

# 基于Y缺陷的改进型光子晶体光分路器

杨君,陈鹤鸣,汪静丽,赵新彦,钱晨

(江苏省光通信工程技术研究中心 南京邮电大学光通信研究所,江苏 南京 210003)

**摘要:**提出一种Y缺陷的改进型光子晶体光分路器,以提高输出端的透射率。在完整的二维光子晶体中引入线缺陷,构成 $1\times 4$ 的Y型光子晶体光分路器。通过调节第一分支处的4个介质柱的半径,使其每个输出端口具有更高的透射率。同时,通过改变第二分支处的1个介质柱的半径,可以实现输出端口的高透射率和输出光能量的灵活调节。Y缺陷光子晶体光分路器可以广泛应用于未来的光路集成、集成光学、微光信息处理和光通信领域。

**关键词:**光子晶体光分路器;介质柱;透射率;光能量

**中图分类号:**TN256

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-8788(2012)03-0065-03

## An improved Y defect-based photonic crystal optical splitter

Yang Jun, Chen Heming, Wang Jingli, Zhao Xinyan, Qian Chen

(Jiangsu Engineering Research Center for Optical Communication, Research Institute of Optical Communication,  
Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** An improved Y defect-based photonic crystal optical splitter is proposed so as to improve the transmittance of its output ports. Lead-in defects are introduced into the complete 2-D photonic crystal to form a  $1\times 4$  Y-type photonic crystal splitter. Each of the output ports is enabled to have a higher transmittance by regulating the radii of the four dielectric cylinders in the first branch, while flexible adjustment of the high transmittance and output optical energy at the output ports can be achieved by changing the radius of one dielectric cylinder in the second branch. It is concluded that such a splitter can be extensively applied in the fields of optical circuit integration, integrated optics, low-light level information processing and optical communications in the future.

**Key words:** photonic crystal optical splitter; dielectric cylinder; transmittance; optical energy

## 0 引言

随着国家对三网融合<sup>[1]</sup>的推进以及FTTH(光纤到户)技术<sup>[2]</sup>的快速发展,FTTH的核心器件—光分路器成为了研究的热点。现在大多数的光分路器是均匀分光,但在实际的应用中,常常需要光分路器将光信号分成几路强度不等的信号(分光不均匀),以使近距离用户与远距离用户接收到近似相等的光功率。因此研究非均匀光分路器对更好地实施FTTH有着重要意义。基于光子晶体的光分路器受到关注,这类光分路器相比于熔融拉锥型和平面波导型光分路器,具有传输性能好、弯曲损耗低<sup>[3]</sup>和系统不易受外界电磁场干扰等优点。

目前虽有耦合型光子晶体分路器<sup>[4]</sup>可实现自由调节能量的报道,但其调配方法相当复杂,需调节耦合区内6个介质柱,输出端透射率最高为99.2%,且器件尺寸偏大,不易集成。本文提出一种新型的Y缺陷的光子晶体光分路器。仿真结果表明,改变第一分支处4个介质柱的半径,能够使输出端透射

率提高到99.6%;通过调节第二分支处的1个介质柱的半径,便可自由调节输出光能量,实现不均匀分光,可以满足FTTH中各种不同用户的需求,具有重要的应用价值。

## 1 结构模型与分析

### 1.1 Y缺陷的光子晶体光分路器的结构模型

本文设计的Y缺陷光子晶体光分路器是基于完整二维三角晶格、介质柱型光子晶体的,结构参数如下:介质柱材料为GaAs,折射率 $n=3.4$ ,介质柱半径 $R=0.18a$ , $a$ 为晶格常数,且 $a=0.62\mu\text{m}$ ,背景材料是空气,折射率 $n_2=1$ 。光子晶体由 $18\times 23$ 个元胞组成,尺寸为 $10.54\mu\text{m}\times 13.64\mu\text{m}$ 。在完整的光子晶体中沿着光的传播方向移去一排介质柱形成输入波导,再将与输入波导成 $120^\circ$ 角的两排对称介质柱分别移去,形成Y型缺陷。按照此方法在两个顶点上分别级联Y型缺陷,构成 $1\times 4$ 结构的光子晶体光分路器。其结构示意图如图1所示。

