

基于波导间能量耦合效应的光子晶体频段选择与能量分束器

赵绚 刘晨 马会丽 冯帅

Photonic crystal frequency band selecting and power splitting devices based on the energy coupling effect between waveguides

Zhao Xuan Liu Chen Ma Hui-Li Feng Shuai

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 66, 114208 (2017) DOI: 10.7498/aps.66.114208

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.114208>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2017/V66/I11>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

蛋白石型光子晶体红外隐身材料的制备

Preparation of opal photonic crystal infrared stealth materials

物理学报.2017, 66(8): 084208 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.084208>

一种编码式宽带多功能反射屏

A wideband coding reflective metasurface with multiple functionalities

物理学报.2017, 66(6): 064203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.064203>

基于平行磁控的磁化等离子体光子晶体 THz 波调制器

Parallel magneticcontrolled THz modulator based on two-dimensional magnetized plasma photonic crystal

物理学报.2017, 66(5): 054210 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.054210>

硅基光子晶体异质结的单向传输特性

Study on unidirectional transmission in silicon photonic crystal heterojunctions

物理学报.2017, 66(5): 054209 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.054209>

宽绝对禁带的一维磁性光子晶体结构

One-dimensional magnetic photonic crystal structures with wide absolute bandgaps

物理学报.2017, 66(1): 014204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.014204>

基于波导间能量耦合效应的光子晶体 频段选择与能量分束器*

赵绚 刘晨 马会丽 冯帅†

(中央民族大学理学院, 北京 100081)

(2016年12月26日收到; 2017年3月5日收到修改稿)

基于波导间能量耦合效应的光子晶体功率分束器具有结构紧凑、带宽较宽、弯曲损耗低、分光角度大和不受外界电磁场干扰等优点. 本文利用时域有限差分方法, 理论研究了二维三角晶格光子晶体耦合波导的功率分束特性, 设计得出了一种能够在宽频谱范围内针对不同频率区间实现不同分光比的功能器件. 在此基础上通过改变耦合区介质柱形状以及输出分支波导与能量耦合波导的连接位置, 最终针对三个相邻频率范围内的入射光信号, 较好地实现了三均分、二均分、单一输出通道这3种能量分配输出模式. 该功能器件具有透过率对比度高、结构紧凑等特性, 对于发展全光功能器件在大规模全光复杂集成领域内的实际应用具有一定的促进作用.

关键词: 光子晶体, 模式耦合, 自成像, 功率分束器

PACS: 42.70.Qs, 42.25.Bs, 78.67.Pt

DOI: 10.7498/aps.66.114208

1 引言

自从1987年由John^[1]和Yablonovitch^[2]分别独立提出光子晶体(photonic crystal, PC)概念以来, PC便以其独特的导光机制和奇特的光学效应, 获得了研究者的持续关注. 由于PC在光通信、光计算等领域的广泛应用前景, 基于光子晶体的功率分束器受到人们的广泛重视. 相对于传统的平面或光纤功率分束器件, 光子晶体功率分束器具有结构紧凑、带宽较宽、弯曲损耗低、分光角度大和不受外界电磁场干扰等优点, 为大规模光子集成提供了可能. 现阶段实现入射光功率分束的方法主要基于多模干涉(multi-mode interference, MMI)的自成像效应^[3]、自准直效应^[4]、非线性Kerr效应^[5]和填充电磁感应透明(electromagnetically induced transparency, EIT)原子气体^[6]等多种途径. 相对于其他方法, 基于MMI效应的耦合波导光子晶体

功率分束器分光比灵活、原理较为明确, 因此得到人们的广泛关注. 2004年, Kim等^[7]首先提出了光子晶体多模波导中的MMI效应. Park等^[8]将方向耦合应用于二维光子晶体波导并实现了光分束, 即根据光信号在相邻耦合波导间的能量转移规律来设计波导结构, 从而实现特定功率比例分束的功能.

近几年, 基于光子晶体波导定向耦合、多模干涉效应的光分束器得到了深入研究^[9-28]: Liu等^[9]提出在单模分支波导中插入介质柱可以调节信号间的相位差, 并在此基础上设计了马赫-增德尔干涉仪(Mach-Zehnder interferometer, MZI); 范定环等^[11]通过平移单模和多模波导连接处的两列介质柱实现了对透射率的调控; 2011年, 金晓君^[12]以及李未和徐玉华^[13]分别探讨了耦合波导间相隔介质柱排数和线缺陷波导个数与耦合距离的关系; 缪路平等^[14]和黎磊等^[16]在2011年和2013年分别研

* 国家自然科学基金(批准号: 11374378, 11574408, 61675238)、国家重大科学仪器设备开发专项(批准号: 2012YQ14000508)、留学人员科技活动择优资助项目和大学生创新性试验计划(批准号: GCCX2016110007, URTTP2016110009)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: fengshuai75@163.com

究了基于三角晶格和正方晶格的异质结构耦合波导; 谈继斌和陈鹤鸣^[17]以及程伟和李九生^[18]分别通过改变波导连接处介质柱的半径和折射率实现了能量的自由分配; Tee等^[20,21]在2012和2014年通过调控波导拐角处的水滴型空气孔(drop hole)实现了信号均分; 2015年, 于兵等^[28]通过引入双梯形结构大幅度降低了正方晶格波导的片内反射.

