

Fabrication and Characterization of $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ Fibers by Electrospinning

Qiyi Cao*, Qing He, Zhaofei Tong, Siyi Chen, Xiangang Long

School of Mechanical Engineering, Quzhou University, Quzhou Zhejiang
Email: *769138608@qq.com

Received: Feb. 28th, 2018; accepted: Mar. 21st, 2018; published: Mar. 28th, 2018

Abstract

Using metal nitrates, citric acid, ethylene glycol and polyethylene pyrrole (PVP) as precursors, $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ (XRD) fibers were fabricated via sol-gel method, electrospinning and subsequent heating process. The thermal decomposition process, crystal structure, morphology and element distribution of the as-pun and as-calcined fibers were studied by means of thermogravimetric-differential thermal analysis (TG-DTA), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectrometer (EDS), respectively. The results show that: the optimum preparation conditions are that the spinning forming agent is prepared by 3.5 wt% PVP with the average molecular weight of 1,300,000, and the concentration of metal ions is 0.125 mol/L. The spinning speed can reach up to 9 ml/h under these conditions. After annealing the LSCO precursor fiber at 800°C, LSCO ceramic fibers with diameters ranged from 0.5 μm to 2 μm were successfully obtained.

Keywords

$\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ Fibers, Conductive Ceramic, Electrospinning, Electrical Contact Material

$\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ 导电陶瓷纤维的静电纺丝法制备及表征

曹奇益*, 贺庆, 童兆飞, 陈思怡, 龙显刚

衢州学院机械工程学院, 浙江 衢州
Email: *769138608@qq.com

收稿日期: 2018年2月28日; 录用日期: 2018年3月21日; 发布日期: 2018年3月28日

*通讯作者。

摘要

以金属硝酸盐为原料,柠檬酸和乙二醇为复合络合剂,聚乙烯吡咯烷酮(PVP)为纤维成型剂,采用改进的静电纺丝法制备了 $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ (LSCO)纤维前驱体,经热处理后得到LSCO亚微米纤维。考察了纤维成型剂PVP的分子量、添加量,纺丝液金属离子浓度,前驱体热处理温度对静电纺丝过程和物相结构的影响,采用X射线衍射仪、扫描电镜及EDS能谱面扫表征了载银LSCO纤维的物相结构、形貌和元素分布。结果表明:采用平均分子量为1,300,000的PVP配置纺丝成型剂,前驱体纺丝液中PVP的加入量为3.5 wt%,金属离子浓度为0.125 mol/L时,纺丝效率最高,能达到9 ml/h。获得的LSCO前驱体纤维在800℃热处理下能够获得直径为0.5~2 μm的LSCO陶瓷纤维。

关键词

$\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ 纤维, 导电陶瓷, 静电纺丝, 电接触材料

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

$\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_{3-\delta}$ (LSCO)导电陶瓷自1953年被Jonker和Van Santen发现后,受到广泛关注[1] [2] [3]。LSCO导电陶瓷中,镧离子的半径比镧离子的半径略大($r_{\text{Sr}^{2+}} = 1.25 \text{ \AA}$, $r_{\text{La}^{3+}} = 1.23 \text{ \AA}$),镧掺杂后导致原有的钙钛矿结构发生畸变,但又不破坏原有结构,从而形成扭曲的钙钛矿结构[4] [5] [6],这决定了LSCO导电陶瓷在很宽的温度范围和氧分压下具有稳定的热力学性质、良好的电输运性能和催化活性[7] [8] [9],是一种高温电子、离子混合导体。目前,LSCO导电陶瓷已应用于电极材料、固体电阻器化学敏感元件、高温加热材料以及代替贵金属的氧化还原催化剂等领域[10] [11] [12],同时在新型Ag/导电陶瓷电接触材料领域也展现出良好的应用前景[13] [14]。Zhang Lingjie等人[15]的研究表明,镧系导电陶瓷作为添加剂增强相可以降低电接触材料的温升、分散电弧能量并减少电弧侵蚀。蔡江南[16]等人指出,LSCO导电陶瓷作为Ag基电接触材料增强相的优势主要在于LSCO良好的导电性能将使Ag/LSCO电接触材料具有较高的电导率,LSCO陶瓷负的电阻温度系数能与金属银正的电阻温度系数起到互补作用,可有效降低材料的电阻温度系数和温升。沈涛[17]等人的研究表明,网孔状结构的LSCO粉体做增强相比普通颗粒状LSCO粉体作增强相时,Ag/LSCO电接触材料表现出更低的电阻率,其物相结构和微观形貌直接影响电接触材料的工作性能。

