

# 平行取向向列相液晶缺陷光子晶体透射谱

乌日娜 吴杰 李勇 岱钦\*

(沈阳理工大学理学院, 辽宁 沈阳 110159)

**摘要** 研究了平行取向向列相液晶缺陷多层介质膜一维光子晶体的透射谱特性。自然光垂直入射, 光子禁带范围为 518.5~582.0 nm, 并且禁带中观察到成对出现的透射峰。偏振光垂直入射, 当偏振方向分别与液晶盒摩擦方向垂直、平行时, 成对透射峰中的一个消失。而当入射光偏振方向与摩擦方向成 45° 时, 光子禁带中仍出现了成对透射峰。由于液晶层具有折射率各向异性, 光波存在两种本征模式(e模式和o模式)。入射光偏振方向与摩擦方向平行时为e模式, 与摩擦方向垂直时为o模式, 与摩擦方向成45°时两种模式共存。

**关键词** 光学器件; 光子晶体; 向列相液晶缺陷; 平行取向; 透射光谱

**中图分类号** O753+.2 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201333.1023002

## Photonic Crystal Transmission Spectrum with Parallel Alignment Nematic Liquid Crystal Defect

Wu Rina Wu Jie Li Yong Dai Qin

(School of Science, Shenyang Ligong University, Shenyang, Liaoning 110159, China)

**Abstract** Transmission spectral properties of one-dimensional multilayer photonic crystal infiltrated with a parallel nematic liquid crystal are investigated. The range of photonic band gap is 518.5~582.0 nm when natural light is incident vertically to the glass substrate and paired transmission peaks are observed in photonic band gap. One of the paired transmission peaks disappears in the case of adding a polarizer and making polarization direction parallel or perpendicular to rubbing direction with vertical incidence of polarized light. For an angle of 45° between polarization direction and rubbing direction, paired transmission still appears in photonic band gap. Optical wave has two eigenmodes (e- and o-mode) because of the anisotropy of liquid crystal layer. When the polarization direction of incident light is parallel to rubbing direction the optical wave is in e-mode, and when perpendicular to rubbing direction it is in o-mode. For the case of polarization direction and rubbing direction at an angle of 45°, two modes coexist.

**Key words** optical devices; photonic crystal; nematic liquid crystal defect; parallel alignment; transmission spectrum

**OCIS codes** 230.5298; 230.3720; 260.1180; 230.4170; 230.5440

## 1 引 言

自光子晶体<sup>[1-2]</sup>的概念被提出至今, 在众多相关领域科学工作者的不懈地努力下, 关于光子晶体的研究与探索已经取得了许多令人振奋的进展<sup>[3-8]</sup>。光子晶体在微波天线<sup>[9]</sup>、无阈值激光器、光纤通信、光子晶体微谐振腔和低损耗反射镜<sup>[10]</sup>乃至

光子计算机等领域具有很好的应用前景。因此, 光子晶体的研究具有巨大的实际意义。

光子晶体对各个波段电磁波传输的独特控制能力是这些应用得以实现的核心所在。光子晶体对电磁波传输的控制能力主要依赖于光子禁带, 在光子晶体中引入缺陷可以使光子禁带中出现透射峰。通

收稿日期: 2013-04-19; 收到修改稿日期: 2013-05-17

基金项目: 国家自然科学基金(60578035)、辽宁省自然科学基金(20102191)、辽宁省科技研究项目(L2010465)、辽宁省教育厅项目(L2012070)

作者简介: 乌日娜(1978—), 女, 博士, 副教授, 主要从事光电功能材料及器件方面的研究。

E-mail: wurina2007@126.com

\* 通信联系人。E-mail: daiqin2003@126.com

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网 www.opticsjournal.net

过改变缺陷层厚度、折射率等参数或改变入射光的入射角度、偏振状态等,可以实现对光子禁带透射峰的调节。相对二维和三维光子晶体而言,一维光子晶体设计简单、成本低、精度高,较易应用于实际。最近,国内外一些学者对一维光子晶体进行了一系列研究与探索。例如,Zyryanov等<sup>[11]</sup>利用含液晶(LC)缺陷的一维光子晶体设计了窄带电光开关;张娟等<sup>[6]</sup>基于一维光子晶体理论,提出了一种级联薄膜玻璃腔结构的平顶偏振滤波器;Lin等<sup>[8]</sup>研究了含扭曲向列相液晶缺陷层电调谐一维光子晶体的光谱特性。然而,目前关于入射光偏振方向对平行取向向列相液晶缺陷光子晶体透射谱影响的实验研究较少。

