

新型渐变折射率低损耗大角度Y分支器的研究

何晓薇

(中国民航飞行学院 四川 广汉 618307)

【摘要】针对集成光学中普通Y分支波导分支角度小,不利于集成的问题,提出了一种新型基于渐变折射率波导的低损耗大角度Y分支结构,经过理论分析和大量的有限差分光束传播法仿真,结果表明在分支角度为 10° 时辐射损耗为0.176 dB,与传统Y分支相比,新型Y分支器具有损耗小,结构简单的特点。

关键词 渐变折射率; Y分支; 集成光学; 有限差分光束传播法

中图分类号 TN253 文献标识码 A

Research on Novel Low-Loss Wide Angle Y Branches of Graded-Index Waveguides

He Xiaowei

(Civil Aviation Flight University of China Sichuan Guanghan 618307)

Abstract A new low-loss wide-angle Y branches is proposed based on the graded-index waveguides in this paper. The Results of theoretical analysis and the simulations by finite-difference beam propagation method (FDBPM) show that the radiation losses can be less than 0.18 dB even if a branching angle is as large as 10° . Compared with traditional Y branches, the new Y branches is characteristic with low losses and simple structure.

Key words graded index; Y branches; integrated optics; finite-difference beam propagation method

集成光学中的Y分支器在光调制器、光开关和光分路器等器件中广泛被用做光功率分配器,但当Y分支器的分支角度大于 3° 时,辐射损耗就大大增加;分支角度大于 10° 时,Y分支器损耗急剧增加,不能形成有效传输^[1]。为了改善分支角度过小而带来的器件长度过长,工艺制造困难等问题,人们设计了多种不同结构的低损耗大角度Y分支波导^[2~10]。文献[2]中设计的新型Y分支结构是在Y分支的耦合部分插入两个微棱镜,其折射率略大于波导的折射率,且随分支角度的增大而增大。这两个微棱镜起到了相位补偿的作用,使光功率被分到两个分支波导中。在分支角度为 10° ,Y分支长度为120 μm 时,光功率下降为入射时的83%。该结构的优点是理论模型简单,损耗低,但分支角度不能太大。基于此本文提出了一种新型的基于渐变折射率波导的Y分支器结构,利用有限差分光束传播法(Finite Difference Beam Propagation Method, FDBPM)得到的仿真结果表明在分支角度为 10° 时,Y分支器的辐射损耗为0.176 dB,即使在分支角度为 20° 时,辐射损耗仅为0.7 dB,与传统结构的Y分支器相比,在提高分支角度的同时,大大降低了辐射损耗。

收稿日期:2004-03-31

作者简介:何晓薇(1965-),女,硕士,副教授,主要从事电子技术方面的研究。

1 理论分析

1.1 光在渐变折射率波导中的传播

如图1所示, n_0 为波导中心的折射率, n_1 为波导两边的折射率, 且由 n_0 到 n_1 折射率逐渐减小。则光在 $x=0$ 平面沿 x 正方向入射时, 光会随着 x 的增加向 y 正方向和反方向偏转, 产生光散焦的现象。光的传播路径所满足的方程为

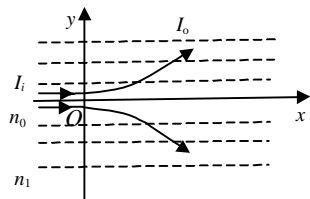


图1 光在渐变折射率波导中的传播示意图($n_0 < n_1$)

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{2n_0^2} \frac{dn^2(y)}{dy} \quad (1)$$

方程(1)所满足的边界条件为

$$y'(0) = 0 \quad (2)$$

假设图1中波导折射率仅随 y 变化, 关系式为

$$n^2(y) = n_0^2 + k|y| \quad (3)$$

式中 k 为常数, 其意义是折射率随 y 的变化率。将式(3)代入式(1)并结合边界条件式(2), 可得

$$|y| = \frac{k}{4n_0^2} x^2 + C \quad (4)$$

式中 C 为略大于 k/n_0 的常数, 光入射的位置 y 不同, 则 C 的值也不同。若取 $n_0=1.5$, $k=0.023$, $C=0$, 通过计算可知, 沿波导中心线入射的光线在 x 方向传播 $15 \mu\text{m}$ 后, 其传播方向相对于入射方向偏转了 4.386° 。如果合理设置折射率的分布, 利用光散焦现象可使光发生更大角度的偏转。

1.2 新型低损耗大角度Y分支器结构

基于上述光从介质的低折射率部分向高折射率部分传播会发生大角度偏转的现象, 可设计出如图2所示的新型低损耗大角度Y分支器结构。图中 d 为波导宽度, n_f 为波导折射率, n_0 为衬底折射率, a 为Y分支器的分支角度。为了应用上述分析结果, 在入射波导的末端添加两个宽度为波导宽度一半 $d/2$ 、长度为 L 的渐变折射率波导, 其折射率从 n_f 开始以垂直于波导的方向逐渐增加, 宽度为 d 的两个输出波导连接至输入波导和渐变折射率波导。当光在输入波导中传播到渐变折射率波导时, 在高折射率部分介质的作用下, 光被分成两部分以较大的分支角度分别进入两个输出波导。

