

文章编号: 1006-9941(2007)02-0148-03

不同碳纳米材料的微波衰减性能研究

王红霞, 刘代志, 翟为刚

(第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

摘要: 为了探索碳纳米材料在电磁波无源干扰领域中的应用, 采用静态测试方法, 研究了纳米碳粉、碳纳米管、纳米碳纤维七种不同结构和尺寸的碳纳米材料在 8~12 GHz 波段内的微波衰减性能, 并对其衰减机理进行了分析。测试结果表明, 纤维状碳纳米材料对微波的衰减性能好于颗粒状碳纳米材料, 直径约为 60 nm 的纳米碳纤维对微波的衰减最显著, 平均单位质量密度对应的衰减量在 -2.84 ~ -4.27 dB 之间, 约是纳米碳粉衰减量的 10 倍多。

关键词: 材料科学; 碳纳米材料; 碳纳米管; 纳米碳纤维; 微波衰减

中图分类号: O613.71

文献标识码: A

1 引 言

电磁波无源干扰具有设备简单、使用方便灵活、造价便宜、费效比低、工作可靠的优点, 可同时干扰不同频率多部雷达、探测器, 并达到显著干扰效果, 在战争中起着极其重要的作用。目前, 在微波波段采用的常规干扰材料是箔条, 虽然能达到一定的干扰效果, 但随着抗干扰雷达和精确制导技术的日益发展, 现有干扰技术面临新的挑战。因此, 研究其它材料对电磁波的干扰性能, 找到一种更有效的宽频带干扰材料, 将对电磁波无源干扰技术的发展起到推动作用。

目前的研究表明, 纳米材料具有极好的电磁波吸收特性^[1,2]。将纳米碳粉、碳纳米管、纳米碳纤维与其它聚合物复合, 作为飞机等军事目标表面的涂层材料, 用于吸收衰减雷达波, 这些复合材料对电磁波在较大范围内有很好的吸波特性^[3-6], 可以达到隐身的目的。但将碳纳米材料作为电磁波无源干扰方面的研究, 目前还没有文献报道。考虑到碳纳米材料具有良好的吸波特性, 重量轻、密度小, 抛洒在空中滞留时间长, 对电磁波不仅产生散射衰减, 还能产生较强的吸收衰减, 有望作为新一代的宽频电磁波无源干扰材料。本文测试了纳米碳粉、碳纳米管、纳米碳纤维这些碳纳米材料在静态状态下对 8~12 GHz 波段微波的衰减特性。

2 测试系统

2.1 测试样品

选用的纳米碳粉直径约为 10 nm; 碳纳米管直径

约为 30 nm, 长度范围分别在 1~2 μm 和 5~15 μm 之间, 分别用“30 nm-S”和“30 nm-L”表示; 纳米碳纤维直径有两种, 约为 60 nm 和 100 nm, 长度范围分别在 1~2 μm 和 5~15 μm 之间, 分别用“60 nm-S”、“60 nm-L”、“100 nm-S”、“100 nm-L”表示。

测试样品由对微波透明的聚乙烯泡沫板和透明平面胶带纸制成, 由于材料具有易挥发性, 将一定质量的纳米材料均匀地散布在相对粘贴的两层胶带纸之间, 然后固定在聚乙烯泡沫板上, 衰减面积为 25 cm × 27 cm。对每种尺寸的材料, 分别称取 1 g、3 g、5 g 三种质量制作样品, 测试每种材料在不同质量密度下的微波衰减特性。

2.2 测试系统及方法

微波衰减性能测量系统主要由微波电源、发射天线、接收探头、信号处理系统等组成, 如图 1 所示。测试样品放在发射天线和接收探头之间, 天线和探头之间相距约 0.5 m, 测试时系统终端直接显示衰减分贝值。

