

一种高温吸波体结构模型设计及其吸波性能仿真试验研究

Constructional Design and Absorbing Performance Simulation Test Research of a High Temperature Absorber

侯永伸
Yong-shen Hou

武警工程大学 中国·陕西 西安 710086
Engineering University of PAP, Xi'an, Shaanxi, 710086, China

摘要: 论文针对传统吸波材料在高温环境下的失效问题,依据超材料设计思想,基于电磁仿真软件优化设计,设计了具有方阻可调的钙钛矿型锰氧化物电阻膜层、阻抗渐变陶瓷介质层和耐高温合金层“三明治”结构的超材料吸波体,获得了结构与功能一体化的耐高温吸波材料。仿真结果表明:对于这种吸波体结构设计而言,电阻膜方阻值对其吸波性能影响作用极大,从总体上看,方阻值的范围在 120-400 Ω /sq 范围内,吸波性能最佳,反射率低于 -8dB 的带宽几乎都可以达到 4GHz(12-16GHz)。

Abstract: Aiming at the failure problem of traditional absorbing materials in high temperature environment, a metamaterial absorber with square resistance adjustable perovskite type manganese oxide resistance film/impedance gradual change ceramic dielectric layer/high temperature alloy layer sandwich structure is designed based on the optimization design of electromagnetic simulation software and the metamaterial design idea, and the structure/function integrated high temperature absorbing material is obtained. The simulation results show that: for this kind of absorber structure design, the square resistance of the resistance film has a great influence on its absorbing performance. On the whole, the square resistance range is 120-400 Ω /Sq and the absorption performance is the best. The bandwidth with reflectivity less than -8dB can almost reach 4GHz (12-16GHz).

关键词: 结构设计;仿真;吸波性能

Keywords: Constructional design; Simulation; Absorbing performance

DOI: 10.36012/etr.v2i5.1976

1 引言

随着电磁及材料学科交叉发展,超材料^[1]开始进入人们的研究视野。通过设计结构,控制电磁波在超材料表面和内部的绕射、折射、反射和干涉,可以达到有效降低电磁波反射回波的效果。超材料作为吸波材料在国内外受到高度重视,有望成为提高高温结构型吸波材料性能的一个新的途径^[2]。

2 设计思路

首先要选定耐高温的电阻膜材料及其制备方法。研究发现,电阻膜方阻值的大小和随温度的变化是影响高温超材料吸波体吸波性能的重要参数,开展方阻选择研究是本立项的特色之一。一方面要求电阻膜材料耐高温、表面方阻(涂层单

位面积电阻值)可调控,具有良好的温阻特性(方阻随温度变化而改变)。目前研究较多的耐高温电阻材料有耐高温合金、非金属化合物系、导电陶瓷等,其中导电陶瓷是集金属电学性质和陶瓷结构特性于一身的高性能功能材料,具有优良的抗氧化、抗腐蚀,耐高温,高机械强度等特点。特别是钙钛矿型稀土锰氧化物导电陶瓷因其特殊的结构,可通过不同种类的元素掺杂,较为有效地改变其导电机理和导电能力,导电率可以在 $10^{-2} \sim 10^3$ S/cm 甚至更大的范围内变化,能够实现方阻可调,随温度改变。另一方面,要求电阻膜材料易制备,且能够方便地在介质板上转化成各种精确的电阻膜图案。

3 仿真建模

基于电磁仿真软件,本文在大量仿真计算的基础上,设

【作者简介】侯永伸(1989~),男,汉,山东鄄城,武警工程大学助教,从事材料科学与工程研究。

设计了一种具有渐变尺寸特点的电阻膜型超材料,其主要由电阻膜层和介质基板,金属背板三层结构构成,如图 1 所示,蓝色部分为电阻膜层,橙色部分为介质基板,绿色部分为金属背板。电阻膜层的图案采用四向对称的形式,将四个间隔较近的等腰直角三角形组合为一个超材料结构单元。之所以采用这种结构,是因为其有两个优点:一是尺寸渐变,尽可能的平衡电阻膜数值在实际制备过程中出现浮动和偏差带来的影响。二是尺寸渐变结构能够在电磁场和电磁波作用到吸波体的表面时,将电磁场的能量尽可能地聚集在结构图案的边缘处,从而促使单元结构内四个小三角形之间产生电磁耦合以及单元结构外相邻单元结构之间的电磁耦合,从而加剧电磁场能量的消耗,在同样的方阻值条件下,尽可能地使吸波体的性能得到提高。

