

Application of Complex Material in Micro-Wave Engineering

Dao-chi Zhang

1st department of Guilin Airforce Academy, Guilin China, 541003

Email: zhangdaoichi@126.com

Abstract: The invention and application of complex material plays an important role in the improvement and reformation of microwave engineering. Rutile-ceramic-glass Complex material and ferrite-ceramic complex material have significant meanings in miniaturization of system, improving character of frequency responding, obtaining wide-band impedance match and getting wide-band absorption character.

Keywords: complex material; ferrite-ceramic; rutile-ceramic-glass; miniaturization; wide band.

复合材料在微波工程中的应用

张道炽

桂林空军学院一系, 桂林, 中国: 541003

Email: zhangdaoichi@126.com

摘 要: 复合材料的研发和应用是微波工程进步和变革的重要方面。金红石陶瓷-玻璃复合材料、铁氧体-陶瓷复合材料对减小系统的体积实现小型化, 改善频响特性, 获得宽带阻抗匹配和宽带吸收特性具有重要意义。

关键词: 复合材料; 铁氧体-陶瓷; 金红石陶瓷-玻璃; 小型化; 宽频带

1 前言

科学技术的蓬勃发展和进步推动和促进复合材料的研发和应用。在许多微波工程领域中, 对应用材料性能的改善、功能的变化等提出了新的技术指标和要求; 研究领域的相互渗透和融合以及制备工艺的变革和进步对新型复合材料的研发产生了重大影响。在微波工程中, 不同功能的实现对复合材料的技术指标有不同的要求。为减小微波传输腔的几何尺寸, 要求其复合介质具有相对介电常数高、微波插入损耗小等特点。这是因为: 在微波传输腔中, 电长度与传输腔中填充的复合介质的相对介电常数 ϵ_r 的平方根成正比。为了获得宽频带阻抗响应, 要求填充介质具有相对磁导率 μ_r 与相对介电常数 ϵ_r 相等的理想的宽带特性。毫无疑问, 这种特性对宽带微波吸收、宽带阻抗匹配的实现都具有重要意义。

2 金红石陶瓷-玻璃复合介质

金红石陶瓷结构^[1]是一种在微波工程中广泛应用

的微波介质, 具有相对介电常数大、微波插入损耗小以及温度稳定性好等特性。但单组分的金红石陶瓷结构疏松, 机械强度差, 不能进行机械加工。为了提高它的致密度, 改善其机械强度, 使其能进行机械加工, 我们将金红石陶瓷与玻璃进行复合。首先, 将 CaO 、 B_2O_3 和 SiO_2 按一定比例进行配料、球磨后, 在 1320°C 的高温下烧结后制成玻璃粉; 然后, 把制成的玻璃粉与由 ZnO 和 SiO_2 在 1320°C 的高温下生成的硅酸锌粉按一定比例混合并进行球磨、过筛, 生成玻璃相; 最后, 将玻璃相与 TiO_2 、 ZnO 、 CaF_2 、 BaCO_3 以及 ZrO_2 等按配方配制, 经过严格的工艺流程、球磨、成型以及在 940°C 的温度下烧结, 生成金红石陶瓷-玻璃复合介质。这种复合介质既保留了金红石陶瓷的特征, 又有好的机械强度和硬度。这种材料的相对介电常数约为 100, 当部分填充工作在米波波段的高功率微波终端时 (结构如图 1 所示), 能使高功率微波终端沿传输方向 300mm 的几何长度就能获得约 2.5m 的电长度, 有效地缩小了体积, 满足了微波工程的实际应用需要。

用这种金红石陶瓷-玻璃复合介质研制的高功率终端在工作频率低达 100MHz 的状态下, 功率容量 4KW, 几何尺寸为 $350 \times 150 \times 80 \text{mm}^3$, 电压驻波比 $\text{VSWR} < 1.15$ 。

