doi:10.6043/j.issn.0438-0479.201704053

**钛酸钡/还原氧化石墨烯纳米复合物的制备及其微波吸收特性**

陈 强，刘 翔，谢清水，王来森，彭栋梁\*

（厦门大学材料学院，福建 厦门 361005）

摘要：采用溶剂热法制备出BaTiO3纳米颗粒，将不同质量的BaTiO3纳米颗粒与氧化石墨烯（GO）进行复合，并经过氩气保护下煅烧得到钛酸钡/还原氧化石墨烯（BaTiO3/RGO）纳米复合物。利用X射线衍射（XRD）、扫描电子显微镜（SEM）和透射电子显微镜（TEM）等手段系统地表征和分析了样品的物相结构以及表面形貌，并用矢量网络分析（VNA）仪测试样品的微波吸收特性。当制备的BaTiO3/RGO纳米复合物中BaTiO3的质量分数为80%时，纳米复合物展现了良好的微波吸收性能。当BaTiO3/RGO纳米复合物的厚度为2.0 mm时，在频率为10.48 GHz处的反射损耗达到-33.43 dB，且在9.20~11.60 GHz的频段内反射损耗小于-10 dB。实验结果表明BaTiO3/RGO纳米复合物具有优异的电磁波吸收性能。

**关键词：**BaTiO3/RGO纳米复合物；溶剂热法；微波吸收特性

**中图分类号：**TM 25; O 614.2 **文献标志码：** A

近年来，随着无线通讯技术的发展以及雷达等微波系统的广泛应用，“电磁辐射和污染”日益严重[1]。国内外科研工作者研究了大量不同种类的吸波材料，如碳材料[2-4]，铁氧体[5-6]以及导电高分子[7-8]等。如今，纳米技术的进步和发展为吸波材料的研究提供了新的思路。纳米介电材料可通过介电极化弛豫效应来衰减电磁波的能量，在高频波段对电磁波的吸收效果尤为显著[9-10]。纳米材料具有巨大的比表面积，当处于交变电磁场中时，材料表面将产生多种极化损耗衰减电磁波能量[11-12]。钛酸钡（BaTiO3）纳米颗粒作为一种典型的纳米介电材料，具有良好的化学稳定性、高介电常数和介电响应[13-14]，是一种很有发展前景的电磁波吸收材料。Zhu等[15]利用液相法制备了BaTiO3纳米管，当厚度为2.0 mm时其最小反射损耗达到了-21.8 dB；Tian等[16]将BaTiO3纳米颗粒在氢气气氛中700 ℃煅烧4 h后，其最小反射损耗达到了-36.9 dB。但由于在高频时BaTiO3吸波材料的反射系数较大，导致其性能不够理想[17]。

还原氧化石墨烯（RGO）具有低密度、高比表面积、高电子迁移速率、优异的导热性等优点[18-19]，且其特殊的二维片状结构也有利于电磁波的衰减[20-21]，可作为轻重量级的吸波材料[22-23]。Wen等[24]研究发现RGO的微波衰减性能优于纳米石墨片（GNs）。但RGO作为吸波材料使用时，其过高的介电常数会导致反射系数较大而吸收系数较小，不能满足电磁波吸收的阻抗匹配特性[25-26]。因此，国内外研究者通过将RGO与不同材料相复合来调控介电常数，从而改善其阻抗匹配并提高电磁波吸收性能。Singh等[27]制备RGO/丁腈橡胶复合物，其最小反射损耗达到了-57 dB。Zong等[28]制备了Fe3O4/RGO纳米复合物，其最小反射损耗达到了-44.6 dB。Wen等[29]制备了RGO/二氧化硅纳米复合物，在温度为473 K时，其最小反射损耗达到了-38 dB。因此，将纳米介电材料BaTiO3和RGO进行复合，从而制备出BaTiO3/RGO纳米复合物，不仅可以通过改变其复介电常数来改善材料的阻抗匹配特性，而且，随着RGO的引入，BaTiO3/RGO纳米复合物将形成更多的表界面，由于界面极化效应以及协同效应的作用，复合材料的微波吸收性能得到有效加强，这相比于单一组分作为吸波材料具有明显的优势。

本研究采用溶剂热法制备BaTiO3纳米颗粒，将不同质量BaTiO3纳米颗粒与氧化石墨烯（GO）进行复合，并经过氩气保护下煅烧得到BaTiO3/RGO纳米复合物。通过改变原材料中GO的质量分数，从而制备出不同质量分数的BaTiO3/RGO纳米复合物，并测试其微波吸收特性。

