

新型大角度低损耗Y分支在集成光器件中的应用

陈福深, 杨拥军

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室 成都 610054)

【摘要】介绍了一种新型低损耗大角度Y分支器的基本原理, 并把这种新型结构应用于 1×4 光分路器和M-Z调制器中, 然后利用FDBPM方法进行了仿真, 结果表明 1×4 光分路器在长度大大减小的同时, 实现了只有0.32 dB的低损耗; 当分支角度等于 14.3° 时, M-Z调制器实现了干涉相消。与普通结构的器件相比, 应用新型低损耗大角度Y分支器的光分路器和M-Z调制器具有损耗低、尺寸小等优点。

关键词 光分路器; 光调制器; Y分支; 集成光学; 有限差分光束传播法

中图分类号 TN256 文献标识码 A

Application to Integrated Optical Devices for a New Low-Loss Wide-Angle Y-Junction of Optical Waveguides

Chen Fushen, Yang Yongjun

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks UEST of China, Ministry of Education Chengdu 610054)

Abstract In this paper, A new low-loss wide-angle Y-Junction with graded-index optical waveguides, which can change the optical propagation direction, is introduced. An application of the Y-junction structure to 1×4 optical splitter and Mach-Zehnder modulator is analyzed. The two kinds of device performance are examined numerically by the finite difference beam propagation method (FDBPM). The simulated results show that the 1×4 optical splitter has very low loss of 0.32 dB but its optical waveguide length can largely be shortened, and that the M-Z modulator can reach a counteraction of the coherence light when the branching angle is 14.3° . Comparing with common devices, optical splitter and M-Z modulator with low-loss wide-angle Y-Junction have both low loss and small dimension.

Key words optical splitter; M-Z modulator; Y-Junction; integrated optics; FDBPM

集成光学中Y分支器受辐射损耗的限制, 其分支角度不能做的过大, 这对光学集成十分的不利^[1]。因此, 国内外很多学者试图在保持辐射损耗较小的前提下增大Y分支器的分支角度, 来达到减小器件长度, 降低工艺难度的目的^[2, 3]。

文献[4]提出了一种基于渐变折射率波导的低损耗大角度Y分支器, 并对其传输特性进行了分析, 得到了令人满意的理论分析和仿真结果, 但这篇文献并没有对这种新型结构的Y分支器在集成光器件中的应用给出分析。本文以此为基础, 提出了新型的 1×4 光分路器和M-Z调制器, 并给出了二维有限差分光束传播法仿真, 结果表明这种渐变折射率波导结构在集成光器件中有比较优异的性能。

收稿日期: 2004-07-08

作者简介: 陈福深(1945-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事光纤通信与集成光学方面的研究。

1 理论

基于渐变折射率波导的大角度Y分支器的关键之处是在输入波导和两个分支波导的耦合部分形成两个

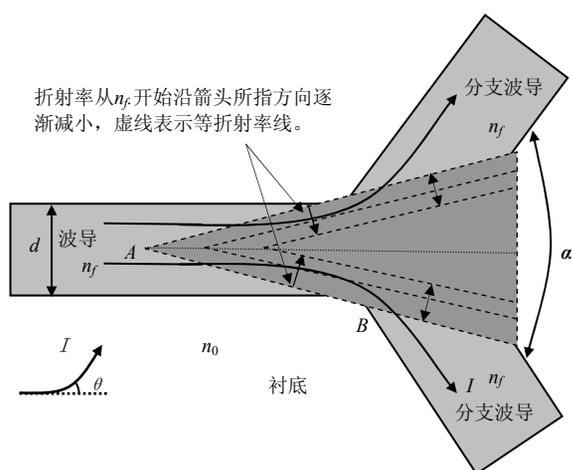


图1 新型低损耗大角度Y分支波导结构

渐变折射率的波导结构，其结构如图1所示。图1中，衬底的折射率为 n_0 ，波导的折射率为 n_f ，波导宽度为 d ，Y分支角度为 α ，光的偏转角度为 θ ，且 $\theta=\alpha/2$ 。三角形阴影部分为渐变折射率波导结构，虚线为等折射率线，折射率沿箭头方向逐渐减小，其厚度至少为这种波导的入射深度，三角形的顶点为 A ，三角形的腰同分支波导的边线交于 B 点， AB 线的长度即为波导的偏转长度。

