

双屏频率选择表面结构的遗传算法优化*

汪剑波[†] 卢俊

(长春理工大学理学院, 长春 130022)

(2010年12月3日收到; 2011年1月5日收到修改稿)

双屏频率选择表面能够更好地实现平顶效应和快速下降的边缘, 是一种实现雷达舱对探测带外雷达波隐身的有效手段. 本文针对双屏频率选择表面(FSS)在电磁波不同角度入射下的宽带通应用, 采用遗传算法对FSS介质厚度、介电常数、单元图形、排列周期进行了整体优化, 给出优化后的FSS结构和传输特性曲线; 同时采用镀膜和光刻技术制备出相应的实验件, 在微波暗室进行了测试. 结果表明, 优化后的结构在保证2 GHz的工作带宽下, 对电磁波的入射角度有良好的传输稳定性, 这为实现双屏FSS在曲面大角度下的应用奠定了基础.

关键词: 频率选择表面, 遗传算法, 优化

PACS: 73.61.-r, 73.90.+f

1. 引言

对频率选择表面(frequency selective surfaces, FSS)的研究虽始于上世纪60年代末70年代初期^[1], 但对这种周期性电磁带隙结构的研究有增无减^[2-4]. 相比较而言, 双屏FSS结构通过介质几何和物理参数来调整屏间电磁场衰减模的近距离耦合, 从而改变频率响应特性, 使其具有平顶、边频下降快的特点, 更好地实现滤波效果. 因此, 对于很多应用而言, 双屏FSS较为理想^[5,6]. 但是双屏FSS也存在着一些缺点. 对于TE波入射时, 由于双屏之间的耦合, 谐振区域会有个凹陷的区域, 这是双屏FSS应用时的一个弊端.

由于FSS传输特性是入射电磁波极化方式和入射角度、单元几何形状及排列方式、介质衬底电参数等的函数, 任何因素的变化都将对其传输特性带来影响. 这种多参数的优选给设计带来很大困难, 这也正是FSS难以实现在曲面上应用的原因. 在以往的研究中, 无论是理论还是实验研究, 考虑单一因素对FSS特性影响的较多, 比如介质衬底对FSS特性的影响, 单元排列周期对双屏FSS特性的影响等等^[7,8], 而对影响双屏FSS结构传输特性因素的整体优化设计研究未见报道.

本文从优化设计的角度出发, 利用遗传算法(genetic algorithm, GA)对入射电磁波大角度入射下双屏FSS的结构进行优化研究, 包括单元形式、介质的厚度等, 给出一种工作带宽2 GHz、对入射角稳定的双屏FSS结构; 并采用镀膜和光刻技术制备出相应的实验件, 测得其传输特性曲线, 为双屏FSS在曲面上的应用奠定了基础.

2. 遗传算法

GA以生物进化过程为背景, 模拟生物进化的步骤, 将繁殖、杂交、变异、竞争和选择等概念引入到算法中, 通过维持一组可行解及对可行解的重新组合, 改进其在多维空间内的移动轨迹或趋向, 最终走向最优解. 它克服了传统优化方法容易陷入局部极值的缺点, 是一种全局优化算法. GA原理是把问题的解表示成“染色体”, 在算法中也即是以二进制编码的串. 并且, 在执行遗传算法之前, 给出一群“染色体”, 也即是假设解. 然后, 把这些假设解置于问题的“环境”中, 并按适者生存的原则, 从中选择出较适应环境的“染色体”进行复制, 再通过交叉、变异过程产生更适应环境的新一代“染色体”群. 这样, 逐代地进化, 最后收敛到最适应环境的一个“染色体”上, 它就是问题的最优解. GA基本流程如图1

* 高等学校博士学科点专项科研基金(批准号:20092216120005)资助的课题.

[†] E-mail: wangjianbo@126.com

所示.

