

doi:10.3788/gzxb20134203.0298

特种非对称低损耗 1×5 光分路器

王亮亮^{1,2}, 安俊明^{1,2}, 吴远大^{1,2}, 王玥¹, 张家顺^{1,2}, 张晓光¹, 潘盼¹,
张俪耀¹, 胡雄伟¹, 赵德刚¹

(1 中国科学院半导体研究所 集成光电子学国家重点联合实验室, 北京 100083)

(2 河南仕佳光子科技有限公司, 河南 鹤壁 458030)

摘 要: 设计和优化了一种新型低损耗、低偏振的基于二氧化硅的特种非对称 1×5 光分路器。在设计 Y 分支结构时, 输入端采用缓变展宽波导结构和直波导过渡波导相结合的结构, 此结构可以使输入光场缓慢展宽, 进行分束前的准备, 大大减小分支结构的辐射损耗和模式转换损耗。非对称 1×5 光分路器第一个端口输出功率占 50%, 第二至五端口输出功率占 50%。利用三维光束传播法模拟和优化了特种非对称 1×5 光分路器, 模拟结果表明, 该结构具有均匀性好、器件尺寸小、低损耗和低偏振等优点, 1×5 光分路器在 1 250~1 650 nm 波长范围内, 第一个输出端口附加损耗小于 0.07 dB, 均匀性小于 0.023 dB, 偏振相关损耗小于 0.009 dB, 第二到五端口附加损耗小于 0.45 dB, 均匀性小于 0.41 dB, 偏振相关损耗小于 0.06 dB。

关键词: 缓变展宽; 1×5 光分路器; 非对称; 光束传播法

中图分类号: TN256; TN203

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2013)03-0298-5

Special Asymmetric Low Loss 1×5 Optical Power Splitter

WANG Liang-liang¹, AN Jun-ming^{1,2}, WU Yuan-da^{1,2}, WANG Yue¹, ZHANG Jia-shun^{1,2},
ZHANG Xiao-guang¹, PAN Pan¹, ZHANG Li-yao¹, HU Xiong-wei¹, ZHAO De-gang¹

(1 State Key Laboratory of Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

(2 Henan Shijia Photons Technology Co., Ltd, Hebi, Henan 458030, China)

Abstract: A new style low loss and low polarization loss special asymmetric 1×5 optical power splitter is designed and optimized. The combination structure of gradually broadening waveguide and wide straight transition waveguide is introduced in the input waveguide during designing the Y-branch. The input optical field become gradually wide, the loss of Y-branch is obviously deceased. The power of first output port and second to fifth output port take 50% respectively. The three dimension beam propagation method is used to simulate and optimize the special asymmetric 1×5 optical power splitter, the simulation result indicate that the 1×5 splitter have the good uniformity, low insert loss, low polarization loss, and small dimension. Between the wavelength range 1 250~1 650 nm, the excess loss, the uniformity and polarization loss of first output port is less than 0.07 dB, 0.023 dB and 0.009 dB respectively. The uniformity and polarization loss of second to fifth output port is less than 0.45 dB, 0.41 dB and 0.06 dB respectively.

Key words: Gradually broadening; 1×5 optical power splitter; Asymmetric; Beam propagation method

基金项目: 面上基金项目(No. 61274047)和重点基金项目(No. 60837001)资助

第一作者: 王亮亮(1987-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为光波导器件. Email: wangliangl09@semi.ac.cn

