第30卷,第8期
2010年8月

光 谱 学 与 光 谱 分 析
Spectroscopy and Spectral Analysis

Vol. 30, No. 8, pp2027-2029
August, 2010

一维液晶光子晶体透射谱的研究

刘永军[1], 连 佳[1], 胡立发[2], 鲁兴海[2], 宣 丽[2]

1. 哈尔滨工程大学理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001
2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033

摘 要 一维液晶光子晶体在光滤波器、低阈值激光器和光开关等领域有着很好的应用前景。研究了一维液晶光子晶体的透射谱, 电压范围在0～10 V内, 光谱调谐范围约为50 nm, 透射峰半高宽为18 nm, 禁带宽度近400 nm。进一步提出了非偏振光型液晶光子晶体, 设计了相互垂直0°扭曲取向的双液晶层一维液晶光子晶体器件。双液晶层起到了对各向偏振光光程的补偿作用, 使得禁带中的两个透射峰合并为一个透射峰, 加强了光强度, 增强了滤波性能。

关键词 液晶; 光子晶体; 双缺陷层; 偏振非敏感

中图分类号: O753+.2 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)08-2027-03

引 言

Kurt Bush等[1]首次将向列相液晶(NLC)作为缺陷引入反蛋白石结构三维光子晶体(PC)中, 开创了液晶在光子晶体中应用的先河。三维光子晶体有其制作简单、成本低等优点, 然而, 在其内部引入缺陷是个比较难解决的问题[2]。二维光子晶体[3]容易集成, 但液晶在其内部的取向不易控制, 且不易电压控制[4,5]。相比较来说, 一维光子晶体具有制作简单, 缺陷好引入。并且Fink[6]从理论和实验上指出一维光子晶体结构具有全方向的三维能隙结构。而对于一维液晶光子晶体的研究, Remenyuk[7]、Tolmachev[8]给出了一种硅槽结构, 该结构受到刻蚀工艺的限制, 并且液晶取向不好控制, 电极不好引入。Ryotaro Ozaki[9]给出了利用胆甾相液晶特有的螺旋特性作为固有周期性的光子晶体, 达到可调谐的目的, 这种结构只能对圆偏振光起作用。相比较而言, 多层膜结构的一维液晶光子晶体具有获得容易、液晶易控制、对光源的要求较低等特点。前人对于多层膜的研究只限于理论, 没有给出实验结果, 更没有提出偏振非敏感型液晶光子晶体的研究。

我们设计了在多层膜内部引入液晶缺陷层的一维液晶光子晶体, 研究器件透射谱的可调谐特性。并且, 对器件的偏振特性进行了研究, 设计了一种偏振非敏感型的液晶光子晶体, 这些研究将会拓宽液晶光子晶体的应用领域。

1 实验与计算模拟

一维液晶光子晶体结构设计如图1, 其结构为AB…AB-CBA…BA, 由介质A和B周期性排列的多层膜和液晶缺陷层C组成。实验制作了此类型液晶光子晶体, 其制作过程为: 在两片洁净玻璃基板一侧镀制ITO导电电极。然后, 在ITO侧交替镀制8对SiO_2和TiO_2多层膜。在两基板的多层膜侧继续印刷液晶取向膜, 取向膜经定向摩擦处理, 并使上下基板按摩擦方向反平行对合。基板间具有控制液晶层厚度的隔垫物, 用胶固定上下基板。注入纯向列相液晶, 液晶呈反平行取向排列, 形成一维液晶光子晶体。

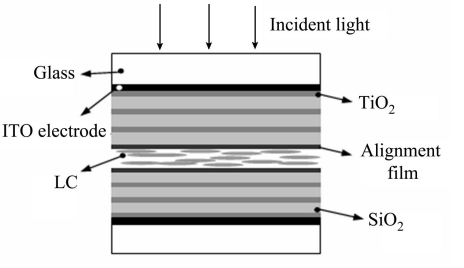

Fig. 1 Schematic diagram of 1D PC with LC

一维液晶光子晶体器件按照光通讯波段设计, 具体参数为: 介质层A(SiO_2)的折射率1.46, 其厚度265 nm, 介质层

收稿日期: 2009-05-10, **修订日期**: 2009-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(50473040), 教育部博士点基金项目(200802171034)和哈尔滨市科技局基金项目(RC2006QN009025)资助

作者简介: 刘永军, 1977年生, 哈尔滨工程大学理学院讲师 e-mail: liuyj@hrbeu.edu.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

B(TiO_2)的折射率 2.35，其厚度 165 nm，两层介质的光学厚度相等为 $\lambda_0/4$，λ_0 为中心波长，取 λ_0 = 1 550 nm。液晶的折射率 n_e = 1.714，n_o = 1.516，其厚度为 500 nm。多层膜镀制在折射率为 1.52 的玻璃基板上。

根据薄膜光学理论，利用传输矩阵法[10]对器件进行了光学模拟。模拟结果如图 2。图 2 中给出了液晶缺陷层在不同电压下的透射谱模拟，可以看出其禁带宽度和截止深度都很好，禁带宽度从 1 346～1 832 nm 共 486 nm。并且，可以看出透射峰的位置随着液晶缺陷层电压的增加而向短波方向移动。

