

## 嵌入式质子交换光波导偏振器的制作 及高消光比检测装置的研究\*

季家镛 冯莹

(国防科技大学应用物理系 长沙 410073)

**摘要** 用钛内扩散和质子交换相结合的方法制得了光波导偏振器,这一偏振器由在不连续的扩钛波导中嵌入一段质子交换波导形成。本文讨论了一些资料中报道的检测方法,并对测量集成光波导偏振器提出了一个新方案。该方案测得的偏振器消光比大于52.5dB。

**关键词** 光波导, 偏振器, 消光比

**分类号** TN202

## Fabrication of Embed Integrated Proton-exchanged Optical Polarizer and Study on the High Extinction Ratio Testing Set

Ji Jiarong Feng Ying

(Department of Applied Physics, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** Integrated optical polarizers have been fabricated by using titanium indiffusion in conjunction with proton exchange. The polarizer consists of Ti-diffused channel waveguide with a short discontinuity filled with proton-exchanged waveguide. In this paper we have discussed the measuring methods which were reported in some refernces and proposed a novel design for charactering the integrated optical polarizers. While using this setup the polarizer fabricated in our laboratory exhibited polarization extinction ration of  $> 52.5$ db.

**Key words** optical waveguide, polarizer, extinction ratio

作为光纤传感器最重要的应用之一的光纤陀螺需要将耦合器、调制器、偏振器等基本光学元件集成于一块  $\text{LiNbO}_3$  上以形成多功能集成光学芯片,其中偏振器的性能指标直

\* 校预研基金资助项目  
1996年1月26日收稿

接关系到陀螺所能感受到的最低转速。在捷联惯导系统中用于控制战略导弹的光纤陀螺要求偏振器的消光比 $>40\text{dB}$ ,因此研制高消光比、低损耗的光波导偏振器有着很大的实际意义。

质子交换方法为制造光波导同时也为制造光波导偏振器开辟了新的途径<sup>[1]</sup>,在扩钛波导的中间或末端留下一小段空隙,并对这一小段空隙做质子交换就可以形成质子交换光波导偏振器<sup>[2][3]</sup>。国外普遍采用的消光比检测方法中只重视了对电信号噪声的抑制,为达到此目的同时采用斩波器和锁相放大器。事实上,在高消光比的检测系统中光学噪声主要来自光学检测元件的不完善,针对这一情况本文介绍了一个改进措施,改进后的系统检测消光比的能力大大提高。

## 1 器件的制作原理和工艺

我们制得的光波导偏振器是在扩钛条形波导基础上做成的,器件的结构如图1所示。 $OA$ 段为扩钛波导,它的横截面上的折射率分布在 $X$ 方向上可以用一高斯函数来描述,在 $Z$ 方向上则是两个余误差函数的迭加,这样横截面上二维波导的折射率分布可以表示为

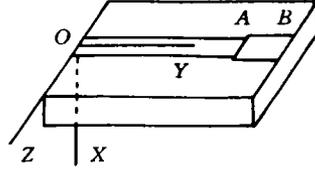


图1 器件结构示意图

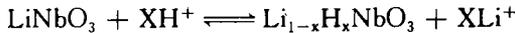
$$n^2(x, z) = n_2^2 + 2n_1^2 \Delta f \left( \frac{x}{d} \right) g \left( \frac{2z}{W} \right)$$

式中  $n_1$  为波导表面对称中心处的折射率,  $n_2$  为衬底  $\text{LiNbO}_3$  的折射率, 波导表面的覆盖层为空气,  $\Delta = (n_1^2 - n_2^2)/2n_1^2$ ,  $d$  和  $W$  为纵向和横向扩散深度, 其物理意义从下列表达式中可以看出

$$f \left( \frac{x}{d} \right) = \exp \left( - \frac{x^2}{d^2} \right)$$

$$g \left( \frac{2z}{W} \right) = \frac{1}{2} \left\{ \text{erf} \left[ \frac{W}{2d} \left( 1 + \frac{2z}{W} \right) \right] + \text{erf} \left[ \frac{W}{2d} \left( 1 - \frac{2z}{W} \right) \right] \right\}$$