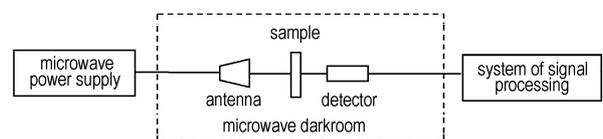


图 1 微波衰减测试系统

Fig. 1 System of microwave attenuation test

设系统参考信号电压值为 V_0 , 不放样品时的接收信号电压值为 V_1 , 系统显示的衰减分贝值为 a_1 , 则:

$$a_1 = 20 \log \frac{V_1}{V_0} \quad (1)$$

在发射天线和接收探头之间放置测试样品时, 对应的接收信号电压为 V_2 , 衰减分贝值为 a_2 , 则:

收稿日期: 2006-08-07; 修回日期: 2006-11-23

基金项目: 国防预研资金资助项目(51400010504JB4705)

作者简介: 王红霞(1962-), 女, 教授, 硕士, 研究方向为光电信息处理与光电对抗。e-mail: redlightw@163.com

$$a_2 = 20 \log \frac{V_2}{V_0} \quad (2)$$

根据式(1)和式(2)可得被测样品的微波衰减分贝值为：

$$A = 20 \log \frac{V_2}{V_1} = a_2 - a_1 \quad (3)$$

即将放置样品前后的衰减分贝值相减,就是测试样品的微波衰减分贝值。

测试前,使系统加电预热 30 min,使其输出稳定。系统频率范围为 8.0 ~ 12.0 GHz,且任意可调。测试时,间隔 0.4 GHz 改变系统输出频率,首先测试没有放置样品时各个频率点的衰减分贝值 $a_1(i)$,然后将材料样品置在天线和探头之间,再测量各个频率点对应的衰减值 $a_2(i)$ 。

3 结果和讨论

根据以上测量,将样品放置前后对应的两个衰减值相减,可得样品的微波衰减分贝值。在衰减面积保持不变的情况下,依次测量碳纳米管、纳米碳纤维和纳米碳粉七种不同尺寸的碳纳米材料在不同质量密度下对 8 ~ 12 GHz 微波的衰减,测试结果见图 2。

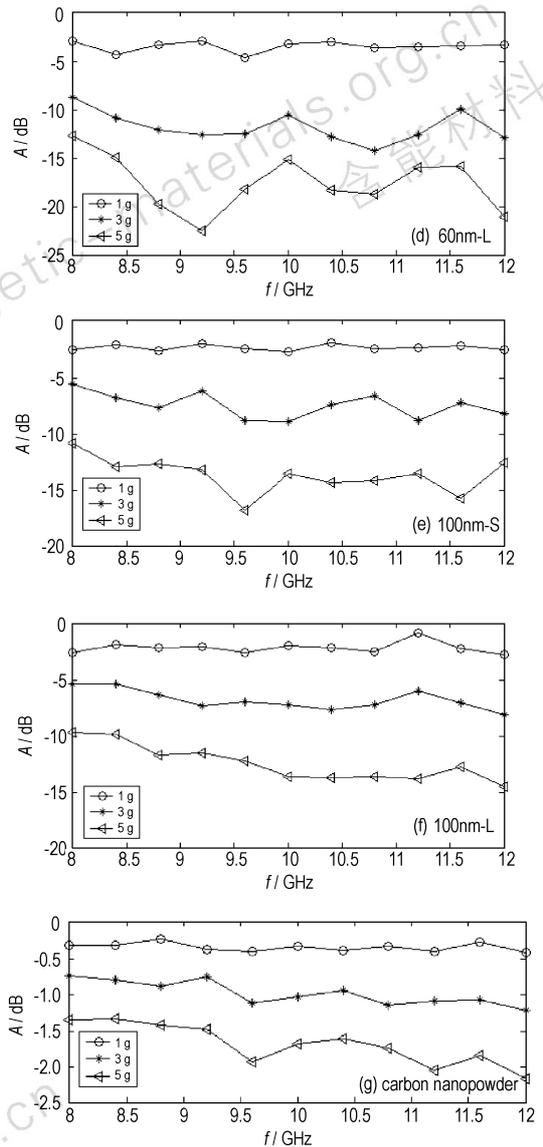
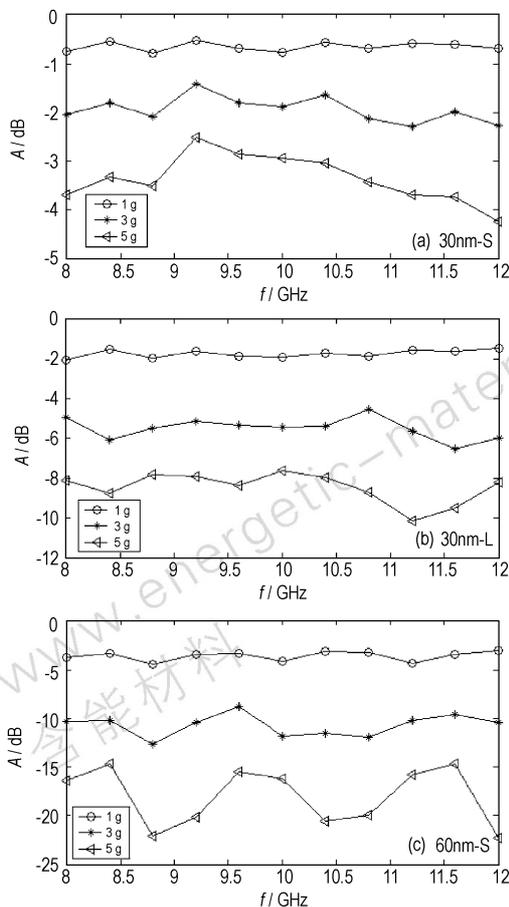


