

# 改性钛酸钡及其聚合物复合材料介电性能研究

谢成<sup>1</sup>, 徐海萍<sup>1</sup>, 史国银<sup>2</sup>, 杨丹丹<sup>1</sup>, 苏威<sup>1</sup>  
翟月<sup>1</sup>, 代秀娟<sup>1</sup>, 秦艳丽<sup>1</sup>

(1. 上海第二工业大学环境与材料工程学院, 上海 201209; 2. 中国电子工程设计院, 北京 100142)

**摘要:** 以五氧化二铌(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)及四氧化三钴(Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)混合物为掺杂剂改性钛酸钡(BaTiO<sub>3</sub>, BT), 通过固相反应获得表面含铌、钴的改性钛酸钡粉体(BTNC), 并以其为填料制备了环氧树脂(EPR)基复合材料BTNC-EPR。采用扫描电子显微镜(SEM)、能谱仪(EDS)等对BTNC、复合材料的表面形态及成分进行了表征及分析。探讨了Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>与Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>的质量比、掺杂剂添加量对BTNC/EPR复合材料介电性能的影响。结果表明: 当BTNC/EPR质量比为4:1, BTNC中掺杂剂含量 $w = 1\%$ , Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>与Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>的质量比为4.5:1时, 复合材料介电性能最佳, 在100 Hz下其介电常数比未添加掺杂剂的复合材料增加了30, 且介电损耗下降。

**关键词:** 钛酸钡; 掺杂剂; 环氧树脂; 复合材料; 介电性能  
**中图分类号:** TQ327.8 **文献标志码:** A

## 0 引言

聚合物基高介电复合材料具有工艺简单、成本低、可与柔性衬底兼容以及适合大面积生产等优点, 使得它在高储能密度介质材料、高压电缆应力锥材料、人工肌肉和药物释放智能外衣材料等领域有着现实的应用价值和广阔的发展前景, 并且聚合物基高介电常数复合材料已成为工程材料发展的一个重要分支。聚合物基介电复合材料可以分为铁电陶瓷-聚合物型、氧化物-聚合物型、碳纳米管-聚合物型等类型<sup>[1]</sup>。

目前制备高介电聚合物复合材料的基体一般选用稳定性好、具有耐高温特性的聚合物, 主要包括聚酯(PET)、聚碳酸酯(PC)、耐高温聚丙烯(HTPP)、聚偏氟乙烯(PVDF)、环氧树脂(EPR)等。填料一般选用具有高介电常数、较低介电损耗的无机材料, 主要包括BaTiO<sub>3</sub>、PbTiO<sub>3</sub>、CCTO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>、炭黑、碳纳米管、石墨烯、氧化石墨烯、金属导电颗粒、聚酞菁铜等。利用混合法则和渗流效应将具有高介电常数、较低介电损耗的无机填料与基体

材料混合后得到复合材料, 使其介电常数得到提升和介电损耗下降<sup>[2-7]</sup>。国内外研究者围绕聚合物基介电复合材料开展了广泛研究, Dang等<sup>[8]</sup>将纳米颗粒分散在柔性聚合物基体形成柔性介电纳米材料, 物理化学特性和介电性能等均有显著提高。Xu等<sup>[9]</sup>将炭黑(CB)、镍(Ni)、锌(Zn)、钨(W)填充到聚偏氟乙烯(PVDF)制得复合材料, 研究发现, 填料镍浓度接近渗流阈值时, 存在显著的正温度系数效应和介电常数。Bunnak等<sup>[10]</sup>研究了钡改性多孔结构粘土与聚偏氟乙烯复合材料的介电性能, 通过向PVDF基质中加入3%、5%、7%和10%质量分数的钡改性多孔粘土, 其介电常数从纯PVDF的8.0分别增加到34.1、4.8、47.1、56.0。

在聚合物中填加无机填料可大幅提高复合材料的介电性能, 但一般很难达到聚合物基体材料介电常数的百倍以上, 通过对填料进行表面改性、通过界面效应进一步增加复合材料的介电性能引起了研究者的关注。Huang等<sup>[11]</sup>通过溶剂热法将多壁碳纳米管(碳纳米管)包覆无机钛酸钡后, 再通过溶液浇铸法制得嵌入式核/壳钛结构钛酸钡@多壁碳纳米管/聚芳醚腈, 经研究发现: 纳米复合薄膜具有

