

The Research of Photonic Crystal Splitter with Different Proportions of Output Ports

Dan Wu, Yan Li, Pengfei Ye, Jiurong Han[#]

College of physics science and technology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu, China, 225002

[#] Email: jrhan@yzu.edu.cn

Abstract

We designed two types of optical splitter with 4 channels and 6 channels, respectively, by introducing column defects with different sizes at different positions of the photonic crystal. The variation of defects would change the transmission. Using finite-difference time-domain method for simulation, we obtained the splitter with transmittance in a certain proportion. The results show that the column defects in photonic crystal waveguide can control the transmission. The light was transferred in the optical splitter in proportion into four and six ports. The results have the important theoretical significance for the design of the optical integrated circuits.

Keywords: Photonic Crystal; Light Beam Splitter; Column Defects; Transmittance

输出端不同比例光子晶体分束器的研究

吴丹, 李艳, 叶鹏飞, 韩玖荣

扬州大学物理科学与技术学院 江苏扬州 225002

摘要: 本文设计了两种类型的四通道和六通道分束器, 各输出通道可按不同比例输出。通过在光子晶体波导的不同位置引入不同大小的柱缺陷, 改变光的传输性, 使得分束器输出端口的透射率按一定比例输出, 并利用时域有限差分法进行模拟分析。结果表明: 光子晶体波导中引入柱缺陷后能够控制光的传输, 改变光在不同通道中的透射性质, 从而能将分束器中的光束按一定比例从四通道或六通道各端口输出。我们的研究结果对光集成电路和光通信中波分复用器的设计有着重要的理论指导意义。

关键词: 光子晶体; 光分束器; 柱缺陷; 透射率

自从光子晶体^[1,2]这一概论提出后, 无论从理论上还是实验上对光子晶体特性以及应用研究^[3,4] 成为广大学者研究的热点。例如, 利用约瑟夫森效应研究光子晶体波导的耦合性和非线性效应^[5,6], 研究表明我们可以利用二次谐波来调节磁场, 这将有效的提高超导设备的操作频率, 比如: 发电机, 探测器, 和过滤器等。近几年, 缺陷对光子晶体波导性能的影响研究^[7,8]更为广泛。当在光子晶体中引入线缺陷, 如果线缺陷的频率正好落在光子禁带中, 就会形成一个光子晶体波导。光波导在光集成电路中充当光信号的“导线”, 所以研究光子晶体波导的一些性质对设计光子器件^[9,10] 和光集成电路^[11] 有着很重要的作用。比如, 光子晶体光波导芯片上的玻色-爱因斯坦凝聚(BEC)的研究^[12], 这项研究可以解决芯片设备的大功率问题, 为集成芯片中 BEC 的发展提供了一定的理论基础。在二维光子晶体波导中引入柱缺陷后, 柱缺陷的半径大小将影响其对光的局域能力, 从而影响波导的传输性能。由于光子晶体本身的禁带特性, 加上引入缺陷后对光子晶体波导传输特性的改变, 我们在研究光子晶体器件方面可以获得更大的发挥空间。

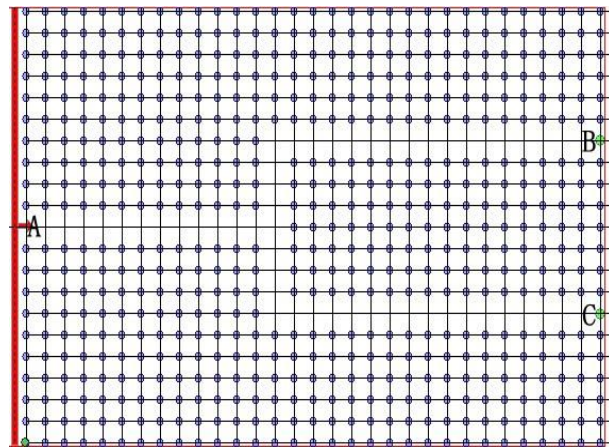
由于光子晶体波导具有体积小、损耗低、可实现大角度弯折等特点, 因此可利用光子晶体制作不同类型的高效微型光子器件, 为超大规模的光集成电路提供一个很好的基础。光分束器是光子器件中的基本元件, 它在光电路中充当着很重要的角色。为了优化光分束器, 本文利用光子晶体的带隙特性和柱缺陷对光波导传

