

$\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷的电性能及阻抗分析*

袁昌来[†] 刘心宇 黄静月 周昌荣 许积文

(桂林电子科技大学材料科学与工程学院, 桂林 541004)

(2010年4月16日收到; 2010年5月22日收到修改稿)

以传统的固相反应法制备了 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷, 并采用 X 射线衍射仪、扫描电子显微镜、直流阻温测试仪和交流阻抗分析仪测试了 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷的微结构和电性能. 分析结果表明: $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷具有立方钙钛矿结构, 颗粒尺寸约 $1.0\ \mu\text{m}$; 在 $16\text{--}280\ ^\circ\text{C}$ 范围内, $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷表现出明显的负温度系数热敏效应, 其热敏常数、活化能分别为 $6490\ \text{K}$ 及 $0.558\ \text{eV}$; 介电温谱揭示, 在 $280\ ^\circ\text{C}$ 下 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷材料没有出现相变行为. 对于交流阻抗谱, 采用 3 个串联的 RQ (R 与 Q 为并联) 等效部件来拟合分析, 拟合结果表明拟合数据与实验数据高度匹配, 且这 3 个等效部件分别代表晶界、晶粒和晶壳的贡献. 3 个部件中, 晶粒对陶瓷电阻阻值的影响最大, 晶壳贡献次之, 晶界最小, 且 3 个部件电阻值都显示出负温度系数效应. 在 $25\text{--}115\ ^\circ\text{C}$ 范围内, 电学模量虚部峰频与阻抗虚部峰频始终不匹配, 意味着 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷体内部一直表现出局域导电机理.

关键词: $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷, 电性能, 阻抗分析

PACS: 52.25.Mq, 81.05.Je, 76.60.Es, 84.37.+q

1. 引言

BiFeO_3 (BFO) 作为一种同时具有铁电、微弱铁磁性的多铁性材料, 受到各国科研人员的广泛关注. 据报道, BFO 能够显示出良好的铁电有序性, 居里温度高于 $1103\ \text{K}$; 而且具有 G 型反铁磁有序性, 尼尔温度高于 $634\ \text{K}$ ^[1–3]. 据文献报道, 这种磁性来自于 $\text{Fe}^{3+}\text{—O—Fe}^{2+}$ 双交换作用^[4]. 在居里点附近, 铁电畸变行为源自 Bi-6p 态与 O-2p 态的共价作用方向性的增强^[5]. 高的居里温度意味着 BFO 在较高的温度下依然具有多铁性, 因而成为研究热点. 但是, BFO 具有微弱的铁磁性且电流漏导率较高, 所以在 BFO 基体的 Bi 位或 Fe 位部分地用其他元素替代的方式来提高铁磁性或降低电流漏导率就成为一种必不可少的手段. Das^[6] 等在 BFO 的 Bi 位中引入部分 La, 发现铁电和铁磁性都有了明显改善; Y 对 Bi 的少量替代能提高 BFO 的磁化率^[7]; 部分 Mn 替代 BFO 中的 Fe 也能使磁化率有所提高^[8]; Gd 在 BFO 体系中对 Bi 的部分替代也能提高磁化能力^[9];

在 BFO 的 Bi 位中引入 Ba, 同时在 Fe 位中引入 Mn, 也一定程度上增强了室温铁磁性^[10]. 可以看出, 合适的掺杂改性对 BFO 的铁电或铁磁性具有一定的改善作用, 本课题组也对 BFO 掺杂改性后的电性能和磁性能进行了一定的研究.

在本课题组前期的研究工作中, 发现 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 能形成陶瓷固溶体, 且具有类似于 $\text{Bi}_x\text{Sr}_{1-x}\text{FeO}_3$ 陶瓷的性能^[11], 也是一类多铁性材料, 能同时具有铁电性和铁磁性. 但是从 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷中获得的电滞回线和磁滞回线, 仅反映多铁性材料的宏观特性, 并不能揭示其电学方面的内在规律. 交流阻抗具有分析陶瓷体内部各个部件贡献的能力^[12], 为了能够从电学性能上揭示这类材料的内部导电机理, 本文也借助交流阻抗谱进行了分析. 通过分析发现, $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷的内部导电贡献部件与以往的陶瓷有较大不同. 对于大多数陶瓷体, 晶界电阻总是高于晶粒电阻且晶粒电阻受温度影响较小. 但是, 在 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷中, 晶粒电阻明显高于晶界电阻且受温度影响很大, 这个结果对于研究陶瓷固溶体电性能具有一定的参考意义.

