



核壳结构 C/TiO₂ 复合材料的制备与微波吸收性能研究

摘要

以葡萄糖为碳源,用水热法成功制备了碳微球,再以 Ti(SO₄)₂ 为钛源,制备了核壳结构的 C/TiO₂ 复合微球。为提高材料介电损耗,将样品在 N₂ 氛围中不同温度条件下进行了碳化。采用 X 射线衍射仪、扫描电子显微镜和透射电子显微镜对样品的结构和形貌进行了表征,用矢量网络分析仪测试了样品在 2~18 GHz 范围的复介电常数,并计算其反射损耗。结果表明:碳微球具有较高的微波介电损耗;碳微球与 TiO₂ 复合后,在相同层厚条件下,反射损耗峰向低频迁移;700 °C 和 800 °C 碳化下的 C 和 C/TiO₂ 复合材料具有优良的微波吸收性能,其中 C-700 复合材料最小反射损耗达到 -41.2 dB,低于 -10 dB 的最大吸收带宽达到 4.5 GHz,C/Ti-700 复合材料的最小反射损耗为 -30.0 dB,最大吸收带宽达 4.2 GHz。

关键词

碳球;C/TiO₂ 复合物;复介电常数;复磁导率;反射损耗

中图分类号 TB383.1

文献标志码 A

收稿日期 2018-12-19

资助项目 南京信息工程大学大学生实践创新训练计划(201710300285);近地面探测与感知技术重点实验室开放项目(TCGZ2017A011)

作者简介

沈国柱(通信作者),男,副教授,主要从事无机功能材料研究.shengz@nuist.edu.cn

0 引言

碳材料具有结构多样、化学稳定性好、原料丰富等优点^[1],在材料科学领域具有不可替代的地位和作用^[2]。近年来,对碳材料的研究相当活跃,多种多样的碳材料被广泛应用在生产生活之中。碳材料中碳纤维、碳纳米管、石墨烯等新型碳材料具有许多优异的物理和化学特性,在橡胶^[2]、能源储存和转换^[3-6]、催化^[7-8]、材料化学^[9]、电磁波吸收^[10]等领域有着广泛的应用。例如,碳纳米管(CNTs)特殊的结构和介电性能使其作为吸波材料具有质量轻、兼容性好、吸波频带宽等优点。但是 CNTs 很难与空气达到阻抗匹配,而将其制成复合材料可以减小其复介电常数的实部和虚部,从而实现介质与空气的阻抗匹配^[11],有利于微波在材料中的损耗^[12]。

为了改善碳材料的吸波性能,可将碳材料与其他材料复合制成复合材料,如李波等^[13]通过 H₂ 还原石墨层间的 Ni²⁺ 制备了 Ni/石墨纳米复合材料;侯进等^[14]以层状无机物作为吸波剂与石墨吸波剂复合,制备出双层复合吸波涂层。TiO₂ 是典型的介电/半导体材料,具有介电性能稳定、耐高温等特点,目前已广泛应用于光催化领域^[15]。研究表明,加入 TiO₂ 能显著提高所制得的复合材料的吸波性能,如 Zhang 等^[16]采用溶胶-凝胶法和水热法,成功地合成了具有优异微波吸收性能的石墨烯@CoFe₂O₄@SiO₂@TiO₂ 纳米片。Bhattacharya 等^[17]采用溶胶-凝胶法制备了 TiO₂ 涂层的 Li_{0.4}Mg_{0.6}Fe₂O₄,其在 X 波段表现出了优良的微波吸收性能。Dadfar 等^[18]制备并研究了 50% SrFe₁₂O₁₉-50% TiO₂ 纳米复合材料的微波吸收性能,结果表明,厚度为 4.2 mm 的试样反射损耗最小,达到 -33 dB。Wang 等^[19]研究了有序介孔碳/TiO₂ 纳米复合材料的吸波性能,结果表明,有序介孔碳/TiO₂ 纳米复合材料具有优异的微波吸收性能,其反射损耗最小值为 -25.4 dB,表明在碳中加入 TiO₂ 可提高其介电损耗性能,增加其收带带宽。同时,增加 TiO₂ 的含量对制得的复合材料的吸波性能影响很大^[20]。

本文用水热法分别制备出了碳微球和核壳结构的 C/TiO₂ 复合微球,并在 N₂ 氛围下高温碳化,比较了 C 复合材料与 C/TiO₂ 复合材料的微波吸收性能。

¹ 南京信息工程大学 物理与光电工程学院,南京,210044

1 实验

1.1 试剂

无水葡萄糖,AR;硫酸钛,CP;无水乙醇,AR;浓盐酸.所有试剂均来自于国药集团化学试剂有限公司.

1.2 碳微球的制备

本文参考石凯等^[21]的制备方法,将 3.0 g 葡萄糖溶解于 50.0 mL 去离子水中,溶液转移到高压反应釜中,在 180 °C 下水热反应 12 h;冷却后,沉淀通过离心收集,用蒸馏水洗涤 3 次后在 80 °C 下干燥 24 h,得到的样品标记为 C.将得到的样品放入管式炉,在 N₂ 氛围中分别在 700 °C、800 °C 和 900 °C 下煅烧 5 h,升温速率为每分钟 2 °C,得到的样品分别标记为 C-700、C-800 和 C-900.

