

双频双极化频率选择表面

高 强 闫敦豹 袁乃昌 付云起
(国防科技大学微波技术发展中心 长沙 410073)

摘 要: 该文对分形的频率选择表面的特性进行了详细地研究。由于分形包含初始形状的很多比例, 谐振也具有分形的比例, 同时加上形状的对称性, 所以双频双极化频率选择表面就得以实现。利用周期矩量法设计了几种频率选择表面, 仿真和实验结果基本相吻合。

关键词: 频率选择表面; 分形; 周期矩量法

中图分类号: TN822

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)02-0506-03

Dualband and Dual-Polarized Frequency Selective Surfaces

Gao Qiang Yan Dun-bao Yuan Nai-chang Fu Yun-qi
(Microwave Center, NUDT, Changsha 410073, China)

Abstract: In this paper, the resonance of fractal Frequency Selective Surfaces(FSS) is studied in particular. Because fractals contain several scales of the starting geometry and each of them resonant at a scaled frequency of the original one, the dualband and dual-polarized FSS can be realized plusing the symmetry of the geometry. Several FSSs have been designed by the periodic Method Of Moments(MOM), and simulation and measurement are basically in agreement.

Key words: Frequency Selective Surface (FSS); Fractals; Periodic Method of Moments(PMM)

1 引言

众所周知, 频率选择表面(Frequency Selective Surface, FSS)具有带通或带阻的滤波特性, 因而在天线罩、反射器天线中获得广泛的应用。它是由谐振单元沿双周期方向排列所形成的周期阵列。根据谐振单元是导电贴片或导电板上的缝, FSS 又可分为谐振反射面型和谐振窗型两种类型。由于 FSS 是周期结构, 因而根据 Floquet 定理, 它附近的场就满足周期性边界条件(periodic boundary condition)。分析的典型方法主要有: 周期矩量法、有限元法及时域有限差分法(FDTD)等。

分形形状在过去的 20 年得到迅速发展, 它不同于欧几里得空间的几何形状, 是使用迭代技术产生的^[1]。分形开始于一个简单的几何形状, 经过多次反复线形变换(复制、比例缩放、平移等)产生一个自相似的形状, 理论上无穷次的迭代才产生真正意义上的分形, 但实际上只需迭代有限次产生准分形就可以满足工程要求。分形形状已经广泛应用于天线和频率选择表面的设计上以获得小型化和多频工作的特性^[2-4]。

2 FSS 的设计要求

首先简要叙述一下频率选择表面的设计环节^[5]。

2.1 单元形状

FSS 按照单元形状分为 4 大类: 极子型, 环型, 盘型, 组合型。而性能比较好的一般为环型的单元, 如图 1 所示。

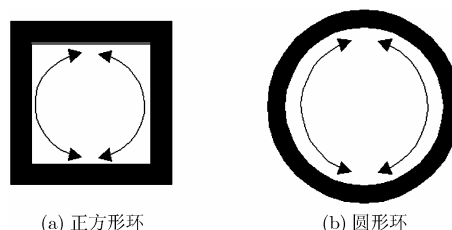


图 1 FSS 的环单元

当环的周长为波长整数倍时, 环单元发生谐振, 重新辐射能量。考虑到使 FSS 结构紧凑和谐振强烈, 环周长约为一个波长。

2.2 介质效果

介质除了支撑作用外, 还可以对 FSS 频率响应有影响。如图 2 所示, 对于含有双面介质的 FSS 来说, 当 d 无穷大时, 原来的谐振频率就变为 $f_0/\sqrt{\epsilon_r}$, 对于有限厚度, 谐振频率 f 就介于 f_0 和 $f_0/\sqrt{\epsilon_r}$ 之间, 当 $d > 0.05\lambda_e$ 时, f 很接近 $f_0/\sqrt{\epsilon_r}$; 对于单面介质, 当 $d > 0.1\lambda_e$ 时, 引入等效介质概念, $\epsilon_{\text{effective}} = (1 + \epsilon_r)/2$, 所以谐振频率 $f = f_0/\sqrt{\epsilon_{\text{effective}}}$ 。

