

文章编号: 1005 - 8893 (2006) 04 - 0005 - 03

准周期结构一维光子晶体的带隙结构及偏振特性^{*}

王叶荟, 倪重文, 是度芳

(江苏工业学院 信息科学系, 江苏 常州 213164)

摘要: 提出了折射率分别递增或递减的准周期结构一维光子晶体, 研究了其带隙结构和偏振特性。研究表明, 光子带隙的大小与两种介质的折射率比有关, 随折射率比的增大而展宽。TE 模和 TM 模的偏振特性不同, 随入射角的增大, 虽然 TE 和 TM 模的带隙中心都向短波方向移动, 但 TE 模的禁带展宽而 TM 模的禁带变窄。不论入射角多大, 当各层介质的折射率递增时光子带隙向长波方向移动, 而当折射率递减时光子带隙则向短波方向移动。

关键词: 量子光学; 光子晶体; 带隙; 准周期结构; 偏振特性

中图分类号: O 437

文献标识码: A

Study of the Band Gap and Polarization Properties of 1D Photonic Crystal with a Quasi - Periodic Structure

WANG Ye - hui, NI Zhong - wen, SHI Du - fang

(Department of Information Science, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China)

Abstract: The band gap and polarization properties in quasi - periodic 1D photonic crystal with refraction index gradually increasing or decreasing was studied. It was demonstrated that the photonic band gap depended on the rate of refraction index, the width of band gap increased when the rate increased. If the incident angle increased, the transmission spectra of TE mode and TM mode would be separated, the center of their band gap shifted to the short - wave direction, but the width of TE band gap increased while that of TM band gap decreased. No matter what incident angle, both TE and TM band gaps shifted to the long - wave direction with the refraction index gradually increased, contrarily they shifted to the short - wave direction with the refraction index gradually decreasing.

Key words: quantum optics; photonic crystal; band gap; quasiperiodic structure; polarization property

光子晶体是由介电常数(或折射率)周期性变化排布的材料, 具有光子禁带特征以及可使光子局域化, 因此在许多方面都有重要应用, 如光子晶体微腔和无阈值激光器^[1]、光子晶体波导和光纤^[2,3]、双稳态和光开关^[4,5]、低损耗反射镜^[6]、光子晶体偏振器^[7,8]等等。以上研究及结果都是建立在周期性电介质分布基础上的, 近年来已经开始

对准周期性电介质分布进行了研究^[9~11]。所谓准周期分布就是每个周期的各层介质光学厚度都作有规律的变化。准周期性结构光子晶体与周期性结构光子晶体在特性上的差异可以拓展光子晶体的应用。本文研究了折射率递变时准周期结构一维光子晶体的带隙结构和偏振特性, 并与周期性结构的一维光子晶体的有关特性作了比较, 得到了一些有趣

^{*} 收稿日期: 2006 - 05 - 25

作者简介: 王叶荟(1966 -), 女, 江苏常州人, 实验师, 主要从事物理实验和光子晶体研究。

的结果。

1 准周期结构模型

一维光子晶体结构由折射率为 n_1 和 n_2 的两种电介质交替排列而成, 其厚度分别为 d_1 和 d_2 , 每种介质层为 $\lambda_0/4$ 片, 即有 $n_1 d_1 = n_2 d_2 = \lambda_0/4$ 。本文提出的准周期一维光子晶体的结构模型如图 1 所示。每个周期的层厚保持不变, 但每层的折射率依次递增或递减 0.01。

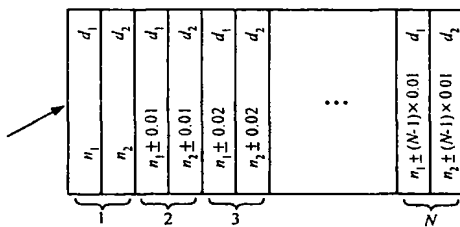


图1 准周期一维光子晶体结构

Fig. 1 The structure of a quasic - periodic 1D photonic crystal

波长为 λ_0 的光波由空气入射到光子晶体表面, 利用传输矩阵法^[8,12]计算其透射谱。计算中的有关参数为: 中心波长 $\lambda_0 = 1.06 \mu\text{m}$ 。介质 1 的折射率 $n_1 = 1.38$, 层厚 $d_1 = 0.192 \mu\text{m}$ 。

