

Mach-Zehnder 条形光波导开关传输光场的优化计算^{*1}

王超燕, 任一涛, 孟 荣, 杨贵荣

(云南大学 物理科学技术学院 物理系, 云南 昆明 650091)

摘要:结合有效折射率法和有限差分光束传播法,实现对三维光波导结构计算的降维处理,运用二维有效折射率——有限差分光束传播方法(EI-FD-BPM)计算 Mach-Zehnder 光波导开关的传输光场;通过比较不同的光波导结构,优化得到具有较高输出能量的条形光波导光开关及其最佳的结构设计参数(横截面尺寸,器件结构及其尺寸等).表明用二维 EI-FD-BPM 方法代替三维有限差分光束传播(FD-BPM)方法进行光波导器件设计计算是简便可行的,能有效地减少计算量,节约计算时间,2 个方法彼此间的结果差异(对小尺寸光波导结构)在 1.5% 以内,该方法可在具有较高的计算精度条件下为光波导器件的制备设计提供理论依据.

关键词:Mach-Zehnder 光开关;有效折射率法;有限差分光束传播法;光波导

中图分类号:O 482 **文献标识码:**A **文章编号:**0258-7971(2011)01-0045-06

随着信息高科技时代的到来,数据、图像、声音等信息资料的传递量剧增,普通信息传输网络的容量正逐渐接近其极限,全光网成为未来光通信网络发展的必然趋势.光开关作为实现全光网络的关键器件,担负着引领信号并把信息导向不同目的地的作用,在现代光通信系统中的地位日益重要,不同结构的光开关已在网络的自动保护倒换、网络监控、核心光网络的光交叉连接(Optical Cross Connect, OXC)、光分插复用(Optical Add/Drop Multiplexer, OADM)等重要领域得到广泛的应用.

在众多的光开关中,光波导光开关^[1-3]因其体积小、速度快、易于集成并与其它光器件耦合得到了众多研究者的青睐, Mach-Zehnder 光波导开关就是其中的一种较典型的结构形式.同时, Mach-Zehnder 型光波导结构^[4-5]还被广泛应用于调制器、光开关、波分复用器、相位转换器等光器件中.在设计、开发新型光波导开关及其它光波导器件时,需要就光器件对光的约束能力,光束在光器件结构中的传输情况做出分析,据此预判和评估光器件结构设计的合理性及其改进的方向.因而需要计

算光波导结构中光传播模式(导模)的电磁场分布,模拟特定导模在该结构传输时光场的分布和变化.随着光波导器件集成度的提高,功能的增强,器件的尺寸不断缩小,结构日益复杂,传统的数值模拟方法已显现出其局限及其低效能.

光束传播法^[6-8]是目前较优越的光波导器件的分析方法,具有简单方便、准确性高等特点.本文借助有效折射率法^[9-12],将三维光波导计算问题转换为二维进行计算,使用有限差分光束传播法计算模拟 Mach-Zehnder 光波导开关的传输性能及开关特性,获得了设计 Mach-Zehnder 光波导开关的最佳结构参数.在保证计算结果精度的条件下,极大地节约了计算的时间,节约了内存及其它计算硬件设备;可减少大量的器件制造和测试工作量,缩短光器件的研发周期,大大降低光器件的开发成本.

1 理论基础

光波导器件中的光电场分布满足 Helmholtz 方程,在直角坐标系中(如图 1),如果设 z 轴为光行

* 收稿日期:2010-06-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60867002);云南省应用基础研究重点项目资助项目(2007A0017Z).

作者简介:王超燕(1984-),女,河北人,硕士生,主要从事光学计算和设计的研究工作.

通讯作者:任一涛(1960-),男,云南人,教授,主要从事光学、光波导及其器件、光纤和光电子技术方面的研究和教学. E-mail: ytren@ynu.edu.cn.