但上述研究中的Ag/LSCO电接触材料仍沿用传统电接触复合材料中增强相弥散分布的结构形式,在电接触材料的加工成型过程中,大量的增强相颗粒发生滑移,导致位错之间发生相互作用造成材料内部位错的缠结,进而阻碍了位错的进一步运动,造成加工硬化,电子散射等问题[18],对材料的综合性能提升有限。如果LSCO增强相是以纤维结构分散于Ag基体中,则Ag/LSCO电接触材料工作时的电流、热导以及加工应力均可经纤维增强相之间的纯银通路传导,电子散射大大减少,使材料电导率、热导率和延伸率进一步提高。本文采用溶胶-凝胶法配置前驱体纺丝液,采用静电纺丝法制备LSCO纤维,考察了纤维成型剂PVP的分子量、添加量,纺丝液金属离子浓度,前驱体热处理温度对静电纺丝过程和物相结构的影响,制备出了纯相的LSCO纤维,可作为高性能Ag/LSCO电接触材料的增强相。

2. 试验

2.1. LSCO 纤维的制备

静电纺丝法制备 LSCO 纤维的工艺流程如图 1 所示。先将精准配比后的 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶于去离子水中，在超声波辅助下制备出金属盐溶液；并将柠檬酸和乙二醇按一定摩尔比准确称取后溶于去离子水中，用氨水调 pH 至 9.5，配置成复合络合剂；再将该复合络合剂缓慢加入金属盐溶液中，在 80°C 水浴条件下搅拌约 2 h，得到具有一定含水率(粘度)、但未完全凝胶的溶胶-凝胶反应中间体；将聚乙烯吡咯烷酮(PVP)溶于无水乙醇中，配制浓度为 9 wt% 的 PVP/乙醇溶液作纤维成型剂，再将该纤维成型剂缓慢加入上述中间体溶液中，边搅拌边加入，同时保持混合液 pH 值为 9.5，搅拌约 12 h 后，获得粘度适中的前驱体纺丝液。

静电纺丝装置示意图如图 2 所示。将配好的前驱体纺丝液加入到由医用注射器制成的静电纺丝喷头

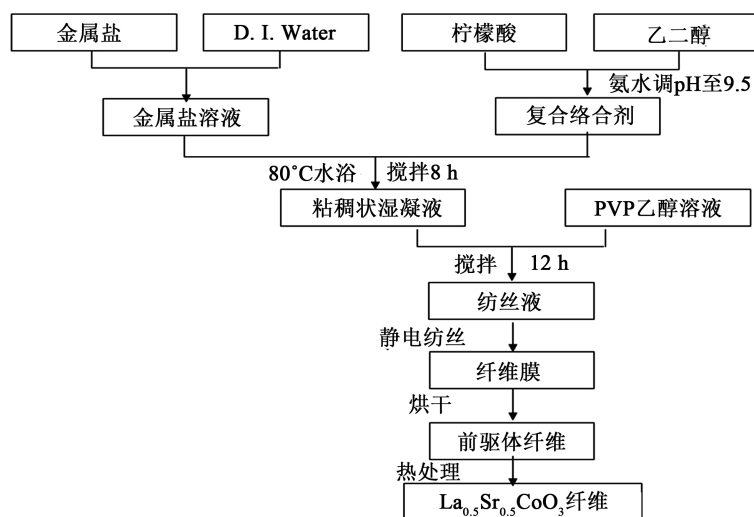


Figure 1. Schematic procedure for preparation of LSCO fibers by electrospinning method

图 1. 静电纺丝法制备 LSCO 陶瓷纤维流程图

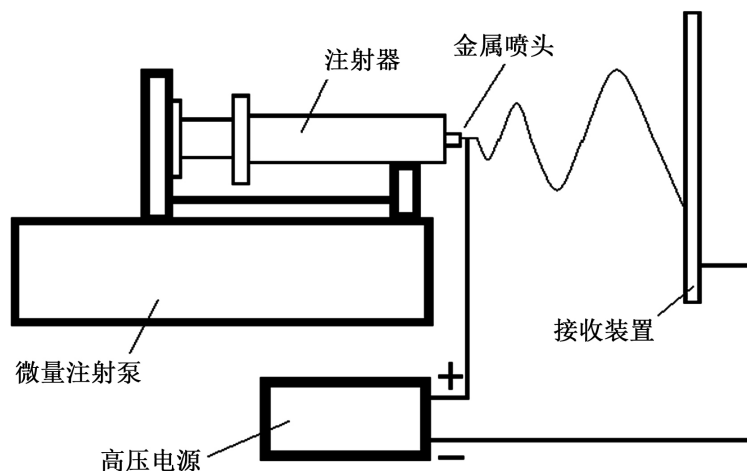


Figure 2. Schematic of electrospinning device

图 2. 静电纺装置示意图

中(内径 0.8 mm),以金属喷头作阳极,铝箔作阴极,缓慢增加电压的同时调整阳极喷头和阴极板之间的纺丝收集距离,直到纺丝开始喷出并稳定鞭动。纺丝完毕后将收集的纤维放入真空干燥箱中,110℃下干燥 12 h,再经过热处理即可得到 LSCO 陶瓷纤维。