收稿日期: 2016-11-07

通信作者: 徐海萍(1966-), 女, 山西运城人, 教授, 博士, 主要研究方向为储能材料。E-mail: hpxu@sspu.edu.cn。

基金项目: 上海市自然科学基金(16ZR1412400、15ZR1417100), 上海市科委科普项目(16DZ2348700), 上海第二工业大学重点学科(A11NH170310-11), 上海第二工业大学研究生项目基金(A01GY16F030)资助

优异的热稳定性, 且  $\text{BaTiO}_3$ @多壁碳纳米管具有协同增强的介电常数。Dang 等<sup>[12]</sup>通过原位聚合法制备高介电耐击穿高热稳定性核心—壳状结构钛酸钡/聚酰亚胺 ( $\text{BaTiO}_3/\text{PI}$ ) 纳米复合薄膜, 这种核心—壳状结构能够保证聚酰亚胺基体的钛酸钡颗粒均匀分散, 进而影响膜的介电性能和击穿强度。Wu 等<sup>[13]</sup>制备一种新型氧化石墨烯包覆碳纳米混合物, 相比碳纳米管的复合材料, 石墨烯包覆碳纳米聚合物复合材料不仅具有高的介电常数和低的介电损耗, 而且能够显著提高其击穿强度和最大储能密度, 为碳纳米管聚合物复合材料的高储能应用提供新的途径。

尽管多种途径可提高聚合物基复合材料的介电常数, 其温度稳定性仍是应用中的瓶颈。在钛酸钡改性研究中, Co 能够提高 BT 的致密度和晶粒均匀性, Nb 作为晶粒抑制剂能够很好地控制 BT 晶粒增长, 增强 BT 的介电温度稳定性, Nb、Co 氧化物掺杂

BT 具有高的介电常数。刘波等<sup>[14]</sup>将 La、Nb、Co 的掺杂钛酸钡中制得致密细晶 BT 陶瓷, 室温相对介电常数达到 3 400, 介温稳定性得到了提升。由此可见, 通过改性钛酸钡粒子有望提高聚合物复合材料的介电温度稳定性。

本文以五氧化二铌 ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ )、四氧化三钴 ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ) 和钛酸钡为原材料, 通过固相反应制备表面含铌、钴的改性钛酸钡 (BTNC), 以 EPR 为基体制备聚合物基复合介电材料 BTNC/EPR。研究了  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的质量比、掺杂剂添加量对 BTNC/EPR 复合材料介电性能的影响, 同时确定了制备 BTNC 的最佳工艺条件。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器与试剂

实验中所用仪器名称、型号、生产厂家或销售商依次列于表 1 中。

表 1 主要实验设备和仪器  
Tab. 1 Major experimental equipment and instruments

序号	设备(仪器)名称	型号	生产厂家
1	磁力搅拌器	SK 3200 LHC	上海科导超声仪器有限公司
2	真空恒温鼓风干燥箱	DHG-9038 A	上海精宏实验设备有限公司
3	探针式超声仪	N600	上海生析科技有限公司
4	粉末压片机	769 YP-24 B	天津市科器高新技术公司
5	管式炉	YFK100×800/12QK-GC	上海意丰电炉有限公司
6	红外光谱仪	FTIR-V 70	德国 Bruker 公司
7	扫描电子显微镜	S 4800	日本 HITACHI 公司
8	离子溅射仪	JS-1600	北京和同创业科技有限公司
9	行星式球磨机	QM-QX04	南京南大仪器厂

主要试剂:  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  购于上海瑞玉光电材料有限公司;  $\text{Co}_3\text{O}_4$  购于北京德科岛金科技有限公司;  $\text{BaTiO}_3$  购于北京德科岛金科技有限公司; 另有环氧树脂、脂肪胺改性体固化剂、乙酸乙酯稀释剂等。