进的传播方向,则电场可以表示为: $\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} + \frac{\omega^2}{c^2} n^2 E = 0$. 取沿 z 方向传播的光电场为 $E(x, y, z) = \phi(x, y, z) \exp(-j\beta z)$, 其中传播常数 $\beta = k_0 n_{\text{eff}}$, 这意味着 $\phi(x, y, z)$ 和传输距离无关, 或是 z 的缓变函数. 把 $E(x, y, z)$ 带入 Helmholtz 方程, 则有

$$2j\beta \frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + k_0^2 (\varepsilon_r - n_{\text{eff}}^2) \phi = 0, \quad (1)$$

真空中的波矢为 $k_0 = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$, ε_0 与 μ_0 分别为真空介电常数和真空磁导率; ε_r 为相对介电常数. 利用慢变包络近似条件 $\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \cong 0$, 可将(1)简化为

$$2j\beta \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + k_0^2 (\varepsilon_r - n_{\text{eff}}^2) \phi = 0. \quad (2)$$

以(2)式为基础, 将光沿整个光波导结构传输的求解问题分解成逐段求解, 即所谓光束传播法 (Beam Propagation Method, BPM). 假设在每一段传输距离中的介质折射率是均匀的, 每一段计算结束时予以修正, 只要选取的距离足够小, 选取恰当的边界条件, 用此方法计算光波导中光传播问题时的精度是可以保证的.

1990年 Y. Chung 等人结合有限差分技术发展了三维光束传播法 (3 Dimensional Finite difference Beam Propagation Method, 3D FD - BPM) [13]. 用三维有限差分光束传播法计算光波导中的传播问题时, 首先得根据光波导器件的横截面结构选择合适的计算区域, 并把计算区域分成很多栅格, 每一格内的场用差分方程来表示, 使计算区域离散化, 同时在加入边界条件 (常用透明边界条件 [14]) 之后便可以算出整个横截面的光场, 沿光传播的路

径重复迭代计算直至最终得到整个光波导结构中的光场及其分布. 由于 3D FD - BPM 方法是用三维 (x, y, z) 空间内的电场分布描述导光的性能, 虽可以精确模拟光波导器件的传输特性, 对于结构复杂、尺寸大、且需要较小步长的光波导器件模拟, 每一步的计算量很大, 要占用大量内存, 从而对计算机硬件设备的要求较高; 特别在用普通双核台式计算机计算时耗时很长, 不时导致普通计算机停运, 计算数据丢失.

为了提高计算效率, 并保证计算的精度, 我们采用有效折射率 (Effective Index Method, EIM) 的方法, 对条形光波导进行降维处理以简化计算. 具体通过计算条形光波导的有效折射率, 把原来三维的光波导结构简化成沿 y 方向 (即波导厚度方向) 叠加的 3 个等效平面波导, 用二维平面内的场分布描述三维光波导的传输性能, 实现对复杂问题的简化处理, 缩短计算时间. 对于光波导来说, 有效折射率意味着光波导能够在薄膜内传输导模的一个范围, 超出这个范围导模将变成辐射模和消失模. 对于图 1(a) 的光波导结构, 利用有效折射率法得到如下的本征方程,

$$\gamma_2 H = 2 \arctan \left(\frac{n_2^2}{n_1^2} \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \right) + q\pi, \quad (3)$$

其中 $\gamma_1 = k_0 \sqrt{n_{\text{eff}}^2 - n_1^2}$, $\gamma_2 = k_0 \sqrt{n_2^2 - n_{\text{eff}}^2}$, $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$. λ_0 为入射光波波长, n_1 是对称条形波导包层的折射率, n_2 是条形波导芯区的折射率; 对于基模 ($q = 0$), 代入(3)式可算出芯区的有效折射率 n_{eff}^1 ; 对于一阶模 $q = 1$ 时, 即得包层的有效折射率 n_{eff}^2 . 降维处理后得到的二维平面波导结构如图 1(b) 所示.

