

用 Tl_2SO_4 制造玻璃光波导

董贺超 范俊清

(中国科学院长春物理研究所)

提要: 本文报道了用 Tl 盐 (Tl_2SO_4) 离子交换法制备玻璃光波导的实验结果。与用 $AgNO_3$ 离子交换制备的光波导相比, 波导损耗较低, 折射率分布呈准阶跃型, 拟合确定其折射率分布函数为费米函数, 折射率增量 $\Delta n > 0.13$ 。

Optical glass waveguides fabricated by Tl_2SO_4

Dong Hechao, Fan Junqing

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: The experimental results for optical glass waveguides fabricated by Tl ion exchange are reported. The optical properties of the waveguides are better than those of the waveguides fabricated by $AgNO_3$. The optical loss is less and the index profile is of quasistep form. It is shown that the index profile can be fitted by Fermi index profile and Δn is over 0.13.

一、前言

用离子交换法制造玻璃光波导具有成本低, 工艺简单易行, 成膜质量好等优点, 且制成的波导可用于制造光路、耦合器、透镜和分路器等集成光学器件, 在集成光学和光纤通讯方面有广泛的应用前景。因此, 研究不同盐类离子交换技术及其制成波导的特性, 具有重要意义。

本文报道用 Tl_2SO_4 盐离子交换法^[1] 制备玻璃平面光波导的实验结果。实验结果表明, 与 $AgNO_3$ 离子交换法^[2] 比较, Tl_2SO_4 离子交换法具有成膜质量好的优点, 样品在熔

融混合试剂中长时间处理仍不变色, 用测量同步角的方法^[3] 确定波导表面折射率增量达 0.13; 发现折射率分布呈准阶跃型, 可用费米函数拟合, 这有别于文献[1]对同类波导的描述, 我们的描述更符合实际。

二、波导的制备

采用国产 K_7 玻璃为衬底样品, 离子交换溶剂为 Tl_2SO_4 盐加上 5~10% 的 $ZnSO_4$ 和 20% 的 Na_2SO_4 盐的混合剂^[1], 将抛光并清洗好的样品随高温炉加热, 在炉中同时加热的还有装在烧杯中的混合剂, 当熔融时

收稿日期: 1984年1月23日。

(>500°C) 再把样品放入熔融的混合剂中进行离子交换, 保温一定时间, 取出样品并随炉冷却, 至炉温降至适当温度, 把样品取出, 清洗后待测。交换时间愈长, 成膜愈厚, 模式愈多。一般交换 3 分钟为单模波导, 25 分钟出现七个模式。用这种工艺制成的波导, 外观质量好, 透明性好, 表面无腐蚀现象。而用 AgNO_3 盐离子交换法^[2] 制做波导, 长时间交换往往使样品变黄, 透明性变差。

三、波导特性的测量

利用对称棱镜光波耦合器观察到 Ti_2SO_4 离子交换波导的 m 线分布如图 1 所示。由图 1 可见, 从低阶模开始 m 线的间隔较小, 逐渐变成基本为等间隔, 到较高阶模其间隔又稍变小。这不同于 AgNO_3 离子交换波导的 m 线^[2], 其 m 线是低阶间隔由大变小。这表明 Ti_2SO_4 离子交换波导的折射率分布完全不同于 AgNO_3 离子交换波导, 即它不可能是二次多项式分布^[2]。



图 1 Ti_2SO_4 离子交换波导的 m 线照片
右边是低阶模(小间隔), 左边是高阶模(大间隔)

利用棱镜耦合器测量了导模的有效折射率, 并用文献 [3] 方法确定了薄膜的表面折射率和各阶模的模深度, 结果如表 1 所示。对于表 1 的数据, 利用最小二乘法可以确定 Ti_2SO_4 离子交换波导的折射率分布函数。设折射率分布 $n(x)$ 可表示为:

表 1 Ti_2SO_4 离子交换波导的模折
射率和模深度*

模阶数	模折射率测量值 N_m	计算模深度(微米) X_m
0	1.6361	2.39
1	1.6243	2.58
2	1.6069	2.85
3	1.5861	3.09
4	1.5622	3.29
5	1.5399	3.72
6	1.5192	4.13

* 所用光波长 $\lambda=0.6328 \text{ \AA}$;
棱镜折射率 $n_p=1.7531$;
表面折射率 $n_s=1.6428$,
衬底折射率 $n_b=1.5129$ 。

$$n(x) = n_b + \Delta n f(x) \quad \text{当 } x \geq 0 \text{ 时} \quad (1)$$

$$= 1 \quad \text{当 } x < 0 \text{ 时}$$

式中, n_b 表示衬底折射率, $\Delta n = n_s - n_b$ 是折射率增量, n_s 是表面折射率, $f(x)$ 是折射率分布函数。对于理想的折射率分布函数 f , 应有:

$$\tilde{N}_m = n(x_m) \quad (m=0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