1.3 核壳结构 C/TiO₂ 复合物的制备

取 0.3 g 上述 C 微球,加入 50.0 mL 蒸馏水,超声分散 30 min 后,依次加入 1.0 mL 浓盐酸、0.6 g Ti(SO₄)₂、0.5 g 葡萄糖.将混合液磁力搅拌 2 h 后转移至高压反应釜中.在 180 °C 下水热反应 12 h,反应得到的棕黑色沉淀通过离心收集,用蒸馏水洗涤至中性.在 80 °C 下干燥 24 h 后得到的样品标记为 C/TiO₂.最后在 N₂ 氛围的管式炉中分别在 700 °C、800 °C 和 900 °C 下煅烧 5 h,升温速率为每分钟 2 °C,得到的样品分别标记为 C/Ti-700、C/Ti-800 和 C/Ti-900.

1.4 样品表征

采用 X 射线衍射仪(XRD,Thermo ARL X'TRA)对样品进行物相分析;采用场发射扫描电子显微镜(FE-SEM,Hitachi SU-4800)和透射电子显微镜(TEM,Phillips Tecnai 12)对样品的形貌进行观察.在 SEM 观察前,样品进行了喷金处理.采用矢量网络分析仪(VNA,Agilent N5244A)测量样品的复介电常数,测试前,把样品与石蜡均匀混合,其中样品质量分数为 70%,然后压成内径和外径分别为 3.00 mm 和 7.00 mm 的圆环.

2 结果与讨论

2.1 结构分析

XRD 和下面的电子显微镜(EM)表征以 C/Ti-700 为代表讨论分析.图 1 为 C/Ti-700 样品的 XRD 图.曲线中出现在 $2\theta = 25.33^\circ$ 、 37.84° 、 48.07° 、 53.95° 、 55.11° 、 62.75° 、 68.84° 、 70.35° 和 75.13° 处

的衍射峰都能与体心四方结构的锐钛矿型 TiO₂ 标准图谱(JCPDS 84-1286)一一对应,其对应的晶面分别为(101)、(004)、(200)、(105)、(211)、(204)、(116)、(220)和(215).由此可以判断所制备的 C/TiO₂ 样品中 TiO₂ 为锐钛矿型,且碳为非晶态.

为确定复合材料的成分,采用能量色散 X 射线光谱(EDX)对 C/Ti-700 样品进行元素组成分析.如图 2 所示,所制得的样品主要包括 C、Ti 和 O 元素.计算可知 Ti 元素在样品中的质量分数为 35.7%,与理论值 36.5% 相差较小,再结合 XRD 结果,样品主要成分应为 C 和 TiO₂.

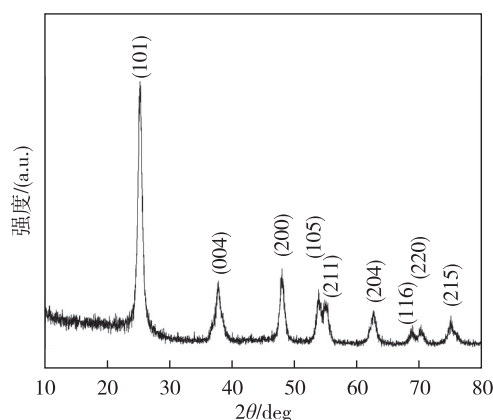


图 1 C/Ti-700 的 X 射线衍射图

Fig. 1 The XRD pattern of C/Ti-700

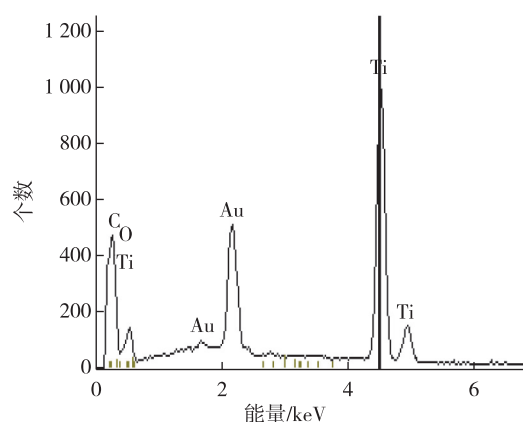


图 2 C/Ti-700 的 EDX 图

Fig. 2 The EDX spectrum of C/Ti-700

2.2 形貌分析

图 3 为所制备样品的 SEM 图.从图 3a 和 3b 可以看出合成的 C 球直径在 500~1 000 nm,表面较为光滑,大小相对均匀,个体的分散性较好.从图 3c 和 3d 可以看出样品进行 TiO₂ 包覆后,微球表面变得粗糙,能观察到细小颗粒,但大小基本保持均匀.从图

3e 和 3f 可观察到样品 C/Ti 在 700 °C 煅烧之后,少数微球产生黏连,大多数的微球形状保持较好.可以得出,TiO₂成功地对 C 微球进行了包覆,该样品为核壳结构的 C/TiO₂复合物.图 4 为未煅烧前的 C/Ti 和 700 °C 下 N₂氛围煅烧后 C/Ti-700 复合物的 TEM 图像.从图 4 中可以看出,煅烧前后 C/TiO₂复合微球的形貌未变,与 SEM 观察结果一致.