* 广西信息材料重点实验室研究基金(批准号: 0710908-07-Z)资助的课题.

[†] E-mail: yclguet@yahoo.com

2. 实验

以高纯(纯度高于 99.9%)的 BaCO_3 , Fe_2O_3 , Bi_2O_3 试剂为原料,按 $\text{Ba}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ 化学式的化学计量比混合.上述所有的混料都是以无水乙醇为溶剂,玛瑙球为球磨介质,在球磨机中以 250 r/min 的速度球磨 10 h,取出烘干,在 950 °C 下合成.把合成好的 $\text{Ba}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ 粉体加入适量的黏合剂(聚乙烯醇),压制直径为 18 mm,厚约 1.6 mm 的圆片.所得圆片在 1100 °C 下烧结 2 h.烧结好的样品经磨平、抛光、被银后在 600 °C 下烘 40 min 以备电性能及阻抗测试.

用德国 Bruker 公司的 BRUKERD8-ADVANCE 型 X 射线衍射仪(XRD)对样品进行物相与结构分析;用日本 JEOL 公司 JSM-5610LV 型扫描电子显微镜(SEM)观察样品的微观结构;用华中科技大学的 ZWX-C 型阻温测试仪(电表为 Fluke45)测试直流阻温特性;用 Agilent4294A 型阻抗分析仪,测试了 $\text{Ba}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷样品的复阻抗谱和介电温谱.

3. 实验结果与分析

为了分析陶瓷材料的物相组成及表面形貌,在室温下分别用 XRD 和 SEM 对 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷进行了测试,测试结果见图 1 和图 2.从图 1 可以看出,主晶相显示为立方钙钛矿结构的 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$,并伴随有微量的尖晶石型 BaFe_2O_4 组分(见图 1 中标注).图 2 很好地展示了 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 烧结体的表面形貌,可以看出,烧结体的表面颗粒大小均匀,尺寸约 1.0 μm ,说明 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 在 1100 °C 下烧结 2 h 能够成瓷.

图 3 是 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷在 16—280 °C 范围内的直流阻温特性.从图 3 可以看出,在 16—280 °C 范围内,陶瓷的导电性能受温度影响很大.电阻率(ρ)与绝对温度倒数的关系出现对数型递增,呈现出明显的负温度系数热敏效应,能够用 Arrhenius 公式表示^[13].因此,电阻率与温度、热敏常数与活化能的关系可以用下面两式描述:

$$\rho = \rho_0 \exp(B/T), B = E_a/k_B, \quad (1)$$

式中 ρ_0 是绝对零度下的电阻率, E_a 为活化能, k_B 为玻尔兹曼常数, B 是热敏常数.

同时,热敏常数 B 可用下式算出^[14]:

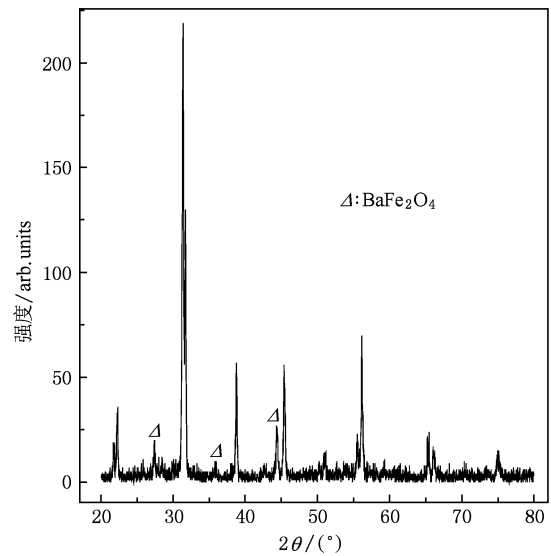


图1 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷的 XRD 衍射图谱

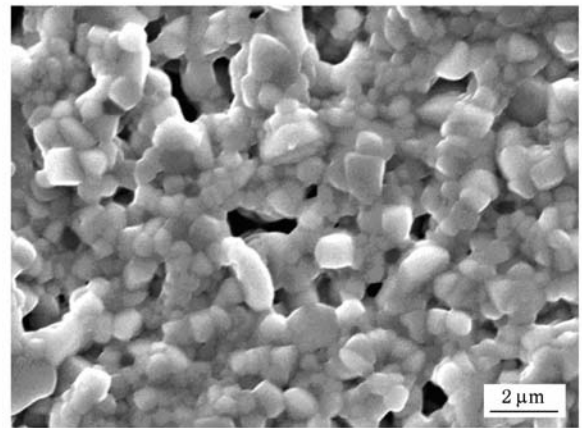


图2 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷的 SEM 照片

$$B_{25/85} = \frac{\ln(\rho_{25}/\rho_{85})}{1/(273 + T_{25}) - 1/(273 + T_{85})}, \quad (2)$$

其中 T_{25} 和 T_{85} 为 25 和 85 °C 下的温度; ρ_{25} 和 ρ_{85} 为 25 和 85 °C 下的电阻率.

因此,热敏常数 B 和活化能 E_a 能够用(1)和(2)式算出.经过计算 $B_{25/85} = 6490 \text{ K}$, $E_a = 0.558 \text{ eV}$.如此高的热敏常数和活化能意味着 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷对温度非常敏感.可以认为 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷中 Fe^{3+} 和 Fe^{4+} 的存在,意味着类似尖晶石型 NTC(负温度系数)热敏陶瓷 $\text{Mn}^{3+} \leftrightarrow \text{Mn}^{4+}$ 转换的 $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{4+}$ 转变的存在,因而可能存在着小极化子导电机理^[15].

为了分析出温度对介电常数的影响,测试了 6

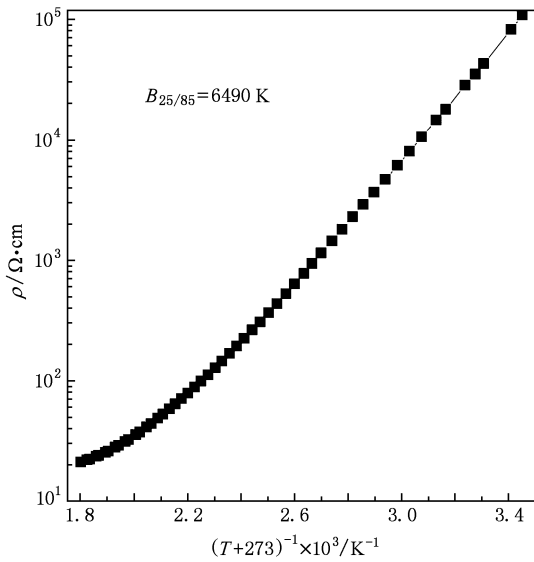


图3 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷的直流电阻率与绝对温度倒数的关系曲线

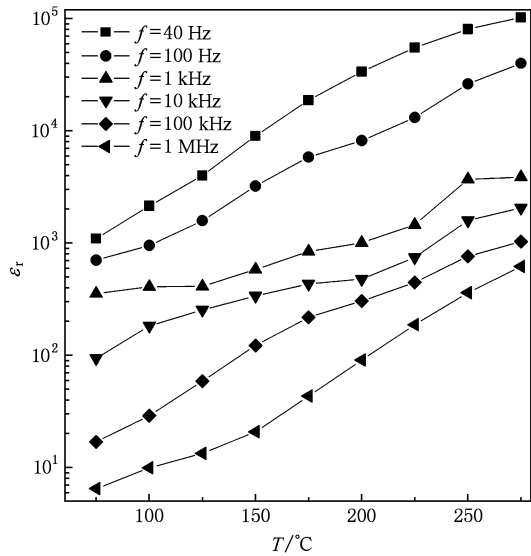


图4 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷的介电温谱

个频率点下的介电温谱,结果见图4.从图4可以发现,在25—280 °C范围内,随着温度(T)的升高,介电常数(ϵ_r)逐渐增大,表明在280 °C之下并没有出现相变行为.同时发现,随着频率的升高,所有温度点下介电常数都呈现降低的趋势,表明随着频率的升高介电常数在变小.这些特点与大多数介电材料的介电温谱和介电频谱行为类似.