式中 m 是模阶数, \tilde{N}_m 是模有效折射率理论值, x_m 是模深度(光学隧道点)。令 ε 表示拟合误差:

$$\varepsilon = \sum_m [N_m - n(x_m)]^2 \quad (3)$$

式中 N_m 表示模有效折射率的测量值。选定不同的拟合函数(即不同的物理函数 $f(x)$) 在最小二乘意义下^[4] 有不同的拟合误差。我们选择抛物线、高斯、费米函数等典型物理函数, 对表 1 数据进行拟合, 结果绘于图 2。由图 2(a)~(c) 可以看到, 费米函数的拟合曲线具有最小的拟合误差 $\varepsilon = 0.8 \times 10^{-4}$ 。因此制备的波导折射率分布可用费米函数近似, 即

$$n(x) = \begin{cases} n_b + \Delta n f(x) & x \geq 0 \\ 1 & x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中 $f(x)$ 为费米函数:

$$f(x) = \left[1 - \exp\left(-\frac{d}{a}\right) + \exp\left(\frac{x-d}{a}\right) \right]^{-1} \quad (5)$$

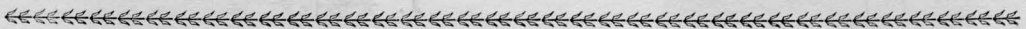
(下转第 690 页)

表 11 增透膜的低反射率测量数据

样 品 号	λ (微米)		
	1.065	1.061	1.055
R (%)			
1	0.017	0.016	0.015
2	0.021	0.016	0.010
3	0.024	0.019	0.018
4	0.013	0.015	0.018
5	0.013	0.014	0.013
6	0.020	0.012	0.010
7	0.010	0.010	0.011
8	0.016	0.011	0.010
9	0.010	0.011	0.012
10	0.026	0.018	0.020

测定了该增透膜的破坏阈值为 7~8 千兆瓦/厘米²。能满足高功率激光系统的要求。

交大黄木贞老师在低反射率光谱测量方面给了大力支持,在此顺致感谢。



(上接第 692 页)

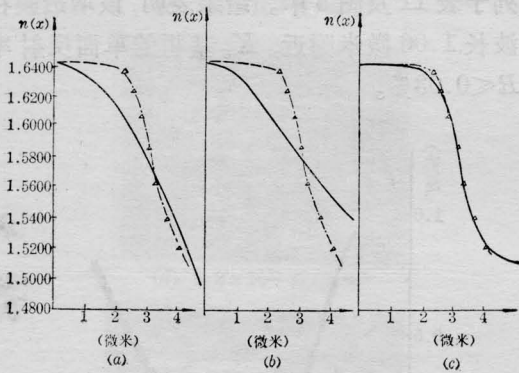


图 2 折射率分布的拟合曲线

Δ 表示实验点,虚线表示连接 Δ 的光滑曲线,实线表示最小二乘拟合曲线,(a)为抛物线, $f(x) = 1 - (x/d)^2$, $d=4.48$ 微米, $\epsilon=0.0022$; (b)为高斯函数, $f(x) = e^{-(x/d)^2}$, $d=3.83$ 微米, $\epsilon=0.0044$; (c)为费米函数, $f(x) = (1 - e^{-d/a} + e^{-(x-d)/a})^{-1}$, $d=3.17$ 微米, $a=0.35$ 微米, $\epsilon=0.8 \times 10^{-4}$

式中 a 是表示折射率形状的参数, d 是表示波导厚度的参数。

我们的实验波导 a 为 0.35 微米,其折射

率接近阶跃型,由图 2(c) 也能看到这一点。这个结果不同于 $AgNO_3$ 离子交换波导,也比文献 [1] 的描述更精确, (文献 [1] 用抛物线分布描述 Tl_2SO_4 离子交换波导的折射率)。 Tl_2SO_4 离子交换波导之所以有这种接近阶跃的折射率分布,可能是由于 Tl_2SO_4 离子交换温度较高(500°C),在此温度下玻璃表面一定深度内的钠等轻金属离子能充分被 Tl^{++} 离子交换取代,使该深度内形成较平缓的折射率,直至更深的层才逐渐变成渐变折射率。这有待进一步验证。

参 考 文 献

- [1] 小泉健等;特许可报,昭 56~18924, p. 19~30.
- [2] G. Stewart et al.; IEEE Quamt. Electr., 1977, QE-13, No. 4, 192.
- [3] J. M. White, P. F. Heidrich; Appl. Opt., 1976, 15, No. 1, 151.
- [4] 冯康等著;“数值计算方法”,国防工业出版社,1978.