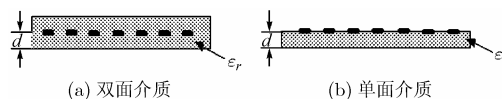
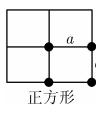
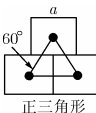


图 2 带有介质的 FSS

2.3 单元周期

由于 FSS 周期阵的特性与一般阵的很相似, 所以单元周期的选择必须适当, 以防止栅瓣的出现。栅瓣是在单元周期比较大时在不希望的方向上出现的电磁能量的传输或散射。一般抑制栅瓣的准则为: 对于垂直入射时, 单元周期应该小于一个波长; 对于斜入射情况, 单元周期应该小于半个波长。表 1 列出几种 FSS 阵的栅瓣准则(a 为周期, λ_0 为自由空间波长, θ_0 为入射角)。

表 1 FSS 的栅瓣准则

格子类型	最大间距	$\theta_0 = 0^\circ$	$\theta_0 = 45^\circ$
 正方形	$\frac{a}{\lambda_0} < \frac{1}{1 + \sin \theta_0}$	$\frac{a}{\lambda_0} < 1$	$\frac{a}{\lambda_0} < 0.59$
 正三角形	$\frac{a}{\lambda_0} < \frac{1.15}{1 + \sin \theta_0}$	$\frac{a}{\lambda_0} < 1.15$	$\frac{a}{\lambda_0} < 0.67$

3 测量技术

图 3 给出 FSS 的测量框图: 一个天线放在抛物面的焦点上, 它发出的波经过抛物面天线反射就变成了平面波; 另一个天线放在 FSS 后面, 用来接收透射能量。两个天线是完全一样的加脊喇叭天线, 可以产生两种极化的波; FSS 嵌套在吸波材料里, 主要用来消除有限大 FSS 引起的边缘效应。

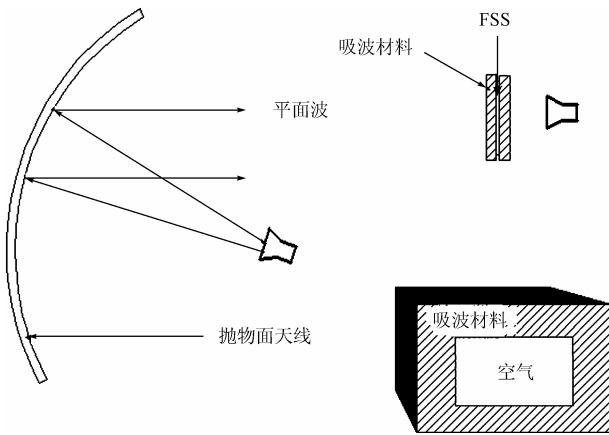


图 3 测量示意图

4 分形的 FSS

4.1 同心圆环单元的 FSS

4.1.1 结构 图 4(a)为同心双圆环单元, 可以看作是由初始环经过缩比构成的分形, 由于每个环的谐振特性, 加上结构对称性, 所以它具有双谐振双极化特性。周期 $P = 16\text{mm}$, 半径分别为: $r_1 = 6.5\text{mm}$, $r_2 = 7\text{mm}$, $r_3 = 6.2\text{mm}$, $r_4 = 5.7\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r = 3.00$, 厚度 $h = 0.5\text{mm}$, 使用单面介质。阵按正方形格子排列, 入射波方向如图 4(c)所示。

