

文章编号: 1001-3806(2010)02-0279-03

# 1 维全息光子晶体的偏振特性

程 阳

(徐州医学院 数理教研室, 徐州 221004)

**摘要:** 为了研究两种偏振光通过1维光子晶体的偏振特性,采用传输矩阵法做了相关计算,得到介质折射率、折射率调制变化的变化,在光正入射和倾斜入射时对不同偏振光的禁带都有影响的结果。结果表明,当光线正入射的时候,折射率和折射率调制变化的变化都不会影响禁带位置,折射率增大,禁带宽度减小;折射率调制增大,禁带宽度变大,正入射时 $p$ 偏振、 $s$ 偏振的禁带完全重合;当光线以一定的角度照射到介质表面上时,两种偏振态下禁带位置随折射率调制的增大移向低频,带的中心位置一样,禁带宽度变大。两种偏振态下禁带带宽随折射率的增大变窄,禁带中心移向低频, $s$ 偏振的带宽减小得更明显;介质厚度对不同偏振态下禁带没有任何影响。这为设计1维全息光子晶体偏振片提供了理论依据。

**关键词:** 物理光学;全息;光子晶体;禁带;偏振

中图分类号: O438.1 文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.1001-3806.2010.02.037

## Polarization property of 1-D holographic photonic crystal

CHENG Yang

(Department of Mathematics and Physics, Xuzhou Medical College, Xuzhou 221004, China)

**Abstract:** In order to study the polarization property of 1-D photonic crystal, transfer matrix method was used for calculation. It is found that at normal incidence, the change of the refractive index and the refractive index modulation will not influence the gap position and the gap for  $p$  light is coincident with that for  $s$  light; however, the larger the refractive index, the smaller the gap; the larger the modulation of the refractive index, the larger the gap. At oblique incidence, with the increase of the modulation of refraction index, the gap position moves to lower frequency and the gap becomes larger; with the increase of the refraction index, the gap position moves to lower frequency and the gap becomes smaller, especially the gap for  $s$  light becomes smaller obviously. The change of the thickness of the media doesn't influence the position of the gap of the two different polarizations. The conclusion is useful for the design of 1-D photonic crystal polarizers.

**Key words:** physical optics; holographic; photonic crystal; gap; polarization

## 引 言

自1987年YABLONOVITCH和JOHN<sup>[1-2]</sup>提出光子晶体的概念以来,有关光子晶体的研究一直是研究的热点。偏振特性是光学元、器件的重要性能参量,人们经常把入射光分解为相对于入射面的平行分量( $p$ 偏振)和垂直分量( $s$ 偏振),光子晶体作为一种极有应用价值和潜力的新型光学元件,对其偏振特性的研究<sup>[3-4]</sup>是必不可少的。相对于2维光子晶体结构较复杂、设计计算量大的特点,1维光子晶体结构简单、制备方法较多、制备技术较成熟。近年来,用光学全息的方法制作光子晶体已有报道。由于光学全息方法简单、成本低廉,有望

成为一种好的制作光子晶体的方法。对这类光子晶体特性的研究也已经开展起来<sup>[5-6]</sup>。作者利用不同偏振模式在光子晶体中具有不同带隙的特点,研究了1维全息光子晶体的偏振特性。

## 1 模型介绍

以反射全息图为例,1维全息光子晶体典型结构如图1所示。其中,图1a代表两相干光束沿着 $z$ 轴相向入射到全息介质的两个表面上,在全息介质中会产生周期为 $\lambda/2$ 波长的周期结构。图1b表示在这种介质中,折射率是一种余弦函数渐变周期结构( $n$ 是 $z$ 的函数),其中 $\bar{n}$ 为平均折射率, $\Delta n$ 为折射率的调制幅度。

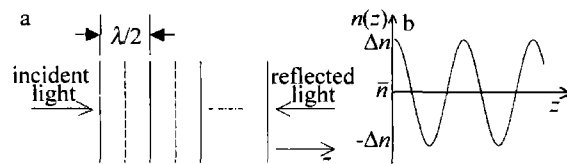


Fig. 1 Radical cell structure of one dimension reflecting holograph

基金项目:徐州医学院公共教育学院课题资助项目(XYGJ09001)

作者简介:程 阳(1980-),女,讲师,硕士,主要从事全息光子晶体的理论研究。

E-mail:cy801105@126.com

收稿日期:2009-02-25;收到修改稿日期:2009-03-17

## 2 计算方法

采用传输矩阵法计算时,将每一个周期分成若干个子层,则每个子层的传输矩阵为<sup>[7-8]</sup>:

$$M_j = \begin{bmatrix} \cos\delta_j & \frac{i}{N_j} \sin\delta_j \\ iN_j \sin\delta_j & \cos\delta_j \end{bmatrix} \quad (1)$$

