

离子交换平板玻璃光波导

董贺超

(中国科学院长春物理研究所)

提要: 本文报导了把玻璃放在熔融的 AgNO_3 中制备玻璃光波导, 其工艺简单, 可以重复。我们测量了波导的有效折射率、波导厚度以及损耗等。波导损耗小于 1 分贝/厘米。

Ion-exchanged glass plane optical waveguide

Dong Hechao

(Chagchun Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: Optical waveguides fabricated by immersing glass into molten AgNO_3 is reported. It is simple, easy and reproducible. The effective refractive index, thickness and loss of the optical waveguide were measured and the optical loss is less than 1db/cm.

玻璃是很早被研究的光波导材料之一, 由于它可以制成损耗小于 1 分贝/厘米的光波导, 以及可以做成薄膜元器件, 如薄膜棱镜、透镜、耦合器、滤波器等无源器件, 在集成光学尤其在光纤通讯上有广泛的应用前景。

自从 Giallorenzi^[1] 等人用离子交换法制作玻璃波导以来, 一些工作者在这方面做了很多工作。我们的实验是把抛光好的 K9 玻璃样品(15×50×3 毫米)放入装有 AgNO_3 (优级纯)的密闭刚玉舟中, 以防止杂质尤其是有有机物进入 AgNO_3 中影响波导的质量, 然后把刚玉舟放入刚玉管的电阻丝炉中, 加热至 275°C(硝酸银的熔点 212°C), 玻璃样品在熔融的 AgNO_3 液体中 Ag^+ 离子向玻璃中扩散。当达到 275°C 时开始计算扩散时间, 当取出样品时用水冲去浮在样品上的 AgNO_3 , 再用透镜纸擦干净。扩散 6 小时左右可获得单模波导, 32 小时我们得到三个模式(用

6328Å 光源)。

如果采用 Na 玻璃或载物片玻璃 20 分钟交换时间可得 20 多个模式, 以致更多。

采用不同的实验条件, 波导折射率的分布也不同, 银离子扩散到玻璃中替代其中的碱金属离子, 如玻璃中的 Na^+ 、 Li^+ 以形成高浓度分布区, 在不搅拌的情况下, 与玻璃面相接触处的熔融的 AgNO_3 在交换过程中耗尽了银, 这就限制了扩散过程, Ag^+ 浓度分布的峰值就向里移动, 扩散浓度分布是高斯型的^[1,2], 折射率分布也是一样。在搅拌情况下是余误差函数分布。我们的实验是在不搅拌情况下做的。利用 ZF6 玻璃棱镜把 He-Ne 激光束(6328Å)引入波导中, 可以看到传输条纹。

折射率的高斯分布为:

$$n^2(Z) = n_0^2 - \Delta n^2 [1 - \exp(-Z^2/Z_0^2)] \quad (1)$$

收稿日期: 1980 年 12 月 30 日。

其中 $\Delta n^2 = n_0^2 - n_s^2$; n_0 为最大折射率, n_s 是衬底折射率; Δn 为折射率最大改变量; Z_0 是与波导层厚度有关的量

$$Z_0 = 2\sqrt{Dt} \quad (2)$$

其中 D 是扩散系数; t 为扩散时间。高斯分布情况下波导厚度

$$W = 2\sqrt{\ln 2} Z_0 \quad (3)$$

为了计算方便,对低阶模式,近似地用折射率的抛物线分布代替高斯分布即:

$$n^2(Z) = n_0^2 - \Delta n^2 [1 - \exp(-Z^2/Z_0^2)]$$

$$\simeq n^2 - \Delta n^2 \left[1 - \left(1 - \frac{Z^2}{Z_0^2} \right) \right]$$

$$\simeq n_0^2 - \Delta n^2 \cdot Z^2/Z_0^2$$

参考文献 [3, 4] 折射率抛物线分布的模方程其归一化传播常数 ϵ_m 为:

$$\epsilon_m = \xi_0^2 \frac{n_0^2 - (\beta/K)_m^2}{n_0^2 - n_s^2} \quad (4)$$

其中 m 是模阶数; $\xi_0 = \sqrt{K \Delta n Z_0}$, K 是真空中波数; $(\beta/K)_m$ 是第 m 阶模的有效折射率。

抛物线分布的模式色散方程:

$$\epsilon_m = 2m + 1 \quad (5)$$

通过方程式 (4) 和 (5) 可以求得 n_0 和 ξ_0 , 用耦合棱镜测量波导参数时模的有效折射率可由下式给出:

$$(\beta/K)_m = \cos \epsilon \sin \theta_m + \sin \epsilon (n_p^2 - \sin^2 \theta_m)^{1/2}$$

(上接第 23 页)

意义的。

实验表明,除了选择激光频率、能量外,对于未激发的同位素分子的离解(如图 2 中的 W_{11})是降低 BCl_3 同位素的选择性及浓缩系数的一个重要因素,它与 BCl_3 体系、分子间的碰撞有关,需认真加以研究。

感谢张志三先生对工作的关心和帮助。

参 考 文 献

[1] V. S. Letokhov et al.; Chemical and Biochemical

其中 ϵ 是棱镜角; n_p 是棱镜折射率; θ_m 是第 m 阶模式的同步入射角,它由实验测量获得。

我们用样品对 TE 模测量了三个模式的同步角,所得光波导参数数据如下表。

m	$(\beta/K)_m$	n_0	Δn	W (微米)	D (厘米 ² /小时)
0	1.541				
1	1.528	1.546	0.033	2.949	2.45×10^{-10}
2	1.517				

K_9 玻璃折射率 $n_s = 1.51370$, 耦合棱镜折射率 $n_p = 1.75132$, 棱镜角 $\epsilon = 44^\circ 59' 23''$, 光波长 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$

测量的损耗在 1 分贝/厘米以下。

实验结果表明,我们用离子交换法做成的玻璃光波导,其方法简便,可以重复,易于控制单模和多模的形成(采用 K_9 玻璃),这就为集成光学的一些器件提供了基本条件。

参 考 文 献

[1] T. G. Giallorenzi et al.; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, 1240.
 [2] W. M. Caton; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, 275.
 [3] D. H. Smithgall, F. W. Dabby; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1973, **QE-9**, 1023.
 [4] I. Savatinova, E. Nadiakov; *Appl. Phys.*, 1975, **8**, No. 3, 245~250.
 Application of Laser, III, New York 1977.
 [2] N. Bloembergen et al.; *Phys. Rev. Lett.*, 1977, **38**, 17.
 [3] 激光分离同位素研究组;《激光》, 1979, **6**, No. 11, 11.
 [4] R. V. Ambartsumyan et al.; *Sov. J. Quantum Electron*, 1975, **5**, 1196.
 [5] Yu. R. Kolomiiskii et al.; *Sov. J. Quantum Electron*, 1978, **8**, 375.
 [6] 朱文森等;《激光》, 1980, **7**, No. 11, 61.
 [7] R. E. Scruby et al.; *J. Chem. Phys.*, 1951, **19**, 386.
 [8] J. L. Lyman et al.; *J. Appl. Phys.*, 1976, **47**, No. 2, 595.