

FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 核壳纳米结构的制备及 低频吸波机理研究

索庆涛, 许宝才, 王建江

(陆军工程大学石家庄校区, 河北 石家庄 050000)

摘 要: 采用溶胶凝胶法制备了 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末, 并采用球磨方法将 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 与 FeNi 合金微粉进行包覆, 成功制备了 3 种不同 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末添加量的 FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 核壳结构粉体。采用 SEM、XRD 等技术分析了 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 加入前后 FeNi 合金微粉的形态、组成, 利用矢量网络分析仪测量了 FeNi 以及 FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 复合材料的电磁参数。结果表明, 成功制备了不规则颗粒状 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末, Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末大部分包覆于片状 FeNi 合金微粉表面, 且随着 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末添加量的增加, 包覆层厚度逐渐增大, FeNi 合金片形态逐渐模糊。Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末包覆层有效降低了 FeNi 合金微粉的介电常数虚部, 提高了其低频波段的阻抗匹配性能, 实现铁电和铁磁双性材料的复合吸波效果, 改善了低频吸波性能。利用 1/4 波长干涉相消理论对反射损耗峰频率与电磁参数关系进行了分析, 并结合界面反射模型及材料阻抗匹配对反射损耗峰强度变化进行了分析。

关键词: Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃; FeNi; 低频; 电磁参数; 吸波性能

中图分类号: TB34

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2019)11-3714-07

随着军事科技的进步, 应用于军事的雷达波段不断拓宽, 低频段雷达波特别是分米波、米波在军事领域发挥了越来越重要的作用^[1]。预警雷达、超视距雷达的研发和应用使低频吸波材料的研发迫在眉睫。同时, 在民用领域, 电磁辐射在人们的日常生活中已不可避免。研究表明, 处于低频波段中的电磁辐射会对人的身体造成生物性损伤^[2,3]。因此, 研究应用低频吸波材料对武器装备在战场中的生存能力以及民用方面的电磁防护能力的提升具有重要意义。

FeNi 合金微粉为磁性金属微粉, 又称坡莫合金, 具有较高的磁导率与饱和磁化强度^[4]。同时, 经过课题组前期研究发现, FeNi 合金微粉可以通过片状改性处理调节材料电磁参数大小提高低频吸波性能。但片形颗粒具有较大表面积, 在材料中容易形成连通网络, 导致电导率升高, 片状化后电导率升高导致介电常数虚部升高, 不利于实现阻抗匹配。已有研究表明, 在磁性金属微粉表面进行适当的包覆改性可以有效降低介电常数, 提高其阻抗匹配特性^[5]。王琦^[6]等采用 ZnO 包覆 Fe_{0.7}Ni_{0.3} 合金微粉降低复合材料介电常数, 但同时降低了磁导率虚部。邓龙江^[7]采用溶胶凝胶法对片状金属微粉进行表面改性, 有效降低了改性金属微粉的介电常数。

Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 是一种典型的钙钛矿结构的铁电材料, 是由钛酸锶固溶于钛酸钡形成的无限固溶体。其具有优异的介电性能: 高的绝缘电阻、兼有钛酸钡的高介电常数、钛酸锶低介电损耗以及较高的温度稳定性。因此, 其作为改性材料有利于降低片状磁性金属微粉的介电常数虚部, 同时, 当前对于 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 材料的吸波性能研究以及其复合材料吸波性能研究较少, 因此, 本研究采用溶胶凝胶法制备 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末, 同时通过球磨法将 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 与 FeNi 合金微粉进行高能球磨包覆, 制备 FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 复合材料, 研究 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 包覆处理对片状 FeNi 合金微粉电磁参数及低频吸波性能的影响。

1 实 验

FeNi 合金微粉为前期实验制备的高磁导率片状 FeNi 合金。硝酸钡、硝酸锶、柠檬酸和钛酸丁酯由天津市永大化学试剂有限公司生产; 氨水由石家庄试剂厂生产, 上述试剂均为 AR 试剂。

采用溶胶凝胶法制备工艺: 按化学计量比称出硝酸钡与硝酸锶, 按柠檬酸与 Ba 和 Sr 的摩尔比为 1:2 配制柠檬酸溶液, 在 80 °C 恒温水浴条件下将硝酸钡与硝酸锶加入柠檬酸溶液, 待搅拌完全溶解后, 用氨水调 pH