## 2 实验

### 2.1 BTNC 粉体的制备

将  $\text{BaTiO}_3$  ( $w = 99.9\%$ )、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  和  $\text{Co}_3\text{O}_4$  以去离子水为介质, 球磨 2 h, 混合均匀后烘干得到混合粉末, 将粉末压成片状在  $1320\text{ }^\circ\text{C}$  下煅烧 2 h 得到改性钛酸钡 BTNC。将烧结后的 BTNC 先碾磨, 再以

去离子水为介质球磨, 烘干后得到微米级的 BTNC 粉体。

### 2.2 BTNC/EPR 复合材料的制备

将 BTNC 粉体和环氧树脂按照 1:4 (质量比) 配比称量, 同时加入 15% (体积分数) 的稀释剂和 25% (体积分数) 的固化剂, 将其混合后在冰浴下超声分散 5 min、搅拌混合 5 min。将混合物倒入模具中, 利用真空干燥箱抽出空气约 30 min 后, 采用热压成型机在 20 MPa 及  $180\text{ }^\circ\text{C}$  下固化 1 h 成直径为 12 mm、厚度为 1 mm 的圆片。将该样品涂覆银浆电极, 在  $100\text{ }^\circ\text{C}$  下保温 1 h 激活电极后待测。

### 2.3 性能测试与表征

使用扫描电子显微镜 (SEM, HITACHIS-4800) 分析样品表面形貌。采用能谱仪 (EDS, SHIMADZU EDX-720) 对 BTNC 进行元素分析。采用德国 Novocontrol 公司 Concept 80 型宽频及变温阻抗分析仪 (可测频率范围  $3 \mu\text{Hz} \sim 3 \text{GHz}$ , 温度范围  $-160 \sim 400 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 测试其介电性能。

## 3 结果分析与讨论

### 3.1 填料与复合材料表征分析

图 1 所示为  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  质量比为 4.5:1, 掺杂剂总含量  $w$  分别为 1.0%、7.0% 及 11.0% 时 BTNC 的扫描电镜图。由图可见, 随着掺杂剂添加量的增加, BT 上附着的小粒径颗粒不断增多, 逐渐形成较为丰富的界面。由于在煅烧过程中有晶粒长大现象, 球磨难以完全细化, 造成部分粒径较大, 达到 10 几  $\mu\text{m}$ 。图 2 所示为掺杂剂添加量  $w = 1.0\%$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  质量比 4.5:1 时 BTNC 的 EDS 分析结果。元

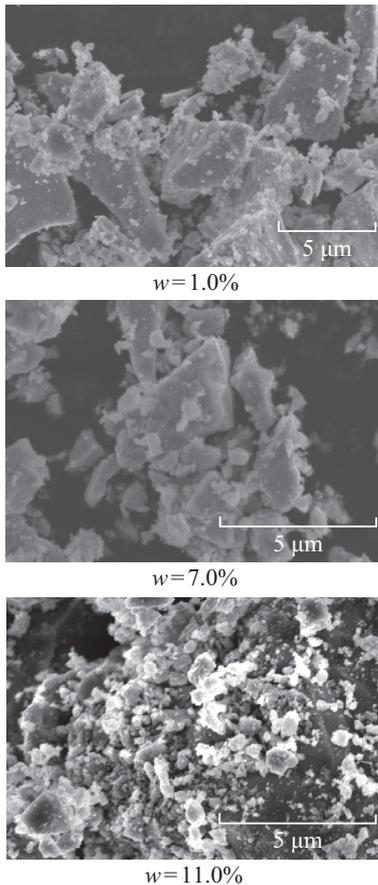
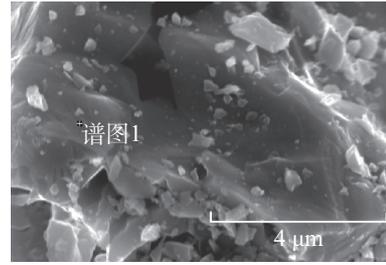


图 1  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  质量比为 4.5:1、不同的掺杂剂添加量时 BTNC 的 SEM 照片

Fig. 1 SEM micrographs of BTNC with different modifier addition amount and  $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Co}_3\text{O}_4$  is 4.5:1