# 1 实验部分

## **1.1 试剂和仪器**

乙醇、四氯化钛（TiCl4）、八水合氢氧化钡（Ba(OH)2·8H2O）、氢氧化钠（NaOH）、十六烷基三甲基溴化铵（CTAB）以及乙二胺均为分析纯化学试剂，购自国药集团化学试剂有限公司。采用Hummers法合成GO[25]。去离子水为实验室自制。

D 8 - Advance X射线衍射仪（德国Bruker公司）；Agilent Technologies N5222A型矢量网络分析仪（美国安捷伦公司）；SU70场发射扫描电子显微镜（日本日立仪器公司）；TEM-1400透射电子显微镜（日本电子株式会社）；SDT Q600热重/差热联用热分析仪（美国TA仪器公司）。

## **1.2 BaTiO3/RGO纳米复合物的制备**

取220 μL TiCl4分散于20 mL乙醇中，配制成TiCl4的乙醇溶液。取1.2416 g Ba(OH)2·8H2O溶于20 mL去离子水中，超声30 min使其完全溶解。然后将TiCl4的乙醇溶液逐滴加入Ba(OH)2溶液中，并滴加浓度为0.2 mol/L的NaOH溶液，使混合溶液pH＞13。搅拌120 min后将溶液转入100 mL的聚四氟乙烯内衬的反应釜中，并将反应釜置于真空干燥箱中240 ℃下保温24 h进行溶剂热反应。反应结束后，离心收集产物并用去离子水和无水乙醇交替洗涤3次，并冷冻干燥24 h后得到BaTiO3纳米颗粒。

将40.0 mg GO在超声条件下分散于20 mL H2O中，形成均匀的棕褐色溶液。将160 mg BaTiO3纳米颗粒和6.0 mg CTAB加入溶液，超声2 h使其形成均匀的悬浮液。并在溶液中滴加5 mL乙二胺，搅拌12 h后转入50 mL的聚四氟乙烯内衬的反应釜中。将反应釜置于真空干燥箱中200 ℃下保温180 min进行溶剂热反应。反应结束后，离心收集产物并用去离子水和无水乙醇交替洗涤3次，冷冻干燥24 h后得到样品。随后将样品在氩气气氛下600 ℃退火处理120 min得到最终产物，记为S1。实验条件不变，只改变加入的BaTiO3质量为93和60 mg，制得的产物分别记为S2和S3。不加入GO时得到的产物，记为S0。

## **1.3 样品测试**

采用D 8 - Advance X射线衍射仪分析样品的物相结构，Cu Kα的波长为0.15418 nm，工作电压为40 kV，工作电流为40 mA，测试的角度范围为5°~90°，测量模式为平板扫描模式。使用SU70场发射扫描电子显微镜（SEM）和JEM-1400电子透射电子显微镜（TEM）来分析样品表面及形貌特征。

采用热重/差热联用热分析仪在空气气氛下对样品进行热重分析，加热速率为10 ℃/min。

采用同轴线法测量样品的微波吸收特性，测量时先将样品与石蜡混合（样品的质量分数为40%）后，压制成外径为7.00 mm，内径为3.04 mm的圆环。然后使用Agilent Technologies N5222A型矢量网络分析仪（vector network analyzer，VNA）测试样品的电磁参数，其测试频率范围为2~18 GHz，并根据电磁参数计算出样品的反射损耗。

# 2 结果及讨论

## **2.1 BaTiO3/RGO纳米复合物的结构与形貌**

图1（a）和（b）为BaTiO3纳米颗粒的TEM和SEM图，从图中可以看出，制备而得的产物呈规则的球形，其尺寸大小约为70 nm，粒径较为均一，且分散性良好，并未发现团聚现象。图1（c）和（d）为典型的BaTiO3/RGO纳米复合物的TEM和SEM图，从图中可以看出，BaTiO3纳米颗粒均匀负载在RGO纳米片上且其尺寸大小保持不变。