迄今人们已广泛研究了入射光信号能量的同比例输出, 并且运用改变特定介质柱的半径或折射率的方法进行了灵活调节. 本文利用时域有限差分(finite difference time domain, FDTD)方法, 理论研究了二维三角晶格光子晶体耦合波导的功率分束特性. 研究发现, 通过将中间位置耦合波导与三个W1型输出波导相结合, 可以实现对宽波段范围内入射光束的分波段调节特性. 对于特定波长范围的入射光束, 使其沿某一支波导传输; 对另一波段入射光, 使其沿另外两个分支波导传输; 而第三波段内的入射光, 实现了三支分束特性. 因此, 通过对三个输出波导中光强相对大小的探测和分析, 可以判断得出入射光束所在的波段范围. 最后, 通过改变耦合区域介质柱形状以及改变耦合波导与输出波导之间的连接区域, 可以灵活调节发生三种不同光输出特性所属的频率范围, 而且也进一步优化了分束性能.

2 初始结构与多模干涉原理分析

本文研究由半导体材料硅介质柱排列在空气中形成的二维三角晶格光子晶体. 硅介质柱的折

射率 $n = 3.4$, 半径 $r = 0.21a$, a 为光子晶体的晶格常数. 对于电场强度沿着介质柱中心轴方向的TM模入射光, 我们利用平面波展开方法计算得出的能带结构图如图1(a)所示, 可见在第一个能带和第二个能带之间存在一个光子带隙, 其频率范围为 $0.2776c/a - 0.4462c/a$ (c 为真空中光速). 对于由在完整光子晶体中去掉一排介质柱构成的W1型直波导, 图1(b)给出了其色散关系曲线, 可以看到由于引入了线缺陷, 光子禁带中出现了缺陷态, 归一化频率在 $0.3387c/a - 0.4431c/a$ 范围内的光可以在该波导内稳定传输.

对于由间隔一排介质柱去掉其相邻两排介质柱而构成的双平行耦合波导, 图2(a)给出了利用超元胞法计算出的色散关系曲线(内插图为其结构示意图). 从图中可以看出, 耦合波导内的模式分裂为0阶模(偶模)和1阶模(奇模)两个本征模, 光波在该波导中传输时可视为二者的线性叠加. 由多模干涉的自成像理论^[29], 双平行光子晶体波导成像条件是相干长度 l 为波导中奇模与偶模传输常数之差的倒数的 $k\pi$ 倍 ($k = 1, 2, 3, \dots$), 用公式可表示为 $l = k\pi / |\beta_{\text{even}} - \beta_{\text{odd}}|$, k 为奇数时成单重象, k 为偶数时成双重象. 当晶格常数为 620 nm 时, 波长 1550 nm 的入射光对应的归一化频率为 $0.40c/a$. 对于该频率, 其阶模和1阶模对应的传输常数分别为 $0.58\pi/a$ 和 $0.48\pi/a$, 因此可得单重像首先出现在 $l = 10a$ 处, 双重像首先出现在 $l = 20a$ 处. 图2(b)为该频率的入射光束在耦合波导结构中的稳态光强空间分布图, 可见其在两波导中的耦合长度为 $10a$, 与理论分析一致.

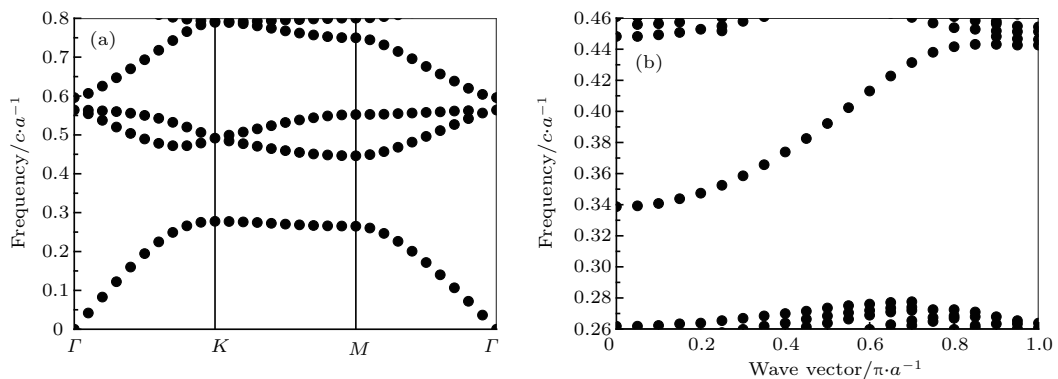


图1 二维三角晶格光子晶体 TM 模能带结构图 (a) 以及 W1 型直波导的色散曲线 (b)

Fig. 1. Band structure of the two-dimensional triangular-lattice PC structure (a) and the dispersion curve of the W1-typed straight waveguide (b).