收稿日期: 2018-11-15

基金项目: 国家自然科学基金(51172282); 装备预研重点实验室基金(9140C870401140C87366)

作者简介: 索庆涛, 男, 1993 年生, 硕士生, 陆军工程大学石家庄校区, 河北 石家庄 050000, 电话: 0311-87994678, E-mail: suoqingtao@163.com

值至 6~8, 标为 A 液。按柠檬酸与 Ti 的摩尔比为 1:2 配制柠檬酸溶液, 调 pH 值至 6~8, 按化学计量比称钛酸丁酯慢慢加入调好 pH 的柠檬酸溶液中, 在 80 °C 下搅拌溶解至透明溶液, 标为 B 液。将 A 液与 B 液混合搅拌均匀后在 180 °C 下干燥得到干凝胶; 将干凝胶在 750 °C 下煅烧 2 h 后得到 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末。

采用行星式球磨机, 按 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 与 FeNi 体积比分别为 2%、4%、6% 加入到球磨罐中, 料球按质量比 1:50 添加, 调节转速为 350 r/min, 球磨 30 min 后制得 FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 复合吸波材料。

将 FeNi 与 2%、4%、6% (体积分数) Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 添加量的复合材料样品分别编号为 1#、2#、3#、4#。

将制得 FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 复合吸波材料与石蜡按体积比 30% 混合, 加热熔化石蜡后搅拌均匀, 待冷却后采用特定磨具制备成内径 3 mm, 外径 7 mm, 厚度 3 mm 的环状样品。

采用 KYKY-6200 型扫描电子显微镜观察样品形貌; XRD 测试采用 BRUKER D2PHASER X 射线衍射仪, 选用 Cu K α 辐射, 扫描角度 20°~90°, 扫描速率 8°/min; 采用 Agilent-N5242A 型矢量网络分析仪测量样品 0.5~18 GHz 频段电磁参数; 依据传输线理论应用 matlab 计算反射损耗。

2 结果与分析

2.1 结构与形貌分析

图 1 为 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末 XRD 图谱。图 2 为各复合材料 XRD 图谱。由 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末 XRD 图谱分析可知, 采用溶胶凝胶法制得的 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末为纯相, 相结构主要是立方钙钛矿相。由 FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 复合材料 XRD 图谱可以看出, 随着 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 添加量的增加, FeNi 合金微粉 X 射线衍射峰宽度变窄, 可以推测 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 的加入, 使产物的粒度增大。

图 3 为原始材料与复合材料 SEM 照片。其中图 3a、3b 为 FeNi 合金微粉与 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末 SEM 照片。由图 3a 可以看出, 原始 FeNi 合金原粉为经过高能球磨后的片状材料, 片状态良好、边缘清晰。图 3b 显示, 采用溶胶凝胶法制备的 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末为不规则颗粒状, 粒径较小, 但存在团聚现象。图 3c、3d、3e 分别为 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 添加量 2%、4%、6% 的 FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 复合材料 SEM 照片。由图 3c 可以看出, 球磨混合 30 min 后, Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 与 FeNi 相混合, FeNi 片状颗粒边缘模糊, 一部分 FeNi 表面包裹了一层 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 材料, 同时依然存在一些明显的片状颗粒。对比图 3c、图 3d 中 FeNi 表面

Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 包裹量增加, 片状颗粒明显减少, FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 基本形成了表面 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 与内核 FeNi 的核壳结构复合材料。对比图 3c、3d, 图 3e 中 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 含量继续增加, 出现团聚现象, 包裹的均匀性减小, 个别 FeNi 片状颗粒被完全包裹, 形成不规则球状。同时, 图 3c、3d、3e 中, 球磨复合属于物理结合, 难以保证均匀性, 导致球磨后存在少量的 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 游离颗粒, 此外球磨过程也导致了一些片形颗粒受到破坏。

