

一种新型低损耗1×4光分路器的设计

何晓薇

(中国民航飞行学院 四川 广汉 618307)

【摘要】对新型低损耗大角度Y分支波导进行了详细的设计和 optimization, 并用有限差分光束传播法对Y分支结构进行了验证。仿真结果表明新型的Y分支波导在大分支角度时具有非常小的损耗。最后, 设计了由三个Y分支级联所构成的新型1×4光分路器, 仿真结果表明其具有损耗小, 结构简单, 且极大地减小了器件长度, 有利于器件的进一步集成。

关键词 Y分支; 光波导; 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

Design and Application on a New Wide-Angle Y-Branch Waveguide with Low Radiation Loss

He Xiaowei

(Civil Aviation Flight University of China Sichuan Guanghan 618307)

Abstract The new low-loss wide-angle Y-branch is designed and optimized in this paper, in detail. Device performance is examined numerically by finite-difference beam propagation method. The simulated results show the radiation loss of these devices is very small with relatively wide branching angle. At last a new 1×4 optical splitter composed of three new Y-branches is calculated. The simulation shows the new splitter has the characteristics of low-loss and simple-structure, and its length is decreased greatly.

Key words Y-branch; optical waveguide; integrated optics; finite-difference beam propagation method

Y分支器是集成光学中一种重要的器件单元, 广泛用于光调制器、光开关等器件中。但由于太大的分支角度会引起较大的辐射损耗, 因此Y分支器的分支角度一般都小于 30° ^[1, 2], 它造成了器件长度过长, 集成困难。为了在增大分支角度的同时减小损耗。在文献[3~6]中, 通过优化设计Y分支器的耦合区域, 得到了不同结构下大角度的Y分支器。

文献[3]提出了一种低损耗大角度的Y分支波导, 如图1所示。它具有结构简单, 工艺不复杂, 损耗低的特点, 在分支角度为 10° 时, 损耗不到1 dB。但文献[3]中只提出了这种结构, 并没有进行详细的设计。本文针对这种新型的Y分支结构进行了详细的设计和 optimization, 在分支角度为 14.3° 时, 损耗只有0.3 dB。最后, 本文设计了由这种新型的Y分支构成了1×4光分路器, 并用有限差分光束传播法(Finite-Difference Beam Propagation Method, FDBPM)进行了仿真, 获得了比普通光分路器更好的性能。

1 Y分支的设计和 optimization

1.1 设计和 optimization

新型Y分支波导的结构如图1所示, 图中衬底折射率为 n_0 , 输入波导1和输出波导2、3的折射率为 n_1 , 工

作在单模状态。耦合部分三角形区域的折射率为 n_2 ，且 $n_2 < n_1$ 。

根据Snell定律，光从输入波导1进入耦合区域后，在耦合区域和输出波导2、3的界面上被折射到输出波导2、3中，所满足的方程为

$$n_1 \cos(\mathbf{a} + \mathbf{q}) = n_2 \cos(\mathbf{q}) \quad (1)$$

式中 $\mathbf{a} + \mathbf{q} < \pi/2$ ， $\mathbf{q} > 0$ ， $\mathbf{a} > 0$ 。对Y分支设计的优化主要是图1中三角形区域的位置和形状的确定。其位置可用z方向坐标表示，输入波导末端坐标 $z = 0.0$ ，AB边的z坐标为 z_1 ，在 $n_1 = 1.5$ ， $n_0 = 1.48$ ， $n_2 = 1.482$ ，输入输出波导的宽度均为 $3\mu\text{m}$ 分支角度 $\mathbf{a} = 14.3^\circ$ 时，损耗的计算公式为^[1]

$$L = -10 \lg \left[\frac{2 \left| \int_{-\infty}^{\infty} E_p(x) [f'(x - x_c) e^{jk_x(x - x_c)}]^* dx \right|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \int_{-\infty}^{\infty} f'^2(x) dx} \right]$$