该分路器的4个输出端口的宽度均为

收稿日期:2012-02-07

基金项目:江苏省科技创新与成果转化(重大科技支撑与自主创新)专项引导资金资助项目(BY2010101)

作者简介:杨君(1986-),女,江苏常州人,硕士研究生,研究方向为光纤通信与光波技术。

通讯作者:陈鹤鸣,教授,E-mail:chhm@njupt.edu.cn

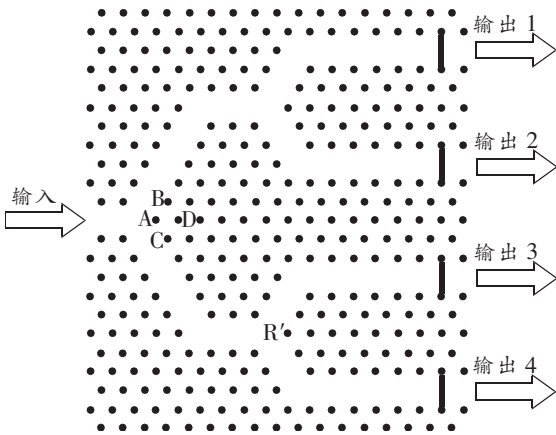


图 1 1×4 光子晶体光分路器结构图

1.28  $\mu\text{m}$ , 在 4 个输出端口分别装了 4 个探测器, 用来探测每个端口的透射率以及输出能量。通过调节第一分支处的介质柱 A、B、C、D 的半径, 可以提高光子晶体光分路器的每个输出端口的透射率; 同时, 通过改变第二分支处 1 个介质柱半径  $R'$ , 可以实现输出端口的高透射率和输出端口能量的自由调节。

## 1.2 时域有限差分法

本文采用 FDTD (时域有限差分) 法进行仿真计算, 分析光信号在光子晶体波导内的传输特性。FDTD 法主要是通过将 Maxwell 方程在时域和空间离散化然后达到模拟求解电磁波传播的目的。

假设光子晶体中的电介质是各项同性, 只考虑线性问题, 且介电常数  $\epsilon$  与入射光频率  $\omega$  无关, 可得到适合于光子晶体的 Maxwell 方程组:

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}, \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \vec{J}_m. \quad (2)$$

二维光子晶体中电场和磁场与  $z$  方向无关, TM 波只有  $E_z$  分量, TE 波只有  $H_z$  分量, 在直角坐标系下, 得到二维坐标中的 FDTD 离散方程组如下:

TM 波:

$$H_x |_{i,j}^{\pi+1/2} = H_x |_{i,j}^{\pi-1/2} - \frac{\Delta t / \delta}{\mu_0} (E_z |_{i,j}^{\pi} - E_z |_{i,j-1}^{\pi}),$$

$$H_y |_{i,j}^{\pi+1/2} = H_y |_{i,j}^{\pi-1/2} + \frac{\Delta t / \delta}{\mu_0} (E_z |_{i,j}^{\pi} - E_z |_{i-1,j}^{\pi}),$$

$$E_z |_{i,j}^{\pi+1} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{n,j} - \sigma_{i,j} \Delta t / 2}{\epsilon_0 \epsilon_{n,j} + \sigma_{i,j} \Delta t / 2} E_x |_{i,j}^{\pi} + \frac{\Delta t / \delta}{\epsilon_0 \epsilon_{n,j} + \sigma_{i,j} \Delta t / 2}.$$

$$(H_y |_{i,j}^{\pi+1/2} - H_y |_{i-1,j}^{\pi+1/2} - H_x |_{i,j}^{\pi+1/2} + H_x |_{i,j-1}^{\pi+1/2}); \quad (3)$$