2.2. 样品的表征

采用热重分析仪 WRT-3P 和差热分析仪 CRY-2 对前驱物的热失重和差热进行分析,在空气气氛下以 10℃/min 的升温速率升至指定温度,差热分析的参照物为 Al₂O₃。采用 D/max-RA 型 X 射线衍射仪对合成产物 LSCO 样品的物相组成和结晶情况进行分析,X 射线衍射仪的参数为 Cu 靶, K α 辐射源($\lambda = 1.54056\text{\AA}$),工作电压 40 kV,工作电流 36 mA,扫描范围 10°~90°,扫描速率 4°/min;采用 FEI SIRION 型场发射扫描电镜对 LSCO 样品的表面形貌进行观察,仪器加速电压为 20 kV。

3. 结果与讨论

3.1. PVP 分子量对 LSCO 前驱体纤维形貌的影响

在前驱体纺丝液配制过程中,保持 LSCO 金属离子的浓度为 0.125 mol/L,PVP 加入量占纺丝液整体质量的 3.5 wt% 不变,采用两种不同分子量的 PVP 进行试验。一种是 PVP/K30,平均分子量为 58,000;另一种是 PVP/K88-96,平均分子量为 1,300,000。添加这两种试剂获得的纺丝纤维的 SEM 微观形貌分别如图 3(a)、图 3(b)所示。可以看出,PVP/K30 配制纤维成型剂时,所得产物中出现了大量的串珠现象,这是由于前驱体溶液中所用的 PVP 分子量太小,纺丝液未被电场完全拉伸就发生凝固,从而形成了大量珠状物;而 PVP/K88-96 配制纤维成型剂时,前驱体纺丝液在电场中能够被拉伸形成纤维,不同纤维交叉处出现结点是含有有机质的纤维在扫描电子显微镜的电子束加热作用下发生粘连引起的。另外,以平均分子量为 58,000 的 PVP 配制的前驱体溶液纺丝速度仅有 0.6 ml/h,效率低下;而以平均分子量为 1,300,000 的 PVP 配制的前驱体溶液纺丝速度高达 9 ml/h,是前者的 15 倍。因此,后续实验中均选用平均分子量为 1,300,000 的 PVP 来配制的前驱体纺丝液。

3.2. PVP 添加量对纺丝效率和 LSCO 前驱体纤维形貌的影响

在静电纺丝法制备 LSCO 纤维的过程中,选用平均分子量为 1,300,000 的 PVP 配制纤维成型剂,前驱体纺丝液中 LSCO 金属离子的浓度保持 0.125 mol/L 不变,调节纤维成型剂 PVP 的用量分别为 2.0 wt%、2.3 wt%、2.6 wt%、2.9 wt%、3.2 wt%、3.5 wt%、3.8 wt%、4.1 wt%,四种前驱体溶液的纺丝速度分别列于表 1 中。从表中可以看出,随着前驱体纺丝液中 PVP 含量从 2.0 wt% 增加到 3.5 wt%,纺丝速度整体呈

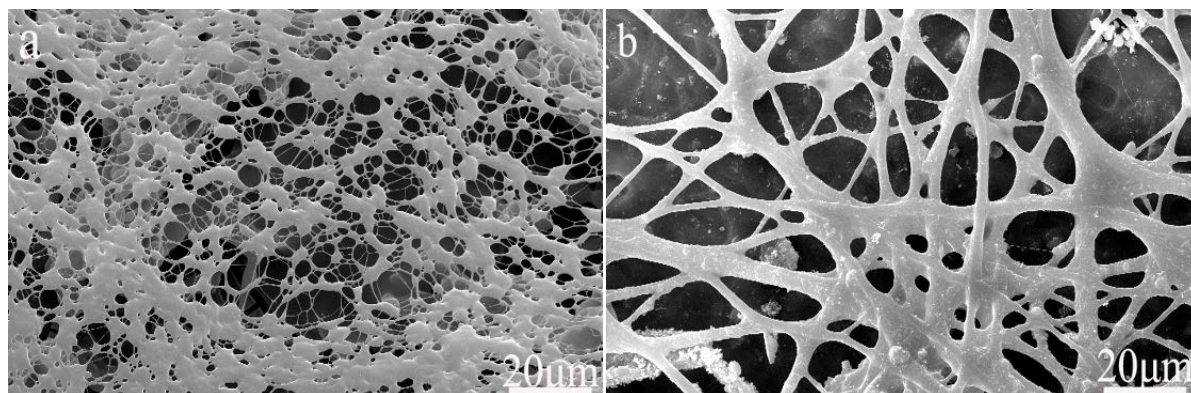


Figure 3. SEM images of electrospinning fibers prepared by PVP with different molecular weight: (a) 58,000, (b) 1,300,000

