

文章编号:1002-2082(2009)04-0662-04

镀膜激光全息光子晶体梳状滤波特性研究

于志明¹, 周 静²

(1. 连云港师范高等专科学校 物理系, 江苏 连云港 222006;

2. 北京师范大学 物理系, 北京 100875)

摘要: 提出将成熟的光学薄膜技术和激光全息技术结合起来制作一维镀膜激光全息光子晶体, 用特征矩阵方法研究了该光子晶体的梳状滤波特性, 发现: 随着两端薄膜的周期数增大, 透射峰的中心波长向中间收拢, 透射峰之间的间隔变小; 随着激光全息光子晶体的周期数增大, 透射峰的个数增加, 透射峰之间的间隔变小; 随着制作激光全息光子晶体时的激光的强度增大, 透射峰的中心波长向长波方向移动, 透射峰的宽度变小。

关键词: 光子晶体; 光学薄膜; 激光全息; 梳状滤波; 特征矩阵

中图分类号: TN249; O484.4 **文献标志码:** A

Interleave filter properties of 1-D coated laser hologram photonic crystal

YU Zhi-ming¹, ZHOU Jing²

(1. Department of Physics, Lianyungang Teachers' College, Lianyungang 222006, China;

2. Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Optical thin-film technology and laser holographic technology were combined to fabricate 1-D coated laser hologram photonic crystals. The interleave filter characteristics of 1-D coated laser hologram photonic crystal were studied with the eigen matrix. The central wavelengths of transmittance peaks move to centre and the intervals between transmittance peaks decrease with the increase of both sides thin film's periodicity. The number of transmittance peak increases and the intervals between transmittance peaks decrease with the increase of laser hologram photonic crystal's periodicity. The central wavelengths of the transmittance peaks shift to long-wave direction and the interval between transmittance peaks decrease with the increase of laser's intensity.

Key words: photonic crystal; optical thin-film; laser hologram; interleave filter; eigen matrix

引言

光子晶体(photonic crystal, PC)是折射率按一定规律变化的人工微结构材料,由于光子晶体能够控制光子的行为,使得光子晶体具有广泛的应用领域。

光学薄膜技术和激光全息技术是制作光子晶体特别是一维光子晶体的2种重要方法^[1]。人们已

经对用光学薄膜技术制作的光子晶体^[2-3]和利用激光全息技术制作的光子晶体^[4-7]作了深入的研究。本文提出将光学薄膜技术和激光全息技术结合起来使用,在激光全息光子晶体的两端镀上多层薄膜形成一维镀膜全息光子晶体,用特征矩阵法^[7-10]研究了这种光子晶体的透射特性,发现它具有很好的梳状滤波特性,而通过改变该光子晶体的结构参

收稿日期:2009-02-25; 修回日期:2009-03-23

作者简介:于志明(1960—),男,江苏灌云人,副教授,主要从事大学物理的教学和研究。E-mail: 8800237_cn@sina.com

数, 可以实现对其梳状滤波特性的调制, 这表明可以通过选择镀膜全息光子晶体恰当的结构参数制作出符合各种特定要求的梳状滤波器。

1 结构和研究方法

如图 1 所示, 将一束激光分成 2 束后沿相反方向在感光介质中传播, 在介质中因 2 束激光干涉而形成折射率的一维周期分布, 经显影、定影后可得一维激光全息光子晶体。

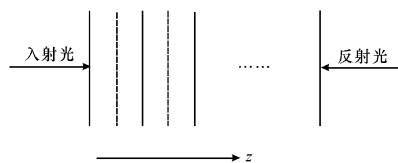


图 1 一维激光全息光子晶体的结构
Fig. 1 Structure of 1-D laser hologram photonic crystal

如不计介质的吸收和膨胀, 则一维激光全息光子晶体的折射率沿图 1 中 z 方向变化的规律为

$$n = n_0 + \Delta n \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda_c} z\right) \quad (1)$$

式中: n_0 是介质本身的折射率; Δn 是折射率变化的最大值, 与相干激光的强度成正比; λ_c 为激光在介质中的波长。

在激光全息光子晶体的两端加上多层薄膜, 就形成了一维镀膜激光全息光子晶体。我们所研究的一维镀膜激光全息光子晶体的结构式为

$$(LH)^x (C)^y (HL)^x \quad (2)$$

式中: H, L 为高、低折射率介质薄膜; x 为重复周期数; C 为长度为 λ_c 的一段激光全息光子晶体, 其中折射率按(1)式变化一个周期; y 为 C 重复的周期数, y 越大, 则激光全息光子晶体越长。

