

文章编号:1007-2985(2013)05-0053-03

缺陷对一维线性函数光子晶体传输特性的影响*

李宏¹,张斯淇¹,吴向尧¹,刘晓静¹,巴诺¹,王婧¹,郭义庆²

(1. 吉林师范大学物理学院,吉林四平 136000;2. 中国科学院高能物理研究所,北京 100049)

摘要:采用传输矩阵法计算光在掺杂缺陷的线性函数光子晶体中的传输特性,与不包含缺陷的结构进行比较. 研究结果表明,在禁带中形成缺陷模,其强度不仅与缺陷层位置有关,而且与缺陷层折射率的变化有关,并随着缺陷层位置的移动而变弱;缺陷层位置和缺陷折射率影响着场强分布.

关键词:线性函数光子晶体;传输矩阵;缺陷模;透射率;电场分布

中图分类号:O436

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.1007-2985.2013.05.013

1987年 Yablonovitch E^[1] 和 John S^[2] 提出光子晶体的概念,该晶体具有很多特性,迅速地成为了光学前沿领域中重要的研究课题^[3-4]. 一维光子晶体中掺杂缺陷后,其能带中会出现缺陷模,而缺陷模对制作激光器、宽带反射镜、滤波器等有重要的应用^[5-8],所以从各个侧面对缺陷模的结构特征进行研究是有必要的. 笔者讨论了一维新型线性函数光子晶体掺杂后能带结构中的光学传输特性. 在文献[9]中,笔者提出了特殊函数光子晶体的概念,在文献[10]中,提出线性函数光子晶体的概念,对其不同周期数和光学厚度对电场分布的影响进行研究. 本文在此基础上,研究线性折射率函数的一维掺杂光子晶体,分析缺陷折射率和缺陷层位置对透射率及电场强度的影响,得到一些不同于常规光子晶体和特殊函数光子晶体的新结论.

1 一维线性函数光子晶体透射率及电场

由费马原理计算出光在一维线性函数光子晶体中的运动方程,文中直接给出计算结果,详细推导过程见文献[10]. 对一维线性函数光子晶体,光在介质 A, B 中的传输矩阵分别为

$$\begin{aligned}
M_A &= \begin{pmatrix} \cos \delta_a & -\frac{i \sin \delta_a}{\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_a(a) \cos \theta_i^{II}} \\ -i n_a(0) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \cos \theta_i^{II} \sin \delta_a & \frac{n_a(0) \cos \theta_i^{II} \cos \delta_a}{n_a(a) \cos \theta_i^{II}} \end{pmatrix}, \\
M_B &= \begin{pmatrix} \cos \delta_b & -\frac{i \sin \delta_b}{\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_b(b) \cos \theta_i^I} \\ -i n_b(0) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \cos \theta_i^I \sin \delta_b & \frac{n_b(0) \cos \theta_i^I \cos \delta_b}{n_b(b) \cos \theta_i^I} \end{pmatrix},
\end{aligned}$$

* 收稿日期:2013-06-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(11247201)

作者简介:李宏(1989-),男,吉林公主岭人,吉林师范大学物理学院硕士生,主要从事凝聚态理论物理学研究

通讯作者:吴向尧(1965-),男,安徽安庆人,吉林师范大学物理学院教授,博士,主要从事凝聚态理论物理学研究;E-mail:wuxy2066@163.com.

透射系数为

$$t = \frac{E_{tN+1}}{E_{i1}} = \frac{2\eta_0}{A\eta_0 + B\eta_0\eta_{N+1} + C + D\eta_{N+1}},$$

透射率为

$$T = t \cdot t^*,$$

电场分布公式为

$$\left| \frac{E(x)}{E_{oi}} \right|^2 = |t|^2 \left| A'(x) + B'(x) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \right|^2.$$

2 数值分析

对于折射率为空间坐标线性函数的光子晶体,其折射率分布函数为^[9]

$$n_b(z) = n_b(0) + \frac{n_b(b) - n_b(0)}{b}z \quad 0 \leq z \leq b,$$

$$n_a(z) = n_a(0) + \frac{n_a(a) - n_a(0)}{a}z \quad 0 \leq z \leq a,$$

其折射率随位置分布曲线如图 1 所示.

