

光子晶体负折射的计算机仿真研究*

Research on Photonic Crystal Negative Reflection by Computer Simulation

王宇鑫¹, 熊超¹, 温新竹¹, 李玉霞¹, 孙海金², 邓文¹

WANG Yu-xin¹, XIONG Chao¹, WEN Xin-zhu¹, LI Yu-xia¹, SUN Hai-jin², DENG Wen¹

(1. 广西大学物理科学与工程技术学院, 广西南宁 530004; 2. 江南大学理学院, 江苏无锡 214122)

(1. College of Physics Sciences and Engineer Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. School of Science, Southern Yangtze University, Wuxi, Jiangsu, 214122, China)

摘要:在计算机上采用 MATLAB 编程进行理想透镜和负折射三棱镜的光路仿真, 分析光在光子晶体中的成像条件, 重点计算一种典型的二维光子晶体: 负折射三棱镜光子晶体的色散特性。结果发现, 光子晶体负折射成像的条件是晶体两侧的折射率与晶体折射率必须绝对值相等, 晶体的厚度必须大于光源到晶体的距离; 光线在进入负折射率光子晶体三棱镜时, 会存在一个最大偏向角, 负折射三棱镜光子晶体可以通过调节光子晶体的结构参数来改变其色散特性。因此, 在实际应用中可以利用光子晶体的色散特性, 通过调节相关的结构参数来对分光仪和波分复用/解复用器等光学器件进行相关的性能优化。

关键词:光子晶体 反常折射 负折射 模拟

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2008)01-0059-04

Abstract: By simulating the ideal len and the optical path of negative refraction prism by MATLAB software, the paper analyses the imaging condition, and especially discusses the dispersion characteristics of a typical two dimensional photonic crystal——negative refraction prism. The result shows the imaging condition is that the refractive index on the part of both sides of the crystal must be absolutely equal to the crystal refractive index, and the thickness of crystal must greater than the distance from illuminant to crystal. When light travels through the negative refraction photonic crystal, there exists a maximum deviation, and the characteristics of photonic crystal prism can be changed by adjusting the structure parameter. Owing to this dispersion character of photonic crystal, we can optimize the optical device performance such as spectrometer and wavelength division multiplexer by regulating their related structure parameter.

Key words: photonic crystals, anomalous refraction, negative refraction, simulation

光子晶体是一种介电常数呈周期性分布的人工电介质结构^[1]。光子晶体中存在着反常的折射现象,

光通过空气-晶体的界面进入晶体发生折射时, 折射光不是偏向于界面的法线方向, 而是偏向于界面方向, 也就是说, 在光的频率范围内, 光子晶体的折射率小于 1。Pendry 等^[2]提出利用光子晶体的负折射现象可以制成“理想透镜”, 相比于普通的透镜, 光子晶体制成的“理想透镜”突破了衍射极限的限制, 因此可以大幅度提高光学存储器的存储容量, 还可以用于医学成像等方面, 有着很广阔的研究应用前景。

收稿日期: 2007-06-01

修回日期: 2007-07-19

作者简介: 王宇鑫(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事光子晶体相关理论和应用研究。

* 国家自然科学基金项目(10564001)、广西自然科学基金项目(桂科回 0448006)资助。

美国 Sandia 国家实验室的 Lin 等发现二维三角排列的光子晶体对于波长变化极为敏感,在 85 ~ 112GHz 的频率范围内,晶体的有效折射率变化最大可以达到 20%,它与普通棱镜相比,具有对波长变化极为敏感和体积小等优点,可以用于微型的分光仪和波分复用/解复用器^[3,4]。

本文采用 MATLAB 编程进行理想透镜和负折射三棱镜的光路仿真,分析光在光子晶体中的成像条件,并重点分析计算一种典型的二维光子晶体——负折射三棱镜光子晶体的色散特性,以期对理想透镜和二维光子晶体的进一步开发与应用提供有益的参考。

1 光路模拟分析

1.1 理想透镜的光路

如图 1 所示,利用 MATLAB 编程实现光子晶体负折射的光路模拟,其中取晶体与光源距离为 x_1 、晶体高度为 h 、晶体厚度为 d 、光轴总长度为 l 、光入射光子晶体前的折射率为 n_1 、光子晶体折射率为 n_2 、光透射光子晶体后的折射率为 n_3 ,其中 $n_1 = n_3 > 1$,这些参数均可以自行输入调节。