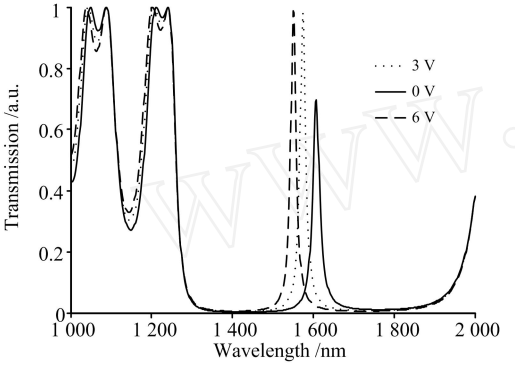

Fig 2 Calculated transmission spectra of 1D PC with LC at different applied voltage

将制作的液晶光子晶体在 UV3101PC 分光光度计上进行透射谱的测试，测试结果如图 3，实验中利用了高精度的晶体偏振片，其起偏方向与液晶的取向方向相一致，施加频率为 5 kHz 的方波电场，电压分别为 0，5，10 V。从图 3 可以看出，电压范围在 0～10 V 内，透射峰的相对透过率在 55 %～37 %之间，禁带宽度近 400 nm，调谐范围约 50 nm，透射峰半高宽 18 nm。并且，随着电压的增加透射峰向短波方向移动，这与模拟时的结果相一致。这是由于使用的是正性液晶，随着电压的增加光波通过器件的有效光程变小而造成的。可以看出透射峰的半高宽偏大，这可以通过对液晶层厚度的均匀性控制加以改进，由于本实验是手工制作液晶盒，液晶层的均匀性控制稍差。

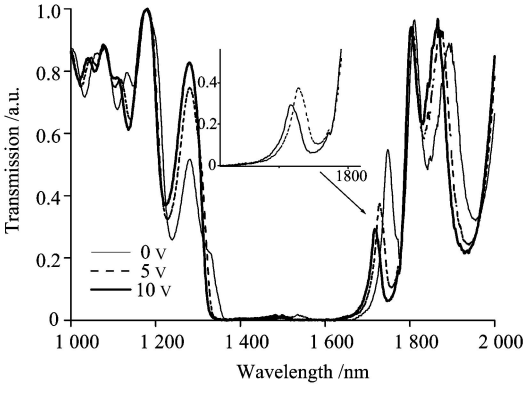

Fig 3 Transmission spectra of 1D PC with LC at different applied voltage

2 偏振敏感特性研究

由于液晶分子具有双折射特性，所以传统中使用液晶器件不可避免地伴随着偏振片的使用，即偏振片配合液晶的取向方向使用。在一些非偏振光的应用中，由于偏振片的使用会导致光能减少。即使是在偏振光的系统中，比如，在光通讯中，光纤内部光的偏振态是不可知的，这样在使用液晶器件的时候还是要依据液晶的取向方式在其前后加入相应的偏振片，因此仍会使得光能量减少，并且增加了系统的复杂性，降低了系统灵活性。

在前面的实验中，我们使用了晶体偏振片，因此所得的结果是线性偏振光下的实验结果。现在我们去掉晶体偏振片，利用非偏振光进行液晶光子晶体透射谱的测试，测试的样品与前面相同，液晶的电压分别为 0，5，10 V，实验结果如图 4。从图 4 中可以看出，在电压为 0 V 时，禁带中含有两个透射峰。当电压为 5 V 时，高峰位置向短波方向移动，低峰位置没有移动。当电压为 10 V 时，高峰位置继续向低峰位置处移动，并且掩盖住了低峰，此时只能看见一个峰。这是由于入射光可分为平行和垂直液晶排列的 2 个方向的偏振光，因此入射光分别经过液晶的有效折射率 n_e 和寻常折射率 n_o，n_e 是电压的函数。这样光的 2 个分量经过液晶的光程不同，此时等价于 2 个不同厚度的缺陷，因此在禁带中出现 2 个峰，这 2 个高低峰分别对应着液晶折射率 n_e 和 n_o。

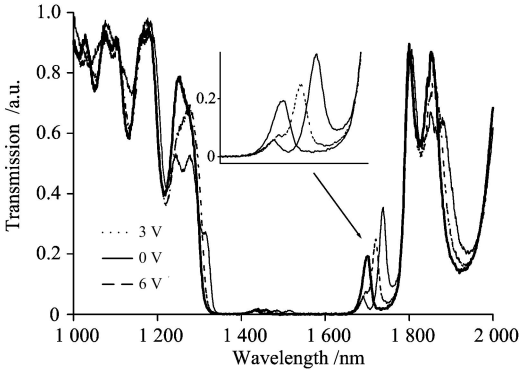

Fig 4 Transmission spectra of 1D PC with LC for non-polarized light at different applied voltage