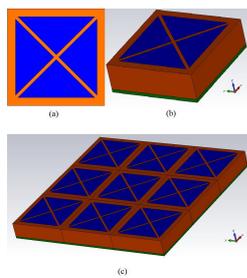


图 1 超材料吸波体的仿真模型

- (a) 超材料吸波体电阻膜图案的正视图
- (b) 单个超材料吸波体模型的单元结构
- (c) 超材料吸波体模型的 3×3 阵列排布

具体参数设定为: p 为单元周期, a 为三角形的底边边长, b 为相邻三角形的间隙, h_1 为电阻膜的厚度,为了使仿真结果贴近于实际,电阻膜的厚度通常设为 0, h_2 为氧化铝介质层的厚度, h_3 为金属基板层的厚度, R_s 为电阻膜的方阻值, ϵ_r 为介质基板的介电常数。

根据吸波体的吸收率 A 与透射率 T 和反射率 R 的关系,

$$A=1-R-T \quad (3-1)$$

即:

$$A=1-S_{11}^2-S_{21}^2 \quad (3-2)$$

而采用金属背板后,透射率为零,即 S_{21} 为零,所以有:

$$A=1-S_{11}^2 \quad (3-3)$$

因此可以通过 S_{11} 曲线中反射率的大小来计算吸波体的吸收率,分析其吸波性能。为了方便,根据前期仿真结果,将方阻值 R_s 设为变量,其余参数的设为固定值,如表 1 所。

表 1 超材料吸波体模型的参数设定

参数名称	p	a	b	h_1	h_2	h_3	ϵ_r
设定值	6mm	5mm	0.2mm	0mm	1.6mm	0.1mm	9.7mm

将方阻值的仿真范围设为 $1-4000\Omega/\text{sq}$,每隔 $10\Omega/\text{sq}$ 选取一个数值,对超材料吸波体的反射率进行仿真计算,画出反射率曲线并选出其中变化趋势比较明显的节点性曲线进行集中比较。

4 结论

论文设计的由电阻膜层和介质基板,金属背板三层结构构成的电阻膜型超材料吸波体可以在低频段 8.5GHz 附近和高频段 17GHz 附件实现电磁波的吸收,存在两个吸收峰值,当改变电阻膜方阻值时,反射率仿真曲线表明,对于这种吸波体结构设计而言,电阻膜方阻值对其吸波性能影响作用极大,当方阻值在 $8\Omega/\text{sq}$ 以上以及继续增大变为 $100\Omega/\text{sq}$ 的过程中,反射率曲线的吸收峰在高频段的吸收峰消失,而在低频处的吸收峰有增强的趋势,而在当方阻值在 $100\Omega/\text{sq}$ 以上继续增大到 $1000\Omega/\text{sq}$ 时,反射率曲线的吸收峰继续向高频移动,从 12.3GHz 附近一直移动到 15GHz 附近。当从总体上看,方阻值的范围在 $120-400\Omega/\text{sq}$ 范围内,吸波性能最佳,反射率低于 -8dB 的带宽几乎都可以达到 4GHz ($12-16\text{GHz}$)。

参考文献

- [1] 孙良奎,程海峰,周永江,王军,庞永强.一种基于超材料的吸波材料的设计与制备[J].物理学报,2011,10:750-754.
- [2] 王莹,程用志,聂彦,龚荣洲.基于集总元件的低频宽带超材料吸波体设计与实验研究[J].物理学报,2013,62(7):74101.
- [3] 周旺. SiC 耐高温结构吸波材料力学性能研究[D].国防科学技术大学硕士学位论文,2012.