2.3 复介电常数分析

图 5 为样品 C 和 C/TiO₂复合材料的相对复介电常数实部 ϵ' 和虚部 ϵ'' 随频率的变化关系.在 2~18 GHz 频率范围,从图 5 可以看出每种复合材料的介电常数实部与虚部分别随频率的增加呈下降趋势.从图 5a 和 5c 可以看出:不管是 C 复合材料还是 C/TiO₂复合材料,其介电常数实部都随碳化温度的升高而升高;同温度下碳化的样品,C/TiO₂复合材料比 C 复合材料具有更高的介电常数实部,如 C-900 复

合材料的介电常数实部最大值为 30.0,最小值为 13.0,进行 TiO₂包覆后的 C/Ti-900 复合材料介电常数实部最大值提高至 42.5,最小值提高至 18.5;从图 5b 可以看出:在 10 GHz 前,C-800 复合材料具有最高的介电常数虚部,在该频率后,C-800 与 C-900 复合材料的介电常数虚部相当;在整个测试频率范围,碳化温度最低的 C-700 复合材料具有最小的介电常数虚部.从图 5d 可以发现:C/TiO₂复合材料的虚部随碳化温度的升高而增加.比较图 5b 和 5d 还可以发现:在相同的碳化温度下,C 复合材料比 C/TiO₂复合材料的介电常数虚部要高,这种结果正好与介电常数实部相反.总之,对碳材料来说,碳化温度越高,其介电常数实部和虚部一般越大,这主要原因是碳化温度越高,碳材料的石墨化程度就越高^[22-24].

材料的介电损耗主要取决于极化损耗,包括离

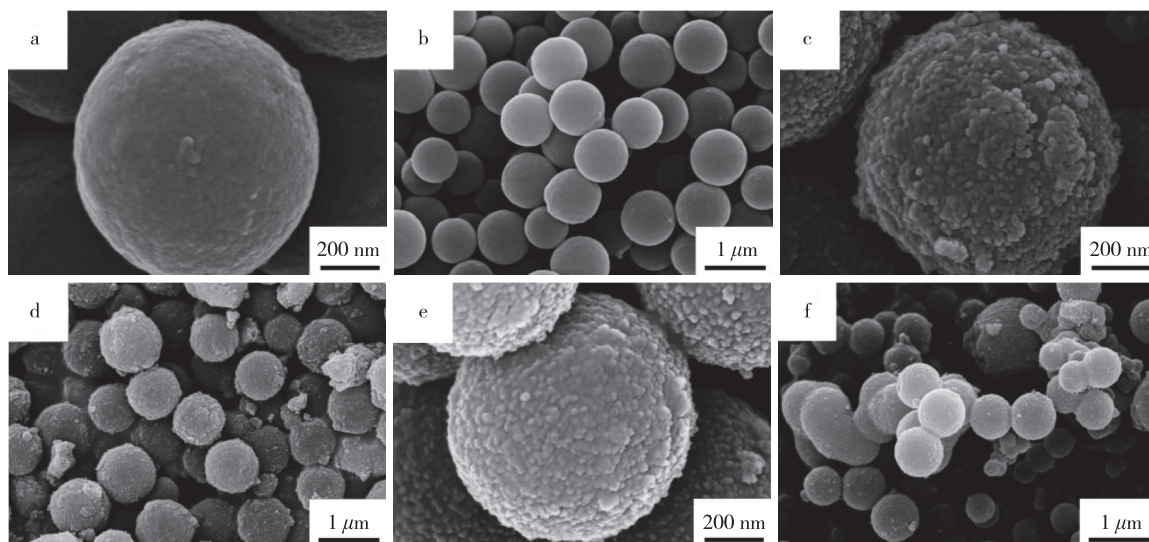


图 3 样品 C (a 和 b)、C/Ti (c 和 d) 和 C/Ti-700 (e 和 f) 的 SEM 图

Fig. 3 SEM images of samples C (a and b), C/Ti (c and d) and C/Ti-700 (e and f)

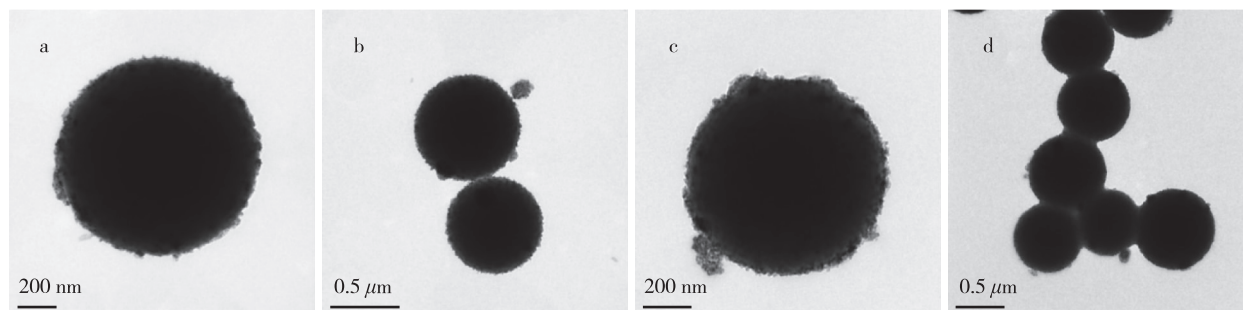


图 4 样品 C/Ti (a 和 b) 和 C/Ti-700 (c 和 d) 的 TEM 图

Fig. 4 TEM images of samples C/Ti (a and b) and C/Ti-700 (c and d)