在本研究中, 取 L 为 SiO_2 薄膜, H 为 Ta_2O_5 薄膜, SiO_2 薄膜和 Ta_2O_5 薄膜的折射率分别为 1.45 和 2.03。取 SiO_2 薄膜和 Ta_2O_5 薄膜的光学厚度皆为 $\frac{\lambda_0}{4}$, $\lambda_0 = 1550 \text{ nm}$, SiO_2 薄膜和 Ta_2O_5 薄膜的物理厚度分别为 167.24 nm 和 190.89 nm。取(1)式中的 $n_0 = 1.52$, $\lambda_c = 480 \text{ nm}$ 。

我们用特征矩阵法来研究一维镀膜激光全息光子晶体的透射特性, 为此将其中的激光全息光子晶体用很多等厚的薄层来代替, 各层的折射率由(1)式决定。在研究中, 不计介质的色散和吸收, 入射光垂直入射, 入射介质和出射介质皆为空气。

2 结果与讨论

取(2)式中的 $x = 5, y = 48$, (1)式中的 $\Delta n = 0.05$, 此时一维镀膜激光全息光子晶体在 $1.2 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ 范围内的透射谱如图 2 所示。

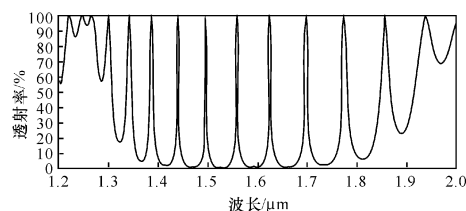


图 2 一维镀膜激光全息光子晶体的梳状滤波特性

Fig. 2 Interleave filter characteristics of 1-D coated laser hologram photonic crystal

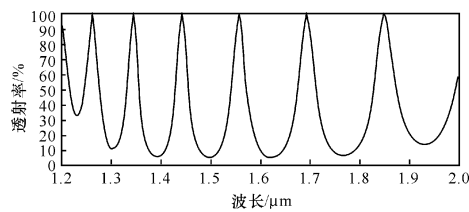
由图 2 可见, 在 $1.3 \mu\text{m} \sim 1.9 \mu\text{m}$ 范围内, 一维镀膜激光全息光子晶体具有很好的梳状滤波特性。图 2 中各透射峰的中心波长为 1342 nm, 1388 nm, 1440 nm, 1496 nm, 1558 nm, 1625 nm, 1697 nm, 1775 nm, 1855 nm, 各透射峰之间的间隔为 46 nm, 52 nm, 56 nm, 62 nm, 67 nm, 72 nm, 78 nm, 80 nm, 可见随着透射峰的中心波长变长, 透射峰间的间隔增大。

下面对一维镀膜激光全息光子晶体的梳状滤波特性作深入研究。

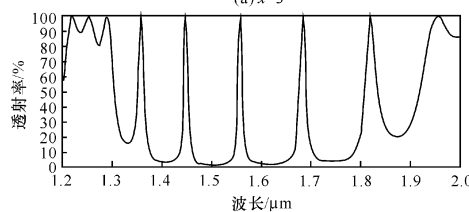
2.1 薄膜的周期对梳状滤波特性的影响

取(1)式中的 $\Delta n = 0.05$, (2)式中的 $y = 48, x = 3, 5, 7$, 此时一维镀膜激光全息光子晶体在 $1.2 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ 范围内的透射谱如图 3 所示。

由图 3 可见, 随着在激光全息光子晶体两端镀制的薄膜周期数增大, 一维镀膜激光全息光子晶体



(a) $x=3$



(b) $x=5$

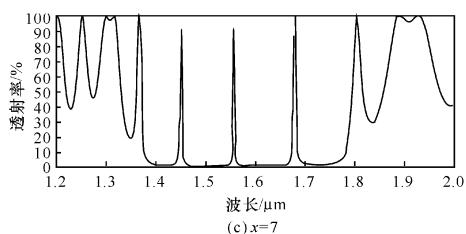


图3 薄膜的周期对梳状滤波特性的影响

Fig. 3 Influence of the thin film cycles on the interleave filter property

在 $1.3 \mu\text{m} \sim 1.9 \mu\text{m}$ 范围内各透射峰的中心波长向中间收拢,透射峰之间的间隔变小,各透射峰变窄,有的透射峰的透射率下降。