本文研究了入射光偏振方向对平行取向的向列相液晶缺陷光子晶体透射谱的影响。并利用传输矩阵理论,模拟透射谱,进行了深入的分析。

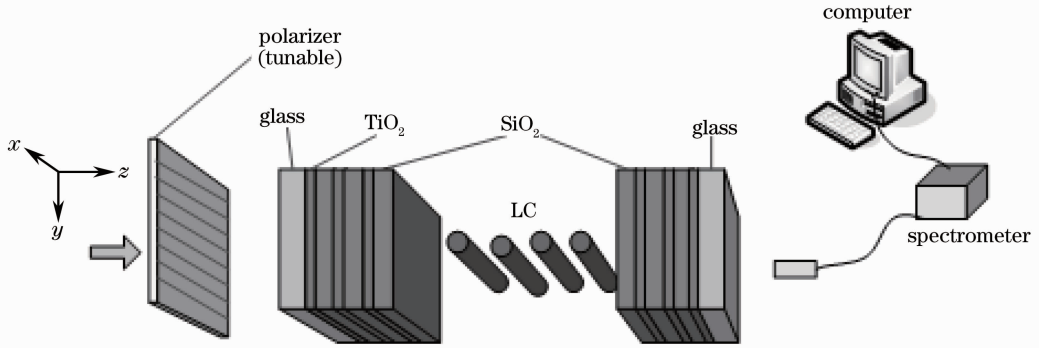


图1 实验装置

Fig. 1 Experimental scheme

测得透射谱如图2所示,光子禁带位于518.5~582.0 nm之间。自然光垂直入射时,光子禁带中成对出现透射峰,522.7 nm和525.4 nm,569.4 nm和572.1 nm,576.0 nm和578.7 nm,共3对。入射光偏振方向沿 $x$ 轴时(偏振方向平行于液晶盒摩擦方向),如图2(a)所示,仅在525.4、572.1、578.7 nm处观察到透射峰。此时,短波处的透射峰消失。旋转偏振片,偏振方向与基板摩擦方向成 $45^\circ$ 角时透射谱如图2(b)所示,522.7 nm和525.4 nm、569.4 nm和572.1 nm、576.0 nm和578.7 nm处的透射峰均存在。光子禁带中透射峰与自然光入射时的位置和数量相同。继续旋转偏振片,入射光偏振方向沿 $y$ 轴时(偏振方向垂直于液晶盒摩擦方向),如图2(c)所示,仅在522.7、569.4、576.0 nm三个位置存在透射峰。此时,光子禁带中的长波透射峰消失,如图2(c)所示。上述实验结果说明,平行取向的向列相液晶缺陷光子晶体器件具有偏振敏感性。

## 2 实 验

在交替镀有6对 $\text{SiO}_2$ (厚度为111 nm)和 $\text{TiO}_2$ (厚度为69 nm)多层膜的氧化铟锡(ITO)玻璃基板上旋涂一层聚酸亚胺(PI)取向剂,高温固化后摩擦取向,制成平行液晶盒,厚度约为 $9 \mu\text{m}$ 。利用毛细作用注入向列相液晶TEB30A作为缺陷层,封盒,完成样品的制备。

为避免外界光源的干扰,透射谱的测量必须在黑暗环境中进行。实验所采用的装置及测试方法如图1所示,其中液晶盒的摩擦方向沿 $x$ 轴。实验采用Gcl-0601型直流调压光纤光源(大恒光电)。先用光纤光谱仪(Avantes)测量不加偏振片时的光谱以便对照。在光源与器件之间加偏振方向可调的偏振片,旋转偏振片测量器件的透射谱。

## 3 结果分析

利用传输矩阵理论<sup>[12]</sup>进行透射谱模拟,结果如图3所示。液晶层厚度为1800 nm。 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{TiO}_2$ 折射率分别为1.46和2.35,厚度分别60 nm和70 nm。光子禁带位于489.5~614.8 nm。入射光偏振方向沿 $x$ 轴时,在515.0、547.2、582.6 nm处出现透射峰,如图3(a)所示。入射光偏振方向沿 $y$ 轴时,在510.3、542.9、579.8 nm处出现透射峰,如图3(b)所示。相对于入射光偏振方向沿 $y$ 轴时的透射峰,入射光偏振方向沿 $x$ 轴时的透射峰向长波方向移动。这是由于液晶层具有折射率各向异性,光在液晶层中传播时会分成 $o$ 偏振光和 $e$ 偏振光,折射率为 $n_e$ 和 $n_o$ 。因此,在多层介质膜光子晶体中引入液晶缺陷层,则存在两种本征模式, $o$ 透射模式和 $e$ 透射模式。TEB30A型液晶为正性液晶, $n_e > n_o$ 。入射光偏振方向沿 $x$ 轴(摩擦方向,分子长轴方向)时为 $e$ 透射模式,而入射光偏振方向沿 $y$ 轴(垂