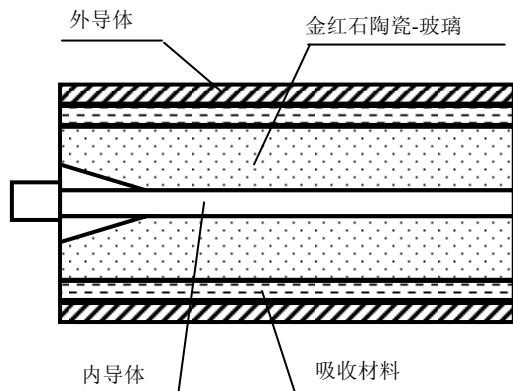


Figure 1. The structure of super-high-power microwave terminator

图 1. 超高功率微波终端结构图

3 铁氧体-陶瓷复合介质

软磁铁氧体材料早在上世纪五十年代就被用来作微波吸收材料。这种材料的主要损耗机制是磁损耗, 具有吸收效率高、温度特性好等优点。一般情况下, 软磁铁氧体吸收材料能有效吸收的最高频率为 4GHz。为了拓展软磁铁氧体的吸收频率, 我们用具有高磁导率的软磁铁氧体和高介电常数的陶瓷材料进行复合^{[2][3]}。软磁铁氧体采用 NiZn 系列和 MnZn 系列的软磁铁氧体。这两个系列的材料因配方和工艺不同, 其相对磁导率 μ_i 可以在 10~6000 范围内变化。陶瓷材料采用 $\text{La}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3$ 和 BaTiO_3 两个系列的陶瓷。这两个系列的陶瓷因配方和工艺的不同, 其相对介电常数 ϵ_r 可以在 40~120 的范围内调节。

表 1 列出了按不同 MnZn 铁氧体与 MgLaTi 陶瓷配方烧制的复合材料对应的 μ_i 和 ϵ_r , 表 2 列出了采用不同配方、不同工艺烧制的复合材料的相对磁导率、相对介电常数以及最高吸收频率。从表 1、2 可见, 将具有高磁导率和大的磁损耗的软磁铁氧体与具有高介电常数和大的介电损耗的陶瓷复合^{[4][5]}, 通过配方和工艺设计可以制备出高性能的吸收材料。这种铁氧体-陶瓷复合材料最高的吸收频率可达 12.4GHz。

从表 2 还可以看出, 通过调整配方以及应用特殊的复合工艺, 可以制备出 $\mu_i = \epsilon_r$ 的微波介质。而基于对媒质中均匀平面波的电磁场分析, 我们知道: 介质的

特征阻抗为

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_i}{\epsilon_0 \epsilon_r}}$$

Table 1. μ_i and ϵ_r of complex materials composed by MnZn ferrite ($\mu_i=6000$) and MgLaTi ceramic with different ratio

表 1. 不同 MnZn 铁氧体 ($\mu_i=6000$)、MgLaTi 陶瓷配方对应的 μ_i 和 ϵ_r

铁氧体:陶瓷	特性	
	μ_i	ϵ_r
1.00:0.05	1000	16
1.00:0.10	620	19
1.00:0.20	152	26
1.00:0.50	53	38
1.00:1.00	29	52
1.00:2.00	13	63
1.00:3.00	5	71

Table 2. The relative permeability, dielectric constant and the highest absorption frequency of complex materials manufactured with different prescription and fire technology

表 2. 采用不同配方、不同工艺烧制的复合材料的相对磁导率、相对介电常数以及最高吸收频率

No	μ_i	ϵ_r	fmax (GHz)
1	53	46	7.9
2	39	43	8.2
3	21	39	9.0
4	12	61	11.0
5	6	69	12.4
6	60	16	5.2
7	62	21	6.5
8	57	32	7.3
9	66	39	8.6

