

Pr_{0.6}Sr_{0.4}FeO₃- 钙钛矿结构材料的制备与表征

陈永红^{1,2,*}, 童悦¹, 魏亦军¹, 刘杏芹², 孟广耀²

(1. 淮南师范学院实验信息中心, 安徽 淮南 232001; 2. 中国科学技术大学材料科学与工程系, 安徽 合肥 230026)

摘要: 用甘氨酸-硝酸盐(GNP), Pechini, 柠檬酸-硝酸盐(CNP)以及尿素-硝酸盐法(UNP)制备了 Pr_{0.6}Sr_{0.4}FeO₃- 复合氧化物粉体, 通过电感耦合等离子体发射光谱(ICP), 比表面积测试(BET), 粒度分布、热重-差热分析(TG-DTA), 傅立叶变换红外光谱(FIR)和 X 射线衍射(XRD)等手段对产物进行了分析和表征。结果表明: 4 种方法合成的粉体组成与 Pr_{0.6}Sr_{0.4}FeO₃- 化学计量比一致; 比表面积在 9~27 m²·g⁻¹之间, 粒度范围 35~110 nm, CNP 法所得粉体的比表面积最大, UNP 法最小; XRD 结果证实, Pechini 法制备的干凝胶粉在 600 °C 下焙烧即可形成立方结构的钙钛矿相产物; FIR 结果表明, GNP, CNP 及 UNP 工艺合成的初级粉体中产物物相已基本形成; 热分析结果预示, 初级产物在 1000 °C 下焙烧, 均形成钙钛矿结构的单相固溶体。

关键词: Pr_{0.6}Sr_{0.4}FeO₃-; 钙钛矿; 湿化学法; 表征

中图分类号: TQ174 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7076(2007)01-0057-06

具有氧离子电导和电子电导的掺杂钙钛矿型混合导体材料, 在燃料电池、膜反应器等高温电化学器件及催化领域有着广泛的应用前景, 这方面的工作已成为国内外学者的研究热点^[1-3]。粉体制备多为材料研究工作的起点, 尤其对陶瓷材料, 制备方法与粉体的粒径及粒径分布有着密切的关系, 并进而影响了材料的显微结构、烧结活性及其他应用性能^[4]。使用颗粒小、粒径分布均匀、无硬团聚体的超细粉体作原料, 是保证陶瓷材料具备理想微结构的基本途径之一。目前, 文献报道的粉体制备方法主要有固相反应法^[5, 6]、化学共沉淀法^[7, 8]、Pechini 法^[9]等, 前两种方法的共同缺点是反应时间长、掺杂准确度较差、产物组成难以控制、烧结温度高; Pechini 法作为水基溶胶-凝胶工艺的一种, 由于其前体具有所谓“分子级混合”的特点, 制备出的粉体具有纯度高、均匀性好的优点, 合成温度也显著低于传统方法所要求的温度。在 Pechini 法原理的基础上, 人们对其进行了多方面的改进, 提出了多种湿化学合成方法^[10-14]。

掺杂稀土铁酸盐作为中温固体氧化物燃料电池(IT-SOFC)有前景的阴极材料, 近年来受到了广

泛的关注^[15-17]。本文用甘氨酸-硝酸盐法、Pechini 法、柠檬酸-硝酸盐法以及尿素-硝酸盐法等 4 种不同的制备工艺, 合成钙钛矿型 Pr_{0.6}Sr_{0.4}FeO₃- 复合氧化物粉体, 并对产物的物性和微结构进行表征。

1 实验

1.1 主要试剂

硝酸锶[Sr(NO₃)₂]、硝酸铁[Fe(NO₃)₃·9H₂O]、甘氨酸、柠檬酸、尿素、乙二胺四乙酸二钠(EDTA 二钠)、乙二醇, 均为分析纯, 中国医药(集团)上海化学试剂公司产, 硝酸镨[Pr(NO₃)₃·5H₂O], 分析纯, 上海精科试剂研究所产, 水为石英亚沸蒸馏水。各硝酸盐均配成 ~1 mol·L⁻¹ 溶液, 使用前用 EDTA 二钠标定其浓度。

