

多模掩埋式平面玻璃波导的制作及测试

阮丽真 徐敬舆 吴惠珍 陈益新

(上海交通大学应用物理系)

提要: 利用加电场的离子交换和热处理等方法制作膜厚深的多模玻璃波导, 并采用二步法制作了多模掩埋式平面玻璃波导, 测试了 m 线谱, 用 White 法计算了波导的折射率分布。

Fabrication and measurement of multimode immersed planar optical waveguide in glass plates

Ruan Lizhen, Xu Jingyu, Wu Huizhen, Chen Yixin

(Department of Applied Physics, Shanghai Jiaotong University)

Abstract: Multimode waveguides in the soda-lime substrate glass are fabricated by applying an electric field assisted ion migration process and a post-diffusion baking at the diffusion temperature. Fabricating the multimode immersed planar optical waveguide in glass by two-stage ion migration process is successful. The m -line spectrum of waveguides are measured and the refractive-index profiles in the waveguides are calculated by the White method.

一、引言

在光纤通讯中实际应用的大多数是多模光纤, 而在集成光学中研究得较多的则是单模波导, 这就限制了在光纤系统中集成光学的广泛应用。为此, 必须发展多模集成元件。为了提高光纤和波导的耦合效率, 必须使制作的平面或条形波导的厚度接近多模光纤芯子的直径。还要求具有与光纤芯子类似的折射率分布, 即具有中心对称形的折射率分布。这就必须使波导做在基片表面以下, 成为所谓掩埋式波导。T. Findekly^[1] 等人在分析

对称的掩埋式单模条波导时认为, 在表面不规则程度约为光波长的十倍以下时, 掩埋式波导的辐射功率损耗要比非掩埋式的小一个数量级。所以研究制作膜厚深的掩埋式波导就很有必要。

在玻璃基片上制作波导的传统方法是离子交换法, 但此法效率低, 在 250°C 熔体中需要 50 小时才得到 30 μm 深的波导层^[2]。

在高温 (500~600°C) 可以用 Li_2SO_4 作熔体, 此法效率高, 30 μm 的波导层只需 1 分钟。但它需要软化点高的高温玻璃材料, 且制作工艺较复杂。掩埋式波导的制作是采

收稿日期: 1985年3月15日。

用二步法进行。T. Izawa 和 H. Nakagoma^[3] 曾用硼硅玻璃先在铊硝酸盐熔体中使 Tl^+ 与玻璃中 K^+ 、 Na^+ 互换, 在表面形成高折射率层, 然后再换用 $NaNO_3$ 、 KNO_3 作熔体, 在电场作用下, 获得一个掩埋于表面以下的 $50 \mu m$ 的波导层。

我们考虑到制作的简便性和可行性, 使用显微镜载波片, 利用电场增强下的离子交换法制得具有一定厚度的波导, 再利用换熔体及在电场作用下的二次扩散过程来完成, 制得厚度约为 $35 \mu m$ 的多模掩埋式波导。

波导的测试是用棱镜耦合法测出其 m 线谱, 再用 White 法^[4] 计算出波导的折射率分布。

二、实验装置

实验装置如图 1 所示。放有波导的坩埚置于加热恒温炉内, 炉子的加热和控温使用 DWT-702 温度自动控制仪, 用镍铬-镍硅热电偶控制炉温。控温精度 $\pm 1^\circ C$ 。

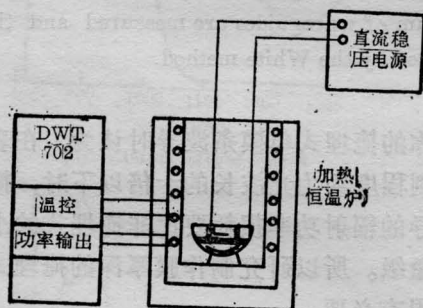


图 1 实验装置图

为了施加电场, 使用玻璃槽块(图 2a), 在 $380^\circ C$ 高温下用有机薄膜使之与玻片粘结起来(图 2b), 并使粘结处不渗漏熔盐。然后用一石英托架水平地放入石英坩埚中, 在槽块上面凹槽内加入熔盐, 并把上电极置于槽内, 下电极放置在坩埚底部用导线引出。

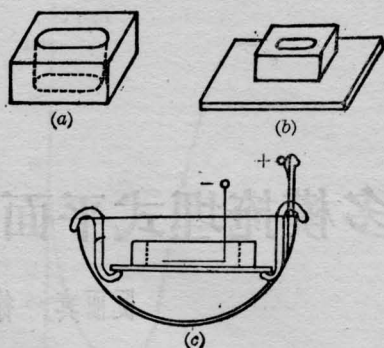


图 2 槽块和坩埚

三、波导的制作

1) 电场增强作用下的 Ag^+-Na^+ 离子交换

取大小为 $25 \times 12 \times 1 mm^3$ 的玻片, 采用常规清洗方法清洗干净、烘干。用有机薄膜将玻璃槽块与玻片如图 2(b) 粘好, 并在槽内放入 $AgNO_3$ 粉末。将石英坩埚同样清洗、烘干, 装入适量的 $AgNO_3$ 试剂。把玻片槽块和坩埚一起放入恒温炉中, 待 $AgNO_3$ 熔化及炉温稳定后, 使两者接触, 坩埚中的 $AgNO_3$ 熔体至少要淹没玻片下表面。然后加上直流电场, 上电极加负极, 下电极加正极, 交换结束后玻片取出, 自然冷却后用清水洗净, 在玻片下表面便形成波导。所制作的波导的实验条件见表 1。

