

文章编号: 1001-3806(2011)01-0022-03

光子禁带型遮阳品的设计

荣垂才, 宋加兴

(赣南师范学院 物理与电子信息学院, 赣州 341000)

摘要: 为了屏蔽紫外线, 提出光子禁带型遮阳品, 分别用传输矩阵、时域有限差分法计算紫外线在1维、2维光子禁带型遮阳品中的透射率。结果表明, 选取合适的参量, 可以设计紫外线的1维、2维光子禁带型遮阳品; 入射角对1维、2维遮阳品的禁带波长下限都有较大影响。

关键词: 材料; 光子禁带; 紫外线; 遮阳品; 传输矩阵; 时域有限差分法

中图分类号: O431 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2011.01.007

Design of sunshade on photonic band gap

RONG Chui-cai, SONG Jia-xing

(School of Physics and Electronic Information, Gannan Normal University, Ganzhou 341000, China)

Abstract: In order to shield the ultraviolet, sunshade on photonic band gap was proposed, the transmissivity of the ultraviolet radiation in 1-D and 2-D sunshade on photonic band gap was calculated by means of transfer matrix and the finite difference time domain method. The result shows that 1-D and 2-D sunshade on photonic band gap can be designed if appropriate parameter were selected. Incident angles have a greater impact on low limit of forbidden band.

Key words: materials; photonic band gap; ultraviolet; sunshade; transfer matrix; finite difference time domain method

引言

紫外线 (ultraviolet, UV)^[1] 是指波长在 180nm ~ 400nm 范围的光波, 按波长分为近紫外线 UVA (320nm ~ 400nm)、远紫外线 UVB (290nm ~ 320nm) 和超短紫外线 UVC (180nm ~ 290nm)。UVA 能量较小, 能够穿透玻璃、某些衣物、人的表皮, 占紫外线总量的 95% ~ 98%。UVB 占紫外线总量的 2% ~ 5%, 是引起晒伤、基因突变及肿瘤的罪魁祸首。UVC 能量最大, 但几乎被臭氧层完全吸收, 对人类不会造成伤害。对紫外线的防护主要是遮蔽来自 A 段和 B 段紫外线的过多辐射, 这些辐射主要影响眼睛和皮肤, 引起急性角膜炎和结膜炎、慢性白内障等眼疾, 导致皮肤老化, 出现皱纹、雀斑等, 甚至诱发皮肤癌。为降低紫外线对人类的危害, 人们需要开发各种具有防紫外线穿透的遮阳品, 因此, 需要研究紫外线辐射防护产品, 如抗紫外线纺织品、抗紫外线化妆品等^[2]。

光子晶体就是指具有一定光子带隙 (photonic

band gap, PBG) 的一种人造周期性电介质结构, 目前其研究范围已涉及到光学、电磁学、声学波段, 而在微波与毫米波领域经常称其为电磁带隙 (electromagnetic band gap, EBG) 结构^[3]。光子禁带是光子晶体最根本特征, 禁带是指某一段波长范围的光波不能在光子晶体里传输。对防紫外线用品^[4]来说, 最重要的要求是 UV 的透射率小于 2.5%。根据光子晶体的物理模型, 可以用传输矩阵法与时域有限差分 (finite difference time domain, FDTD) 法分别来计算、设计 1 维、2 维光子晶体, 使其禁带在 180nm ~ 400nm 范围内。

1 1 维光子禁带型遮阳品的设计与计算

1 维光子晶体的结构是由折射率分别为 n_1 和 n_2 的两种材料交替组成, 厚度分别为 d_1, d_2 , 一个周期厚度为 $d = d_1 + d_2$, 这一结构与多层介质膜相同, 设光波从垂直于光子晶体的介质面入射, 见图 1。利用传输矩阵法^[5]可以计算出 1 维光子晶体在不同波长下的透射率。用常规的高低折射率相间的 $\lambda_0/4$ 膜系模拟紫外线区的 1 维光子晶体 PBG 性能, 以 TE 模为例, 取介质周期 $N = 10$, 若光子晶体 A 的介质 1 取折射率 $n_1 = 1.3$; 介质 2 取折射率 $n_2 = 4.7$; $n_1 d_1 = n_2 d_2 = \lambda_1/4 = 250/4\text{nm}$ 。第 1 禁带中心波长 λ_1 , 光程 $1.25\mu\text{m}$ 。禁带截止波长之间的光波被全部反射, 禁带带宽为截止波

