

陶瓷基多层复合频率选择表面材料的研究

魏美玲 王守兴 王再义 康立敏

(山东工业陶瓷研究设计院有限公司, 淄博 255031)

文 摘 以多孔氮化物陶瓷材料为频率选择表面(FSS)多层复合透波材料的介质支撑体,以耐高温的导电金属铂采用丝网印刷工艺制备FSS,通过多层FSS的复合制备了宽频透波材料,对其微观结构和透波性能进行了测试分析。结果表明:多层FSS层间结构重叠性好,周期一致;FSS材料组成稳定,形成具有良好导电性能的致密结构层;多层陶瓷/金属FSS在9.5~18 GHz具有95%以上的透过率。

关键词 陶瓷基,频率选择表面(FSS),多层复合,透波材料

中图分类号:TJ765.5;TN974

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.05.004

Investigation of Multilayer Ceramic/Metal Frequency Selective Surface(FSS) Material

WEI Meiling WANG Shouxing WANG Zaiyi KANG limin

(Shandong Research & Design Institute of Industrial Ceramics, Co., Ltd, Zibo 255000)

Abstract In this work, the broadband wave-transparent materials were prepared via the composite of multilayer frequency selection surface(FSS). Meanwhile, the FSS was made with conductive metal material platinum through screen printing process, and porous nitride ceramic materials were used for medium support of FSS. Detailed analyses are made for microstructure and properties of the wave-transparent materials. As a result of the study, multilayer FSS struture shows excellent overlapping and consistent cycle; the FSS compostion is stable and acquires a dense structure layer with well conductive properties; also the multilayer ceramic and metallic FSS has transmittance of 95% at 9.5 to 18 GHz frequency.

Key words Ceramic matrix, Frequency selection surface(FSS), Multilayer, Microwave-transmitting materials

0 引言

迄今为止天线罩只有介质天线罩和金属(开窗)天线罩2种,介质天线罩的透明来自半波厚度的增透干涉效应,金属天线罩的透明来自于自由空间传播模式到波导模式的理想匹配。由于种种原因,上述两种天线罩均不能很好的实现良好的全向高透、宽频带、频率选择等特殊要求。根据理论计算,在不同介电常数的陶瓷介质表面被覆金属层,通过对金属层的表面结构(人工谐振微结构)的设计与加工,可实现对电磁波宽频带(或多个频点)、大角度范围内的高透过率,或对带外电磁波全反射,带内高透带外抑制,即实现电磁波的频率选择。国内外各科研机构已基本完成平面金属谐振结构等效介质理论研究、FSS结构设计以及采用覆铜板、柔性膜等贴附工艺进行原理样件

的制备及性能验证等工作,目前工艺制备的FSS透波材料耐温性能低,为提高其耐温性能,本文采用耐高温金属铂FSS组成,通过直接印刷工艺制备FSS结构。

1 实验

1.1 FSS结构设计

FSS结构形状、尺寸是决定FSS传输特性的首要因素,传统FSS的形状有锚形、耶路撒冷十字形、方形螺旋等中心连接型,四腿加载、三腿加载形、圆形、六边形等空心结构型,圆形、方形、六边形等实心结构型及其组合结构型^[1-2]。本文设计的FSS多层复合结构为三层金属屏夹两层陶瓷基体,FSS结构为实心方形和网格线结构,通过多层结构的组合达到展宽频带、提高透过率的目的。本文设计的谐振结构如图1

收稿日期:2015-08-03

作者简介:魏美玲,1965年出生,教授级高工,主要从事涂层及隐身材料的研究工作。E-mail:weiml189@sohu.com

所示。

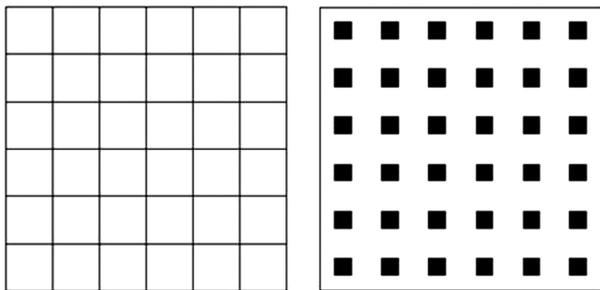


图1 宽频带 FSS 谐振结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of broadband FSS resonant structure

1.2 制备工艺

以介电常数为 3.2 的多孔氮化硅陶瓷材料为透波材料基体,采用铂浆,通过丝网印刷工艺在陶瓷基体表面制备了耐高温谐振结构,将印有谐振结构的基体在 1 300℃、氮气保护气氛下热处理,制备具有 FSS 的单层材料,将具有 FSS 谐振结构单层材料通过无机黏结剂复合为多层复合 FSS 透波材料。