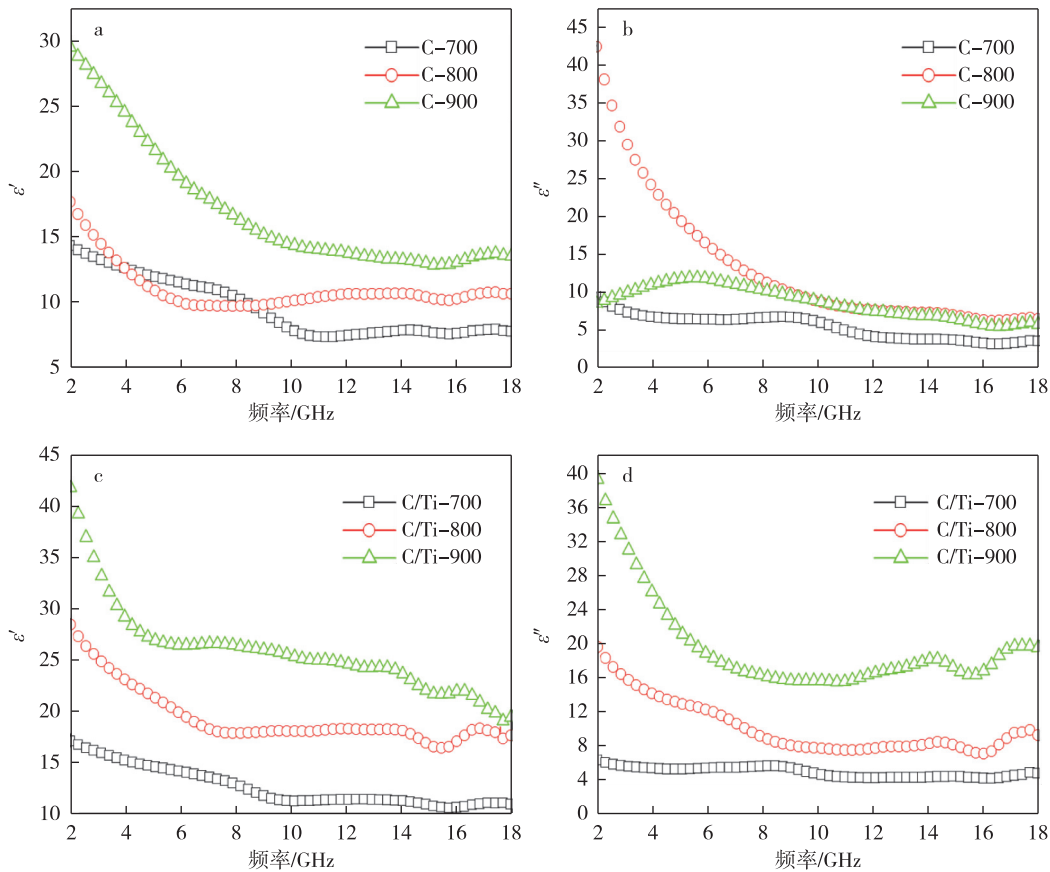


图5 C/石蜡复合材料(a和b)和C/TiO₂/石蜡复合材料(c和d)的相对复介电常数实部(a和c)和虚部(b和d)随频率的变化曲线

Fig. 5 Variation of real part (a and c) and imaginary part (b and d) of relative complex permittivity of C/paraffin and C/TiO₂/paraffin composites with frequency

子极化、电子极化、电偶极子极化和界面极化。由于电子极化和离子极化通常非常快(10⁻¹⁵ ~ 10⁻¹³ s),所以它们在2~18 GHz对介电损耗的贡献可以排除在外^[25]。对碳材料来说,由于其具有较高的电导率,因此其介电损耗还包括电导损耗。在本文制备的材料中,在相同的碳化温度下,C/TiO₂复合材料的介电常数实部比C复合材料高的部分原因是C/TiO₂复合材料具有更多的界面,从而导致界面极化增强;而C复合材料的介电常数虚部比C/TiO₂复合材料高的原因是C比TiO₂具有更高的电导率导致的。

为了进一步研究制备的复合材料对微波的吸收性能,这里应用传输线理论计算材料的反射损耗。根据传输线理论,反射损耗L_R可表示为

$$L_R = 20 \log \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right|, \quad (1)$$

式中,Z_{in}表示微波输入阻抗,Z₀表示自由空间阻抗,其表达式分别为

$$Z_{in} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \left(\frac{2\pi f d}{c} \right) \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \right], \quad (2)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}, \quad (3)$$

其中,ε₀和μ₀分别为自由空间介电常数和磁导率,ε_r和μ_r分别为复合材料相对复介电常数和磁导率,c为真空光速,f为微波频率,d是复合材料厚度。由上述公式可知,反射损耗与材料的介电常数、磁导率和厚度有关。由于在本文的研究中所有材料都为非铁磁性材料,故其相对复磁导率实部和虚部分别约为1和0。将上述参数代入反射损耗式(1)计算,得到如图6和7所示的反射损耗随频率的变化曲线。

从图6可以看出每种C复合材料的吸收峰随厚度增加向低频移动,这一现象可以用四分之一波长理论来解释^[26]。从图6a和6b可以看出:当层厚为1.6 mm时,C-700复合材料在17.1 GHz处吸收最强,反射损耗值达到-41.2 dB;当层厚为2.5 mm时,

该复合材料低于-10 dB(吸收率 90%)的最大有效吸收带宽为 4.5 GHz,范围从 8.6 到 13.1 GHz.根据图 6c 和 6d, C-800 复合材料吸收峰的峰宽减小,层厚为 1.5 mm 时,在 15.9 GHz 处出现最小的反射损耗值(-12.8 dB),最大有效吸收带宽为 3.2 GHz(13.9~17.1 GHz).由图 6e 和 6f 可以看出, C-900 复合材料层厚为 1.5 mm 时在 13.8 GHz 处出现最小反射损耗值(-13.9 dB),最大有效吸收带宽为 3.7 GHz(12.2~15.9 GHz).