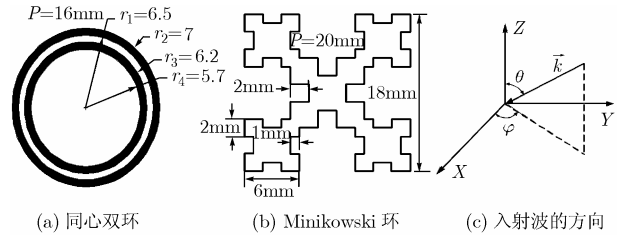


图 4 分形环单元

4.1.2 谐振特性 图 5 给出了双环的谐振特性, 文中均采用周期矩量法计算, 参考文献[6-8]中已对此法详细描述, 文中不再说明。很明显双环具有双谐振特性, 谐振频率 f_1, f_2 分别为 5.34GHz 和 7.68GHz , 外环周长 $c_1 \approx \pi(r_1 + r_2) = 42.4\text{mm}$, 约为 $1.06\lambda_1$, λ_1 为 5.34GHz 时的导波波长; 内环周长 $c_2 \approx \pi(r_3 + r_4) = 37.4\text{mm}$, 约为 $1.35\lambda_2$, λ_2 为 7.68GHz 时的导波波长。因此改变内外环半径就可以实现不同的谐振, 如图 6 所示, 图 6(a)是保持内环半径不变, 而外环半径变大, 于是低谐振点向低频移动, 高谐振点基本不变; 图 6(b)是保持外环半径不变, 而内环半径变小, 高谐振点变大, 低谐振点基本不变。同时还发现环宽度对谐振影响比较小, 如图 5(d)所示, 在内外环半径不变时, 环宽度由 2mm 变到 5mm 时, 谐振基本不变。

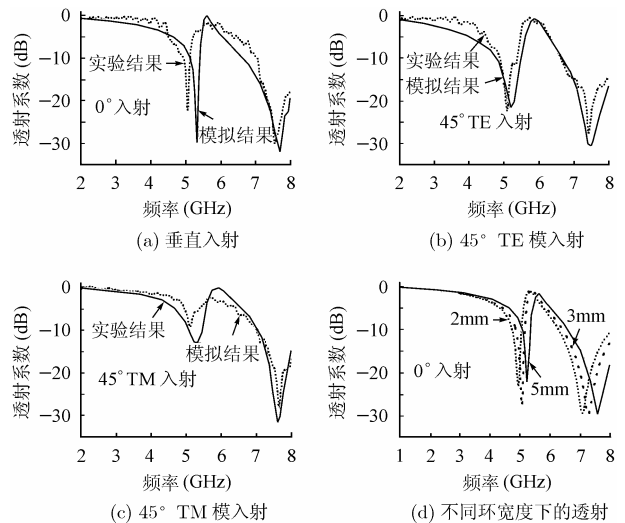


图 5 双环分形的透射

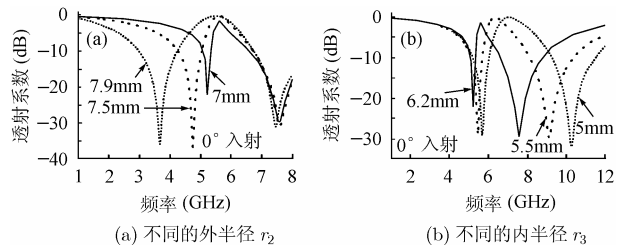


图 6 不同半径的透射(环宽度保持不变)

4.2 Minikowski 环单元的 FSS

4.2.1 结构 图 4(b)给出了 Minikowski 环的结构尺寸, 它是由初始的正方形环经迭代技术产生的, 环宽度为 0.2mm , 周

期 $P = 20\text{mm}$ ，其它参数见图。介电常数 $\epsilon_r = 3.00$ ，厚度 $h = 0.5\text{mm}$ ，使用单面介质。阵按正方形格子排列。

4.2.2 谐振特性 图 7 显示出它的传输特性中存在两个阻带，分别对应分形环的前两次迭代，中心频率分为 2.25GHz 和 6.34GHz ，频率比为 $1:2.8$ ，很接近分形比 $1:3$ 。同时我们还测试了天线加 FSS 的方向性，如图 8 所示。图 8(a)，8(b) 分别为 1.2GHz 和 4.5GHz 时的方向图，从图中可以发现 FSS