表 1

片号	熔体温度 ($^\circ C$)	电压 (V/mm)	交换时间 (分)	模数	Δn	模深 (μm)
1#	280	0	90	13	0.1	10.38
2#	300	10	60	48	0.102	32.4
5#	300	10 7	30 20	43	0.1	30
0#	280	10	30	33	0.09	27.8

2) 波导热处理

为了得到模深更深、 Δn 较小的波导, 我们将以上所制得的波导片烘干后, 置于空坩埚内, 放入恒温炉。在一定温度下进行热处

表 2

片号	处理温度 (°C)	处理时间 (分)	Δn	模数	模深 (μm)
1#	340	120	0.050	17	18.7
2#	350	120	0.096	57	39.06
5#	270	150	0.094	46	34.0

理,使高折射率层自表面层进一步向里扩散。实验条件见表2。

3) 换熔体,二次交换制作掩埋式波导

将上述制得的具有单调渐变折射率的0#波导,放在 NaNO_3 熔体中,加上与上述相同方向的电场,进行第二次离子交换,使表面高折射率层部分的 Ag^+ 离子向外与熔体中的 Na^+ 离子交换,而同时波导层的 Ag^+ 离子在电场作用下进一步向玻璃内扩散,形成掩埋式波导。实验中所加电场为 10 V/mm ,在 300°C 的熔体温度下交换 40 分钟。

四、测试和分析

我们测试了所制波导的 m 线谱,实验装置示意图见图3。其中采用重火石玻璃棱镜

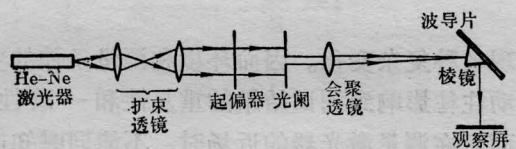


图3 测试装置光路图

实现对波导的光束耦合,测出各模线的同步角 θ_i ,并由公式:

$$n_{\text{eff}} = \sin \theta_i \cos \delta + \sin \delta \sqrt{n_p^2 - \sin^2 \theta_i}$$

算出相应的有效折射率。式中 δ 是棱镜底角, n_p 是棱镜折射率。由算得的一套有效折射率值,利用 White^[4] 法用微机处理即可得到波导中的折射率分布曲线。

我们分别算出了无电场下的离子交换波导 1# 和电场增强离子交换波导 2#、5# 在热处理前后的折射率分布曲线(图4、图5、图6),以及 0# 波导一次离子交换和二次离子交

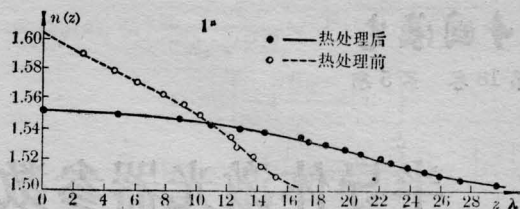


图4 1#波导的折射率分布曲线

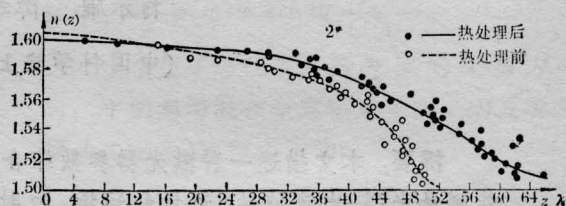


图5 2#波导的折射率分布曲线

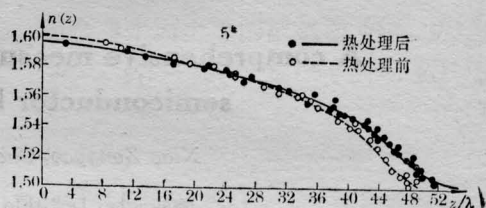


图6 5#波导的折射率分布曲线

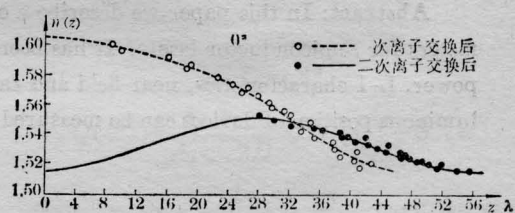


图7 0#波导的折射率分布曲线

换后的折射率分布曲线(图7)。各波导的模数、模深列于表1和表2中。

由此我们得到如下结论:

1. 比较 1# 和 2#、5# 波导可见,电场增强法可以在较短时间内制作模深较深的波导。且有电场无电场作用下波导层的折射率分布曲线,与由离子在受迫恒定源下的扩散方程所解出的余误差函数的曲线是一致的^[3]

