie@jlu.edu.cn

收稿日期: 2008-01-04

具有 4 个模式,棱镜耦合测角转盘准确度为 $6''$. 对波导进行退火处理,退火温度与离子交换温度相同为 350°C 时间是 30 min,退火后波导模式数有所增加,变为 5 个.

2 测量原理

实验采用普通的佳能 A560 数码相机(710 万像素:710 万),每张图像的分辨率为 $3\,072 \times 2\,304 \times 8\text{b}$,拍摄得到真彩色图像(如图 3). 将其输入电脑通过 Matlab 的图像处理工具箱转换为相同分辨率的灰度图像,照片的灰度共有 256 个等级. 实验中所用光源为波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光器. 理想的平面波导是不存在外部散射光的,而真实波导由于界面不平整以及波导内部杂质散射,使导模转变为辐射模. 可以认为,某一位置散射出来的光强主要受到该点的传输光强、界面不平整程度、杂质数量的影响. 由于整块波导是在特定条件下一致性制备,后两因素的影响可以认为在整块波导中平均分布,即使由于杂质大小有涨落而出现某点散射光特别强,也可以在后期的图像处理中采用数字中值滤波技术^[13]加以消除.

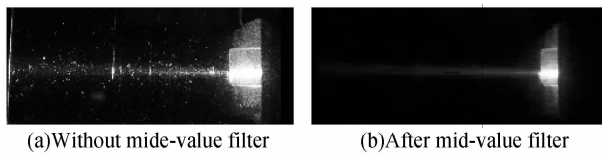


图 3 中值滤波前后离子交换平面光波导传输线照片的对比
Fig. 3 Compared pictures of propagation line before and after mid-value filter

因此,散射光强将只和该处的实际传输光强线形相关. 可以采用数码相机对传输线上各点的散射光强进行记录,转换成内部传输光强. 有损耗的导模功率随传播距离的衰减可表示为

$$P_z = P_0 \exp(-\alpha z) \quad (1)$$

$$L = 4.3\alpha \quad (2)$$

式中, α 和 L 均为损耗系数,其单位分别是 cm^{-1} 和 $\text{dB} \cdot \text{cm}^{-1}$. 在实际测量中,用最小二乘法对数码相机拍摄的光波导传输线用式(1)进行拟合得到 α , 然后通过式(2)计算得到传输损耗系数 L .

本实验需注意:1)入射光束强度要适中. 光束太弱,传输线亮度太低,有可能低于数码相机的阈值光强或被背景噪音淹没;光束过强,有可能使数码相机的响应饱和,影响拟合准确度. 2)数码相机镜头不宜距离波导太近,否则镜头通过波导的玻璃衬底所成像也会被拍摄下来,从而带来不必要的噪音,还应减少反射光干扰. 3)在靠近棱镜与波导的耦合点附近,由于散射光特别强,传输线显得又粗又亮,显然不能

真实反映波导内部光场强度,因此在实验中不应把这段取值. 4)实验应尽量在较暗的地方进行. 实验时一般选择在晚上,这样可以有效减少背景光的干扰.

3 实验及分析

对离子交换玻璃平面光波导(退火前后)用棱镜耦合技术测量波导的各阶模式的有效折射率(见表 1 和 2). 用反 WKB 法拟合退火前后波导的折射率分布,如图 4. 用数码相机拍摄各阶模式的传输线,并分别进行了损耗测试,用 Matlab 对退火前和退火后光波导各阶模式的传输线进行数字图象处理,得到传输线的测量数据和拟合曲线(如图 5).

根据传输损耗数据(见表 1 和 2),可以看到:随着波导模阶数的增高,传输损耗也随之增高. 该结果与波导的基本特性相符合,模阶数越高,模深度也越大. 因此波导的高阶模式与低阶模式相比,在传输过程中光线的传输路径长,并且光波与波导-空气的界面相互作用的次数多,所以传输损耗也必然大一些.

从测量数据可以看出,对离子交换波导进行退火处理确实可以很好的降低波导的传输损耗. 退火后的传输损耗至少比退火前减少 $1/2$,而对 0 阶模式来说,传输损耗已降到接近退火前的 $1/3$ (见表 1

表 1 离子交换后的各介模的损耗及有效折射率

模式(阶数)	有效折射率	损耗/ $(\text{dB} \cdot \text{cm}^{-1})$
0	1.567 3	2.148 9
1	1.553 5	2.302 3
2	1.536 4	2.494 2
3	1.522 4	2.603 9

表 2 退火后各阶模的损耗及有效折射率

模式(阶数)	有效折射率	损耗/ $(\text{dB} \cdot \text{cm}^{-1})$
0	1.548 8	0.746 0
1	1.545 0	0.987 1
2	1.534 4	1.089 6
3	1.521 3	1.213 7
4	1.511 7	1.215 4