1.2 粉体合成

根据所合成 Pr_{0.6}Sr_{0.4}FeO₃- 化学计量比, 准确移取各硝酸盐溶液, 混合。按文献^[17]的比例加入计量甘氨酸; 加热蒸发混合液, 直至黏稠的溶液体系发生自助燃烧, 生成初级粉体, 记为(GNP)PSF。将 Pr, Sr, Fe 的硝酸盐按物质的量 6:4:10 混合, 按总金属离子与柠檬酸 1:1.2(物质的量比)加入柠檬

收稿日期: 2006-04-25; 修订日期: 2006-07-17

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金资助项目(2006kj132B)

作者简介: 陈永红(1962-), 男, 安徽舒城人, 硕士, 教授; 研究方向: 稀土无机化合物

* 通讯联系人 (E-mail: chenyh@hnnu.edu.cn)

酸,再按总金属离子与乙二醇 1:2.5 的比例加入乙二醇。恒速搅拌下,于 80 °C 的恒温水浴中加热浓缩混合液,直至体系的体积不变,呈现半固体状态时停止加热,冷却至室温后得亮黄色凝胶。将湿凝胶在 110 °C 下干燥 12 h 后得干凝胶粉,再将干凝胶粉在 600 °C 下焙烧 2 h,研磨得陶瓷粉体,记为(Pechini)PSF。将 Pr, Sr, Fe 的硝酸盐按 $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ 的化学计量比混合,再按总金属离子与柠檬酸 1:1.2(物质的量比)加入所需的柠檬酸,搅拌至完全溶解,用氨水调溶液的 pH 值在 7 左右;将蒸发皿置于调温电炉上加热,浓缩溶液,体系经过黏稠、鼓泡、闷燃、直至自助燃烧,得到黑褐色初级粉体,记为(CNP)PSF。按 $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ 的化学计量比混合 Pr, Sr, Fe 的硝酸盐溶液,按总金属离子与尿素物质的量比 1:3 加入尿素,搅拌至完全溶解,保持溶液的 pH 在 1 左右,加热浓缩混合液,体系逐渐变黏稠、鼓泡、直至燃烧,生成黑褐色初级粉体,记为(UNP)PSF。将以上 4 种方法合成的初级产物在 800 °C 保温 2 h,降至室温后研磨得陶瓷粉料。

1.3 分析与表征

用 Shimadzu 公司顺序扫描型电感耦合等离子体发射光谱(ICPS-8100)对合成样品的化学成分进行测定。测试条件为:RF1.2 kW,观测方向纵向,冷却气 $14.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,等离子气 $1.20 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,载气 $0.70 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$;分析波长:Fe 259.940 nm, Sr 407.771 nm, Pr 414.314 nm。用国产全自动氮吸附比表面积测定仪(JW-004)测量粉体的比表面积。测试条件为:电压 12 V,电流 100 mA,He, N₂ 混合气流量 $80 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$,其中 He 与 N₂ 的体积比 1:4。用微纳公司粒度分析仪(Winner 2000)湿法测量粉体的粒径及粒径分布。用 Nicolet 5700 型傅立叶变换红外光谱仪(FT-IR)测定产物的化学结构。测定条件为:OMNIC 采样器,分束器 KBr,采样间隔 2.0000,动镜速度 0.6329,样品增益 4.0。用 Mettler Toledo 公司 TGA/SDTA 851e 型综合热分析仪对初级粉体进行 TG-DTA 表征。测试条件为:N₂ 流量 $40 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$,升温速率 $10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 。用 Philips 公司 X Pert Pro Super 型 X 射线衍射仪对样品进行物相