图2（a）分别为GO、RGO、BaTiO3纳米颗粒和BaTiO3/RGO纳米复合物（S2）的XRD谱图。GO的衍射曲线在2*θ*=9.8°处有一个强烈衍射峰，表明GO具有有序的层状结构[26-27]。RGO在2*θ*=26.0º处存在一个较弱的衍射峰，这与文献中关于RGO的特征峰的位置相符合[28]。BaTiO3纳米颗粒的衍射峰都较为尖锐，且在2*θ*=21.99°，31.56°，38.87°，45.20°，50.89，56.09°，65.77°，70.30°，74.92°，79.06°以及83.30°处的衍射峰对应于立方相BaTiO3（JCPDS:31-0174）的（100），（110），（111），（200），（210），（211），（221），（300），（310），（311）和（222）晶面，这表明溶剂热法制备的BaTiO3纳米颗粒的结晶性良好且为立方相结构。在BaTiO3/RGO纳米复合物的XRD谱图中只观察到BaTiO3的衍射峰，这是由于BaTiO3纳米颗粒的衍射峰很强而RGO衍射峰强度较低[29]，且BaTiO3的衍射峰的峰位没有改变说明复合后BaTiO3纳米颗粒的晶体结构并没有发生变化。由图2（b）可知，温度550 ℃以上，样品的热重曲线趋于水平，说明S1、S2和S3中BaTiO3的质量分数约为90.69%，80.00%和77.60%，相对应的RGO的质量分数约为9.31%，20.00%和22.40%。

C:\Users\Administrator\Desktop\btand btrgoSEM TEM.tif

图1 BaTiO3纳米颗粒（a、b）和BaTiO3/RGO纳米复合物（c、d）的TEM和SEM图

Fig.1 The TEM and SEM images of BaTiO3 nanoparticles (a, b) and BaTiO3/RGO nanocomposite (c, d).

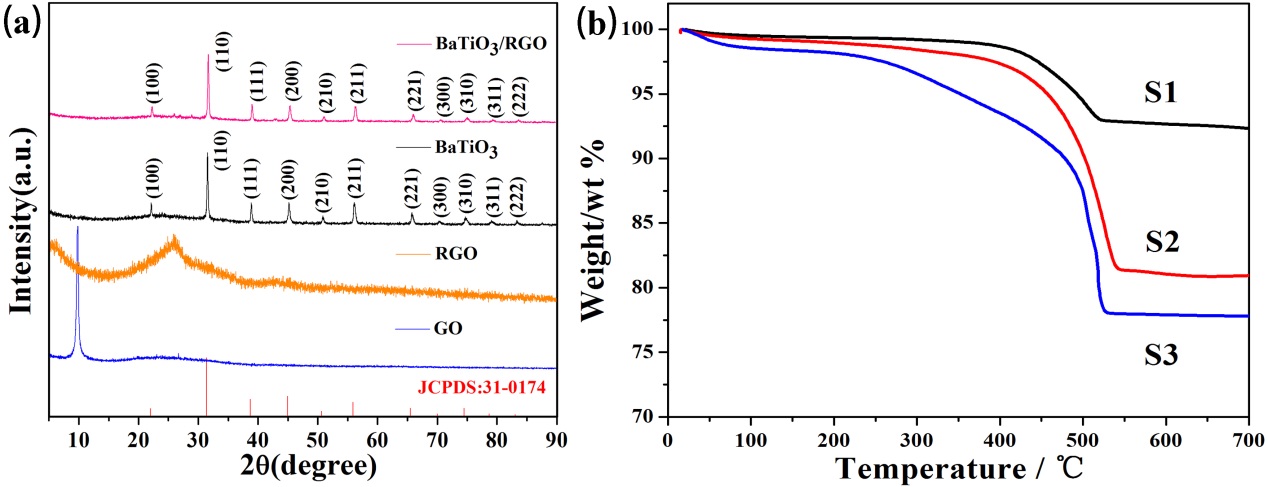


图2 GO、RGO、BaTiO3纳米颗粒和BaTiO3/RGO纳米复合物（S2）的XRD谱图（a）和样品S1、S2和S3热重曲线图（b）

Fig.2 XRD patterns of GO, RGO, BaTiO3 nanoparticles and BaTiO3/RGO nanocomposites (S2) (a) and the TGA curves of the samples of S1, S2 and S3 (b).

