

新型质子交换扩钛波导 TM 模偏振器特性分析

冯 莹 季家蓉

(国防科技大学应用物理系,长沙,410073)

摘要: 提出将质子交换区域做在扩钛 LiNbO_3 光波导两侧邻近区域来获得 TM 模光波导偏振器的方案。用二维 BPM 分析计算了质子交换区域的长度、宽度等参数对器件消光比的影响,给出了数值分析结果,并得到了偏振消光比优于 51dB 的实验结果。

关键词: 光波导偏振器 质子交换 偏振消光比

Analysis of characteristic for proton exchange Ti: LiNbO_3 TM-pass polarizers

Feng Ying, Ji Jiarong

(National University of Defense Technology, Changsha, 410073)

Abstract: A novel method to fabricate TM-pass polarizers——introducing proton exchange regions adjacent to Ti: LiNbO_3 waveguide——has been presented. A two dimension BMP has been used to obtain the characteristics of the TM-pass polarizer, which depend on the length, width and gap of the proton exchange region. The results of the design calculation were given. The extinction factor of 51dB was realized for TM-pass polarizers.

Key words: waveguide polarizer proton exchange polarized extinction

引 言

集成光波导偏振器是光纤传感器及光通信系统中重要的单元器件之一,如何获得高性能的波导偏振器,是人们关注的一个问题。在扩钛 LiNbO_3 波导上加以质子交换,是制作集成光波导偏振器的方案之一,这种方法是在不连续的单模扩钛 LiNbO_3 波导中间嵌入一段质子交换波导^[1],由于质子交换波导段的 $\Delta n_e > 0$, $\Delta n_o < 0$,当光从扩钛波导段传输至质子交换波导段时,原扩钛波导中激发的两种模式(TE 模和 TM 模)只有一种能在波导中继续传播,另一种则辐射至波导周围区域,从而在波导中形成了单一的偏振光传输。但这种方案工艺相对复杂,

2 Gu M. Sheppard C J R, Journal of Modern Optics, 1991; 38(11)

3 王翠英,吴震,张平 *et al.* 应用光学, 1994; 16(4): 7~11

4 Wu Z, Zhang P, Wang C Y. SPIE Proc, 1993; 1889: 39

* * *

作者简介: 张平,女,1946年出生。副教授。现主要从事光电系统设计和信息处理技术研究。

吴震,男,1943年出生。教授。现主要从事光电信息技术及网络,光电通信和图象处理技术的研究。

向际鹰,男,1972年出生。硕士,现为物理电子和光电子专业博士研究生。主要从事三维超分辨率显微成像技术的研究。

制作难度大,且由于扩钛波导和质子交换波导的折射率分布不同,两者的交界面处存在着模式失配问题,增加了波导的损耗。我们提出一种制作质子交换扩钛波导偏振器的新方案^[2],本文从理论上分析采用这种新方案设计制作光波导偏振器时,质子交换区域的长度、宽度等参数对偏振消光比的影响,给出了实验结果。

一、原理

图1是新型质子交换扩钛波导偏振器的结构示意图。图中阴影部分是进行质子交换的区域,这个区域位于扩钛波导的两侧邻近地区。经过质子交换,阴影区域的异常光折射率增加($\Delta n_e = 0.14$),寻常光折射降低($\Delta n_o = -0.04$)。

对于 x 切 y 传扩钛 LiNbO_3 波导,其折射率改变的最大值为 $\Delta n_{e,o} = 0.013$ ^[3]。当光在扩钛波导中传输时,由于两侧质子交换区域的异常光折射率大于波导区域的异常光折射率($\Delta n_{eE} > \Delta n_{eI}$),在消逝场的作用下,TE模便从扩钛波导中辐射出来,耦合至两侧的质子交换区域;对TM模,由于寻常光折射率改变 $\Delta n_o > \Delta n_{oE}$,故TM模仍在波导中继续传播,形成TM模偏振器。若采用 z 切 LiNbO_3 波导,同样的结构可获得单一的TE模偏振光。

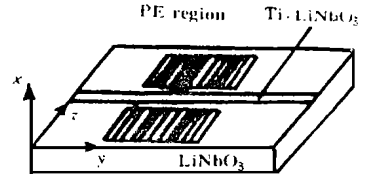


Fig. 1 Configuration of the TM-pass polarizer

二、特性分析

在弱导渐变折射率条形波导中存在着两种模式——(准)TE模和(准)TM模,由于光波导中的场通常沿晶体的某一主轴传播,此时介电张量为对角线分布,场的两个分量之间没有耦合,因此两种偏振态可分别用Helmholtz方程描述为^[4]:

$$[\alpha_x^2(\partial^2/\partial x^2) + \alpha_y^2(\partial^2/\partial y^2) + \partial^2/\partial z^2 + k_0^2 n_i(x, y, z)] \Psi = 0 \quad (1)$$