阻抗谱是一种能够有效分析多晶陶瓷材料内部导电机理的工具.根据交流阻抗原理,阻抗谱的实部和虚部可用下式表示:

$$z^* = z' + jz'', \quad (3)$$

其中 z' 是阻抗的实部, z'' 是阻抗的虚部, $j = \sqrt{-1}$.当多晶陶瓷内部存在多个部件的贡献时,实部和虚部的表达式写为

$$z' = \sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i}{1 + (\omega_i R_i C_i)^2} \right), \quad (4)$$

$$z'' = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\omega_i R_i C_i}{1 + (\omega_i R_i C_i)^2} \right), \quad (5)$$

式中 R_i 代表陶瓷内部第 i 个部件的电阻,角频率 $\omega_i = 2\pi f_i$ (f_i 是第 i 个部件对应的弛豫频率), C_i 为第 i 个部件的电容.从(4)和(5)式可以看出,每一个部件都包含有一个电阻 R 和电容 C .因此,陶瓷内部其实是由一系列并联 RC (R 与 C 为并联) 部件串联而成.

基于安捷伦阻抗分析的结果,图5和图6展示了 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷在不同测试温度下的阻抗谱.从图5和图6可以看出,25—75 °C下的阻抗谱很明显地由3个叠加的近半圆弧构成,在高频区域,半圆环的存在特别明显.因而可以认为,25—75 °C范围内陶瓷体内部由3个部件构成并表示为“ $RC-RC-RC$ ”,“—”表示串联, RC 为 R 与 C 并联.但是,从图5和图6可以看出,没有一个半圆的中心落在实轴(Z')上,因而可以认为,所有的阻抗谱都不存在理想的德拜模式.这样看来,用“ $RC-RC-RC$ ”等效电路来代表3个部件显然是不合适的. RC 中的 C 部分应为 Q 而非理想的电容部件,阻抗表示为

$$Z_Q = \frac{1}{Y_0} \cdot (j\omega)^{-n},$$

Q 是与 Y_0 和 n 相关的量, n ($0 < n < 1$)的大小决定电容的理想程度.当 n 趋近于1时,表示 Q 趋近于理想电容,即 Y_0 趋近于理想电容 C .因此,等效电路应为“ $RQ-RQ-RQ$ ”,具体电路见图6(d)插图.基于这个等效电路对阻抗谱进行了拟合,拟合结果也展示在图5和图6中,其中不连续的点为实验数据,连续点为拟合数据.很明显,实验数据与拟合结果匹配完整,表明“ $RQ-RQ-RQ$ ”等效电路的构建是正确的.当温度 $T \geq 75$ °C时,高频段圆弧由于测试的原因显示不完整,但是,由这些图可以大概分析出仍应是由3个部件构成,基于类似的方法分析并拟合了温度高于75 °C时的阻抗数据,实验值和拟合结果都展示在图6中.从图6可以看出,实验值和拟合值高度匹配,表明图6(d)内插图中的等价模拟电路对于高频圆弧不完整的依然适用,因而该电路图能