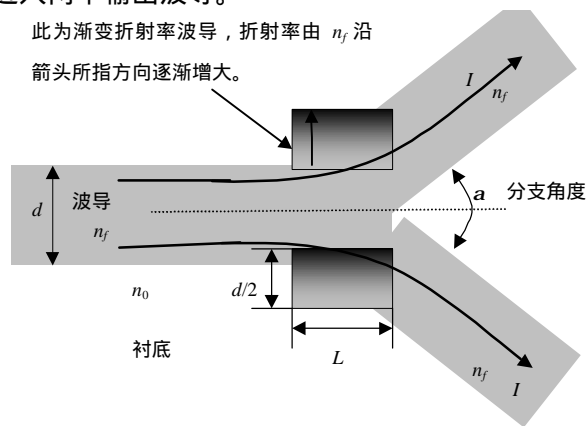


图2 新型低损耗大角度Y分支波导结构示意图

2 FDBPM仿真

为了验证基于渐变折射率的新型低损耗大角度Y分支器的性能, 可采用二维FDBPM程序进行仿真^[11]。在图2的结构下, 考虑 $n_0=1.48$, $n_f=1.50$, 波导宽度为 $3 \mu\text{m}$, 分支角度为 10° , 波导工作于单模状态。FDBPM的仿真参数为: 真空中波长 $\lambda = 1.5 \mu\text{m}$, z 方向步长 $\Delta z = 0.3 \mu\text{m}$, x 方向步长 $\Delta x = 0.3 \mu\text{m}$ 。在仿真过程中, 假定仿真的波导不存在散射、吸收等损耗, 只存在由Y分支引起的辐射损耗。仿真结果如图3所示, 折射率分布示意图如图3a所示, 令渐变折射率波导的折射率服从方程(3)的分布, 经过FDBPM程序的多次仿真优化和改

进后, 变化率的最优化值 $k=0.023/\mu\text{m}$, 渐变折射率波导的长度 L 最优化值为 $15\mu\text{m}$, 仿真结果如图3b所示, 输入电场强度的归一化分布如图3c所示, 输出电场强度如图3d, 归一化的单个分支波导中的损耗如图3e所示, 分支角度为 10° 的普通Y分支器仿真结果如图3f所示。通过计算可得分支角度为 10° 时普通结构Y分支器损耗为1 dB, 而新型结构Y分支器损耗仅为0.176 dB。