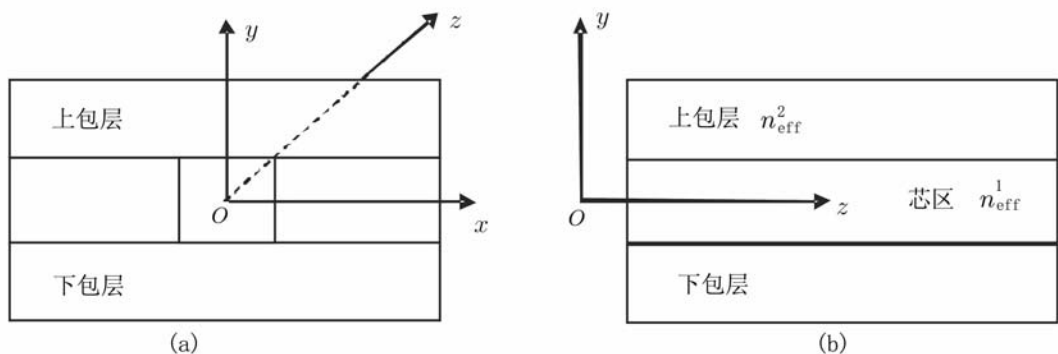


图 1 条形光波导横截面示意图 (a) 及其有效折射率法等价的平面波导结构 (b)

Fig. 1 The cross - section of channel waveguide (a) and its equivalent planar waveguide used in the effective index method (b)

2 计算结果及分析

为评估 2D EI - FD - BPM 方法可能对计算结果带来的误差影响,以及降维后使用 2D EI - FD - BPM 方法进行计算的可行性,我们以弯曲波导为例,使用同 1 台 2.4 MHz 双核计算机计算结果,比较 2D EI - FD - BPM 方法计算的结果与 3D FD - BPM 方法计算的结果之间的差异.典型的例子是,先用 3D FD - BPM 方法计算横截面如图 1(a) 所示的条形弯曲波导(平面形状如图 2)的传输特性,设条形波导的芯层折射率为 1.49,包层的折射率为 1.45,芯区宽度为 $4 \mu\text{m}$,芯区厚度为 $3.8 \mu\text{m}$,沿 z 方向的传播总长度为 $15389.60 \mu\text{m}$,输入端到输出端沿 x 方向分开的距离为 $2000 \mu\text{m}$,光波导的厚度在 y 方向;选取的计算区域(沿 x, y, z 3 个方向)为 $2015.00 \mu\text{m} \times 12.40 \mu\text{m} \times 15389.60 \mu\text{m}$,步长取 $0.157 \mu\text{m} \times 0.190 \mu\text{m} \times 0.100 \mu\text{m}$;计算得到弯曲波导输出端的出射光能量为 91.07% (相对于输入能量 100% 而言,不考虑光波导材料的吸收损耗),整个计算过程共耗时 36 h.

针对上述同一弯曲波导,保持光波导的一切条件和参数不变,改用 2D 方法计算弯曲波导的输出能量.在 x, z 平面上(如图 2),选取计算区域为 $2038.5 \mu\text{m} \times 15389.6 \mu\text{m}$,步长取 $0.53 \mu\text{m} \times 1.00 \mu\text{m}$,此计算过程用时不到 1 min,所得到的弯曲波导输出端出射的光能量为 90.49%;若缩小计算步长至 $0.36 \mu\text{m} \times 0.76 \mu\text{m}$,得到的出射光能量为 90.61%,计算时间则稍长一点;继续减小计算步长则有时会出现数据溢出或数据出错的情况.据此对比 3D FD - BPM 和 2D EIM - FD - BPM 方法计算得到的输出能量的结果,可见结合有效折射

率的 2D 有限差分光束传播法计算得到的结果与 3D 方法计算的结果间的差异可做到小于 1.5%.因此,用 2D EI - FD - BPM 模拟光波导器件的传输特性是可行的,恰当选择计算时的步长,配合所使用的计算设备,能得到与 3D FD - BPM 计算的结果几乎一致的结果,达到器件设计的精度要求,而只需要很短的计算时间.同时,为在计算中获得较高的精度,对同样的光波导结构,用 3D FD - BPM 方法必须取很小的步长,从而大大延长了计算的时间.使用 2D EI - FD - BPM 方法则可以在保证精度的条件下,可取较大的计算步长,极大地节约计算的时间以及降低对计算机硬件设施的依赖.因此,在随后的 Mach - Zehnder 光波导开关传输光场优化计算中便全部使用 2D 方法来进行模拟计算.