光入射到波导中时，在三角形的渐变波导区域被分成两部分，分别在深度为 H 的渐变波导中传播，经过 θ 的偏转角度后进入Y分支器的两个出射波导，达到大角度Y分支器的功能。光在渐变折射率波导中的传播满足如下方程：

$$\frac{d^2 X}{dZ^2} = \frac{1}{2n_0^2 \sin^2 \theta_0} \frac{dn^2(X)}{dX} \quad (y < 0) \quad (1)$$

式中 $n(X)$ 表示折射率随 X 的变化， θ_0 为入射光与渐变折射率波导和均匀波导分界面法线所成的角度。若令折射率分布满足 $n^2(X) = n_f - n_s X^2$ ，解(1)式得如下结果：

偏转距离

$$L = \frac{\pi n_f \sin \theta_0}{\sqrt{n_s}} \quad (2)$$

入射深度

$$H = \frac{\cot \theta_0}{\sqrt{k}} \quad (3)$$

偏转角度

$$\theta = \pi - 2\theta_0 \quad (4)$$

取 $n_f=1.500$, $n_0=1.480$, $n_s=0.006$, $\theta_0=86.4^\circ$, 分支角度 $\alpha=14.3^\circ$, $\lambda=1.5 \mu\text{m}$, 运用二维有限差分光束传播法仿真表明：二维仿真时分支角度为 14.3° 的Y分支波导损耗为 0.11 dB ，而相应的普通结构的Y分支器则不能有效约束光波传输。

针对上述低损耗大角度Y分支器，可以设计出一种新型的 1×4 光分路器，如图2所示。图2中将三个相同的以上述渐变折射率波导为基础的Y分支器依次级联，其中Y分支器的分支角度为 14.3° ， n_0 为衬底折射率， n_f 为波导折射率，波导宽度相同。输入光在三个Y分支器的依次作用下等分为四束光输出。

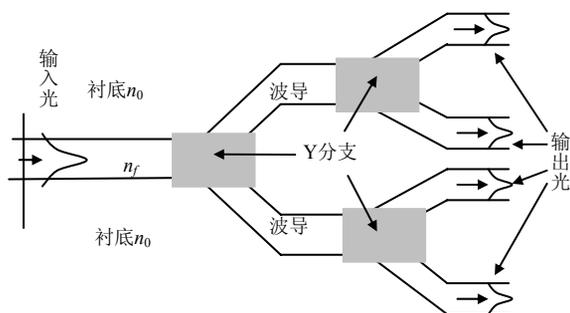


图2 新型 1×4 光分路器的结构示意图

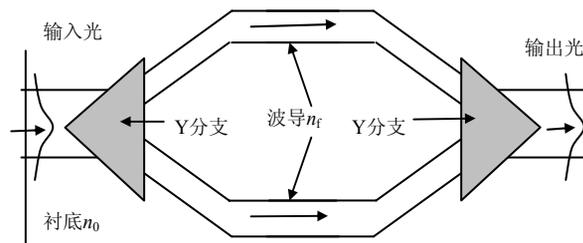


图3 新型M-Z光调制器的结构示意图

若将两个分支角度为 14.3° 的新型Y分支器反向连接起来，可以构成M-Z调制器(未画出调制电极)，其结

构如图3所示。其中衬底的折射率为 n_0 , 波导的折射率为 n_f , 波导宽度相同。根据光路可逆的原理, 对渐变折射率波导的作微调, 反向的Y分支能起到汇聚光的作用。在M-Z调制器的两臂分别加反向电压改变两臂波导的折射率, 在输出端由于不同折射率引起的相位差的不同, 输出光将会受到电压的调制输出, 从而实现大角度的Y分支器构成的光调制器的功能。