图 7 为 C/TiO₂ 复合材料反射损耗随频率的变化

关系.由图 7a 和 7b 可看出: C/Ti-700 复合材料层厚为 2.0 mm 时,在 11.3 GHz 处出现反射损耗最小值-30.0 dB(吸收率为 99.9%);当层厚为 1.5 mm 时,出现 4.2 GHz 的最大有效吸收带,范围从 13.4 到 17.6 GHz.由图 7c 和 7d 可发现: C/Ti-800 复合材料层厚为 1.5 mm 时,在 11.6 GHz 处出现最小的反射损耗值(-15.0 dB);最大有效吸收带宽为 2.2 GHz(10.7~12.9 GHz).由图 7e 和 7f 可以看出: C/Ti-900 复合材料在所有层厚范围反射损耗都大于-10 dB;层厚为 1.5 mm 时在 9.6 GHz 处出现最小反射损耗

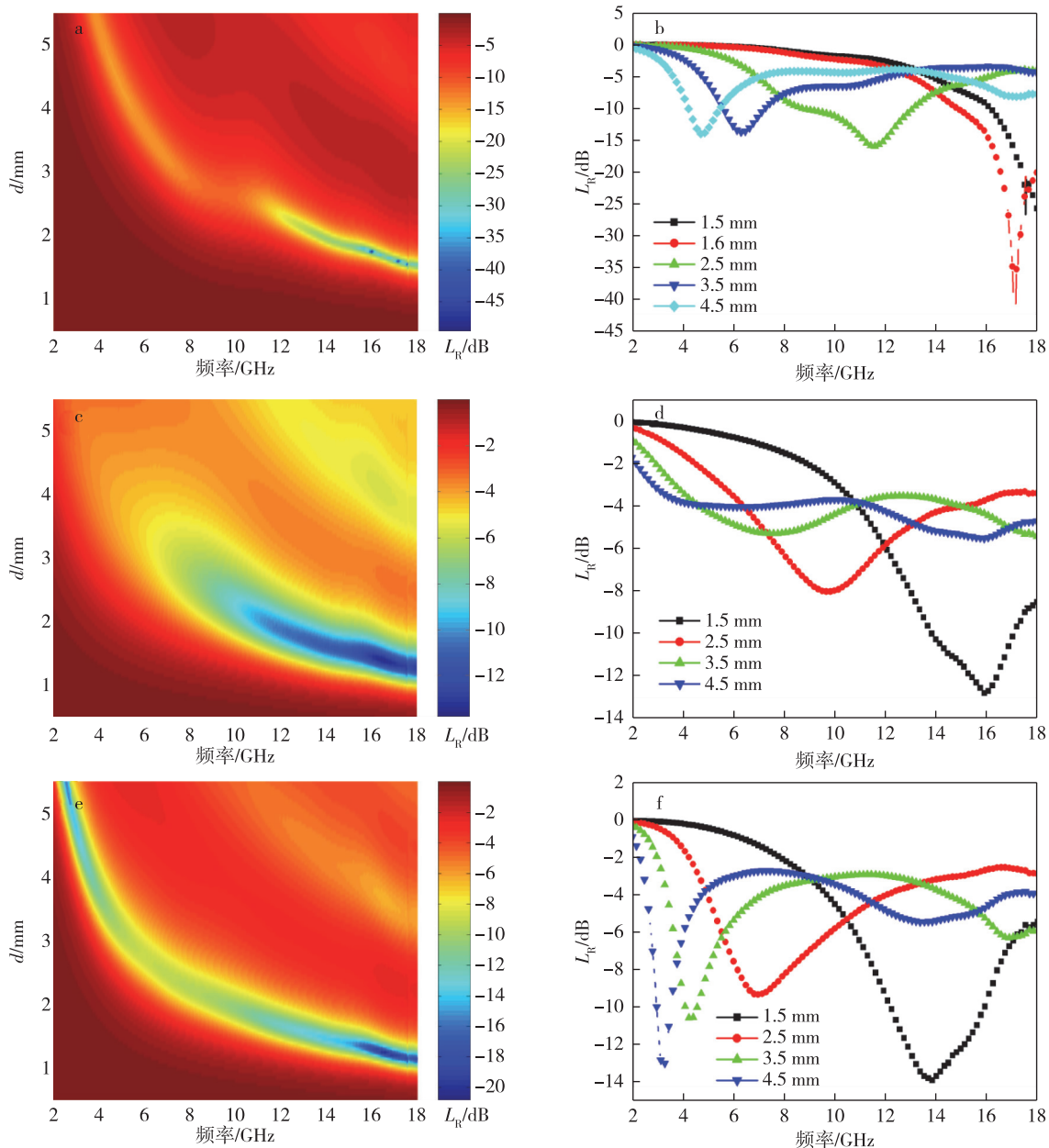


图 6 C-700(a 和 b)、C-800(c 和 d) 和 C-900(e 和 f) 复合材料的反射损耗及其部分特定层厚下的反射损耗随频率的变化曲线

Fig. 6 Reflection loss maps and typical reflection loss plots (b, d) with some specific absorber thickness of C-700 (a and b), C-800 (c and d) and C-900 (e and f) composites

(-7.7 dB).

