

# 交叉型 TE/TM 模分离器的研制

何希红 胡鸿璋 戴和义 赵 慈  
(天津大学应用物理学系 天津 300072)

**提要** 采用光束传播法(BPM)计算了交叉型 TE/TM 模分离器的偏振串音(crosstalk)。通过结构参数的优化,理论计算的偏振串音为-23.7 dB(TM)和-22.8 dB(TE)。同时制成相应的器件,测试结果表明,理论计算与实验是一致的。

**关键词** 集成光学,模分离器,钛扩散

## 1 引 言

模分离器是相干光测量<sup>[1]</sup>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<sup>[2]</sup>的必不可少的部分,它的研制成功对于相干光的测量,尤其对于提高光纤通讯系统的容量有十分重要的意义。

模分离器大体上分为两类,一类是有源器件<sup>[3]</sup>,它需要外加电压来改变波导层的折射率,从而改变模传播情况,实现模的分离,这样不仅增加了工艺难度,而且集成度也大大降低。另一类是无源器件<sup>[4~7]</sup>,这类器件按其结构分为三种。第一种是交叉型<sup>[4]</sup>,它的特点是作用区为交叉状,结构比较简单,工艺难度小,但是影响偏振串音的因素较多,所以要优化结构参数比较困难。第二种是 Y 结型<sup>[5~6]</sup>,它又分为有间隙<sup>[5]</sup>和无间隙<sup>[6]</sup>两类,其特点是只有一个入射端口,而出射端是两个,工艺难度不大,但往往偏振串音较大。第三种是指向耦合器型<sup>[7]</sup>,这类器件是根据模间耦合原理设计的,可以达到很低的偏振串音,但工艺难度大,不易制作。

国内对模分离器的研究较少。九四年我们科研组提出具有间隙结构的 Y 型模分离器<sup>[5]</sup>。本文设计并制作了另一种模分离器,即交叉型模分离器。通过结构参数的优化,理论计算的偏振串音可达-23.7 dB(TM),-22.8 dB(TE)。

## 2 原理与器件的设计

模分离器的结构如图 1 和图 2 所示,图 1 是整体结构图,图 2 是交叉区亦即作用区的放大示意图。图中  $w$  为波导宽度, $L$  为作用区长度, $\alpha$  为交叉角。由图 1 容易得到  $L = w / \sin(\alpha/2)$ ,图 1 中 ①,② 是两支入射端口,③,④ 是出射端口,整个器件是由两个 Y 结耦合器和一个作用区构成。两个 Y 结所溅射的钛膜厚度是相同的,而作用区所溅射的钛膜比较厚,是分两次溅射制成的。高温下扩散后,Y 结的每支波导都成为单模波导,而作用区则是双模波导。

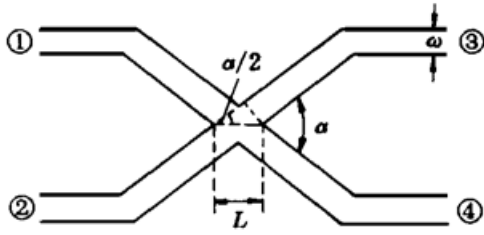


图1 模分离器的整体结构图

Fig.1 Schematic of the crossing splitter

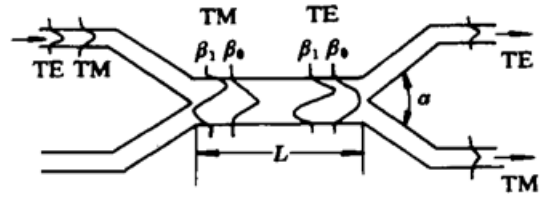


图2 交叉区的放大示意图

Fig.2 Mode propagation in the intersection area

模分离器的作用原理可以用双模干涉理论来解释:光波从端口①或②入射后,只有一个模式(基模)在波导中传播。进入作用区后,基模还激励起一阶模,这样作用区中就同时传播着基模和一阶模两个模式,它们的传播常数分别为  $\beta^0$  和  $\beta^1$ 。基模和一阶模是相干的,在作用区传播时二者要发生干涉。当满足以下条件<sup>[4]</sup>

$$(\beta_{TE}^0 - \beta_{TE}^1)L = n\pi \quad n = 1, 2, 3\cdots \quad (1)$$

$$(\beta_{TM}^0 - \beta_{TM}^1)L = m\pi \quad m = 1, 2, 3\cdots \quad (2)$$

而且

$$|n - m| = 2k - 1 \quad k = 1, 2, 3\cdots$$

时,TE 模的基模和一阶模在作用区末端发生相长或相消干涉;同时,TM 模的情况正好相反——发生相消或相长干涉。这样 TE, TM 模光波就分别从端口③, ④出射,从而实现了模分离。实际设计制作器件时,为了尽量减小作用区长度  $L$  和降低工艺难度,一般使  $k = 1$  且  $m = 1$  或 2。模分离器的重要性能指标是偏振串音,它反映了 TE, TM 模分离的程度。对图 1, 2 所示的模分离器,偏振串音  $\eta$  (crosstalk) 的定义式为