图 3. 不同分子量 PVP 制备的 LSCO 前驱体纤维 SEM 照片: (a) 58,000, (b) 1,300,000

增加趋势, 随后 PVP 含量继续从 3.5 wt% 增加到 4.1 wt%, 纺丝速度又明显下降, 甚至不能进行纺丝。这是因为当 PVP 含量较低时, 前驱体纺丝液内部的粘滞力不够, 不足以使纺丝液形成连续、稳定的射流, 随着 PVP 含量的增加, 纺丝液的粘度增加, 纺丝连续性得到改善, 纺丝速度增加, 效率提高。当继续增加 PVP 用量时, 纺丝液粘度过大, 纺丝液射流在电场中不能被有效拉伸和鞭动, 纺丝速度降低, 此时静电力不能克服纺丝液滴 Taylor 锥的表面张力和粘滞力形成射流, 纺丝过程不能发生, 不进行纺丝。因此在本实验的前驱体纺丝液中, PVP 含量为 3.5 wt% 时纺丝效率最高。

PVP 含量分别为 2.9 wt%、3.2 wt%、3.5 wt%、3.8 wt% 时, LSCO 前驱体纤维的微观形貌分别如图 4(a)~图 4(d) 所示。可以看出, 这四种 LSCO 前驱体纤维的表观形貌相似, 区别在于随着纺丝液中 PVP 含量的增加, 前驱体纤维有逐渐变粗的趋势, 这是因为 PVP 含量增加导致纺丝液的粘度增大, 纺丝液射流在电场中的拉伸和鞭动逐渐变得困难导致的。

3.3. 纺丝液金属离子浓度对 LSCO 前驱体纤维形貌的影响

在静电纺丝法制备 LSCO 纤维的过程中, 选用平均分子量为 1,300,000 的 PVP 来配制纤维成型剂, 并以 PVP 用量占前驱体纺丝液质量的 3.5 wt% 来引入纤维成型剂, 调节纺丝液中的金属离子浓度分别为 0.1 mol/L、0.125 mol/L、0.15 mol/L 和 0.2 mol/L, 所得 LSCO 前驱体纤维的微观形貌分别如图 5(a)~图 5(d) 所示。

Table 1. The electrostatic spinning speed at different concentration of PVP

表 1. 不同 PVP 含量的静电纺丝速度

| PVP 用量(wt%) | 2.0 | 2.3 | 2.6 | 2.9 | 3.2 | 3.5 | 3.8 | 4.1 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 纺丝速度(ml/h) | 0.3 | 1.2 | 0.8 | 2.5 | 4.0 | 9.0 | 3.0 | 0.0 |