2.2 电磁参数和吸波性能分析

样品介电常数随频率变化曲线如图 4 所示。由图 4 可以看出, FeNi 合金颗粒经 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 球磨包覆后, FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 复合材料介电常数实部与虚部在 0.5~6 GHz 的范围内都有较大的减小, 介电常数实部由最大 36 左右降到 16 左右, 介电常数虚部由 8 左右降低到 0.2 左右, 同时包覆量的变化对介电常数存在一定的影响, 但 2%、4%、6% 的变化量影响较小。Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 是一种高介电常数低介电损耗材料, 按照自由电子理论, 金属的电导损耗:

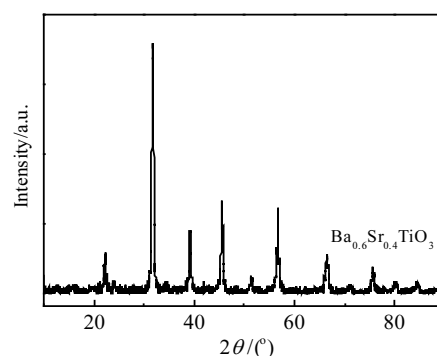


图 1 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 粉末 XRD 图谱

Fig.1 XRD pattern of Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃

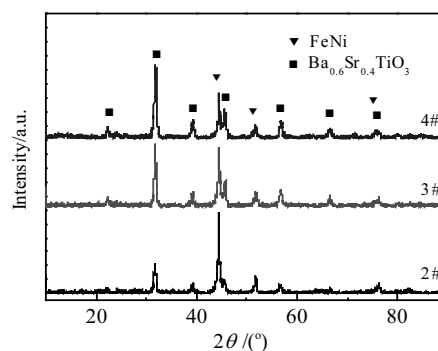


图 2 各复合材料 XRD 图谱

Fig.2 XRD patterns of 2#, 3# and 4#

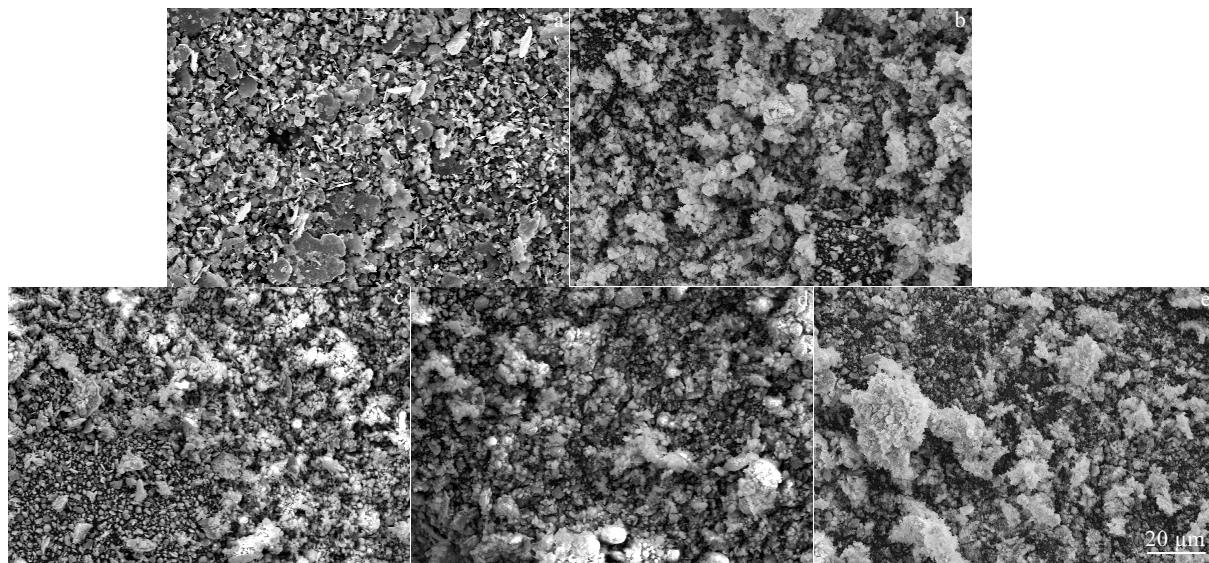


图 3 各样品 SEM 照片

Fig.3 SEM image of each sample: (a) FeNi; (b) $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$; (c) $\text{FeNi}+2\%\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$; (d) $\text{FeNi}+4\%\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$; (e) $\text{FeNi}+6\%\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$