1.3 性能测试

采用日立 TU-51DR 数字化多用途 X 射线系统对制备的样件进行多层谐振结构对称性透射分析。采用荷兰 FEI SIRION 200 型扫描电镜(SEM)对其表面、断面进行微观结构形貌观察以及电子能谱(EDS)分析。采用安捷伦 8722ES 网络分析仪对制备的谐

振结构样件进行透波性能测试分析。

2 结果与讨论

2.1 多层复合 FSS 对称均匀性分析

对制备的样件进行了 X 光透视观察(图2),由照片可以看出:由两层陶瓷、三层金属谐振结构制备的多层 FSS 复合材料样件,谐振结构各区域分布均匀,重叠性好、一致性好,保证了不同的层间结构所形成的 FSS 复合材料整体结构的完整性和周期性,从而保证了电磁波在层间传播的谐振耦合,实现理想的透波性能。

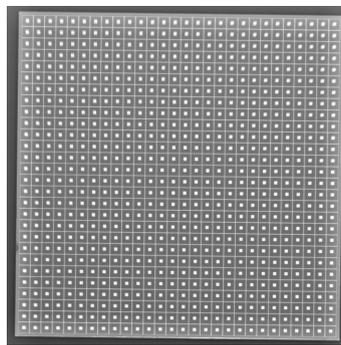
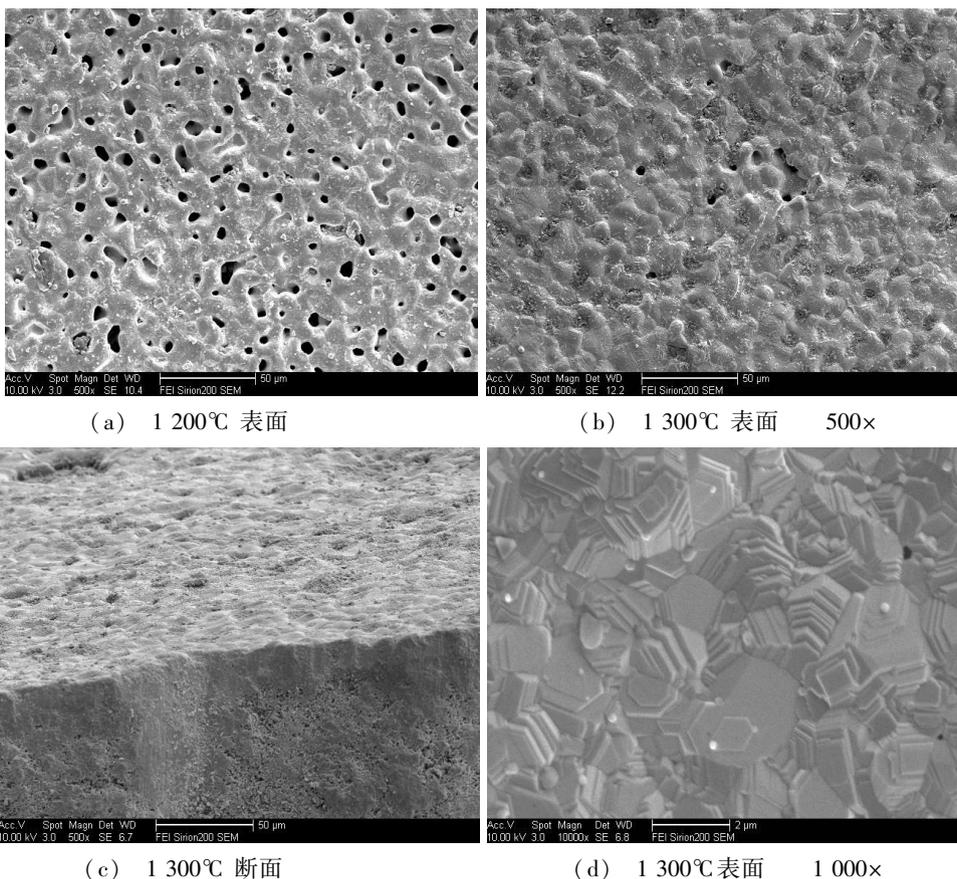