分析。测试条件为:Cu K 辐射, $\lambda = 0.15418 \text{ nm}$,电压 40.0 kV,电流 50 mA,扫描速度 $10.00 \text{ (}^\circ\text{) \cdot min}^{-1}$,扫描范围 $2\theta: 10^\circ \sim 80^\circ$ 。取各种粉料适量,在 200 MPa 的单轴压力下,压成直径 13 mm,厚 2 mm 的圆片形素坯,在设定温度下烧成,用本原公司 CSPM 3400 扫描探针显微镜(AFM)对烧结陶瓷体的表面形貌进行观察。

2 结果与讨论

2.1 产物的化学组成

准确称取 0.1 g 样品,加适量盐酸,在电热板上加热溶解后,转移到 200 ml 容量瓶中,定容。Fe, Sr 测定为 4 万倍稀释液,Pr 测定为 10 万倍稀释液。表 1 是 4 种方法合成产物化学组成的测试结果。可见,各产物 Sr 含量与理论值接近,Fe, Pr 含量普遍较理论值稍低。产生偏差的主要原因是样品稀释倍数过大。同时,因没有高含量的 Pr 标准溶液,实际测定时使用的是 $1.0 \times 10^{-2} \%$ 的标样,使得 Pr 的测定不得不使用 10 万倍稀释液,降低了分析结果的准确度。

2.2 比表面积测试

初级粉体(Pechini 法为干凝胶粉)经真空吹扫后,用 BET 法测定其比表面积(S),并根据比表面积、理论密度(ρ)与粒径(d)之间的以下关系式计算粉体的平均尺寸,结果见表 2。

$$d = \frac{6000}{S} \quad (1)$$

结果表明,除 Pechini 法外,3 种通过燃烧反应直接形成的粉体产物,以 CNP 法比表面积最大、平均粒径最小,UNP 法产物比表面积最小、平均粒径最大,这可能是由于尿素的配比过大,燃烧成粉时火焰温度高,导致粉体局部烧结所致。

表 1 4 种方法合成产物的化学组成(%)

Table 1 Chemical composition of samples for different methods(%)

Element	Wave length/ nm	GNP	Pechini	CNP	UNP	Theoretic value
Fe	259.940	23.76	24.76	24.20	24.08	25.36
Sr	407.771	15.96	15.88	15.08	15.92	15.91
Pr	414.314	36.57	36.34	37.17	36.34	38.38

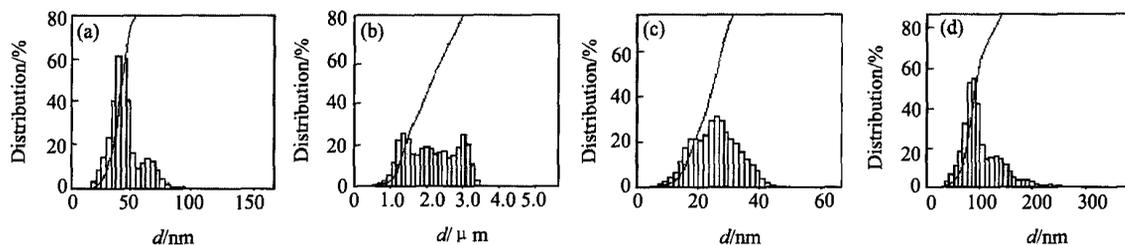


图1 初级产物的粒度分布

Fig. 1 Particle-size distribution of powders

(a) GNP; (b) Pechini; (c) CNP; (d) UNP processes

表2 4种方法合成产物的比表面积及平均粒径

Table 2 Specific area and mean size of $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ for different methods

Method	GNP	Pechini	CNP	UNP
Specific area/ $(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	17.68	0.35	26.86	8.94
Mean size/nm	53.87	2721.09	35.46	106.53