对比同温度下碳化的 C 复合材料和 C/TiO₂ 复合材料的反射损耗曲线可以发现:在相同的层厚下 C/TiO₂ 复合材料的反射损耗峰值处的频率比 C 复合材料反射损耗峰值处的频率更低.虽然 C-700 复合材料最小反射损耗(-41.2 dB)比 C/Ti-700 复合材料的最小反射损耗(-30.0 dB)低,但总体来说,在相同的层厚下(如 1.5、2.5、3.5 和 4.5 mm),C/Ti-700 复合材料具有更低的反射损耗峰值;对于 C-800 和

C/Ti-800 复合材料,在所有层厚范围,C/Ti-800 复合材料具有更低的反射损耗峰值,但是对于 C-900 和 C/Ti-900 复合材料,在所有层厚范围,C-900 复合材料具有更低的反射损耗峰值.

3 结论

本文使用水热法成功地制备出了碳微球和核壳结构的碳/二氧化钛复合微球,并对制备出的碳微球和碳/二氧化钛复合微球进行了高温碳化,在 2~18

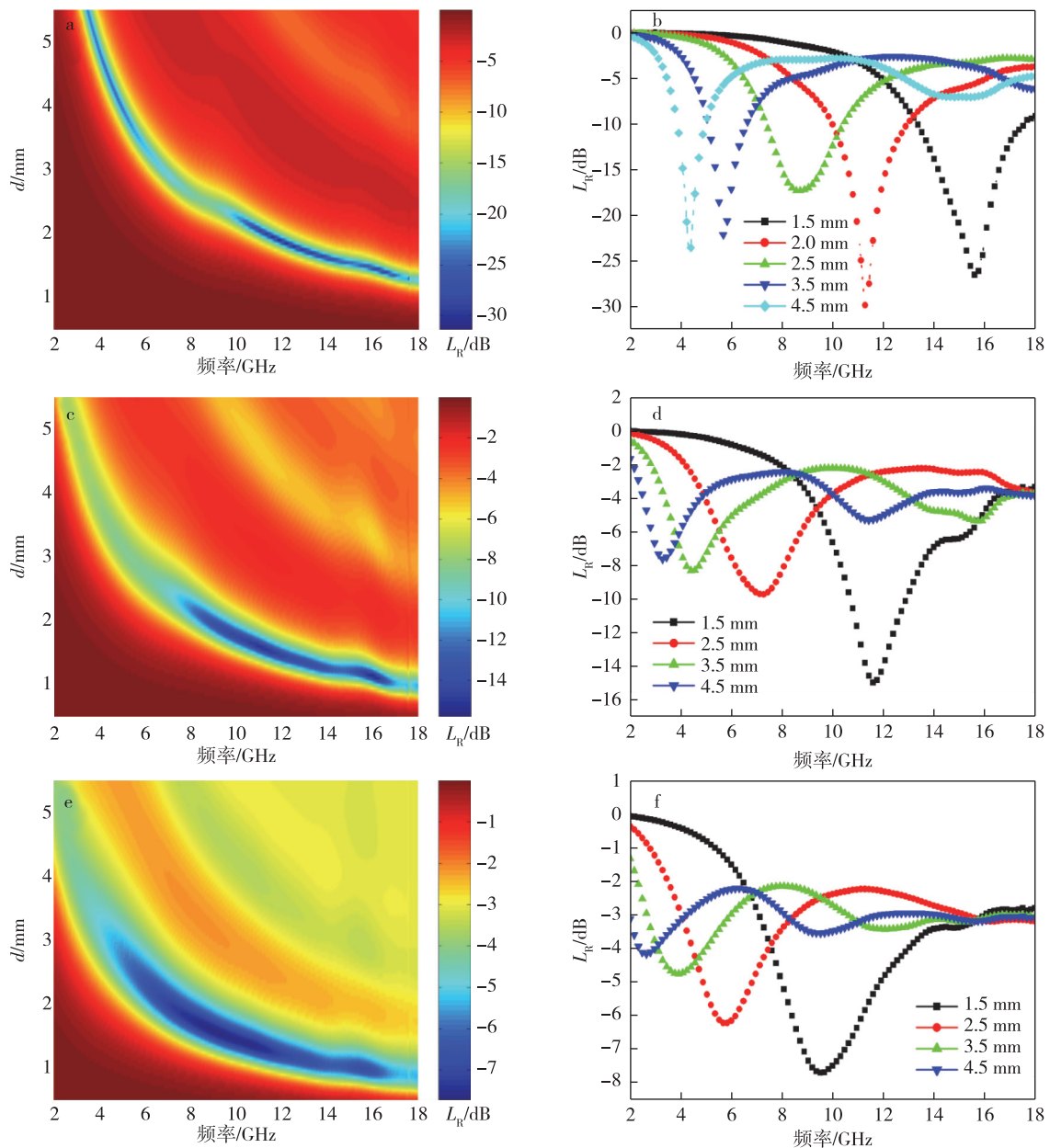


图 7 C/Ti-700(a 和 b)、C/Ti-800(c 和 d)和 C/Ti-900(e 和 f)复合材料的反射损耗及其部分特定层厚下的反射损耗随频率的变化曲线