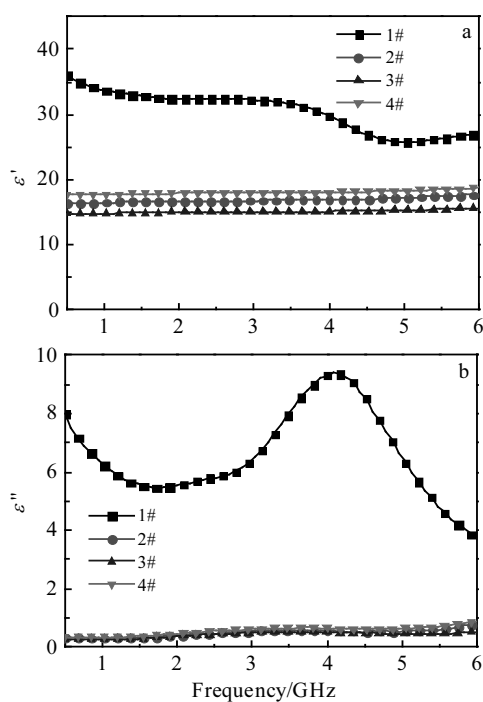


图 4 各样品介电常数曲线

Fig.4 Relative permittivity of 1#, 2#, 3# and 4#: (a) ϵ' and (b) ϵ''

$$\epsilon'' = \frac{1}{2\pi\epsilon_0\rho f} \quad (1)$$

式中, ϵ_0 为真空介电常数, ρ 为金属电阻, f 为频率。 $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 介电损耗低, 电导率小, 因此其电阻较大。 $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 包覆 FeNi 合金颗粒后, 复合材料电

阻升高, 导致 FeNi 合金颗粒介电常数降低。

样品磁导率随频率变化曲线如图 5 所示。 $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 是一种典型的钙钛矿结构的铁电材料, 因此其具有电导率低且没有磁性的特点。由图 5 可知, 包覆后复合材料磁导率实部与虚部变化不大; 原因在于 $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 包覆于 FeNi 合金颗粒表面后, 对单位体积中有效磁组分含量影响不大。

图 6 为各样品在 0.5~6 GHz 频率范围内的电磁波反射损耗曲线。各样品反射损耗由传输线理论模型计算得出^[8-10], 涂层厚度为 3 mm。由图 6 可知, 对于片状 FeNi 合金微粉, 包覆后吸收峰向高频移动, 反射损耗峰值增大。未包覆时, 反射损耗峰在 2.6 GHz 达到最大值 -12 dB, 包覆后, $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 添加量为 2% 的样品反射损耗峰向高频移动到 3.7 GHz 处, 同时反射损耗峰值增加到 -31 dB; $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 添加量为 4% 的样品反射损耗峰值降低到 -27 dB, 最低反射峰位置较添加量为 2% 的样品向高频移动了 0.5 GHz; $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ 添加量为 6% 的样品反射损耗峰频率最低, 吸收性能变化不大。综上所述, 添加量为 2% 的样品性能最好, 大幅提高了复合材料的低频吸波性能。

2.3 吸波机理分析

单纯从电磁损耗机制及传输线理论角度无法解释反射损耗峰向高频移动现象^[11]。因此, 采用 1/4 波长干涉相消理论解释上述现象。平行电磁波垂直入射到吸波材料表面, 一部分被前界面反射形成反射波, 一部分传播进入吸波材料内部后经底层金属板反射, 再