元素	质量/%	原子/%
Ti	24.01	47.29
Co	0.23	0.36
Nb	0.86	0.87
Ba	74.91	51.47
总质量	100.00	

图 2 掺杂剂添加量  $w = 1.0\%$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  质量比 4.5:1 时 BTNC 的 SEM-EDS 分析

Fig. 2 EDS of BTNC with  $w = 1.0\%$  modifier addition amount and 4.5:1  $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Co}_3\text{O}_4$

素分析表明, 在 BTNC 的表面附着物中含有掺杂剂  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , 通过计算  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  含量比例接近 4.5:1, 说明掺杂剂在烧结过程中比较均匀地附着在 BT 表面。

图 3 所示为 BTNC/EPR 质量比为 4:1、BTNC 中掺杂剂添加量  $w = 1.0\%$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  质量比为 4.5:1 时制备的 BTNC/EPR 复合材料断面扫描电镜图。可以看出, BTNC 在基体中的分布较为均匀, 材料中有少量的气孔。

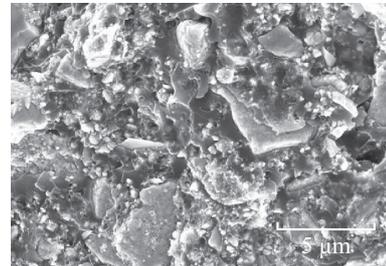


图 3 BTNC/EPR 质量比为 4:1、掺杂剂添加量为  $w = 1.0\%$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  质量比为 4.5:1 时复合材料的 SEM 照片

Fig. 3 SEM micrographs of BTNC-EPR compositewith BTNC/EPR is 4:1, modifier addition amount is  $w = 1.0\%$  and  $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Co}_3\text{O}_4$  is 4.5:1

### 3.2 BTNC 对复合材料介电性能的影响

#### 3.2.1 不同 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 与 $\text{Co}_3\text{O}_4$ 质量比对复合材料介电性能的影响

图 4 所示为当 BTNC/EPR 质量比为 4:1、BTNC 中掺杂剂含量  $w = 1.0\%$  时, 不同  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$

质量比对复合材料介电性能的影响。由图可见, 不同  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  质量比时 BTNC/EPR 复合材料的介电常数随频率的增大而大致呈线性减小, 而介电损耗变化较为平稳。随着  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的质量比的增大, 复合材料的介电常数在  $f = 10^0 \sim 10^7$  Hz 区间内有一定提高。而从介电损耗图中发现,  $f = 10^2 \sim 10^7$  Hz 区间, 复合材料的介电损耗基本在 0.02~0.04 之间。  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  质量比对 BTNC-EPR 复合材料介电性能的影响可能是: 当  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  含量相对较多时,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  比  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的尺寸相对大一些,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Co}_3\text{O}_4$  两种粒子更能充分分布于 BT 表面; 同时由于  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  能抑制 BT 晶粒异常增长, 使 BTNC 合成的尺寸相对更小, 更好地填充复合材料的空隙, 从而介电常数有轻微提高。

### 3.2.2 掺杂剂添加量对复合材料介电性能的影响

图 5 所示为当 BTNC/EPR 质量比为 4:1、BTNC 中  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的质量比为 4.5:1 时, 不同掺杂剂添加量对 BTNC/EPR 复合材料介电性能的影响。由图 5 可见, 未添加掺杂剂的 BT/EPR 复合材料在 100 Hz 时, 介电常数为 45.2, 介电损耗为 0.045; 随着掺杂剂添加量从  $w = 0\%$  到  $w = 1.0\%$ , 在 100 Hz 下其介电常数从 45.2 提高至 75.8, 介电常数比未添加掺杂剂时增加了约 30, 并降低了其介电损耗; 当掺杂剂添加量大于  $w = 1.0\%$  后, 其复合材料介电常数随着掺杂剂添加量的增大而减少, 当掺杂剂为  $w = 11.0\%$  时介电常数达到 43.1。未添加掺杂剂的 BT/EPR 复合材料介电损耗随频率变化的幅度较大, 在  $10^2 \sim 10^7$  Hz 范围下为 0.045~0.01, 其中  $10^3 \sim 10^6$  频率区间的介电损耗基本维持在 0.03 左