$$\eta(\text{TE}) = -10\lg \frac{P_3}{P_3 + P_4} \quad (3)$$

$$\eta(\text{TM}) = -10\lg \frac{P_4}{P_3 + P_4} \quad (4)$$

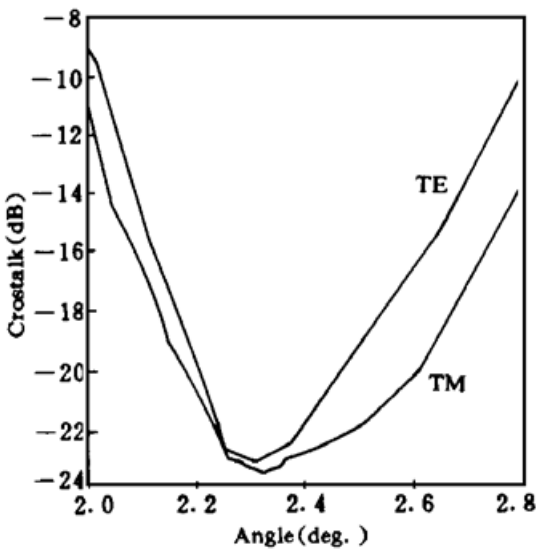


图3 理论计算得到的 TE, TM 模的偏振串音随交叉角  $\alpha$  变化的关系图

Fig.3 Crosstalk of different crossing angles

其中  $P_3, P_4$  分别指从端口③, ④出射的光功率。下面我们利用 BPM 法<sup>[8]</sup>计算波导中的光场分布,从而得到从端口③, ④出射的光功率,再由(3)式和(4)式分别计算得 TE, TM 模的偏振串音。

影响器件的偏振串音的因素有以下几个方面:  
 (1) 交叉角  $\alpha$ ; (2) 第一次溅射的钛膜厚度  $\tau_1$ ; (3) 第二次在作用区溅射的附加的钛膜厚度  $\tau_2$ ; (4) 扩散时间  $t$ 。计算表明,对偏振串音影响最明显的参数是交叉角  $\alpha$ ,而  $\tau_1, \tau_2, t$  的影响不如  $\alpha$  明显,再者  $\alpha$  的变化又直接改变  $L$  的大小,故此,  $\alpha$  是交叉型模分离器的最重要的结构参数。另外,除了上面的四个参数外,实际设计制作器件时还要考虑波导的宽度  $w$  和扩散温度等。如此众多的因素,只有从最重要的参数出发经过综合分析才能得到最佳工艺参数组合。首先,为

了得到单模波导, 并考虑器件最终要与单模光纤的芯径相匹配, 我们选择波导的宽度为  $w = 6.0 \mu\text{m}$ , 并确定扩散温度  $T = 1050^\circ\text{C}$ , 扩散时间  $t = 8.5 \text{ h}$ 。在此条件下, 我们用 BPM 法计算了当光波长  $\lambda = 1.152 \mu\text{m}$ ,  $\tau_1, \tau_2$  分别取不同值时偏振串音随交叉角  $\alpha$  变化的曲线, 再考虑 TE, TM 模光波的透过率后确定  $\tau_1 = 40 \text{ nm}$ ,  $\tau_2 = 44.5 \text{ nm}$ , 在前面的参数都取定的情况下理论计算得到的偏振串音随交叉角  $\alpha$  变化的曲线如图 3 所示。由图 3 可以看出  $\alpha = 2.325$  时, TE, TM 模的偏振串音都有较理想的值:  $-23.7 \text{ dB(TM)}$ ,  $-22.8 \text{ dB(TE)}$ 。

### 3 器件制作工艺和测试结果

我们制作的模分离器选用  $x$  切  $\text{LiNbO}_3$  晶体作基底材料, 因为这种切向的  $\text{LiNbO}_3$  晶片抑制  $\text{Li}^+$  外扩散能力强, 从而防止寄生波导的产生。钛的溅射分两次完成, 先在  $Y$  结和作用区溅射相同厚度的钛膜, 再在作用区溅射第二层钛膜, 之后放入扩散炉, 在  $1050^\circ\text{C}$  下扩散  $8.5 \text{ h}$ , 最后将器件的两端面抛光就得到合乎要求的模分离器。