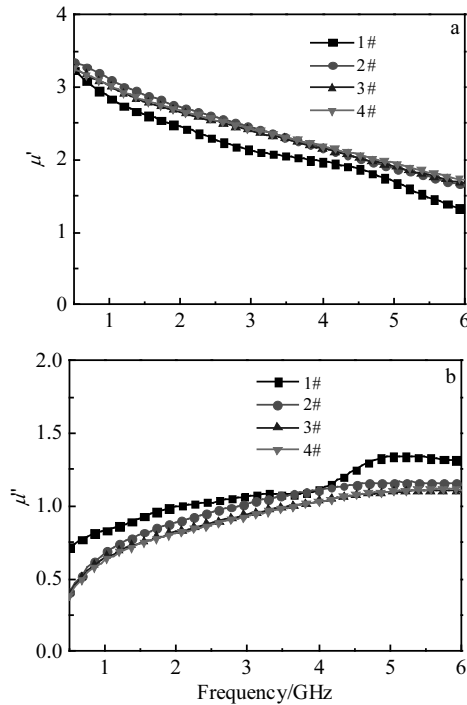


图 5 各样品磁导率曲线

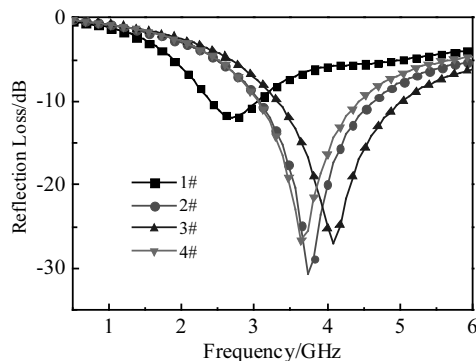
Fig.5 Relative permeability of 1#, 2#, 3# and 4#: (a) μ' and (b) μ'' 

图 6 各样品电磁波反射损耗曲线

Fig.6 Reflection loss of 1#, 2#, 3# and 4#

由吸波材料的表面出射形成出射波。当吸波材料厚度为电磁波 1/4 波长时, 出射波与入射波的相位将相差 180° , 波的反射原理使两束波干涉相消导致总反射波的能量衰减, 即形成反射损耗峰^[12]。1/4 波长干涉相消理论公式为:

$$t_m = \frac{nc}{4f_m \sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (n = 1, 3, 4\lambda) \quad (2)$$

式中, t_m 为吸波涂层厚度, f_m 为电磁波频率, ϵ_r 为材料的相对介电常数, μ_r 为材料的相对磁导率, n 表示当吸波涂层厚度为 1/4 介质波长的奇数倍时, 材料满

足 1/4 波长干涉相消理论。

图 7 为各样品的 1/4 波长厚度曲线与对应的反射率曲线。图 7 中各样品的 1/4 波长厚度曲线根据公式 (1) 计算得出 ($n=1$), 即各材料在不同电磁波频率下零反射对应的吸波涂层厚度; 各样品的反射损耗值由传输线理论模型计算得出, 吸波涂层设定为 3 mm。由图 7 可知, 反射损耗峰峰值频率对应的由公式 (1) 计算的吸波涂层厚度为 3 mm, 这与吸波涂层设定厚度相一致。因此, 相同吸波涂层厚度下, 反射损耗峰移动完全由 1/4 波长相消理论决定, 即由 $\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ 决定。各样品 $\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ 随频率变化曲线图如图 8 所示。由图 8 可知, 包覆后的复合材料 $\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ 值减小, 由公式 (1) 可知, 吸波涂层厚度 t_m 不变, 频率 f_m 升高, 即反射损耗峰向高频移动。

由图 6 可知, 包覆后样品反射损耗峰向高频移动, 同时反射损耗峰值增大。根据 1/4 波长干涉相消理论, 垂直入射到吸波材料表面时, 分 2 种条件:

(1) 吸波材料无理想金属背板, 则一部分电磁波被吸波涂层前界面反射 ($S_{11-Open}$); 一部分进入吸波涂层内部;

(2) 吸波材料有理想金属背板, 则吸波涂层前界面反射电磁波为 $S_{11-Open}$, 进入吸波材料内部电磁波经材料内部损耗与理想金属板反射后, 经前界面出射与 $S_{11-Open}$ 形成总反射波 ($S_{11-Short}$), $S_{11-Short}$ 为吸波涂层的反射损耗, 与经传输线理论模型计算的反射损耗值一致。

