

光子晶体缺陷对的非对称透射行为研究

赵年顺,李 成

(黄山学院 信息工程学院, 安徽 黄山 245021)

摘 要:基于 FDTD 技术的数值模拟方法研究光子晶体缺陷对的非对称透射行为,目的是实现高透射率以及最大对比度的全光二极管。研究发现相较由单个非对称缺陷构成的光二极管而言,这种由两个尺寸不同但具有相同谐振频率的缺陷对构成的光二极管其透射对比度要大很多,选择谐振频率相同的缺陷对构成光二极管可以确保一个高的线性透射率,不同尺寸的缺陷虽具有相同谐振频率,但对外部激发所至的非线性响应存在巨大的差异。

关键词:光子晶体;有限时域差分法;光二极管

中图分类号:TN151

文献标识码:A

文章编号:1672-447X(2009)05-0023-04

1 引 言

由介电常数或折射率的周期性调制所构成的物质称为光子晶体,自 1987 年光子晶体这一概念被提出以来,该领域得到了迅猛的发展,它的应用相当广泛,像波导、延迟线、滤波器、开关和激光器等等都可以基于它而制作出来。^[1-4]最初的研究主要是针对线性光子晶体所进行的,也取得了很不错的成绩,但要实现光来控制光,就必须引入光学非线性,因此,非线性光子晶体成为近几年光子晶体研究领域的一大热点。最突出的应用就是全光二极管,它被视为未来全光信号处理的关键部件之一。第一个基于光子晶体的全光二极管的设想是 Solora 等人提出来的,它依赖于非线性光子晶体带边的动态移动。随着对非线性光子晶体研究的逐步深入,全光二极管吸引了越来越多人的关注。

非对称的结构和非线性是构筑全光二极管的两个基本条件。非对称结构可以实现两端入射波透射率的不同即实现一定的对比度,而引入非线性可

以使光子晶体缺陷模在泵浦光的激励下动态移动从而实现透射率的变化。而之前提出了一种由单个具有 Kerr 非线性的非对称的光子晶体原子来构筑一个全光二极管,^[5]由于单个光子晶体缺陷的非对称限制,它的对比度和透射率都不能满足实际应用。因此,为了提高最大透射率值以及对比度,有必要探究用其他非线性光子晶体结构来构筑全光二极管。根据设计全光二极管的经验,要获得入射光在方向上的最大对比度,就必须提高光子晶体缺陷的几何非对称性,但另一方面,增大了缺陷的非对称性,缺陷的频谱会展宽,透射率会下降,则该二极管的透射率必然会下降。如何才能解决这一矛盾而获得既有高透射率又能有较好对比度的光二极管呢?

本论文通过引入光子晶体缺陷对来提高光二极管的几何非对称性,从而提高光二极管的对比度。物理模型选择两个具有相同的共振频率而缺陷尺寸大小不同的两个缺陷耦合组成缺陷分子,在入射光功率较小即相当于线性情况下,光子晶体缺陷分子的谐振腔模类似于每个缺陷的缺陷模,Q 值较

收稿日期:2009-09-02

基金项目:黄山学院科研基金资助(2007xkjq010)

作者简介:赵年顺(1981-),安徽屯溪人,黄山学院信息学院教师,硕士,研究方向为光子晶体器件研究与设计,EDA 技术。

高,透射率较大。而当入射光功率增强时,因为缺陷尺寸大小不同,它们对非线性的响应不同,光子晶体缺陷分子的非线性效果比较显著,显示出较强的非对称性,从而该由缺陷分子组成的光二极管的对比度得到较大幅度的提高。因此,我们意识到这一独特的性质具有构筑全光二极管的潜力,因为该结构在线性情况下几乎是对称的,将具有比较高的阈值透射率。