2.1 计算实例 在设计集成 Mach - Zehnder 光波导开关时,综合考虑光开关的工作性能、后期加工工艺和电极制作等因素,设计的基本要求是:①实现单模工作;②组成 Mach - Zehnder 干涉器的 Y 型分支波导的分开距离尽可能大(方便后续的调制电极制作);③整个光开关的长度尺寸尽量小(减少实际制作出的光波导损耗).

根据设计原则,在已选定光波导芯区折射率 ($n_2 = 1.3n_3$) 和包层材料的折射率条件下,保证光开关单模工作,且尽可能把光波导芯区的厚度增大并接近于正方形,以得到对称性好的基模光场分布,便于光开关与光纤等耦合时获得较高的耦合效率.由此计算得满足在工作光波长 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ 条件下的最佳条形波导的矩形截面(如图 3).

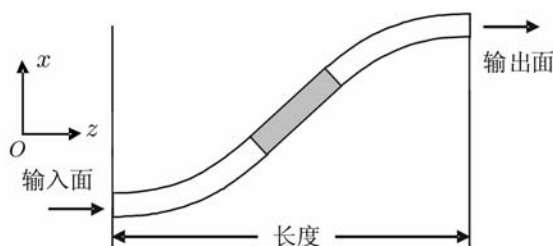


图 2 双圆弧中间加直波导型弯曲光波导结构图

Fig. 2 Bend waveguide structure (arc + straight waveguide)

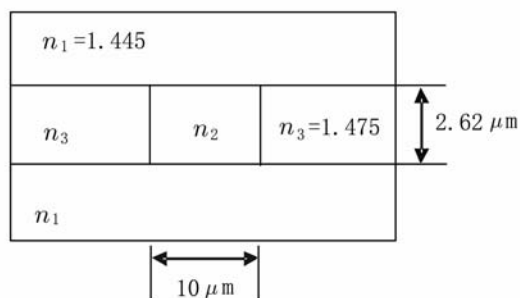


图 3 条形波导的矩形截面

Fig. 3 The cross - section of channel waveguide structure used in simulations

通过有效折射率的变换,采用二维平面波导的模场分布来描述三维光波导结构时,波导芯区的有效折射率为 1.468 29,包层的有效折射率为 1.445 49.

(1) 不同形式弯曲波导传输特性的优化计算

典型的 Mach-Zehnder 型光波导开关(如图 4)是由 2 个 Y 分支波导(其中一个反向)串联而成. Y 分支用于把光束分成 2 路,过渡到分离的 2 根直波导,然后汇合并输出. 由于波导的分叉及弯曲,会造成分支波导中导模模场的变形,与直波导中导模模场间发生失配,导致分支波导中传输能量的额外损失,因此在设计 Y 分支波导时,过渡波导的设计和优化是人们关注的焦点.

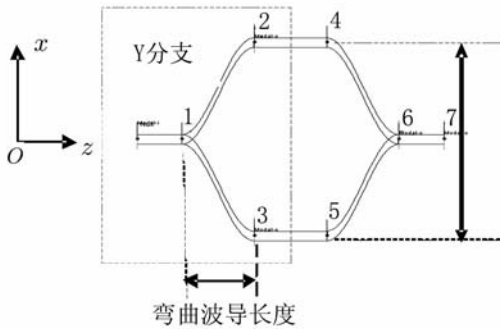


图 4 简单 Mach-Zehnder 型光波导开关结构图

Fig. 4 The simple structure of a Mach-Zehnder switch

过度 Y 分支可以分为直线型 Y 分支和弯曲型 Y 分支;既要保证光电场的高输出,又得到足够大的分支间距,对直线型 Y 分支来说所需要的尺寸太长,不符合设计要求而放弃. 而常用、又方便掩模制作的弯曲过度波导有 Sin_bend 型, Cos_bend 型, S_bend 型 3 类(如图 5). 在已优化的条形波导的矩形截面基础上,先对这 3 种弯曲波导进行优化计算. 根据模拟计算得到的弯曲波导输出能量的大小,在相同分支间距和相同长度时,发现随着弯曲波导长度的增加,分支角度减小,弯曲损耗逐渐减小,输出光能量逐渐增大;在弯曲波导长度相同的情况下,随着两臂分开距离的增加,损耗也越来越大,输出光能量逐渐降低. 计算得出,若分支间距相同($\text{offset} = 2100 \mu\text{m}$), Sin_bend 型、Cos_bend 型和 S_bend 型 3 类弯曲过度波导同得 40% 的输出光能量时,它们的长度分别是 $7\ 500$, $6\ 950 \mu\text{m}$ 和 $13\ 500 \mu\text{m}$. 表明如要获得相同的光能量输出, Cos_bend 型弯曲波导沿传播方向上的长度是这 3 类弯曲波导中最短的,因而便于降低光波导器件尺寸,提