式中 *表示复数的共轭， $k_x = \mathbf{b}' \sin(\mathbf{q})$ ， \mathbf{b}' 为输出波导的传播常数， $E_p(x)$ 为用BPM求得的电场分布， $f(x)$ 和 $f'(x)$ 分别为输入和输出波导中的本征模场分布， x_c 为仿真结束时输出波导的x值。在 $z_1 = -5\mu\text{m}$ 时，损耗为最小值。为使输入波导1中的能量更多的进入三角形的耦合区域，三角形的边AB宽度应比波导宽度大，其最佳值为波导的有效厚度。

设波导和耦合区域介质为完纯介质，且是非磁性介质，即相对磁导率 $\mathbf{m}_1 = \mathbf{m}_2 = 1$ ，可得到光功率的反射系数^[7]

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

因此 n_1 和 n_2 之差不能取得太大，否则会在波导和耦合区域的分界面引起较大的反射，使损耗增大。另外，由式(1)可知当 \mathbf{q} 增大时， \mathbf{a} 变小，若取极限情况 $\mathbf{q} = 0$ ，可得最大分支角度为

$$2\mathbf{a} = 2\cos^{-1}(n_2 / n_1)$$

由于 n_1 、 n_2 相差不大，故 \mathbf{a} 也不会很大。若取 $n_1 = 1.5$ ， $n_2 = 1.482$ ，则由式(3)可得 $2\mathbf{a} = 17.8^\circ$ ，表明新型结构的分支角度的极限值是 17.8° ，但实际上达不到。

1.2 仿真

综上所述，考虑 $n_1 = 1.5$ ， $n_2 = 1.482$ ， $n_0 = 1.48$ ，波导宽度 $d = 3\mu\text{m}$ ，分支角度 $2\mathbf{a} = 14.3^\circ$ ，由式(1)得 $2\mathbf{q} = 4^\circ$ 。用二维FDBPM进行仿真的结果如图2所示，归一化的传输功率 P 如图2(b)所示。仿真中所用FDBPM的参数为：真空中波长 $\mathbf{l} = 1.5\mu\text{m}$ ，z方向步长 $\Delta z = \mathbf{l} / 5$ ，x方向步长 $\Delta x = \mathbf{l} / 5$ ，图2中坐标单位为 Δz 。