基金项目: 赣南师范学院校级科研课题资助项目 (07kyz08)

作者简介: 荣垂才 (1975-), 男, 讲师, 硕士, 主要从事光子晶体计算模拟与应用方面的研究。

E-mail: wlx107@126.com

收稿日期: 2010-03-09; 收到修改稿日期: 2010-03-31

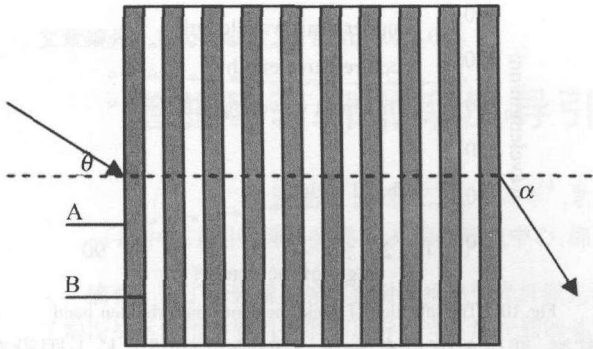


Fig. 1 The model of 1-D sunshade

长与起始波长之差。则其可从图2得到。

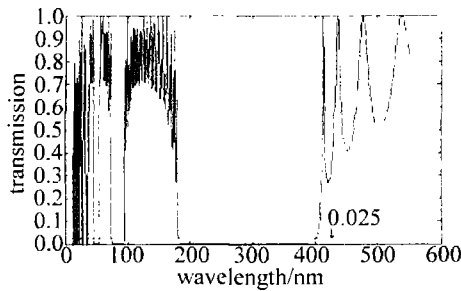


Fig. 2 The transmission of 1-D sunshade A

(1)禁带不只一个,第1禁带为180nm~400nm,还有第2禁带(74nm~95nm)、第3禁带(47nm~54nm)等;第1禁带为180nm~400nm的紫外线透射率小于0.025,完全符合目前国际上最严格的要求^[6]。

(2)对于禁带,计算过程中发现,周期数 N 越多,透射率越小,防护效果越好。

(3)介质1和介质2的折射率差越大,禁带宽度也随之变大。介质1取折射率 $n_1 = 1.3$,介质2选折射率为 $n_2 = 10.7$ 时,第1禁带为160nm~585nm。

(4)禁带的序数越大,其范围向短波方向移动,而且带宽变小。

对于以往的禁带的设计中,人们只注意了第1禁带,而很少顾及第2禁带。可以利用大尺寸的晶格长度在小波长处产生的第2禁带。设计光子晶体B的第1禁带中心波长 $\lambda_1 = 970\text{nm}$,介质1取折射率 $n_1 = 1.3$;介质2的折射率为 $n_2 = 10.7$,取介质周期 $N = 10$,则其光程 $4.85\mu\text{m}$,经过计算,如图3所示,其第2

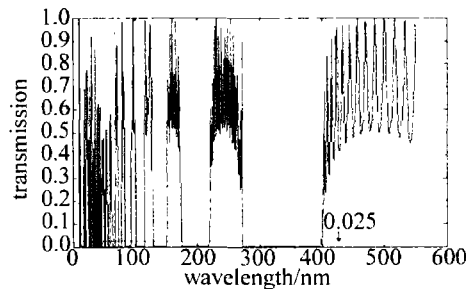


Fig. 3 The transmission of 1-D sunshade B

禁带为272nm~400nm,第3禁带为175nm~219nm。

再设计一个光子晶体C,使其第1禁带中心波

$\lambda_1 = 666\text{nm}$,介质1取折射率 $n_1 = 1.3$;介质2的折射率为 $n_2 = 10.7$,取介质周期 $N = 10$,则其光程 $3.33\mu\text{m}$,经过计算,透射率见图4,其第2禁带为187nm~

