

一维光子晶体的透射谱特性^①

宗明吉^② 薛冬 梁兰菊

(枣庄学院物理与电子工程系 山东省枣庄市北安路 1 号 277160)

摘要 利用传输矩阵法研究了一维光子晶体的透射谱特性, 数值模拟得到了可见光波段一维光子晶体中的透射谱特性, 计算结果表明可见光波段入射波长变化时, 透射谱禁带宽度发生变化。研究结果为可见光波段一维光子晶体器件的设计提供了理论依据。

关键词 光子晶体; 传输矩阵法; 禁带特性

中图分类号: O572.31

文献标识码: A

文章编号: 1004-8138(2011)03-4360-04

1 引言

John S^[1] 和 Yablonovich E^[2] 等人于 1987 提出了光子晶体的概念, 光子晶体是介电常数周期性变化的人工电介质材料, 其内部存在光子禁带结构, 频率在带隙中的光将被禁止传播。光子晶体色散小、损耗低, 可以制作出器件, 如光子晶体滤波器、高效率低损耗反射镜、光子晶体的微谐振腔、高效率发光二极管、非线性光子晶体器件等。

光子晶体按其介电函数的周期性可分为一维、二维和三维光子晶体。一维光子晶体就是只在一个维度上具有周期性。二维、三维光子晶体难于制备, 要求比较高, 一维光子晶体比较简单易于制备, 关于一维光子晶体的研究报道较多^[3-5], 本文利用传输矩阵法计算并分析了可见光波段在一维光子晶体中透射谱特性的研究。

2 理论分析

一维光子晶体传输矩阵表示公式已经被大家所公认, 它的推导过程根据文献[6, 7]中的推导过程,

$$M_f = \begin{Bmatrix} \cos \beta_f & -i \sin \beta_f / z_f \\ -i z_f \sin \beta_f & \cos \beta_f \end{Bmatrix}, M_f \text{ —— 每一层的传输矩阵; } f = a, b \text{ —— 分别代表两种介质;}$$

$\beta_f = 2\pi n_f h_f / \lambda$ —— 介质前后面的位相差; $Z_f = \frac{\epsilon_0}{\mu_0} h_f$, Z_f —— 介质阻抗; n_f —— 介质折射率; h_f —— 介质厚度。

则电场磁场在光子晶体中可表述为:

① 山东省 2009 年高等学校科技计划项目(J09LG56); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(2008BS01021); 枣庄市科学技术发展计划项目(200926-5)

② 联系人, 手机: (0) 13371139227; E-mail: zongmingji123@126.com

作者简介: 宗明吉(1974—), 男, 山东省枣庄市人, 讲师, 硕士, 主要从事光子晶体方面的研究工作。

收稿日期: 2010-12-11; 接受日期: 2011-01-03

$$\begin{Bmatrix} E_M \\ H_M \end{Bmatrix} = M_a M_b \begin{Bmatrix} E_{M+1} \\ H_{M+1} \end{Bmatrix} = M \begin{Bmatrix} E_{M+1} \\ H_{M+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} E_{M+1} \\ H_{M+1} \end{Bmatrix} \tag{1}$$

化简为
$$\begin{Bmatrix} \frac{E_N}{H_N} \end{Bmatrix} = M^N \begin{Bmatrix} E_{N+1} \\ H_{N+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} E_{N+1} \\ H_{N+1} \end{Bmatrix} \tag{2}$$

光子晶体的透射系数表述为:
$$t = \frac{2Z_1}{Z_1(M_{11} + Z_{N+1}M_{12}) + M_{21} + Z_{N+1}M_{22}} \tag{3}$$

E_m 和 H_m 分别为电场和磁场分量。 $M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}$ ——式(1)中的矩阵元; $Z_1 = \frac{\epsilon_0}{\mu_0} n_1, Z_{N+1} = \frac{\epsilon_0}{\mu_0} n_{N+1}$ 和 n_{N+1} ——分别为与光子晶体前后层相接触的介质折射率; E ——电场; ϵ_0 ——真空介电常数; μ_0 ——真空磁导率; M_a, M_b — M_f 中 $f = a, f = b$ 时对应的矩阵, $M = M_a M_b, M^N$ —— N 个 M 矩阵。

3 可见光波段透射谱特性的研究

光子晶体模型如图 1 所示, 根据公式(3)组成光子晶体的两种介质折射率分别为 2.38 和1.46, 可见光采取垂直入射, 中心辐射波长分别为红光(波长 700nm)、橙光(波长 620nm)、黄光(波长 580nm)、绿光(波长 550nm)、青光(波长 500nm)、蓝光(波长 470nm)、紫光(波长 420nm)。图 2—图 8 是红光、橙光、黄光、绿光、青光、蓝光与紫光在一维光子晶体中的透射谱。

表 1 列举出了它们的透射谱数据。随着波长的减小, 谱线中心波长依次减小, 但是与入射波长差不多, 变化不大。禁带宽度略有减小。即可见光在一维光子晶体中传输时两种介质膜的折射率不发生变化时, 光线垂直入射时禁带宽度发生变化, 略有减小。入射波长与中心波长偏差不大。