Fig. 7 Reflection loss maps and typical reflection loss plots (b and d) with some specific absorber thickness of C/Ti-700 (a and b), C/Ti-800 (c and d) and C/Ti-900 (e and f) composites

GHz 频率范围测量了高温碳化后的碳和碳/二氧化钛复合材料的动态复介电常数,并根据传输线理论计算了这些复合材料的反射损耗.结果表明:在相同的层厚下,碳/二氧化钛复合材料的反射损耗峰值处的频率比碳复合材料反射损耗峰值处的频率更低;总体来说,在相同的层厚下,700 °C 和 800 °C 下碳化的碳/二氧化钛复合材料比相对应的碳复合材料具有更低的反射损耗峰值,然而 900 °C 下碳化的碳/二氧化钛复合材料比对应的碳复合材料的反射损耗峰值要高.该研究对于制备和设计轻质微波吸收材料具有重要的借鉴意义.

参考文献

References

- [1] 梁骥,闻雷,成会明,等.碳材料在电化学储能中的应用[J].电化学,2015,21(6):505-517
LIANG Ji, WEN Lei, CHENG Huiming, et al. Applications of carbon materials in electrochemical energy storage [J]. Journal of Electrochemistry, 2015, 21 (6): 505-517
- [2] 李明华,邵梦珠,周康,等.碳材料在橡胶中的应用研究进展[J].橡胶工业,2015,62(11):697-702
LI Minghua, SHAO Mengzhu, ZHOU Kang, et al. Evolution of function modification techniques by carbon materials combined in rubbers [J]. China Rubber Industry, 2015, 62 (11): 697-702
- [3] 刘明贤,缪灵,陆文静,等.多孔碳材料的设计合成及其在能源存储与转换领域中的应用[J].科学通报,2017,62(6):590-605
LIU Mingxian, MIAO Ling, LU Wenjing, et al. Porous carbon materials: design, synthesis and applications in energy storage and conversion devices [J]. Chinese Science Bulletin, 2017, 62 (6): 590-605
- [4] 孙凯,张希华,李斌,等.能源互联网背景下的新型碳材料在超级电容器储能技术中的应用与发展[J].功能材料,2018,49(2):2043-2053
SUN Kai, ZHANG Xihua, LI Bin, et al. The application and development of novel carbon materials in supercapacitor energy storage technology under energy internet background [J]. Journal of Functional Materials, 2018, 49 (2): 2043-2053
- [5] 王甲泰,郑思康,王雅蓉,等.碳材料在锂硫电池中的应用研究[J].无机盐工业,2018,50(9):1-6
WANG Jiatai, ZHENG Sikang, WANG Yarong, et al. Study on application of carbon materials in lithium-sulfur batteries [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2018, 50 (9): 1-6
- [6] 王军霞,毕卓能,梁柱荣,等.新型碳材料在钙钛矿太阳能电池中的应用研究进展[J].物理学报,2016,65(5),DOI:10.7498/aps.65.058801
WANG Junxia, BI Zhuoneng, Liang Zhurong, et al. Progress of new carbon material research in perovskite solar cells [J]. Acta Physica Sinica, 2016, 65 (5), DOI: 10.7498/aps.65.058801
- [7] 倪军,罗小芳,詹勇,等.新型碳材料在催化领域中的应用及进展[J].分子催化,2016,30(3):282-296
NI Jun, LUO Xiaofang, ZHAN Yong, et al. Application and progress of the novel activated carbon in the field of catalysis [J]. Journal of Molecular Catalysis (China), 2016, 30 (3): 282-296
- [8] 邵佳,李洋,周瑞莎,等.有序介孔碳材料的制备研究及应用[J].化工新型材料,2016,44(2):18-20
SHAO Jia, LI Yang, ZHOU Ruisha, et al. Preparation and application of ordered mesoporous carbon material [J]. New Chemical Materials, 2016, 44 (2): 18-20
- [9] 徐超,陈胜,汪信.基于石墨烯的材料化学进展[J].应用化学,2011,28(1):1-9
XU Chao, CHEN Sheng, WANG Xin. Progress in the chemistry of materials based on graphene [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2011, 28 (1): 1-9
- [10] 胡小赛,沈勇,王黎明,等.吸波材料研究新进展[J].炭素技术,2016,35(2):11-17
HU Xiaosai, SHEN Yong, WANG Liming, et al. Research progress of novel microwave absorbing materials [J]. Carbon Techniques, 2016, 35 (2): 11-17
- [11] Che B E, Nguyen B, Nguyen L T T, et al. The impact of different multi-walled carbon nanotubes on the X-band microwave absorption of their epoxy nanocomposites [J]. Chemistry Central Journal, 2015, 9 (1): 10-22
- [12] Ren F, Zhu G M, Xie J Q, et al. Cyanate ester filled with graphene nanosheets and multi-walled carbon nanotubes as a microwave absorber [J]. Journal of Polymer Research, 2015, 22 (5): 89-95
- [13] 李波,邹艳红,刘洪波,等.Ni/石墨纳米复合材料的制备及微波吸收性能研究[J].炭素技术,2007,26(4):6-11
LI Bo, ZOU Yanhong, LIU Hongbo. Preparation and microwave absorption properties of Ni/graphite nanocomposites [J]. Carbon Techniques, 2007, 26 (4): 6-11
- [14] 侯进,陈国华.层状无机物和石墨复合涂层的吸波特性研究[J].红外与毫米波学报,2008,27(3):202-204
HOU Jin, CHEN Guohua. Research on microwave absorbing properties of composite coatings made by layered inorganics and graphite [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2008, 27 (3): 202-204
- [15] Wu K J, Shen K, Liu W F, et al. Resonant Raman study of dye instability in dye-sensitized TiO₂ system: the effect of surface states [J]. Physica Status Solidi (a), 2012, 209 (7): 1369-1375
- [16] Zhang X, Huang Y, Chen X F, et al. Hierarchical structures of graphene@CoFe₂O₄@SiO₂@TiO₂ nanosheets: synthesis and excellent microwave absorption properties [J]. Materials Letters, 2015, 158: 380-383
- [17] Bhattacharya P, Hatui G, Mandal A, et al. Investigation of microwave absorption property of the core-shell structured Li_{0.4}Mg_{0.6}Fe₂O₄/TiO₂ nanocomposite in X-band region [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2014, 590: 331-340
- [18] Dadfar M R, Ebrahimi S A S, Dadfar M. Microwave absorption properties of 50% SrFe₁₂O₁₉-50% TiO₂ nanocomposites with porosity [J]. Journal of Magnetism and

