

碳团簇复合吸波材料的结构与性能

周必成 蒋刚 蒋志新 韦建军 刘以良

(四川大学原子与分子物理研究所,成都 610065)

文 摘 通过物理和化学方法制得聚丙烯腈(PAN)基碳团簇复合吸波材料,利用 SEM 和 XRD 对其结构及形貌进行了表征,并以碳团簇复合吸波材料和碳团簇材料分别为吸收剂制备的吸波涂层进行了吸波性能测试。结果表明:以碳团簇复合吸波材料为吸收剂制备的吸波涂层带宽要优于以碳团簇材料为吸收剂制备的吸波涂层,该碳团簇复合吸波材料兼具电和磁损耗的能力。

关键词 碳团簇复合材料,纳米 Fe 粉,吸波性能

Structural Design and Absorbing Properties of Carbon Cluster-Like Composite Materials

Zhou Bicheng Jiang Gang Jiang Zhixin Wei Jianjun Liu Yiliang

(Institute of Atomic and Molecular Physics, Sichuan University, Chengdu 610065)

Abstract Polyacrylonitrile-based carbon cluster-like composite materials were prepared by physical and chemical methods. The morphology and surface phases of polyacrylonitrile-based carbon cluster-like composite materials were examined by SEM and XRD. The absorbents filled with carbon cluster-like composite materials and carbon cluster-like materials were prepared, respectively, and their microware absorption was measured over the frequency range of 8 to 18 GHz. The results indicate that the absorption band of the absorbents filled with carbon cluster-like composite materials is more than that of the absorbents filled with carbon cluster-like materials. Polyacrylonitrile-based carbon cluster-like composite materials have the electric and magnetic loss ability.

Key words Carbon cluster-like composite materials, Nanometer Fe powder, Wave absorption property

1 引言

吸波材料主要成分包括吸收剂和基体材料,吸收剂有电磁波能量吸收能力,基体材料具有负荷承载的作用,而吸收剂对电磁波的吸收作用往往决定着材料吸波性能好坏,因此要想制备吸波性能良好的雷达吸收材料(RAM),首先需要制备高性能的吸收剂^[1-3],传统的吸收剂有电损耗和磁损耗,如炭黑^[4-5]、碳纤维^[6,7]、铁氧体^[8]和羰基铁粉^[9],但电损耗吸收剂吸收频带窄,磁损耗材料虽具有磁导率高、磁损耗大、制备涂层薄、居里温度较高等优点,但吸收剂面密度较大。现阶段研究的新型吸波剂有纳米吸波剂^[10],由于其独特结构,光、电、磁等物理性质发生质变,不仅磁损耗增大且具吸波、透波、偏振等多种功能,但也存在不足,在制备涂层过程中不容易分散、易团聚。由聚丙烯腈(PAN)原材料制备的碳团簇属于一种有机多核方烃晶

体,具有许多独特性质,其导电率随热处理温度的不同可在绝缘体和半导体间变化,因此可满足为获得最佳吸波性能所需的特定电导的要求;同时,碳团簇材料比表面积大,有利于电磁波的散射与吸收,且在一定频段内对电磁波有很好的吸收性^[11],由于碳团簇材料是电损耗材料,本课题组经过大量实验研究得出碳团簇很难满足展宽频带的要求^[12]。为了解决现在碳团簇吸波材料吸收频带较窄的困难,本文拟结合纳米材料的特性,碳团簇密度较小、制备工艺简单和吸波性能好的优点,利用物理和化学方法对 PAN 表面进行处理,通过控制炭化条件,制备出碳团簇复合吸波材料,并研究其形貌、结构以及吸波性能。

2 实验

2.1 原料

碳团簇材料(密度 1.16 g/cm³); PAN; 纳米 Fe

收到日期:2009-12-14;修回日期:2010-03-15

作者简介:周必成,1983 年出生,硕士,主要从事雷达隐身材料的设计与合成。E-mail:gjiang@scu.edu.cn

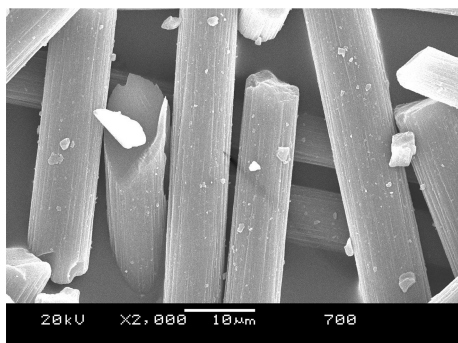
粉(30-70 nm);氮气(纯度 99.99%);实验所用试剂为分析纯。

2.2 样品制备

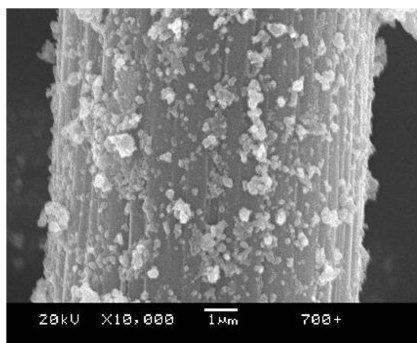
将一定质量比的 PAN 与纳米 Fe 粉在乙醇溶液中超声振荡充分混合,振荡 4 次,每次 30 min,振荡后放入烘箱中烘干。