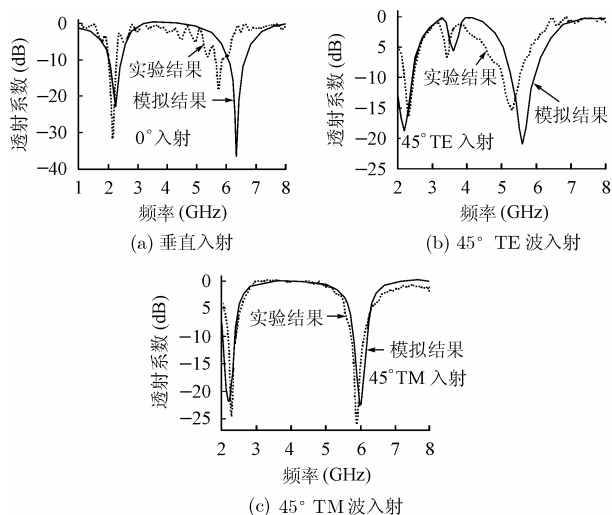


图 7 Minikowski 分形环的透射

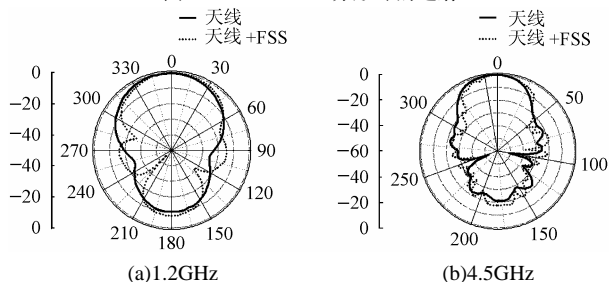


图 8 天线及天线加 Minikowski 环 FSS 的方向图

的引入使得主波束稍变窄，但背瓣变大，主要因为 FSS 的透射特性并不是十分好造成的，造成一部分能量反射。

5 结束语

本文给出了两种分形的 FSS，仿真和实验都证实了它们具有双极化双频段的特性，由此发现分形在 FSS 设计中具有

重要价值，为 FSS 的发展提供了新的发展方向。本文对 FSS 的设计也具有重要的指导意义。

参考文献

- [1] Peitgen H, Jurgens H, Saupe D. *New Frontiers of Science* [M]. New York, Springer-Verlag, 1992, Chapter 1.
- [2] Puente C, Romeu J, Pous R, Garcia X, Benitez F. Fractal multiband antenna based on the Sierpinski gasket [J]. *Electron. Lett.*, 1996, 32(1): 1-2.
- [3] Romeu J, Rahmat-Samii Y. Dual band FSS with fractal elements [J]. *Electron. Lett.*, 1999, 35(9): 702-703.
- [4] Gianvittorio John P, Romeu Jordi, Blanch Sebastian, Yahya Rahmat-Samii. Self-similar prefractal frequency selective surfaces for multiband and dual-polarized applications [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2003, 51(11): 3088-3096.
- [5] Mittra Aj, Chan Chi H, Cwik Tom. Techniques for analyzing frequency selective surfaces—A review [J]. *Proc.IEEE*, 1988, 76(12): 1593-1614.
- [6] Chen Chao-Chun. Transmission through a conducting screen perforated periodically with apertures [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1979, 18(9): 627-632.
- [7] Rubin Barry J, Bertoni Henry L. Reflection from periodically perforated plane using a subsectional current approximation [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1983, 31(6): 829-836.
- [8] Munk Ben A. *Frequency Selective Surface Theory and Design* [M]. chapter 2. (New York, Wiley: 2001).

高 强：男，1979 年生，硕博连读生，研究方向包括光子晶体天线、频率选择表面等。

闫敦豹：男，1976 年生，博士生，研究方向包括光子晶体天线、AMC 结构及应用、宽带紧凑型微带天线等。

袁乃昌：男，1965 年生，教授，博士生导师，中国电子学会高级会员。研究领域为微波毫米波电路、相控阵天线、电磁散射与超宽带技术等。

付云起：男，1975 年生，博士，目前研究方向为超宽带技术、光子晶体、相控阵天线理论。