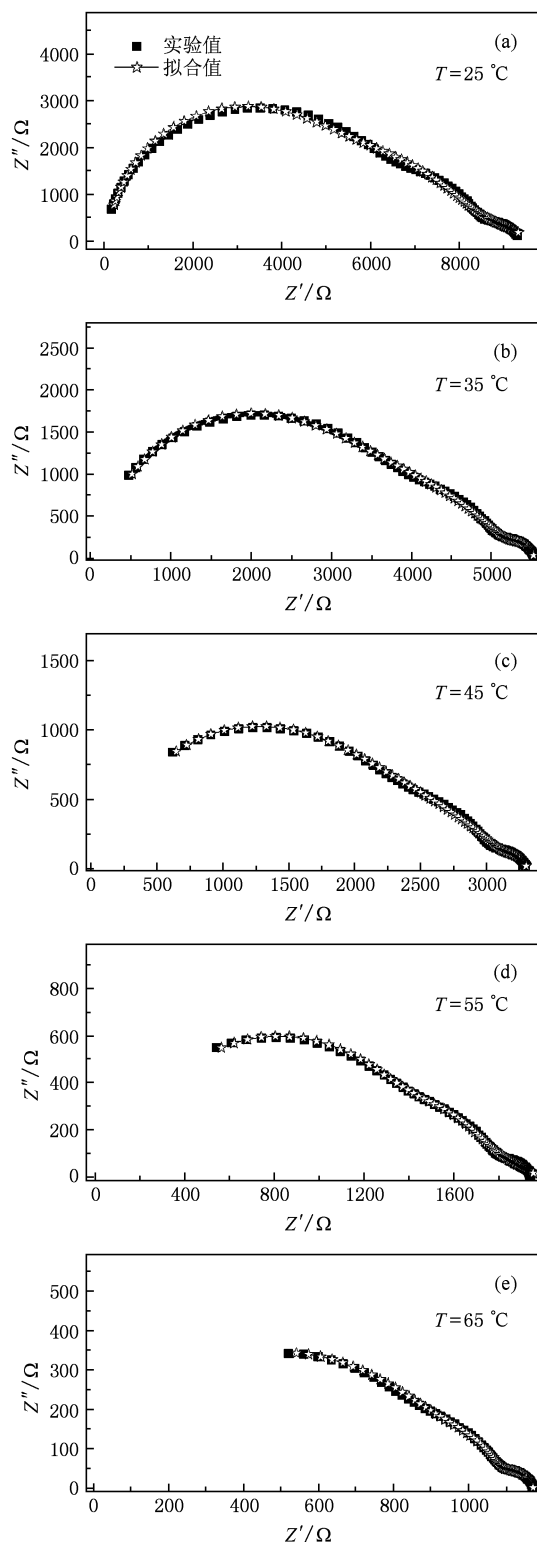


图5 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷在 25—26 °C 范围内的阻抗谱 (a), (b), (c), (d), (e) 分别为 $T=25, 35, 45, 55, 65$ °C

完整地反映出温度高于 75 °C 时陶瓷体内部的导电情况。

根据阻抗谱和频率对陶瓷体内部导电部件的

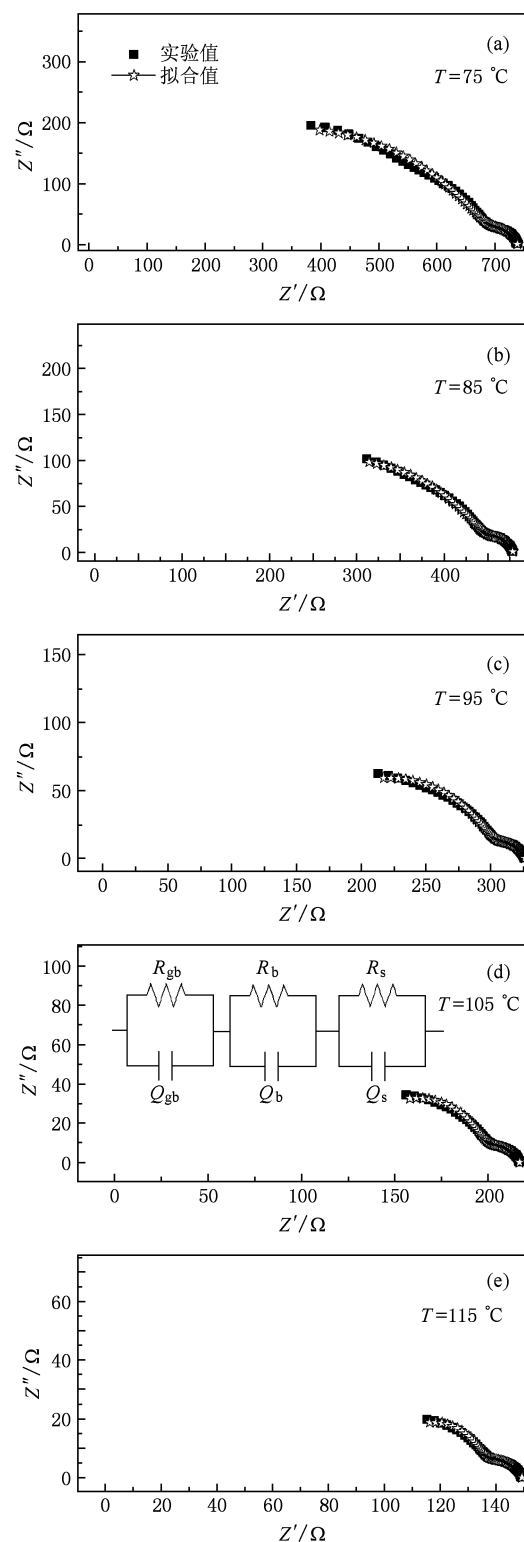


图6 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷在 75—115 °C 范围内的阻抗谱 内插电路图为 25—115 °C 范围内的等价模拟电路图. (a), (b), (c), (d), (e) 分别为 $T=75, 85, 95, 105, 115$ °C