输性能的影响，设计了两种类型的四通道和六通道光分束器，并通过引入柱缺陷，改变柱缺陷的位置和大小来调节分束器的透射率，使得分束器出口所接收到的光信号成一定的比例，很好的优化了分束器的性能。然后利用时域有限差分法(FDTD) [13,14] 分析分束器的传输特性、模场分布和透射率。与之前对光子晶体波导的研究相比较，本文的研究对象更为具体，更能凸显出利用光子晶体波导所设计的光子器件对将来光集成电路发展的影响，为光集成电路的设计提供理论。

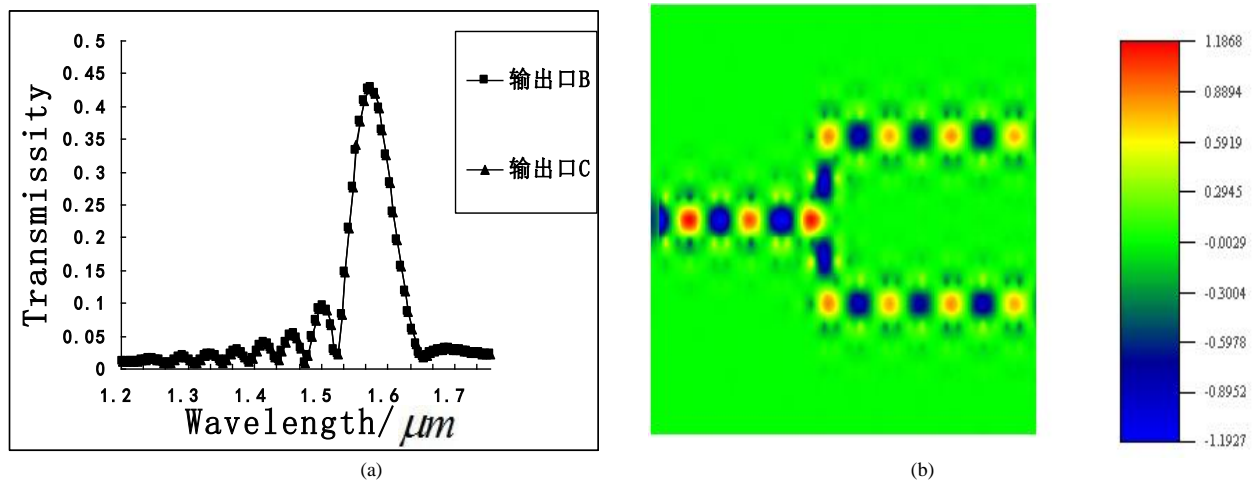
1 Y型光子晶体波导的 FDTD 模拟

1.1 引入缺陷后波导透射率的研究

我们在二维 GaAs 正方晶格光子晶体中引入横向线缺陷和纵向线缺陷构成 Y 型光子晶体波导，背景为空气。GaAs 的折射率为 3.4，光子晶体的晶格常数 a 为 540nm，介质柱半径设定为 $0.18a$ ，图一为分束器的示意图。设定入射波长为 $1.55\mu\text{m}$ ，因为此时的光波透射率最大，由图二(a)可以看出两输出端的透射率大小相同约为 0.45，图二(b)为光在光子晶体波导中的电磁场分布。之后在其中两处不同的地方引入点缺陷，来改变缺陷柱的大小，然后利用 FDTD 研究分束器两个输出端的透射比。