光从  $AB$  段耦合出来时的模场分布取决于上述折射率分布  $n^2(x, z)$  的形式, 而式中  $d$ 、 $W$  及纵横比  $d/W$  等又受  $\text{Ti}$  膜厚度、纯度、衬底制备、扩散温度、环境条件等等因素的影响。质子交换段  $AB$  是在苯甲酸熔点温度  $112^\circ\text{C}$  以上, 沸点温度  $240^\circ\text{C}$  以下进行的。其交换过程可由下述平衡方程描述



质子交换后  $AB$  段上横截面的折射率分布为一阶跃型, 其宽度决定于掩膜露出的尺寸, 深度决定于交换温度及交换时间, 典型深度为  $3\mu\text{m}$ 。在质子交换区域中对于  $O$  光  $\Delta n_o \approx -0.04$ , 对于  $e$  光  $\Delta n_e \approx 0.13$ , 所以  $e$  光仍然能在波导中传输而  $O$  光由于  $\Delta n_o < 0$  不能在波导中继续传播, 结果它形成辐射模而进入衬底, 这就形成了一个  $TE$  模偏振器。由上面的分析知道在  $A$  点处界面上两边波导的模场分布不一致, 这就带来一个模场匹配问题。这个问题若不解决不但增加了损耗, 而且直接影响光波导偏振器的消光比指标。我们用单独制备的扩钛条形波导和质子交换波导对其模场分布用红外摄像获得图象后再对强度分布进行扫描, 对几何尺寸、强度分布有一个定量的记录。扩钛波导制作工序多且复杂, 改变前

段工艺的一个参数会影响一系列的结果,而质子交换波导相对来说工序要少一些。解决模场匹配问题的关键在于对质子交换工艺技术的控制,需要把握好交换窗口宽度,严格控制交换温度和时间,对交换后的波导进行退火处理。退火后的折射率分布由阶跃型变为费米型分布,采取合适的退火起始温度和退火时间尽可能的使两者模场分布趋于一致。

实验中扩钛波导 OA 段的钛膜由蒸发离子镀膜机制备,几何厚度为 60nm,宽度为  $6\mu\text{m}$ ,吸收系数由 DF 透反仪测定达到  $3.5 \times 10^5/\text{cm}$  以上,有效折射率为 1.97,长度为 17mm. 样品在  $1050^\circ\text{C}$  的温度下湿氧氛围中扩散 8h. 样品经端面抛光后用铝膜作掩膜,露出的 AB 段长为 3mm 宽度为  $6.5\mu\text{m}$ . 再将  $\text{LiNbO}_3$  晶体浸渍在  $235^\circ\text{C}$  熔融的苯甲酸中约 30min,光刻的窗口中露出的 AB 段  $\text{LiNbO}_3$  晶片表面附近的锂离子就被苯甲酸中的氢离子即质子所代替。最后将样品在  $400^\circ\text{C}$  起始温度下退火 3 小时。实质上这也是一个继续扩散的过程,它由固体热扩散方程所描述,通过退火这一过程不仅能实现模场的尽可能的匹配,而且也改善了质子交换过程中造成的晶体缺陷。