图2 多层复合 FSS 复合材料 X-ray 透视图

Fig.2 X-ray pattern of FSS multilayer materials

2.2 FSS SEM 及 EDS 分析

对制备的样件表面 FSS 结构层进行了 SEM 及 EDS 测试分析,如图 3 所示。



(a) 1 200℃ 表面

(b) 1 300℃ 表面 500×

(c) 1 300℃ 断面

(d) 1 300℃ 表面 1 000×

图3 铂层的微观结构

Fig.3 SEM photographs of platinum film at different sintering temperatures

在烧结过程中,铂层中的有机成分逐渐燃烧挥发,在500℃时有机黏合剂完全排掉。烧结温度升高到1200℃左右,玻璃粉完全熔融,将铂粉颗粒粘结到一起,并与基体粘结形成一定的附着力,铂粉也开始发生固相扩散传递,但颗粒之间仍存在一定间隙,有大量孔洞存在,如图3(a)所示,气孔的存在影响铂层的导电性能。到1300℃铂粉颗粒之间进一步实现固相扩散传递,形成致密的烧结体,颗粒之间的边界逐渐融合、消失,如图3(b)所示,在铂粉颗粒烧结所产生的拉聚力的作用下,相邻的颗粒离开原来的位置,发生移动和重排列,这种作用使烧结膜中出现均匀的空洞和沟隙^[3]。由图3(c)看出铂层的厚度约10 μm,从厚度上弥补由气孔带来的电阻率增大的问题,能够保证铂层的导电性能。在后续的工作中,通过烧成制度的进一步优化,提高膜层致密度与均匀度。从图3(d)中可以看出铂层形成了规则的四方晶或六方晶的片状晶体结构,晶体发育良好,晶粒间接触紧密。这种四方晶或六方晶晶体结构是面心立方结构,晶体在生长中位错对会发生滑移,但其间距保持稳定,扩展位错产生于一种类似于“局部熔融—重结晶”的表层局部无序紊乱—有序化过程,而这种表层局部紊乱或熔融则起自于失配应力作用下表层挤出四面体的形成,这种挤出四面体在大多数情况下可由原子间相互作用拉回,其消长呈统计涨落,而在个别情况下则发展成为局部紊乱区,成为其后位错形成的核心^[4]。同时,对铂层表面进行了能谱分析(图4),能谱图中几乎没有出现其他元素的能谱,铂层中的组成为铂,说明铂浆中无机黏合剂组成极少,由于铂的化学稳定性好,通过高温烧结后并没有改变铂的组成。

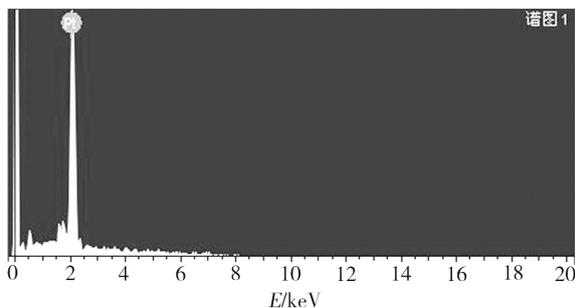


图4 铂层的能谱分析图

Fig.4 Energy spectrum analysis of platinum film

2.3 透波性能分析

制备的平面样件透波性能测试结果如图5所示,可看出样件在9.5~18 GHz具有95%以上的透过率,与仿真计算的结果相当,说明设计的结构及制备的样件,具有宽频透波的性能。

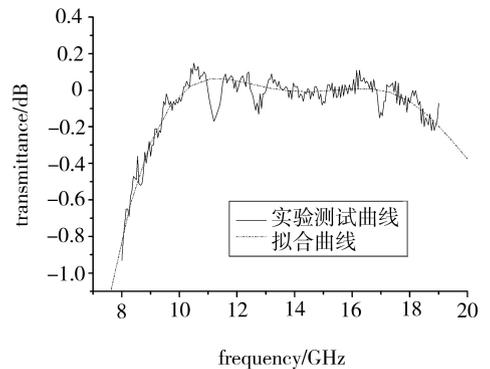


图5 样件的透波性能测试结果

Fig.5 Wave transmittance of the specimen

3 结论

采用丝网印刷工艺在多孔氮化物基体上制备了铂频率选择表面谐振结构单元,采用无机黏结剂将多层陶瓷/谐振结构样件烧结在一起,多层复合样件的FSS结构对称性好,达到了对入射电磁波的谐振耦合作用;制备的样件在9.5~18 GHz具有95%以上的透过率,具有宽频透波的性能;样件的透波频带及透过率与理论设计的透波性能非常吻合,说明谐振结构的设计及所采用的制备工艺能够达到对电磁波传输特性控制的目的。

参考文献

- [1] 鲁戈舞,张剑,杨洁颖,等. 频率选择表面天线罩研究现状与发展趋势[J]. 物理学报,2013,62(19):198401
- [2] 薛景元. 新型频率选择表面的研究[D]. 西安电子科技大学,2011
- [3] 贺昕,陈峤,熊晓东,等. 厚膜铂电阻浆料烧结过程微观结构分析[J]. 贵金属,2007,28(1):28-31
- [4] 周耐根,周浪,牡丹旭. 面心立方晶体外延膜沉积生长中失配位错的结构与形成过程[J]. 物理学报,2006,55(1):372-377

(编辑 李洪泉)