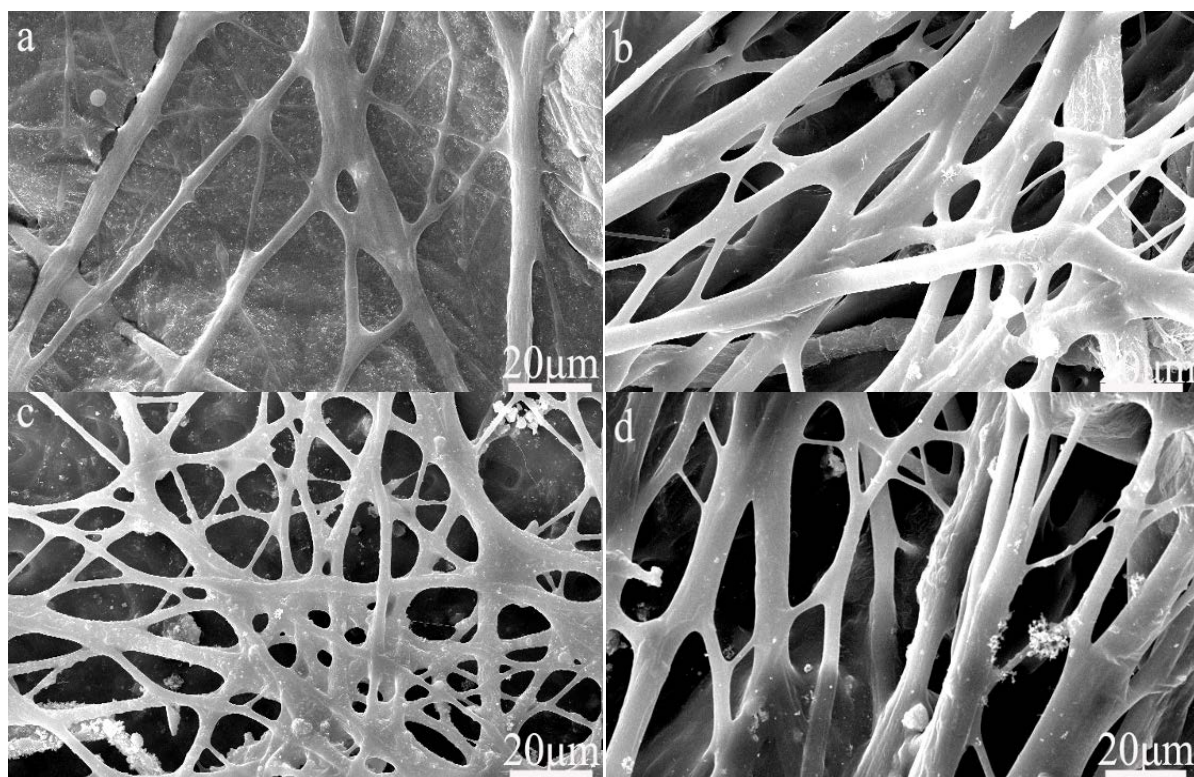


Figure 4. SEM images of electrospinning fibers prepared with different amounts of PVP: (a) 2.9 wt%, (b) 3.2 wt%, (c) 3.5 wt%, (d) 3.8 wt%

图 4. 不同 PVP 添加量制备的 LSCO 前驱体纤维的 SEM 照片: (a) 2.9 wt%, (b) 3.2 wt%, (c) 3.5 wt%, (d) 3.8 wt%

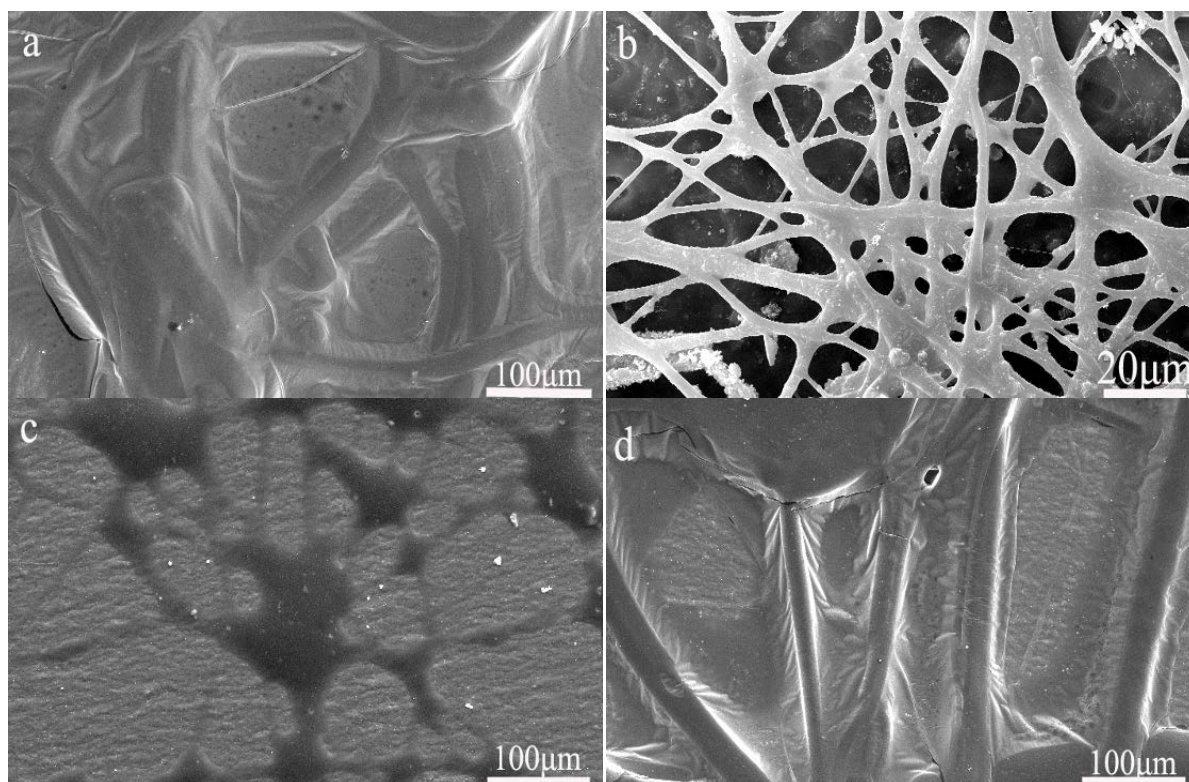


Figure 5. SEM images of electrospinning fibers prepared with different concentration of metallic ions: (a) 0.1 mol/L, (b) 0.125 mol/L, (c) 0.15 mol/L, (d) 0.2 mol/L

图 5. 不同金属离子浓度时制备的 LSCO 前驱体纤维的 SEM 照片: (a) 0.1 mol/L, (b) 0.125 mol/L, (c) 0.15 mol/L, (d) 0.2 mol/L