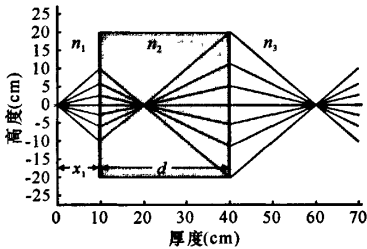


图 1 光子晶体负折射光路模拟

由于在负折射光子晶体中光线的传播遵守斯涅尔定律以及光的反射和折射定律,所以在对理想透镜的光路进行计算机仿真时,我们得到两个关于光子晶体负折射成像的条件:首先,晶体两侧的折射率与晶体折射率必须绝对值相等,即 $n_2 = -n_1 = -n_3$,这样透射入晶体的折射光线才会相交;其次,晶体的厚度必须大于光源到晶体的距离,即 $d > x_1$,这样透射入晶体的折射光线才会在晶体中交于一点,从而在晶体中和晶体外成两个实像。如果不满足上述两个条件中的任何一个,光线在晶体中都不会会聚,光线在经过另外一个晶体与空气的界面之后会发散,折射光射出形成一个虚像。

1.2 负折射三棱镜光子晶体光路

图 2 是折射光线照射在三棱镜的另一条边上而发生第二次折射而得到的光路图。在模拟过程中我

们假设当折射光线照射在三棱镜的底边上时,光线被充分吸收不再射出。

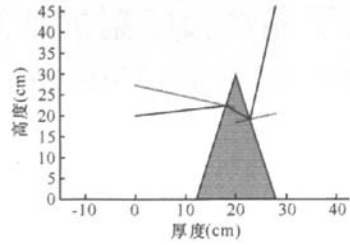


图 2 三棱镜负折射光路模拟

们假设当折射光线照射在三棱镜的底边上时,光线被充分吸收不再射出。入射角 (th_1) 与出射角 (th_4)、偏向角 (th_7) 之间的数值关系曲线如图 3 所示,在这个程序中折射率是可以自行输入的,三棱镜的顶角也是可以调节的。取光入射光子晶体前的折射率 $n_1 = 1$,三棱镜半顶角 $th = \pi/12$,三棱镜折射率 n_2 分别为 -1.1 (图 3(a)) 和 -1.2 (图 3(b))。

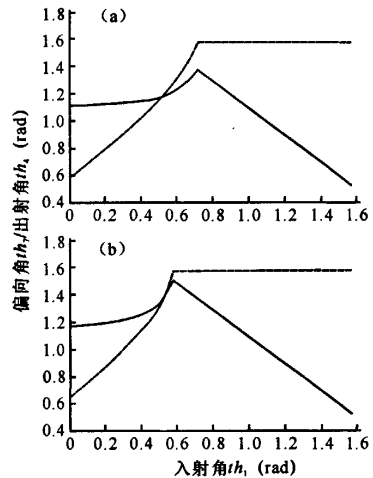


图 3 入射角与偏向角出射角的关系曲线

—:偏向角;---:出射角。

(a) $n_2 = -1.1$; (b) $n_2 = -1.2$ 。

从图 3 可以看出,当折射率与半顶角均为定值时,出射角随入射角的增大而单调变大,而偏向角与入射角之间的关系是先随入射角的增大而变大,然后随入射角的增大而变小,偏向角出现一个最大值。若折射率为变量,半顶角为定值时,随着折射率的减小,出现最大偏向角的入射角区间发生了相应的变化,图 3 中(a)比(b)的最大偏向角出现的早一些(图 3(a)出现在区间 $[0.6, 0.8]$,而图 3(b)出现在 0.6 左右)。

2 负折射三棱镜光子晶体的色散特性分析

二维光子晶体是由不同折射率的介质柱在二维

空间周期性排列组合而成的,每种介质通常是各向同性的,有确定的折射率^[5]。二维三角排列的光子晶体对于光的分光行为如同1个棱镜。一般说来,色散特性是指介质的折射率随频率变化的关系。