2 非线性光子晶体结构和模拟方法

非线性光子晶体分子的基本结构如图 1 所示,这是一种由硅 (Si) 介质棒周期性分布于均匀介质 (例如空气、二氧化硅) 中构成(15×10)的四方点阵结构。介质棒的折射率为 $n_0=3.4$,半径为 $R=0.2a$, $a=1$ 微米指的是晶格常数。光子晶体的一个缺陷可以通过移走中间的一根介质棒获得,设为缺陷 B,另一个缺陷可以通过增加介质棒的半径获得,设为缺陷 A,如图所示,当介质棒的半径在 $0.2816a$ 处,两个缺陷的谐振频率相同。采用两种不同的方法引入缺陷,原因是因它们的非线性响应存在很大不同从而可以预计透射对比度能达到最大值,实现高效对比度的光二极管。这样的结构对于现代的蚀刻技术来说很容易实现,^[4]一般地,在波传播过程中,因介质棒边沿的粗糙度会直接导致在平板中传输的波的离散,而导致能量的损失。但在此所设计的非线性介质块波导中,波的离散损失不至于很显著乃至被忽略,因为电场的分布被严格控制在了光子晶体的缺陷态内。我们设缺陷 B 是用 Kerr 非线性材料做的,折射率 $n(x,z)=n_0+n_2E^2(x,z)$,其中 $n_2=0.01\mu\text{m}^2/\text{W}$ 是非线性系数, $E^2(x,z)$ 是局域的电场强度。

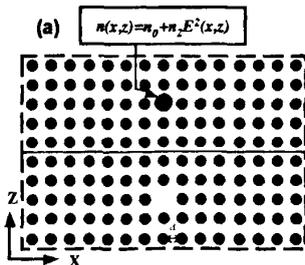


图 1 由缺陷对组成的光子晶体分子的结构

在本文中,非线性的有限时域差分的技术被用来模拟非线性光子晶体分子的透射行为。在数值模拟中,选择格点尺寸为 $a/20$,并设边界条件为一个完美匹配层。

3 非线性光子晶体(PC)分子的单向透射行为

在线性情况下,由数值模拟方法(FDTD 法)获得该光子晶体分子的透射谱,如图 2 所示。

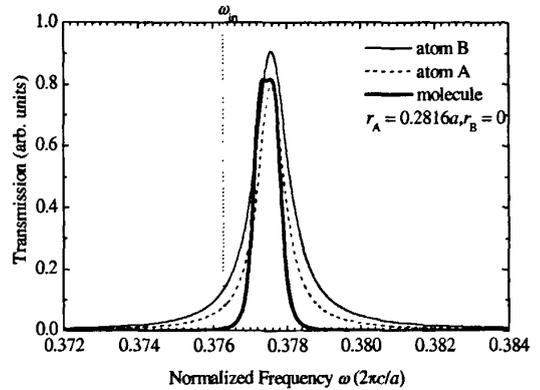


图 2 线性光子晶体的透射谱

在图 2 中可以看到两个缺陷原子的透射谱线,两个缺陷原子的缺陷模只有微小的差别,谐振频率在 $\omega_0=0.3772(2\pi c/a)$ 处。它们的品质因子(Q)以及最大透射率都是相差无几的。另由图虚线可以明显地看出缺陷分子的频谱是一个单峰,谐振频率在 $\omega_0=0.3772(2\pi c/a)$ 处。另外可以注意到缺陷分子的线宽数值大致在 $4.3 \times 10^{-4}(2\pi c/a)$,它比任意一个缺陷的频谱线宽都要窄。

观察缺陷分子在连续波激励下的透射行为,实验中分别从光子晶体的顶部和底部入射一个频率失谐为 $\delta=3$ 的连续波。频率失谐是对应于特定的非线性缺陷模定义的,也即 $\delta=(\omega_0-\omega_m)/\gamma$,其中 ω_0 和 γ 是特定非线性缺陷模的共振频率和线宽, ω_m 是入射波的频率,这里,频率失谐 δ 是对应于缺陷模 A 定义的。在两个方向上,入射波的能量强度 P_m 都是逐渐增加的,同时记录透射率,模拟的结果见图 3。