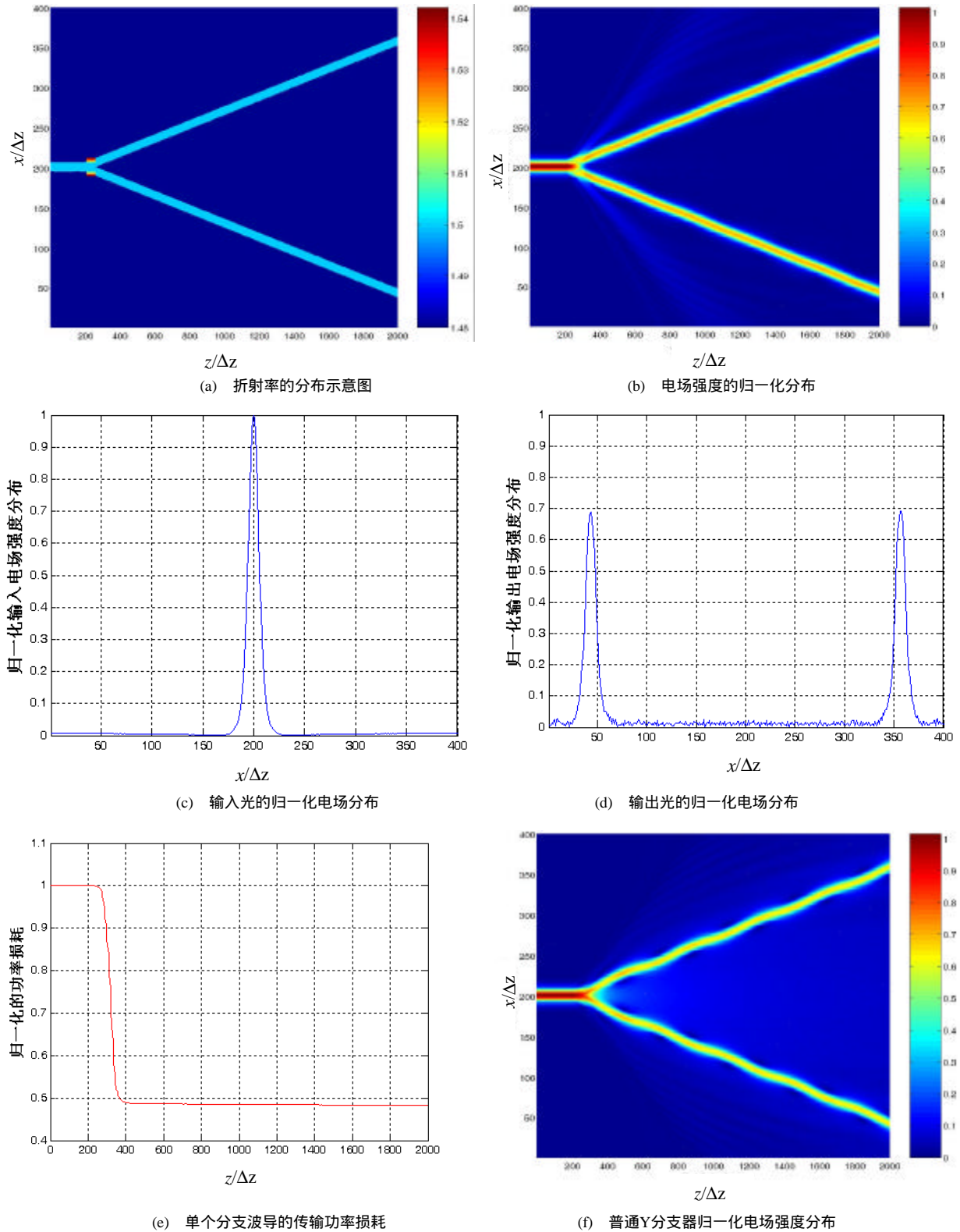


图3 分支角度 $\alpha=10^\circ$ 时的仿真结果

通过仿真表明影响新型Y分支器性能最关键的两个参数是渐变折射率波导的折射率变化率和渐变折射率波导的长度 L 。在折射率分布一定的情况下, L 的取值不能够太大,否则光功率能穿透渐变折射率波导辐射到衬底中去,但也不能够过小,否则光功率就不能被导引到输出波导中去,存在一个优化值。渐变折射率波导的折射率变化率同分支角度 α 相关, α 越大则要求折射率的变化率越大。例如当分支角度为 20° ,折射率变化率 $k=0.059/\mu\text{m}$,渐变折射率波导长度 $L=13.4\mu\text{m}$,Y分支器的损耗为0.7 dB。

3 结论

本文基于光在渐变折射率波导中的传播原理,提出了一种新型低损耗大角度的Y分支器,并通过有限差分光束传播法进行了仿真,获得了比较好的结果,证明了这种新型Y分支器结构在理论上的可行性。因此,可以得到如下结论:

渐变折射率波导折射率分布不同,渐变折射率波导对光的偏转能力也不同,本文只讨论了方程(3)的折射率分布,所以,可以对折射率分布进一步研究,获得更大的分支角度。

通过优化渐变折射率波导的折射率变化率 k 和渐变折射率波导的长度 L 可使Y分支器在分支角度一定时获得较小的辐射损耗。

本文所提出的新型Y分支器由于使用了渐变折射率波导,可获得比普通结构Y分支器更好的性能,但制造工艺要复杂一些。

参 考 文 献

- [1] 蔡伯荣. 集成光学[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1990
- [2] Lin Hanbin, Cheng Reishin, Wang Wayseen. Wide-angle Low-loss Single-mode Symmetric Y-junctions [J]. IEEE Photon Technol Lett, 1994, 6(7): 825-827
- [3] Kuznetsov M. Radiation loss in dielectric waveguide Y-branch structures[J]. IEEE J. Lightwave Technol, 1985, LT-3(3): 674-677
- [4] Hamid H H, Chu P L, Max J L. A New low-loss wide-angle Y-branch configuration for optical dielectric slab waveguides [J]. IEEE Photon. Technol. Lett, 1994, 6(4): 528-530
- [5] Hsu Juiming, Lee Chingting. Systematic design of novel wide-angle low-loss symmetric Y-junction waveguides[J]. IEEE J. Quant. Electron, 1998, 34(4): 673-679
- [6] Chitrarekha C, Dnyaneshwar S P, Gautam D K. A new technique for the reduction of the power loss in the Y-branch optical power splitter [J]. Optics Communications, 2001, 193(6): 121-125
- [7] Hamid H H, Max J L, Park L. A novel wide-angle low-loss dielectric slab waveguide Y-branch[J]. IEEE J. Lightwave Technol, 1994, 12(2): 528-530
- [8] Chang Wenching, Lin Hanbin. A novel low-loss wide-angle Y-branch with a diamond-like microprism[J]. IEEE Photon. Technol Lett, 1999, 11(6): 683-685
- [9] Hanaizumi O, Miyagi M, Kawakami S. Wide Y-junctions with low losses in three-dimensional dielectric optical waveguides [J]. IEEE J. Quant. Electron., 1985, QE21(2): 168-173
- [10] Lin Hanbin. A very low-loss wide-angle y-branch with a composite diamond-like microprism[J]. IEEE J. Quant. Electron., 2001, 37(2): 231-236
- [11] Okamoto K. Fundamentals of optical waveguides[M]. New York: Academic Press, 2000