

用 FDTD 分析光晶带隙结构散射特性

付云起,袁乃昌

(国防科技大学电子科学与工程学院,湖南长沙 410073)

摘要: 本文对由介质构成的光晶带隙结构进行分析,采用 FDTD 方法进行数值仿真,计算了一维、二维全介质光晶带隙结构,对不同入射角的情况进行了研究,给出了反射系数曲线。

关键词: 光晶带隙结构;反射系数;FDTD

中图分类号: TN011 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 12-1729-02

Scattering Analysis of PB G Structures Using FDTD Method

FU Yun-qi, YUAN Nai-chang

(Institute of Electronic Science and Engineering, NUDT ChangSha, Hunan, 410073, China)

Abstract: Photonic bandgap structures constructed with dielectric materials have been studied in this paper. FDTD method is adopted to excute the numerical simulation. The scattering characteristics of one and two dimension all dielectric PB G structures have been computed, including different incident angles. The reflection coefficients have been given.

Key words: photonic bandgap structures; reflection coefficients; FDTD

1 引言

近年来,光晶带隙(PBG)^[1]结构引起了人们广泛的兴趣,并且应用到了很多领域,尤其在微波、毫米波中,PBG结构已用来改善天线性能^[2],增加功率放大器的效率和输出功率^[3],宽带吸收器以及频率选择表面^[4]等。PBG结构是具有带阻特性的周期性结构,可以采用金属、介质、铁磁或铁电物质植入基质材料,或者直接由各种材料周期性排列而成。目前国内外所提出的 PBG 结构多种多样,比如在介质基板穿孔^[3],在介质基板中填充其他材料或金属,在微带电路表面环绕冗余部分形成 PBG 结构^[5],后一类型更适合于集成化的需要。另外还有一类也很重要,是由介质以不同形式的几何形状作为周期单元,比如矩形条,圆柱等等,这种介质栅格结构有着很广泛的应用,可构成频率选择表面,可作为电路或天线的覆盖层;在雷达天线头作为频率选择天线罩;作为微带天线的衬底层可以提高天线的增益;作为宽带滤波器或者功率放大器的衬底材料;还可以隔离电路中不同元件,降低耦合,等等。本文主要采用 FDTD 算法对这种基于介质的 PBG 结构进行数值分析,研究了一维和二维全介质 PBG 栅格对不同角度入射波的散射特性,给出了反射系数的频率响应结果。

2 光晶带隙结构模型

PBG 结构可以在一维、二维甚至三维上具有周期性,一般地 PBG 结构的几何特征可以用单元本身和单元的排列来描述。图 1 是一个由矩形介质条排列成的二维 PBG 结构,入射波如图中所标示。网格在两个周期方向上的间距分别是 a 和 b 。采用现在比较流行的 FDTD 法进行数值计算, FDTD 具有宽带

计算的优势,由脉冲源激励,一次计算便可以得到整个感兴趣频带内的结果。在计算中采用 PML 吸收边界条件,可以很好的模拟无限大空间的散射,将 PBG 结构包围在计算空间内,入射波利用文献[6]中提出的透明源技术,可以模拟平面波的入射特征,在实现 PML 吸收边界时,我们采用整体场分裂的方法,即在非 PML 区域内也将场分量分裂,这样在编程时可以很方便的处理 PML 区和内部计算区的结合,但是要以降低计算效率为代价。在经过计算得到散射场的的数据后,利用付立叶变换把时域场变换到频域场,从而可以得到所计算 PBG 结构的频率特征。

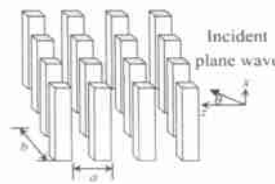


图 1 PBG 结构示意图

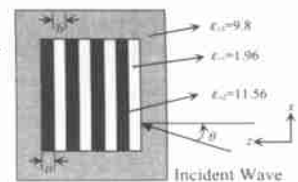


图 2 1-D 多层 PBG 结构
($a = b = 0.15$ 毫米)

3 数值计算结果

首先考虑一维多层结构,如图 2。这是典型的 Bragg 结构,文[7]中已报道获得了全向的反射带宽。对这种结构进行计算,对我们算法的准确性和 PBG 结构特性进行验证。材料 1 和材料 2 形成层叠结构,作为 PBG 结构的一个单元,材料 3 作为基质材料,其中 a 、 b 分别是两种材料层的厚度,沿 z 向排列成周期结构,入射波如图中所示,与法向成 θ 角度, x 方向极

收稿日期:2000-11-03;修回日期:2001-03-21

基金项目:国家安全重大基础研究项目(No. 51307)

化. 所确定的数据参照文[7], 这时取 $a = b = 1.5$ 毫米, 介质参数在图中给出. 定义此 PBG 结构的电场反射系数为 $r = E_x^r / E_x^i$, 电场在网格某一点上依照时间步的运行可以得到一个时间序列, 然后进行付立叶变换.