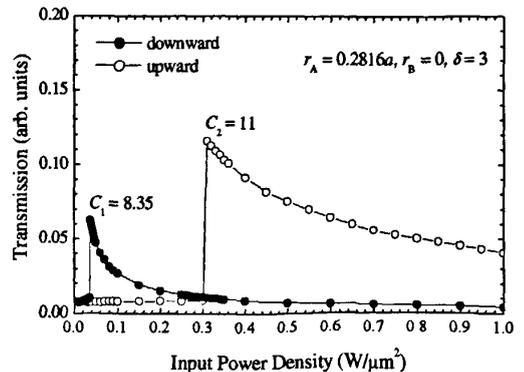


图 3 光子晶体分子的透射行为

由图 3 所示在两个人射方向上都观察到,当入射能量强度达到一个阈值时,透射率有一个急剧的增加,类似于单个非线性光子晶体原子的情况。这种现象源于非线性缺陷模向泵浦频率的移动,从而形成一个正的反馈过程。而且,透射跳跃的阈值明显依赖于入射波的入射方向,在图 3 中,向下和向上入射波的阈值能量强度大概分别为 $P_1^h=0.036W/\mu m^2$ 和 $P_2^h=0.30W/\mu m^2$,两个人射方向上的阈值明显存在着一个数量级的差异,这一差异远远大于单个非对称限制的光子晶体原子中观察到的结果。另外透射对比度,也就是阈值处高透射率和低透射率的比值,相比于单个非对称限制的光子晶体原子也有了很大的提高,在图 3 中,第一和第二阈值处的透射对比度可以分别得出为 $C_1=8.35$ 和 $C_2=11$,特别值得注意得是 C_2 的值已经超过了单个非对称限制的光子晶体原子情况下得出的透射对比度的上限 9,^[9] 这是非线性光子晶体分子最重要的特征,它主要来源于光子晶体原子之间的线性耦合。另一个差异是两个阈值透射率对于光子晶体分子来说一般是不同的,而对于光子晶体原子来说是相同的。如果在更低的频率激发光子晶体分子(或者说用一个更大的频率失谐),透射对比度能得到进一步的提高但是阈值透射率会有所下降。

综上所述,采用两个尺寸大小不同但共振频率相同的缺陷组成的非线性缺陷分子有很好的单向透射行为且向右方向的对比如较高,另对于入射的连续波,域值点的透射率大致都为 0.20。比在线性情况下的透射率有所增加,该现象证实了我们可以用两个光子晶体缺陷组成光二极管并能使其存在良好的单向导通性且有一定透射率的想法。

4 透射对比度增强的原因分析

本文所研究的非线性光子晶体分子的透射对比度在物理上得到增强的原因有 3 个。首先,两光子晶体缺陷之间的线性耦合有助于透射对比度的增强。基于耦合模理论,在稳态情况下通过光子晶体原子的透射率为:^[9]

$$T = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\eta}{1 + (P_{out}/P_0 - \delta)^2} \quad (1)$$

其中 p_{in} 和 p_{out} 是输入和输出的能量, η 是线性情况下的共振透射率, p_0 代表特征能量, δ 表示频率失谐。一般来说, p_0 是由入射方向决定的,从而引起单

向透射。从方程(1)可以很容易地发现透射率 T 的低端极限为 $\eta/(1+\delta^2)$, 因此,当 δ 给定的时候,最大透射对比度 C_{max} 正比于 $(1+\delta^2)$, 这一关系明显地由光子晶体原子的频谱形状决定,而光子晶体原子的频谱一般为洛仑兹型(见方程(1))。如果我们能够增加 δ 的次数,则透射对比度能够被增强。

下面我们来检验非线性光子晶体分子的透射。基于耦合模理论,可以得出通过一个光子晶体分子的透射率可以表示为:^[9]

$$T = \frac{1}{P_1 + P_2(\delta + P_3)^2 + P_4(\delta + P_3)^2 + P_6(\delta + P_3)^4} \quad (2)$$

这里,透射率 T 用一个 δ 的函数来表示, $\delta=(\omega_0 - \omega)/\gamma$ 代替了 ω , 其中 ω_0 和 γ 分别表示组成光子晶体原子的共振频率和线宽(或衰减率)。方程(2)中所涉及的参数给出如下:

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{\sin^2 \varphi}{4\gamma_1\gamma_2\gamma_3\gamma_4} \left(\gamma_1\gamma_4 + \frac{\gamma_2\gamma_3}{\sin^2 \varphi} \right) \\ P_2 &= -\frac{\gamma^2 \sin^2 \varphi}{2\gamma_1\gamma_2\gamma_3\gamma_4} \left(\gamma_1\gamma_4 + \frac{\gamma_2\gamma_3}{\sin^2 \varphi} \right) \\ P_3 &= \frac{\gamma_2}{\gamma \tan \varphi} \\ P_4 &= \frac{\gamma^2 \sin^2 \varphi}{4\gamma_1\gamma_2\gamma_3\gamma_4} (\gamma_1 + \gamma_4)^2 \\ P_5 &= \frac{\gamma_3}{\gamma \tan \varphi} \\ P_6 &= \frac{\gamma^4 \sin^2 \varphi}{4\gamma_1\gamma_2\gamma_3\gamma_4} \end{aligned} \quad (3)$$

其中 $\gamma_{1,2}(\gamma_{3,4})$ 表示顶部(底部)原子在向上和向下方向的衰减率, γ (是顶部 ($\gamma=\gamma_1+\gamma_2$) 或底部 ($\gamma=\gamma_3+\gamma_4$)) 原子总的衰减率,这取决于频率失谐 δ 是相应于顶部原子还是底部原子的缺陷模来定义的, φ 是电磁波传播时两个原子之间的相移。

从方程(2)可以看出,通过两个缺陷的耦合, δ 的最高次数已经增加到 4, 物理上,它表示光子晶体分子的谱线在两侧具有更陡峭的边缘。这一特征很清楚地表现在图 2 中表现出来。结果在急剧转变之前的透射率会更低,而急剧转变之后透射率的衰减将更快,前者导致在第一个阈值处更高的透射对比度,而后者与两阈值之间大的间隔相结合造成第二个透射对比度的增强。另外,如果条件 $\tan \varphi > 0$ 满足,参数 P_3 和 P_5 将导致透射的进一步的减少,相应地透射对比度的进一步的增加。因此,也就解释了为什么在非线性光子晶体分子中透射对比度能得到巨大的增强。

其次,使用非线性缺陷对构成的光子晶体分子能确保一个高的线性透射率。理论上,在非对称限制的情况下,随着非对称性的增大,两入射方向上的特征能量之间的差异也会增大,从而导致透射对比度的增大,但是这种形式的透射对比度的增加是通过牺牲共振透射率来实现的。本文中用非线性缺陷对构成的光子晶体分子来构筑光二极管,由于缺陷对具有相同的频率,故其线性共振透射率比较高,而非对称是通过两个缺陷对于外部激发有着不同的非线性响应而引入的,换句话说,这样的光子晶体分子不仅拥有较高的透射对比度而且具有高的共振透射率的优点。因此,期待通过采用这样的光子晶体分子来构筑光二极管,可以使其性能得到显著的改善。

最后,两光子晶体缺陷对于外部激发的非线性响应的巨大差异导致透射对比度的增强。由于大的差异,在两阈值处的低支透射率将非常小,造成大的透射对比度。通过检测分别从顶部和底部激发时两缺陷中的电场强度可以探究这一原因。因为光子晶体分子是在一定频率失谐下被激发的,在低的激发能量强度时,通过光子晶体分子的透射率非常低,结果当入射波从顶部入射时,缺陷 A 中的电场强度远高于缺陷 B,而当入射波从底部入射时,情况相反。在我们的结构中,透射跳跃的出现是由于缺陷模 A 的移动,当入射波从顶部入射时,缺陷 A 中的电场强度远高于缺陷 B,结果非线性缺陷模 A 更易于向泵谱频率移动,导致一个低的阈值。完全相反,当入射波从底部入射时缺陷 A 中的电场强度非常低,结果缺陷模 A 的移动非常困难,产生一个高的阈值。因此,可以解释在这样一个非线性光子晶

体分子中为什么两个入射方向上的阈值会有这么大的差异。

总之,通过耦合模理论和有限时域差分的技术,我们研究了非线性缺陷对所构成的光子晶体分子的单向透射行为,耦合模理论也很好的解释了数值模拟所得的结果,研究表明由两个尺寸不同但具有相同共振频率的缺陷可以实现较高对比度的光二极管。此外,按照目前的蚀刻工艺,以上研究的光二极管完全可以被制造出来。故掌握光二极管的动力学特性以及透射规律对光二极管的设计起着重要的指导作用。