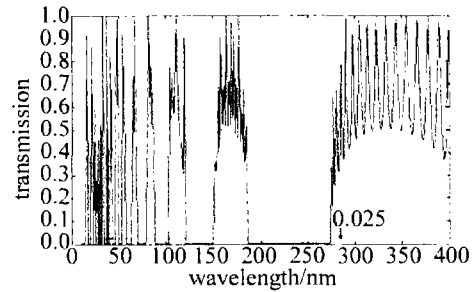


Fig. 4 The transmission of 1-D sunshade C

284nm。把这两个光子晶体B与C组成异质结构D,它们的第2禁带为187nm~400nm。光子晶体异质结构D和光子晶体A的禁带相同,但是异质结构D的光程为 $8.18\mu\text{m}$,大于光子晶体A的光程 $1.25\mu\text{m}$,从而实现了大尺寸晶格的第2禁带的充分利用,这在实际应用中非常有意义,因为晶格常数越大,光子晶体的制作越容易实现。

禁带在180nm~400nm的1维光子晶体在遮阳品^[7]中有广泛的应用,例如防紫外线的伞、太阳帽、汽车的防爆膜等。

2 2维光子禁带型遮阳品的设计与计算

随着人们对健康和环境保护的重视,对服装所用纤维和织物有了新的要求,即在注重服装美观与舒适的同时,对服装的环保性、抗紫外线等功能提出了更高的要求,功能性织物的开发成为新的热点^[8]。2维光子禁带型遮阳品的模型见图5。

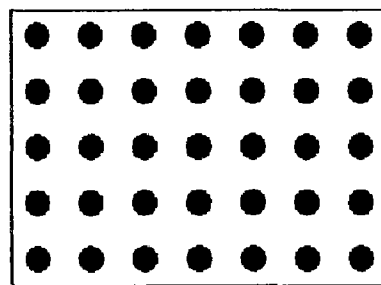
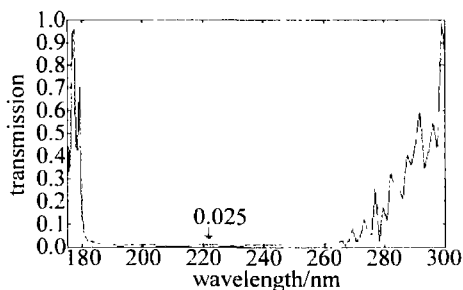
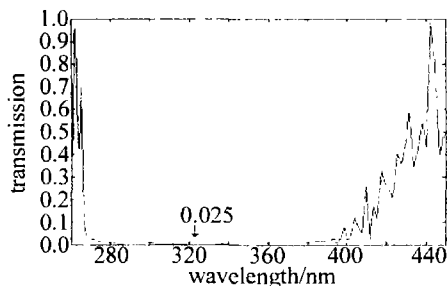


Fig. 5 The model of 2-D sunshade

以TM模为例,应用FDTD^[3]方法,首先计算了图5中的光子晶体四方晶格结构,圆形介质柱放置在真空中,其晶格常数为 $a = 73\text{nm}$,介质圆柱半径为 $0.2a$,介电常数比为 $\epsilon_0 : \epsilon_1 = 1.0 : 11.56$,计算结果表明,在182nm~268nm出现禁带(见图6)。若把晶格常数改为 $a = 108\text{nm}$,计算得到图7,在269.6nm~396.4nm出现禁带。晶格常数 $a = 73\text{nm}$ 与 $a = 108\text{nm}$ 时2维遮阳品的禁带连在一起,就是182nm~396nm,可以达到防紫外线的目的。

Fig. 6 The transmission of 2-D sunshade($a = 73\text{nm}$)Fig. 7 The transmission of 2-D sunshade($a = 108\text{nm}$)