表 1 可见光在一维光子晶体的透射谱

图序	可见光类型	波长(nm)	中心波长(nm)	禁带宽度(nm)
图 2	红光	700	708	126
图 3	橙光	620	625	117
图 4	黄光	580	586	113
图 5	绿光	550	556	100
图 6	青光	500	504	89
图 7	蓝光	470	478	84
图 8	紫光	420	423	80

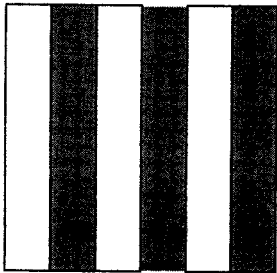


图 1 一维光子晶体模型

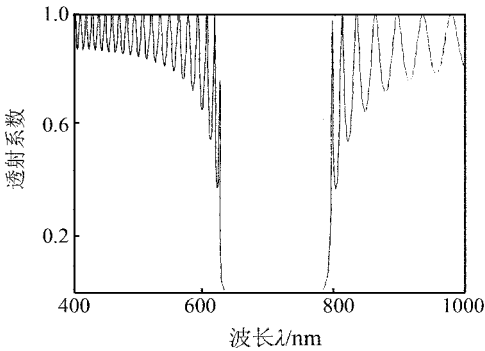


图 2 红光透射谱

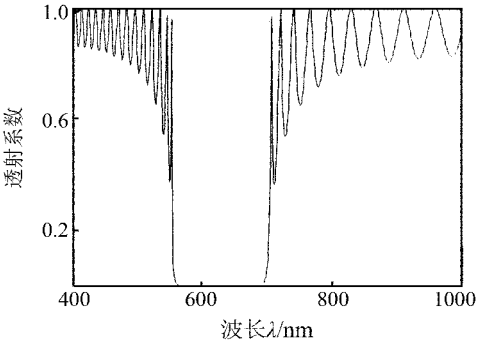


图 3 橙光透射谱

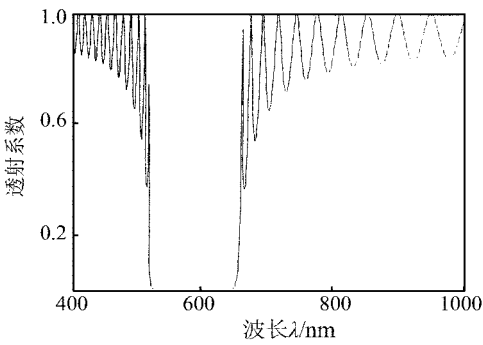


图 4 黄光透射谱

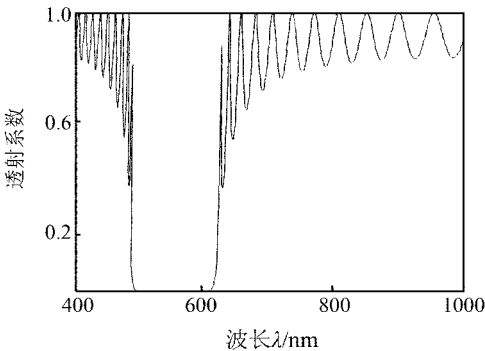


图 5 绿光透射谱

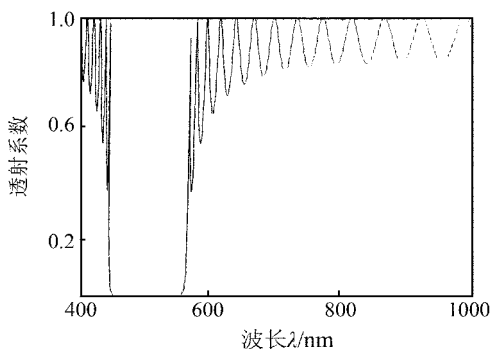


图 6 青光透射谱

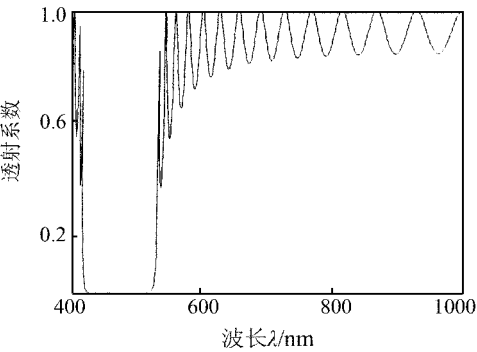


图 7 蓝光透射谱

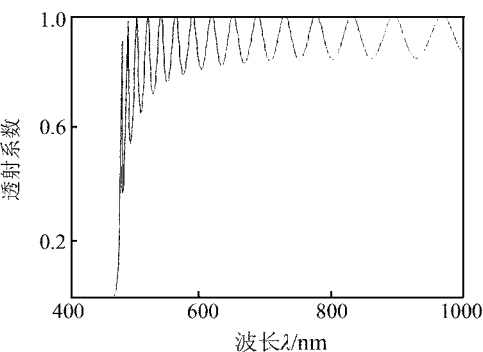


图 8 紫光透射谱

4 结论

本文利用传输矩阵法计算并分析了可见光波段在一维光子晶体中透射谱特性的研究。得到红光的禁带宽度较宽，紫光禁带宽度相对减小。通过可见光波段红、橙、黄、绿、青、蓝和紫光在一维光子晶体中透射谱的研究，为可见光波段一维光子晶体器件的设计提供了理论依据。