如果能获得 $\mu_i = \epsilon_r$ 的复合材料, 这种复合材料的微波阻抗将在很宽的频带范围内几乎不发生变化。应用这种介质可以设计制造宽频带的微波传输线、天线以及各种与宽频带传输有关的微波器件和组件。

应该指出: 采用尖晶石相和钙钛矿相的组成, 无需添加其它新的物相成分, 通过配方和工艺的变化, 也可以使铁氧体-陶瓷复合材料具有低的磁损耗、介质损耗以及电损耗。由于这种复合材料同时具有电感和电容特性以及良好的温度稳定性, 可以用于新一代具有真正集成概念的无源滤波器、振荡器等微波部件的设计和制造。必须强调: 由于铁氧体、陶瓷的烧结温

度以及烧结工艺是不同的,铁氧体-陶瓷复合材料在制作工艺上最大的特点是针对不同的配方,采用不同的烧结过程和烧结温度。在选择烧结过程和烧结温度时,最重要的依据是通过烧结使复合材料致密化,而不发生化学反应。

4 应用前景展望

上述复合介质材料已应用于高功率微波终端。我们还用具有高介电常数、低介电损耗以及低温度系数的陶瓷与聚四氟乙烯复合,研制出了损耗角正切 $\tan\delta < 1.6 \times 10^{-4}$ 、相对介电常数 ϵ_r 为 10~46 的复合材料,并应用这种材料设计、制作了介质天线、埋藏天线。这种陶瓷-聚四氟乙烯复合介质在宽带阻抗变换器以及功分器中也被应用。

在微波吸收材料的研制过程中,我们还研制了铁氧体-橡胶复合材料、铁氧体-陶瓷-橡胶复合材料以及叠层复合材料。通过把具有不同吸收机制、不同吸波特性的吸收材料进行复合,研制出了具有轻、薄、强、宽等性能的微波吸收材料,并成功应用于微波工程中。

可以相信,随着我们对复合材料的研究的深入以及理解和认识的深刻,工艺设备和测试系统的进步,新的不同功能的高性能复合材料将会在微波工程中被广泛应用,对推动微波理论与技术的进步将发挥越来越

越大的作用。在微波工程中被大量应用的谐振器、滤波器、环形器、隔离器、电容器、功率合成器、功分器、频率合成器、鉴频器以及微波天线、微波集成部件、组件和系统等都将随着新的高性能的复合材料的发明和应用,其总体性能将跃上一个新的台阶。

References (参考文献)

- [1] Wenyan Chen, Xiaoming Ding. Low Temperature Co-firing Properties of Microwave Dielectric Ceramic/Ferrite Composites [J]. *Electronic Components & Materials*, 2007, (09): P4~P6 (Ch).
陈文媛, 丁晓鸣等. 微波介质陶瓷/铁氧体复合材料的低温共烧[J]. *电子元件与材料*, 2007, (09): 4~6
- [2] Yudong Zhang, Xunjia Su. Current Status and Prospects in High Temperature Wave-transparent Materials [J]. *Winged Missiles Journal*, 2006, (03): 56~58.
张煜东, 苏勋家等. 高温透波材料研究现状和展望[J]. *飞航导弹*, 2006, (03): 56~58
- [3] Shuli Gao. Application and Development of Microwave Function Composite [J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2004, (07): 49~59.
高树理. 微波功能复合材料的应用与发展[J]. *航空制造技术*, 2004, (07): 49~59
- [4] Xiaoping, Daochi Zhang. Application of Fritless Ceramics in Micro-wave Engineering[C]. 12th Micro-Wave Magnetism of China, Jiangsu Nanjing, 2004:172~174
黄小萍, 张道炽. 金红石陶瓷在微波工程中的应用[C]. 全国第十二届微波磁学会议论文集, 江苏 南京, 2004: P172~P174
- [5] Daochi Zhang. The Absorption Character of Ferrite-Ceramic Complex Material[C]. 1987 IEEE MTFIS International Microwave Symposium Digest, 1987, (01): P411~P414.