导师(通讯作者): 安俊明(1969-), 男, 研究员, 博士, 主要研究方向为光波导器件. Email: junming@semi.ac.cn

收稿日期: 2012-09-29; 录用日期: 2012-11-01

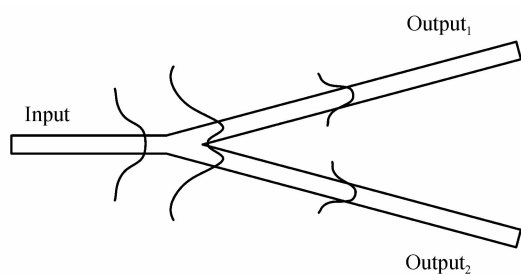
0 引言

三网融合的加速进行,大大促进了光纤到户(Fiber-To-The Home, FTTH)的发展,而光分路器作为 FTTH 的关键器件,对它的研究也越来越多. Y 分支波导作为构成光分路器的重要光波导单元之一,其性能和尺寸直接决定了光分路器的性能和尺寸.但由于传统的 Y 分支波导结构在分支处,模式的突变造成很大的模式转换和辐射损耗,同时较大尺寸的 Y 分支结构也造成分路器具有较大的尺寸.为解决这个问题,很多 Y 分支的改进措施被提出,其中一种是引入过渡多模波导区域来优化 Y 分支的损耗^[1-5],这种方法是在分束前引入一个多模的过渡区域,减小 Y 分支的辐射损耗,但这种方法造成输出模式存在高阶模,同时这种结构对波长比较敏感,不能满足工作范围内波长不敏感的要求.另外一种方法是在 Y 分支结构中引入微棱镜结构^[6-8],通过相位补偿的方法,减小 Y 分支结构因相位失配而引起的相位失配损耗.但是由于引进了额外的材料,增加工艺的复杂度.还有一种方法是引入多层结构^[9,10],在 Y 分支结构的缝隙处或者外侧利用套刻技术使其厚度高于或者低于 Y 分支其他部分厚度,进而实现结构补偿,此结构在 Y 分支分束时既能抑制多模的产生,又能减小模式转换损耗.但由于需要两次光刻,增加了工艺难度,不适于大规模生产.

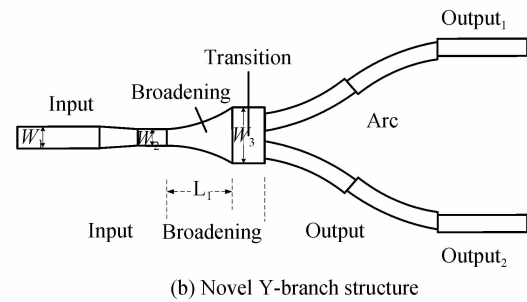
本文设计和优化了一种新型低损耗的 Y 分支结构,利用缓变展宽波导和过渡直波导相结合的结构,大大降低了 Y 分支结构的损耗,并以此为基础,设计和优化了特种非对称 1×5 光分路器.本结构利用简单的平面光波导技术就可以实现,完全满足大规模生产的要求.

1 新型 Y 分支波导设计和优化

图 1(a)是传统的 Y 分支结构,图上所示为光经过分支波导的模式的变化,当入射基模从输入波导到达分支处时,由于波导的几何结构而被分开,分开后的光便沿着对称分支波导传输实现功率分配功能.然而由于入射基模传播到分支处时,由于模场的



(a) Conventional Y-branch structure



(b) Novel Y-branch structure

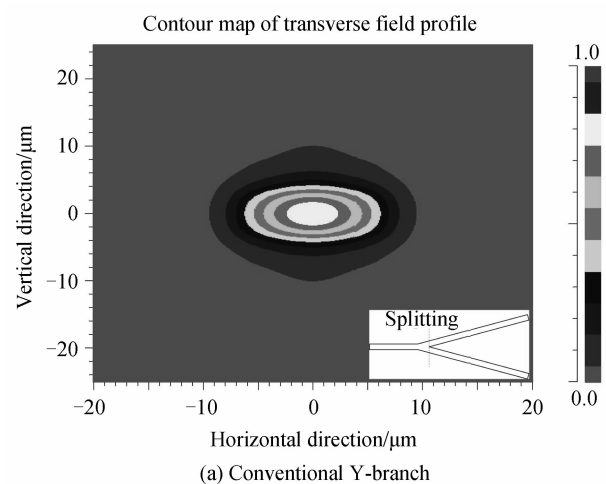
图 1 Y 分支结构

Fig. 1 Y-branch structure

突然变化而导致模场失配,模式辐射损耗增大,导致耦合损耗较大,使得 Y 分支损耗比较大.