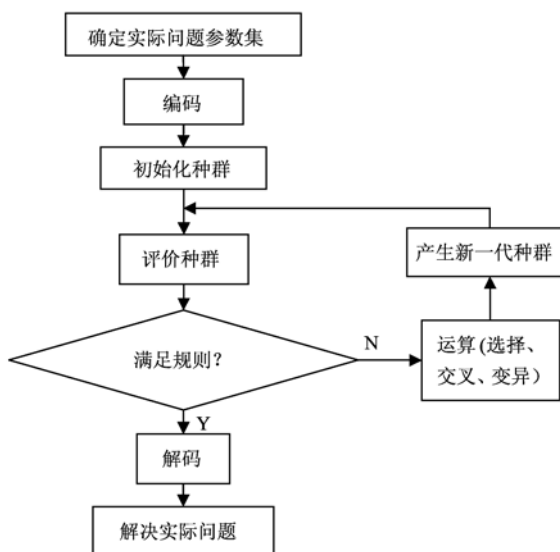


图1 GA 基本流程

3. 优化结果

双屏 FSS 结构设计为介质 1-蜂窝板 1-FSS-蜂窝板 2-FSS-蜂窝板 3-介质 2 多层对称结构(如图 2 所示). 介质 1 和介质 2 的介电常数和厚度相同, 蜂窝板 1、蜂窝板 2 和蜂窝板 3 介电常数和厚度相同. 本文利用 GA 法对构成双屏 FSS 的介质厚度和介电常数、蜂窝板厚度和介电常数、单元形式和排列周期进行了优化. 优化初始群大小定为 20. 介质的厚度初始值为 0.2mm, 变化范围在 0.2—1.0 mm, 介电常数初始值是 4.0, 变化范围是 4.0—4.3, 损耗角正切初始值为 0.02, 变化范围在 0.02—0.05; 蜂窝板的厚度初始值为 3.5 mm, 变化范围在 3.5—4.5 mm, 介电常数初始值是 1.0, 变化范围是 1.0—1.3, 损耗角正切初始值为 0.01, 变化范围在 0.005—0.015; 电磁波入射角度初始值为 0°, 最大值是 60°, 步长是 15°, 以 TE 极化波入射; FSS 结构的工作频率设在 11—13 GHz.

3.1. FSS 结构的优化结果

优化后介质的介电常数是 4.2, 损耗角正切值为 0.023, 厚度为 0.5 mm; 优化后蜂窝板的介电常数是 1.07, 损耗角正切值为 0.008, 厚度为 4.1 mm. 优化初始, 设定单元正方形排列, 只优化周期的尺寸, 周期的变化范围是 6—10 mm. 优化后的周期是 $T_x = T_y = 8.1$ mm, 双屏 FSS 单元严格对准.

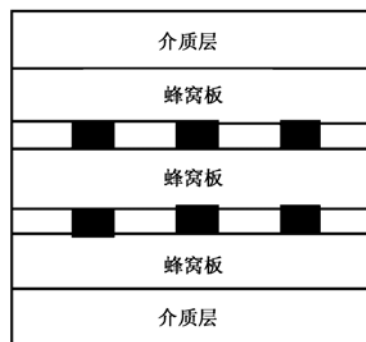


图2 双屏 FSS 结构示意图

3.2. 单元的形式

本文在对单元进行优化时, 没有采用常规的单元图形进行尺寸的优化, 而是利用程序自行产生 GA 图形(如图 3 所示), 其中, 对单元的离散采用 16×16 的形式. 图中黑色部分是金属导体, 白色部分是孔径.

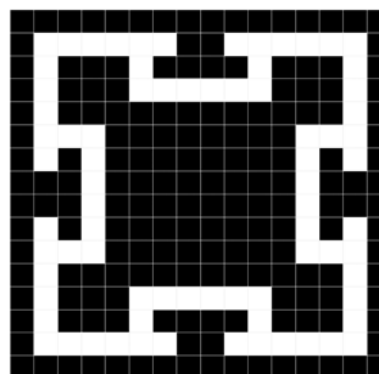


图3 优化的 FSS 单元图形

3.3. 传输特性

由图 3 单元按正方形 ($T_x = T_y = 8.1$ mm) 排列, 以优化后的介质为衬底和覆盖层, 其功率传输系数在电磁波不同入射角下的特性曲线如图 4 所示(横坐标是频率, 纵轴是功率传输系数). 可见, 优化后的 FSS 结构对电磁波入射角度具有很好的稳定性, 在功率衰减为 -1 dB 时, 在 11—13 GHz 的工作频率内, 所优化的结构具有良好的带通性能.