可以看出, 当金属离子浓度为 0.1 mol/L 时, 产物中存在大量的有机团聚体, LSCO 前驱体纤维很粗而且弯曲缠绕, 这可能是由于金属离子浓度过低, 阻碍了溶胶凝胶反应过程, 纺丝液的均匀性差, 纺丝液带电射流的弯曲不稳定性太大导致的。当金属离子浓度为 0.125 mol/L 时, 能够稳定获得比较均匀的 LSCO 前驱体纤维。当金属离子浓度为 0.15 mol/L 时, LSCO 前驱体纤维存在比较明显的串珠现象, 部分纤维呈圆珠状串联于均匀纤维上, 这是因为金属离子浓度继续增大时, 纺丝液电导率升高, 带电射流表面电荷密度增大, 导致纺丝液带电射流在切向电场中受到的力增大, 将部分纤维拉伸成圆珠状, 形成串珠现象。当金属离子浓度为 0.2 mol/L 时, 获得的 LSCO 前驱体纤维少而粗大, 这是因为金属离子浓度过大时, 纺丝液射流的电导率很高, 在静电场作用下离开喷头到达接收板的时间短, 没有充分鞭动和拉伸就被收集的缘故。因此, 本实验中纺丝液金属离子的最佳浓度为 0.125 mol/L。

3.4. LSCO 前驱体纤维热处理温度对物相的影响

在前驱体溶液中金属离子的浓度为 0.12 mol/L, PVP 含量为 3.5 wt% 且平均分子量为 1,300,000 的实验条件下, 对静电纺丝阴极板上收集的产物进行热重/差热分析, LSCO 前驱体纤维的 TG/DTA 曲线如图 6 所示, 可以看出, 从室温至 300°C 的失重是前驱体中的物理吸附水、化学结合水以及乙醇等低沸点有机物的挥发、硝酸根的氧化还原引起的; 300°C~500°C 之间的大量失重伴随着剧烈的放热反应, 是因为柠檬酸复合络合剂和 PVP 的燃烧分解; 600°C 附近和 800°C 附近各有一次轻微的失重可能是由 LSCO 陶瓷纤维的烧结晶化引起的。

将 LSCO 前驱体纤维分别在 500°C、600°C、700°C、800°C 烧结, 所得产物的 XRD 图谱如图 7 所示。

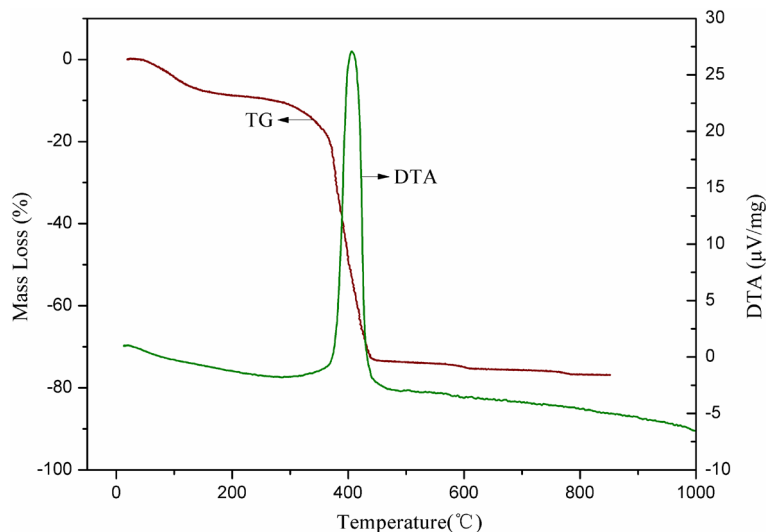


Figure 6. DTA/TG curves of the fibers derived from LSCO precursor
 图 6. LSCO 前驱体纤维的 TG/DTA 曲线

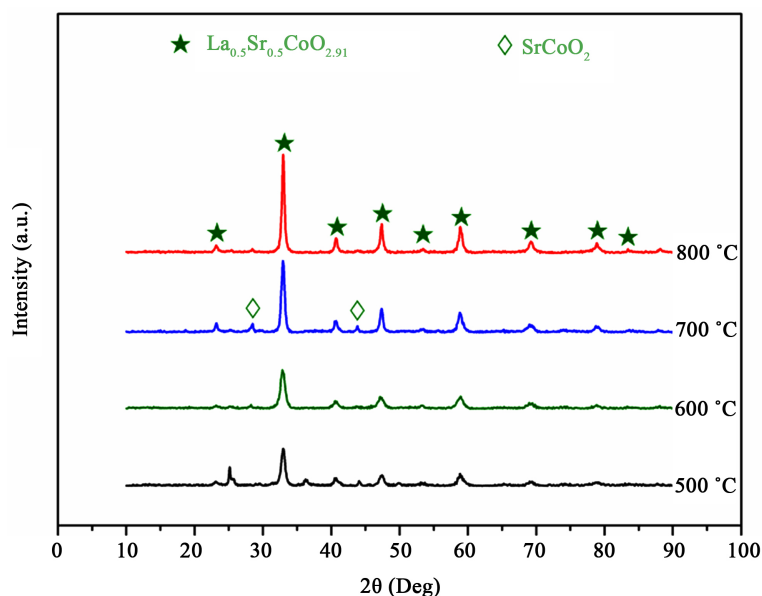


Figure 7. XRD patterns of $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ fibers calcined at different temperatures
 图 7. $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ 前驱体纤维不同温度烧结产物的 XRD 图谱