主要参数为: $n_b(0) = 1.47, n_b(b) = 1.98, n_a(0) = 2.58, n_a(a) = 2.86$, 即取图 1 所示的折射率线性分布函数; 入射角 $\theta_i^0 = 0$, 中心频率 $\omega_0 = 1.215 \times 10^{15}$ Hz, $\lambda_0 = \frac{2\pi c}{\omega_0}$; 介质层 B, A 的厚度分别为 $b = 263.6$ nm, $a = 150.2$ nm.

本文分别取函数光子晶体的结构为 $(BA)^8D(BA)^8$ 、 $(BA)^{10}D(BA)^6$ 与 $(BA)^{12}D(BA)^4$, 如图 2 所示, 其中 D 为缺陷层, 其折射率 $n_d = 2.3$, 厚度 $d = \frac{\lambda_0}{4n_d}$. 不难发现: 随着缺陷层位置的移动, 缺陷模变弱.

图 3 为一维函数光子晶体不同缺陷层折射率 n_d 的透射率曲线, 当函数光子晶体结构为 $(BA)^8D(BA)^8$ 时, 缺陷层折射率 n_d 分别取 1.5, 2.3 和 3, 对应于图 3a)、3b) 和 3c) (其他参数同上). 不难发现: 随着缺陷层折射率 n_d 增大, 缺陷模强度变弱并发生蓝移.