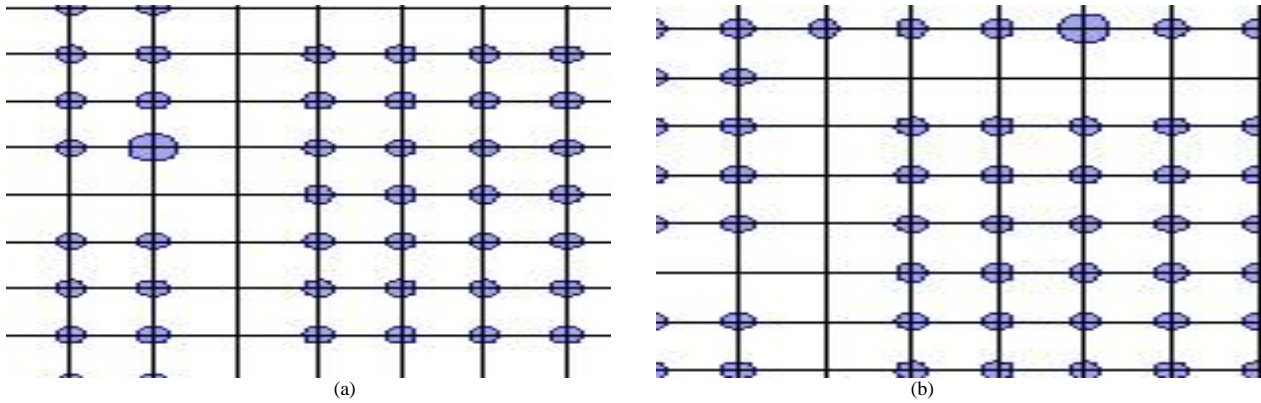
图一 Y型光子晶体波导的示意图，A 为输入端，B、C 为输出端



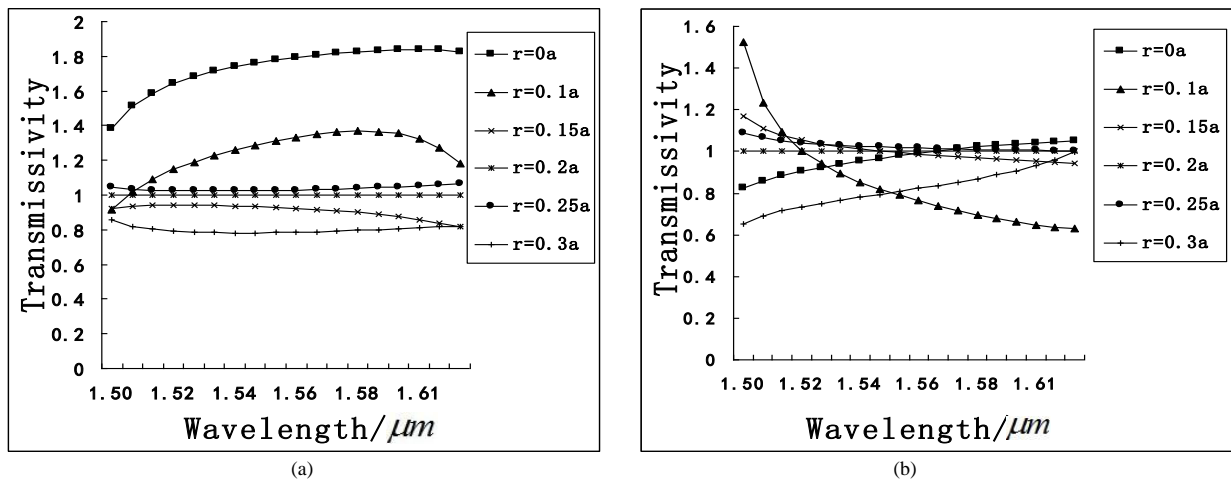
图二 图(a)为输出端 B、C 的透射谱，图(b)为光在光波导中的电磁场分布

在这一分束器中的拐角处与一边分叉道内引入缺陷，通过改变缺陷半径的大小来研究分束器两端透射率大小的变化规律，图三(a)，(b)为分别在分束器拐角处与线波导处引入缺陷的示意图。利用 FDTD 进行仿真模拟，由图四(a)，(b)可以发现，当在分束器拐角处引入柱缺陷时，从 $r=0$ 逐渐增大柱缺陷半径，可发现分束器输出两输出端的透射率之比总体上呈现随半径增大透射比减小的趋势；而在分束器一边的分叉道内引入缺陷后，改变缺陷半径的大小，分束器两端透射比的变化规律不明显。除此之外，我们还可以从图四中得出，当

入射光波的波长设定为 $1.55\mu\text{m}$ 时，在拐角处改变引入缺陷半径的大小，导致分束器两端透射率之比的增减幅度，比在一边分叉道内引入缺陷时两端透射率之比的增减幅度要明显的多。