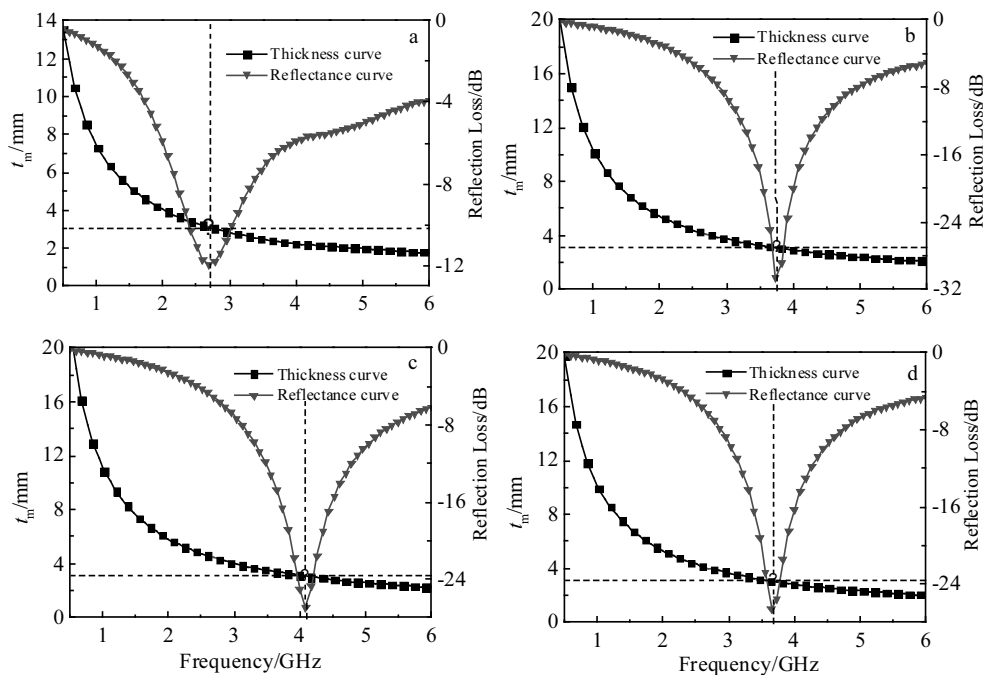
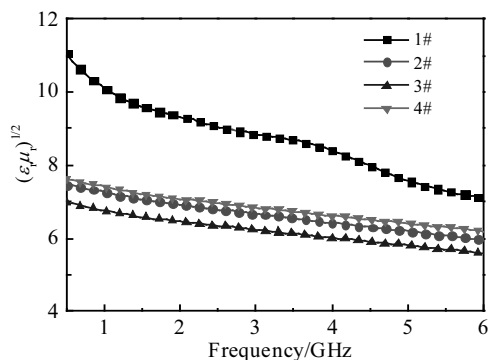
设定电磁波总能量为 1, 则反射损耗峰值处存在以下公式^[11]:

$$2S_{11-Open} \pm S_{11-Short} + E_{Loss} = 1 \quad (3)$$

式中, E_{Loss} 为吸波材料内部损耗的电磁波能量。

图 9 为各样品 $S_{11-Open}$ 、 $S_{11-Short}$ 随频率变化曲线。同时表 1 为根据公式 (2) 计算出的吸波涂层前后界面电磁波反射能量及吸波涂层内部损耗能量等相关数据。

结合图 9 和表 1 可知, 未包覆的 FeNi 合金颗粒在 2.7 GHz 反射损耗峰值最大, 反射损耗峰值处前界面反射能量为 0.5, 表明材料阻抗匹配性能较差, 同时涂层材料内部电磁波能量损耗为 0.06, 导致后界面电磁波反射能量与前界面反射波能量有一定差值, 未能完全干涉相消。FeNi 合金颗粒经包覆处理后, 反射损耗峰峰值增大, 这可以由表 1 数据来解释: 经过 2% Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 包覆后, 吸波材料阻抗匹配性能改善, 涂层前界面能量反射为 0.38, 后界面电磁波反射能量经过吸波材料内部损耗后与前界面反射能量相等, 干涉相消导致总反射能量接近于 0。4%、6% 包覆量的复

图 7 各样品的 $\lambda/4$ 介质波长与厚度曲线、电磁波反射率曲线Fig.7 Curves of $\lambda/4$ and thickness and electromagnetic wave reflectivity of 1# (a), 2# (b), 3# (c) and 4# (d)图 8 各样品 $\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ 随频率变化曲线Fig.8 $\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ of 1#, 2#, 3# and 4#