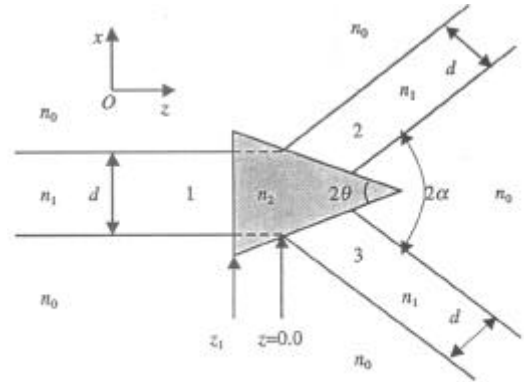


图1 新型Y分支波导的结构

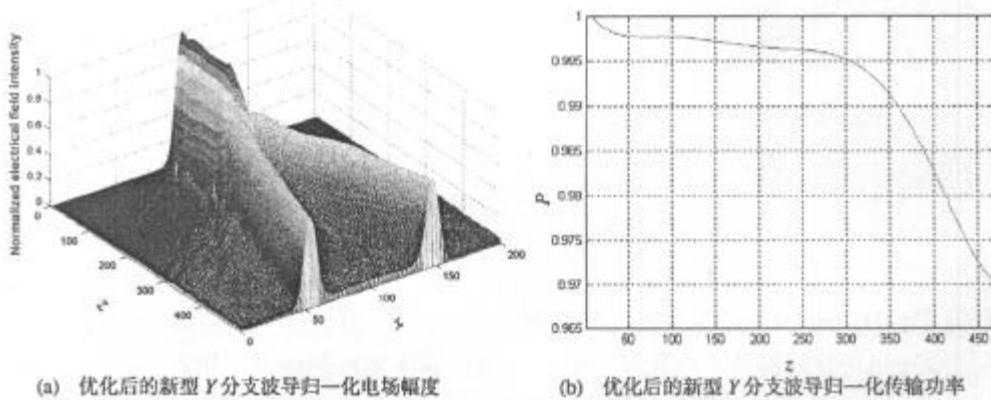


图2 优化后的新型Y分支波导归一化电场幅度和传输功率

2 新型1×4光分路器的设计

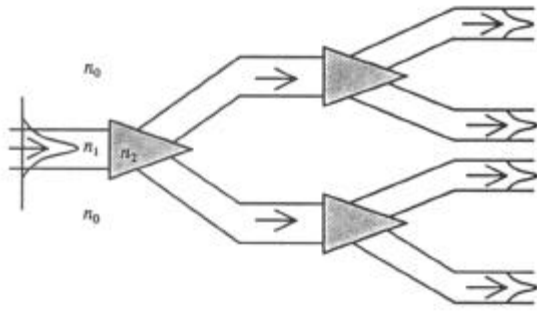
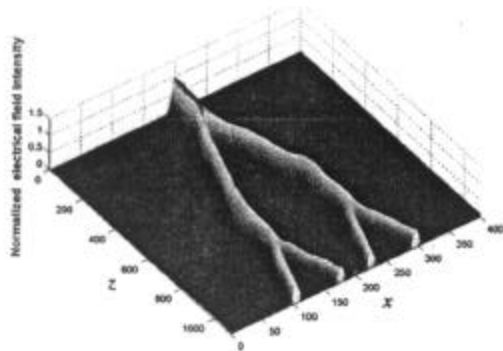
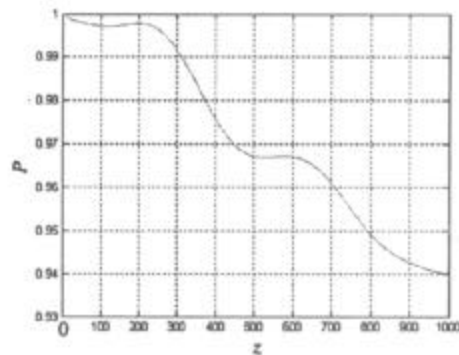


图3 新型1×4光分路器的结构
的光分路器的1/4,使器件的尺寸大大减小。

由上面的分析可知,若将三个相同结构的新型低损耗Y分支进行级联可得到如图3所示的低损耗1×4光分路器。每个Y分支波导的参数与图2中的相同。用二维FDBPM进行仿真的结果如图4所示,归一化的传输功率如图4(b)所示。用二维FDBPM仿真普通Y分支波导组成的光分路器的结果如图5所示,归一化的传输功率如图5(b)所示。图4和图5中,所用的FDBPM参数与图2中的一致,在损耗差别不大的情况下,由新型Y分支构成1×4光分路器在长度上缩短为普通Y分支构成的

