

文章编号: 1000-7032(2009)01-0031-04

# 1 × 4 光子晶体波导分束器的特性

徐旭明, 李 未, 缪路平, 高力军

(南昌大学 理学院, 江西 南昌 330031)

**摘要:** 在完整的二维光子晶体中引入线缺陷, 形成了光子晶体波导, 光子晶体波导分束器是集成化光学电路的重要组成元件。我们设计了一种线缺陷 1 × 4 光子晶体分束器, 并且用有限时域差分法研究了它的特性。研究表明, 输出端的透射传输特性与入射光的波长和分支的几何形状有关, 并且入射波分别相等地流入四个输出端口。为了减少 1 × 4 分束器在三个 Y 型分支区的反射, 可以通过调节在分支区的可调介质柱的半径  $R$ , 使每个输出端口具有很高的透射率。

**关键词:** 时域有限差分法; 光子晶体波导; 分束器

**中图分类号:** O431      **PACC:** 4220      **文献标识码:** A

## 1 引 言

光子晶体是折射率呈周期性排布的一种人工材料, 该领域是当前光电子学中最热门、发展最快的领域之一。在光子晶体中制造各种缺陷(如线缺陷、点缺陷等)就形成了光子晶体波导, 可以用来制作光功分器、光开关、波分复用器或解复用器等<sup>[1-8]</sup>, 从而可以实现光子晶体器件的集成化。光子晶体分束器是集成化光学电路的重要组成元件, 从理论上讲, 分束器应该把输入能量无反射和无损失且等能量地传输到输出端<sup>[9]</sup>。

当光子晶体中有两个或两个以上线缺陷波导时, 在一定条件下, 这些光子晶体波导之间会发生耦合, 并且光子晶体波导耦合遵循普通介质波导耦合的一般规律, 也有定向耦合的功能<sup>[10]</sup>。因此, 本文中我们设计了一种 Y 型分支结构线缺陷 1 × 4 的光子晶体分束器, 并且用时域有限差分法<sup>[11]</sup>分析了它的特性。

## 2 数值模拟与分析

我们设计的分束器是基于完整二维三角型光子晶体, 介质柱为折射率是  $\epsilon = 3.0$  的 GaAs, 介质柱的半径  $r = 0.20a$ ,  $a$  为晶格常数, 且  $a = 0.62 \mu\text{m}$ , 背景材料为空气。由于二维光子晶体的对称性, 入

射的电磁波可以分解为两个偏振模 TE 和 TM 模。TE 模的磁场方向平行介质柱方向, 而 TM 模的电场方向平行介质柱方向。用有限时域差分法分别计算该光子晶体对于 TM 模和 TE 模的光子带隙可以得到, 对于 TM 模, 该光子晶体存在光子带隙, 其范围为  $0.298c/a \sim 0.436c/a$ , 而类似的光子带隙对于 TE 模则不存在。所以下面我们都是以 TM 模作为研究对象。

图 1 是几种不同分支结构线缺陷 1 × 2 的分束器结构示意图。从图中可以看到, 输出端口总的透射率随弯曲的几何形状有关, 我们设计了三种不同弯曲几何形状的 1 × 2 光子晶体功率分束器, 它们的总透射率随频率变化的关系分别如图 1(a) ~ (c) 所示。我们发现图 1(b) 结构总的有效透射率都很高, 并且频率在  $0.394c/a$  时透射率可高达 99.2%。

因此, 我们设计了如图 1(b) 结构的 1 × 4 光子晶体分束器, 如图 2 所示。以 TE 模时域高斯脉冲作为入射光, 波长为  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ , 其它参数不变, 由于二维光子晶体的对称性, 从四个输出端口输出的透射光强是完全相等的, 相对应的坡印亭矢量分布图如图 3 所示。光在 A 端的输出透射率如图 4 所示, 我们可以看到在每个输出端口存在较大的反射率, 造成这种情况主要是由于功率分束器中存在