炭化设备采用非标井式炭化炉,由炉体和电控设备组成,其中电控部分采用进口 FP73 数显表与可控硅实行 PID 温度控制,额定温度 1 100℃。将烘干后的材料缠绕在石英舟上,在氮气保护下逐步加热到预设温度,保温 30 min,充分炭化,然后停止加热,自然冷却到 250℃ 以下停止通气,到室温后将材料取出,经粉化处理得到所需的碳团簇复合吸波材料。本实验中设定炭化温度为 700℃。

吸波涂层采用 E-44 型环氧树脂,丙酮为稀释剂,三



(a) 碳团簇材料



(b) 碳团簇复合吸波材料

图 1 碳团簇材料和复合吸波材料微观形貌

Fig. 1 Micro-appearance of carbon cluster-like materials and composite materials

从图 1 可看出:碳团簇材料的宏观结构为圆柱体,圆柱体表面比较粗糙,有线状的纹路,并且在静电作用下吸附了少量的粉体;碳团簇复合吸波材料的宏观结构也是圆柱体,圆柱体表面坎坷不平,出现明显的凸起和缺陷,并且表面缝隙均匀吸附了大量的纳米级颗粒。

3.2 碳团簇复合吸波材料的 X 射线衍射分析

图 2 为 700℃ 碳团簇复合吸波材料的 XRD 图谱。

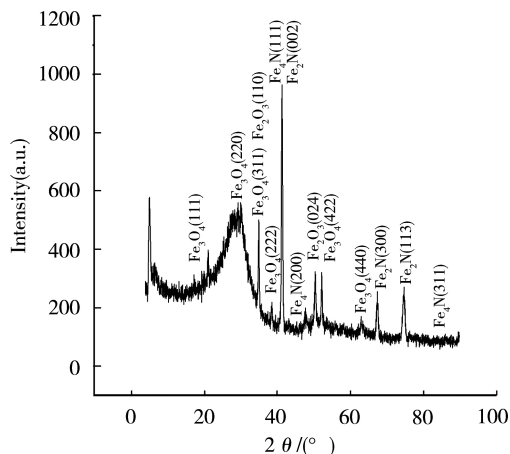


图 2 碳团簇复合吸波材料的 XRD 图谱

Fig. 2 XRD pattern of carbon cluster-like composite materials

乙烯四胺为固化剂,碳团簇材料和复合吸波材料分别为吸收剂,按照一定的比例充分混合均匀并调整好浓度,将混合液喷涂在 300 mm×300 mm 目标平板上,喷涂设备为厦门东亚机械有限公司生产的 RS30169 空气压缩机,喷涂后的目标平板,在干燥箱内于 60℃ 下固化 1-2 h,成型后表面光滑、平整。

2.3 测试分析

利用扫描电子显微镜 JSM-5900LV (SEM) 对粉体材料进行形貌分析,使用 X'Pert Pro 型 X 射线衍射仪对碳团簇复合吸波材料进行结构分析,采用远场 RCS 法测量样品涂层的反射率^[13],测量范围 8-18 GHz。

3 结果及讨论

3.1 碳团簇材料和复合吸波材料的形貌分析

图 1 为 700℃ 碳团簇材料和复合吸波材料的扫描电镜照片。

从图 2 可以看出:表面主要化合物有 Fe_4N 、 Fe_2N 、 Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 , Fe_4N 是一种铁氮化合物,具有密度低、耐腐蚀和磁性能较好等优点^[14-16],以 Fe_4N 为例,其饱和磁化强度可达到 $182 Am^2/kg$ 。与铁氧体吸收剂相比,其温度稳定性好,在较大温度范围内,具有对电磁波强烈衰减等优点。

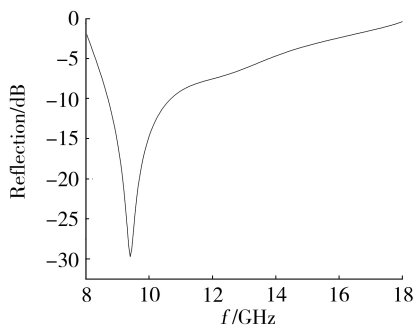
3.3 以两种材料为吸收剂制备涂层的吸波性能比较

依据阻抗匹配原理,吸收层分别以碳团簇材料和碳团簇复合吸波材料,其余参数相同,制备了吸波涂层,并对涂层进行了反射率测量。材料组成如表 1 所示,图 3 为两种涂层的反射率。