参考文献:

- [1]J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, and J. N. Winn, Photonic crystals: Molding the Flow of Light, Princeton University Press, Princeton, 1995.
- [2]M. Loncar, D. Nedeljkovic etc, Waveguiding in planar photonic crystals[J]. Appl. Phys. Lett, 2000,77:1937.
- [3]Sheng Lan, Satoshi Nishikawa etc, Design of impurity band-based photonic crystal waveguides and delay lines for ultrashort optical pulses[J]. Appl. Phys, 2001,90: 4321.
- [4]S. Noda, A. Chutinan, M. Imada, Trapping and emission of photons by a single defect in a photonic bandgap structure[J]. Nature (London), 2000,608:407.
- [5]X. S. Lin, S. Lan, Unidirectional transmission in asymmetrically confined photonic crystal defects with Kerr nonlinearity [J]. Chin. Phys. Lett, 2005,22:2847.
- [6]Sheng Lan, Xiong-Wen Chen, Jing-Dong Chen and Xu-Sheng Lin, Physical origin of the ultrafast response of nonlinear photonic crystal atoms to the excitation of ultrashort pulses[J]. Phys. Rev. B, 2005, 71:125122.

责任编辑:胡德明

A Research on Asymmetric Transmission Behavior of Photonic Crystal Defects

Zhao Nianshun, Li Cheng

(Department of Computer Science & Engineering, Huangshan University, Huangshan245041, China)

Abstract: Based on numerical simulations of the finite-difference time-domain (FDTD) technique, the asymmetric transmission behavior of nonlinear photonic crystal (PC) defects is investigated in the hope of obtaining high optical transmission and optical diodes with largest contrast. It is found that transmission contrast of optical diodes consisting of defect pairs with different size but the same resonant frequency is much larger than those optical diodes consisting of a single asymmetric defect. In addition, the maximum linear transmission can be significantly improved by choosing defects with the same resonant frequency. Finally, it is revealed that the responses to the external excitation are very different for the two PC defects with different sizes.

Key words: photonic crystal; FDTD; optical diodes

光子晶体缺陷对的非对称透射行为研究

作者: 赵年顺, 李成
 作者单位: 黄山学院信息工程学院, 安徽黄山, 245021
 刊名: 黄山学院学报
 英文刊名: JOURNAL OF HUANGSHAN UNIVERSITY
 年, 卷(期): 2009, 11(5)
 引用次数: 0次

参考文献(6条)

1. J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, and J. N. Winn, Photonic crystals: Molding the Flow of Light, Princeton University Press, Princeton, 1995.
2. M. I. oncar, D. Nedeljkovic etc, Waveguiding in planar photonic crystals[J]. Appl. Phys. Lett, 2000, 77:1937.
3. Sheng Lan, Satoshi Nishikawa etc, Design of impurity band-based photonic crystal waveguides and delay lines for ultrashort optical putts[J]. Appl. Phys, 2001, 90:4321.
4. S. Noda, A. Chutinan, M. Imada, Trapping and emission of photons by a single defect in a photonic bandgap structure[J]. Nature (London), 2000, 608:407.
5. X. S. Lin, S. Lan, Unidirectional transmission in asymmetri-cally confined photonic crystal defects with Kerr nonlinearity[J]. Chin. Phys. Lett, 2005, 22:2847.
6. Sheng Lan, Xiong-Wen Chen, Jing-Dong Chen and Xu-Sheng Lin, Physical origin of the ultrafast response of nonlinear photonic crystal atoms to the excitation of ultrashort pulses[J]. Phys. Rev. B, 2005, 71:125122.