直于摩擦方向,分子短轴方向)时为  $\circ$  透射模式。这与实验测量结果吻合。入射光为自然光或偏振方向

与基板摩擦方向( $x$  轴)成  $45^\circ$ 角时,两种透射模式共同存在。

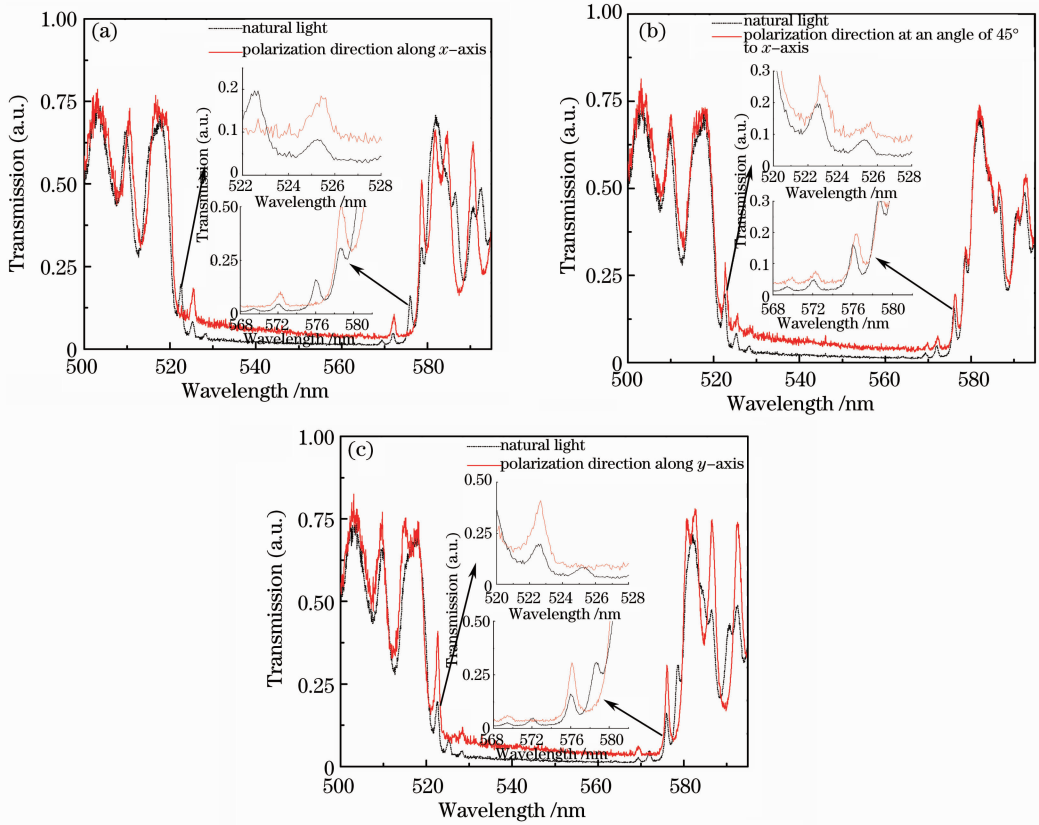


图 2 向列相液晶缺陷光子晶体透射谱测量。(a)入射光偏振方向沿  $x$  轴；(b)入射光偏振方向与摩擦方向( $x$  轴)成  $45^\circ$ 角；(c)入射光偏振方向沿  $y$  轴

Fig. 2 Transmission spectra of photonic crystal with nematic liquid crystal defects. (a) Polarization direction along  $x$ -axis; (b) polarization direction at an angle of  $45^\circ$  to  $x$ -axis; (c) polarization direction along  $y$ -axis

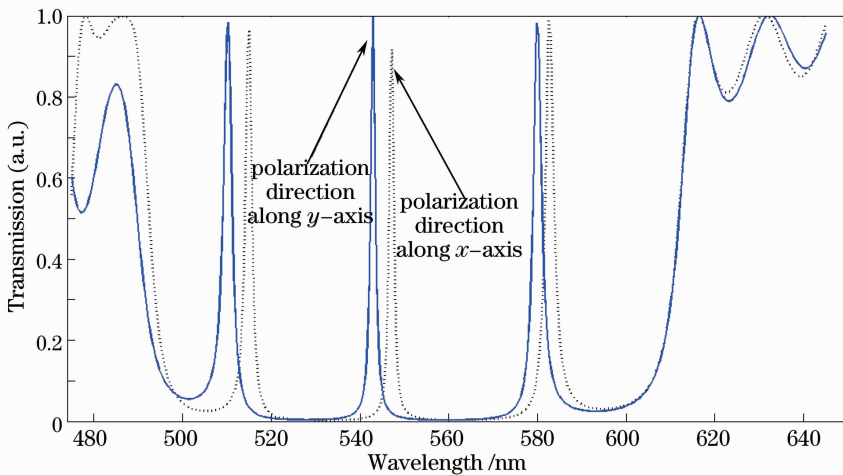


图 3 向列相液晶缺陷层光子晶体透射谱模拟

Fig. 3 Simulated transmission spectra of photonic crystal with nematic liquid crystal