图 2 七种碳纳米材料在不同密度时的微波衰减
Fig. 2 The microwave attenuation results of seven nano-materials with different density

图 2 中(a)和(b)是两种直径相同(约 30 nm)、长度不同的碳纳米管,在不同质量密度下的微波衰减曲线,可以看出,(b)图所示的 30 nm-L 材料衰减明显大于(a)图所示的 30 nm-S 的衰减,说明这种长度较长的碳纳米管对微波的衰减性能好于长度较短的碳纳米管;(c)~(f)是直径为 60 nm、100 nm 长度不同的四种纳米碳纤维在不同质量密度下的微波衰减曲线,图中结果说明微波衰减与纳米碳纤维的直径有关,与长度的关系不大,60 nm-S 和 60 nm-L 的衰减基本一致,100 nm-S 和 100 nm-L 的衰减基本一致,且这四种纳米碳纤维的衰减明显高于碳纳米管 30 nm-S 和 30 nm-L 的衰减;(g)是直径为 10 nm 的纳米碳粉在不同质量密度下的微波衰

减曲线,对比可以看出,这种颗粒状的碳纳米材料远没有纤维状的纳米碳纤维和碳纳米管对微波的衰减显著。

为了便于定量比较以上七种不同尺寸的碳纳米材料对微波的衰减特性,对每种材料在各个测频点不同质量密度下的衰减求平均,作出平均单位质量密度对应的衰减图,如图3所示。图3中所示纳米碳粉平均单位质量密度衰减量最小,其值在 $-0.28 \sim -0.35$ dB之间,衰减量随频率的改变变化不大;长度较短的碳纳米管30 nm-S的平均单位质量密度衰减量略高于纳米碳粉,其值在 $-0.62 \sim -0.85$ dB之间;碳纳米管30 nm-L的平均单位质量密度衰减量明显高于30 nm-S,其值在 $-1.97 \sim -1.75$ dB之间,约是后者的2~3倍;纳米碳纤维100 nm-S、100 nm-L的平均单位质量密度衰减量处在一个等级上,约在 $-1.85 \sim -2.83$ dB之间,高于30 nm-L的衰减量;纳米碳纤维60 nm-S、60 nm-L的平均单位质量密度衰减量也处在一个等级上,约在 $-2.84 \sim -4.27$ dB之间,衰减量最大,约是纳米碳粉衰减量的10倍多。