为此,我们设计了一种新型的 Y 分支结构,波导采用截面为 $8 \mu\text{m} \times 8 \mu\text{m}$ 的二氧化硅矩形波导,分支结构如图 1(b)所示,新型的 Y 分支结构由三部分组成:输入波导、展宽波导和输出波导.输入波导由输入直波导、倒锥波导和变窄直波导组成.倒锥波导的引入可以滤除输入端高阶模式,同时还可以提高输出的均匀性以及减小输入信号位移对输出均匀性的影响^[11].展宽波导由缓变展宽波导和宽的直过渡波导组成,缓变展宽波导的引入使得输入光场缓慢展宽,为光场的分束进行必要的准备,过渡直波导使展宽的波导更趋于稳定,减小分束时的损耗.输出波导采用弧形波导输出结构,同时为了减小损耗,弧形波导与直波导之间的相互连接处采用错位补偿的方法减小连接耦合损耗^[12].

图 2(a)、(b)分别为传统 Y 分支结构和新型 Y 分支结构分支处光场分布.从图 2(a)可以看出传统的 Y 分支结构,光传输到分支处时,光场主要集中在中心处,预分束准备不充分,分束时辐射损耗和模场转换损耗较大,导致 Y 分支的损耗较大.从图 2(b)可以看出新型的 Y 分支结构进行分束前,光场已经开始展宽,光场对称地分布在两边,并进行了必要的预分束,为输入光分裂为两路光进行必要的准



(a) Conventional Y-branch

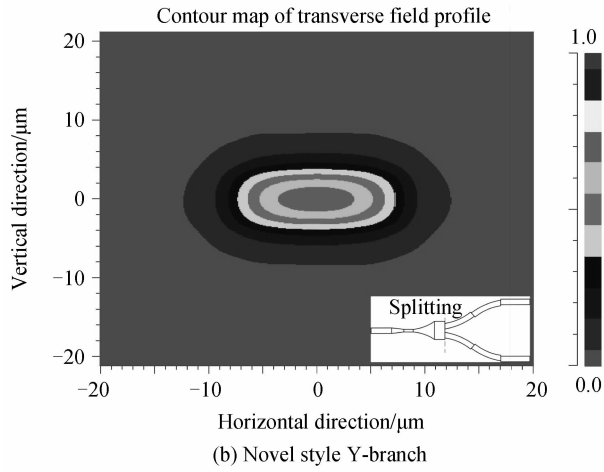


图 2 Y 分支波导分支处光场

Fig. 2 Y-branch optical field profile

备,减小了模式转换的损耗,同时由于光场展宽,不再集中在中心处,使得辐射损耗降低.新型的 Y 分支结构通过减小辐射损耗和模式转换损耗大大降低了输出的附加损耗.

缓变展宽波导结构不同时,由于波导展宽的速度等因素会对分支处的光场产生一定的影响,图 3 为缓变展宽波导结构为分别线性(line),指数(exponential)和二次方(quadratic)结构,分支处的光场分布.