2.2 激光全息光子晶体的周期对梳状滤波特性的影响

取(1)式中的 $\Delta n = 0.05$, (2)式中的 $x = 5, y = 12, 36, 60$, 此时一维镀膜激光全息光子晶体在 $1.2 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ 范围内的透射谱如图4所示。

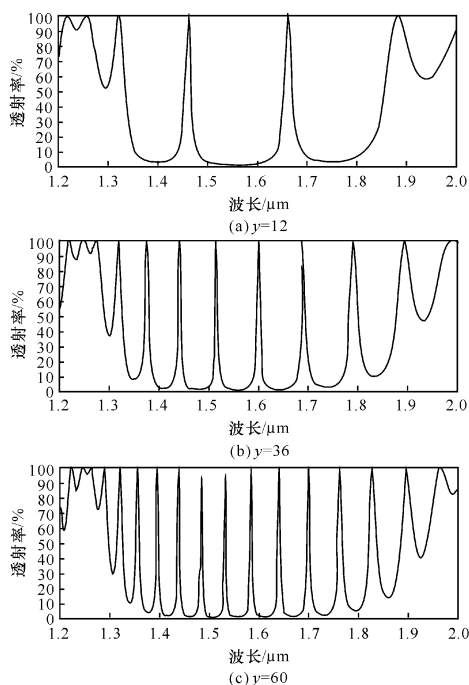


图4 激光全息光子晶体的周期对梳状滤波特性的影响

Fig. 4 Influence of the cycles of laser hologram photonic crystal on the interleave filter property

由图4可见,随着激光全息光子晶体的周期数增大(即激光全息光子晶体的厚度增大),一维镀膜

激光全息光子晶体在 $1.3 \mu\text{m} \sim 1.9 \mu\text{m}$ 范围内透射峰的个数增加,透射峰之间的间隔变小,各透射峰变窄,有的透射峰的透射率下降。

2.3 制作激光全息光子晶体的激光强度对梳状滤波特性的影响

制作激光全息光子晶体的激光强度越大,则(1)式中的 Δn 越大。可以用 Δn 对梳状滤波特性的影响,来体现制作激光全息光子晶体时的激光强度对梳状滤波特性的影响。

取(2)式中的 $x = 5, y = 24$, (1)式中的 $\Delta n = 0.02, 0.5, 1.0$, 此时一维镀膜激光全息光子晶体在 $1.2 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ 范围内的透射谱如图5所示。

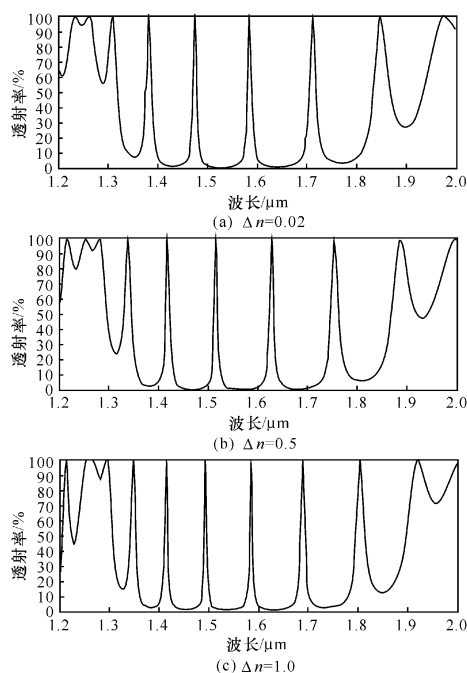


图5 Δn 对梳状滤波特性的影响

Fig. 5 Influence of Δn on the interleave filter property

由图5可见,随着 Δn 的增大(即随着制作激光全息光子晶体的激光强度增大),一维镀膜激光全息光子晶体在 $1.3 \mu\text{m} \sim 1.9 \mu\text{m}$ 范围内各透射峰的宽度变小,各透射峰的中心波长向长波方向移动,研究表明:随着 Δn 增大,开始时各透射峰的中心波长向长波方向移动很慢,后来移动较快。