式中, $n_i(x, y, z)$ 为波导的折射率, k_0 为真空中的传播常数, $i = o, e$ 分别表示寻常光和异常光的折射率, Ψ 正比于某一横向场分量, α_x, α_y 为与折射率有关的系数,对于 x 切 y 传 LiNbO_3 波导,上述各量可具体表示为:TE: $\Psi \propto E_y, n_i = n_e, \alpha_x = 1, \alpha_y = n_e/n_o$

$$\text{TM: } \Psi \propto H_x, n_i = n_o, \alpha_x = \alpha_y = 1$$

采用二维BPM对TM模偏振器进行数值分析。扩钛 LiNbO_3 波导的折射率在深度方向为高斯分布,在宽度方向为一余误差函数^[5],对质子交换区域,其折射率为阶跃型分布^[6]。先用有效折射率方法^[7]将三维波导器件等效为二维平面结构,再用BPM作分析。对TM模偏振器,其偏振消光比主要取决于偏振器中TE模场的衰减情况,也即本文所要考虑的。图2为偏振器中TE模场分布情况的数值分析结果;图3反映了波导中TE模的功率随质子交换区域长度的变化关系;波导中TE模的功率与质子交换区域宽度的关系由图4给出。由数值分析结果可知,采用将质子交换区域做在扩钛波导两侧邻近地区的方法,在理论上可获得较高的偏振消光比;由图2,图3可看出,TE模场从波导中辐射到质子交换区域后,由于质子交换区域外边界的反射,在经过一段距离传播后又耦合回到波导中,对波导的偏振消光比产生明显影响,因此,选择最佳的质子交换区域的长度对获得高偏振消光比起着关键作用。图4表明,由于外边界的反射对波导偏振消光比的影响,质子交换区域的宽度

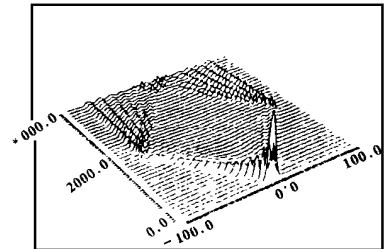


Fig. 2 The numerical analysis of TE-field in polarizer. Here $g = 1\mu\text{m}, L = 4000\mu\text{m}, W = 80\mu\text{m}$

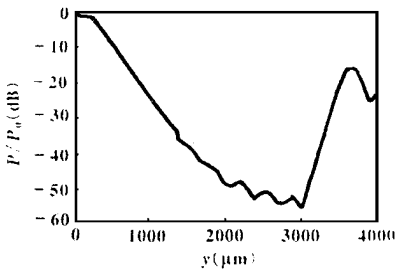


Fig. 3 The calculated power of TE mode in polarizer. The width of PE region $W = 80\mu\text{m}$, length $L = 4000\mu\text{m}$, the gap of the waveguide $g = 1\mu\text{m}$

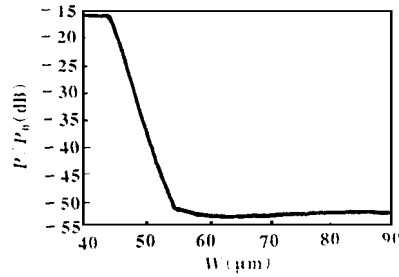


Fig. 4 The calculated power of TE-mode in polarizer versus the width of PE region. $g = 1\mu\text{m}$, $L = 2000\mu\text{m}$

也要选取适当,宽度过窄,则 TE 模场很快由外边界反射回波导,使器件性能变坏;但也不必太宽,由图 4 看到,宽度 W 在取某一数值

之后,继续加宽,对波导的功率变化不再产生明显的影响。另外,计算结果还表明,波导与质子交换区域的间距在 $1\sim 3\mu\text{m}$ 范围内时,对 TE 模场的功率变化影响不显著。

三、实 验

TM 模偏振器的实际制作过程如下:在 x 切 y 传 LiNbO_3 基片上用离子热蒸镀方法镀制一层厚度为 70nm 的钛膜,再用紫外光刻技术及湿法腐蚀得到一组宽为 $6\mu\text{m}$ 的钛条,在 1025°C 的高温湿氧氛围中扩散 7h ,得到性能良好的单模扩钛条形波导,然后用铝掩膜将条形波导遮住,对其两侧光刻出的窗口进行质子交换。采用苯甲酸作质子源,交换温度 230°C ,交换时间 50min 。交换完成后,去掉铝掩膜,将波导端面抛光,便获得 TM 模光波导偏振器。附表是对一组质子交换区域长度不同、其它制作参数均相同的 TM 模偏振器的偏振消光比测试结果,可以看出,对 TM 模偏振器的实际测量结果与数值分析结果基本吻合。

Table Measured data of polarization extinction ratio

	$L(\mu\text{m})$	$W(\mu\text{m})$	extinction (dB)
1#	2000	60	32
2#	2500	60	47
3#	3000	60	51

四、结 论

用二维 BPM 分析了新型质子交换扩钛 TM 模偏振器的特性,为光波导偏振器的设计制作提供了理论依据。实际制作的 TM 模偏振器获得了较高的偏振消光比,可满足高精度光纤传感器的需要。另外,用本文提出的方法,可以在一块 LiNbO_3 衬底上同时得到 TM 模偏振器和 TE 模偏振器,这对于具有特殊要求的光信息处理光路,很有实际意义。

本工作始终得到高伯龙教授的关心和指导,在此深表谢意。

参 考 文 献

- 1 Veselak J J, Bogert G A. Electron Lett, 1987; 23(1): 29~ 30
- 2 季家镛,冯莹. 光学学报, 1997; 17(3): 373~ 375
- 3 Jiang P, Zhou F, Laybourn P J R *et al.* IEEE Photo Tech Lett, 1992; 4(8): 881~ 883
- 4 Koshiba M, Hayata K, Suzuki M. IEEE Micro Theory Tech, 1984; MTT 32: 587~ 593
- 5 Fukuma M, Noda J. Appl Opt, 1980; 19: 591~ 597
- 6 Clark D F, Nutt A C G, Wong K K. J A P, 1983, 54(11): 6218~ 6220
- 7 Hocker G B, Burns W K. Appl Opt, 1977; 16(1): 113~ 118

作者简介:冯莹,女,1956年7月出生。副教授。现主要从事集成光波导器件技术研究。