合材料反射损耗峰值较小, 但总反射能量接近于 0, 与 2% 包覆量复合材料情况相似。

由上述分析可知, 吸波材料吸收性能与吸波材料前界面与后界面反射波的能量分配及吸波材料的阻抗匹配性能有关^[13], 吸波材料阻抗匹配值可由以下公式计算^[14]:

$$M = \epsilon' \mu'' - \epsilon'' \mu' \quad (3)$$

公式 (3) 为广义匹配定律, 当吸波材料 M 值越接近 0 时, 其阻抗匹配性能越好。图 10 为各样品的 M 值随频率变化曲线。由图 10 可知, 经包覆后的复合材料 M 值低于原始片状 FeNi 合金微粉, 表明包覆提高了材料的阻抗匹配性能, 这与图 9 以及表 1 中前后界面反射波能量分配结果相一致, 即证明包覆前后片状 FeNi 合金微粉反射损耗峰值变化与阻抗匹配有关。

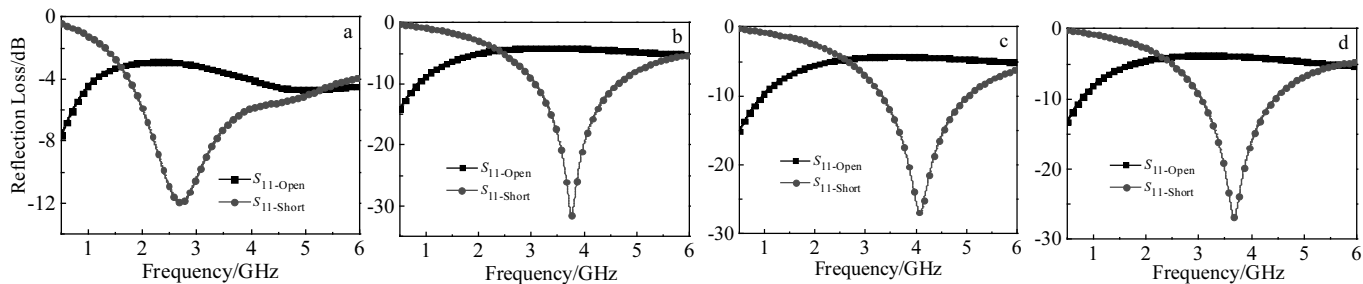
图 9 各样品 $S_{11-Open}$ 、 $S_{11-Short}$ 曲线Fig.9 $S_{11-Open}$, $S_{11-Short}$ of 1# (a), 2# (b), 3# (c) and 4# (d)

表 1 各样品在反射损耗峰值频率处、各能量分配情况及 M 值Table 1 Energy distribution and M of each sample at the peak

frequency of reflection loss					
f/GHz	R/dB	Reflective energy	Reflective of front-interface	Internal loss energy	M
2.7	-12	0.06	0.50	0.06	21
3.8	-31	7.9×10^{-4}	0.38	0.24	16
4	-27	0.002	0.37	0.26	15
3.7	-27	0.002	0.40	0.20	17

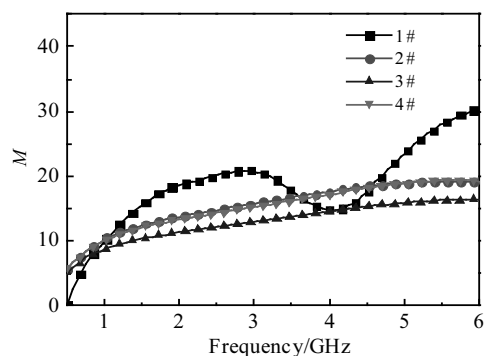


图 10 各样品阻抗匹配曲线

Fig.10 Impedance matching curves of 1#, 2#, 3# and 4#

3 结 论

1) 采用球磨混合方法制备了 FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 复合材料, Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 包覆于片状 FeNi 合金颗粒表面。

2) 制备了不同 Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 添加量的复合材料, 通过包覆, 复合材料的介电损耗显著降低, 阻抗匹配性能得到改善, 显著提高了材料的低频吸波性能。其中 2% 添加量下复合材料吸收性能最佳。