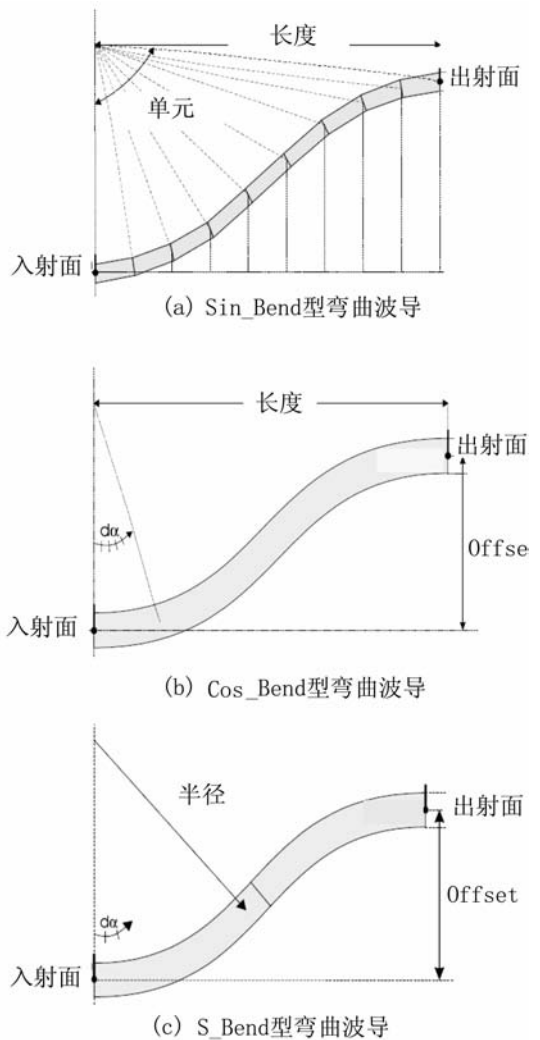


图 5 3 类不同形状的弯曲波导

Fig. 5 Three types of bend waveguides

高器件的集成度,由此选定 Cos_bend 型弯曲波导为构成光波导开关的分支波导结构.

(2) 耦合器型 Mach-Zehnder 光波导开关
整个耦合器型 Mach-Zehnder 光波导开关的平面结构如图 6 所示,输入光信号先经 Y 分支弯曲波导(Cos_bend 型)分成 2 路,再经直波导和同样的弯曲波导汇合后输出,设计中在位置 2,3 处设置位相控制单元,模拟实际工作时的相位改变,实现上下两臂光信号输出的转换或信号强度改变.

光开关的输出端经过一个定向耦合器和一段 Cos_bend 型弯曲波导分 2 路输出,这里特别增加的 Cos_bend 型弯曲波导使两输出波导分开足够距离($312.5 \mu\text{m}$),便于输出信号与光纤或其它光器件耦合,同时分离检测输出信号,避免其耦合造成信号的相互干扰. 在设定 Mach-Zehnder 光波导开