TE 波:

$$E_x |_{i,j}^{\pi+1} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{n,j} - \sigma_{i,j} \Delta t / 2}{\epsilon_0 \epsilon_{n,j} + \sigma_{i,j} \Delta t / 2} E_x |_{i,j}^{\pi} + \frac{\Delta t / \delta}{\epsilon_0 \epsilon_{n,j} + \sigma_{i,j} \Delta t / 2}.$$

$$(H_z |_{i,j}^{\pi+1/2} - H_z |_{i,j-1}^{\pi+1/2}),$$

$$E_y |_{i,j}^{\pi+1} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{n,j} - \sigma_{i,j} \Delta t / 2}{\epsilon_0 \epsilon_{n,j} + \sigma_{i,j} \Delta t / 2} E_y |_{i,j}^{\pi} - \frac{\Delta t / \delta}{\epsilon_0 \epsilon_{n,j} + \sigma_{i,j} \Delta t / 2}.$$

$$(H_z |_{i,j}^{\pi+1/2} - H_z |_{i-1,j}^{\pi+1/2}),$$

$$H_z |_{i,j}^{\pi+1/2} = H_z |_{i,j}^{\pi-1/2} - \frac{\Delta t / \delta}{\mu_0}.$$

$$(E_y |_{i+1,j}^{\pi} - E_y |_{i,j}^{\pi} - E_x |_{i,j+1}^{\pi} + E_x |_{i,j}^{\pi}). \quad (4)$$

采用 PML (完美匹配层) 作为吸收边界, 保证边界场分量计算的必要精度, 以及消除非物理因素引起到截断边界的波的反射, 确保用有限的计算空间来模拟无限的实际空间。

## 2 仿真结果分析

选取中心频率  $a/\lambda = 0.4$  处的高斯型光波为入射光源, 其他参数不变, 在分路器的 4 个输出端口分别设置探测器, 采用 FDTD 法来仿真和模拟光波在 Y 缺陷光子晶体光分路器中的传播行为。

### 2.1 透射率仿真与分析

光子晶体波导是利用光子禁带特性有效传输光信号的, 能量损耗非常低。由文献[5]可知, 介质柱与波导的介质对比度会影响缺陷模式的局域性, 因此通过改变分支处介质柱 A、B、C、D 的半径, 可影响分支处的缺陷模式以及光子的局域性, 继而影响到光信号在分支处以及输出端口的传输情况。

下面利用基于 FDTD 法的 Rsoft 软件, 分析分支处介质柱 A、B、C、D 半径变化情况下, 光信号在光子晶体中的透射情况。改变介质柱 A、B、C、D 的半径  $R$ , 观察输出端口透射率的变化, 仿真结果如图 2 所示。介质柱半径按照步长为  $0.1 \mu\text{m}$  的增加速度从  $0.14a$  变化到  $0.26a$ 。从图 2 可以看出, 透射率是先增大再逐渐减小, 在半径为  $0.14a \sim 0.22a$  范围内, 曲线处于均匀上升状态, 透射率随着半径的增大而增大; 在半径为  $0.22a \sim 0.25a$  范围内, 曲线处于均匀下降状态, 变化较慢, 透射率随着半径的增加而降低; 但在半径为  $0.25a \sim 0.26a$  范围内, 透射率随着半径的增大出现快速下降, 曲线变化非常陡。

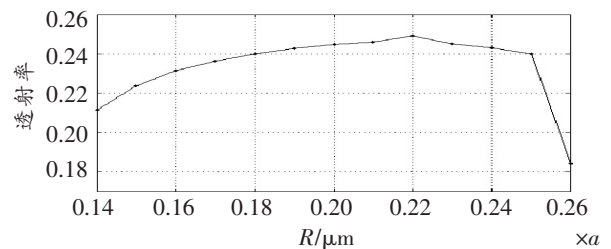


图 2 透射率随介质柱 A、B、C、D 半径的变化情况

在图 2 中可以明显看出, 当  $R = 0.18a$  时, 分路器输出端口的透射率只有 0.24; 而当  $R = 0.22a$  时, 分路器输出端口的透射率有显著提高, 达到了最高值 0.249, 总透射率达到 99.6%。

根据上述分析可以发现,分支处介质柱的半径对分路器的透射率有很大的影响,选择适当的分支介质半径对制作性能优良的光子晶体光分路器至关重要,因此,按照介质柱半径与输出端口透射率的关系图得出优化方案:将分支处的 4 个介质柱的半径从  $0.18a$  调整为  $0.22a$ 。