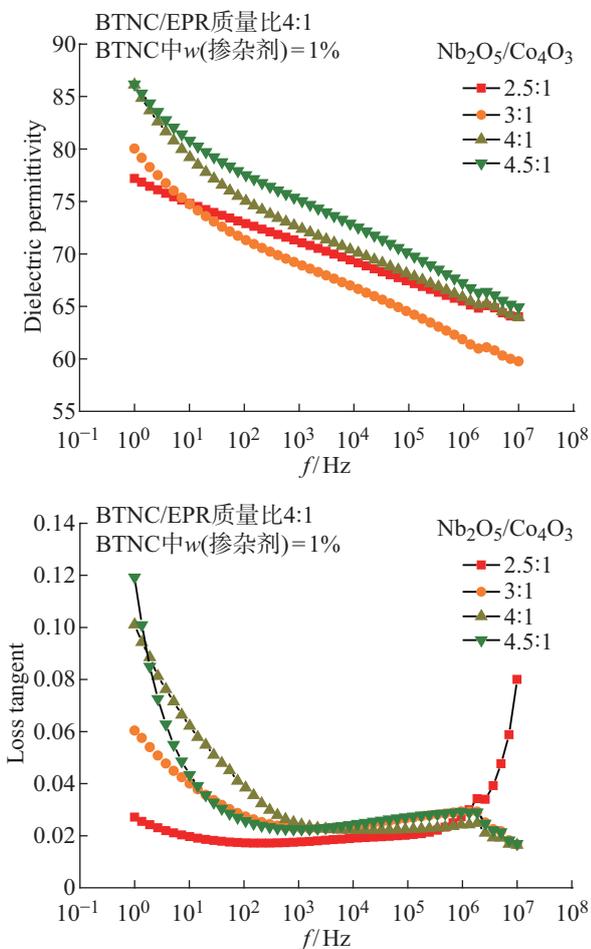


图 4 BTNC/EPR 质量比为 4:1、BTNC 中掺杂剂含量为  $w = 1.0\%$  时不同  $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Co}_3\text{O}_4$  质量比的 BTNC/EPR 复合材料介电常数和介电损耗的影响

Fig. 4 Effects of different  $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Co}_3\text{O}_4$  mass ratio on dielectric permittivity and loss tangent of the BTNC-EPR composite with BTNC/EPR is 4:1 and modifier addition amount is  $w = 1.0\%$

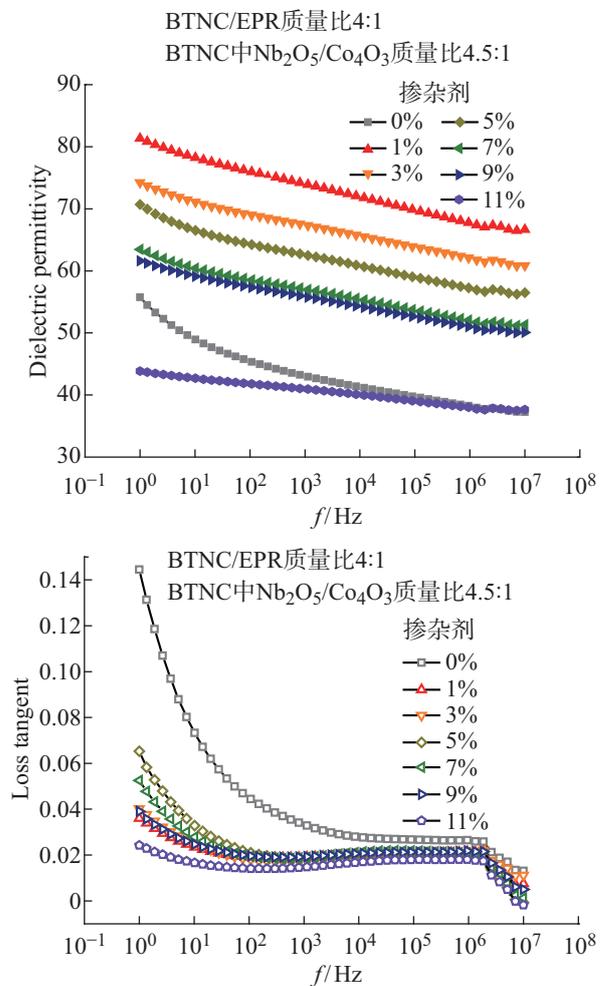


图 5 当 BTNC/EPR 质量比为 4:1、BTNC 中  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的质量比为 4.5:1 时不同掺杂剂添加量下 BTNC/EPR 复合材料的介电常数和介电损耗的影响