3 入射角对禁带的影响

对1维遮阳品,计算不同入射角情况下紫外线的透射率,如图8所示。禁带波长下限随入射角变小,变

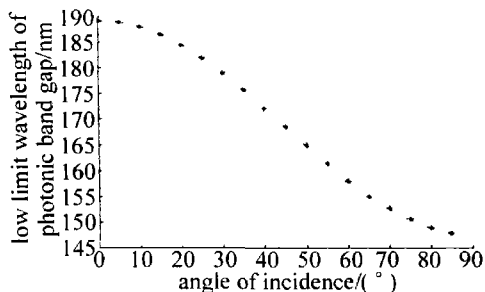


Fig. 8 The relationship between low limit of forbidden band and incident angle

化差值有40nm;由图9得到,禁带中心波长随入射角

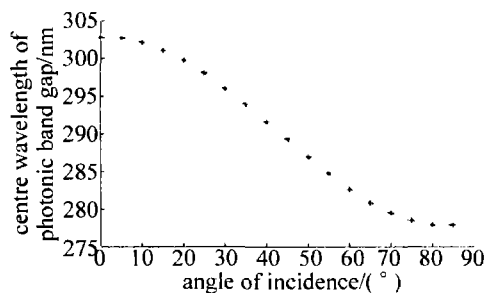


Fig. 9 The relationship between centre wavelength of forbidden band and incident angle

变小,变化差值有24nm;入射角对禁带波长上限影响不大,有10nm的变化差值;禁带宽度随入射角增大而变大,变化差值有30nm。所以在设计遮阳品时,需要把禁带波长下限降低40nm。

对2维遮阳品,计算不同入射角情况下紫外线的透射率,如图10所示。禁带波长下限随入射角增大而变大,变化差值有20nm;禁带中心波长随入射角的变

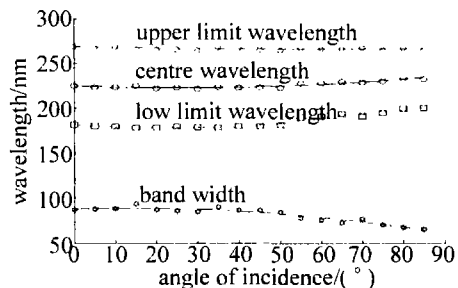


Fig. 10 The affection of angle incidence on forbidden band

化甚微,变化差值只有5nm;入射角对禁带波长上限没有影响;禁带宽度随入射角增大而变小,变化差值有20nm。

入射角对1维、2维遮阳品的禁带波长上限基本没有影响;入射角对1维、2维遮阳品的禁带波长下限都有较大影响,但入射角对1维遮阳品禁带影响更大,这主要是两者结构的不同而造成的。

4 结论

根据光子晶体理论,提出1维、2维遮阳品的物理模型。用传输矩阵法计算了1维遮阳品的禁带,发现设计合适的物理参量可以使禁带在180nm~400nm之间;针对1维光子晶体的禁带特性,发现可以利用第2(3,4,……)禁带,以易实现光子晶体制作;用时域有限差分法计算了2维遮阳品的禁带,设计了合适的物理参量,使禁带在紫外线范围内。入射角对1维、2维遮阳品的禁带波长下限有较大影响。

参考文献

- [1] LI H, MENG J G. Anti-ultraviolet textiles and its development status [J]. Progress in Textile Science & Technology, 2009(4):9-11 (in Chinese).
- [2] XU Y, SHAO D F, WEI Q F, *et al.* Characterization of TiO_2 deposited fabrics and their light transmittance [J]. Journal of Textile Research, 2009, 30(8):59-63 (in Chinese).
- [3] RONG Ch C, YAN K Zh, XIE Y M. The distribution of the electric field in two-dimension photonic crystals [J]. Laser Technology, 2008, 32(1):75-76 (in Chinese).
- [4] XU J. Overview of anti-ultraviolet textiles [J]. Chemical Fiber & Textile Technology, 2009(4):26-30 (in Chinese).
- [5] NING X F, RONG Ch C, YAN K Zh. The effect of the refractive index to the band gap of 1-D three-element photonic crystals [J]. Acta Sinica Quantum Optica, 2006, 12(1):53-57 (in Chinese).
- [6] GAO M, TANG X R. Present status of standards for determination of UV-protective textiles [J]. Printing and Dyeing, 2009(3):40-43 (in Chinese).
- [7] LIU H F. An experimental analysis of cosmetics for the property to defend the ultraviolet ray [J]. College Physics, 2007, 26(9):40-42 (in Chinese).
- [8] DENG H, LI X M, XIAO Ch F. TiO_2 nanocrystalline prepared at low temperature and its anti-ultraviolet performance [J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2009, 35(1):69-73 (in Chinese).