由于禁带中存在 2 个透射峰，在器件滤波的过程中会发生干扰，影响滤波效果。而在实际应用中，更多的情况是光源为非偏振光或光源偏振状态不可知，这样禁带中都会出现两个峰，因此有必要对其进行偏振不敏感特性的研究。

我们设计了一种适合用于光源为任何偏振态光或非偏振光的液晶光子晶体结构，在不影响调谐范围的情况下增加了光强度，并且增强了系统的灵活性。结构设计如图 5，为双液晶缺陷层多层膜的光子晶体，双液晶层的液晶取向为 0°扭曲且取向相互垂直，并且厚度相同。分成平行和垂直液晶排列方向的偏振光，在前一个液晶缺陷层经过 n_e 的偏振光在后一个缺陷层它就经过液晶的 n_o，而在前一个液晶缺陷层经过 n_o 的偏振光在后一个缺陷层它就经过液晶的 n_e，这样两偏

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

振态经过器件后，具有相同的光程，因此在透射谱的禁带中就会看见一个峰，双液晶缺陷层起到了相互补偿的作用，使得两个峰并为一个峰，加强了光强度，增强了滤波性能。随着电压的增加，这个透射峰同样会向短波方向移动。

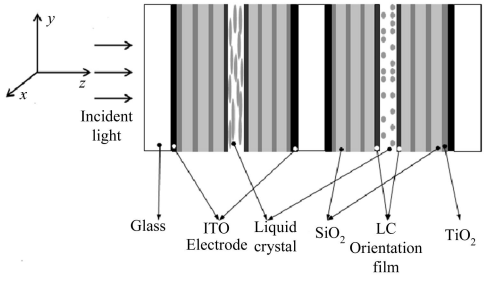

Fig. 5　Structure of polarization-insensitive PC with LC

3　结　论

研究了一维液晶光子晶体的光谱调谐能力，给出了液晶缺陷层在不同电压下的透射谱，电压范围在 0～10 V 内，调谐范围约为 50 nm，透射峰半高宽为 18 nm，禁带宽度近 400 nm，证明了这种结构有很好的调谐特性。此外，给出了非偏振光下的透射谱，详细分析了器件的偏振敏感特性，设计了一种偏振非敏感型液晶光子晶体。双液晶缺陷层的设计起到了对偏振光相互补偿的作用，使得禁带中原本两个峰并为了一个峰，加强了光强度，增强了滤波性能。一维液晶光子晶体在光滤波器、光波导和光开关等领域有着很好的应用前景。

参　考　文　献

[1] Kurt Busch, Sajeev John. Phys. Rev. Lett., 1999, 83(5): 967.
[2] Ryotaro Ozaki, Yuko Matsuhisa, Masanori Ozaki, et al. Appl. Phys. Lett., 2004, 84(11): 1844.
[3] WANG Dong-dong, WANG Yong-sheng, XU Zheng, et al(王东栋，王永生，徐　征，等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(5): 988.
[4] Ch. Schuller, Klopf F, Reithmaier J P, et al. Appl. Phys. Lett., 2003, 82(17): 2767.
[5] Brett Maune, Marko Lonèar, Jeremy Witzens, et al. Appl. Phys. Lett., 2004, 85(3): 360.
[6] Fink Y, Winn J N, Fan S, et al. Science, 1998, 282(5394): 1679.
[7] Remenyuk A D, Astrova E V, Vitman R F, et al. Proc. of SPIE, 2005, 5825: 400.
[8] Tolmachev V, Tatiana Perova, Ekaterina Astrova, et al. Proc. of SPIE, 2005, 5825: 85.
[9] Ryotaro Ozaki, Yuko Matsuhisa, Hiroyuki Yoshida, et al. J. Appl. Phys., 2006, 100(2): 023102.
[10] Lei Xinya, Li Hua, Ding Feng. Appl. Phys. Lett., 1997, 71(20): 2889.

Investigation of Transmission Spectral of 1-D Photonic Crystal with LC

LIU Yong-jun[1], LIAN Jia[1], HU Li-fa[2], LU Xing-hai[2], XUAN Li[2]
1. College of Science, Harbin Engineering University, Harbin　150001, China
2. State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun　130033, China

Abstract　One-dimensional (1-D) photonic crystals(PCs) with liquid crystals (LCs) are promising in various applications such as filters, low-threshold lasers, optical switch. In the present paper, the authors investigated the transmission spectrum of 1-D PCs with LCs for defect layer at different voltages ranging from 0 to 10 V. The tunable spectral range was about 50 nm, FWHM of the transmission peak was 18 nm and the band gap was nearly 400 nm. Furthermore, we presented a kind of polarization insensitive LC photonic crystal, and designed a 1-D LC photonic crystal device that has double LC layers with zero twisted angle. Double LC layers have a function of compensation for both polarization components of incident light, which makes the original two transmission peaks in the band gap to incorporate to one, and enhances the light intensity and filter performance.

Keywords　Liquid crystal; Photonic crystal; Double defect layer; Polarization-insensitive

(Received May 10, 2009; accepted Aug. 20, 2009)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net