3 结束语

本文提出将光学薄膜技术和激光全息技术结

合起来制作一维镀膜激光全息光子晶体,用特征矩阵方法研究了一维镀膜激光全息光子晶体的梳状滤波特性,发现:随着一维镀膜激光全息光子晶体两端薄膜的周期数增大,各透射峰的中心波长向中间收拢,透射峰之间的间隔变小,各透射峰变窄;随着激光全息光子晶体的厚度增大,透射峰的个数增加,各透射峰之间的间隔变小,各透射峰变窄;随着制作激光全息光子晶体的激光强度增大,各透射峰的中心波长向长波方向移动,各透射峰变窄。光学薄膜技术和激光全息技术是2种成熟的光学技术,通过选择合适的结构参数,可以得到满足各种梳状滤波特性要求的一维镀膜激光全息光子晶体。

参考文献:

- [1] 李夏,薛唯,蒋玉蓉,等. 光子晶体的制备方法及其应用[J]. 光学技术,2006,32(6):871-877.
LI Xia, XUE Wei, JIANG Yu-rong, et al. Recent progress in the fabrication and application of photonic crystals [J]. Optical Technique, 2006, 32 (6):871-877. (in Chinese with an English abstract)
- [2] 陈慰宗,申影,刘军,等. 一维光子晶体与光学多层介质薄膜[J]. 光子学报,2001,30(9):1081-1084.
CHEN Wei-zong, SHEN Ying, LIU Jun, et al. One-dimensional photonic crystal and optical multilayer dielectric film[J]. Acta Photonica Sinica, 2001,30(9):1081-1084. (in Chinese with an English abstract)
- [3] 陈海星,顾培夫,李海峰,等. 薄膜多腔滤光片型梳状滤波器的设计[J]. 光学学报,2004,24(1):62-64.
CHEN Hai-xing, GU Pei-fu, LI Hai-feng, et al. Design of interleaver with cascaded thin film filter [J]. Acta Optica Sinica, 2004, 24 (1): 62-64. (in Chinese with an English abstract)
- [4] ZHOU Jing, TANG Wei-guo, LIU Da-he. Analysis of polarization properties of reflection volume holographic grating [J]. Optics Communications, 2001,196(1-6):77-84.
- [5] HE X, LIU D, ZHOU J. Volume hologram-coupled Fabry-Perot etalon [J]. Optik, 2003, 114 (8): 379-383.
- [6] 郑君,叶志成,唐伟国,等. 体积全息图图中的光子禁带[J]. 物理学报,2001,50(11):2144-2148.
ZHENG Jun, YE Zhi-cheng, TANG Wei-guo, et al. The forbidden band gap of laser volume hologram photonic crystal[J]. Acta Physica Sinica, 2001, 50 (11): 2144-2148. (in Chinese with an English abstract)
- [7] 于志明,周静. 用特征矩阵法研究一维激光全息光子晶体的禁带特性[J]. 应用光学,2008,29(3):424-427.
YU Zhi-ming, ZHOU Jing. Investigation into forbidden band characteristic of 1-D laser holographic photonic crystal with eigen matrix[J]. Journal of Applied Optics, 2008,29(3):424-427. (in Chinese with an English abstract)
- [8] 顾国昌,李宏强,陈洪涛,等. 一维光子晶体中的光学传输特性[J]. 光学学报,2000,20(6):728-733.
GU Guo-chang, LI Hong-qiang, CHEN Hong-tao, et al. Properties of light propagation in 1-D periodic dielectric structure[J]. Acta Optica Sinica, 2000, 20 (6):728-733. (in Chinese with an English abstract)
- [9] 王辉,李永平. 用特征矩阵法计算光子晶体的带隙结构[J]. 物理学报,2001,50(11):2172-2178.
WANG Hui, LI Yong-ping. An eigen matrix method for obtaining the band structure of photonic crystals [J]. Acta Physica Sinica, 2001, 50 (11): 2172-2178. (in Chinese with an English abstract)
- [10] 于志明,周静. 窄带缺陷模在入射角缓慢变化中的变化规律[J]. 半导体光电,2008,29(6):876-883.
YU Zhi-ming, ZHOU Jing. Changes of narrow defect mode during the small changes of incident angle[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2008, 29 (6):876-883. (in Chinese with an English abstract)