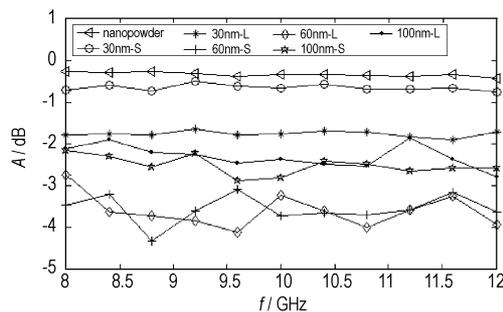


图3 各种碳纳米材料的微波衰减比较

Fig.3 Comparison of microwave attenuation of seven nano-materials

以上测试结果说明,碳纳米材料对微波具有较好的衰减特性。分析衰减机理,材料对电磁波的衰减作用一般由散射和吸收两部分共同作用,这两部分的强弱由材料的导电性、形状和大小等因素共同决定。导电性越强,其散射干扰能力越大。常规铝箔条的电阻率较小,主要靠散射衰减电磁波,碳纳米材料的电阻率高于铝箔条的电阻率,对电磁波的衰减除了散射作用外,吸收起着更重要的作用。碳纳米材料具有高的表面比,其比表面积比常规微粒大3~4个数量级,表面原子数多,且活性好,在电磁场作用下,原子和电子运动加剧,极易引起表面极化和磁化,反复极化和磁化的结果,使电磁能转化为热能。另外,量子尺寸效应使碳纳米材料的电子能级发生分裂,其间隔正处于微波能量范围,从而形成新的吸波通道,导致碳纳米材料具有

较好的吸波特性和纤维状的纳米碳纤维和碳纳米管对微波的衰减性能明显好于碳纳米粉,是因为前者内部是由多层石墨片组成的结构,中间是大约几纳米的中空管,当电磁波入射到上面时,经多层界面和管壁反复多次的反射、散射、吸收,导致电磁波能量损失显著。在纤维状碳纳米材料中,碳纳米管的直径过细,结团现象严重,影响对微波的衰减,故其衰减性能没有直径较大的纳米碳纤维的微波衰减性能好。而对于直径分别为60 nm、100 nm的纳米碳纤维而言,前者直径小于后者,石墨化程度较高,单位质量对应的纤维条数也相对较多,比表面积大,因此对微波的衰减最显著。

4 结论

碳纳米材料具有显著的表面效应和量子效应,散射和吸收的共同作用,使其对电磁波具有良好的衰减作用。在8~12 GHz波段,测试结果说明,纳米碳纤维对微波的衰减性能好于碳纳米管,而碳纳米管对微波的衰减性能又好于纳米碳粉。在七种碳纳米材料中,直径约为60 nm的纳米碳纤维对微波的衰减效果最好,平均单位质量密度衰减量约是纳米碳粉衰减量的10倍多。

参考文献:

- [1] 张立德,牟季美. 纳米材料和纳米结构[M]. 北京: 科学出版社,2001. ZHANG Li-de, MU Ji-mei. Nanostructured Materials [M]. Beijing: Science Press,2001.
- [2] 王玄玉,潘功配,何艳兰,等. 几种纳米氧化铝的红外消光性能研究[J]. 含能材料,2005,13(5): 312-315. WANG Xuan-yu, PAN Gong-pei, HE Yan-lan. Infrared extinction characteristic of nanometer aluminas[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2005, 13(5): 312-315.
- [3] Lee B O, Woo W J, Park H S, et al. Influence of aspect ratio and skin effect on EMI shielding of coating materials fabricated with carbon nanofiber/PVDF[J]. J Mater Sci, 2002, 37: 1839-1842.
- [4] 赵东林,沈曾民. 含碳纳米管微波吸收材料的制备及其微波吸收性能研究[J]. 无机材料学报, 2005, 3(5): 608-612. ZHAO Dong-lin, SHEN Zeng-min. Preparation and microwave absorbing properties of microwave absorbing materials containing carbon nanotubes [J]. Journal of Inorganic Materials, 2005, 3(5): 608-612.
- [5] Roberts J A, Imholt Td, Ye Z, et al. Electromagnetic wave properties of polymer blends of single wall carbon nanotubes using a resonant microwave cavity as a probe[J]. J Appl Phys, 2004, 95(8): 4352-4356.
- [6] 张增富,罗国华,范壮军,等. 不同结构碳纳米管的电磁波吸收性能研究[J]. 物理化学学报, 2006, 22(3): 296-300. ZHANG Zeng-fu, LUO Guo-hua, FAN Zhuang-jun, et al. Complex permittivity and permeability spectra of different kinds of carbon nanotubes [J]. Acta Phys-Chim Sin, 2006, 22(3): 296-300.

