

集成光学 TM 模偏振器的制作*

季家镕 冯 莹

(国防科技大学应用物理系, 长沙 410073)

摘 要 用扩钛和质子交换相结合的方法在 x 切 y 传 LiNbO_3 衬底上制成了 TM 模集成光波导偏振器。质子交换区域位于扩钛波导的末端两侧。在质子交换区域 $\Delta n_e > 0$, $\Delta n_o < 0$, 因此 TE 模辐射进入衬底。偏振器工作于 $1.3 \mu\text{m}$ 波长, 消光比优于 47 dB, 光纤-波导-光纤插入损耗 3.5 dB。

关键词 光波导, 偏振器, 消光比。

光波导偏振器是无源光波导器件中重要的单元器件之一, 它在光通讯、光信息处理和光纤传感器中有着广阔的应用前景。研制高消光比、低损耗的光波导偏振器有很大的实际意义。

光波导偏振器的制作方法有许多种, 质子交换和扩钛相结合的方法是其中之一。已报道的方法是在 LiNbO_3 衬底上分别用钛扩散和质子交换制成一个组合波导, 即在不连续的扩钛波导之间嵌入一段质子交换波导^[1,2]。本文提出的新方法是将扩钛波导的邻近区域进行质子交换, 与前述方法相比, 不仅工艺简单, 且降低了器件的损耗, 能制成高消光比的偏振器。

1 器件的原理和制作

器件的结构如图 1 所示。在制得性能良好的单模条形波导 AB 之后, 用铝膜将 AB 段及 AB 段外的区域中除图中画线条的部分外全部掩上。接着将样品放入熔融的苯甲酸之中, LiNbO_3 表面层附近的锂离子就被苯甲酸中的氢离子即质子所代替, 质子交换的结果使得被交换区域 $\Delta n_e \approx 0.13$, $\Delta n_o \approx -0.04$ 。在质子交换区域进入扩钛波导中所传播的光波消逝场的情况下, 由于 $\Delta n_e > 0$, 波导中的 TE 模不能存在而形成辐射模进入波导的邻近区域。质子交换区域中 $\Delta n_o < 0$, 故波导中的 TM 模得以传播, 这样就制得了 TM 模偏振器。若衬底是 z 切 y 传的 LiNbO_3 晶片, 则用这种方法制成的是 TE 模偏振器。为了进行比较, 图 2 示出了嵌入式光波导偏振器。图中 AC 段和 BD 段为扩钛条形波导。CD 段由于质子交换的结果 $\Delta n_e > 0$, $\Delta n_o < 0$, TM 模不能存在, TE 模得以通过, 这就形成了一个 TE 模偏振器。如果使用 z 切 y 传晶片, 则用这种方法可以制成 TM 模偏振器。扩钛波导段横截面上的折射率分布在水平方向上用一余误差函数表示, 在深度方向上用一高斯函数表示^[3], 而质子交换段横截面上

* 国防科技大学校预研基金课题。

收稿日期: 1996 年 2 月 8 日; 收到修改稿日期: 1996 年 4 月 15 日

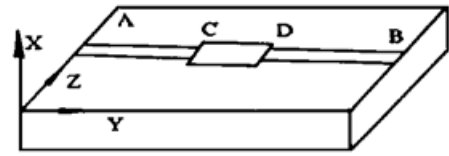
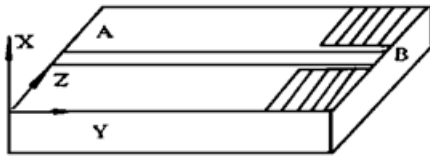


Fig. 1 Geometry of novel design for optical waveguide polarizer Fig. 2 Geometry of embed optical waveguide polarizer