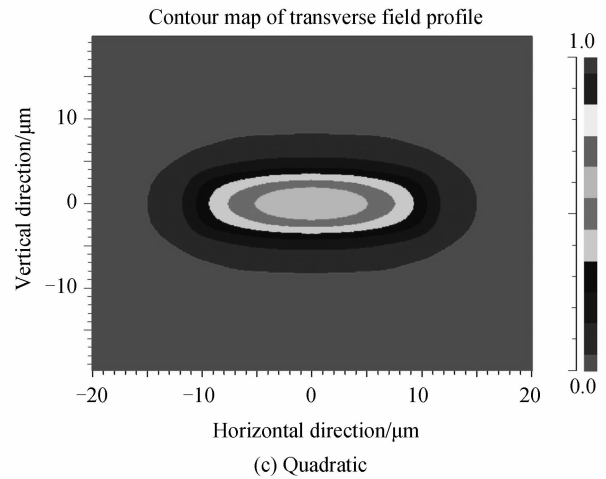
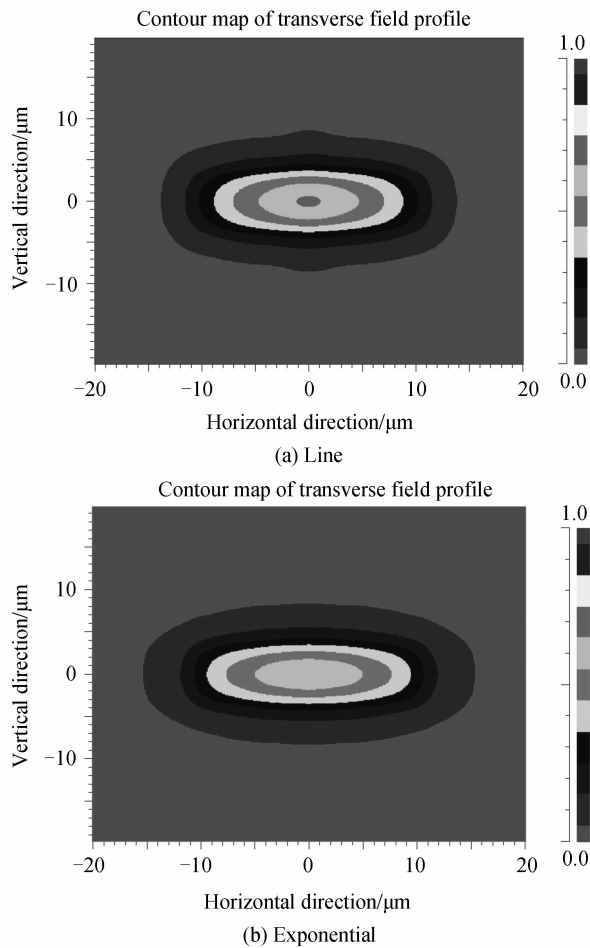


图 3 不同展宽结构的光场分布

Fig. 3 Different broadening structure's optical field profile

从图 3 可以看出,缓变展宽结构为线性结构时,由于其结构的变化较为平缓,不能将光场进行很好地展宽和预分束,最终将导致较大的辐射损耗和模式转换损耗.缓变展宽结构为二次方和指数结构时,分支处的光场能很好地展宽和预分束,为分束为两路光进行很好地准备,大大减小 Y 分支的辐射损耗和模式转换损耗.

为了得到最优的结构,我们采用三维光束传播法(Three Dimension Beam Propagation Method, 3D-BPM)对三种结构的损耗进行了模拟和分析,取输入波导宽度 w_1 为 $8 \mu\text{m}$,倒锥波导结构宽度 w_2 为 $7 \mu\text{m}$,展宽波导长度为 L_1 ,宽度为 $w_3 = 20 \mu\text{m}$. n_s 和 n_c 分别为二氧化硅芯层衬底和芯层的折射率,相对折射率差为 $\Delta n = (n_c - n_s) / n_c$,我们这里取相对折射率差为 0.3%. 图 4 为缓变展宽波导为同一长度下,三种不同结构的在 $1250 \sim 1650 \text{ nm}$ 波长范围内的波长响应.从图中可以看出在 $1250 \sim 1650 \text{ nm}$ 波长范围内,同样长度下,展宽结构为二次方结构的损耗比指数和线性结构有明显的降低.在波长