4. 实验结果

采用蒸镀铜膜和光刻技术刻蚀出 FSS 图形, 这样金属屏可直接与衬底介质结合在一起, 这样制备

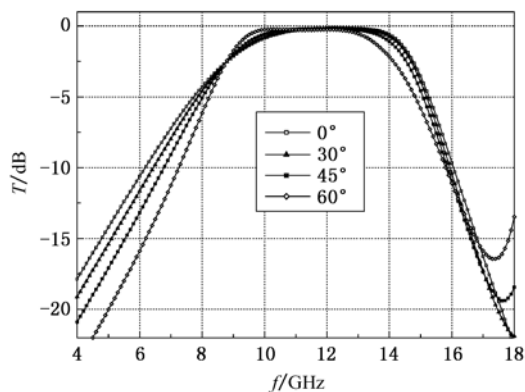


图4 不同入射角度下双屏 FSS 的频率响应特性曲线

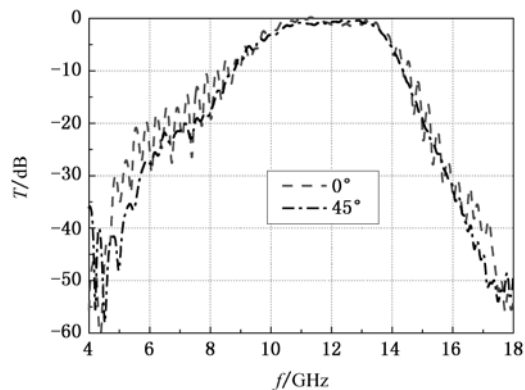


图6 双屏 FSS 实验件的频率响应特性测试曲线

出的实验件与理论模型符合,有利于问题的分析. 所制备的实验件阵列大小是 500 mm × 500 mm(如图 5 所示). 将制备好的实验件在微波暗室进行了近场测试. 图 6 给出入射 TE 波 0°和 45°入射时的测试曲线,从测试曲线可以看出,测试值与 GA 优化值基本一致.

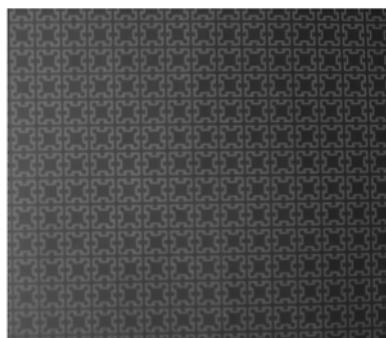


图5 双屏 FSS 实验件

5. 结 论

双屏频率选择表面在电磁传输特性上相对单屏有较大的改善,而由于 FSS 传输特性对 FSS 结构的敏感性,限制了双屏 FSS 在工程上的应用. 尽管人们在这些方面作了很多工作,但还没有从总体优化的角度进行研究. 本文针对 FSS 在宽带大角度下的应用,采用遗传算法对双屏 FSS 的结构参数进行优化,给出了相应结构参数的优化结果和传输特性,并采用镀膜和光刻技术制备出相应的实验件,在微波暗室下进行测试. 优化后的结构的工作频率对电磁波大角度入射保持了稳定性,这为双屏 FSS 在大角度下的应用奠定了基础.

- [1] Munk B A 2000 *Frequency Selective Surface: Theory and Design* (New York: Wiley)
- [2] Lu J, Chen X Y, Wang J B 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 7200 (in Chinese) [卢俊、陈新邑、汪剑波 2008 物理学报 **57** 7200]
- [3] Jun L, Sun G C, Wang J B 2009 *Chin. Phys. B* **18** 1598.
- [4] Jia H Y, Gao J S, Feng X G, Sun L C 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 505 (in Chinese) [贾宏燕、高劲松、冯晓国、孙连春 2009 物理学报 **58** 505]
- [5] Feng X G, Gao J S, Jia H Y 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 1227 (in Chinese) [冯晓国、高劲松、贾宏燕 2009 物理学报 **58** 1227]
- [6] Jia H Y, Gao J S 2007 *Journal of China Academy of Electronics and Information Technology* **2** 593 (in Chinese) [贾宏燕、高劲松 2007 中国电子科学研究院学报 **2** 593]
- [7] Li X Q, Feng X G, Gao J S 2009 *Journal of Microwaves* **25** 16 (in Chinese) [李小秋、冯晓国、高劲松 2009 微波学报 **25** 16]
- [8] Wu Z B, Wu Z, Lü M Y 2004 *Chinese Journal of Radio Science* **19** 663 (in Chinese) [武振波、武哲、吕明云 2004 电波科学学报 **19** 663]

Double screen frequency selective surface structure optimized by genetic algorithm *

Wang Jian-Bo[†] Lu Jun

(School of Science, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

(Received 3 December 2010; revised manuscript received 5 January 2011)

Abstract

Double screen frequency selective surface(FSS) is a very effective means of realizing the invisibility of radar-cabin from the detection of radar wave since it can well realize the flattened effect and rapid decrease. In this paper, the thickness, the dielectric constant, the element graph and the arrangement periodicity of an FSS medium are investigated by Genetic Algorithm(GA) when electromagnetic waves are incident on the double screen FSS at varying angles, and an optimized FSS structure and transmission characteristics are obtained. Meanwhile, the relevant experimental samples are prepared by means of coating and lithography and are tested in microwave anechoic chamber. The results show that the optimized structure has a better stability with respect to incident angle of electromagnetic wave under the condition of 2GHz operation, thereby laying the foundation for the application of double screen FSS to curved surfaces at wide angles.

Keywords: frequency selective surface (FSS), genetic algorithm (GA), optimization

PACS: 73.61.-r, 73.90.+f

* Project supported by the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant No. 20092216120005).

[†] E-mail: wangjianbo@126.com