$N_j$  由下式表示,脚标  $j$  代表第  $j$  个晶格:

$$N_j = \begin{cases} n_j / \cos\theta_j, & (s \text{ 偏振}) \\ n_j \cos\theta_j, & (p \text{ 偏振}) \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $\theta_j$  为光进入第  $j$  个晶格时的折射角,  $\delta_j = \frac{2\pi}{\lambda} n_j d_j$  为光在第  $j$  个晶格中产生的相位差,  $n_j$  为第  $j$  子层的折射率,  $d_j$  为第  $j$  子层的厚度,且设光正入射到全息光子晶体上。设晶体共有  $k$  层晶格,整个全息光子晶体的传输特性可用下面矩阵方程描述:

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{j=1}^k \begin{bmatrix} \cos\delta_j & \frac{i}{n_j} \sin\delta_j \\ i n_j \sin\delta_j & \cos\delta_j \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ N_{k+1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

不难求出,全息光子晶体的反射率为:

$$R = \left( \frac{N_0 B - C}{N_0 B + C} \right) \left( \frac{N_0 B - C}{N_0 B + C} \right)^* \quad (4)$$

由此,即可得到全息光子晶体的带隙结构。

## 3 结果与讨论

### 3.1 正入射-折射率调制的影响

当光线正入射的时候,折射率调制的变化,对不同偏振态下的禁带影响效果是一样的:随着折射率调制的增大,禁带中心位置保持不变,禁带宽度变大,并且不论  $s$  偏振或  $p$  偏振,带宽增大的幅度也一样,正入射时偏振对折射率调制的变化没有选择,完全一样,变化规律见图 2 所示。

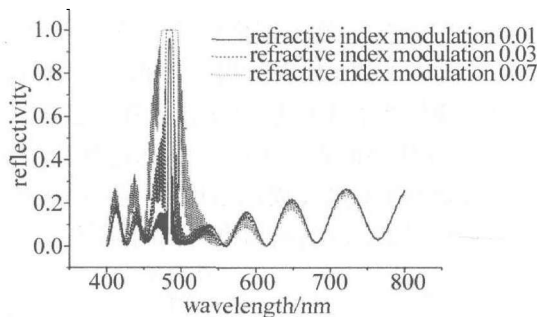


Fig. 2 Effect of the values of the refractive index modulation at normal incidence

### 3.2 斜入射-折射率调制的影响

$30^\circ$  入射,两种偏振态下禁带位置随折射率调制的增大移向低频,带的中心位置一样,但是  $s$  偏振对应的

带宽大于  $p$  偏振的情况,禁带宽度变大。如图 3 所示。

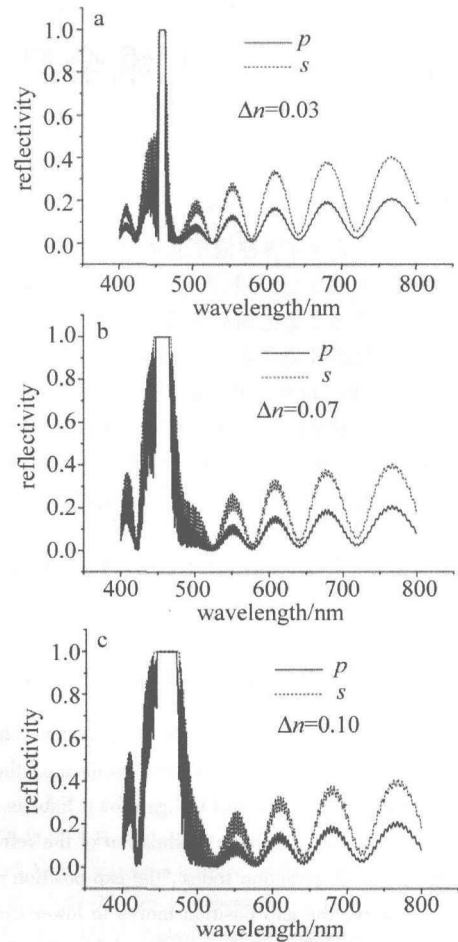


Fig. 3 Effect of the values of the refractive index modulation at oblique incidence

### 3.3 正入射-折射率的影响

当光线正入射的时候,折射率的变化,对不同偏振态下的禁带影响效果是一样的:随着折射率调制的增大,禁带中心位置保持不变,宽度变窄,并且不论  $s$  偏振或  $p$  偏振,带宽变化的幅度也一样,正入射时偏振对折射率调制的变化没有选择,完全一样,变化规律见图 4 所示。

