

文章编号: 0258-7025(2001)04-0362-03

指向耦合器型 TE/TM 模分离器结构 参数优化设计

李凤敏

(天津职业技术学院 天津 300222)

胡鸿璋

(天津大学理学院 天津 300072)

提要 采用简单的理论模型,对折射率呈渐变分布的钛扩散 LiNbO₃ 波导进行结构优化,得到模式分离的最佳结构参数,用光束传播方法(BPM 法)设计了有金属覆盖层的指向耦合器型 TE/TM 模分离器,偏振串音分别达到 -20.8 dB(TE 模)和 -21.3 dB(TM 模)。

关键词 模分离器, BPM 法, 偏振串音

中图分类号 O 43 ; TN 25 文献标识码 A

Optimum Design of TE/TM Mode Splitter of Directional-coupled Structure

LI Feng-min¹ HU Hong-zhang²

(¹Tianjin Vocational Technical Teachers' College, Tianjin 300222)
(²Department of Applied Physics, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract Based on a simple theoretical model for Ti in diffused LiNbO₃ optical waveguide with graded-index distribution, the optimal configuration parameters for TE/TM mode splitter of directional-coupled structure with metal clad have been obtained by using the beam propagation method. The theoretical crosstalk is less than -20.8 dB(TE mode) and -21.3 dB(TM mode) for $\lambda = 1.523 \mu\text{m}$.

Key words mode splitter, beam propagation method, polarization crosstalk

1 引 言

模分离器是相干光测量^[1]和光纤通讯系统波分复用技术中不依赖于偏振的波长滤波器^[2]的必不可少的部分,它的研制成功对于提高光纤通讯系统的容量和相干光的测量有十分重大的意义。

本文采用的指向耦合器型 TE/TM 模分离器^[3]是基于耦合模原理设计的,同时利用两个分支波导的非对称性来实现无源结构。该模分离器由于在一个分支波导的耦合区覆盖了金属层,并在芯区与该覆盖层之间增加了低折射率的缓冲层,理论上可以得到较低的偏振串音,但计算却相当复杂。

本文通过简单的理论模型——等效矩型波导代替折射率渐变分布的二维沟道波导,通过参数的优化,简化了计算过程,得到了较好的计算结果,对 $\lambda = 1.523 \mu\text{m}$, TE, TM 模的偏振串音分别为 -20.8 dB

及 -21.3 dB。

2 器件的结构与原理

金属覆盖层指向耦合器型 TE/TM 模分离器首次是由 Mikami^[4]提出的。在一个分支波导上覆盖金属层能有效地改变波导传播常数的实部和虚部,而且这种改变对 TM 模远大于 TE 模。这种模分离器的一个重要特征就是:尽管覆盖金属层的分支波导对 TM 模有很高的吸收,但由于器件的非对称性有效地抑制了 TM 模的耦合,因此 TM 模的实际损耗是很小的。同时为了进一步抑制 TM 模的偏振串音,在波导与金属层之间增加了低折射率的缓冲层。

指向耦合器型 TE/TM 模分离器的结构如图 1 所示,在耦合区它由两支间隙为 w_3 的平行钛扩散 LiNbO₃ 波导构成,在其中一支波导上覆盖有金属层,在金属层下面有一低折射率的缓冲层 Al₂O₃。同时为了减小弯曲损耗,波导的输入与输出端与直波

导之间采用余弦连接^[5]。光从端口①入射,端口③为 TE 模的输出端,端口④为 TM 模的输出端。图中 w_1, w_2 为两波导的宽度, w_3 为耦合区两波导间隙的宽度, g_s 为耦合区长度。模分离器中央耦合区的剖面如图 2 所示,图中 h 为缓冲层厚度。

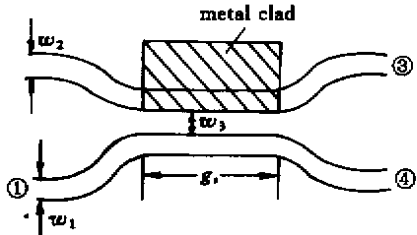


图 1 指向耦合器型模分离器结构图

Fig.1 Schematic of directional-coupler splitter

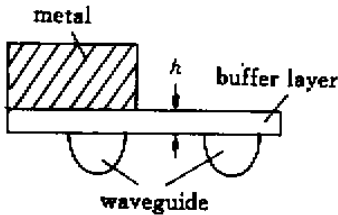


图 2 模分离器耦合区剖面图

Fig.2 Cross-section of coupling area of the splitter

本文所设计的模分离器中,不论是耦合区部分的普通光波导,还是耦合区内覆盖金属及缓冲层的光波导,其折射率均为二维渐变分布^[6],同时由于金属具有复折射率,所以波导的模折射率满足复数域内的超越方程,这给求解带来了极大的麻烦。我们采用等效矩形波导利用有效折射率^[7]法,将二维问题转化为一维问题。对于覆盖金属层的光波导的模折射率,根据具有复折射率的多层光波导的改善的解析方法^[8],可以比较方便地求出。