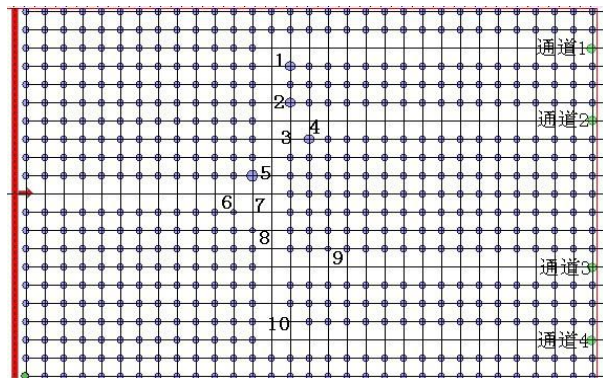
图三 图(a)、(b)为分别在分束器拐角处与线波导处引入缺陷



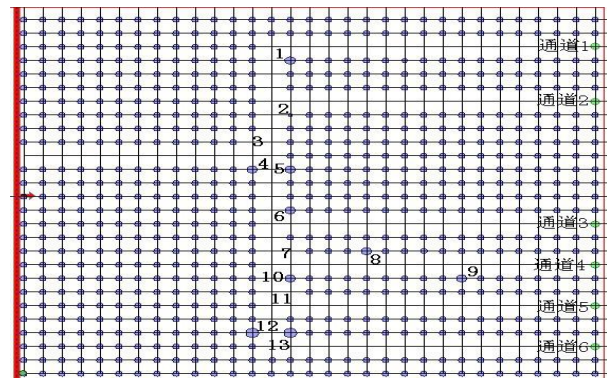
图四 图(a)、(b)为两种情况下引入缺陷后两输出端口的透射比

1.2 Y 型多通道光子晶体波导的 FDTD 模拟

根据上面分析所得的结论，我们设计了 Y 型的四通道和六通道光子晶体光分束器。晶体仍采用的正方晶格 GaAs 介质柱，其中，晶格常数 a 为 540nm 介质柱半径为 $0.18a$ 。在 GaAs 正方晶格光子晶体中引入横向线缺陷和纵向线缺陷构成四通道和六通道的光分束器，并在其中不同地方引入点缺陷，利用 FDTD 研究分束器的透射性质。由图五和图六可以看出，在四通道与六通道分束器中引入缺陷时，缺陷所在的位置大都在分束器中的拐角处，这是因为从上面的分析可以得到：在拐角处引入缺陷对改变光波传输性能的影响更大，调节起来更加方便。图五和图六分别为 GaAs 介质柱在空气中构成的 4 通道和 6 通道的分束器的示意图。

