

负胶-玻璃复合平面光波导 传播特性的研究

洪佩智

于荣金

(长春光机学院)

(中国科学院长春物理所)

提要: 本文报导了负胶-玻璃复合平面光波导传播特性的实验研究。测量并归纳了负胶介质薄层对银离子交换玻璃平面波导传播特性影响的实验趋势。介绍了弯曲条载波导的实验研究。

Research on propagation characteristics of modes in photoresist-glass planar optical waveguides

Hong Peizhi

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics)

Yu Rongjin

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: The experimental studies on the propagation characteristics of modes in the photoresist-glass planar optical waveguides are reported. The effects of the photoresist film overlays on the propagation of modes in glass planar optical waveguides by silver-ion exchange are measured. The experiments of the strip-loaded curved waveguides are described.

一、引言

复合波导是集成光学器件中经常采用的波导结构。近年来,渐变折射率波导正愈来愈多地被用来制作各种集成光学器件,研究金属或介质覆盖的渐变折射率复合波导的模式特性是具有实际意义的。

从 G. Stewart 等人的研究可知,银离子

交换玻璃平面波导的折射率是二次多项式分布^[1]:

$$n^2(x) = \begin{cases} n_b^2 + (n_s^2 - n_b^2) [1 - (x/d) - \alpha(x/d)^2] & (d > x \geq 0) \\ n_i^2 & (x < 0) \end{cases} \quad (1)$$

式中 n_s 、 n_b 、 n_i 分别为表面、衬底和包层的折射率; d 为扩散深度; α 为二次项系数。波导的模式方程为:

收稿日期: 1982年4月23日。

$$\frac{kd}{4\alpha} \left[\frac{1}{A_v^2} \left(\frac{\pi}{2} - \sin^{-1} A_v \right) \sqrt{\frac{n_s^2 - n_b^2}{4\alpha}} - \sqrt{n_s^2 - N_v^2} \right] = \left(\nu + \frac{1}{4} \right) \pi + \operatorname{tg}^{-1} \xi \left(\frac{N_v^2 - 1}{n_s^2 - N_v^2} \right)^{1/2} \quad (2)$$

其中: $A_v^2 = \frac{n_s^2 - n_b^2}{(n_s^2 - n_b^2) + 4\alpha(n_s^2 - N_v^2)}$,
 $\xi = \begin{cases} 1 & \text{TE 模} \\ n_s^2 & \text{TM 模} \end{cases}$

式中, ν 为模阶数, 取从零开始的有限个正整数; $k = 2\pi/\lambda$ 为光波在真空中的传播常数; N_ν 为波导的模折射率, 定义为 $N_\nu = \beta_\nu/k$, β_ν 为光波沿 z 方向的传播常数。

本实验所用的硝酸银是工业纯, 样品为洁净的照相干版玻片, 扩散温度恒定在 300°C 。对所制备的三个波导样品(1#, 2#, 3#)进行了模式测量与复合波导的实验。用电子计算机解得波导参数为 $n_s = 1.6081$ 、 $n_b = 1.5123$, $\alpha = 0.649$, 1#、2#、3# 样品的扩散深度 d 分别为 0.8、4.7 和 5.8 微米。