2.3 粒度分布图

图1是合成粉体的粒径及粒径分布的测量结果。其中,除Pechini法为干凝胶粉外,其他3种方法测量样品均为初级粉体。与表2结果对照可以看出,使用粒度分布仪测得粉体的平均粒径与由比表面积测试结果计算的粉料平均尺寸是基本吻合的,但不同方法所得粉体的粒径分布特征不同。GNP法与UNP法粒径分布图特征十分相似,绝大多数粉料的粒径小于平均值,但UNP法产物的粒度分布较GNP产物宽,这是该法粉体生成过程中发生了硬团聚所致。CNP法产物的粒径最小,粒径分布曲线呈现良好的正态分布特征,平均粒径约在15~40 nm之间,且95%的粒度小于40 nm。由于Pechini法测量的是干凝胶粉,不仅颗粒直径大,而且粒径分布范围宽。将此干凝胶粉分别在600, 800和1000 °C下焙烧2 h,研磨后测定其比表面积,其值分别为18.83, 12.28和4.63 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,利用(1)式计算出粒子的直径依次为50.98, 78.18, 207.34 nm。可见,800 °C以上粉体的比表面积随热处理温度的升高显著降低,粒径快速增大,这是粉体在高温下部分烧结所致。

图2是Pechini法所得干凝胶粉在3个设定温度下焙烧2 h后产物的XRD图谱。可以看出,干凝胶粉在600 °C下焙烧,即形成钙钛矿结构的单相产物。提高煅烧温度,峰形、峰位未发生变化,只是

衍射峰越来越尖锐,半峰宽逐渐减小,意味着样品的结晶度在提高,并伴随着晶粒的长大,与比表面积的测试结果一致。

2.4 TG-DTA 分析

图3(a~d)是初级粉体(Pechini法为干凝胶粉)在 N_2 气氛下的热分析结果。比较TG曲线可以看出,GNP法(a)样品在400~550及800~980两个温度区间出现明显的失重台阶,分别对应残留硝酸盐和杂质碳酸盐的热分解过程,这是由于GNP燃烧合成法产物的形成时间极短,易造成微量硝酸盐来不及反应而被包裹在面包屑状的产物中,碳酸盐则是燃烧过程生成的 CO_2 与金属离子作用的结果。CNP法(c)产物的TG,DTA曲线均与GNP法十分相似,但未出现硝酸盐的失重台阶,碳酸锶完全分解时对应的温度提前到约950 °C。与GNP, CNP法相比,UNP法(d)样品的TG曲线上没有出现陡峭的失重,粉体在实验温度范围内的

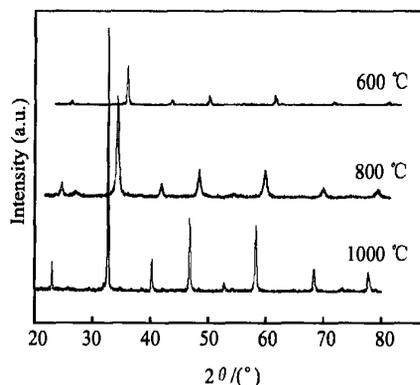


图2 Pechini法干凝胶粉经不同温度煅烧的XRD图谱

Fig. 2 XRD patterns of $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ dry-gel for Pechini method annealed at different temperatures