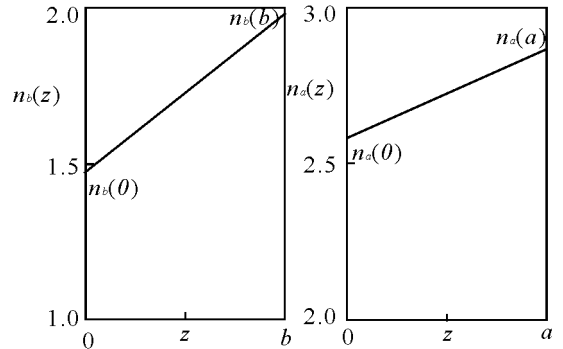


图 1 折射率随位置变化的曲线

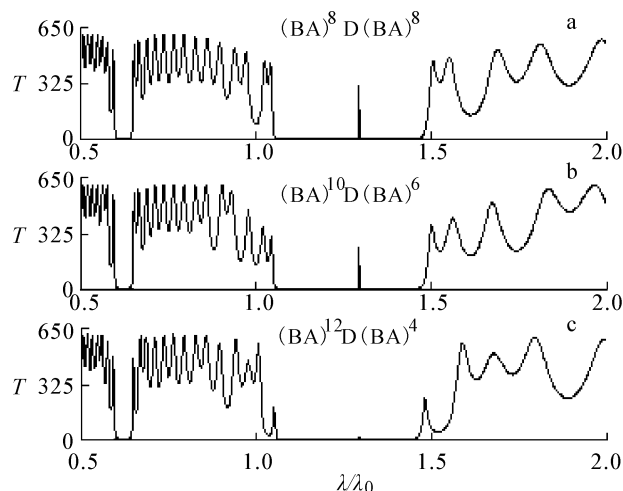


图 2 缺陷层位于不同位置的透射率曲线

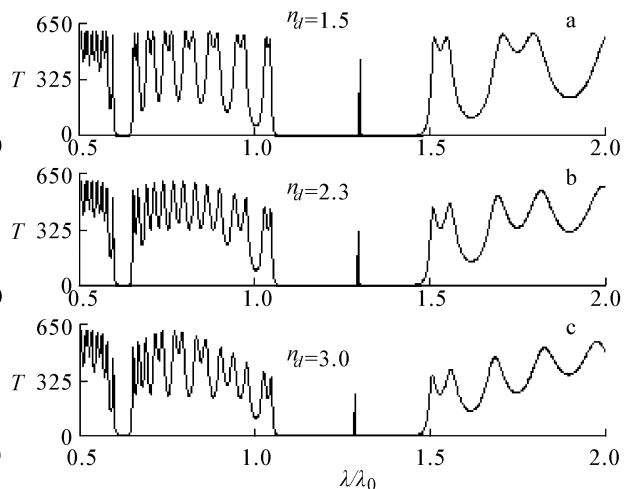


图 3 不同缺陷层折射率 n_d 的透射率曲线

图 4 为电场强度在一维线性函数光子晶体中的分布曲线(参数同上),得到了线性函数光子晶体无缺陷层、有缺陷层(图 4 中曲线加粗位置即为缺陷层)及改变缺陷层位置时的电场强度分布曲线,如图 4a)至 4c)所示.图 4a),4b),4c) 分别对应函数光子晶体结构为 $(BA)^{16}$, $(BA)^8 D(BA)^8$, $(BA)^{12} D(BA)^4$. 不难发现,当函数光子晶体中掺杂缺陷层时,电场分布强度减弱;当改变缺陷层位置时,电场分布强度明显增强.

图 5 为不同缺陷层折射率 n_d 对线性函数光子晶体场强分布,函数光子晶体的结构为 $(BA)^8 D(BA)^8$,图 5a)至 5c) 的缺陷层折射率分别为 1.5,2.3,3. 不难发现,随着缺陷层折射率 n_d 的增加,场强分布程度明显增强.

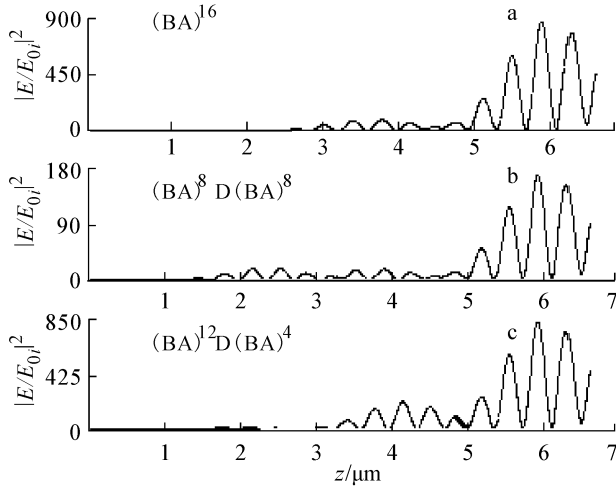


图 4 线性函数光子晶体的场强分布曲线

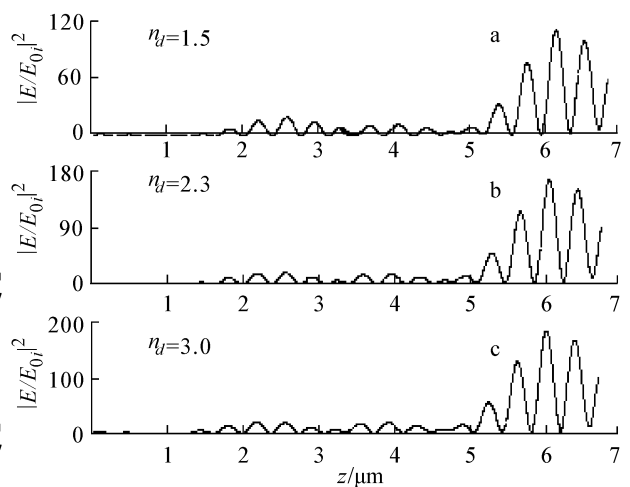


图 5 线性函数光子晶体不同缺陷层折射率 n_d 的场强分布

4 结论

- (1) 随着缺陷层位置的移动,缺陷模变弱;
- (2) 随着缺陷层折射率 n_d 增大,缺陷模强度变弱并发生蓝移;
- (3) 当线性函数光子晶体中掺杂缺陷层时,电场分布强度减弱,改变缺陷层位置时,电场分布强度明显增强;
- (4) 随着缺陷层折射率 n_d 的增加,场强分布增强. 因此,一般函数光子晶体将具有更广阔的应用前景.