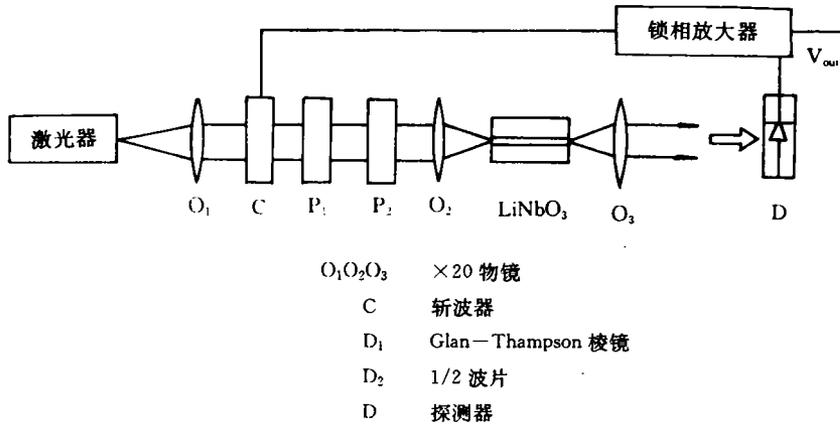


图 2 光波导偏振器检测光路

## 2 检测系统的讨论、改进及测试结果

目前资料中报道的普遍采用的光波导偏振器的检测光路如图 2 所示<sup>[4]</sup>。由激光器发出的光准直后经斩波、调制用 Glan-Thompson 棱镜起偏。起偏后获得的线偏振光用透镜耦合入光波导,最后由探测器将光信号转换成电信号。同时使用斩波器和锁相放大器有力地抑制了电的噪声,从理论上讲可以测出  $50\sim 60\text{dB}$  的消光比,然而实际上该光学系统的检测能力仅看电指标是不够的。首先,该系统所能检测到的消光比不可能超过起偏棱镜 Glan-Thompson 棱镜的消光比,一般为  $50\sim 60\text{dB}$ 。为了使入射线偏振光旋转  $90^\circ$  使用了  $1/2$  波片,无论是通过光学冷加工制成的石英晶体或是由云母片剥片制成的其厚度都很难控制在正好  $1/2$  波长,用云母片剥片制成的  $1/2$  波片这种厚度偏差尤为明显。剥片时测得解理层厚度为  $1\sim 5\mu\text{m}$ ,且同一层的不同点有厚度不均匀现象。光经过这一不完善的  $1/2$  波片后获得的是一椭圆偏振光,尽管椭圆的长短轴之比很大,但对于高消光比检测光路来讲这一偏差影响了系统的最大检测能力,只要两个方向的光能量之比达  $10^5:1$ ,系统的最大检测能力就不会超过  $50\text{dB}$ 。除厚度因素外云母片内部的散射和应力造成的光耦

合也使得检测精度下降。耦合透镜  $O_2$  内部应力引起的双折射也会造成光能量耦合,影响系统的检测能力。综上所述在采取了适当的抑制电噪声的措施以后,提高消光比检测能力的关键在于对光噪声的拟制。