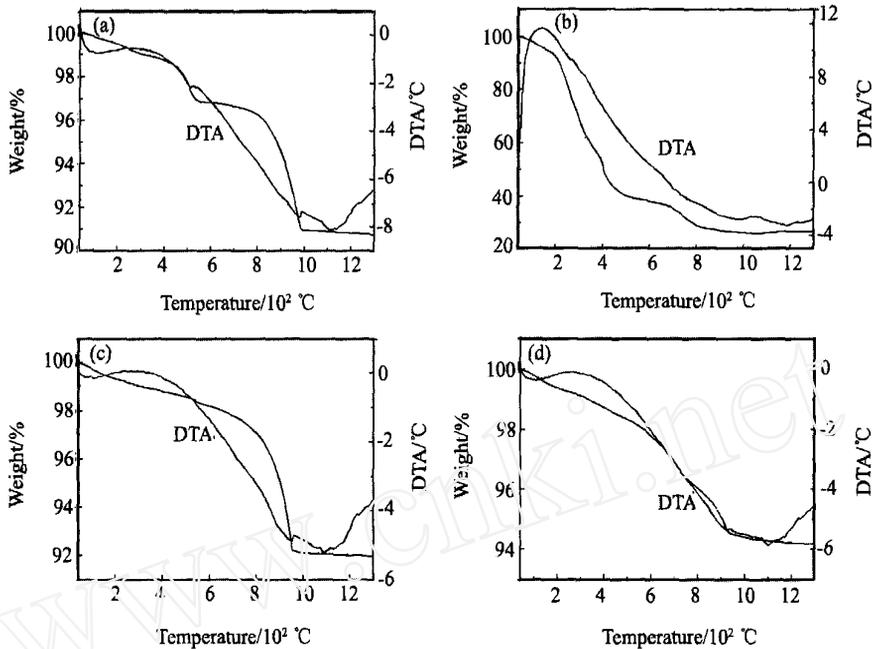


图3 初级粉体的 TG/DTA 曲线

Fig. 3 TG/DTA curves of as-synthesized powders

(a) GNP; (b) Pechini; (c) CNP; (d) UNP processes

总失重也较 GNP 和 CNP 法产物小一些, 600 以前的质量损失是残留尿素的分解, 600 ~ 950 之间的失重, 可能是产物里的碱式碳酸盐热分解所为。Pechini 法得到的干凝胶粉总失重约 70%。其中, 200 以前因样品中的水分挥发失重约 8%, 200 ~ 450 之间失重约 50%, 认为是残留有机物的分解所为, DTA 曲线上对应显著放热峰, 700 ~ 1000 之间因杂质碳酸盐的热分解失重约 12%。从热分析结果看, 1000 以上, 4 条 TG 曲线均不再显示有明显的失重, 意味着不同工艺所得产物完全钙钛矿物相的形成温度基本一致。

2.5 产物的红外光谱

图 4 是初级粉体 (Pechini 法为干凝胶粉) 的红外光谱图。可见, GNP 法 (1) 与 CNP 法 (3) 产物的红外吸收特征十分接近, 558 cm^{-1} 波数处出现 ABO_3 型钙钛矿结构中 B - O 键伸缩振动的特征峰^[18], 1450 cm^{-1} 波数处出现杂质碳酸盐碳酸根 (CO_3^{2-}) 的振动吸收峰, 858 cm^{-1} 波数处的尖峰对应 SrCO_3 中 Sr - O 键的伸缩振动。GNP 产物在 1384 cm^{-1} 波数处有残留硝酸盐硝酸根 (NO_3^-) 红外吸收的特征峰, 与样品热分析结果吻合。UNP (4) 产物钙钛矿结构 B - O 键的特征峰蓝移 10 到 568 cm^{-1} 波数处, 意味

着产物化学键强度的提高, 同样是因为尿素用量大, 粉体形成时火焰温度高所致; 此外, 858 及 1450 cm^{-1} 波数附近的吸收明显减弱, 表明样品中杂质碳酸盐的含量低, 这与 TG 曲线上无明显失重台阶的热分析结果吻合。Pechini (2) 法所得干凝胶中未出现明显的钙钛矿结构特征峰, 与 XRD 结果一致。将粉体压片后在 1000 下煅烧 2 h 测其红外光谱, 结果如图 5 所示。4 种样品在 590 ~ 595 cm^{-1} 及 370 ~ 420 cm^{-1} 范围内分别出现钙钛矿结构 Fe - O 键伸缩振动及弯曲振动的特征峰。GNP 产物