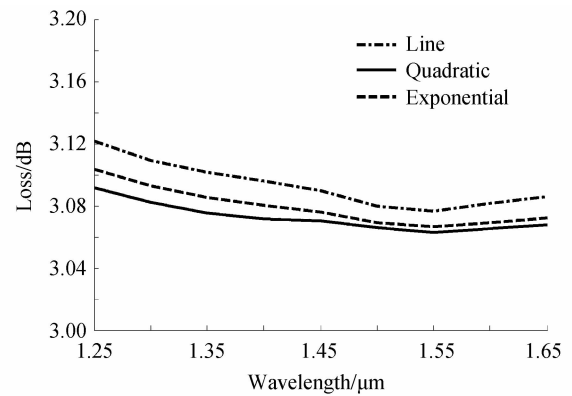


图 4 不同展宽结构在不同波长下的损耗

Fig. 4 The loss of three broadening structure at different wavelength

1 250 nm处,同样长度下,二次方结构比线性结构插入损耗降了 0.03 dB. 综合考虑我们最后选取二次方结构为 Y 分支波导的展宽波导结构.

为了进一步减小器件的尺寸和损耗,我们对二次方展宽波导结构的长度进行了优化,图 5 是输出损耗随着二次方展宽结构长度变化的曲线. 从图中可以看出,在长度较短时,提高展宽波导的长度可以明显地降低输出的损耗,当展宽波导长度大于 500 μm 之后随着长度的增加损耗基本没有变化,这里取展宽波导的长度为 500 μm ,既能很大程度地降低 Y 分支的损耗,同时又能很大程度减小器件的尺寸.

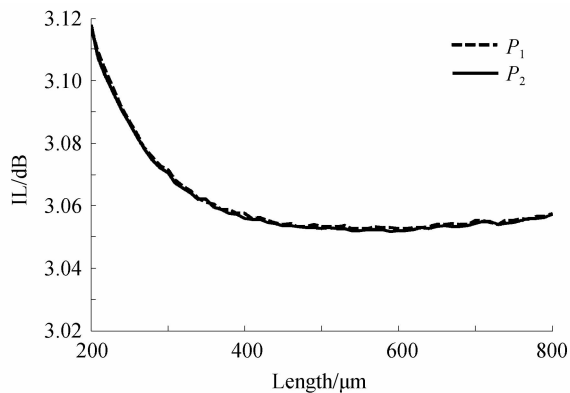


图 5 损耗随着缓变展宽波导长度的变化
Fig. 5 Loss versus broadening structure's length

2 非对称 1×5 光分路设计和优化

依据上一节设计的 Y 分支结构,我们设计了一种特种非对称 1×5 光分路,第一分支处,由于两输出端是非对称的,在上面设计 Y 分支结构基础上进行了改动. 如图 6 所示,由于第一分支输出非对称,两个输出端离中心的纵向距离不同,第一输出端口离中心距离较近,为了减小损耗,第一输出分支采用较大的弯曲半径,这样就使得第一个端口输出功率较大,造成了输出功率的不均匀. 为了使第一级分支处输出均匀,我们通过调整第一输出分支波导两个输出端的宽度 W_{s_1} 和 W_{s_2} ,使 W_{s_1} 略小于 W_{s_2} . 这样既能达到降低输出损耗的目的,又能保证非对称 1×5 光分路器输出的均匀性.

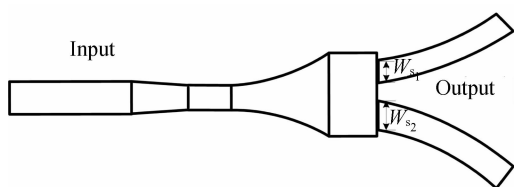


图 6 非对称 1×5 光分路器第一级 Y 分支结构
Fig. 6 The first stage Y-branch of asymmetric
 1×5 optical power splitter

图 7 是完整的特种非对称 1×5 光分路器,1 端

口为第一分支的第一个输出端. 2~5 端口采用前面优化的新型 Y 分支结构级联而成. 图 8 为设计结构的 3D-BPM 算法模拟结果,在 1 250~1 650 nm 波长范围内,第一个输出端口附加损耗小于 0.07 dB、均匀性小于 0.023 dB、偏振相关损耗小于 0.009 dB. 由于第一分支的弯曲半径较大,其附加损耗很小. 第二到五端口附加损耗小于 0.45 dB,均匀性小于 0.41 dB,偏振相关损耗小于 0.06 dB.