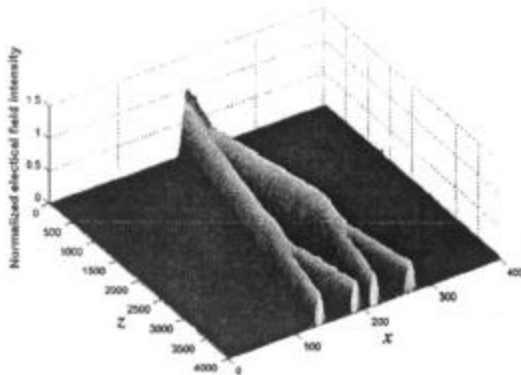


(a) 新型1×4光分路器的归一化电场幅度

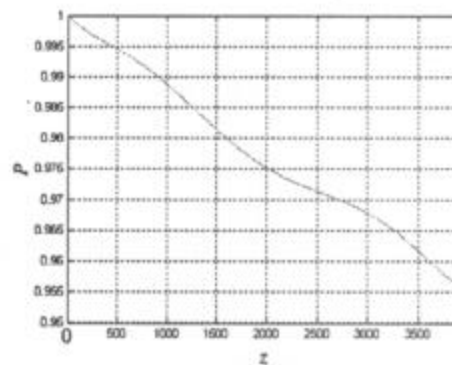


(b) 新型1×4光分路器的归一化传输功率

图4 新型1×4光分路器的归一化电场幅度和传输功率



(a) 普通1×4光分路器的归一化电场幅度



(b) 普通1×4光分路器的归一化传输功率

图5 普通1×4光分路器的归一化电场幅度和传输功率

3 结论

本文详细研究了由Hatami-Hanza等人提出的新型Y分支结构,并设计了由其构成的新型1×4光分路器。由分析可知,新型的1×4光分路器具有损耗低、结构简单、易于制造的特点,相对于普通的1×4光分路器,极大减小了器件尺寸,使多个器件的单片集成成为可能。

(下转第70页)

的问题,增强了网络的安全性,并且为更广泛的基于IP网络的分布式系统和集群系统的安全通信提供从概念到实现的无缝支持,为下一步功能完善和产品化奠定了基础。对于系统的进一步完善,还可以从以下几点考虑:1)对于分布式系统应不存在中心节点,但CONSOLE已明显成为一个有别于其他用户节点的“中心”,为了从分布式概念和安全性上完善本系统,可以采用CONSOLE的自动转换,各组DVPN用户节点定期监测CONSOLE的可用性和合法性,一旦发现问题马上在本组内申请临时CONSOLE为大家服务,以此来解决中心问题,另外还应配备后备冗余CONSOLE,一旦主CONSOLE故障,可以启用后备;2)安全部件应平台无关并且成为一个系统,在硬件上,目前采用的构架已经为此目标打下了基础,应为其配备专用的嵌入式OS,使其成为一个独立部分,可以嵌入任意主系统;3)可将DVPN系统作为分布式计算机系统的一个通信模块,对在不安全网络上的分布式和集群系统的通信提供安全性支持。

参 考 文 献

- [1] Andrew, Tanenbaum S. Distributed operating systems[M]. Second Edition, Beijing, 1999
- [2] Mukesh, Singhal, Niraniang, *et al.* Advanced concepts in operating systems distributed database and multiprocessor operating systems[M]. First Edition, Mc. Graw Hill, 1994
- [3] Kent S, Atkinson R. Security architecture for the internet protocol[S]. RFC2401 1998
- [4] Kent S, Atkinson R. IP authentication header[S]. RFC2402 1998
- [5] Kent S, Atkinson R. IP encapsulating security payload (ESP)[S]. RFC2406 1998
- [6] Piper D. The Internet IP security domain of interpretation for ISAKMP[S]. RFC2407 1998
- [7] Maughan D, Schertler M, *et al.* Internet security association and key management protocol (ISAKMP)[S]. RFC2408 1998
- [8] Harkins D, Carrel D. The internet key exchange (IKE)[S]. RFC2409 1998
- [9] Rescorla E. Diffie-hellman key agreement method[S]. RFC2631 1999
- [10] Schneier B. Applied cryptography: protocols, algorithms and source code in C[M]. Second Edition, Beijing, China Machine Press, 2000

编辑 徐培红

(上接第58页)

参 考 文 献

- [1] Mark K. Radiation loss in dielectric waveguide Y-branch structures [J]. IEEE J. Lightwave Technol, 1985, LT-3(3): 674-677
- [2] Weissman Z, Hardy A, Marom E. Mode-dependent radiation loss in Y junctions and directional couplers [J]. IEEE J. Quant Electron, 1989, 25(6): 749-755
- [3] Hamid H H, Park L C, 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
- [4] 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
- [5] Lin Hanbin, Cheng Reishin. Way Seenwang. Wide-angle low-loss single-mode symmetric Y-junctions [J]. IEEE Photon Technol Lett., 1994, 6(7): 825-827
- [6] Hamid H H, Max J L, Park L. *et al.* A novel wide-angle low-loss dielectric waveguide Y-branch [J]. IEEE J. Lightwave Technol., 1994, 12(2): 528-530
- [7] 赵家升. 电磁场与波[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1997, 69-70

编辑 漆蓉