可以看出,随着烧结温度的升高, SrCoO_2 与部分 La 发生反应,使 LSCO 纤维杂峰越来越少,主晶相峰越来越明显。从局部放大图可以看出, SrCoO_2 的小杂峰在 800°C 时基本消失,表明在 800°C 烧结可以获得纯相的 LSCO 纤维。

800°C 下烧结后的 LSCO 纤维,其微观形貌和 EDS 能谱分析分别如图 8 和图 9 所示,其中图 9 中 Au 的谱线来自于为了便于观察形貌而在试样表面喷涂的 Au 纳米颗粒。结合图 8 和图 9 可以看出,在 800°C 下烧结可以获得直径为 $0.5\sim 2\ \mu\text{m}$ 的 LSCO 陶瓷纤维,其中 LSCO 纤维是由 LSCO 颗粒烧结而成的。

4. 结论

1) 采用静电纺丝法制备 LSCO 纤维,前驱体纺丝液中 PVP 成型剂的含量能够直接影响纺丝效率和

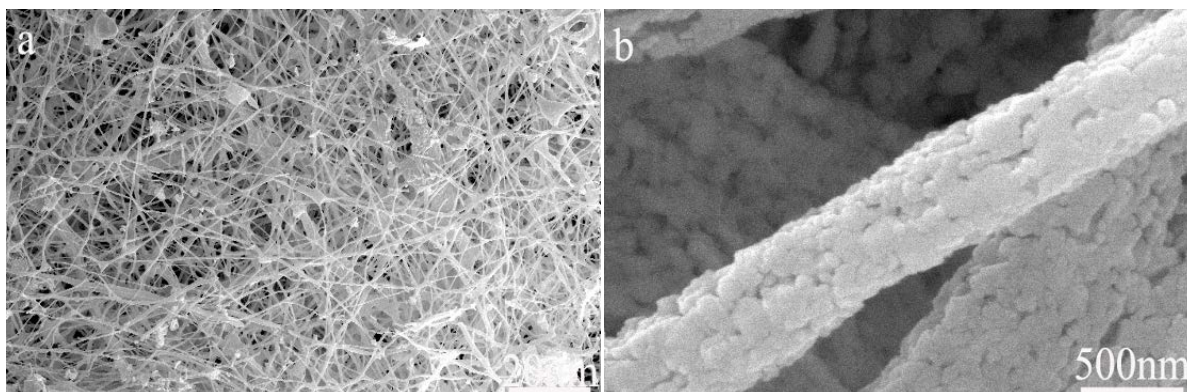


Figure 8. SEM images of LSCO fibers sintered at 800°C

图 8. 800°C 烧结后 LSCO 纤维的 SEM 照片

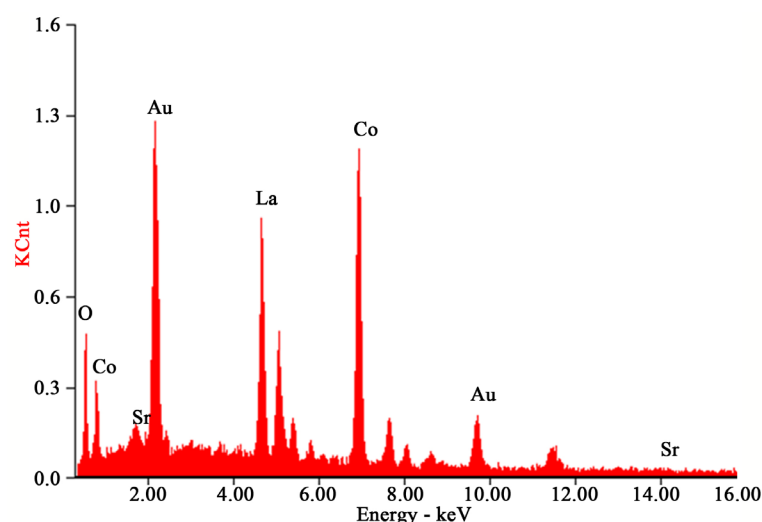


Figure 9. EDS pattern of LSCO fibers sintered at 800°C

图 9. 800°C 烧结后 LSCO 纤维的 EDS 能谱图

前驱体纤维的直径，平均分子量高的 PVP 配制的纺丝成型剂能够起到更好的效果；另外，纺丝液中金属离子的浓度也能决定纺丝过程能否顺利进行。

2) 采用平均分子量为 1,300,000 的 PVP 配置纺丝成型剂，前驱体纺丝液中 PVP 的加入量为 3.5 wt%，金属离子浓度为 0.125 mol/L 时，纺丝效率最高，能达到 9 ml/h。获得的 LSCO 前驱体纤维在 800°C 热处理下能够获得直径为 0.5~2 μm 的 LSCO 陶瓷纤维。接下来我们将会研究金属喷头中的静电压、金属喷头的电势和金属喷头与接收装置之间的距离对 LSCO 陶瓷纤维静电纺丝效率的影响。