## **2.2 BaTiO3/RGO纳米复合物的吸波特性**

图3（a）和（b）为不同样品的复介电常数实部*ɛ′*和虚部*ɛ′′*在频率2~18 GHz内的变化规律。从图中可以发现S0、S1、S2、S3的复介电常数实部*ɛ′*和虚部*ɛ′′*的值依次增大，这表明样品的复介电常数实部*ɛ′*和虚部*ɛ′′*随着RGO含量的升高而增大。这是由于与BaTiO3纳米颗粒相比，RGO的介电常数较大[22]。由图3（a）可知，随着频率增大，不同GO质量分数样品的复介电常数实部*ɛ′*值整体上呈减小趋势。其中，S0实部*ɛ′*值变化幅度较小，从3.93减小为3.60；S1的*ɛ′*值从7.07减小为6.38；S2的*ɛ′*值从18.62减小为12.61；而S3的*ɛ′*值则从23.95减小为12.41。因此可以看出，S0和S1样品弛豫现象并不明显，而随着RGO含量的增加，样品S2和S3产生了明显的弛豫现象。由图3（b）可知，当频率升高，S1、S2和S3的复介电常数虚部*ɛ′′*值整体上呈先减小后再增大的趋势。上述结果表明，可通过调整样品中BaTiO3和RGO两者的质量分数，来调控BaTiO3/RGO纳米复合物的介电常数，进而增加材料的极化特性，改善其阻抗匹配。

吸波材料的介电损耗正切值tan *δɛ*= *ɛ′′*/*ɛ′*，可用来表征其介电损耗的大小[30]。图3（c）为不同GO质量分数样品的损耗角正切值在频率2~18 GHz内的变化规律。当频率升高时，S1、S2、S3损耗角正切值呈现先减小后增大的趋势。当频率为2 GHz时，S1、S2、S3的损耗角正切值依次为0.23、0.59和0.74。这表明GO质量分数增大时，制得的BaTiO3/RGO纳米复合物的损耗正切值逐渐增大。这是由于RGO与BaTiO3相复合时，BaTiO3/RGO纳米复合物在电磁波中将发生界面极化[31]，RGO与其负载的BaTiO3纳米颗粒间产生电荷转移后引入载流子的运动，引起介电损耗。当GO质量分数增大时，制备的BaTiO3/RGO纳米复合物形成更丰富的表界面，从而界面极化产生更强的介电损耗。图3（d）展示了样品S0、S1、S2和S3的复介电常数虚部随实部的变化关系。通常，通过Cole-Cole半圆来判断材料是否产生德拜弛豫[32]。从图中可以看出，样品S2和S3存在明显的弛豫现象。

F:\陈强论文\1.tif

图3 样品S0、S1、S2和S3的*ɛ′*（a）、*ɛ′′*（b）、tan δ*ɛ*（c）和Cole-Cole半圆（d）

Fig.3 The *ɛ′* (a), *ɛ′′* (b), tan δ*ɛ* (c) and the Cole-Cole semicircles (d) of the samples of S0, S1, S2 and S3

为了进一步衡量样品的吸波性能，先计算出微波吸收层的归一化输入阻抗*Z*in，其由下列公式得出：

再由下列公式计算出样品的反射损耗[33-34]：

其中，*c*为微波在真空的传播速度，*μr*和*ɛr*分别为吸波材料的复磁导率和复介电常数，*t*为微波吸收层的厚度，j为复介电常数表达式*ɛr*= *ɛ′*–j *ɛ′′*中的虚数单位，考虑到BaTiO3/RGO纳米复合物的磁性极为微弱，样品的复磁导率*μr*可近似为1。当反射损耗低于-10 dB时，可认为约10%的微波被反射回，剩余的90%被吸收。