收稿日期: 2008-10-25; 修订日期: 2008-11-28

基金项目: 江西省自然科学基金(2007GZW2547, 2008GZW0007); 江西省教育厅重点项目(赣教技字[2006]15号); 江西省科技攻关项目资助

作者简介: 徐旭明(1964-), 男, 江西贵溪人, 博士, 教授, 主要从事光与物质相互作用的研究。

E-mail: ncxmxn@ncu.edu.cn

几个 Y 型弯曲部分。为了减小这种反射,我们可以通过调节 Y 型弯曲处的介质柱半径  $R$ 。当  $R = 0.13a$  时,我们发现输出端的透射率最大,如图 5(b)所示。

图 3 中心频率  $f=0.4c/a$  的光在  $1 \times 4$  分束器中的坡印亭矢量分布图

Fig. 3 Poynting vector pattern of the  $1 \times 4$  splitter at the frequency of  $0.4c/a$

图 4 光在 A 输出端的透射率随频率变化示意图

Fig. 4 Transmission coefficient at observation point A with the frequency change

图 1 三种不同  $1 \times 2$  分束器的结构和透射系数示意图

Fig. 1 Schematics of the structures and the transmission coefficients for three  $1 \times 2$  photonic crystal splitters

图 2  $1 \times 4$  光子晶体分束器结构示意图

Fig. 2 Structural schematic of a  $1 \times 4$  photonic crystal splitter

图 5 Y 型分支结构处不同介质柱半径  $R$  时的透射率分布图(a)  $R = 0.20a$ ; (b)  $R = 0.13a$

Fig. 5 Transmission coefficient at the Y-branching regions with different radius of medium cylinder  $R$ . (a)  $R = 0.20a$ ; (b)  $R = 0.13a$ .

我们可以把这些发现应用在图 2 所示的  $1 \times 4$

功率分离器上,调节每个 Y 型弯曲处的介质柱半径  $R$ ,使  $R = 0.13a$ 。模拟结果表明,每个输出端的透射率比没有调节 Y 型弯曲处的介质柱半径都提高了几个百分比,如图 6 所示。

### 3 结 论

研究了一种  $1 \times 4$  光子晶体分束器,并且用有限时域差分法分析了它的特性。计算表明,从四个输出端口输出的透射光强是完全相等的,并且具有很高的透射率。为了减小分支区的反射,我们调节分束器中 Y 型弯曲处的可调介质柱半径  $R$ ,当  $R = 0.13a$  时,每个输出端的透射率比没有调节 Y 型弯曲处的介质柱半径都提高了几个百分比。

图 6 当  $R = 0.13a$  时,入射光在 A 输出端的透射率随频率变化示意图

Fig. 6 Transmission coefficient at observation point A with the frequency change in  $R = 0.13a$