设入射光波长和折射率之间存在着如下关系:
 $n = A + B/\lambda^2 + C \times \lambda^2 + D/\lambda^4 + E \times \lambda^4$,我们取 $A = -1.005$; $B = -1.69 \times 10^{-15} m^2$; $C = -5.9 \times 10^8 m^{-2}$; $D = -2.8561 \times 10^{-27} m^4$, $E = -3.5 \times 10^{20} m^{-4}$ 。

在本程序中波长选取红外波段,即(1300~1350nm)范围,在这个范围内每隔5nm取一个点,连成曲线(图4)。从图4中我们可以看出三棱镜光子的体的折射率随波长的增加而不断减小。

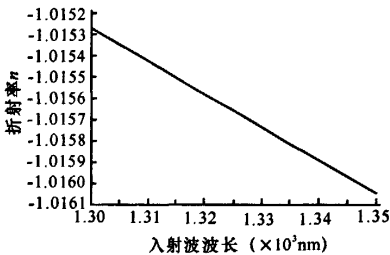


图4 入射波长与折射率关系曲线

2.1 入射光波长和出射角的关系

利用前述编写可调顶角三棱镜光子晶体光路程序所得到的相关结论和角度关系,输入塞尔梅耶公式,编写入射光波长和出射角之间关系的程序。

从图5中可以看出当入射角 th_1 为0.15时,输入三棱镜半顶角分别为 $\pi/12$ 、 $\pi/6$ 时,其关系曲线为依次从下往上的有一定斜率的直线,随着入射光波长的增大,出射角也随之增大。但是当输入三棱镜半顶角为 $\pi/4$ 时,关系曲线变成了一条直线,出射角恒为 $\pi/2$,这时入射光经过三棱镜发生两次折射之后,无论入射光波长和三棱镜折射率如何变化,出射光线均沿着三棱镜的一条腰与法线垂直出射,即发生全反射。

2.2 入射光波长和偏向角的关系

如图6所示,当三棱镜的半顶角 $th = \pi/12$,输入入射角 th_1 分别为0.05、0.10、0.15、0.20、0.25时,其入射角与偏向角的关系曲线为有一定斜率的直线,随着入射角的增大,偏向角也随之增大。同样的随着入射光波长的增大,偏向角也随之相应的增大。出现这种情况的原因主要是因为波长的增大造成了折射率的改变,从而使得偏向角也随之发生了改变。

如图7所示,当入射角 $th_1 = 0.15$,三棱镜半顶

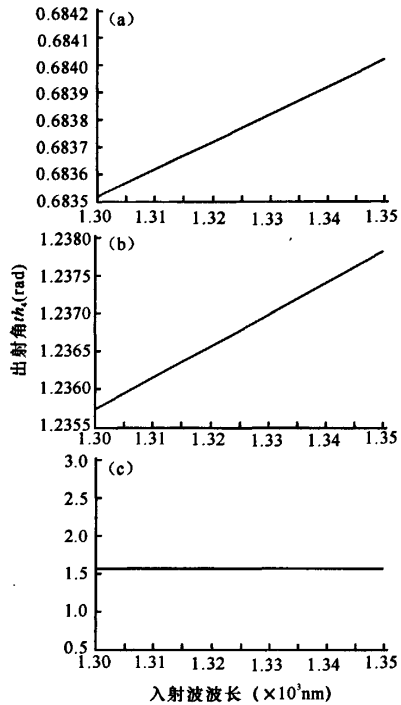


图5 三棱镜半顶角不同时入射光波长与出射角关系曲线($th_1 = 0.15$)