- Magnetic Materials,2012,324(24):4204-4208
- [19] Wang T, He J P, Zhou J H, et al. Microwave absorption properties and infrared emissivities of ordered mesoporous C-TiO₂ nanocomposites with crystalline framework [J]. Journal of Solid State Chemistry, 2010, 183 (12): 2797-2804
- [20] Zhao B, Shao G, Fan B B, et al. Effect of the TiO₂ amounts on microwave absorption properties of Ni/TiO₂ heterostructure composites [J]. Physica B (Condensed Matter), 2014, 454: 120-125
- [21] 石凯,李巧玲.介孔 TiO₂中空微球的制备及其光催化性能研究[J].化学试剂,2017,39(11):1137-1141
SHI Kai, LI Qiaoling. Preparation and photocatalytic properties of mesoporous TiO₂ hollow microspheres [J]. Chemical Reagent, 2017, 39(11): 1137-1141.
- [22] Du Y C, Liu T, Yu B, et al. The electromagnetic properties and microwave absorption of mesoporous carbon [J]. Materials Chemistry and Physics, 2012, 135(2/3): 884-891
- [23] Wang J C, Zhou H, Zhuang J D, et al. Magnetic γ -Fe₂O₃, Fe₃O₄, and Fe nanoparticles confined within ordered mesoporous carbons as efficient microwave absorbers [J]. Physical Chemistry Chemical Physics, 2015, 17 (5): 3802-3812
- [24] 潘利敏,欧阳海波,刘雪,等.水热共沉积 C/C 复合材料的 Ni 催化石墨化及性能研究[J].陕西科技大学学报,2018,36(5):123-128
PAN Limin, OUYANG Haibo, LIU Xue, et al. Study on Ni catalytic graphitization and properties of C/C composites prepared by hydrothermal co-deposition [J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2018, 36 (5): 123-128
- [25] Shen G Z, Ren J Z, Zhao B, et al. Magnetic hollow mesoporous carbon composites with impedance matching for highly effective microwave absorption [J]. Journal of Materials Science, 2019, 54(5): 4024-4037
- [26] 刘思达,齐晷华,郑水蓉.不同形貌碳材料的电磁波吸收性能研究[J].化工新型材料,2018,46(10):97-100
LIU Sida, QI Shuhua, ZHENG Shuirong. Study on electromagnetic wave absorbing property of carbon material with different morphology [J]. New Chemical Materials, 2018, 46(10): 97-100

Preparation and microwave absorption performances of C/TiO₂ composites with core/shell structure

WANG Yu¹ XUE Xingjian¹ CAO Han¹ SHEN Guozhu¹

¹ School of Physics and Optoelectronic Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Carbon microspheres and C/TiO₂ microspheres with core/shell structure were successfully synthesized by hydrothermal method using glucose and Ti(SO₄)₂ as carbon source and titanium source, respectively. To improve the dielectric loss of these materials, the synthesized samples were carbonized at different temperatures under N₂ atmosphere. The structures and morphologies of the samples were characterized by X-ray diffraction, scanning electron microscopy and transmission electron microscopy. The relative complex permittivity of the composites was measured by a vector network analyzer in the frequency range of 2–18 GHz and their reflection losses were calculated. The results show that the carbon microspheres have high microwave dielectric loss. After the carbon microspheres were composited with TiO₂, the absorption peak migrated to low frequency under the same thickness. Particularly, the carbon and C/TiO₂ composites carbonized at 700 °C and 800 °C display excellent microwave absorption performances. The minimum reflection loss value arrives at -41.2 dB and -30.0 dB and the maximum band width less than -10 dB is 4.5 GHz and 4.2 GHz for C-700 and C/Ti-700 composites, respectively.

Key words carbon spheres; C/TiO₂ composite; complex permittivity; complex permeability; reflection loss