3) 采用 1/4 波长干涉相消理论以及阻抗匹配理论对 FeNi、FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ 复合材料的反射损耗峰位与电磁参数关系进行了很好的解释。反射损耗峰峰值频率与吸波材料 $\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ 有关, 吸波材料吸收性能与吸波材料前界面与后界面反射波的能量分配及吸波材

料的阻抗匹配性能有关。

参考文献 References

- [1] Zhang Jian(张 健), Zhang Wenyan(张文彦), Xi Zhengping(奚正平). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2013, 336(4): 194
- [2] Cao Maosheng, Han Chen, Wang Xixi *et al.* *Journal of Materials Chemistry C*[J], 2018, 6(17): 4586
- [3] Wang Xixi, Ma Tao, Shu Jincheng *et al.* *Chemical Engineering Journal*[J], 2018, 332(15): 321
- [4] Yang Tao(杨 涛), Pan Shunkang(潘顺康), Wang Xiaokun(王啸坤) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2013, 42(5):1038
- [5] Li Yong, Cao Maosheng. *Materials and Design*[J], 2016, 110: 99
- [6] Wang Qi(王 琦), Guan Jianguo(官建国), Wang Wei(王 维) *et al.* *Materials Science & Technology*(材料科学与工程)[J], 2005, 13(3): 231
- [7] Xie Jianliang(谢建良), Lu Chuanlin(陆传林), Deng Longjiang(邓龙江). *Acta Materiae Compositae Sinica*(复合材料学报)[J], 2007, 24(2): 18
- [8] Ma Junru, Wang Xixi, Cao Wenqiang *et al.* *Chemical Engineering Journal*[J], 2018, 339: 487
- [9] Zhang Yanlan, Wang Xixi, Cao Maosheng. *Nano Research*[J], 2018, 11(3):1426
- [10] Liu Jia, Cao Maosheng, Luo Qiang *et al.* *ACS Applied Materials and Interfaces*[J], 2016, 8(34): 22615
- [11] Wang Tao(王 涛), Wei Jianqiang(位建强), Zhang Zhaoqi(张钊琦) *et al.* *Materials China*(中国材料进展)[J], 2013, 32(2): 94
- [12] Cao Maosheng, Yuan Jie, Liu Haitao *et al.* *Materials and Design*[J], 2003, 24(1): 31
- [13] Cao Maosheng, Zhu Jing, Yuan Jie *et al.* *Microwave and Optical Technology Letters*[J], 2002, 34(6): 442
- [14] Cao Maosheng, Qin Ruru, Qiu Chengjun *et al.* *Materials and Design*[J], 2003, 24(5): 391

Preparation and Low Frequency Absorbing Properties of FeNi/Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO₃ Core-Shell Nanostructures

Suo Qingtao, Xu Baocai, Wang Jianjiang

(Army Engineering University Shijiazhuang Campus, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ powder was prepared by sol-gel method, and $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ was mixed with FeNi alloy powder by ball milling method. FeNi/ $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ composite with three different $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ powders was successfully prepared. The morphology and composition of FeNi alloy micropowder before and after the addition of $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ were analyzed by scanning electron microscopy and X-ray diffractometry. The electromagnetic parameters of FeNi and FeNi/ $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ composites were measured by vector network analyzer. The results show that the irregular granular $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ powder can be successfully prepared. The $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ powder is mostly coated on the surface of the flake FeNi alloy powder, and with more $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ powder addition, the thickness of the coating gradually increases, and the shape of the FeNi alloy is gradually blurred. The $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ powder coating layer effectively reduces the dielectric loss of the FeNi alloy micropowder, improves the impedance matching performance in the low frequency band, and improves the low frequency absorbing performance. The relationship between the peak frequency of reflection loss and electromagnetic parameters was analyzed by 1/4 wavelength interference cancellation theory. The reflection intensity peak intensity was analyzed by interface reflection model and material impedance matching.

Key words: $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$; FeNi; low frequency; electromagnetic parameters; absorbing properties

Corresponding author: Suo Qingtao, Candidate for Master, Army Engineering University Shijiazhuang Campus, Shijiazhuang 050000, P. R. China, Tel: 0086-311-87994678, E-mail: suoqingtao@163.com