(a) $th = \pi/12$; (b) $th = \pi/6$; (c) $th = \pi/4$ 。

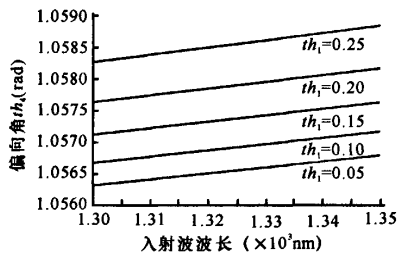


图6 入射角不同时偏向角与入射光波长关系曲线

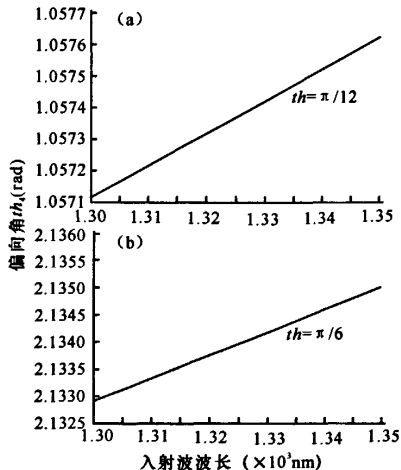


图7 偏向角与入射光波长关系曲线

角 θ 分别为 $\pi/12$ 、 $\pi/6$ 时,随着半顶角的增加,偏向角随之有了相应的增加。随着入射光波长的增大,偏向角也随之增大。出现这种情况的主要原因是三棱镜的顶角发生了变化,相应的偏向角与入射角之间的关系也发生了变化,当入射光波长发生变化时偏向角也就随之发生了变化。

3 结论

(1)通过对负折射光子晶体的光路模拟,我们讨论得出了关于光子晶体负折射成像的条件:首先,晶体两侧的折射率与晶体折射率必须绝对值相等;其次,晶体的厚度必须大于光源到晶体的距离。

(2)通过对负折射三棱镜光子晶体光路的模拟和相关角度关系的分析讨论,我们发现光线在进入负折射率光子晶体三棱镜时,会出现与常规三棱镜不同的现象,即:存在一个最大偏向角。

(3)负折射三棱镜光子晶体的色散特性可以通过调节光子晶体的结构参数来改变,在实际应用中可以利用光子晶体的色散特性,通过调节相关的结构参数来对分光仪和波分复用/解复用器等光学器

件进行相关的性能优化^[6]。

参考文献:

- [1] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics[J]. Phys Rev Lett, 1987, 58:2061-2095.
- [2] Pendry J B. Negative refraction make a perfect lens[J]. Phys Rev Lett, 2000, 85(18):3966.
- [3] Lin Hawn Y U. Highly dispersive photonic band gap prim[J]. Opt Lett, 1996, 74(10):1370.
- [4] 仇欣杰,陈鸿,李宏强.光子晶体中的反常折射现象[J].光电子·激光, 2001, 12(12):1317-1321.
- [5] M Qiu, S Xiao, Berrier A, et al. Negative refraction in two-dimensional photonic crystals[J]. Applied Physics A, 2005(80):1231-1236.
- [6] Pokrovsky A L, Efros A L. Propagation of waves in metallic photonic crystals at low frequencies and some theoretical aspects of left-handed materials[J]. Physics B, 2003(338):196-200.

(责任编辑:韦廷宗)

多喝红茶可以降低华人患帕金森症机率

新加坡国立大学和国立脑神经医学院最近公布一项联合调查称,常喝红茶可以减少华人罹患帕金森症的机率。

新加坡国立大学和国立脑神经医学院从1993年到2005年,针对新加坡6.3万名华族男女进行了为期12a的长期调查。研究报告显示,参与调查的6.3万人当中,60%完全不喝红茶,其中就有120人罹患帕金森症。11%的人每个月喝超过23杯红茶,只有6人罹患帕金森症。报告指出,每个月超过23杯绿茶的人,在6万人中占12%,却有18人罹患帕金森症。研究团队认为,这可能是因为红茶在加工过程中,增加了红茶的抗氧化作用。研究团队还分析了一系列的饮食产品,而在所有食品成份及材料中,包括维他命,红茶的效果最为显著。另外,针对欧美的研究报告已发现,红茶中的咖啡因可以降低罹患帕金森症的机率,但新加坡的研究却发现,红茶中的其它成份也可达到同样效果。

新加坡国立大学社区职业与家庭医学部助理教授许恩佩医师表示,那些喝比较多红茶的人,也许不会喝咖啡,但这与咖啡因成份无关,红茶的好处不是在咖啡因内,而是其它成份,因为在研究中,红茶去除咖啡因后的作用还是非常显著。许恩佩强调,这样的发现,不是要鼓励多喝红茶,而是要了解帕金森症如何形成,并可以医治和预防帕金森症。研究团队接下来将对红茶进行深入研究,以找出红茶中可以预防帕金森症的成份。