作用机理, 可以对阻抗谱的不同半圆弧或半圆环定位. 一般情况下, 阻抗谱高频区域对应于陶瓷晶粒

的贡献,低频区域对应晶界贡献,介于高低频之间的频率区域为晶粒表面壳层的贡献.基于这种理论,图5中高频区较大的半圆弧和图6中部分高频段显示范围较窄的圆弧为晶粒的贡献(晶粒的阻值表示为 R_g),中频区域次大的圆弧为晶粒表面壳层即晶壳的贡献(晶壳的阻值表示为 R_s),最小的圆弧为低频区域的晶界的贡献(晶界的阻值表示为 R_{gb}).从拟合结果提取出来的 R_g, R_s, R_{gb} 数据随温度变化展示在图7中.从图7可以看出,在整个测试温度范围内, R_g 最大, R_s 次之, R_{gb} 最小,且都显示出明显的NTC热敏效应.

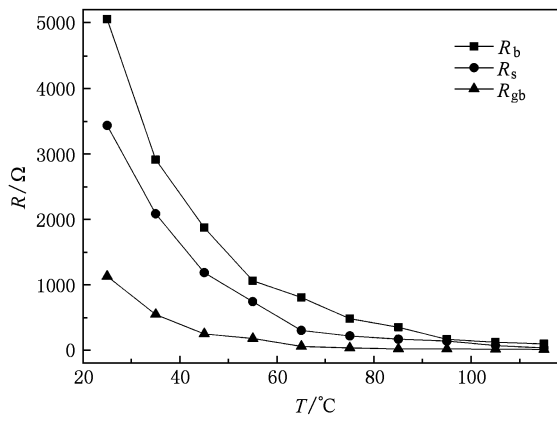


图7 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷在 25—115 °C 范围陶瓷体内各部件 R 与频率 f 关系图

图8展示了交流阻抗虚部在 40 Hz—5 MHz 范围内的频率关系.从图8可以看出,随着温度的升高, A, B, C 峰逐渐向高频移动,且峰值逐渐变小.在 $T \leq 65$ °C 时,存在 3 个较为明显的峰,低频为 A 峰,中频为 B 峰,高频为 C 峰,这 3 个峰分别为晶界、晶壳和晶粒出现弛豫行为的结果,分别对应于晶界弛豫、晶壳弛豫、晶粒弛豫的作用.这 3 个峰的出现进一步验证了图5和图6中阻抗谱构成的判断.在 $T > 65$ °C 时,仅有对应于晶界弛豫、晶壳弛豫的 A 和 B 峰的存在. C 峰由于测试的原因,已经超出显示范围,但是从图的趋势来看,应该在更高的频率存在,也就是仍然存在晶粒弛豫行为.

图9为电学模量虚部与频率关系图,电学模量 $M^*(\omega)$ 可由下式算出,

$$M^*(\omega) = j\omega C_0 Z^*(\omega), \quad (6)$$

式中 ω 为角频率, C_0 为真空电容.

结合(3)和(6)式

$$M^*(\omega) = j\omega C_0 (z' + jz'')$$

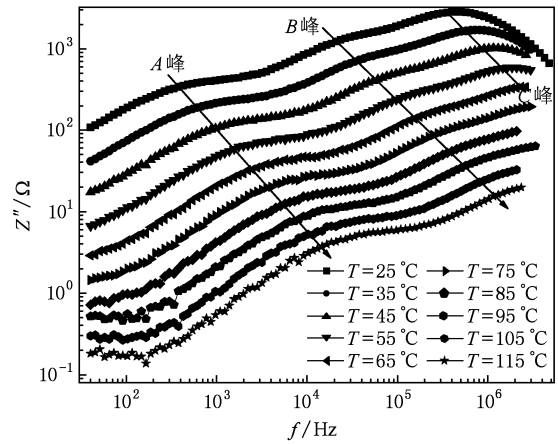


图8 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷在 25—115 °C 范围内的阻抗虚部 Z'' 与频率 f 关系图