图4（a）~（d）分别为S0、S1、S2和S3在2~18 GHz频率范围内，不同厚度样品的理论反射损耗。样品S0的最小反射损耗仅为-16.72 dB，S1、S2、S3的微波吸收性能相较于S0有了明显的提高。其中，当厚度为5.5 mm时，S1的最小反射损耗为-31.40 dB，且在14.96~17.68 GHz的频段内反射损耗小于-10 dB；当厚度为2.0 mm时，S2的最小反射损耗为-33.43 dB，且9.20~11.60 GHz的频段内反射损耗小于-10 dB；当厚度为1.5 mm时，S3的最小反射损耗为-15.69 dB，且在11.28~15.36 GHz的频段内反射损耗小于-10 dB。S1与S2的最小反射损耗和反射损耗小于-10 dB的频段宽度较为接近，但S1的厚度大于S2，故S1的微波吸收性能不如S2。虽然S3的厚度小于S2，且S3反射损耗小于-10 dB的频段宽度大于S2，但S3的最小反射损耗大于S3，故S3的微波吸收性能也不如S2。综合考虑样品的厚度、反射损耗的大小和反射损耗小于-10 dB的频段宽度等三个参数，可以发现，样品S2展现了最好的微波吸收性能。此外，由图4（c）可知，当吸波层厚度增大，BaTiO3/RGO纳米复合物的反射损耗峰往低频方向移动，这是由于1/4波长相消理论产生的频移现象。样品S2能表现出优异的吸波性能，主要来源于：1）高介电常数的RGO可以调节介电常数的大小，从而改善阻抗匹配，使更多的电磁波进入吸波体内，拓宽吸收频带范围；2）化学法合成的RGO表面带有官能团以及存在缺陷，在电磁场下易产生极化[35-36]；3）二维RGO与BaTiO3纳米粒子构建的三维导电网络能有利于电磁波能量的转化与衰减；4）BaTiO3纳米粒子与RGO产生的界面能有效地增加界面极化效应，增加电磁波能量的吸收[37]。表1中，显示了不同材料的微波吸收性能，综合对比可知，在厚度较小的情况下，S2具有较好的吸波性能。

F:\陈强论文\2.tif

图4样品S0(a)、S1(b)、S2(c)、S3(d)反射损耗图

图4 Microwave reflection loss curves of the samples of S0 (a), S1 (b), S2 (c), S3 (d).

表1 不同材料的微波吸收性能

Tab.1 Microwave absorption properties of different materials

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 材料 | 厚度/mm | 最小反射损耗/dB | 反射损耗小于-10 dB的频段宽度/GHz | 参考文献 |
| BaTiO3纳米管 | 2 | -21.8 | 1.7 | [15] |
| BaTiO3纳米颗粒 | 3 | -36.9 | 2.7 | [16] |
| RGO/丁腈橡胶复合物 | 3 | -57 | 3.5 | [27] |
| Fe3O4/RGO纳米复合物 | 3.9 | -44.6 | 4.3 | [28] |
| S2 | 2 | -33.43 | 2.4 | 本文 |

# 3 结 论

本文采用去离子水和乙醇作为溶剂进行溶剂热反应，成功制备出尺寸大小为70 nm的BaTiO3纳米颗粒。利用CTAB和乙二胺作为表面活性剂，将不同质量比的BaTiO3纳米颗粒与GO复合并在氩气气氛中煅烧120 min后得到BaTiO3/RGO纳米复合物。研究发现通过改变加入的BaTiO3和GO的质量比，可以调控BaTiO3/RGO纳米复合物复介电常数的大小和介电损耗正切值。当制备的BaTiO3/RGO纳米复合物中BaTiO3的质量分数为80%时，纳米复合物展现了良好的微波吸收性能。当其厚度为2.0 mm时，BaTiO3/RGO纳米复合物在频率为10.48 GHz处的反射损耗达到为-33.43 dB，且在9.20~11.60 GHz的频段内的反射损耗小于-10 dB。实验结果表明，BaTiO3/RGO纳米复合物是一种有应用前景的微波吸收材料。此外，本研究可作为后续研究的基础，从而制备出多组元纳米复合物，进而拓宽微波吸收频段和增大反射损耗，同时，也为今后合成其他氧化石墨烯基纳米复合物提供了思路和方法。

**参考文献：**

[1]MAOQIONG L I. Current status and future trends of electromagnetic-wave absorbent with nano-structure [J]. Materials Review, 2002, 16(9):15-17.

[2]LV H, GUO Y, ZHAO Y, et al. Achieving tunable electromagnetic absorber via graphene/carbon sphere composites [J]. Carbon, 2016, 110: 130-137.

[3]CAO M S, SONG W L, HOU Z L, et al. The effects of temperature and frequency on the dielectric properties, electromagnetic interference shielding and microwave-absorption of short carbon fiber/silica composites [J]. Carbon, 2010, 48(3): 788-796.

[4]CAO M S, YANG J, SONG W L, et al. Ferroferric oxide/multiwalled carbon nanotube vs polyaniline/ferroferric oxide/multiwalled carbon nanotube multiheterostructures for highly effective microwave absorption [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2012, 4(12): 6949-6956.

[5]KHAN M A, ULLAH H, Junaid M, et al. Structural, magnetic and dielectric properties of Yb3+ doped BaCo-X hexagonal nanoferrites [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2017, 695: 3674-3681.