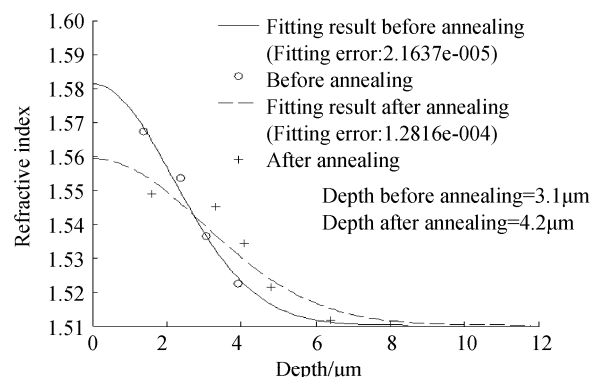


图 4 用反 WKB 法对退火前后波导拟合的折射率分布
Fig. 4 Using inverse WKB method to fit the profile of refractive index

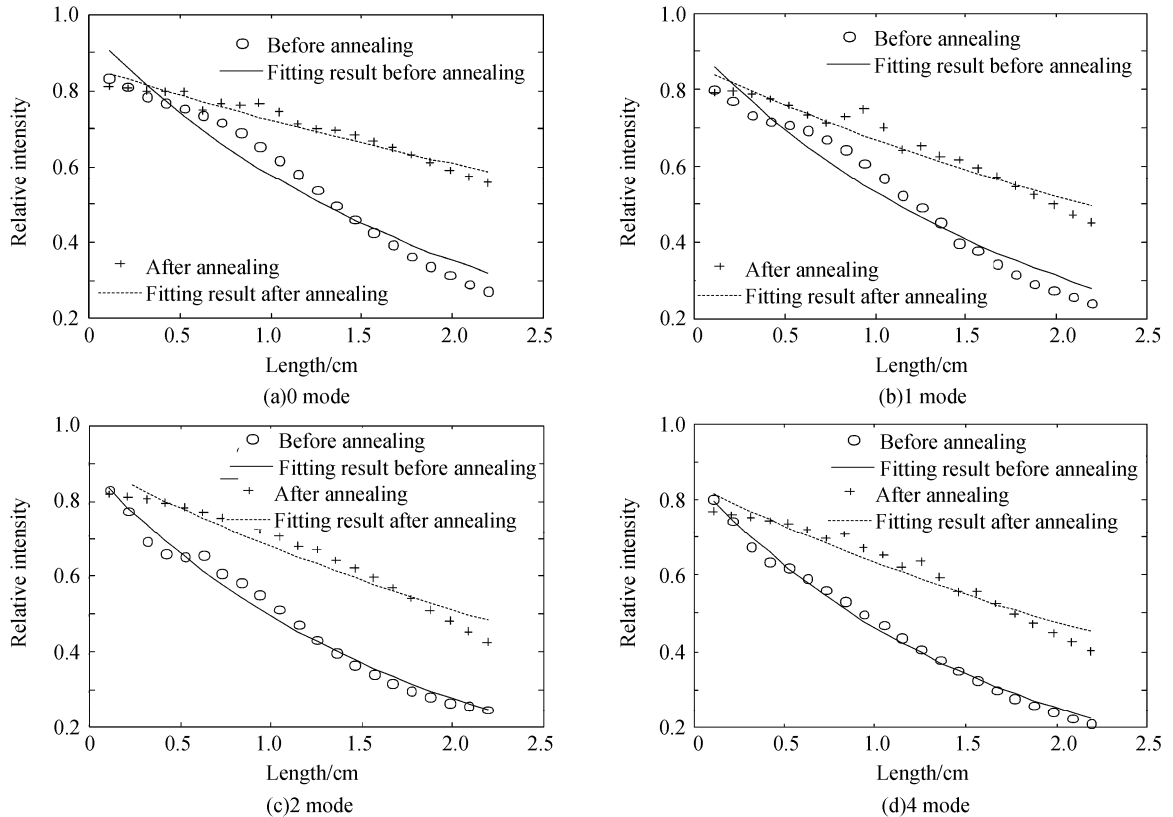


图5 退火前后0,1,2,3阶模式下损耗拟合曲线比较

Fig. 5 Fitting curves of 0,1,2,3 modes compared before and after annealing

和2). 退火使波导的折射率分布发生变化(模式数也增加1个),降低了折射率变化梯度,波导表面折射率明显降低(如图4),从而使光波与波导-空气的界面相互作用而产生的散射损耗得到降低. 另外,退火也可以减少离子交换过程产生的缺陷,从而降低了传输损耗.

4 结论

通过用数码相机照相并结合棱镜耦合技术,对离子交换平面玻璃光波导的传输线进行取样,并通过程控数字图像处理拟合得到波导退火前后不同模式下的传输损耗. 对退火前后 Ag-Na 离子交换波导的传输损耗进行了测试,结果表明,波导的散射损耗是随着模阶数的增加而递增. 而适当的退火处理对离子交换波导的质量有明显的改善,在0阶模式下传输损耗由 $2.1489 \text{ dB} \cdot \text{cm}^{-1}$ 降为 $0.7460 \text{ dB} \cdot \text{cm}^{-1}$,即退火后波导的传输损耗最多可降为退火前的1/3.