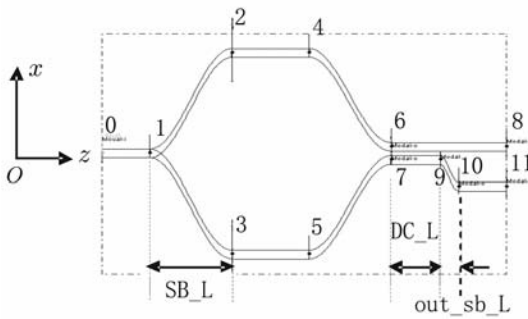
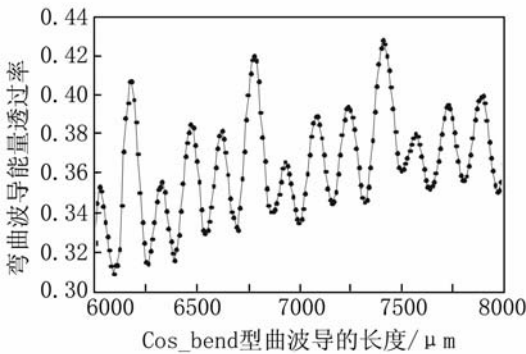


图6 耦合器型 Mach-Zehnder 光波导开关

Fig. 6 Coupling type Mach-Zehnder switch

关输入端两臂分开间距($2\ 000\ \mu\text{m}$, Cos_bend 型 Y 分支),直波导长度后(0→1 和 10→11 长度: $5\ 000\ \mu\text{m}$; 2→4 和 3→5 长度: $8\ 000\ \mu\text{m}$),对整个光波导开关进行模拟计算。

优化输入端弯曲波导长度 SB_L,对确定的 Cos_bend 型 Y 分支,在预定的分开间距附近($2\ 000\sim 2\ 300\ \mu\text{m}$)计算光波导传输基模的输出光能量,寻找获得最高输出能量(图 6 中位置 6,7 处的能量)的最短 Y 分支长度,典型的输出能量如图 7 所示。

图7 分开间距为 $2\ 000\ \mu\text{m}$ 的 Cos_bend 型弯曲波导能量输出Fig. 7 The output power from Cos_bend waveguide with $2\ 000\ \mu\text{m}$ separation

通过计算可知,随着 Mach-Zehnder 光波导开关两臂分开距离的增大,输出光能量随之减小,得到较大输出能量的 Y 分支长度增加。由图 7 还可看出, Cos_bend 型 Y 分支的输出能量随其长度且呈现一缓慢的周期性增长,相对输入光能量,输出的光能量超过 40% 的有 3 处,为降低开关尺寸,选取第 1 较大输出处的长度为 Y 分支的长度($6\ 180$

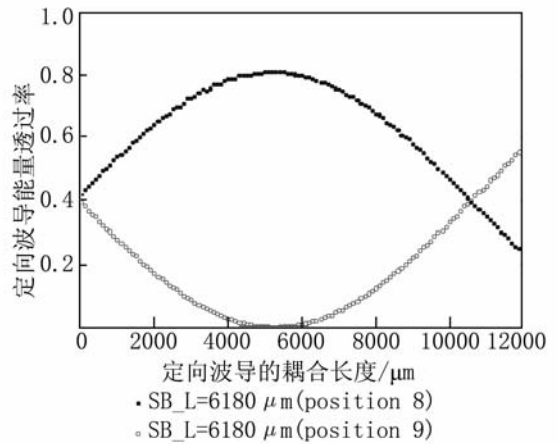


图8 两定向耦合直波导耦合输出能量随长度的变化

Fig. 8 The output power from the directional coupler

μm),此时在弯曲波导输出处(图 6 中位置 6,7 处)的能量值相等(41%)。

根据光波导加工条件许可,保证获得高质量、高耦合效率的定向直波导,两定向直波导间的间距定为 $2.5\ \mu\text{m}$,其输出能量随直波导长度呈周期性变化(如图 8)。取第 1 个峰值处的长度为两定向直波导的耦合长度($5\ 100\ \mu\text{m}$),可让光能量最大程度沿上臂输出(输出能量为 81.06%,图 6 中位置 8 处),这时下臂的输出能量几乎为零(输出能量为 0.03%,图 6 中位置 11 处)。若使下臂发生相位 90° 的变化,便能使光能量改由下臂输出;反之亦然,最终实现开关或调制功能(如图 9 所示)。整个耦合器型 Mach-Zehnder 光波导开关输出能量的模拟计算时间少于 2 min,此问题如改用 3D FD-BPM 方法并使用同一台计算机计算,耗时预计将超过 55 h,计算效率得以大大提高。