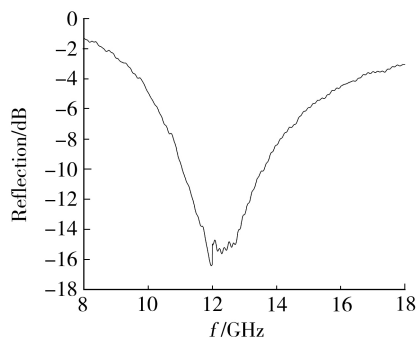
表 1 样品的组成

Tab. 1 Constitution of sample

| 材料组成 | 吸收剂 | 吸收剂质量 分数/% | 涂层厚度 /mm |
|------|-----------------|---------------|-------------|
| 匹配层 | 碳团簇材料(1000℃) | 7 | 0.20 |
| 变换层 | 碳团簇材料(700℃) | 10 | 0.75 |
| 吸收层 | 碳团簇材料(700℃) | 18 | 0.85 |
| | 碳团簇复合吸波材料(700℃) | 18 | 0.85 |



(a) 碳团簇为吸收剂制备涂层



(b) 碳团簇复合吸波材料为吸收剂制备涂层

图3 碳团簇材料和复合吸波材料为吸收剂制备涂层的反射率

Fig.3 Reflectivity of absorbents filled with carbon cluster-like materials and composite materials

从图3可以看出,制备出的涂层对电磁波都有明显的共振吸收特性,而碳团簇复合吸波材料制备涂层的反射率的吸波频宽要优于碳团簇材料制备涂层的,主要是由于纳米磁性物质起了衰减电磁波的作用。涂层总厚度1.8 mm,且碳团簇材料和复合吸波材料的密度分别为1.16和1.26 g/cm³,因此碳团簇复合吸波材料能够拓宽频宽,且密度较小,具有较高的应用价值。

4 结论

(1)利用高纯度的纳米Fe粉对PNA表面处理,经炭化后制备的碳团簇复合吸波材料,磁性纳米颗粒均匀地生长在材料表面,解决了纳米物质易团聚的不足。

(2)比较以碳团簇材料和复合吸波材料为吸收剂制备涂层的吸波性能,发现该碳团簇复合吸波材料在保证电损耗的情况下,同时具有了磁损耗的能力。

参考文献

- [1] 王岩,冯玉杰,等.隐身技术与隐身材料研究进展[J].化学工程师,2006(9):43
- [2] 邢丽英.隐身材料[M].北京:化学工业出版社,2004
- [3] 刘祥萱,王焯军.雷达波吸收剂的研究进展[J].电子对抗技术,2007,17:44
- [4] Park K Y, Lee S E, Kim C G, et al. Fabrication and electromagnetic characteristics of electromagnetic wave absorbing sandwich structures[J]. Compos. Sci. and Technol., 2006,66: 576-584
- [5] Oh J H, Oh K S, Kim C G, et al. Design of radar absorbing structures using glass/epoxy composite containing carbon black in X-band frequency ranges[J]. Composites: Part B, 2004,35:49-56
- [6] Das N C, Khastgir D, Chaki T K, et al. Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon black and carbon fibre filled EVA and NR based composites[J]. Composites Part A,2000,31: 1069-1081
- [7] Song L N, Xiao M, Li X H, et al. Short carbon fiber reinforced electrically conductive aromatic polydisulfide/expanded graphite nanocomposites[J]. Materials Chemistry and Physics, 2005,93: 122-128
- [8] Babbar V K, Razdan A, Puri R K, et al. Complex permittivity, permeability, and X-band microwave absorption of Ca-CoTi ferrite composites[J]. Journal of Applied Physics,2000,87 (9):4362-4366
- [9] 周永江,程海峰,陈朝辉,等. 羰基铁粉吸波涂层的优化设计[J]. 材料工程,2006,S1:236
- [10] 周旭.新型纳米吸波材料研究现状与进展[J].舰船防化,2006,S1:5-9
- [11] 张长青,郭宇,蒋刚.碳团簇吸波材料的结构与性能研究[J].宇航材料工艺,2007,37(3):28
- [12] 郭宇.宽频段碳团簇型吸波材料的制备及性能研究[D].成都:四川大学,2008
- [13] 何山.雷达吸波材料性能测试[J].材料工程,2003(6):25-28
- [14] 陈蕾,时家明.纳米Fe₃O₄颗粒对毫米和微波衰减特性的试验研究[J].兵器材料科学与工程,2004,27:38
- [15] 王贺,周忠祥,等.纳米铁和氮化铁超顺磁体复合吸收剂的研制[J].材料科学与工艺,2006,14:457
- [16] 刘志伟,杨东方,赵会友.铁氮化合物吸收剂的制备及其微波吸收特性的研究[J].材料工程,2007(2):30

(编辑 李洪泉)