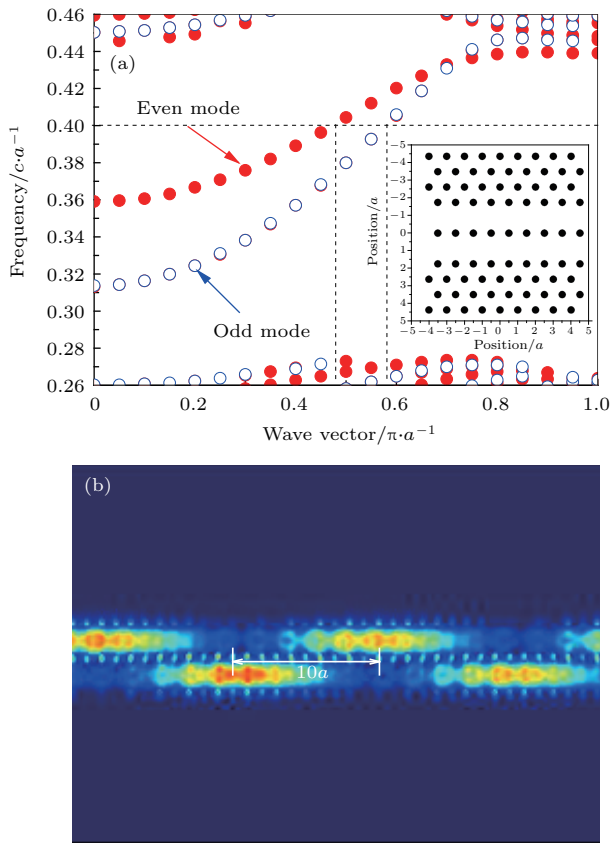


图2 (网刊彩色) 间隔一排介质柱的双平行光子晶体波导耦合特性 (a) 耦合波导的色散图; (b) 归一化频率 $0.40c/a$ 光波稳态光强空间分布
 Fig. 2. (color online) Coupling characteristics of two-parallel photonic crystal waveguides spaced apart by one row of dielectric cylinders: (a) Dispersion diagram of the coupled waveguide; (b) steady spacial light intensity distribution at the normalized frequency of $0.40c/a$.

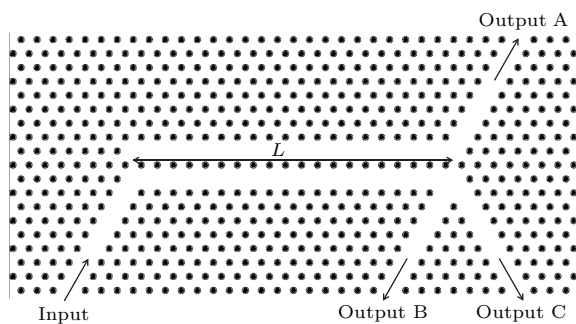


图3 设计的光子晶体能量分束器初始结构
 Fig. 3. Initial projected structure of photonic crystal beam splitter.

在上述原理分析的基础上, 我们所设计的能量分束器件结构如图3所示. 该功能器件由一个W1型输入波导, 一个双平行多模干涉区(耦合区)和三个W1型输出波导A, B, C构成. 其中耦合区总长

度为 L , 两平行波导间间隔一排介质柱, 称为耦合介质柱. 输入波导沿光子晶体的 ΓK 方向, 3个输出波导也均沿 ΓK 方向. 光源从入射端口经过输入波导进入耦合波导, 不同频率的光波经耦合区自成成像效应后以一定能量比从A, B, C三个出射端口射出.