的折射率分布为阶跃型。很显然这两种不同工艺过程制作出来的波导在横截面上的折射率分布不一致，这就造成了连接处光的模场分布不一样，通过它们的光的数值孔径不一样，从一个波导出来的光在波导间耦合时光能量不能全部进入下一个波导。为减小这一损失就需要用控制质子交换段退火的办法尽可能使两者的模场相匹配，质子交换段退火后横截面上的折射率分布由阶跃型变为费米型^[4]。这样做的结果会比原来的匹配状况有改进，但不可能完全相匹配。通常扩钛段与质子交换段相接处造成的额外损耗达 0.2 dB 左右，对于将质子交换段做在两段扩钛波导中间的情形界面失配造成的额外损耗达 0.4~0.5 dB^[5]。本文提出的将质子交换区域做在波导外的方法使工艺变得简单，没有对接的界面模场匹配问题，因而降低了损耗。

本实验中为制作扩钛条形波导 AB，先在 LiNbO₃ 晶片上镀上了一层钛膜，用 DF 透反仪测得其几何厚度约为 60 nm，吸收系数为 $4.0 \times 10^5/\text{cm}$ ，有效折射率为 1.97，钛膜宽度为 6 μm ，长度为 20 mm。在 1030°C 温度下和湿氧氛围中扩散 7.5 h，经端面抛光制得性能良好的 1.3 μm 单模波导。为了测定波导的传输损耗，让波长为 1.3 μm 的半导体激光和波长为 0.63 μm 的 He-Ne 光同时耦合进一根 1.3 μm 的单模光纤，再将光纤另一端出射的光耦合进待测的光波导。金红石棱镜置于波导的上方并与它紧密接触，改变金红石棱镜在波导上的位置，测定相应的被耦合出的光功率^[6]。由测量数据计算得到光在上述样品中的传输损耗约为 0.9 dB。这里 He-Ne 光是用来帮助寻找波长为 1.3 μm 的激光光斑位置的辅助光源，在测定耦合光功率时将它关掉。测定光的传输损耗后，在样品表面上均匀镀制一层厚度约为 100 nm 的铝膜，用事先制好的模版对铝膜进行光刻，使波导末端的两侧露出长为 3 mm 的区域，以进行质子交换。交换过程是将样品浸渍在温度为 235°C 的熔融的苯甲酸中进行的，整个过程需时约 30 min。最后将样品在 400°C 温度下退火 3 h，即制得光波导偏振器。质子交换区域与原扩钛波导之间的间隙大小是通过退火过程来控制的。间隙过大，由耦合模理论可知会减小耦合系数；间隙过小，不仅会改变原扩钛波导的性能而且也会增大波导中光传输损耗。

2 器件的检测

图 3 为检测光波导偏振器消光比的实验装置原理图。He-Ne 激光和波长为 1.3 μm 的半导体激光分别从一个 1.3 μm 的单模光纤耦合器的两输入端输入，其中 He-Ne 激光是在对准光路时使用的辅助光源。耦合器的出口一端接光功率计，用于对光功率进行监控，从另一出口出射的光经 10×物镜准直后由格兰-汤姆逊棱镜起偏得到一束线偏振光，再由一个 10×物镜聚焦耦合入光波导。输出端用一根 1.3 μm 的普通单模光纤将光耦合出来并送到光功率计的探头中进行测量。先让线偏振光经过波导的消光方向，由输出端探测到的光功率为 P_1 ，再插入 $\lambda/2$ 波片使上述线偏振光旋转 90°，由输出端探测到的光功率为 P_2 。由于云母片的解理层厚度为 1~5 μm ， $\Delta n \approx 0.005$ ，这就注定了用云母片不可能制得严格的 1/2 波片。采用上