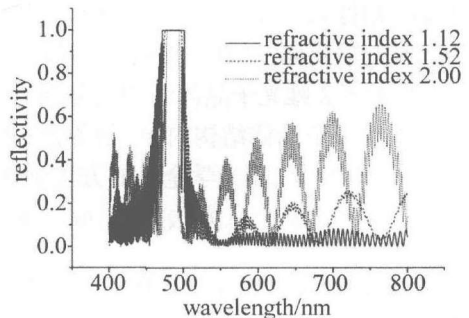


Fig. 4 Effect of the values of the refractive index at normal incidence

### 3.4 斜入射-折射率的影响

$30^\circ$  入射,两种偏振态下禁带带宽随折射率的增大变窄,禁带中心移向低频, $s$  偏振的带宽减小的更明显。变化规律见图 5 所示。

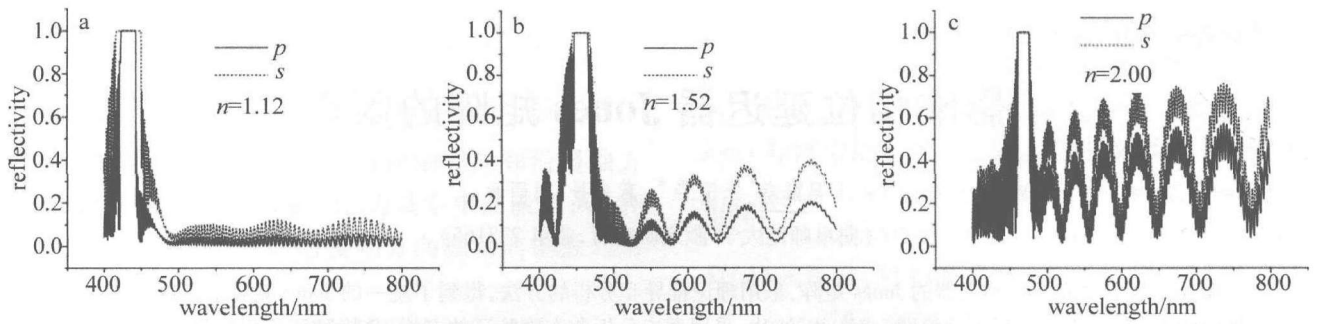


Fig. 5 Effect of the values of the refractive index at oblique incidence

### 3.5 介质厚度对不同偏振态下禁带的影响效果

编程计算了介质厚度分别为  $12\mu\text{m}$ 、 $36\mu\text{m}$  和  $60\mu\text{m}$  的情况,发现介质厚度对不同偏振态下的禁带没有任何影响,禁带出现的位置都一样,宽度也一样。其规律如图 6 所示,禁带中心都出现在  $484.5\text{nm}$  处。

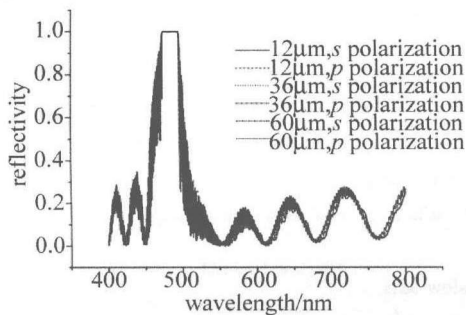


Fig. 6 Effect of the media thickness with different polarization states

## 4 结 论

利用传输矩阵法计算了 1 维全息光子晶体中  $p$  偏振和  $s$  偏振两种偏振模式的特性。通过计算讨论了介质折射率、折射率调制以及介质层厚度对 1 维光子晶体中两种偏振模式光传播性质的影响。结果表明:当光线正入射的时候,折射率和折射率调制的变化都不会影响禁带位置。折射率增大,禁带宽度减小,折射率调制增大,禁带宽度变大,正入射时  $p$  偏振  $s$  偏振的禁带完全重合;当光线以一定的角度照射到介质表面上

时,两种偏振态下禁带位置随折射率调制的增大移向低频,带的中心位置一样,禁带宽度变大。两种偏振态下禁带带宽随折射率的增大变窄,禁带中心移向低频, $s$  偏振的带宽减小的更明显;介质厚度对不同偏振态下禁带没有任何影响。本文中所做的分析计算是 1 维全息光子晶体偏振片的设计,研究中能考虑多个实际物理参量的简单易行的设计理论。

### 参 考 文 献

- [1] YABLONOVITCH E. Inhibited spontaneous emission solid-state physics and electronics[J]. Phys Rev Lett,1987,58(20):2059-2061.
- [2] JOHN S. Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices[J]. Phys Rev Lett,1987,58(23):2486-2489.
- [3] BO T, CHEN W Z, FENG Y, *et al.* The evolution of one-dimensional photonic band gap at different incidence angles of polarized light[J]. Acta Photonica Sinica,2002,31(9):1128-1131 (in Chinese).
- [4] LI R, REN K, REN X B, *et al.* Angular and wavelength selectivity of band gaps of holographic photonic crystals for different polarization [J]. Acta Physica Sinica,2004,53(8):2520-2524 (in Chinese).
- [5] LI R, CHENG Y, CUI L B, *et al.* Effect of number of unit cells of fcc photonic crystal on property of band gap [J]. Acta Physica Sinica, 2006,55(1):188-191 (in Chinese).
- [6] CHENG Y, ZHOU K K. Analysis of the transmission spectrum of one dimensional holographic photonic crystal [J]. Acta Sinica Quantum Optica,2007,13(4):300-303 (in Chinese).
- [7] WANG H, LI Y P. An eigen matrix method for obtaining the band structure of photonic crystals [J]. Acta Physica Sinica, 2001, 50 (11):2172-2178 (in Chinese).
- [8] HE X J, XIE K, XIANG A P, *et al.* Research of band gap of 1-D photonic crystals [J]. Laser Technology, 2008, 32 (5):508-509 (in Chinese).