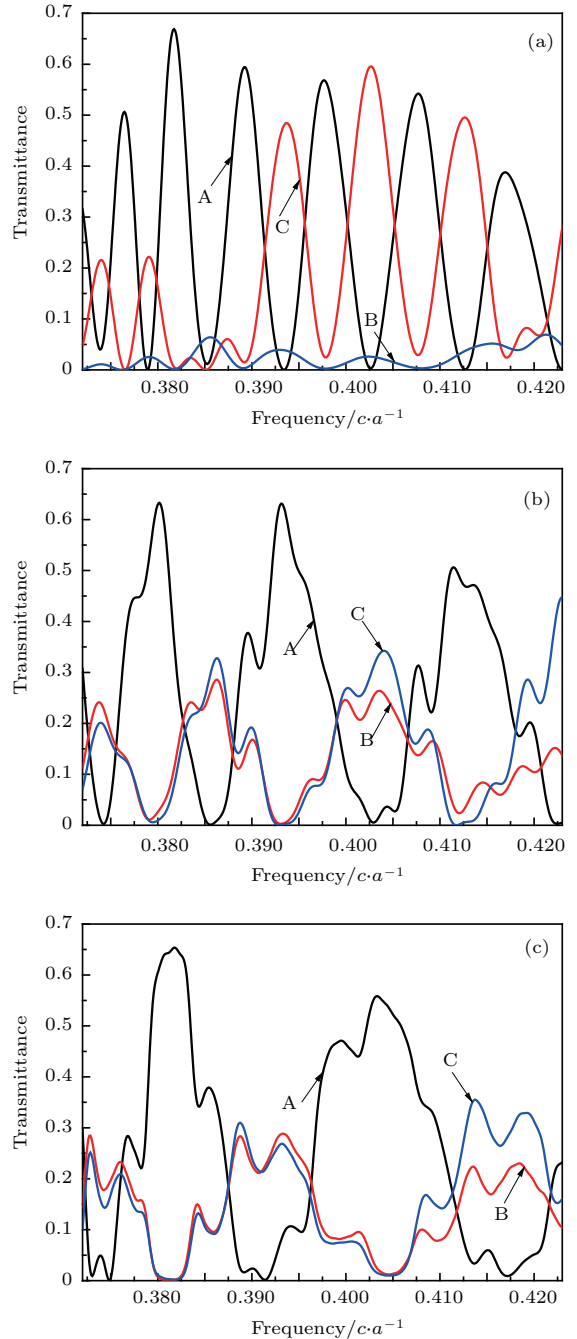


图4 (网刊彩色) 耦合区总长度 $L = k\pi/|\beta_{\text{even}} - \beta_{\text{odd}}|$ 的三种结构透过率曲线 (a) $L = 80a$; (b) $L = 40a$; (c) $L = 30a$
 Fig. 4. (color online) Light transmittances through the structures whose coupling region length $L = k\pi/|\beta_{\text{even}} - \beta_{\text{odd}}|$: (a) $L = 80a$; (b) $L = 40a$; (c) $L = 30a$.

根据多模干涉原理, 若要实现端口 A 的通断状态, 耦合区总长度应为 $10a$ 的整数倍. 为此, 我们计算了耦合区总长度为 $80a$, $60a$ 和 $30a$ 三个不同数值时在 A, B, C 三个输出端口测得的透过率曲线, 如图 4 所示. 由图 4(a) 可以看出, 当耦合区总长度较长 ($L = 80a$) 时, A, C 两端口透过率呈现有规律的高低交替分布(交叉态); 总长度 $L = 60a$ 时, 如图 4(b) 所示, B, C 两端口透过率曲线大致重合, A 端口与 B, C 两端口呈交叉态; 逐渐缩短耦合区长度时, 可见透过率在交叉态的基础上逐渐出现了三通道大致均分透过功率的频率区域, 在 $L = 30a$ 时的透过率曲线如图 4(c) 所示. 通过比较不同耦合长度结构的仿真结果, 我们最终选定耦合长度 $L = 20a$ 的结构作为研究对象.

3 数值模拟与结构调控

3.1 数值模拟及初始结构

利用时域有限差分方法, 选定耦合长度 $L = 20a$, 我们数值模拟了光波通过上述结构时的传播情况. 选取中心频率在 $0.394c/a$ 的光源作为入射光源(若取晶格常数 $a = 610$ nm, 则该归一化频率对应波长为 1550 nm, 处于光通信窗口之一). 对于我们设计的光子晶体结构, 数值计算得出的透过率曲线如图 5 所示. 可见归一化频率在 $0.382c/a - 0.390c/a$ 范围内的光束从 A 端口出射的透过率均在 50% 以上, 而另外从 B, C 两端口透射的光束都在 5% 以下; 对于频率在 $0.394c/a - 0.398c/a$ 范围内的入射光束, 通过三个输出端口的

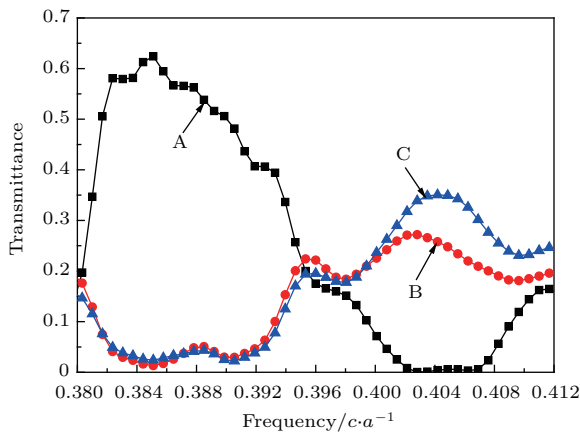


图 5 (网刊彩色) 初始结构的透过率曲线
Fig. 5. (color online) Transmittance diagram of the initial structure.

透过率都在 15% 以上, 其中在频率为 $0.395c/a$ 处各分支波导透过率数值差别最小, 变化范围为平均透过率的 9%, 而在频率 $0.396c/a$ 处各输出波导透过率数值差别最大, 达到 16%; 而在 $0.400c/a - 0.407c/a$ 频率范围内的光束从 B, C 两端口出射的透过率都大于 20% 以上, 而 A 端口小于 5%, 其中在频率为 $0.403c/a$ 处时 A 通道透过率达到最低, 为 0.0005, 此时其他两输出通道的透过率数值与其对比度均大于 550.