相似文献(10条)

1. 期刊论文 陈沁. 黄永箴. 国伟华. 于丽娟. Chen Qin. HUANG Yongzhen. Guo Weihua. Yu Lijuan 介电常数对比和填充率对光子晶体中光子禁带和局域态的调节 - 半导体学报 2003, 24(12)

用有限域差分法(FDTD)和Padé近似分析了二维光子晶体的能带结构和缺陷引起的局域态. 针对介电常数对比和填充率对完整光子晶体中光子禁带以及缺陷态的影响作了研究. 计算了不同缺陷的光子晶体模式的振荡频率和质量因子. 数值模拟的结果表明通过改变介电参数对比和填充率可以实现对光子禁带的位置、宽度、数目以及对缺陷态的调整.

2. 学位论文 高慎杰 光子晶体光波导输出端的能量分布及亚波长金属光栅的缝宽效应 2008

本文分为两部分, 第一部分是关于光子晶体光波导输出端的能量分布情况, 第二部分是关于金属亚波长光栅反常透射问题. 这两个部分分别涉及光物理两个很活跃的研究方向. 第一部分: 利用平面波展开法加超元胞技术研究了二维正方形格子旋转正方形空气散射子光子晶体光波导输出端的能量分布情况. 结果表明: 在光子晶体光波导与真空的交界面上较为分散的场分布有益于光波在真空中传播的更远; 较宽的线缺陷同样可以使光传播的较远.

第二部分: 利用有限域差分法研究金属光栅的反常透射问题. 计算了金属薄膜光栅的透射率与单缝宽度以及金属薄膜厚度的依赖关系并发现如下结果: 存在一个最佳缝宽能使单缝增强效应达到最大值, 此时缝间耦合作用几乎消失, 这个结果可以看作是对先前工作的一个验证; 当缝宽变得足够大时, 光栅的透射趋近于经典光学的情况, 这时单缝效应和缝间耦合全都消失; 在最佳缝宽和大缝宽之间还有一个适当的宽度, 它能够使缝间耦合效应达到最大值; 相对透射率随缝宽的增大呈现出一个周期性的增强振荡.

3. 期刊论文 黄永箴, 陈沁, 国伟华, 于丽娟 Padé近似在光子晶体模拟中的应用 - 半导体学报 2005, 26(7)

为了节省时域有限差分(FDTD)法的计算时间, 提出了许多将FDTD的时域结果转换到频域的方法. 文中介绍了一种基于Baker算法的Padé近似, 并展示了其在光子晶体模拟中的应用. 对频率为160THz, 品质因子为5000的简单谐振子, 结果显示Padé近似用28时间步数据得到的强度谱比快速傅里叶变换用220时间步数据得到的强度谱更精确. 采用这一Padé近似, 光子晶体平板结构中不同波矢对应的模式频率和品质因子及其能带结构可以在很短的FDTD输出结果下得出. 另外, Padé近似也用于计算光子晶体微腔的模式频率和品质因子.

4. 学位论文 李海鹏 基于遗传算法优化二维光子晶体带隙及波导输出特性 2009

光子晶体是一种由介质周期性排列构成的人工材料. 由于其具有的巨大应用前景, 光子晶体已经成为现代科学重要的研究领域. 随着微加工技术的不断发展, 光子晶体的工业化生产时代已逐渐到来. 在整个光子晶体器件的生产过程当中, 光子晶体器件的优化设计显得尤为重要. 因为这不仅决定了光子晶体器件的性能是否满足客户要求, 而且为节约工业生产成本提供了非常有利的帮助. 本文在这种背景下, 通过数值模拟和理论分析, 利用遗传算法研究了二维光子晶体的优化问题. 本论文的研究可以分为以下三部分:

1. 分析了光子晶体优化空间的特性. 对于多数光子晶体器件优化空间而言, 由连续和离散优化参数混合而成, 传统优化算法对这类优化问题效果预计不佳. 在此基础上, 探讨了利用遗传算法作为二维光子晶体器件优化算法的可行性.
2. 将遗传算法和平面波展开法结合, 优化了一种二维光子晶体高频完全禁带和平板型二维光子晶体光线下完全禁带. 根据在二维光子晶体完全能带优化研究领域的研究, 我们提出了一个由圆形介质柱组成正方晶格的二维光子晶体元胞的优化方案. 通过对元胞参数的优化, 得到了在高频段具有完全禁带宽为0.1466(2πc/a)的二维光子晶体, 其中心频率为0.985(2πc/a). 该结构的高频段完全禁带比S. Zarei等人在2008报道到的0.0806(2πc/a)宽出0.0660(2πc/a), 较先前结果有了较大提高, 结构也相对简单. 在光线下完全能带的优化中, 针对提出的圆形介质柱组成的二维光子晶体平板模型进行优化, 得到了在光线以下频段具有完全禁带宽为0.0618(2πc/a), 中心频率为0.4758(27πc/a)的二维光子晶体. 目前, 普通