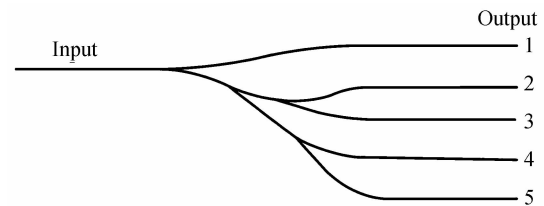


图 7 非对称 1×5 光分路器
Fig. 7 Asymmetric 1×5 optical power splitter

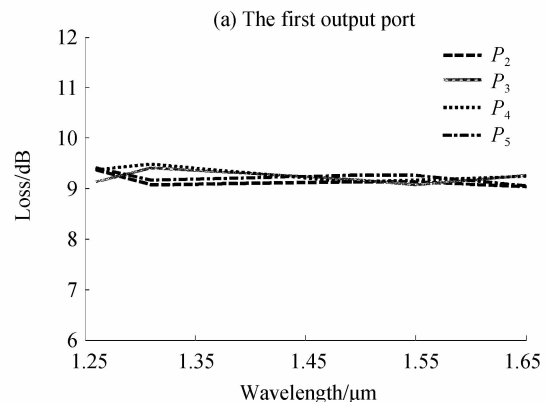
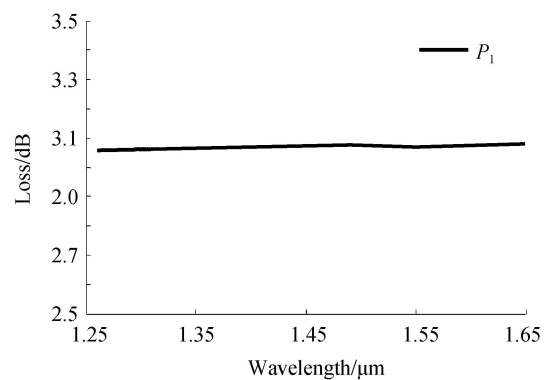


图 8 特种非对称 1×5 光分路器波长响应
Fig. 8 Wavelength response of special asymmetric
 1×5 optical power splitter

3 实验

本文已经研发和制作了常规的 1×2 、 1×4 和 1×8 光分路器,制作出的 1×2 光分路器最大插入损耗小于 3.4 dB,均匀性小于 0.4 dB, 1×4 光分路器最大插入损耗小于 6.7 dB,均匀性小于 0.5 dB, 1×8 光分路器最大插入损耗小于 9.8 dB,均匀性小于 0.6 dB,并且其成品率也完全达到了商业化的要求.

所具备的工艺条件也完全达到了国际化水平,能最大程度地将版图复制出来.图9(a)、(b)分别是刻蚀之后和生长上包层之后的扫描电子显微镜(Scanning Electron Microscope, SEM)图形.由于时间的关系,特种非对称 1×5 光分路器正在实验和调试阶段.