3.2 将耦合介质柱改为椭圆柱

我们在保持介质柱面积不变的条件下, 尝试了将中间的圆形介质柱改变为椭圆形, 其中椭圆的长半轴为短半轴的 2 倍. 图 6(a) 为计算得到的该种基于中间椭圆介质柱的双耦合波导色散曲线, 其中位于带隙内的红色实心点线为偶对称性导模, 蓝色空心点线为奇对称性导模. 与图 2(a) 进行比较发现, 介质柱形状的改变对奇模的影响并不明显, 而对偶模影响显著, 偶模所在的频率范围明显减小. 当晶

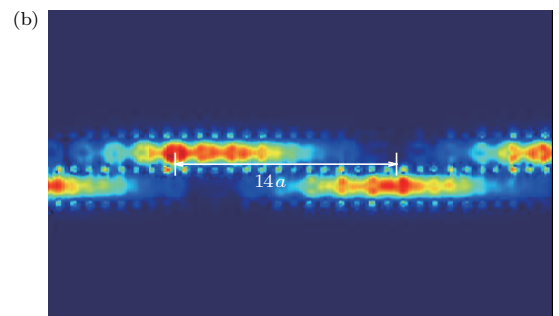
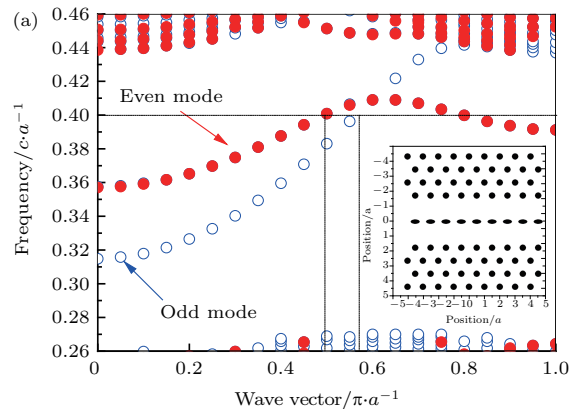


图 6 (网刊彩色)(a) 椭圆介质柱耦合波导色散图; (b) 归一化频率 $0.40c/a$ 的光波稳态光强空间分布
Fig. 6. (color online) (a) Dispersion diagram of coupled waveguides with elliptical cylinders; (b) steady spatial light intensity distribution at the normalized frequency of $0.40c/a$.

格常数为 620 nm 时, 波长为 1550 nm 的入射光对应的归一化频率为 $0.40c/a$. 对于该频率, 其阶模和 1 阶模对应的传输常数分别为 $0.50\pi/a$ 和 $0.57\pi/a$, 因此可得单重像首先出现在 $l = 14a$ 处, 双重像首先出现在 $l = 28a$ 处. 图 6 (b) 为该频率光束经过上述双耦合波导结构的光强空间分布, 也与通过理论分析得出的耦合长度很好地符合.

耦合介质柱由圆形改为椭圆后的结构示意图如图 7 (a) 所示, 相应的透过率曲线如图 7 (b) 所示. 可见, 在归一化频率 $0.381c/a - 0.387c/a$ 内, A 通道透过率均高于 50%, B, C 通道透过率均低于 5% ($0.383c/a - 0.385c/a$ 频率范围内均低于 1%), 与初始结构相比, 对比度有明显提高; 归一化频率 $0.388c/a - 0.393c/a$ 内三通道透过率均在 11%—24% 间, 其中 $0.3925c/a$ 处三通道透过率相等, 均为 14%, 此频段范围内均分信号的性能较初始结构稍有降低; 归一化频率 $0.395c/a - 0.399c/a$ 内 B, C 通道透过率均高于 23%, A 通道透过率低于 0.5%, 具有很好的透射对比度.

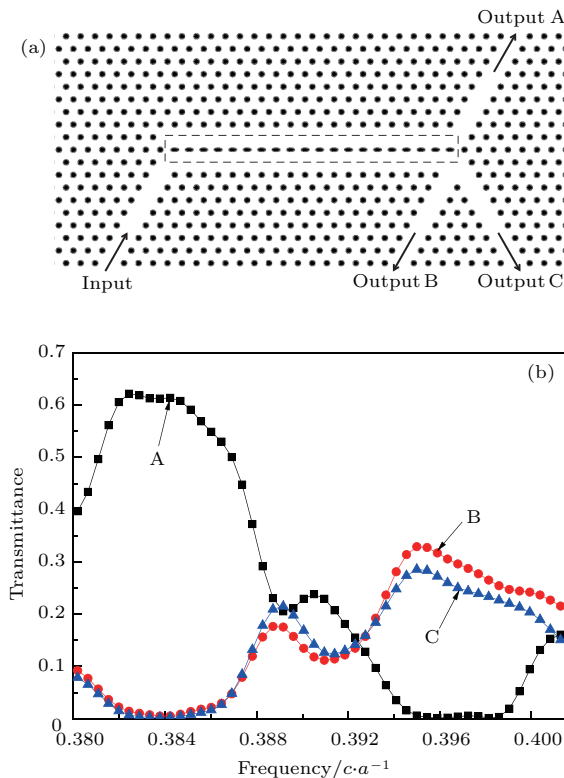


图 7 (网刊彩色) 将耦合区域介质柱形状改变为椭圆后 (a) 结构示意图, (b) 透过率曲线

Fig. 7. (color online) The shape of the coupling medium column is changed from circle to ellipse: (a) Schematic diagram of the structure; (b) light transmittance through the proposed structure.