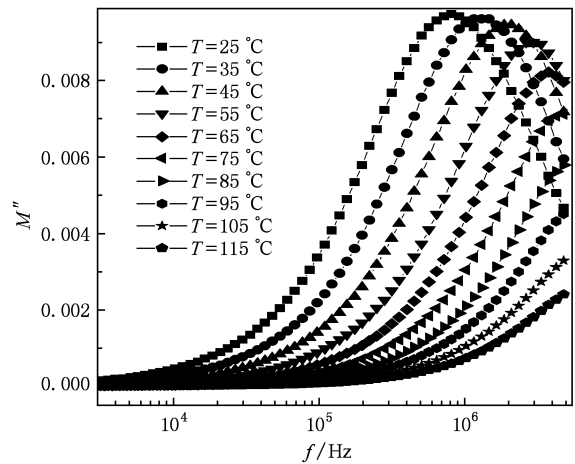


图9 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷在 25—115 °C 范围内的电学模量虚部 M'' 与频率 f 关系图

$$= -\omega C_0 z'' + j\omega C_0 z', \quad (7)$$

所以

$$M''(\omega) = \omega C_0 z', \quad (8)$$

这样就算出了图9所示的电学模量虚部 M'' 与频率 f 关系.物理上,电学模量虚部与频率关系峰(f_{mp})的存在意味着有介电弛豫过程的出现,峰频 f_{mp} 大小能反映平均弛豫时间($\tau = RC$)的长短.从图9可以看出,仅有一个峰存在,且左右不对称,从频率位置看这个峰是属于晶粒的贡献.随着温度的升高,模量虚部频谱峰 f_{mp} 逐渐向高频移动,甚至超出测量范围,表明晶粒电容(C_g)有减小趋势.根据 $\tau = RC$,结合图8阻抗虚部与频率关系图谱的 C 峰特征,很明显,晶粒弛豫时间 τ_g 随着温度的升高逐渐变短,意味着晶粒的弛豫效应减弱.对比图8 C 峰的频率和

图9的峰频,可以发现,这两个峰完全不存在重叠的可能性,且电学模量虚部的这个峰频明显大于图8 C峰的频率,因而可以认为 τ_{zg} (晶粒阻抗的弛豫时间) $> \tau_{mg}$ (晶粒电容的弛豫时间),这两个峰频不匹配的行为表明陶瓷体主要遵循局域导电机理 (localized conduction)^[16, 17].

4. 结 论

在1100 °C下烧成的 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷具有立方钙钛矿结构,表面颗粒尺寸均匀,约为1.0 μm . 直流阻温测试结果表明 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷在电学方面显示出典型的NTC热敏行为,热敏常数 $B_{25/85}$ 为6490 K,活化能 E_a 为0.558 eV. 介电温谱表明低于

280 °C材料并没有出现相变行为,但随着温度的增加,介电常数升高,有可能在更高的温度下出现相变. 在分析 $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷微观作用机理中,阻抗谱是一种强有力的能分析陶瓷体内部各部件贡献的工具. 基于阻抗分析和组建由3个等效部件构成的等价模拟电路的拟合结果, $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ 陶瓷体显示出非理想的类德拜行为,内部主要由晶粒、晶壳及晶界在起作用,并表现出对应的晶粒弛豫、晶壳弛豫和晶界弛豫行为. 其中,晶粒对导电性能的影响和贡献最大,晶壳次之,晶界反而最小,且这3个部件电阻与温度关系都显示出NTC热敏效应. 在25—115 °C范围内,阻抗虚部峰频与电学模量虚部峰频始终不匹配,意味着陶瓷体在此温度范围内,其内部导电机理为局域导电机理.