二、负胶对传播特性的影响

实验所用的 103-B 负性光致抗蚀剂(简称负胶)的折射率是用波导的双模测量法确

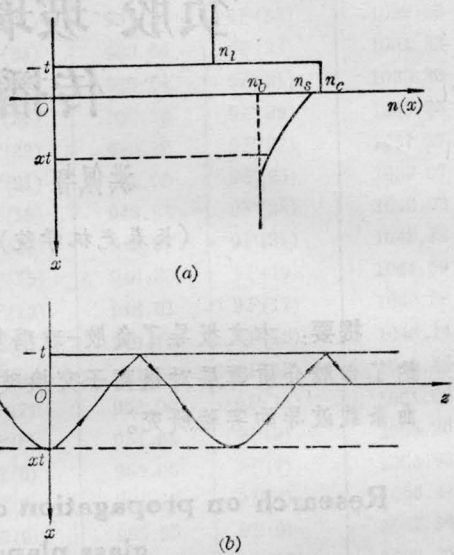


图1 复合平面波导

(a) 折射率分布; (b) 波导中的光线模型

表 1

| 样品号 | 扩散时间(分) | 扩散深度(微米) | 模阶数 ν | 甩胶前 | | 甩胶 I | | | | 甩胶 II | | | | | |
|-----|---------|----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|----------------|-----------|---------------|-----------|-----------|----------------|-----------|
| | | | | N_ν | | t_1 (微米) | N_ν | | ΔN_ν | | t_2 (微米) | N_ν | | ΔN_ν | |
| | | | | TE $_\nu$ | TM $_\nu$ | | TE $_\nu$ | TM $_\nu$ | TE $_\nu$ | TM $_\nu$ | | TE $_\nu$ | TM $_\nu$ | TE $_\nu$ | TM $_\nu$ |
| 1# | 2 | 0.8 | 0 | 1.5181 | 1.5166 | 0.21 | 1.5213 | 1.5200 | 0.0032 | 0.0034 | 0.38 | 1.5236 | 1.5223 | 0.0055 | 0.0057 |
| | | | 0 | 1.5827 | 1.5824 | 0.24 | 1.5908 | 1.5906 | 0.0081 | 0.0082 | 0.61 | 1.6017 | 1.6015 | 0.0190 | 0.0191 |
| 2# | 5 | 4.7 | 1 | 1.5594 | 1.5590 | | 1.5661 | 1.5658 | 0.0067 | 0.0068 | | 1.5776 | 1.5774 | 0.0182 | 0.0184 |
| | | | 2 | 1.5386 | 1.5372 | | 1.5433 | 1.5425 | 0.0047 | 0.0053 | | 1.5557 | 1.5552 | 0.0171 | 0.0180 |
| | | | 3 | 1.5189 | 1.5162 | | 1.5211 | 1.5200 | 0.0022 | 0.0038 | | 1.5345 | 1.5339 | 0.0156 | 0.0177 |
| 3# | 8 | 5.8 | 0 | 1.5862 | 1.5860 | 0.36 | 1.5963 | 1.5962 | 0.0101 | 0.0102 | 0.44 | 1.5989 | 1.5988 | 0.0127 | 0.0128 |
| | | | 1 | 1.5665 | 1.5655 | | 1.5749 | 1.5744 | 0.0084 | 0.0089 | | 1.5771 | 1.5769 | 0.0106 | 0.0114 |
| | | | 2 | 1.5491 | 1.5467 | | 1.5547 | 1.5542 | 0.0056 | 0.0075 | | 1.5569 | 1.5566 | 0.0078 | 0.0099 |
| | | | 3 | 1.5327 | 1.5284 | | 1.5355 | 1.5343 | 0.0028 | 0.0059 | | 1.5373 | 1.5369 | 0.0046 | 0.0085 |
| | | | 4 | 1.5169 | 1.5127 | | 1.5178 | 1.5147 | 0.0009 | 0.0020 | | 1.5181 | 1.5171 | 0.0012 | 0.0044 |

定的,其值 $n_c=1.6153$ 。故负胶-玻璃复合平面光波导的折射率分布和波导中的光线模型如图 1 所示。复合平面波导的模方程为:

$$(n_c^2 - N_v^2)^{1/2} kt + k \int_0^{x_c} [n^2(x) - N_v^2]^{1/2} dx \\ = \left(\nu + \frac{1}{4} \right) \pi + \text{tg}^{-1} \xi \left(\frac{N_v^2 - 1}{n_c^2 - N_v^2} \right)^{1/2} \quad (3)$$

$$\xi = \begin{cases} 1 & \text{TE 模} \\ n_c^2 & \text{TM 模} \end{cases}$$

用甩胶机在洁净的离子交换玻璃平面波导样品上甩一层负胶,在 80°C 恒温箱里前烘 20 分钟。测量并计算了上述三个样品分别在两种厚度负胶复盖下,复合波导各阶 TE、TM 模折射率及其增量,结果见表 1。从表 1 归纳出负胶对玻璃平面波导模折射率的影响趋势为:

(1) 负胶具有增加波导模折射率的作用。在我们的实验范围内(胶层厚约为 0.2~0.6 微米),样品各阶模折射率增量均随胶厚的增加而增大。

(2) 当两块样品所覆盖的胶层厚度相接近时,扩散深度大的样品各阶模折射率增量均大于扩散深度小的样品相应阶模折射率的增量。

(3) 以上两点对 TE、TM 均适用,且无论在甩胶前后,同块样品中总是 TE 模折射率大于 TM 模;而甩胶后模折射率的增量却总是 TM 模大于 TE 模。

三、条载波导

我们用常规光刻法在银离子交换玻璃平面波导表面制备了负胶载条。所用掩膜图形是条宽为 10 微米、半径为 $R=4.5$ 毫米的 90° 圆弧线,负胶型号为 103-B,胶层厚约为 0.4 微米,甩胶后在 80°C 恒温箱中前烘 20',接着套掩膜板于紫外光下曝光 50';在丁酮

溶液中显影 1'~1'15'',在丙酮中漂洗,然后在 180°C 恒温箱中坚膜 20',即制备成条载弯曲波导片子,用直角棱镜耦合器把 6328Å 的 He-Ne 激光激励到弯曲条载波导中,实验清晰地观察到大约有 45° 圆弧长的弯曲传输线。

四、讨 论

1. 本实验所确定的 1#、2#、3# 波导样品的波导参数 n_s 、 n_b 、 α 的结果是令人满意的,与国外文献所报导的结果基本一致^[1,2],这就证明了 G. Stewart 等人提出的二次多项式模型能够精确地模拟本工艺条件下的折射率分布。其中, $n_s=1.6081$ 略大于 G. Stewart 所报导的 $n_s=1.605$ ^[1],位于 G. Griffiths 所报导的 $n_s=1.6050 \pm 0.0050$ 范围内^[2]; $n_b=1.5123$ 略小于 G. Stewart 的 $n_b=1.5125$; $\alpha=0.649$ 略大于 G. Stewart 的 $\alpha=0.64$,这里除测量误差外,玻璃衬底组分和扩散工艺条件的小差异也是其原因之一。

2. 测量并归纳了负胶介质薄层对折射率为二次多项式分布下的玻璃平面波导模折射率影响的实验趋势,得到了与 Talal Findakly 等人在假定折射率为指数分布下 Nb₂O₅ 介质对 LiNbO₃ 平面波导模折射率影响的理论规律^[3]相一致的结论。

本工作得到长春光机学院杨先敏教授的关心和指导,长春物理所李玉善、林盛强、郑建和、王淑荣同志的大力协助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] G. Stewart *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1977, **QE-13**, No. 4, 192.
- [2] G. Griffiths *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1981, **QE-17**, No. 4, 529.
- [3] Talal Findakly *et al.*; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, 469.