3.3 改变出射通道位置

为了研究输出波导与双耦合波导之间的连接区域对分束性能的影响, 我们将出射通道左移了一个晶格常数, 相应的结构示意图和透过率曲线如图 8 (a) 和图 8 (b) 所示. 可见, 在归一化频率 $0.382c/a - 0.389c/a$ 范围内, A 通道透过率均高于 50%, B, C 通道透过率均低于 5% ($0.384c/a - 0.387c/a$ 内低于 2%, 其中 $0.386c/a$ 处 A, C 通道对比度约为 270 倍), 较初始结构有显著提高; 在 $0.391c/a - 0.397c/a$ 频率范围内三个通道透过率均在 14.5%—23% 间, 其中均分效果最佳处在 $0.393c/a$ 处, 平均透过率为 16.3%, 平均度为 17%; $0.3985c/a - 0.405c/a$ 区间, A 通道透过率低于 5%, B, C 通道透过率均高于 20%. 经过优化后, 上述三个频段范围内的光分束功能都达到了很好的水平.

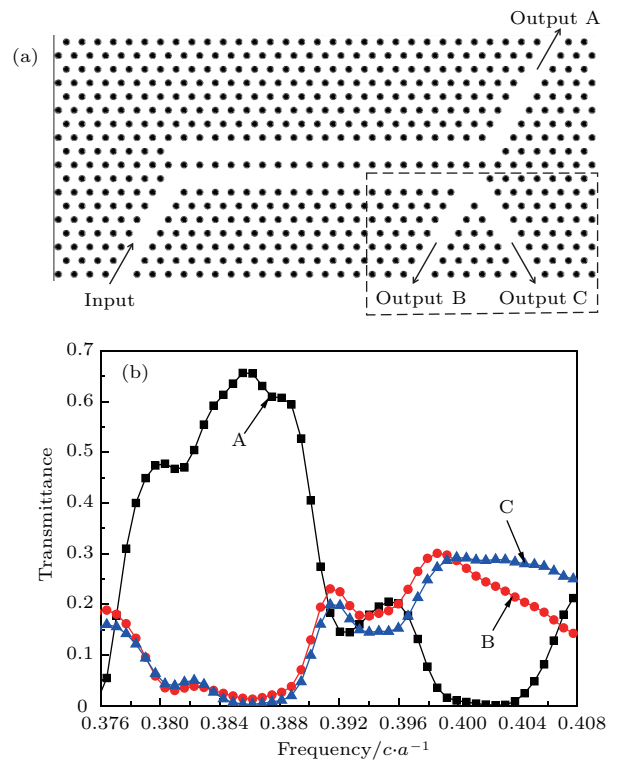


图 8 (网刊彩色) 将 B, C 两通道左移一个晶格常数后 (a) 结构示意图, (b) 透过率曲线

Fig. 8. (color online) Move channel B and C leftwards a lattice constant: (a) Schematic diagram of the structure; (b) light transmittance curve.

为了进一步检验上述三输出端口多功能分束器的性能, 我们计算了分别位于上述三个频率范围内的 $0.3864c/a$, $0.3916c/a$ 和 $0.3999c/a$ 的入射光束在上述结构中传输时的空间光强分布特性. 当光子

晶体的晶格常数为620 nm时, 上述三个频率所对应的真空中波长分别为2200, 1583和1550 nm, 计算结果分别如图9(a)—图9(c)所示. 从图9(a)可以看出, 归一化频率为 $0.3864c/a$ 的入射光信号主要经过耦合波导从A输出端口出射, 没有在B, C两个端口观察到明显的光强输出; 而入射频率为 $0.3916c/a$ 的入射光束从三个输出端口出射的光强近似相等; 当入射光的频率改变为 $0.3999c/a$ 时, 从图9(c)可以看出光束从B, C通道出射, 在端口A处没有观察到明显的光强输出.