### 参 考 文 献:

- [ 1 ] Liu T, Zakharian A R, Fallahi M, *et al.* Design of a compact photonic-crystal-based polarizing beam splitter [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(7):1435-1437.
- [ 2 ] Yu Tiaobao, Wang Minghua, Jiang Xiaoqing, *et al.* Coupling characteristics of electromagnetic wave in parallel three photonic crystal waveguides and its applications [J]. *Acta Phys. Sin.* (物理学报), 2006, **55**(4):1851-1851 (in Chinese).
- [ 3 ] Chen C C, Chen C Y, Wang W K, *et al.* Photonic crystal directional couplers formed by In AlGaAs nano-rods [J]. *Opt. Express.*, 2005, **13**(1):38-43.
- [ 4 ] Yu Tianbao, Wang Minghua, Jiang Xiaoqing, *et al.* Ultracompact and wideband power splitter based on triple photonic crystal waveguides directional coupler [J]. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, 2007, **9**:37-42.
- [ 5 ] Chen Song, Wang Weibiao, Liang Jingqiu, *et al.* Two-dimensional photonic crystal microcavities [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(1):7-12 (in Chinese).
- [ 6 ] Li Hongtao, Shao Mingzhu, Lou Shiyu. Band structure of one-dimensional photonic crystal with dielectric constant as a sine-squared function in coordinate space [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(2):229-232 (in Chinese).
- [ 7 ] Chen Haibo, Gao Yingjun, Hu Sumei. Properties of mirror symmetrical photonic crystals of dielectric constant defect layer with imaginary part [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(2):233-237 (in Chinese).
- [ 8 ] Wang Daobin, Hou Shanglin, Ren Guodong, *et al.* Band structure of Suzuki-phase photonic crystal [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(5):885-890 (in Chinese).
- [ 9 ] Zhu Zhihong, Ye Weimin, Yuan Xiaodong, *et al.* Photonic crystal waveguide directional coupler [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2003, **23**(10):1237-1240 (in Chinese).
- [ 10 ] Kane S Yee. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media [J]. *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, 1966, **14**(3):302-307.
- [ 11 ] Ward A J, Pendry J B. Calculating photonic Green's functions using a nonorthogonal finite-difference time-domain method [J]. *Phys. Rev. B*, 1998, **58**(11):7252-7259.

## The Properties of a $1 \times 4$ Optional Power Splitter Made of Photonic Crystal Waveguide

XU Xu-ming, LI Wei, MIAO Lu-ping, GAO Li-jun  
(Nature Science College, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**Abstract:** Photonic crystal(PC) is a new artificial material. Its unique optical properties enable it to be used in fabricating novel optical devices. Optical power splitters made of photonic crystal waveguides are believed to become essential components for compact photonic integrated circuits. It can engender photonic crystal waveguide (PCW) in the complete two-dimensional photonic crystals by introducing line defects. We designed a  $1 \times 4$  optical power splitter made of linear-defect waveguides in photonic crystals, and analyzed its properties using the finite-difference time-domain method. Results showed that the transmission properties vary with wave frequency and branch geometry, and that an incident wave is divided equally into four output parts. To reduce the reflections at the three Y-branching regions in the  $1 \times 4$  splitter, we can adjust the radius of the medium cylinder in the branching region, and achieve high transmission for  $R = 0.13a$  at each output waveguide. We analyzed the physical origins of this performance and this kind of multi-mode interference may find potential application in PC optical circuits.

**Key words:** finite-difference time-domain method; photonic crystals waveguides; splitter

Received date: 2008-10-25

### 《发光学报》2008 年在长编委编委会会议纪要

2008 年 6 月 26 日在中科院长春光机与物理所召开了《发光学报》2008 年编委会,在长编委参加了会议。会议由申德振主编主持,编委们听取了编辑部 2007 年《发光学报》编辑部工作情况、学报的现状和发展趋势的报告,并对学报的现状和发展形势、学报的建设等进行了积极认真的讨论。会上,编委们还就 Ei 数据库中国区总代表 2008 年 5 月访问《发光学报》编辑部并对《发光学报》提出的建议和要求提出了细致、可行的建议。

1. 编委们充分肯定了学报 2007 年的发展和取得的成绩。

2. 对学报下一步发展与征稿情况提出了积极有益的建议,并一致通过了关于《发光学报》编委会成员有义务为学报投稿、组稿的建议和要求。

3. 建议进一步增加英文论文稿件的刊登数量,早日和国际期刊语言接轨,鼓励作者用英语写论文,并提出集中排版或单期出版英语撰写论文专辑的建议。

4. 按照 Ei 的建议和要求进行改进现有的排版和出版状况,合理安排论文版面和研究群体的论文。

5. 建议向在发光学领域工作时间比较长的专家和研究群体征集稿件,主要是他们在比较长的时间里研究工作的总结或在某个领域重点研究成果。

会议结束后,编委们一起合影留念。