2 仿真

为了验证上述的设计, 可采用二维有限差分光束传播法对光 1×4 分路器和光调制器进行仿真。在仿真前, 作如下假定:

- 1) 假定要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;
- 2) 默认情况下, 衬底的折射率为1.480, 波导的折射率为1.500, 波导横截面折射率分布为阶跃型;
- 3) 默认情况下, 输入输出波导的宽度均为 $3 \mu\text{m}$, 工作于单模状态。

定义2D FDBPM参数如下: z 方向步长 $\Delta z=0.3 \mu\text{m}$, x 方向步长 $\Delta x=0.3 \mu\text{m}$, 参考折射率 $n_{\text{eff}}=1.493$, 入射波长(真空中)为 $\lambda=1.5 \mu\text{m}$ 。运用2D FDBPM程序, 新型 1×4 光分路器仿真的结果如图4所示。同图5所示的普通Y分支器构成的 1×4 光分支器相比, 新型器件长度为 $330 \mu\text{m}$, 仅为普通器件长度 $1200 \mu\text{m}$ 的四分之一, 而损耗只有 0.32 dB , 普通器件的损耗为 0.26 dB 。图4和5的输出电场强度归一化分布如图6和7所示。从以上仿真来看, 新型 1×4 光分支器比普通 1×4 光分支器具有较大优势。