本方法的优点是图像拍摄方便、简单、不破坏波导结构,并且设备普通和廉价. 但普通数码相机只能记录可见波段波导的传输图像,无法获得红外波段的实验结果. 尽管如此,这种方法对随时测量波导的损耗,评估波导质量和筛选波导衬底,改进波导制备工艺都是很方便快捷的手段. 需要指出的是对于在非可见光波长下的损耗测量,本文的方法在更换一

个可以检测非可见光的摄像机后依然适用.

参考文献

- [1] RAMASWAMY R V, SRIVASTAVA R. Ion-exchanged glass waveguides: A review [J]. *J Lightwave Technol*, 1998, **6**(6): 984-1002.
- [2] OPILSKI A. Technology of ion exchange in glass and its application in waveguide planar sensors [J]. *Opt Eng*, 1997, **36**(6): 1625-1638.
- [3] LANG Xian-li, LIU De-sen, LU Tao, *et al.* Improvement of index distributions for GRIN lens by two-step ion-exchanging method [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(8): 1141-1144. 郎贤礼, 刘德森, 吕涛, 等. 二次离子交换法改进自聚焦透镜折射率分布 [J]. *光子学报*, 2005, **34**(8): 1141-1144.
- [4] HUANG Teng-chao, SHEN Yi-bing, HOU Xi-yun, *et al.* Method of $\text{K}^+ \text{Na}^+$ binary ion-exchange making glass waveguide [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(11): 1325-1328. 黄腾超, 沈亦兵, 侯西云, 等. $\text{K}^+ \text{Na}^+$ 二次离子交换制作玻璃波导 [J]. *光子学报*, 2003, **32**(11): 1325-1328.
- [5] WRITE J M, HEIDRICH P F. Optical waveguide refractive index profiles from measurement of mode indices: simple analysis [J]. *Appl Opt*, 1976, **15**(1): 151-155.
- [6] WEI Jue, XU Xiao-feng, GENG He-ping, *et al.* Measurement of Refractive index profiles for planar waveguides [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(4): 534-536. 韦珏, 徐晓峰, 耿和平, 等. 平面光波导折射率分布的测定 [J]. *光子学报*, 2005, **34**(4): 534-536.
- [7] HUNSPERGER R G. Integrated optics: theory and technology [M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991: 16-20.

- [8] WEBER H P, DUNN F A, LEIBOLT W N. Loss measurements in thin-film optical waveguides[J]. *Appl Opt*, 1973, **12**(4):755-757.
- [9] BOUDRIOUA A, LOULERGUE J C. New approach for loss measurements in optical planar waveguides[J]. *Opt Commun*, 1997, **137**(1):37-40.
- [10] WON Y H, JAUSSAUD P C, CHARTIER G H. Three-prism loss measurements of optical waveguides [J]. *Appl Phys Lett*, 1980, **37**(3):269-271.
- [11] REGENER R, SOHLER W. Loss in low-finesse LiNbO₃ optical waveguide resonators[J]. *Appl Phys B: Photophys Laser Chem*, 1985, **36**(3):143-147.
- [12] YU L S, LIU Q Z, PAPPERT S A, *et al.* Laser spectral line width dependence on waveguide loss measurements using the Fabry-Perot method [J]. *Appl Phys Lett*, 1994, **64**(5):536-538.
- [13] JIANG Yi, CAO Zhuang-qi, QIU Lin-lin, *et al.* Digital measurements and fabrication of low loss optical organic polymer waveguides[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(8):1142-1145.
- 蒋毅, 曹庄琪, 仇琳琳, 等. 低损耗有机聚合物光波导的制备及其数字化测量技术[J]. *光学学报*, 1999, **19**(8):1142-1145.
- [14] OKAMURA Y, MIKI A, YAMAMOTO S. Observation of wave propagation in integrated optical circuits[J]. *Appl Opt*, 1986, **25**(19):3405-3408.

Digital Camera Photographing in Measuring Propagation Loss Properties of Ion-exchange Planar Optical Waveguides

JIA Ling-hua¹, QIU Feng¹, QIAN Ying¹, TI Yun-qiang¹, ZHENG Jie¹, WANG Peng-fei², FARRELL G²

(1 State Key Laboratory of Integrated Optoelectronics, College of Electronic Science and Engineering,

Jilin University, Changchun 130012, China)

(2 Applied Optoelectronics Centre, Dublin Institute of Technology, Dublin, Ireland)

Received date: 2008-01-04

Abstract: The digital photographs of propagation lines of ion-exchange planar glass optical waveguides were taken by a common digital camera. According to the profile of light intensity of propagation lines, the attenuation curves were fitted and the propagation losses of the waveguides were calculated. The waveguides were treated by annealing process, and propagation losses properties were studied before and after annealing, respectively. The results show that the loss of waveguide increases with the mode. The loss in 0 mode decreases from 2.148 9 dB · cm⁻¹ to 0.746 0 dB · cm⁻¹.

Key words: Integrated optics; Ion-exchange optical waveguides; Digital photographing; Propagation Losses; Annealing



JIA Ling-hua was born in 1982. He got his B. S. degree from College of Electronic Science & Engineering, Jilin University, in 2005. Now, he is working for his M. S. degree in science at Jilin University, and his major research focuses on physical electron related to integrated optics, especially in ion-exchange waveguide devices.