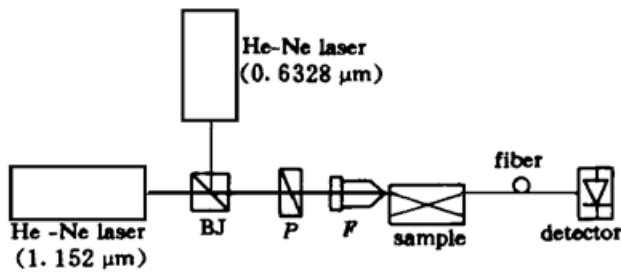


图 4 测量模分离器的偏振串音的装置图

Fig. 4 Experimental set-up for the measurement of crosstalk

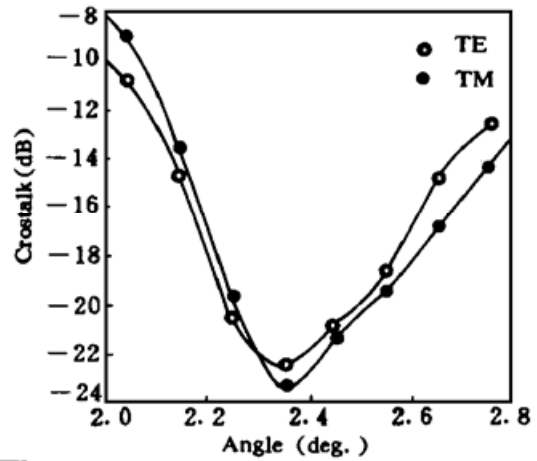


图 5 实验测量得的 TE, TM 模随交叉角  $\alpha$  变化的关系图(○, ●为测量数据点)

Fig. 5 Crosstalk of the mode splitter versus intersecting angle

为验证理论计算的结果, 我们制作了交叉角  $\alpha$  不同的一系列模分离器来测量不同交叉角下的偏振串音的值。实验测试装置如图 4 所示, 从 He-Ne 激光器发出波长为  $1.152 \mu\text{m}$  的光束, 通过合束器  $BJ$  与  $0.6328 \mu\text{m}$  的红光合成一束, 再通过偏振镜  $P$ , 经显微物镜  $F$  会聚到模分离器的入射端口, 从模分离器出射的光用光纤导入探测器。光路中加入  $0.6328 \mu\text{m}$  的可见光是为了便于调整光路。用光纤耦合出射光可以提高实验系统的稳定性和结果的可靠性。测量时, 仔细调节装载光纤的平台使波导与光纤芯径精确对准。分别测出通过端口③, ④出射的光功率, 利用(3)式和(4)式得到 TE, TM 模的偏振串音。图 5 给出了实验测量的偏振串音随  $\alpha$  变化的曲线, 比较图 5 和图 3 可以看出实验结果与理论计算基本相符。

致谢 在器件制作时得到航天部 8358 所的大力支持, 在此表示衷心感谢。

### 参 考 文 献

1 B. Glance. Polarization independent coherent optical receiver. *J. Lightwave Technol.*, 1987, **LT-5**: 274

~ 276

- 2 David A. Smith, Jave. E. Baran, John, J. Johnson. Integrated optic acoustically-tunable filter for WDM networks. *IEEE. J. Seleted Areas in communications*, 1990, **8**(6) : 1151~ 1159
- 3 Masamitsu, Masuda, Garlam Yip. An optical TE-TM mode splitter using a LiNbO<sub>3</sub> branching waveguide. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **37**(1) : 20~ 22
- 4 A. Neyer. Low-crosstalk passive polarization splitters using Ti : LiNbO<sub>3</sub> waveguide crossings. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **55**(10) : 927~ 929
- 5 Bing Yuan, Xiaohong Song, Hongzhang Hu. A TE-TM mode splitter on LiNbO<sub>3</sub> using an asymmetric Y-junction with a gap region. *Opt. Commun.*, 1994, 107 : 205~ 207
- 6 Jos J. G. M. van der Tol, Jan H. Laarhuis. A polarization splitter on LiNbO<sub>3</sub> using only Titanium Diffusion. *J. Lightwave Technol.*, 1991, **LT-9**(7) : 879~ 886
- 7 Amalia N. Miliou, Ramakant Srivastava, Ramu V. Ramaswamy. A 1.3 μm directional coupler polarization splitter by ion-exchange. *J. Lightwave Technol.*, 1993, **LT-11**(2) : 220~ 225
- 8 郑 能, 蔡伯荣, 陆荣鑫. 用光束传播法分析无间距方向耦合器和波导弯曲损耗. *中国激光*, 1990, **17**(8) : 459~ 463

## Design and Fabrication of an Optical TE/TM Mode Splitter Using Ti : LiNbO<sub>3</sub> Waveguide Crossings

He Xihong   Hu Hongzhang   Dai Heyi   Zhao Ci

(*Department of Applied Physics, Tianjin University, Tianjin 300072*)

**Abstract** The polarization crosstalk of a TE/TM mode splitter based on a Ti:LiNbO<sub>3</sub> waveguide crossing is deduced by using a beam propagation method(BPM). Optimizing the configuration of the device, the theoretial crosstalk is less than - 23.7 dB(TM) and - 22.8 dB(TE). The crosstalks of developed splitters have been measured, and the experimental results are consistent with theory.

**Key words** integrated optics, mode splitter, Ti difussion