2. 由离子交换法制作的波导在一定温度下热处理,可以使波导的模数增多,模深加深,波导层和基片的折射率差 Δn 减小。这是因为此时扩散进玻璃的 Ag^+ 离子由于热

(下转第 272 页)

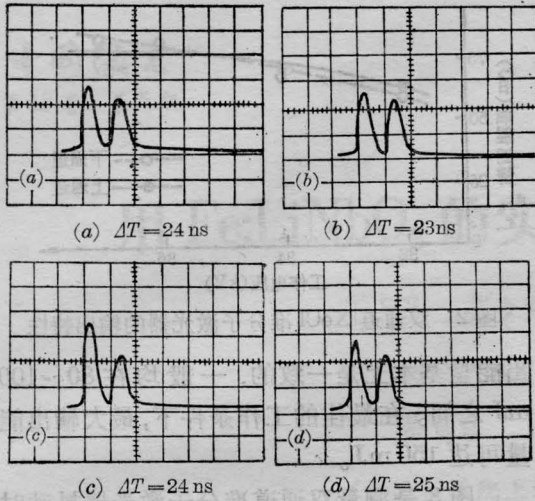


图4 在工作气压为一个大气压时上、下通道的激光波形

工作条件:工作电压—32 kV;
气压比—Ar:Xe:XeCl=1470:40:10;
示波器扫描速度—20 ns/格

图5是在 Ar:Xe:HCl=1470:40:10 和 2 个工作大气压下得的三张示波图,其中(c)中有二组波形,信号幅值大的为一组,信号幅值小的为另一组。从这三幅图中测得 ΔT 分别为 27 ns、22 ns、19 ns 和 29 ns,最大的飘动时间为 10 ns,抖动时间为 ± 5 ns。

从上面的实验结果可知,在工作气压低时抖动时间小,工作气压高时,抖动时间大。在这台双通道激光器中,以 Ar 气为缓冲气体,最佳的工作气压是在 1.3 个大气压,所以当工作气压在二个大气压时,高出了最佳气压许多。图 5(c)中的一组波形幅值较大,一组

(上接第 283 页)

运动和浓度差,会继续进行同方向的内扩散。这对制作与光纤匹配的多模波导是有利的。

3. 用二步交换法制作掩埋式波导的机理是:第一步用 AgNO_3 作熔体,使 Ag^+ 和玻璃中 Na^+ 交换形成单调渐变的高折射率波导层。第二步用 NaNO_3 作熔体,这时一方面表面处在第一步中扩散进玻璃的 Ag^+ 会和熔体中的 Na^+ 交换,使玻璃表层折射率降低。另一方面,波导中 Ag^+ 还会由于和基片中 Ag^+ 离子的浓度差而进一步向内扩散,使折射率

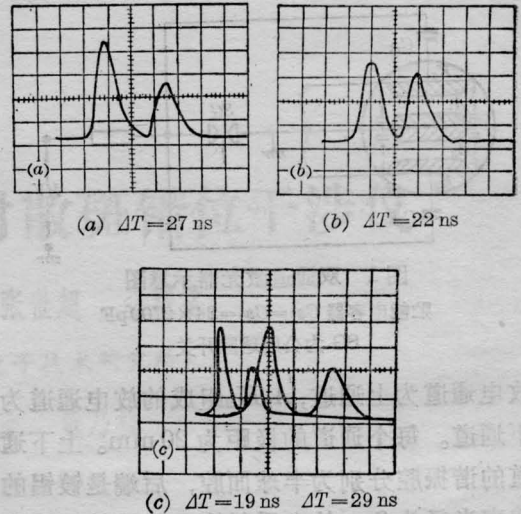


图5 在工作气压为二个大气压时上、下通道的激光波形

(其他条件同图4)

波形幅值较小;一组波形的 ΔT 为 19 ns,一组波形的 ΔT 为 29 ns。信号幅值小和 ΔT 大的这组波形是由放电不均或弧光放电引起的。

华中工学院汪立宏、郭振华同志和南京工学院宗明成同志参加过部分工作;在波形测量方面得到王建祖同志的帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 马树森等;《中国激光》,1984, 11, No. 7, 389.
- [2] Mitsuo Maeda et al.; *Japan. J. Appl. Phys.*, 1984, 21, No. 12, 1984.
- [3] Terrence J. Mckee et al.; *J. Appl. Phys.*, 1982, 56, No. 7, 2170.

极大值向表面以内移动,而在表面处形成低折射率层,即形成掩埋式波导。我们制作的波导的模深约为 $35 \mu\text{m}$, Δn 约为 0.038。

参 考 文 献

- [1] Findakly; *Opt. Lett.*, 1979, 4, 149.
- [2] Chartier G. H.; *Electron. Lett.*, 1977, 13, 763.
- [3] Izawa T., Nakagoma H.; *Appl. Phys. Lett.*, 1972, 21, 584.
- [4] White J. M., Heidrich P. F.; *Appl. Opt.*, 1976, 15, 151.