Fig. 5 Effects of different dopant amount on dielectric permittivity and loss tangent of the BTNC-EPR composite with BTNC/EPR is 4:1 and  $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Co}_3\text{O}_4$  is 4.5:1

右;而添加掺杂剂后复合材料在  $10^2 \sim 10^7$  Hz 范围内,介电损耗范围为 0.005~0.02,变化幅度很小。结果表明,添加掺杂剂可明显提高复合材料的介电常数,当掺杂剂添加量  $w = 1.0\%$  时复合材料的介电常数达到最大,然后随频率的增大而逐渐减小。尤其当掺杂剂添加量为  $w = 11.0\%$  时,复合材料的介电常数提高得不明显,但能降低复合材料的介电损耗。

一般认为,添加  $\text{Co}_3\text{O}_4$  能够提高 BT 的致密度和晶粒均匀性,而  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  作为晶粒抑制剂能够很好地控制 BT 晶粒增长,两者协同效应可获得致密的 BTNC 粉体。BT 的介电性能与掺杂后陶瓷的晶粒生长密切相关,掺杂剂控制了晶粒的生长速度,使其生长缓慢。复合材料介电性能的提高主要源于制备 BTNC 时,在 BT 表面附着掺杂剂  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$ ,使界面极化更显著。同时,根据李赫德涅凯(Lichtenecker)的半经验公式<sup>[15]</sup>可知:当附着在高介电常数 BT 表面的低介电常数掺杂剂 Nb、Co 体积分数的增大,复合材料的介电常数越小。当掺杂剂的添加量  $w = 1.0\%$  时, $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Co}_3\text{O}_4$  在 BT 表面形成了较薄的附着层,BTNC 间界面极化增强,介电常数增大。而掺杂剂添加量继续增加,低介电常数掺杂剂  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的体积分数增大,导致复合材料的介电常数降低,从而复合材料的介电常数随掺杂剂的含量继续增加而逐渐降低。

复合材料的介电损耗降低可能有两方面的原因:一方面,在混料时  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  和  $\text{Co}_3\text{O}_4$  填充了大粒径 BT 间的空洞和虚位,减少了复合材料空洞的形成,大大减少了复合材料的空洞界面极化,从而降低了介电损耗;另一方面,由于 BT 粉体本身是铁电粉体,通过  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  和  $\text{Co}_3\text{O}_4$  附着在 BT 表面,有效地减少了 BT 粒子间的接触,且修补了 BT 表面的缺陷,大大减小了空间极化。

## 4 结 论

(1)  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的质量比、掺杂剂添加量等对复合材料的介电性能有一定影响,掺杂剂含量  $w = 1.0\%$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的质量比为 4.5:1 为 BTNC 最佳配比。

(2) 当 BTNC/EPR 质量比为 4:1, BTNC 中  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  与  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的质量比为 4.5:1 时,复合材料介电性能最佳,在 100 Hz 频率下介电常数为 75.8,比未添加掺杂剂的 BT/EPR 复合材料增加了约 30,