的光线下TE或TM单禁带宽度在 $0.03(2\pi c/\alpha)$ 左右,所以该优化结果较先前研究有了较大突破,并且具有结构较为简单的优点,具有很强的实用性,能够基本满足二维平面光子晶体器件的应用需要。

3. 将遗传算法和有限时域差分法结合,实现了对二维光子晶体波导输出特性的优化,突破了衍射极限的限制,得到了具有角度可控的高性能二维光子晶体定向发射器以及具有高精度的二维光子晶体定点聚焦系统。这些设计结果为光子晶体在光纤通信、波导耦合和成像等领域中的进一步应用提供了丰富的理论依据。

5. 期刊论文 [赵年顺, 李成. Zhao Nianshun, Li Cheng 基于非线性光子晶体设计全光二极管 - 黄山学院学报](#)

2008, 10(5)

针对光子晶体全光二极管在引入Kerr非线性情况下的非对称透射行为进行了研究,目的是实现高透射率以及最大对比度的全光二极管。采用有限时域差分技术的数值模拟方法结合理论分析方法对光子晶体全光二极管的各种性能参数展开研究。在研究中发现可以由两个尺寸不同但具有相同共振频率的缺陷时构建光二极管,在非线性情况下它的透射率和对比度都能获得较大的提高,即选择适当的入射光功率以及合适的缺陷尺寸我们能得到最佳优化的光二极管。

6. 学位论文 [王慧琴 随机激光的光学特性及其调制的理论研究](#) 2009

本文围绕随机介质激光的光学特性及应用,分别对随机介质的光子局域化、能量分布、频谱特性、模式竞争等问题及光子晶体对其辐射特性的调制进行了研究;提出了一种柔性随机半导体激光器的制备方案,为制备具有良好加工性能的、可用于集成电路的、低成本的低阈值微腔激光器提供了一条新途径和理论依据。

作为全文的理论基础,详细地介绍了转移矩阵法(TMM)和有限时域差分(FDTD)法的理论和算法,在分析现有的实验现象和理论的基础上,提出了一种新的整体散射效应理论。

基于整体散射效应理论,模拟了一维随机介质的局域模的分布,分析了激光辐射与泵浦面积的关系。利用激光物理理论对ZnO粉末的激光输出特性进行了模拟,结果与实验定性吻合,较好地解释无序激光的实验现象。

对二维随机介质一系列的光学特性进行了研究,结果显示:光在二维随机介质中呈局域化分布,局域化与介质的结构和激发光的波长均有关,局域化程度与介质颗粒填充密度有关,填充密度越大局域化程度越强,所需的激发阈值越低。随机介质的谱呈自发辐射特性,整体谱的能量较弱,表明单纯的随机介质激光阈值比较高。在随机介质中由于介质颗粒的随机分布会形成一些结构不同的准封闭区域,不同的准封闭区域对应的谱不同,发射谱还与激发波长有关,当激发波长与准封闭区域的结构参数偏差较大时,频谱会此起彼伏,能量衰减较快;而当激发波长与该结构参数接近时,频谱结构相对稳定,能量衰减较慢。随机激光是随机介质与激发光相互作用的整体散射结果。

为了对随机介质的辐射输出进行有效的控制和利用,提出用光子晶体来抑制随机介质的自发辐射,使其向所需要的频率辐射的构思。并对此进行了数值模拟,结果发现光子晶体不仅可使系统局域光的能力得到了增强,提高系统的有效增益,降低激光阈值,而且光子晶体还能抑制团簇中的自发辐射,起到调制激光模式的作用。而且还分析了光子晶体的外形、晶格颗粒尺寸、结构类型、介电常数等各种结构参数对调制作用的影响。在此基础上提出了一种柔性的随机半导体激光器的设计方案,并对这种柔性半导体激光器的光学特性进行理论研究,结果显示这种柔性半导体激光器有较好的光学性能。