-
- [1] Fischer P, Polomska M, Sosnowska I, Szymański M 1980 *J. Phys. C* **13** 1931.
 - [2] Smolenskii G A, Yudin V M, 1963 *Sov. Phys. JETP* **16** 622
 - [3] Smolenskii G, Isupov V, Agranovskaya A, Kranik N 1961 *Sov. Phys. Solid State* **2** 2651.
 - [4] Zhang H, Liu F M, Ding F, Zhong W W, Zhou C C 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 2078 (in Chinese) [张 媛、刘发民、丁 凡、钟文武、周传仓 2010 物理学报 **59** 2078]
 - [5] Sun Y, Huang Z F, Fan H G, Ming X, Wang C Z, Chen G 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 193 (in Chinese) [孙 源、黄祖飞、范厚刚、明 星、王春忠、陈 岗 2009 物理学报 **58** 193]
 - [6] Das S R, Choudhary R N P, Bhattacharya P, Katiyar R S, Dutta P, Manivannan A, Seehra M S 2007 *J. Appl. Phys.* **101** 034104
 - [7] Bellakki M B, Manivannan V, Madhu C, Sundaresan A 2009 *Mater. Chem. Phys.* **116** 599
 - [8] Sahu J R, Rao C N R 2007 *Solid-State Sci.* **9** 950
 - [9] Uniyal P, Yadav K L 2008 *Mater. Lett.* **62** 2858
 - [10] Luo B C, Zhou C C, Chen C L, Jin K X 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4563 (in Chinese) [罗炳成、周超超、陈长乐、金克新 2009 物理学报 **58** 4563]
 - [11] Balamurugan K, Harish Kumar N, Santhos P N 2009 *J. Appl. Phys.* **105** 07D909
 - [12] Yuan C L, Liu X Y, Ma J F, Zhou C R 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 321 (in Chinese) [袁昌来、刘心宇、马家峰、周昌荣 2010 物理学报 **59** 321]
 - [13] Fau P, Bonino J P, Demai J J, Rousset J 1993 *Appl. Surf. Sci.* **65—66** 319
 - [14] Macklen E D 1979 *Thermistors* (Ayr, Scotland: Electrochemical Publications Ltd.) p33
 - [15] Larson E G, Arnott R J, Wikham D G 1962 *J. Phys. Chem. Solid* **23** 1771
 - [16] Cao W, Gerhardt R 1990 *Solid State Ionics* **42** 213
 - [17] Gerhardt R 1994 *J. Phys. Chem. Solids* **55** 1491

Electrical properties and impedance analysis of $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ ceramic^{*}

Yuan Chang-Lai[†] Liu Xin-Yu Huang Jing-Yue Zhou Chang-Rong Xu Ji-Wen

(School of Material Science and Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

(Received 16 April 2010; revised manuscript received 22 May 2010)

Abstract

$\text{Ba}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ ceramic was fabricated by conventional solid-state reaction method. The microstructures and electrical properties were characterized by X-ray diffraction, scanning electron microscopy, direct current (DC) resistance-temperature measurement and alternative current (AC) impedance analysis. According to the analysis, $\text{Ba}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ ceramic is a cubic perovskite-type compound, and its grain size is about 1.0 μm . In the measured temperature range of 16—280 $^{\circ}\text{C}$, $\text{Ba}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ ceramic shows obvious negative temperature coefficient thermistor characteristic, and the thermistor constant and activation energy of the ceramic are 6490 K and 0.558 eV, respectively. The temperature dependence of dielectric constant reveals that below 280 $^{\circ}\text{C}$ no phase transition occurs. The AC impedance characteristic in the ceramic can appropriately be modeled in terms of an equivalent electrical circuit comprising of a series combination of three parallel RQ components in connection with the grain, grain shell and grain boundary effects. The fitting results are in good agreement with the experimental data. The components of grain, grain shell and grain boundary, showing NTC characteristic, have the order of resistive contribution of $R_g > R_s > R_{gb}$. In the temperature range 25—115 $^{\circ}\text{C}$, the significant mismatch between the peaks of parameters $Z''(\omega)$ (imaginary part of impedance) and $M''(\omega)$ (imaginary part of electric modulus) suggests a development of persistent localized conduction in $\text{Ba}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{FeO}_3$ ceramic.

Keywords: $\text{Bi}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{FeO}_3$ ceramic, electrical properties, impedance analysis

PACS: 52.25. Mq, 81.05. Je, 76.60. Es, 84.37.+ q

^{*} Project supported by the Research Funds of Key Laboratory of Information Materials of Guangxi, China (Grant No. 0710908-07-Z).

[†] E-mail: yclguet@yahoo.com