2.2 能量调节仿真与分析

通过仿真发现:对于图 1 所示结构的光分路器,通过调节第二分支处的介质柱半径  $R'$ ,可以实现灵活调节输出端口的能量。介质柱折射率保持不变( $n=3.4$ ),光源以及探测器的位置和宽度保持不变,用 FDTD 法进行数值分析,调节  $R'$ ,即按照步长为  $0.1\ \mu\text{m}$  的增加速度将  $R'$  从  $0.1a$  变化到  $0.27a$ ,分别仿真出各输出端口的能量值以及能量比的情况,如图 3 和图 4 所示。

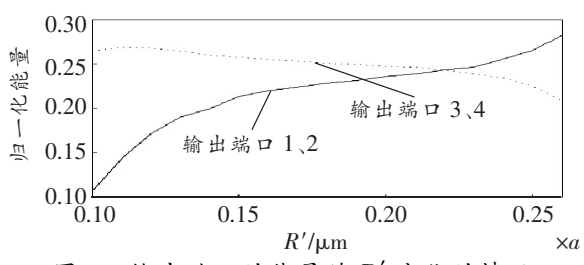


图 3 输出端口的能量随  $R'$  变化的情况

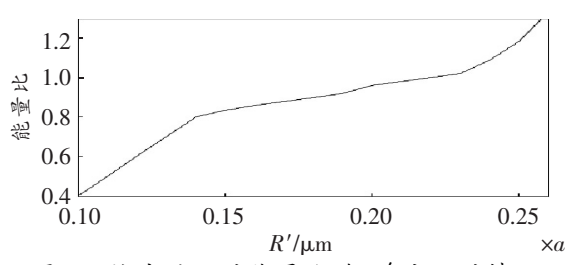


图 4 输出端口的能量比随  $R'$  变化的情况

由图 3 可以看出,随着  $R'$  的逐步增大,输出端口 1、2 的能量逐渐增加;而输出端口 3、4 的能量刚好相反,呈逐渐下降趋势,只有在  $R'=0.22a$  时,4 个端口的输出能量值相同且为  $0.2436$ 。

图 4 中,随着  $R'$  的逐步增大,能量比呈增长趋势。当  $R'$  取  $0.1a \sim 0.21a$  时,能量比  $< 1$ ;当  $R'$  取  $0.22a$  时,能量比  $= 1$ ;当  $R'$  取  $0.23a \sim 0.27a$  时,能量比  $> 1$ ,与图 3 分析结果一致。

上述仿真结果表明,调节第二分支处的介质柱半径的  $R'$  可以灵活调节输出端口的光能量。

3 结束语

本文提出了一种基于 Y 缺陷的改进型光子晶体光分路器,并经过仿真计算提出了改进方案:将分路器的第一分支处的 4 个介质柱的半径从  $0.18a$  调整为  $0.22a$ ,透射率提高到了  $99.6\%$ ,比文献[6]中的 Y 型分路器具有更高的透射率。且通过调节第二分支处的介质柱半径  $R'$ ,可实现输出端口光强度的自由调节。与文献[4]相比,本文提出的方案具有调节介质柱数目少,调节方法更简便等优点。本文提出的 Y 缺陷光子晶体光分路器在 FTTH 和微光信息处理中具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 赵金民,许常德,杜军,等. 三网融合形势下 FTTH 规模发展关键问题及管理研究 [J]. 光通信技术, 2011,10A:150-155.

[2] 孙志兵,张兴初. FTTH 在中国的发展分析 [J]. 中国新技术新产品,2009,(1):14.

[3] Oliver S,Smith C,Ratier M,et al. Miniband transmission in a photonic crystal coupled-resonator optical waveguide [J]. Opt Lett,2001,26:1019-1021.

[4] 李未,陈小玲,何玉平,等. 多平行光子晶体波导耦合分路器 [J]. 光通信技术,2006,(6):18-20.

[5] 李文华. 光子晶体的缺陷及波导特性研究 [D]. 湖南: 湖南大学,2005.

[6] 徐旭明,李未,缪路平,等.  $1 \times 4$  光子晶体波导分束器的特性 [J]. 发光学报,2009,30(1):31-33.

欢迎来稿

刊登广告