[6]SINGH L, MALHOTRA J, SINGH C, et al. Investigation of microwave and electrical characteristics of Co–Zr substituted m-type Ba–Sr hexagonal ferrite [J]. Materials Science-Poland, 2015, 33(2):335-339.

[7]THOMASSIN J M, JÉRÔME C, PARDOEN T, et al. Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials [J]. Materials Science and Engineering: R: Reports, 2013, 74(7): 211-232.

[8]ZHANG H B, HUANG Y, et al. Magnetic and electrically conductive epoxy/graphene/carbonyl iron nanocomposites for efficient electromagnetic interference shielding [J] Composites Science and Technology, 2015, 118: 178-185.

[9]JONSCHER A K. Dielectric relaxation in solids [J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 1999, 32(14): 57-70.

[10]CAO M S, SHI X L, FANG X Y, et al. Microwave absorption properties and mechanism of cagelike ZnO/SiO2 nanocomposites [J]. Applied Physics Letters, 2007, 91(20): 203110.

[11]WANG Z, WU L, ZHOU J, et al. Magnetite nanocrystals on multi-walled carbon nanotubes as a synergistic microwave absorber [J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2013, 117(10): 5446-5452.

[12]LIANG Y, LI Y, WANG H, et al. Co3O4 nanocrystals on graphene as a synergistic catalyst for oxygen reduction reaction [J]. Nature Materials, 2011, 10(10): 780-786.

[13]YUN W S, URBAN J J, GU Q, et al. Ferroelectric properties of individual barium titanate nanowires investigated by scanned probe microscopy [J]. Nano Letters, 2002, 2(5): 447-450.

[14]SAKABE Y, YAMASHITA Y, YAMAMOTO H. Dielectric properties of nano-crystalline BaTiO3 synthesized by micro-emulsion method [J]. Journal of the European Ceramic Society, 2005, 25(12): 2739-2742.

[15]ZHU Y F, ZHANG L, NATSUKI T, et al. Facile synthesis of BaTiO3 nanotubes and their microwave absorption properties [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2012, 4(4): 2101-2106.

[16]TIAN L, YAN X, XU J L, et al. Effect of hydrogenation on the microwave absorption properties of BaTiO3 nanoparticles [J]. Journal of Materials Chemistry A, 2015, 3(23): 12550-12556.

[17]PETROV V M, GAGULIN V V. Microwave absorbing materials [J]. Inorganic Materials, 2001, 37(2): 93-98.

[18]AVOURIS P, CHEN Z, PEREBEINOS V. Carbon-based electronics [J]. Nature Nanotechnology, 2007, 2(10): 605-615.

[19]BALANDIN A A. Thermal properties of graphene and nanostructured carbon materials [J]. Nature Materials, 2011, 10(8): 569-581.

[20]BAOFU J, SHUZHANG L, WEIGAN L. The optimum shape of absorbing particle antiradar coating material [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1990, 19(4): 342-345.

[21]YOSHIDA S, ANDO S, SHIMADA Y, et al. Crystal structure and microwave permeability of very thin Fe–Si–Al flakes produced by microforging [J]. Journal of Applied Physics, 2003, 93(10): 6659-6661.

[22]LIAO L, PENG H, LIU Z. Chemistry makes graphene beyond graphene [J]. Journal of the American Chemical Society, 2014, 136(35): 12194-12200.

[23]LI Q, MAHMOOD N, ZHU J, et al. Graphene and its composites with nanoparticles for electrochemical energy applications [J]. Nano Today, 2014, 9(5): 668-683.

[24]WEN B, WANG X X, CAO W Q, et al. Reduced graphene oxides: the thinnest and most lightweight materials with highly efficient microwave attenuation performances of the carbon world [J]. Nanoscale, 2014, 6(11): 5754-5761.

[25]WANG L, HUANG Y, SUN X, et al. Synthesis and microwave absorption enhancement of graphene@Fe3O4@SiO2@NiO nanosheet hierarchical structures [J]. Nanoscale, 2014, 6(6): 3157-3164.

[26]SUN X, HE J, LI G, et al. Laminated magnetic graphene with enhanced electromagnetic wave absorption properties [J]. Journal of Materials Chemistry C, 2013, 1(4): 765-777.

[27]SINGH V K, SHUKLA A, PATRA M K, et al. Microwave absorbing properties of a thermally reduced graphene oxide/nitrile butadiene rubber composite [J]. Carbon, 2012, 50(6): 2202-2208.