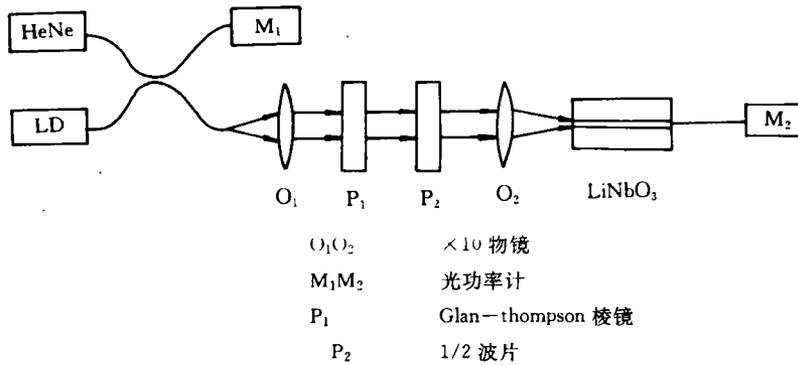


图3 改进后的光波导偏振器检测光路

经改进我们采用的检测光波导偏振器消光比的装置原理如图3所示。He-Ne激光和半导体激光分别从一个  $1.3\mu\text{m}$  单模光纤耦合器的两输入端输入,其中He-Ne激光是在光路对准时使用的辅助光源。耦合器的出口一端接光功率计用于监控半导体光源的光功率,从另一出口出射的光经  $\times 10$  物镜准直后由 Glan-Tompson 棱镜起偏得到一束线偏振光再由  $\times 10$  物镜  $O_2$  聚焦耦合入波导,物镜  $O_2$  已进行过退火处理以消除应力双折射。输出端用一根  $1.3\mu\text{m}$  普通单模光纤将光耦合出来送到光功率计的探头中进行探测。先让线偏振光经过波导的消光方向,输出端探测到光功率  $P_1$ ,再插入  $1/2$  波片,使上述线偏振光旋转  $90^\circ$ ,由输出端探测到的光功率为  $P_2$ 。这样做的好处在于可以避免云母片厚度偏离  $\lambda/2$  而带来的测量误差。实验中使用的光功率计具有简单的信号处理能力,能自动取 16 个数据进行平均。由实验测得通光方向输出功率  $P_2 = 30.8\mu\text{W}$  消光方向输出功率  $P_1 = 108\text{pW}$ ,波片光透过率  $\eta = 87.35\%$ ,由式  $10\lg(p_2/\eta p_1)$  算得器件的消光比约为  $52.5\text{dB}$ 。我们所使用的光功率计最低探测功率为  $1\text{pW}$ ,改变半导体激光器驱动电流,通光方向可以获得  $40 \sim 50\mu\text{W}$  的输出功率,由此可以推算改进后的系统具有检测  $60\text{dB}$  以上偏振消光比的能力,当然我们使用的 Glan-Tompson 棱镜必须至少有同样大小的消光比值。此外,我们用截断法测得光纤一波导一光纤插入损耗为  $4\text{dB}$ 。

对于波片不完善造成的影响我们也做了比较。不采用改进后的方法而是始终让光通过  $\lambda/2$  片,并使波片旋转  $360^\circ$ ,探测器测到两次极大值和两次极小值,分别对应于通光方向和消光方向的输出功率,由测得的功率计算所得消光比仅为  $42\text{dB}$ ,与改进后的方法比较相差了一个数量级。这一结果也证实了波片不完善带来的光噪声严重影响了测量结果。用嵌入法制作光波导偏振器的过程中应将质子交换段做在波导的末端。若将图1中所示样品的 B 端作为输入端, O 端作为输出端,结果测得的消光比仅为  $38\text{dB}$ 。这一事实说明了在 BA 段中起偏的线偏振光在 AO 段又出现交叉耦合,这一事实对于在多功能集成光学芯片中偏振器位置的确定有重要参考价值。

### 3 结论

用质子交换和扩钛相结合的方法制得了高消光比光波导偏振器。通过对目前普遍采用的光波导偏振器检测方法的讨论我们提出了一种新的检测方法,用此方法测出了嵌入法制得的光波导偏振器消光比优于 52.5dB,这一偏振器在光纤传感器中有重要应用前景。

本文作者感谢国防科技大学高伯龙教授的指导和帮助。

### 参 考 文 献

- 1 Jackel J L. et. al. Proton exchange for high-index waveguides in  $\text{LiNbO}_3$ . Appl. Phys. Lett., 1982, 41: 607
- 2 Findakly T. and Chen B. Single-mode transmission selective integrated optical polariser in  $\text{LiNbO}_3$ . Electronics Letters, 1984, 20(3): 128
- 3 Veselka J. and Bogert G. Low-loss TM-pass polariser fabricated by proton exchange for Z-cut  $\text{Ti:LiNbO}_3$  waveguides. Electronics Letters, 1987, 23(1): 29
- 4 Bristow J P G et al. Integrated optical polariser on Lithium Niobate for long wavelengths. Integrated optical circuit engineering, 1987, 835: 164

(责任编辑 石少平)