偏振串音是模分离器的重要性能指标,它反映了 TE, TM 模的分离程度,对图 1,图 2 所示的模分离器,偏振串音 η 的定义式为

$$\eta_{TE} = 10 \lg \frac{P_3}{P_3 + P_4} \quad (1)$$

$$\eta_{TM} = 10 \lg \frac{P_4}{P_3 + P_4} \quad (2)$$

其中 P_3, P_4 分别指从端口③④出射的光功率。计算 η_{TE} 时,从端口入射的为 TE 模,计算 η_{TM} 时,从端口入射的为 TM 模。根据文献[9]中基于快速傅里叶变换的 BPM 法,计算出波导中 TE 及 TM 模的光场分布和传输情况,再由(1)式和(2)式分别计算

TE, TM 模的偏振串音。

3 参数设计

对于上述结构的模分离器,影响其偏振串音的因素很多,比如扩散工艺条件、两个分支波导的宽度、缓冲层的材料与厚度、耦合区波导的间隔以及耦合区的长度等。但计算表明,对 TE, TM 模偏振串音影响最明显的是缓冲层的厚度、两波导的间隔及耦合区的长度。在实际计算中,首先给出上述三个参数的合理预估区间,采用 John W. Bandler 等提出的最优化 Razor Search^[10]方法确定三个参数的优化取值。图 3 及图 4 分别给出了利用 BPM 法,在其他两个参数确定的情况下,TE, TM 模的透过率随另一个参数变化的关系曲线。采用的计算参数为: $\lambda = 1.523 \mu\text{m}$, $n_{Al} = 1.415 - i15.65$, 缓冲层 Al_2O_3 $n = 1.767$, 上下分支波导的宽度 $w_2 = 6.6 \mu\text{m}$, $w_1 = 6.4 \mu\text{m}$ 。取样长度为 $150 \mu\text{m}$, 取样点数为 $N = 128$ 。

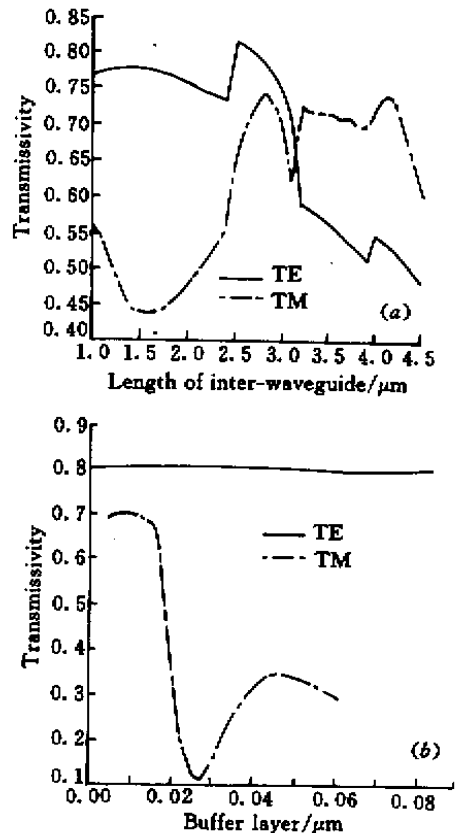


图 3 透过率随波导间隔(a)和缓冲层厚度(b)的变化关系

Fig.3 Variation of transmissivity with waveguide gap(a) and with the thickness of buffer layer(b)