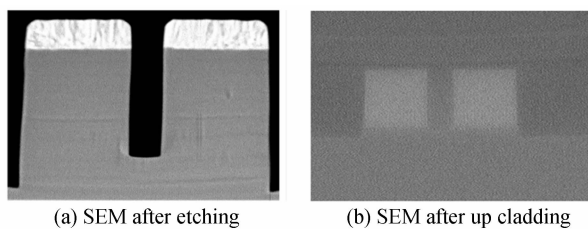


图9 SEM图形
Fig. 9 SEM photo

4 结论

本文通过对Y分支波导的设计和优化,单波导输入端采用渐变展宽波导结构和直波导过渡波导相结合的结构,使输入光场缓慢展宽,大大减小分支结构的损耗,得到了低损耗、低偏振和小尺寸的Y分支结构.并在此基础上设计和优化了特种非对称 1×5 光分路器.由于第一分支输出非对称,通过调整第一级输出分支波导两个输出端的宽度,这样既能达到降低输出损耗,又能保证非对称 1×5 光分路输出的均匀性.最终形成均匀性好、器件尺寸小、损耗小和低偏振损耗 1×5 光分路器.模拟结果表明, 1×5 光分路器在 $1\ 250\sim 1\ 650\ \text{nm}$ 波长范围内,第一个输出端口附加损耗小于 $0.07\ \text{dB}$ 、均匀性小于 $0.023\ \text{dB}$ 、偏振相关损耗小于 $0.009\ \text{dB}$,第二到五端口附加损耗小于 $0.45\ \text{dB}$,均匀性小于 $0.41\ \text{dB}$,偏振相关损耗小于 $0.06\ \text{dB}$.

参考文献

- [1] YANG Yong-jia, ZHOU Zi-gang, SUN Guang-chun, *et al.* Asymmetric Y-branch waveguide with a rectangular transitional section [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2010, **8**(2): 70-72.
杨永佳,周自刚,孙光春,等.带有矩形过渡区的非对称Y分支光波导[J]. *光学与光电技术*, 2010, **8**(2): 70-72.
- [2] WANG Qian, HE Sai-ling, WANG Li-rong. A low-loss Y-branch with a multimode waveguide transition section [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2002, **14**(8): 1124-1126.
- [3] CHEN Bao-xue, Yuan Yi-fang, JI Shou. New type low loss SiO_2 Y-branch waveguide [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(5): 552-527.
陈抱雪,袁一方,矶守.新型低损耗氧化硅Y分支光波导[J]. *光学学报*, 2001, **21**(5): 552-527.
- [4] TONG Xi-zhou, ZHOU Jun, ZHENG Hui-ru, *et al.* Optimized design of a low-loss 1×3 optical splitter [J]. *Journal of Optoelectronics & Laser*, 2007, **18**(8): 927-930.
佟西周,周俊,郑慧茹,等.新型低损耗 1×3 光分路器的优化设计[J]. *光电子·激光*, 2007, **18**(8): 927-930.
- [5] ZHOU Jun, ZHAO Feng, GAO Yong-feng, *et al.* 3-D design and simulation of a new type of $1\times N$ MMI power splitter [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(11): 2037-2040.
周俊,赵峰,高永锋,等.新型 $1\times N$ 多模干涉分束器的三维设计和模拟[J]. *光子学报*, 2007, **36**(11): 2037-2040.
- [6] CHANG Wen-ching, LIN Han-bin. A novel low-loss wide-angle Y-branch with a diamond-like microprism [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1999, **11**(6): 683-685.
- [7] HSU Jui-ming, LEE Ching-ting. Design of microprism-type symmetric Y-junction waveguides with the full phase compensation method [J]. *Applied Optics*, 1999, **38**(15): 3234-3238.
- [8] LIN Han-bin. A very low-loss wide-angle Y-branch with a composite diamond-like microprism [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2001, **37**(2): 231-236.
- [9] CHUNG K K, CHAN H P, CHU P L. A 1×4 polarization and wavelength independent optical power splitter based on a novel wide-angle low-loss Y-junction [J]. *Optics Communications*, 2006, **267**(2): 367-372.
- [10] HUANG Zhe, CHAN Hau-ping, UDDIN M A. Low-loss ultra compact optical power splitter using a multistep structure [J]. *Applied Optics*, 2010, **49**(10): 1900-1908.
- [11] KLEKAMP A, KERSTEN P, REHMG W. An improved single-mode Y-branch design for cascaded $1:2$ splitters [J]. *Journal of Lightwave Technolog*, 1996, **14**(12): 2684-2686.
- [12] YANG Jian-yi, WANG Ming-hua. Optimizing design to optical waveguide bend structure [J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 1999, **10**(4): 305-309.
杨建义,王明华.光波导弯曲的结构优化[J]. *光电子·激光*, 1999, **10**(4): 305-309.