## 4 结 论

研究了平行取向向列相液晶缺陷光子晶体的透

射谱。自然光或偏振方向与  $x$  轴成  $45^\circ$ 垂直入射时,光子禁带中  $522.7 \text{ nm}$  和  $525.4 \text{ nm}$ 、 $569.4 \text{ nm}$

和 572.1 nm、576.0 nm 和 578.7 nm 处透射峰成对出现。沿  $x$  轴或  $y$  轴的偏振光垂直入射时,成对透射峰中的一个消失。沿  $x$  轴时,在 525.4、572.1、578.7 nm 处出现透射峰。沿  $y$  轴时,在 522.7、569.4、576.0 nm 处出现透射峰。通过模拟分析透射谱,得出入射光偏振方向沿  $y$  轴为  $o$  模式,入射光偏振方向沿  $x$  轴为  $e$  模式,自然光或入射光偏振方向与  $x$  轴成  $45^\circ$  为两种模式共存。通过对平行取向列相液晶缺陷光子晶体透射谱的研究,为一维光子晶在光开关、滤波器方面的应用提供参考,也为光波偏振方向的标定提供了新的方法。

## 参 考 文 献

- 1 Eli Yablonovitch. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics [J]. *Phys Rev Lett*, 1987, 58(20): 2059–2062.
- 2 Sajeev John. Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices [J]. *Phys Rev Lett*, 1987, 58(23): 2486–2489.
- 3 Li Zhiyuan, Gu Benyuan, Yang Guozhen. Generation of large absolute band gaps in 2D anisotropic photonic crystals [J]. *Physics*, 1999, 28(4): 193–195.  
李志远, 顾本源, 杨国桢. 二维各向异性光子晶体完全带隙的增宽[J]. *物理*, 1999, 28(4): 193–195.
- 4 Gao Yongfeng, Zhou Ming, Zhou Jun, *et al.*. Design of power splitter by directional coupling between photonic crystal waveguides [J]. *Chinese J Lasers*, 2011, 38(5): 0505003.  
高永峰, 周 明, 周 骏, 等. 光子晶体波导定向耦合功分器的设计[J]. *中国激光*, 2011, 38(5): 0505003.
- 5 Qu Lianjie, Yang Yuede, Huang Yongzhen. Slow-light characteristics of crystal waveguides [J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, 31(1): 0113002.
- 6 曲连杰, 杨跃德, 黄永箴. 光子晶体波导慢光特性研究[J]. *光学学报*, 2011, 31(1): 0113002.
- 7 Zhang Juan, Yu Shuai, Guo Sen, *et al.*. Design of flat-top polarization filters based on one-dimensional photonic crystal theory [J]. *Chinese J Lasers*, 2011, 38(1): 0105005.  
张 娟, 于 帅, 郭 森, 等. 基于一维光子晶体理论的平顶偏振滤波器设计[J]. *中国激光*, 2011, 38(1): 0105005.
- 7 Qi Yuefeng, Bi Weihong, Liu Yanyan, *et al.*. Research on transmission spectrum characteristics of the photonic crystal Bragg fiber grating [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(4): 1178–1183.  
齐跃峰, 毕卫红, 刘燕燕, 等. 光子晶体光纤布拉格光栅传输谱特性研究[J]. *光学学报*, 2010, 30(4): 1178–1183.
- 8 Yuting Lin, Wenyang Chang, Chongyin Wu, *et al.*. Optical properties of one-dimensional photonic crystal with a twisted-nematic defect layer [J]. *Opt Express*, 2010, 18(26): 26959–26964.
- 9 E R Brown, C D Parker, E Yablonovitch. Radiation properties of a planar antenna on a photonic-crystal substrate [J]. *J Opt Soc Am B*, 1993, 10(2): 404–407.
- 10 Yoel Fink, Joshua N Winn, Shanhui Fan, *et al.*. A dielectric omnidirectional reflector [J]. *Science*, 1998, 282(5394): 1679–1682.
- 11 V Ya Zyryanov, V A Gunyakov, S A Myslivets, *et al.*. Electrooptical switching in a one-dimensional photonic crystal [J]. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2008, 488(1): 118–126.
- 12 Dai Qin, Wu Rina, Yan Bin, *et al.*. Polarization-sensitive characteristics of the transmission spectra in photonic crystal with nematic liquid crystal defects [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2012, 32(5): 1345–1349.  
岱 钦, 乌日娜, 闫 彬, 等. 取向相液晶缺陷光子晶体透射光谱偏振敏感特性研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2012, 32(5): 1345–1349.

栏目编辑: 王晓琰