[28]ZONG M, HUANG Y, ZHAO Y, et al. Facile preparation, high microwave absorption and microwave absorbing mechanism of RGO–Fe3O4 composites [J]. RSC Advances, 2013, 3(45): 23638-23648.

[29]WEN B, CAO M, LU M, et al. Reduced graphene oxides: light-weight and high-efficiency electromagnetic interference shielding at elevated temperatures [J]. Advanced Materials, 2014, 26(21): 3357-3357.

[28]HUMMERS JR W S, OFFEMAN R E. Preparation of graphitic oxide [J]. Journal of the American Chemical Society, 1958, 80(6): 1339-1339.

[26]SHEN J, YAN B, SHI M, et al. One step hydrothermal synthesis of TiO2-reduced graphene oxide sheets [J]. Journal of Materials Chemistry, 2011, 21(10): 3415-3421.

[27]WANG Y, LI Y, TANG L, et al. Application of graphene-modified electrode for selective detection of dopamine [J]. Electrochemistry Communications, 2009, 11(4): 889-892.

[28]KRISHNAMOORTHY K, VEERAPANDIAN M, YUN K, et al. The chemical and structural analysis of graphene oxide with different degrees of oxidation [J]. Carbon, 2013, 53(1): 38-49.

[29]XIAN T, YANG H, DI L, et al. Photocatalytic reduction synthesis of SrTiO3-graphene nanocomposites and their enhanced photocatalytic activity [J]. Nanoscale Research Letters, 2014, 9(1): 1-9.

[30]XU P, HAN X, WANG C, et al. Synthesis of electromagnetic functionalized nickel/polypyrrole core/shell composites [J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2008, 112(34): 10443-10448.

[31]ZHAO D L, SHEN Z M. Preparation and microwave absorbing properties of microwave absorbing materials containing carbon nanotubes [J]. Journal of Inorganic Materials, 2005, 20(3): 608-612.

[32]COLE K S, COLE R H. Dispersion and absorption in dielectrics I. Alternating current characteristics [J]. Journal of Chemical Physics, 2004, 10(2):98-105.

[33]SINGH P, BABBAR V K, RAZDAN A, et al. Complex permittivity, permeability, and X-band microwave absorption of CaCoTi ferrite composites [J]. Journal of Applied Physics, 2000, 87(9): 4362-4366.

[34]MILES P A, WESTPHAL W B, VON HIPPEL A. Dielectric spectroscopy of ferromagnetic semiconductors [J]. Reviews of Modern Physics, 1957, 29(3): 279-307.

[35]CAO W Q, WANG X X, YUAN J, et al. Temperature dependent microwave absorption of ultrathin graphene composites [J]. Journal of Materials Chemistry C, 2015, 3: 10017-10022.

[36]DOU Y K, LI J B, JIN H B, et al. The enhanced polarization relaxation and excellent high-temperature dielectric properties of N-doped SiC [J]. Applied Physics Letters, 2014, 104:052102.

[37]YANG H J, CAO W Q, ZHANG D Q, et al. NiO hierarchical nanorings on SiC: enhancing relaxation to tune microwave absorption at elevated temperature [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2015, 7(13): 7073-7077.**Preparation and Microwave Absorption Properties of Barium Titanate/Reduced Graphene Oxides Nanocomposite**

CHEN Qiang, LIU Xiang, XIE Qingshui, WANG Laisen\*, PENG Dongliang\*

(College of Materials, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Barium titanate (BaTiO3) nanoparticles were synthesized by solvothermal method and then the barium titanate/reduced graphene oxides (BaTiO3/RGO) nanocomposite with different mass ratio were obtained after calcining in Argon. The structures and morphologies of samples were systematically characterized by X-ray powder diffraction (XRD), transmission electron microscope (TEM) and scan electron microscope (SEM).The microwave absorption properties of samples were tested by vector network analyzer (VNA). When the mass ratio of BaTiO3 was 80%, the as-prepared BaTiO3/RGO nanocomposite performed the excellent microwave absorption properties. The minimum reflection loss value of BaTiO3/RGO nanocomposite was -33.43 dB at 10.48 GHz with the thickness of 2.0 mm and the bandwidth of reflection loss value less than -10 dB was from 9.2 to 11.6 GHz. The results showed that BaTiO3/RGO nanocomposite had outstanding microwave absorption properties.

**Key words:** BaTiO3/RGO nanocomposite; solvothermal method; microwave absorption