7. 期刊论文 [石建平, 董可秀, 黄圆, 杨书容, 陈旭南, Shi Jian-ping, Dong Ke-xiu, Huang Yuan, Yang Shu-rong, Chen](#)

[Xu-nan 全硅光子晶体波导中二次谐波产生及影响因素 - 光学学报](#)2009, 29(2)

硅材料是半导体微细加工工艺中的常用材料,属于 $m3m$ 对称点群,通常无法实现二次谐波产生,导致光子系统芯片中的非线性组件集成困难。提出一种在硅材料中可以实现二次谐波产生光子晶体波导结构。首先给出该波导结构的组成及其基本原理,然后讨论谐波产生的计算模型和计算方法,最后给出针对 $10.6\mu\text{m}$ 波长而设计的全硅二维光子晶体波导具体结构参数,以有限时域差分法为基础,计算分析了谐波产生情况。研究结果表明:该结构利用光子晶体带隙边缘效应增强了硅材料的电四极化强度从而实现二次谐波产生,在完全相位匹配条件下,当抽运波强度为 $1.3\text{MW}/\text{mm}^2$ 时,转换效率为 0.2% 。最后,对影响谐波转换效率的因素进行了初步分析。

8. 会议论文 [赵李健, 陈晓东 半导体材料中激光行为理论分析](#) 2004

本文讨论了量子阱构成的二维光子晶体激光器中的激光行为,采用辅助微分方程法分析了量子阱与激光的相互作用,给出二能级量子阱材料宏观极化强度以及粒子数反转的表达式,并根据所得方程求出了用于计算的有限时域差分方程。

9. 学位论文 [刘璟 二维异质结光子晶体滤波器的设计和性能分析](#) 2007

光子晶体在波长量级可以控制光路的特性,对光学器件的集成化有着重要作用,越来越受到许多研究者和企业家的关注。本文运用Fortran自主编程结合二维时域有限差分法(2D FDTD)及平面波展开法(PWM)等仿真软件,设计了新型的二维异质结光子晶体滤波器,深入分析它的光学特性。本文的设计和模拟计算结果为光通信用的波长调谐、上/下载滤波器提供一条新的设计思路 and 依据。

深入分析异质结光子晶体L型弯曲波导的传输特性。用平面波展开方法计算出完美光子晶体的能带结构,用有限时域差分法模拟了电磁波在光子晶体L型弯曲波导中的传播,并计算该光子晶体波导的透射效率。本文设计的异质结光子晶体L型弯曲波导的传输效率较同质结光子晶体L型弯曲波导提高了 $6\sim 7\%$ 。

研究了二维异质结光子晶体滤波器的滤波特性。用平面波展开法和有限时域差分法,对不同晶格光子晶体引入缺陷以后的能带结构、电磁波传输特性进行探讨。异质结光子晶体弯曲波导中引入不同晶格常数的微腔,实现不同波长的滤波。

从两个方面实现了二维异质结光子晶体滤波器的波长可调谐,一是通过改变点缺陷周围介质材料(液晶)的折射率,获得了 31nm 的波长调谐范围;二是通过改变相关介质柱半径的方式,使微腔中透射峰的波长调谐范围约 12nm 和 22nm 。

10. 期刊论文 [冯尚申, 沈林放, 何赛灵 一种具有大带隙的各向异性二维光子晶体结构 - 光子学报](#)2003, 32(2)

提出一种新型各向异性材料(碲)二维光子晶体结构,应用有限时域差分法,对该结构特性进行数值分析,结果表明:通过优化结构参量,该结构具有较大的绝对光子禁带,禁带宽度为 $0.064\omega_e(\omega_e = 2\pi c/a, a$ 为晶格常量, c 为光速),且该光子晶体的带隙具有很好的稳定性。

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hsxxyb200905007.aspx

下载时间: 2010年3月22日