3 结论

本文通过运用二维 EI-FD-BPM 方法对 Mach-Zehnder 型光波导开关的传输光场进行了优化计算,与三维 FD-BPM 方法得到的计算结果相比,二维 EI-FD-BPM 方法和三维 FD-BPM 方法二者的结果非常接近,结果间的差异在 1.5% 以内,证明三维 FD-BPM 方法用二维 EI-FD-BPM 方法近似是可行的,计算结果是可靠的,精度能满足设计需要。通过合理选取计算网格和步长,优化计算,逐步降低计算误差,得到了较佳的光波导开关结构的设计参数。三维有限差分光束传播法在实际计算中遇到的最大困难是计算量过大,耗

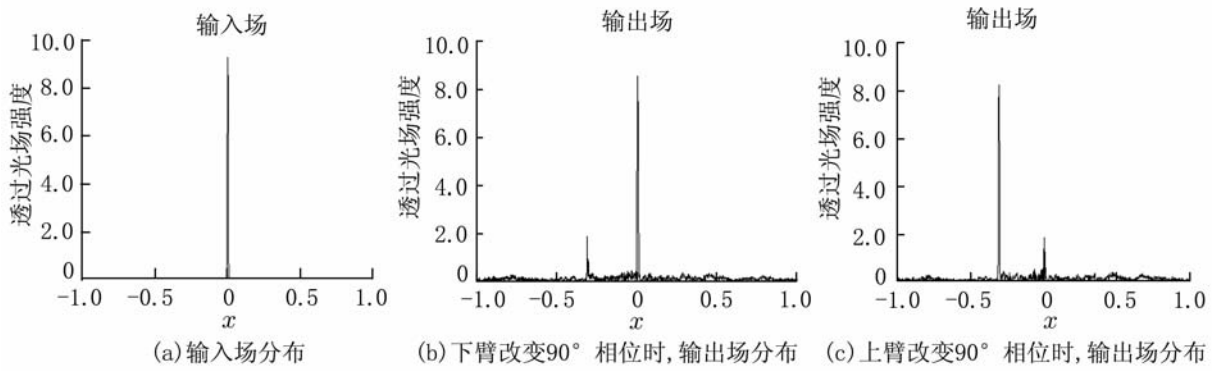


图 9 耦合型 Mach-Zehnder 光波导开关的光束传播场

Fig. 9 The transmission field of the coupling type Mach-Zehnder switch

费时间过长,一般情况下难以模拟计算尺寸稍大、结构稍为复杂的光波导器件. 本文结合有效折射率法将三维计算问题转换为二维问题进行计算,在计算小尺寸光波导器件的传输光场时获得了满意的计算精度,有效地减少计算量并极大地提高了计算效率,节约了计算时间,降低了对计算机硬件设备的要求. 实现对复杂问题的简化处理,缩短计算时间. 但通过用二维 EI-FD-BPM 方法进行降维处理,用二维平面内的场分布描述三维光波导的传输性能时,因二维光场失去了水平方向的约束,传播时光场发散在所难免,可以预见在计算大尺寸光波导器件时,误差将会增加.

参考文献:

- [1] YANG D, LI Y P, SUN F, et al. Fabrication of a 4×4 strictly nonblocking SOI switch matrix [J]. *Optics Communications*, 2005, 250:48-53.
- [2] XIA J S, YU J ZH, ZHANG T, et al. Low power 2×2 thermo-optic SOI waveguide switch fabricated by anisotropy chemical etching [J]. *Optics Communications*, 2003, 232:223-228.
- [3] MOOSBURGER R, PETERMANN K. 4×4 digital optical matrix switch using polymeric oversized rib waveguides [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1998, 10(5):684-686.
- [4] DAGENS B, JANZ C, LECLERC D, et al. Design optimization of all-active Mach-Zehnder wavelength converters [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1999, 11(4):424-426.
- [5] BATTIATO J M, STEGALL D B. Interferometric sensor method for writing dual fibre bragg gratings in Mach-Zehnder add/drop multiplexer [J]. *Electronics Letters*, 2005, 41(6):353-355.
- [6] CHUNG Y CH, DAGLI N. An assessment of finite difference beam propagation method [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1990, 26(8):1335-1339.
- [7] SCARMOZZINO R, OSGOOD R M. Comparison of finite-difference and Fourier-transform solutions of the parabolic wave equation with emphasis on integrated-optics applications [J]. *J Opt Soc Am A*, 1991, 8(5):724-731.
- [8] SCARMOZZINO R, GOPINATH A, PREGLA R, et al. Numerical techniques for modeling guided-wave photonic devices [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2000, 6(1):150-162.
- [9] CHIANG K S. Analysis of the effective-index method for the vector modes of rectangular-core dielectric waveguides [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1996, 44(5):692-700.
- [10] VELDE K V D, THIENPONT H, GEEN R V. Extending the effective index method for arbitrarily shaped inhomogeneous optical waveguides [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1988, 6(6):1153-1159.
- [11] 时尧成, 戴道铤, 何赛灵. 一种适用于任意折射率分布的等效折射率方法 [J]. *光学学报*, 2005, 25(1):51-54.
- [12] POGOSSIAN S P, VESCAN L, VONSOVICI A. The single-mode condition for semiconductor rib waveguides with large cross section [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1998, 16(10):1851-1853.
- [13] CHUNG Y CH, DAGLI N. An assessment of finite difference beam propagation method [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1990, 26(8):1335-1339.
- [14] HADLEY G R. Transparent boundary condition for the beam propagation method [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1992, 28(1):363-370.

出版社,2000.

气象出版社,1999.

[28] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:

The changes analysis of global potential temperature and height at tropopause

WANG Wei-guo¹, LIU Xiao-lu², FAN Wen-xuan¹, GUO Shi-chang¹,WANG Hao-yue¹, LI Ping¹, CHENG Jia-li¹, MA Zhi-min¹

(1. Department of Atmosphere Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Weather Modification Office of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

Abstract: Using the daily global data sets of temperature, pressure and geopotential height from 1948 to 2006, the global potential temperature and geopotential height at tropopause are calculated. The results show that the global potential temperature varies from 310 K to 380 K, maximal temperature occurs in subtropic and minimal appears in polar region. The spatial scale of potential temperature over land is small – scale and that over oceans is large – scale. From 1948 to 2006, tropopause potential temperature generally decreases in continental regions, rises in marine area, and from June to August, potential temperature declines significantly in Qinghai – Tibet Plateau and the east of the continental regions and the Antarctic, from December to February of following year it rises significantly at 30°S near the southern Indian Ocean and the South Pacific. The global tropopause height varies from 10 km to 17 km, maximal height occurs in subtropic and minimal appears in polar region. Tropopause geopotential height synchronously rises and decreases in the two hemispheres. Quasi – half – year phase differences exist between two hemispheres. The tropopause mostly show an upward trend in tropical and a downward trend in polar. Geopotential height generally decreases in continental regions, rises in marine area at tropopause.

Key words: tropopause; tropopause breakpoint; seasonal change; change in trend

* * * * *

(上接第 50 页)

Optimal calculations for the transmission field of Mach – Zehnder channel waveguide switches

WANG Chao-yan, REN Yi-tao, MENG Rong, YANG Gui-rong

(School of Physical Science and Technology, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Calculations for three – dimensional optical waveguides are successfully simplified into two – dimensional ones by combining the effective index method (EIM) with the finite difference beam propagation method (FD – BPM), and the optical transmission field of Mach – Zehnder switches is calculated and analyzed by two – dimensional effective index – finite difference beam propagation method (EI – FD – BPM). The structure parameters (e. g. the cross section of channel waveguide, the switch structure and its size) of Mach – Zehnder waveguide switches are optimized and a waveguide switch with higher transmission efficiency is achieved. It is demonstrated that the use of a two – dimensional EI – FD – BPM is feasible and easier instead of a three – dimensional FD – BPM, which the result difference from the two methods for the small waveguide structure is within 1.5%, and the calculations are reduced greatly, thus save time effectively. The approach provides theoretical guide for the designing and fabricating optical waveguide device at a high accuracy.

Key words: Mach – Zehnder optical switch; effective index method; finite difference beam propagation method; waveguides