基金项目

浙江省自然科学基金(LQ16E010002)；浙江省大学生科技创新项目(2016R429012)。

参考文献

- [1] 薄占满, 徐廷献, 曲远方, 胡宗民, 程志捷, 段兴龙. 导电陶瓷的研究[J]. 硅酸盐通报, 1992(5): 15-19.
- [2] 马小玲, 冯小明. 导电陶瓷的研究进展[J]. 佛山陶瓷, 2009(6): 43-46.
- [3] 廖军. LSCO 导电功能陶瓷应用基础研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 四川大学, 1996.

- [4] Guo, S.W. and Yuan, C.G. (2015) Preparation and Application of Silver Nano Composite Fibers by Electrostatic Spinning. *Progress in Chemistry*, **27**, 1841-1850. http://apps.webofknowledge.com.elibrary.einstein.yu.edu/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=6E63oP7
- [5] 蒋丽珍. 制备条件对 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ 体系 I-M 相变的影响[J]. 浙江工商大学学报, 2007(4): 55-59.
- [6] 高建峰, 刘亚飞, 刘杏芹, 孟广耀. 微波固相反应合成 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ 阴极材料的研究[J]. 硅酸盐学报, 2006(30): 75-78.
- [7] 欧阳鹏, 马全宝, 张正富, 彭金辉. $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ 钙钛矿型复合氧化物的制备及其电催化特性[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2005, 30(3): 15-19.
- [8] Mizusaki, J., Mima, Y. and Fueki, S.Y.K. (1989) Nonstoichiometry of the Perovskite-Type Oxides $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_{3-\delta}$. *Journal of Solid State Chemistry*, **80**, 102-111. [https://doi.org/10.1016/0022-4596\(89\)90036-4](https://doi.org/10.1016/0022-4596(89)90036-4)
- [9] 尹娜, 刘雪燕, 侯智, 王成建, 陈延学. 新型银基导电陶瓷复合电接触材料[J]. 电工材料, 2004(1): 3-6.
- [10] 黄海凤, 唐伟, 陈银飞, 陈碧芬. 纳米晶粒钙钛矿型 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ 催化剂的制备及其对 VOCs 催化燃烧的研究[J]. 分子催化, 2005, 19(5): 351-355.
- [11] An, S., Kim, Y.I., Jo, H.S., Kim, M.-W., Lee, M.W., Yarin, A.L. and Yoon, S.S. (2017) Silver-Decorated and Palladium-Coated Copper-Electroplated Fibers Derived from Electrospun Polymer Nanofibers. *Chemical Engineering Journal*, **327**, 336-342. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.076>
- [12] 彭超, 郭宝会. 静电纺载纳米银粒子纳米复合纤维的制备及其结构与性能[J]. 河南科学, 2016(3): 323-326.
- [13] 陈晓青, 谭晶, 李好义, 丁玉梅, 杨卫民, 何雪涛. 静电纺丝法制备的纳米纤维在环境治理中的应用研究进展[J]. 环境污染与防治, 2017(7): 798-801.
- [14] 李文生, 李亚明, 张杰, 刘毅, 董洪峰. 银基电接触材料的应用研究及制备工艺[J]. 材料导报, 2011, 25(11): 34-39.
- [15] Zhang, L.J., Shen, T., Shen, Q.H., Zhang, J., Chen, L., Fan, X.P. and Yang, H. (2016) Anti-Arc Erosion Properties of $\text{Ag-La}_2\text{Sn}_2\text{O}_7/\text{SnO}_2$ Contacts. *Rare Metal Materials and Engineering*, **45**, 1664-1668. [https://doi.org/10.1016/S1875-5372\(16\)30136-9](https://doi.org/10.1016/S1875-5372(16)30136-9)
- [16] 蔡江南, 杨芳儿, 裘凯锋, 陈乐生, 郑晓华. 新型电接触材料 $\text{Ag/La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ [J]. 电子元件与材料, 2014, 33(7): 1-3.
- [17] 沈涛, 张继, 张玲洁, 杨辉, 樊先平, 陈晓, 祁更新, 赵良奎. 钙钛矿型 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ 粉体的制备及其在银基电接触材料中的应用[J]. 稀有金属材料与工程, 2017, 46(11): 1-6.
- [18] 思芳, 王俊勃, 刘松涛, 杨敏鸽, 杨尔慧. Ag-SnO_2 触头材料制备工艺的研究现状与发展趋势[J]. 电子元件与材料, 2015, 34(9): 31-34.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ms@hanspub.org