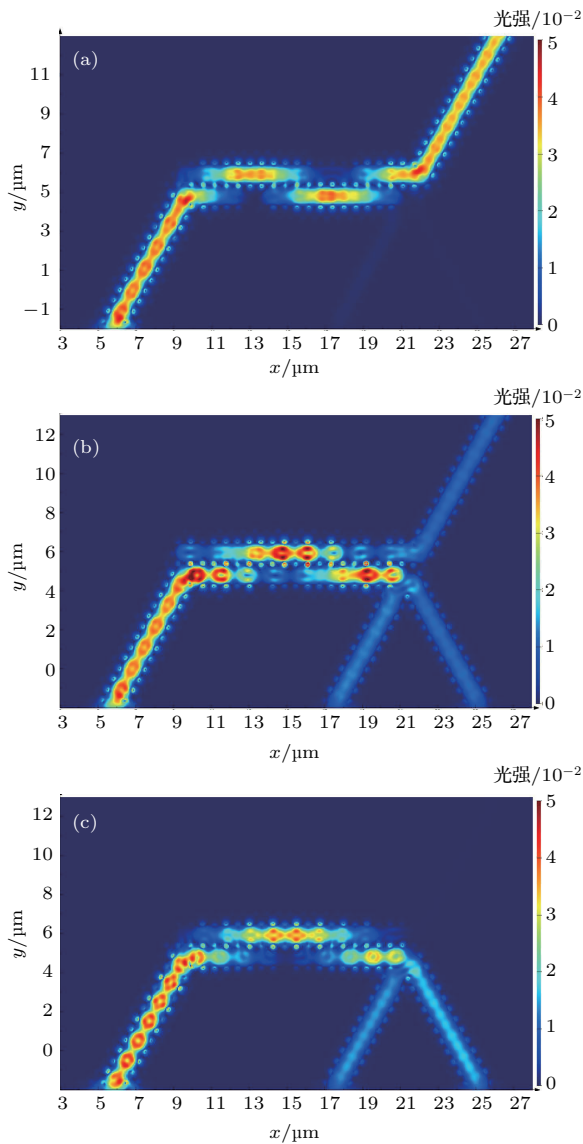


图9 (网刊彩色) 不同频率的入射光束经过第二次优化后结构的光强空间分布 (a) $0.3864 c/a$; (b) $0.3916 c/a$; (c) $0.3999 c/a$

Fig. 9. (color online) Spatial light intensity distributions through the 2nd optimized structure at different frequencies: (a) $0.3864 c/a$; (b) $0.3916c/a$; (c) $0.3999c/a$.

4 结 论

本文基于MMI效应设计了一种基于二维三角晶格光子晶体的耦合波导功率分束器, 可以同时三个相邻波长范围内的入射光束进行不同的传输调控. 利用时域有限差分方法, 模拟计算了入射光束在双通道耦合波导中的传输行为. 通过多模干涉理论研究了特定波长的入射光束在两波导间的耦合长度与其两种模式的传播常数之间的关系. 通过将两波导间的圆形介质柱改变为椭圆形, 可以调节两种不同奇偶对称性波导模的色散曲线形状, 从而改变相应的耦合长度. 最后, 我们通过优化中间区域的耦合模波导与三个W1型输出波导之间的连接区域, 使得入射光束经过耦合波导后在不同输出分支波导中的强度对比得到了进一步的提高, 实现了具有较高性能的频率传输通道选择和能量分束器件. 通过探测三个输出波导口的相对光强, 可以对窄频宽入射光束所属的频率范围进行准确的判断. 该研究结果对新型滤波器、波分复用器等光子器件在宽频段入射光条件下的传输特性等具有一定的参考意义.

参考文献

- [1] John S 1987 *Phys. Rev. Lett.* **58** 2486
- [2] Yablonovitch E 1987 *Phys. Rev. Lett.* **58** 2059
- [3] Yu T B, Jiang X Q, Yang J Y, Zhou H F 2007 *Phys. Lett. A* **369** 167
- [4] Aghadjani M, Shahabadi M 2013 *J. Opt. Soc. Am. B* **30** 3140
- [5] Liao Q H, Zhang X, Xia Q, Yu T B, Chen S W, Liu N H 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 044220 (in Chinese) [廖清华, 张旋, 夏全, 于天宝, 陈淑文, 刘念华 2013 物理学报 **62** 044220]
- [6] Harris S E, Field J E, Imamoglu A 1990 *Phys. Rev. Lett.* **64** 1107
- [7] Kim H J, Park I, Park S G, Lee E H, Lee S G 2004 *Opt. Express* **12** 5625
- [8] Park I, Lee H S, Kim H J, Moon K M, Lee S G, Park S G, Lee E H 2004 *Opt. Express* **6** 3599
- [9] Liu T, Zakharian A R, Fallahi M, Moloney J V, Mansuripur M 2004 *J. Lightwave Technol.* **22** 12
- [10] Chiu W Y, Huang T W, Wu Y H, Huang F H, Chan Y J, Hou C H, Chien H T, Chen C C, Chen S H, Chyi J I 2008 *J. Lightwave Technol.* **26** 5
- [11] Fan D H, Wu P, Xin F, Yu T B 2008 *Chin. J. Quant. Elect.* **25** 82 (in Chinese) [范定环, 吴评, 辛锋, 于天宝 2008 量子电子学报 **25** 82]