参考文献:

- [1] YABLONOVITCH E. Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics [J]. Phys. Rev. Lett., 1987,58(20):2 059 - 2 061.
- [2] JOHN S. Strong Localization Photons in Certain Disordered Dielectricsuper-Lattices [J]. Phys. Rev. Lett., 1987,58(23):2 86 - 2 489.
- [3] JAVIER P., Inés DE V., ALEX W. C., et al. Quantum Dynamics in Photonic Crystals [J]. Phys. Rev. A, 2013, 87: 013 428.
- [4] HIROO AZUMA. Quantum Computation with Kerr-Nonlinear Photonic Crystals [J]. J. Phys. D:Appl. Phys., 2008, 41:025 102.
- [5] YAKOYAMA H, NISHI K, ANAN T, et. al. Controlling Spontaneous Emission and Threshold-Less Oscillation with Optical Microcavities [J]. Optical and Quantum Electronics, 1992, 24(2): 245 - 275.
- [6] FINK Y, WINN J N, FAN S, et. al. A Dielectric Omnidirectional Reflector [J]. Science, 1998, 282(5 394), 1 679 - 1 682.
- [7] 朱志宏,叶卫民,季家熔,等. 光子晶体滤波特性分析 [J]. 光子学报, 2004, 33(6): 700 - 703.
- [8] DOLGOVA T V, MAIDYKOVSKI A L, MARTEMYANOV M G, et. al. Giant Microcavity Enhancement of Second Harmonic Generation in All-Silicon Photonic Crystals [J]. Appl. Phys. Lett., 2002, 81(15): 2 725 - 2 727.
- [9] 王光怀,王清才,吴向尧,等. 一维函数光子晶体的研究 [J]. 物理学报, 2012, 61(13): 1 342 081 - 13 420 811.
- [10] 张斯淇,巴 诺,吴向尧,等. 新型一维线性函数光子晶体电场分布 [J]. 吉首大学学报:自然科学版, 2013, 34(2): 50 - 55.

- [4] 帅智康,罗安,刘定国,等. 静止无功补偿器与有源电力滤波器联合运行系统 [J]. 中国电机工程学报,2009,29(3):56-64.
- [5] 涂春鸣,帅智康,李 慧,等. 谐振阻抗型混合有源滤波器的原理及其补偿特性 [J]. 中国电机工程学报,2008,28(25):146-152.
- [6] 陈小青,刘觉民,黄英伟,等. 采用改进人工鱼群优化粗糙集算法的变压器故障诊断 [J]. 高电压技术,2012,38(6):1403-1409.

Analysis of Power Quality Control in Distribution Network

ZHANG Li-sheng, SHI Jia, GUO Chao, SHI Da-fa

(Hunan Mechanical and Electrical Polytechnic, Changsha 410151, China)

Abstract: This paper proposes a kind of voltage regulation, reactive power compensation and harmonic suppression distribution network power quality control devices. The causes of system harmonic amplification and suppression strategies are analyzed, integrated control model is established for wattless voltage harmonic and optimization control algorithm. The simulation results verify the validity and rationality of the control strategy.

Key words: voltage reactive-power control; power quality; resonant impedance type hybrid active filter; harmonic suppression

(责任编辑 陈炳权)

(上接第 55 页)

Transmission Properties of One-Dimensional Linear Function Photonic Crystal with Defect

LI Hong¹, ZHANG Si-qi¹, WU Xiang-yao¹, LIU Xiao-jing¹, BA Nuo¹, WANG Jing¹, GUO Yi-qing²

(1. Institute of Physics, Jilin Normal University, Siping 136000, Jilin China; 2. Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The light propagation characteristic in one-dimensional function photonic crystal with defect is studied by transfer matrix, compared with the function photonic crystal without defect layer. There is defect mode in the band gap. The defect mode is greatly related with the position and refractive index of defect layer. With the changing position of the defect layer, the defect mode is weak. The position and refractive index of defect also have the effect on the distribution of electric field.

Key words: linear function photon crystals; transfer matrix; defect mode; transmissivity; electronic field distribution

(责任编辑 陈炳权)