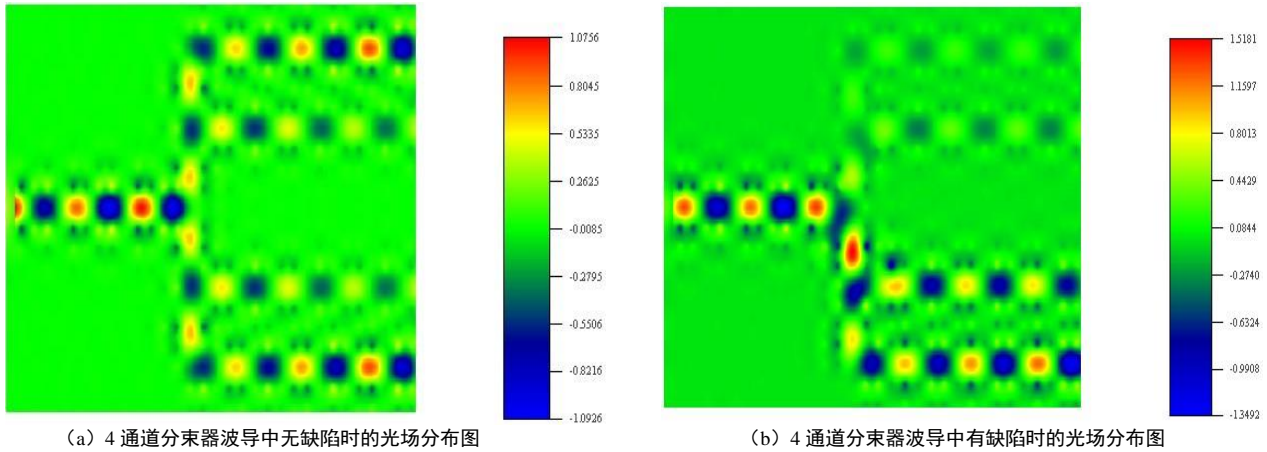


图五 Y 型 4 通道分束器

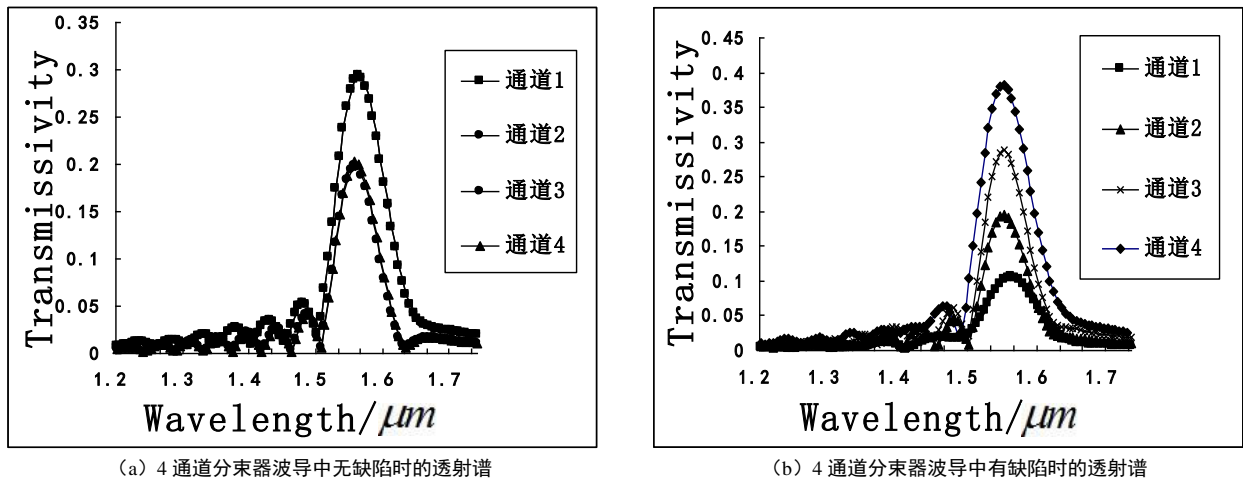


图六 Y 型 6 通道分束器

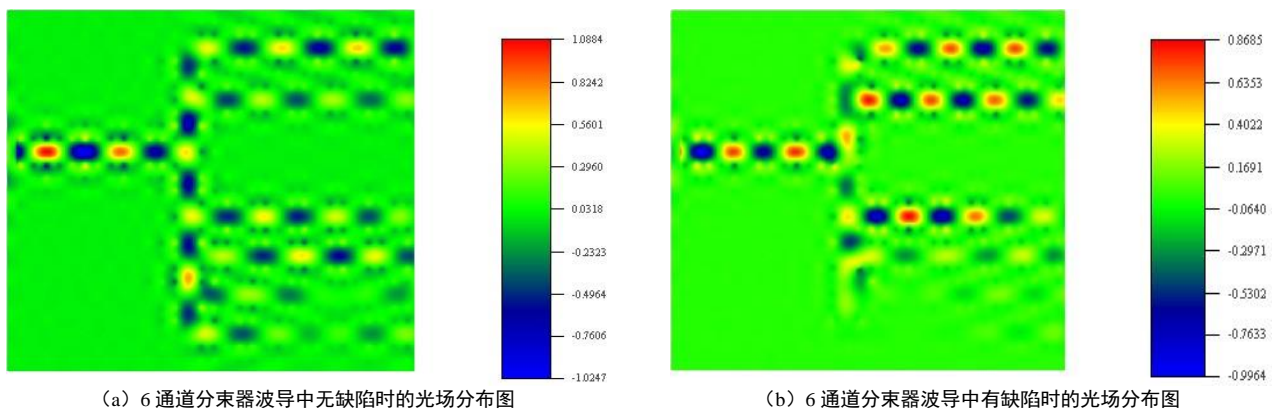
根据上面的示意图，入射光波长为 $1.55 \mu\text{m}$ ，运用 FDTD 进行仿真。对于四通道而言，当波导内无点缺陷时，光场在波导中的分布如图七(a)所示，可以看出对称波导内的光场强度大小相同，而从图八(a)可更加直接的观察出，此时通道 1 与通道 4 的透射率相同且相对较高，大约都在 28% 左右，通道 2 与通道 3 的透射率相同且相对较低，大约都在 20% 左右，总透射率接近于 95%。在光波导不同位置引入点缺陷（如图四所示），主要在波导分叉口处，改变各通道光的透射性质，可以制得各通道透光率成比例的分束器，4 通道分束器各出口的透射率比约为 1: 2: 3: 4，其中通道 1 所得得透射率最小，通道 4 为最大，分别为 10% 和 38% 左右。图七(b)为光场在 4 通道分束器中的分布情况，由图八(b)可看出其总透射率达到 92%，总透射率要比没有缺陷时的分束器略小。