参考文献

[1] John S.Strong Locali Zation of Photons in Certain Disordered Dielectric Superlattices[J]. *Physical Review Letter*, 1987, **58**(23): 2486—2488.
[2] Yablonovich E. Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Eectronics[J]. *Physical Review Letter*, 1987, **58**(20):

2059—2061.

- [3] 房淑芬, 李集思, 苏适等. 一维光子晶体的禁带特性[J]. 吉林大学学报(理学版), 2009, 47(1): 98—101.
- [4] 张玲, 梁良, 张琳丽等. 一维光子晶体带隙结构研究[J]. 光子学报, 2008, 37(9): 1815—1818.
- [5] 唐军, 杨华军, 徐权等. 传输矩阵法分析一维光子晶体传输特性及其应用[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(1): 76—80.
- [6] 陈慰宗, 忽满利, 李绍雄等. 一维光子晶体禁带的特点与增宽[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2002, 32(6): 625—628.
- [7] 闫昕. 一维光子晶体禁带特性的研究[J]. 光谱实验室, 2010, 27(3): 1132—1134.

Properties of Transmission Spectrum for 1-D Photonic Crystal

ZONG Ming-Ji XUE Dong LIANG Lan-Ju

(Department of Physics & Electronic Engineering, Zaozhuang University, Zaozhuang, Shandong 277160, P. R. China)

Abstract The property of transmission spectrum for one-dimensional photonic crystal were studied by transfer matrix method, transmission spectral characteristics of 1-d photonic crystals in visible bands was got by numerical simulation. When incidence wavelength of visible bands change, the forbidden band width of transmission spectrum change. This result provides a theoretical foundation for designing device of one-dimensional photonic crystal in visible bands.

Key words Photonic Crystal; Transfer Matrix Method; Properties of Forbidden Band

欢迎您投稿 “高效、保质、宽容”的中文核心期刊 《光谱实验室》

这是您的发明、发现获得“优先权”的可靠保障!

发表周期多数(50%—75%)为5—9个月,

少数(20%—45%)为1—5个月,极少数(0—7%)为15—30天

及时发表科技论文,是尽早实现其社会效益的前提,也是作者创造性劳动得到尊重、为在世界上取得“优先权”的可靠保障,因为发明、发现的“优先权”通常是以出版时间为准的。因此,本刊把尽快发表作者的论文,视为自己的神圣职责。

确保论文质量是论文早日发表的条件。作者发表论文总是要反映自己在工作中有所发明、有所发现和有所创造的成绩,而不是去暴露自身的“缺欠”和“毛病”,换言之,作者发表论文总是要为自己“争光”;而不是让自己“蒙羞”。因此,作者投稿之前,除了自己要反复检查外,一定要多请您周围的同事、专家挑“毛病”,把“毛病”消灭在投稿之前,再投本刊才能发表得快。如果本刊挑出毛病,再请作者修改,反复“折腾”,不仅消耗双方精力,而且必然延长发表时间。保证质量的基本要求就是论文要做到“齐、清、定”。“齐”即文字、表格、图片等齐全,并符合本刊《投稿须知》的各项要求;“清”即文字、图片打印清楚,不得有模糊不清的图片(包括上面的文字和数字);若有彩色图片及彩色曲线,请转化为清晰的黑白图片和黑色曲线,并清除图片和曲线上的背景,便于排版和复制;“定”即做到稿件内容(文字、表格、图片等)完整,无需再作增删修改。

来稿请用 Word 排版,用电子邮件发到本部电子信箱(E-mail: gpsy@263.net)。

本刊收到作者来稿后,都会在3日(遇公休日顺延)内发出“收稿通知”。因此,作者发送稿件后7日以上都没有消息,一定要及时来电查询。

一篇论文出版,常常需要反复沟通“作者→编辑部→审者→编辑部→作者”之间的联系,其中与作者的联系是最重要的一环,一旦脱节,必然中断编辑过程。因此作者来稿时,务必将联系人的正确的姓名和详细地址、办公室电话、手机号码、传真号码和电子信箱等(通讯方式要尽可能全)告诉编辑部,以便能与您及时联系。否则,由此而产生的不良后果由作者自己负责。

本刊发表论文的宗旨是交流学术,提倡“高效、保质、宽容”的精神,欢迎作者将被他刊判为“没有发表价值”的佳作再投本刊,而不是为了应付“评职称”、“拿文凭”。

《光谱实验室》编辑部