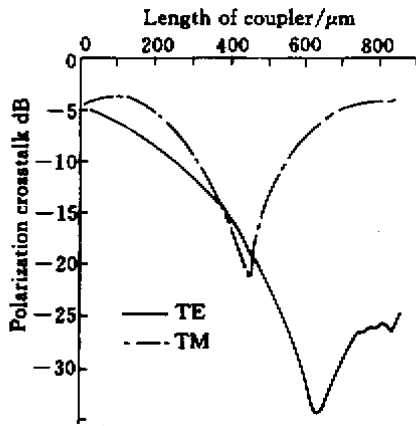


图4 偏振串音随耦合区长度的关系

Fig.4 Variation of polarization crosstalk with coupler length

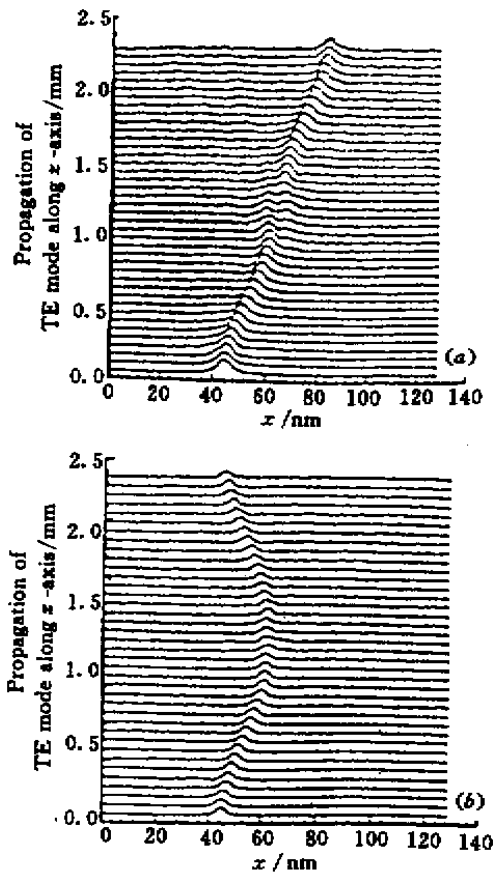


图5 TE模(a)和TM模(b)的传播过程

Fig.5 Propagation of TE mode(a) and TM mode(b)

从图中可以看出,对应缓冲层厚度 $h = 90 \text{ nm}$, 耦合区波导间隔 $w_3 = 2.6 \text{ μm}$, 耦合区长度 $g_s = 450 \text{ μm}$ 时,对应 TE, TM 模有最低的偏振串音分别为 -20.8 dB 及 -21.3 dB , 在上述参数给定的情况下,得到了 TE, TM 模的传播过程,如图 5(a)(b)所示。

4 结 论

本文采用等效矩形波导模型,利用有效折射率法将二维问题转化为一维问题,从而简化了复杂的计算,并且得到了模分离器比较理想的设计结果,对 TE 模, TM 模的偏振串音分别达到 -20.8 dB 及 -21.3 dB 。

参 考 文 献

- 1 B. Glance. Polarization independent coherent optical receiver. *J. Lightwave Technol.*, 1987, **5**(2): 274 ~ 276
- 2 David A. Smith, Jave E. Baran, John J. Johnson. Integrated optic acoustically-tunable filter for WDM networks. *IEEE J. Selalen Arens in Comm.*, 1990, **8**(6): 1151 ~ 1159
- 3 Andreas Neyer, Winfried Mevenkamp, Lars Thylen *et al.*. A beam propagation method analysis of active and passive waveguide crossings. *J. Lightwave Technol.*, 1985, **3**(3): 635 ~ 642
- 4 O. Mikami. LiNbO₃ coupled-waveguided TE/TM mode splitter. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**(7): 491 ~ 493
- 5 Pao-lo Liu, Bing-jin Li, P. J. Cressman *et al.*. Comparison of measured loss of Ti: LiNbO₃ channel waveguide bends. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1991, **3**(8): 755 ~ 756
- 6 Jin Feng, Zhu Guang. TE₀ mode polarizer of Ti: LiNbO₃ optical waveguides at 1.5 μm wavelength. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1993, **13**(1): 62 ~ 67 (in Chinese)
- 7 Fang Junxin, Cao Zhuangqi, Yang Chuangzi. The Physical Foundation of Optical Waveguide Technical. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 1988 (in Chinese)
- 8 Hu Hongzhang, Zhao Ci, Cheng Gang. An improved method for the exact analysis of multilayer optical waveguide with complex dielectric constants. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1997, **17**(8): 968 ~ 972
- 9 M. D. Feit, J. A. Fleck, Jr.. Light propagation in graded-index optical fibers. *Appl. Opt.*, 1978, **17**(24): 3990 ~ 3998
- 10 John W. Bandler, Patrick A. Macdonald. Optimization of microwave networks by razor search. *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, 1969, **MIT-17**(8): 552 ~ 562