(下转 154 页)

- Maxwell equations[A]. IEEE Transactions on Geoscience and remote-sensing[C], 2002, 40(1): 153-161.
- [5] Xiang cheng Luo, D D L Chung. electromagnetic interference shielding using continuous carbon-fiber carbon-matrix and poly-matrix composites. Composite: part B, 1999,30(2): 227-231.
- [6] 窦文斌,孙忠良. 电磁波在包含各向异性媒质多层介质中传播的分析[J]. 红外与毫米波学报, 1996,15(3): 229-232.
- DOU Wen-bing, SUN Zhong-liang. Analysis of electromagnetic wave propagation in multilayer mediums containing anisotropic material[J]. *J Infrared Millim Waves*, 1996,15(3): 229-232.
- [7] 邢丽英,刘俊能,任淑芳. 短碳纤维电磁特性及其在吸波材料中应用研究[J]. 材料工程, 1998,1: 19-21.
- XING Li-ying, LIU Jun-neng, REN Shu-fan. Study on electro-magnetic property of short carbon fiber and its application to radar absorbing materials[J]. *Material Engineering*, 1998,1: 19-21.
- [8] 李毅,潘功配,王雪. 一级多次散射近似法求解烟幕透过率[J]. 火炸药学报, 2001,2: 39-41.
- LI Yi, PAN Gong-pei, WANG Xue. Calculation of smoke transmission based on first-order multiple scattering approximation[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2001,2: 39-41.
- [9] L M Ly Kov, V A Bogush. Thin-film nickel coatings on fiber materials [J]. *Technical Physics Letters*, 2003, 29(8): 641-642.

Infrared Extinction of Super-fine Ceramic Fiber Coated Nickel

REN Hui^{1,2}, JIAO Qing-jie¹, KANG Fei-yu², CUI Qing-zhong¹

(1. National Key Laboratory of Explosive Science and Technology, Beijing institute of technology, Beijing 100081, China;

2. Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: From the viewpoint of interaction between medium and incidence electromagnetic wave, the extinction section of fiber coated nickel was estimated by method of electromagnetic field numerical simulation. It was researched that extinction changed with material properties, including aspect ratio of fiber, conductivity, refractive index, and dielectric constant. The results showed parameter regions corresponded to mutation of extinction section. Aspect ratio of fiber influenced the extinction section, especially at middle-near infrared frequency. While aspect ratio was 20-200, image of refractive index was smaller than 20 and real of conductivity of ceramic fiber was $10^6-10^8 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$, extinction section would be increased rapidly. According to calculated results, nickel coated ceramic fiber was prepared with method of chemistry plating. The extinction coefficients were contrasted between metal coated fibers and uncoated fiber measured by potassium bromide press and smoke box. The data showed that mass extinction coefficient of nickel coated carborundum was enhanced obviously, in far infrared range.

Key words: military chemistry and pyrotechnics; super fine ceramic fiber; numerical simulation; extinction; infrared

(上接 150 页)

Microwave Attenuation Performance of Different Carbon Nano-Materials

WANG Hong-xia, LIU Dai-zhi, ZHAI Wei-gang

(The Second Artillery Engineering Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract: To explore the applications of carbon nano-materials in electromagnetic wave passive jamming field, the 8-12 GHz microwave attenuation performances of carbon nano-powder, carbon nanotubes, and carbon nanofibers were studied based on the static measuring method. The results indicate that the microwave attenuation performance of carbon nanofibers is better than that of carbon nanotubes and carbon nano-powder. The average microwave attenuation value per quality of carbon nanofibers with 60 nm diameter is between -2.84 dB and -4.27 dB, which is over 10 times of carbon nano-powder's. It is concluded that the attenuation performance of carbon nanofibers with diameter of 60 nm is the best of these carbon nano-materials with different structures and sizes.

Key words: materials science; carbon nano-material; carbon nanotube; carbon nanofiber; microwave attenuation