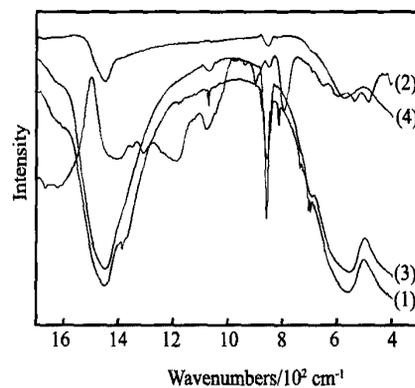


图4 初级粉体的红外光谱图

Fig. 4 FT-IR spectra of as-synthesized powders

(1) GNP; (2) Pechini; (3) CNP; (4) UNP processes

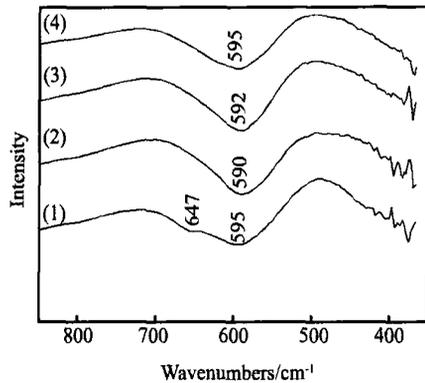


图 5 1000 °C 煅烧 2 h 样品的红外光谱图

Fig. 5 FT-IR spectra of calcined samples at 1000 °C for 2 h
(1) GNP; (2) Pechini; (3) CNP; (4) UNP processes

在 647 cm^{-1} 处出现左肩峰, 与晶格对称性有关。与图 4 相比, 样品经高温焙烧后吸收峰显著蓝移, 表明产物中 Fe - O 键共价性显著增大。

2.6 烧结体的显微结构

图 6(a~d) 分别是 4 种方法合成的粉体压片烧结后所得陶瓷体的表面 AFM 照片。比较可见, GNP 法(a) 和 CNP 法(c) 烧结陶瓷体的表面较为平整, 晶界十分清晰。其中, GNP 法晶粒呈球形, 大小基本一致, 粒径在 100 nm 左右; CNP 法表面最

为致密, 晶粒尺寸约 500 nm。Pechini 法(b) 样品表面平整度及均匀度都比较差, 晶粒大小也不一致, 呈现明显的沟槽或凹陷, 这可能是因为该法粉体里含有未反应掉的有机物, 素坯在烧结过程中夹杂的有机物分解而引起的。UNP 法(d) 坯体表面起伏十分明显, 但晶粒大小分布均匀, 粒径约在 400 ~ 600 nm 之间。

3 结 论

1. 由金属离子的硝酸盐为原料, 分别以甘氨酸、柠檬酸、尿素等为络合剂及还原剂, 用 4 种工艺合成了 $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ 复合氧化物粉体, 产物的实际组成与标题物基本一致。粉体比表面积在 $9 \sim 27\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ 之间, 粒度分布范围 35 ~ 110 nm; 其中, CNP 法产物比表面积最大, UNP 法最小。

2. GNP, CNP 及 UNP 工艺制备的初级粉体中, 产物物相已基本形成, 1000 °C 煅烧 2 h 后, 即形成完全单一的钙钛矿结构固溶体; Pechini 工艺得到的干凝胶粉 600 °C 灼烧 2 h 产物钙钛矿物相已趋完美。AFM 观察显示, GNP 法及 CNP 法粉体的烧结活性高, 陶瓷体表面晶界清晰, Pechini 法及 UNP 法坯体表面起伏较大。