并降低了其介电损耗。

## 参考文献:

- [1] 殷卫峰,苏民社,颜善银.高介电聚合物基复合材料的研究进展[J].材料导报,2013,27(1):75-79.
- [2] ZHOU W Y, YU D M. Thermal and dielectric properties of the aluminum particle/epoxy resin composites [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 118(6): 3156-3166.
- [3] GAO J J, QU R J, TANG B, et al. Control of the aggregation behavior of silver nanoparticles in polyurethane matrix [J]. Journal of Nanoparticle Research, 2011, 13(10): 5289-5299.
- [4] WANG B, LIANG G, JIAO Y, et al. Two-layer materials of polyethylene and a carbon nanotube/cyanate ester composite with high dielectric constant and extremely low dielectric loss [J]. Carbon, 2013, 54: 224-233.
- [5] MIN C, YU D, CAO J. A graphite nanoplatelet/epoxy composite with high dielectric constant and high thermal conductivity [J]. Carbon, 2013, 55(2): 116-125.
- [6] TIAN M, ZHANG J, ZHANG L, et al. Graphene encapsulated rubber latex composites with high dielectric constant, low dielectric loss and low percolation threshold [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2014, 430: 249-256.
- [7] WANG B, JIAO Y, GU A. Dielectric properties and mechanism of composites by superposing expanded graphite/cyanate ester layer with carbon nanotube/cyanate ester layer [J]. Composites Science and Technology, 2014, 91(1): 8-15.
- [8] DANG Z M, YUAN J K, YAO S H, et al. Flexible nanodielectric materials with high permittivity for power energy storage [J]. Advanced Materials, 2013, 25(44): 6334-6365.
- [9] XU H P, DANG Z M, BING N C, et al. Temperature dependence of electric and dielectric behaviors of Ni/polyvinylidene fluoride composites [J]. Journal of Applied Physics, 2010, 107(3): 034105.
- [10] BUNNAK N, LAORATANAKUL P, BHALLA A S, et al. Dielectric properties improvement of polymer composite prepared from poly(vinylidene difluoride) and barium-modified porous clay heterostructure [J]. Electronic Materials Letters, 2013, 9(3): 315-323.
- [11] HUANG X, FENG M N, LIU X B. Synergistic enhancement of dielectric constant of novel core/shell  $\text{BaTiO}_3$  MWCNTs/PEN nanocomposites with high thermal stability [J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2014, 25(1): 97-102.
- [12] DANG Z M, LIN Y Q, XU H P, et al. Fabrication and dielectric characterization of advanced  $\text{BaTiO}_3$ /polyimide nanocomposite films with high thermal stability [J]. Ad-

- vanced Functional Materials, 2008, 18(10): 1509-1517.
- [13] WU C, HUANG X, WU X, et al. Graphene oxide-encapsulated carbon nanotube hybrids for high dielectric performance nanocomposites with enhanced energy storage density [J]. *Nanoscale*, 2013, 5(9): 3847-3855.
- [14] 刘波, 庄志强, 王歆. 铌钴镧掺杂对 BaTiO<sub>3</sub> 陶瓷结构与介电性能的影响 [J]. *电子元件与材料*, 2005, 24(4): 36-38.
- [15] HENNINGS D, ROSENSTEIN G. Temperature-stable dielectrics based on chemically inhomogeneous BaTiO<sub>3</sub> [J]. *Journal of the American Ceramic Society*, 2010, 67(4): 249-254.

## Study of Modification of Barium Titanate and Dielectric Properties of Its Polymer-Based Composites

XIE Cheng<sup>1</sup>, XU Haiping<sup>1</sup>, SHI Guoyin<sup>2</sup>, YANG Dandan<sup>1</sup>, SU Wei<sup>1</sup>  
ZHAI Yue<sup>1</sup>, DAI Xiujuan<sup>1</sup>, QIN Yanli<sup>1</sup>

- (1. School of Environmental and Materials Engineering, Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China;  
2. China Electronics Engineering Design Institute, Beijing 100142, China)

**Abstract:** The BTNC was prepared by solid state reaction method with barium titanate (BT) and dopants, which was mixed by columbium pentoxide and cobalt oxide. The composite material (BTNC-EPR) was mixed by epoxy resin (EPR) and high dielectric fillers (BTNC). The progress of the BTNC surface morphology, the composite surface morphology and the BTNC elemental analysis were characterized by scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive spectrometer (EDS). The effects of dopants content and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (mass ratio) on the dielectric properties of BTNC-EPR composite were discussed. The result showed when the BTNC/EPR mass ratio was 4:1, the dopants content was  $w = 1\%$  and the Nb/Co ratio was 4.5:1, the dielectric performance of the composite was best, and at 100 Hz frequency the dielectric permittivity of the composite was improved by 30 than the composite without modifiers, besides, the loss tangent was decreased a lot.

**Keywords:** barium titanate; dopant; epoxy resin; composite; dielectric property