2 数值模拟结果及分析

2.1 正入射时的带隙结构

当光波正入射到光子晶体上时, TE 模和 TM 模的传播特性是一致的, 其透射谱如图 2 所示。在图 2 (f) 中, 介质 2 的折射率 $n_2 = 2.35$, $d_2 = 0.113 \mu\text{m}$ 。实线表示周期结构的一维光子晶体 (周期数 $N = 10$) 的透射谱; 虚线 (点线) 则表示每层的折射率依次递增 (递减) 0.01 时的透射谱。为了看出介质折射率对光子晶体禁带的影响, 在图 2 中给出了 n_2 取不同值时的透射谱。图 2 (a) ~ 图 2 (f) 6 个图中, 介质 2 的折射率 n_2 从 1.65 逐渐变化到 2.35, 即 n_2/n_1 的值依次为 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 和 1.7, 但介质 2 层依然为 $\lambda_0/4$ 波片, 即保持 $n_2 d_2 = \lambda_0/4$ 的条件。

对数值模拟结果进行分析, 可得以下结论: 光子带隙的大小与两种介质的折射率比密切相关。随着两种介质的折射率比 n_2/n_1 的增大, 光子晶体的禁带逐渐展宽, 且禁带中心光波的透射率下降、透射谱带边峰值处透射率减小。当各层介质的折射率递增时, 相对于周期结构的光子晶体而言, 准周期光子晶体的光子带隙向长波方向移动;

而当折射率递减时光子带隙则向短波方向移动。两种情况下, 带隙的移动量基本相同。

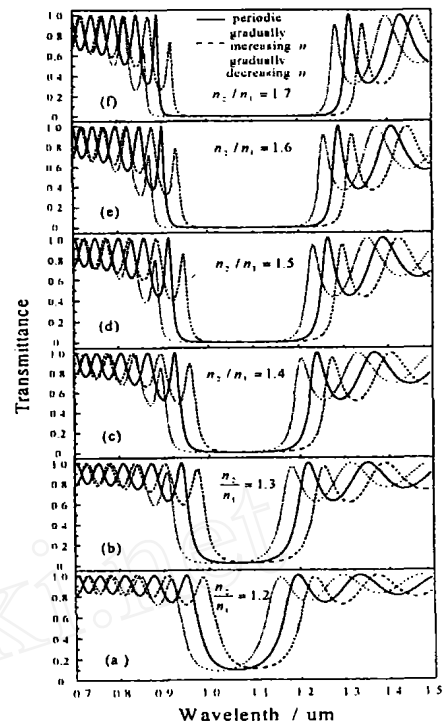


图2 正入射时光子晶体的透射谱

Fig. 2 The transmission spectra of 1D photonic crystals

2.2 光子晶体的偏振特性

图 3 绘出了光波以不同的入射角入射时的透射谱, 其中介质 2 的参数为: $n_2 = 2.35$, $d_2 = 0.113 \mu\text{m}$, 周期数 $N = 10$ 。从图 3 可得出以下结论: 图 3 (a) ~ 图 3 (c) 3 图分别为入射光以不同的入射角入射到周期性光子晶体上时的透射谱, 从中可以看出, 当入射角 $\theta = 0$ 时, TE 模和 TM 模是一样的; 但随着入射角的增大, TE 和 TM 模逐渐分开, 且其带隙中心都向短波方向移动, 但 TE 模的禁带逐渐展宽而 TM 模的禁带逐渐变窄。图 3 (d) 和图 3 (e) 给出了光线斜入射时准周期结构光子晶体的透射谱, 各图中实线、虚线和点线分别表示周期结构、每层的折射率依次递增 0.01 和每层的折射率依次递减 0.01 时的准周期结构的透射谱, 且图 3 (d) 和图 3 (e) 分别为 $\theta = 60^\circ$ 时 TE 模和 TM 模的特性曲线。这两图结合图 2 (f) $\theta = 0^\circ$ 时透射谱, 可以得到: 相对于周期结构而言, 不论入射角多大, 当各层介质的折射率递增时 TE 模和 TM 模的光子带隙都向长波方向移动, 而当折射率递减时 TE 模和 TM 模的光子带隙则向短波方向移动。无论是 TE 模或 TM 模, 两种情况下光子