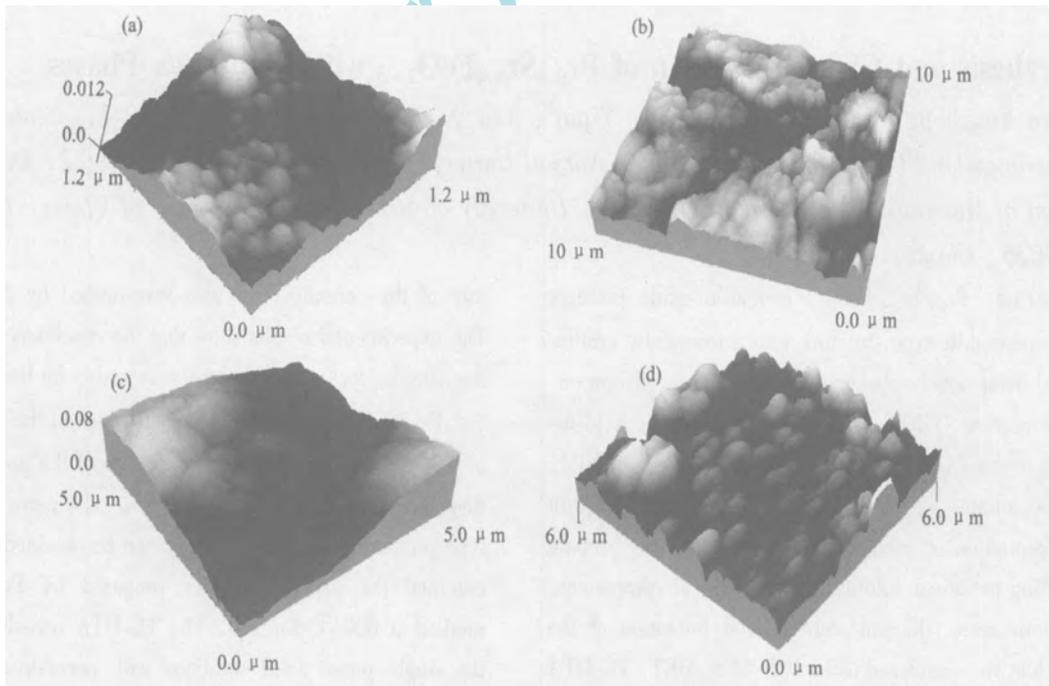


图 6 1200 °C 烧结 2 h 陶瓷体的表面 AFM 照片

Fig. 6 AFM photographs for surface of ceramics sintered at 1200 °C for 2 h
(a) GNP; (b) Pechini; (c) CNP; (d) UNP processes

参考文献:

- [1] Yu H C, Fung K Z. $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{GaO}_{2.5}$ as new cathode materials for intermediate temperature solid oxide fuel cells [J]. *Materials Research Bulletin*, 2003, 38: 231.
- [2] 孙明涛, 孙俊才, 季世军. 固体氧化物燃料电池的中低温化研究 [J]. *稀有金属*, 2004, 28 (6): 1065.
- [3] Cong L G, He T M, Ji Y, et al. Synthesis and characterization of IT-electrolyte with perovskite structure $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Ca}_{0.85}\text{Mg}_{0.15}\text{O}_3$ by glycine-nitrate combustion method [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2003, 348: 325.
- [4] Gu Y F, Li G, Meng G Y, et al. Sintering and electrical properties of coprecipitation prepared $\text{Ce}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{O}_{1.9}$ ceramics [J]. *Materials Research Bulletin*, 2000, 35: 297.
- [5] Mgi M, Inoue Y, Arai M, et al. Features of structural phase transition in $\text{La}_{1-x}\text{SrFeO}_3$ [J]. *Physica C*, 2003, 385 (3): 392.
- [6] Jnnings A J, Shaw C K M, Sinner S J. Electrical conductivity of $\text{La}_x\text{Sr}_{2-x}\text{Fe}_{1-y}\text{Ru}_y\text{O}_4$ [J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2005, 89: 354.
- [7] Guikwad S P, Potdar H S, Samuli V, et al. Co-precipitation method for the preparation of fine ferroelectric $\text{BaBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ [J]. *Ceramics International*, 2005, 31 (3): 379.
- [8] 顾大明, 史鹏飞, 顾健, 等. Synthesis and characterization of $\text{LiNi}_{0.8-x}\text{Zn}_x\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ as cathode materials for lithium-ion battery [J]. *材料科学与工艺*, 2004, 12 (6): 586.
- [9] Tas A C, Majewski P J, Aldinger F. Preparation of strontium and zinc-doped LaGaO_3 powders via precipitation in the presence of urea and/or enzyme urease [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2002, 85 (6): 1414.
- [10] Prabhakaran K, Joseph J, Gokhale N M, et al. Sucrose combustion synthesis of $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{MnO}_3$ ($x = 0.2$) powders [J]. *Ceramics International*, 2005, 31 (3): 327.
- [11] 尧巍华, 张中太, 唐子龙, 等. 低温燃烧工艺制备超细 $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ca}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_{2.85}$ 粉体 [J]. *稀有金属材料与工程*, 2004, 33 (4): 421.
- [12] Yoo J, Park C Y, Jacobson A J. Determination of the equilibrium oxygen non-stoichiometry and the electrical conductivity of $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{FeO}_{3-x}$ [J]. *Solid State Ionics*, 2004, 175: 55.
- [13] Bontempi E, Garzelle C, Valetti S, et al. Structural study of $\text{LaNi}_x\text{Fe}_{1-x}\text{O}_3$ prepared from precursor salts [J]. *J. European Ceramic Society*, 2003, 23: 2135.
- [14] Mo Z L, Chen H, Wang K J, et al. The preparation of perovskite nano powder by sol-gel from DTPA and the mechanism of thermal decomposition [J]. *Chinese Chemical Letters*, 2004, 15 (6): 721.
- [15] Simner S P, Shelton J P, Anderson M D, et al. Interaction between $\text{La}(\text{Sr})\text{FeO}_3$ SOFC cathode and YSZ electrolyte [J]. *Solid State Ionics*, 2003, 161: 11.
- [16] Anderson M D, Stevenson J W, Simner S P. Reactivity of lanthanide ferrite SOFC cathodes with YSZ electrolyte [J]. *J. Power Sources*, 2004, 129: 188.
- [17] 陈永红, 魏亦军, 刘杏芹, 等. $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeO}_3$ 系阴极材料的 GNP 法合成及电性能研究 [J]. *无机化学学报*, 2005, 21 (5): 673.
- [18] Tarte P, Rulmont A, Liégeois-Duyckaerts M, et al. Vibrational spectroscopy and solid state chemistry [J]. *Solid State Ionics*, 1990, 42: 177.

Synthesis and Characterization of $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ with Perovskite Phases

Chen Yonghong^{1,2*}, Tong Yue¹, Wei Yijun¹, Liu Xingqin², Meng Guangyao² (1. Center of Experiment and Communication, Huainan Normal University, Huainan 232001, China; 2. Department of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ - composite-oxide powders with perovskite-type structure were successfully synthesized using wet-chemical method such as glycine-nitrate process (GNP), Pechini process, citric acid-nitrate process (CNP) and urea-nitrate process (UNP). Metal nitrates were dissolved in de-ionized water with concentration of each solution 1 mol L^{-1} to prepare starting precursor solution. The chemical component, specific area, thermal stability and formation of the product were analyzed using ICP-AES, BET, TG-DTA and FT-IR, respectively, the crystalline phases of the $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$ were studied by XRD, the microstructure of the ceramics was also investigated by AFM.

Key words: $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$; perovskite; wet-chemical method; characterization

The experimental results show that the stoichiometry of the samples for different methods accords with the $\text{Pr}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_3$. The specific area distributes in the range of $9 \sim 27 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, and the particle size of the powders disperses in a range of $35 \sim 110 \text{ nm}$. The perovskite-type phases with cubic symmetry can be obtained after calcined the primary powder prepared by Pechini method at 600°C for 2 h. The TG-DTA reveals that the single phase solid solutions with perovskite-type phases are formed after calcined the primary powders obtained from the four processes at 1000°C for 2 h.