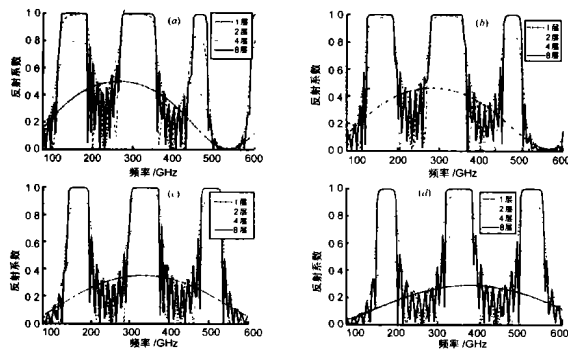


图3 1-D 的 PBG 结构反射特性. (a) 入射角 = 0°; (b) 入射角 = 30°; (c) 入射角 = 60°; (d) 入射角 = 90°

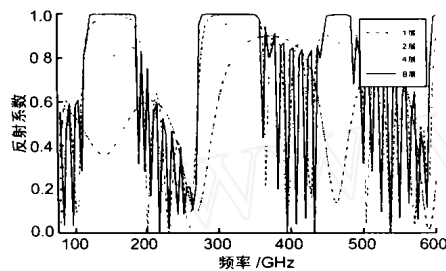


图4 基质为空气时的情况

在图3中给出了上面一维 PBG 结构对不同角度入射波的频率反射曲线, 四条曲线分别代表 1 层、2 层、4 层、8 层单元的情况. 可以看到, 在某些个频带范围内, 电磁波是不能穿透的, 也就是说 PBG 结构具有很好的带阻特性, 而且这种 PBG 结构对于角度是不敏感的, 对需要对空间各个方向来的电磁波进行频率过滤的情况, 这种结构是很好的选择.

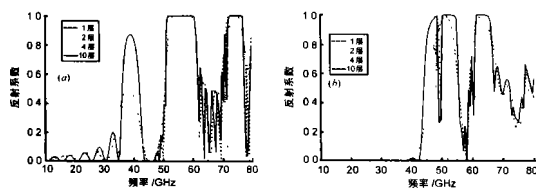


图5 基质为空气的情况. (a) 入射角 = 0°; (b) 入射角 = 45°

对于基质材料选为空气的情况, 同样可以得到类似的曲线(如图4). 在周期单元数目足够多时可以得到和介质基质一致的效果. 在周期单元数目较少时, 空气作为基质材料的 PBG 结构的效果与较高介电常数的材料作为基质材料相比较, 其频率反射特性显得比较凌乱, 这与周期单元和基质材料之间所发生的复杂的相互作用有关系.

另外计算了二维排列的介质矩形条结构, 参考图1. 介质条选取正方形截面, 边长 0.15 毫米, 周期单元间距 $a = b = 0.3$ 毫米, 材料的介电常数是 11.56, 基质材料分为空气和介电常数为 2.2 两种情况. 入射波采用 TE_x 模式, 反射系数的提取和前面一样.

从图5和图6可以看出, 这中 PBG 结构的阻带在直入射时是很明显的, 可以达到很好的效果, 但是在 45° 斜入的情况, 其阻带变得很难分辨, 另外对于基质材料不同的情况可以看到, 空气作为基质时阻带的中心频率要高, 而且相对而言其阻带特征更为明显, 尤其对于斜入射的情况, 介质基质的反射曲线非常混乱, 已经看不出带阻特征了.

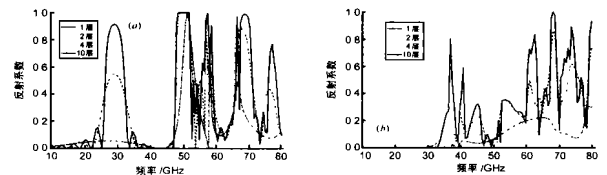


图6 基质材料 $\epsilon_r = 2.2$ 的情况. (a) 入射角 = 0°; (b) 入射角 = 45°

4 结论

PBG 结构具有带阻特性, 本文对由介质构成的 PBG 结构进行了数值分析, 得到了其反射系数的频率曲线, 并且研究不同角度入射波反射特性的差别. 全介质的 PBG 结构可以作为天线罩材料, 也可以作为天线的衬底材料, 实现频率选择作用, 有效的改善天线的性能, 本文的数值研究可以为这方面提供参考.

参考文献:

- [1] E Yablonovitch. Photonic band-gap structures [J]. J. Opt. Soc. Amer. 1993, 10(2):283.
- [2] T J Ellis, G M Rebeiz. MM-wave tapered slot antennas on micromachined photonic bandgap dielectrics [J]. IEEE MTT-S, Int. Microwave Symp. Dig. 1996:1157 - 1160.
- [3] V Radisic, Y Qian, T Itoh. Broadband power amplifier using dielectric photonic band gap structure [J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett. 1998, 8(1):13 - 14.
- [4] M P Kesler, J G Maloney, B L Shirley. Antenna design with the use of photonic bandgap materials as all dielectric planar reflectors [J]. Microwave Opt. Tech. Lett. 1996, 11(3):169 - 174.
- [5] Y Qian, R Coccioli, D Sevenpiper, V Radisic, E Yablonovitch, T Itoh. A microstrip patch antenna using novel photonic band-gap structures [J]. Microwave J. Nov. 1999, 42(1):66 - 67.
- [6] John B Schneider, Christopher L Wagner, Omar M Ramahi. Implementation of transparent sources in FDTD simulation [J]. IEEE-AP, 1998, 46(8):1159 - 1167.
- [7] Winn JN, Fink Y, Fan SH, Joannopoulos JD. Omnidirectional reflection from a one dimensional photonic crystal [J]. OPILETT, 1998, 23(20):1573 - 1575.

作者简介:



付起云 男. 1975 年 12 月生于天津市. 国防科技大学电磁场与微波技术专业博士生, 目前主要进行相控阵天线、宽带天线、电磁散射等方向的研究.