带隙的移动量基本相同。

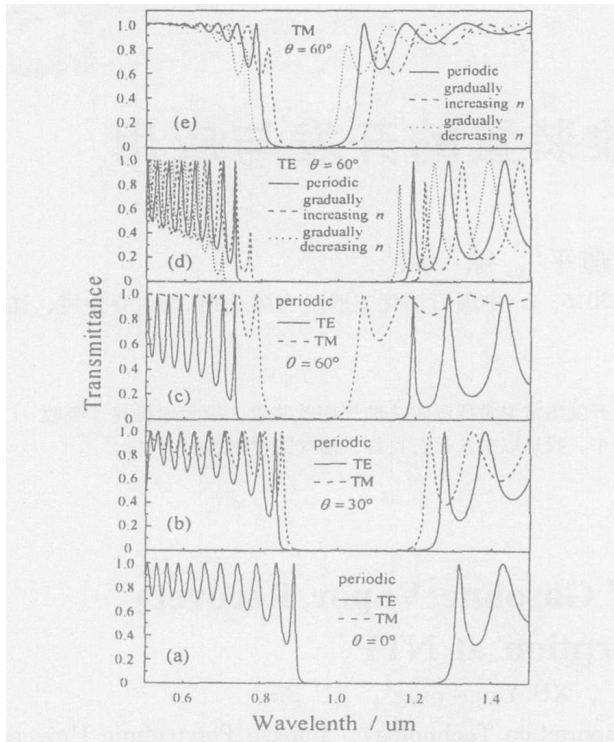


图3 不同入射角时光子晶体的透射谱

Fig. 3 The transmission spectra of 1D photonic crystals at different incidence angle

3 结 论

研究了各层介质折射率分别递增或递减的准周期结构一维光子晶体的带隙结构和偏振特性。研究表明,光子带隙的大小与两种介质的折射率比有关,随折射率比的增大而展宽。但TE模和TM模的偏振特性不同,随入射角的增大,TE和TM模逐渐分开,且其带隙中心都向短波方向移动,但TE模的禁带逐渐展宽而TM模的禁带逐渐变窄。此外不论入射角多大,相对于周期结构而言,当各层介质的折射率递增时TE模和TM模的光子带隙都向长波方向移动,而当折射率递减时光子带隙则

向短波方向移动,TE模或TM模光子带隙向两个方向移动的偏离量也基本相同,它们主要由各层介质的折射率递变量来决定。因此,研究准周期结构一维光子晶体的带隙和偏振规律,对于拓展光子晶体的应用是极其重要的,这些变化规律对于滤波技术、反射器等都极有参考价值。

参考文献:

- [1] Yakoyama H, Nishi K, Anan T, et al. Controlling Spontaneous Emission and Threshold - Less Laser Oscillation with Optical Microcavities [J]. Optical and Quantum Electronics, 1992, 24: s245 - s275.
- [2] Knight J C, Broeng J, Birks T A, et al. Photonic Band Gap Guidance in Optical Fibers [J]. Science, 1998, 282: 1 476 - 1 478.
- [3] Zhang Z Q, Wong C C, Fung K K, et al. Observation of Localized Electromagnetic Waves in Three - Dimensional Networks of Waveguides [J]. Phys Rev Lett, 1998, 81: 5 540 - 5 543.
- [4] Tran P. Optical Switching with a Nonlinear Photonic Crystal: A Numerical Study [J]. Opt Lett, 1996, 21: 1 138 - 1 140.
- [5] Jiang M, Shen X, Jiang X, et al. Analysis of Bistable Switching Threshold in One Dimensional Photonic Crystals [A]. Asia - Pacific Optical Communications [C]. Peking: SPIE, 2004.
- [6] Fink Y, Winn J N, Fan S, et al. A Dielectric Omnidirectional Reflector [J]. Science, 1998, 282: 1 679 - 1 682.
- [7] Neda S, Yogyama M, Imada M, et al. Polarization Mode Control of Two - Dimensional Photonic Crystal Laser by Unit Cell Structure Design [J]. Science, 2001, 293: 1 123 - 1 125.
- [8] 蒋美萍, 江兴方, 沈小明, 等. 一维光子晶体的偏振特性研究 [J]. 量子电子学报, 2005, 22 (4): 612 - 616.
- [9] 汤亮, 袁长胜, 陈延峰, 等. 连续渐变周期的一维光子带隙结构全能反射器 [J]. 光子学报, 2004, 33: 573 - 576.
- [10] 欧阳征标, 朱骏, 李景镇. 两端有慢变结构的光子晶体的能带特性研究 [J]. 光子学报, 2002, 22: 612 - 614.
- [11] 沈小明, 王旭东, 陈宪锋, 等. 准周期结构一维光子晶体的透射谱 [J]. 江苏工业学院学报, 2005, 17 (1): 34 - 36.
- [12] Pendry JB. Calculation of Photonic Band Structure [J]. J Phys Candon Matter, 1996, 8: 1 085 - 1 108.