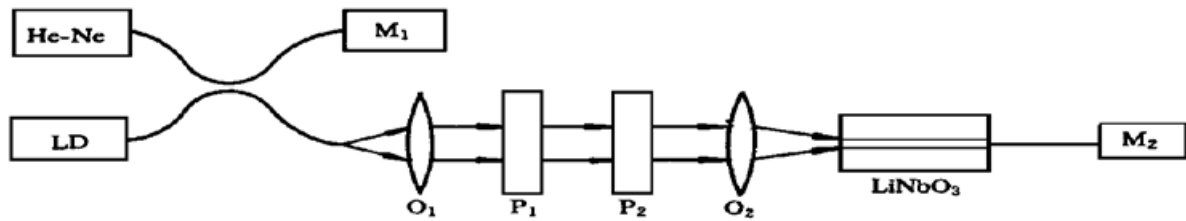


Fig. 3 Setup for characterizing the polarizer

O_1, O_2 10 \times objectives, M_1, M_2 power meters, P_1 Glan-Thompson polarizer, $P_2 \lambda/2$ plat

述检测方法可以避免这一误差, 计及云母的透过率 η , 消光比的值可由 $10 \lg (P_2/\eta P_1)$ 计算。实验测得波片的透过率为 87.35%, 通光方向输出功率为 $28.9 \mu\text{W}$ 的情况下消光方向的输出功率为 637 pW, 由此算得所测光波导偏振器的消光比为 47.2 dB。用光纤-波导-光纤耦合测得总的插入损耗为 3.5 dB。

结 论 提出了一种用扩钛和质子交换相结合的新方法研制光波导偏振器。这种方案工艺简单, 减少了以往质子交换和扩钛相结合的方法制作的嵌入式光波导偏振器中 0.5 dB 的模场失配损耗。器件的消光比优于 47 dB, 可以满足使用光波导偏振器的高性能光纤传感器的需要。用同样的方法对于 z 切 y 传的 LiNbO_3 基片可以制得 TE 模偏振器。在多通道集成光波导的情况中, 对一条波导用嵌入法, 对另一条波导用本文提出的方法可以实现在同一衬底上从不同出口分别得到 TE 模和 TM 模输出, 这一器件可以用于特殊的光信息处理光路中。

本项研究工作得到国防科技大学高伯龙教授的指导和帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] T. Findakly, B. Chen, Single-mode transmission selective integrated-optical polarizer in LiNbO_3 . *Electron. Lett.*, 1984, **20**(2): 128~ 129
- [2] J. Veselka, G. Bogert, Low-loss TM-pass polarizer fabricated by proton exchange for Z-cut Ti: LiNbO_3 waveguides. *Electron. Lett.*, 1987, **23**(2): 29~ 30
- [3] 方俊鑫, 曹庄琪, 杨傅子编著, 光波导技术物理基础, 上海交通大学出版社, 1987: 63~ 64
- [4] Edwin Y. B. Pun, Recent development of proton exchanged waveguides and devices in lithium niobate using phosphoric acid. *Spie Vol. 1374 Integrated Optics and Optoelectronics 2* 1990, 1~ 13
- [5] P. G. Suchoski, T. K. Findakly, F. J. Leonberger, Low-loss high-extinction polarizers fabricated in LiNbO_3 by proton exchange. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(2): 172~ 174
- [6] 蔡伯荣主编, 集成光学, 成都, 电子科技大学出版社, 1990, 256~ 257

Fabricating of TM-Pass Integrated Optical Polarizers

Ji Jiarong Feng Ying

(Department of Applied Physics, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

(Received 8 February 1996; revised 15 April 1996)

Abstract TM-pass integrated optical waveguide polarizers have been made in x -cut, y -propagating LiNbO_3 using Ti indiffusion in conjunction with proton exchange. The two exchanged regions are adjacent to the Ti indiffused waveguide on both sides and at the output end of the sample. In the proton-exchanged regions, $\Delta n_e > 0$, $\Delta n_o < 0$. Thus, the TE mode is radiated into the substrate. The polarizer operating at $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ exhibits an extinction ratio > 47 dB and fiber-waveguide-fiber excess loss is 3.5 dB.

Key words optical waveguide, polarizer, extinction ratio.