图七 Y 型 4 通道分束器两种情况下的光场分布图

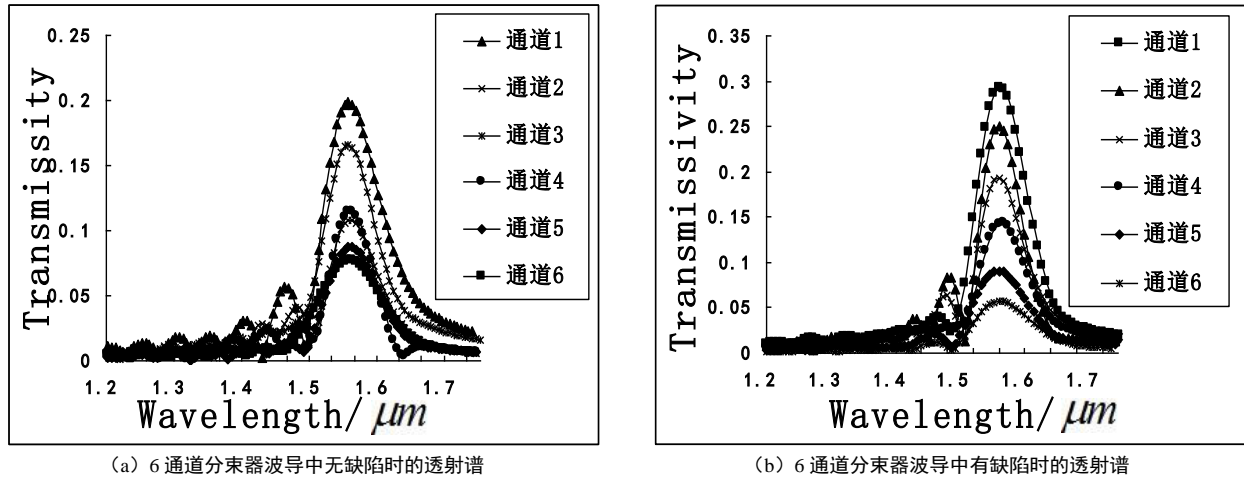


图八 Y 型 4 通道分束器两种情况下各出口的透射谱



图九 Y 型 6 通道分束器两种情况下的光场分布图

同样, 设定 6 通道分束器中的入射光波长也为 $1.55 \mu\text{m}$ 。当分束器波导中无缺陷时, 光场在波导中的分布如图九 (a) 所示, 由图看出各个通道的透射率大小各不相同。图十(a)为分束器无缺陷时各出口的透射谱, 可以清楚的看到个出口的透射率情况, 其总透射率为 80% 左右。与四通道一样, 当在光波导不同位置引入点缺陷, 缺陷主要在波导分叉口和分支波导中 (缺陷的分布如图六所示), 可改变各通道光的透射性质。图九 (b) 为有缺陷时光场在 6 通道分束器中的分布情况, 图十(b)描述了此时 6 通道分束器各出口的透射谱: 六个通道的透射率分别约为 0.05、0.1、0.14、0.19、0.24、0.28, 透射率比约为 1: 2: 3: 4: 5: 6, 其总透射率达到 90% 左右, 可以看出此时总透射率要大于未引入缺陷的分束器。