- [12] Jin X J 2011 *M. S. Thesis* (Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications) (in Chinese) [金晓君 2011 硕士学位论文 (南京: 南京邮电大学)]
- [13] Li W, Xu Y H 2011 *Laser J.* **32** 6 (in Chinese) [李未, 徐玉华 2011 激光杂志 **32** 6]
- [14] Miu L P, Xu X M, Yang C Y, Ye T 2011 *Chin. J. Quant. Elect.* **28** 369 (in Chinese) [缪路平, 徐旭明, 杨春云, 叶涛 2011 量子电子学报 **28** 369]
- [15] Li L, Liu G Q, Chen Y H, Tang F L 2013 *Acta Phot. Sin.* **42** 167 (in Chinese) [黎磊, 刘桂强, 陈元浩, 唐发林 2013 光子学报 **42** 167]
- [16] Li L, Liu G Q, Chen Y H 2013 *Acta Opt. Sin.* **33** 0123002 (in Chinese) [黎磊, 刘桂强, 陈元浩 2013 光学学报 **33** 0123002]
- [17] Tan J B, Chen H M 2013 *Commun. Technol.* **46** 27 (in Chinese) [谈继斌, 陈鹤鸣 2013 通信技术 **46** 27]
- [18] Cheng W, Li J S 2014 *Acta Phot. Sin.* **43** 0123002 (in Chinese) [程伟, 李九生 2014 光子学报 **43** 0123002]
- [19] Zhou J, Tian H P, Yang D Q, Liu Q, Huang L J, Ji Y F 2014 *Appl. Opt.* **53** 8012
- [20] Tee D C, Kambayashi T, Sandoghchi S R, Tamchek N, Adikan F R M 2012 *J. Lightwave Technol.* **30** 2818
- [21] Tee D C, Tamchek N, Shee Y G, Adikan F R M 2014 *Opt. Express* **22** 24241
- [22] Yu T B, Wang M H, Jiang X Q, Yang J Y 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1851 (in Chinese) [于天宝, 王明华, 江晓清, 杨建义 2006 物理学报 **55** 1851]
- [23] Xu X M, Yue Y L, Fang L G, Zhu G X, Qian X X 2008 *Study Opt. Commun.* **149** 50 (in Chinese) [徐旭明, 乐庸炉, 方利广, 朱桂新, 钱小霞 2008 光通信研究 **149** 50]
- [24] Xu X M, Li W, Fang L G, Yu T B, Yue Y L, Yang C Y 2009 *Laser Technol.* **33** 416 (in Chinese) [徐旭明, 李未, 方利广, 于天宝, 乐庸炉, 杨春云 2009 激光技术 **33** 416]
- [25] Saidani N, Belhadj W, AbdelMalek F, Bouchriha H 2012 *Opt. Commun.* **285** 3487
- [26] Wu Y D, Li J J, Chen H Y 2009 *Semicond. Optoelectron.* **30** 823 (in Chinese) [吴耀德, 李继军, 陈海燕 2009 半导体光电 **30** 823]
- [27] Zhang J, Yu T B, Liu N H, Liao Q H, He L J 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 104217 (in Chinese) [张军, 于天宝, 刘念华, 廖清华, 何灵娟 2011 物理学报 **60** 104217]
- [28] Yu B, Zhang L H, Chen X Y, Yang F, Sun X H, Ge J X 2015 *Optoelectr. Technol.* **35** 155 (in Chinese) [于兵, 张龙华, 陈晓晔, 杨斐, 孙小菡, 葛俊祥 2015 光电子技术 **35** 155]
- [29] Xu X M, Li W, Fang L G, Yue Y L, Yang C Y, Qian X X 2008 *Study On Opt. Commun.* **150** 34 (in Chinese) [徐旭明, 李未, 方利广, 乐庸炉, 杨春云, 钱小霞 2008 光通信研究 **150** 34]

Photonic crystal frequency band selecting and power splitting devices based on the energy coupling effect between waveguides*

Zhao Xuan Liu Chen Ma Hui-Li Feng Shuai[†]

(College of Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China)

(Received 26 December 2016; revised manuscript received 5 March 2017)

Abstract

The photonic crystal power splitter based on the energy coupling effect between waveguides has the advantages of compact structure, wide bandwidth, low bending loss, large angle of separation, and no external electromagnetic interference. In this paper, the power splitting characteristics of two-dimensional triangular-lattice photonic crystal coupled waveguide are theoretically studied by using the finite-difference time-domain method, and a functional device is designed in order to achieve different output power ratios within different frequency ranges.

In the two-dimensional photonic crystal structure with triangular lattice, we set two adjacent straight waveguides and the light beam is introduced from one of them. Because of the energy coupling effect between the two line defects, the light energy propagates alternately in them. Based on this principle, structures of different coupling lengths are simulated and the interference effect of each surface is considered. The device with the best coupling length is achieved for three different output energy propagating characteristics at different frequencies, which include three-division, two-division and single output cases. That is to say, the incident light beam within a frequency band travels through a particular waveguide; light in another frequency band only flows through the other two output waveguides; light in the third frequency band is assigned to all the three output waveguides equally. However, the frequency band width for the high-quality light beam splitting area as well as the transmittance contrast of the other two functional band areas are not very ideal.

Based on the above numerical results, two transmission modes in the coupling waveguides are achieved by changing the cross section shape of the dielectric column in the coupling region and also by changing the connecting position between the output branch waveguide and the energy-coupling waveguide. Through the above change, the splitting performance is further optimized.

By detecting and analyzing the relative intensity of the three output waveguides, we can determine the range of the incident light beam. Furthermore, the frequency ranges of the three different light output characteristics can be adjusted flexibly by changing the cross section shape of the dielectric column in the coupling region or by changing the connecting position of output waveguides. The functional device proposed in this paper has a high transmittance contrast ratio and a compact structure, which will promote the practical application of the all-optical functional devices in the fields of large-scale all-optical complex integration.

Keywords: photonic crystal, mode coupling, self-imaging effect, power splitter

PACS: 42.70.Qs, 42.25.Bs, 78.67.Pt

DOI: 10.7498/aps.66.114208

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11374378, 11574408, 61675238), the National Instrumentation Program, China (Grant No. 2012YQ14000508), the Technology Foundation for Selected Overseas Chinese Scholar, and the Undergraduate Innovative Test Program, China (Grant Nos. GCCX2016110007, URT2016110009).

[†] Corresponding author. E-mail: fengshuai75@163.com