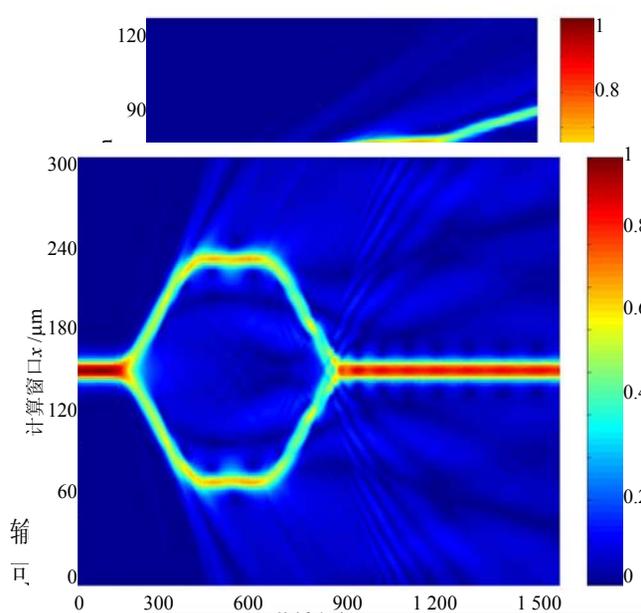


图8 新型M-Z干涉式光调制器干涉相长归一化电场分布

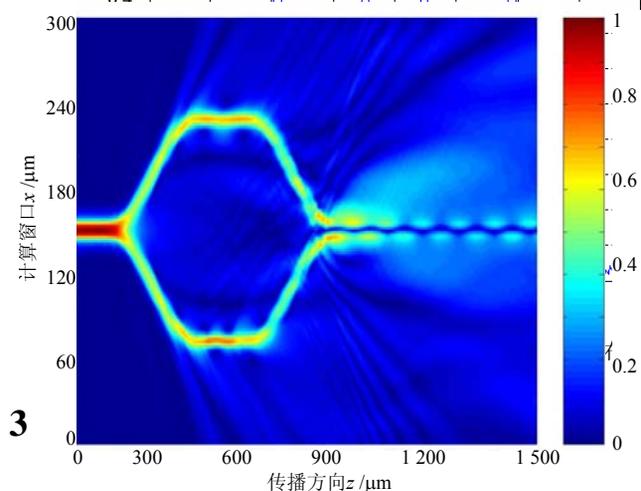


图10 新型MZ干涉式光调制器干涉相消归一化电场分布

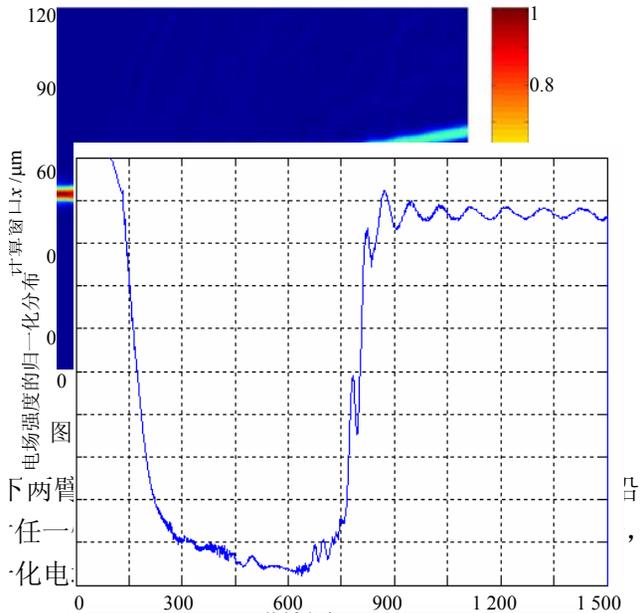


图9 新型M-Z干涉式光调制器沿波导中心线归一化电场分布

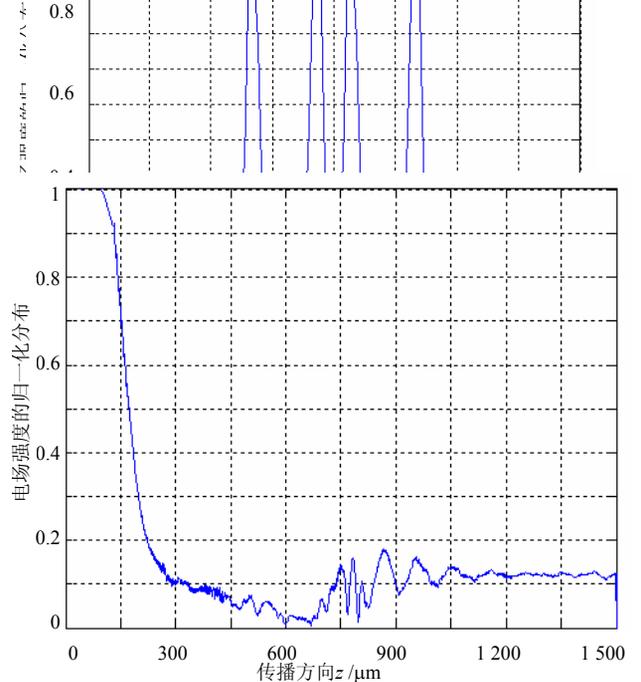


图11 新型MZ干涉式光调制器沿波导中心线归一化电场分布

本文以新型渐变折射率波导低损耗大角度Y分支器为基础,提出了一种 1×4 光分路器和M-Z干涉式光调制器的设计方案,并通过二维有限差分光束传播法予以验证,结果表明新型 1×4 光分路器在大大减小器件长度的同时,损耗只有0.32 dB,普通 1×4 光分路器的仿真损耗为0.26 dB;新型M-Z光调制器的两臂折射率分别为1.500和1.500与1.500和1.511时,实现了输出光的干涉相长和干涉相消。这些都为新型渐变折射率波导低损耗大角度Y分支器在集成光学中的应用奠定了理论基础。

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] 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
- [3] Hsu J M, Lee C T. Systematic design of novel wide-angle low-loss symmetric y-junction waveguides[J]. IEEE J. Quant. Electron. 1998, 34(4): 673-679
- [4] Yang Y J, Chen F S. Novel low-loss wide-angle y-junctions of optical waveguides with graded-index profiles[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2004, 41(2): 156-159

编 辑 徐安玉