图十 Y 型 6 通道分束器两种情况下各出口的透射谱

2 结论

通过仿真发现, 介质柱缺陷的半径大小对控制光的传输特性有很大的影响。本文充分利用这一点, 通过调节分束器中柱缺陷半径的大小, 成功的设计出 Y 型四通道和六通道透光成比例的分束器, 并利用 FDTD 进行仿真和最后的数据处理分析。我们可以发现 Y 型的四通道和六通道分束器能够实现按比例 1:2:3:4 和 1:2:3:4:5:6 分光, 并且最终的总透射率依然很高。这样设计的将分束器进行了优化, 是更能满足光通信器件发展的需求, 易于光通信器件集成化、小型化。在实际运用中, 我们可以根据对光信号的需要来选择运用分束器的不同通道, 运用该规律我们可以根据不同的需要设计出不同类型的光学器件, 为将来的光集成电路的实现提供了一定的理论基础。

REFERENCES

- [1] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics [J]. Phys. Rev. Lett., 1987, 58(20): 2059-2062.
- [2] Jone S. Strong localization of photonics in certain disordered dielectric superlattices [J]. Phys. Rev. Lett., 1987, 58(23): 2486-2489.
- [3] 于瑶瑶. 蜂巢晶格光子晶体能带特性的研究 [J]. 光谱实验室, 2011, 28(2): 959—961.
- [4] C. Ji, Q. Sun, X. C. Xie, W. M. Liu, Phys. Rev. Lett. 102, 023602 (2009)
- [5] R. Qi, X. L. Yu, Z. B. Li, W. M. Liu, Phys. Rev. Lett. 102, 185301 (2009)
- [6] Y. B. Yang, et al., Numerical simulation of the photonic bandgap of two dimensional photonic crystals with kagome lattice [J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(5): 724-728.
- [7] 杨颖. 点缺陷光子晶体传播特性的研究 [J]. 光谱实验室, 2010, 27(6): 2414-2416.
- [8] S. Fan, J. N. Winn, A. Devenyi, J. C. Chen, R. D. Meade, and J. D. Joanno Poulos J. Opt. Soc. Am. B. 1995 12(7): 1267-1272
- [9] Danaie, M. Kaatuzian, H.: Design of a photonic crystal differential phase comparator for a Mach-Zehnder switch. J. Opt. 13, 015504 (2011)
- [10] Danaie, M. Kaatuzian, H.: Improvement of power coupling in a nonlinear photonic crystal directional coupler switch, Photon.

Nanostruct. Fundam. Appl. 9, 70–81 (2011)

- [11] S Foghani, H Kaatuzian, M Danaie - Simulation and design of a wideband T -shaped photonic crystal splitter ,Optica Applicata, 2010, p863.
- [12] W. M. Liu, W. B. Fan, W. M. Zheng, J. Q. Liang, S. T. Chui, Quantum tunneling of Bose-Einstein condensates in optical lattices under gravity, Phys. Rev. Lett. 88, 170408 (2002); R. Qi, X. L. Yu, Z. B. Li, W. M. Liu, Non-Abelian Josephson effect between two F=2 spinor Bose-Einstein condensates in double optical traps, Phys. Rev. Lett. 102, 185301 (2009).
- [13] 葛德彪,闫玉波.电磁波时域有限差分方法[M],第1版,西安,西安电子科技大学出版社,2002.4
- [14] K.S.Yee, Numerical solution to initial boundary value Problems involving Maxwell Equations in isotropic media [J].IEEE Trans.Antennas Propagat.1966 14:302-307.

【作者简介】

¹ 吴丹（1989- ），女，汉，在读硕士生，主要从事光子晶体波导方面的研究。Email: wudan1989112@163.com.

² 李艳（1993- ），女，汉，在读本科生，光电信息科学与工程专业。Email: 1798348121@qq.com.

³ 叶鹏飞（1991- ），男，汉，在读硕士生，主要从事光子晶体波导方面的研究。Email: wudan1989112@163.com.

⁴ 韩玖荣（1958- ），男，汉，教授，主要从事光子晶体应用方面的研究。Email: jrhan@yzu.edu.cn