

直接碳固体氧化物燃料电池钙钛矿阳极的研究进展

陈晓¹, 郝森然², 曾晓苑², 肖杰^{2*}

(1. 昆明理工大学 材料科学与工程学院, 云南 昆明 650093;

2. 锂离子电池及材料制备技术国家地方联合工程研究中心, 昆明理工大学 冶金与能源工程学院, 云南 昆明 650093)

[摘要] 直接碳固体氧化物燃料电池(DC-SOFC)作为一种全固态的能量转换装置,可直接将固体碳燃料中的化学能转化为电能,比起其他燃料电池具有更高的电效率和燃料利用率。然而,直接使用碳作为燃料还面临诸多挑战,如碳燃料低的电氧化活性和传质,以及阳极侧三相反应界面有限。其中,电池的阳极反应对电池的电化学性能起到关键性的作用。本文详细介绍了新型钙钛矿材料在直接碳固体氧化物燃料电池阳极上的应用,为未来 DC-SOFC 阳极材料的设计和研发提供了参考和方向。

[关键词] 直接碳固体氧化物燃料电池; 钙钛矿阳极; 清洁高效发电技术

[中图分类号] TM911.4

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2023)01-0031-05

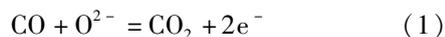
DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.01.007

0 前言

在高速发展的现代社会,能源危机一直是人类面临的最严峻的挑战之一。在不同种类的能源消耗中,化石燃料(其中煤炭约占 60%)仍占据着世界能源市场的主要部分。与氢燃料等新能源不同,煤炭是地球上最丰富、最常用的能源之一,尤其在中国。然而,中国约有一半的煤炭通过直接燃烧用于发电,造成了严重的空气污染和气候影响。此外,燃煤电厂的能量转换效率低下,这意味着大量的能源被浪费。因此迫切需要发展新型高效的洁净煤技术来替代传统的火力发电技术。洁净煤技术,包括先进的选煤技术、先进燃烧器、流化床燃烧技术、先进煤炭气化技术、整体煤气化联合循环(IGCC)技术等。虽

然通过已有的这些技术,对环境造成污染的粉尘、烟尘和 SO₂ 等有害物质在不同的过程阶段得到去除或减少;但已有的洁净煤技术仍采用传统的热机转换方式来实现能量的转换,受卡诺循环限制,不利于资源节约和 CO₂ 减排。目前国际上最先进的洁净煤技术 IGCC 的净效率也不超过 48%,因此,大力发展煤炭的高效清洁利用新技术是实现我国“双碳”战略目标的重要途径^[1-2]。

直接碳固体氧化物燃料电池(DC-SOFC)是一种全固态能量转换装置,以氧离子导体为电解质,直接以固体碳为燃料,将化学能以电化学的方式直接转化为电能^[1,3-5]。与其他燃料电池不同,DC-SOFC 无需任何液体电解质或载气即可发电,避免了高温液体介质的泄漏和腐蚀问题^[6-7],简化了系统设备和管理,并降低了总体成本。其工作原理示意图如图 1 所示,空气中的 O₂ 分子在电池的阴极上吸附,在催化作用下得到电子生成氧离子(1/2O₂ + 2e⁻ = O²⁻)。接着氧离子通过氧离子导体电解质传递到阳极上和 CO(由 C 燃料和少量氧气发生反应生成,起启动作用)发生电化学氧化反应,生成 CO₂ 和电子:



生成的 CO₂ 分子又扩散到碳燃料表面发生逆向 Boudouard 反应(RBR),产生更多的 CO:



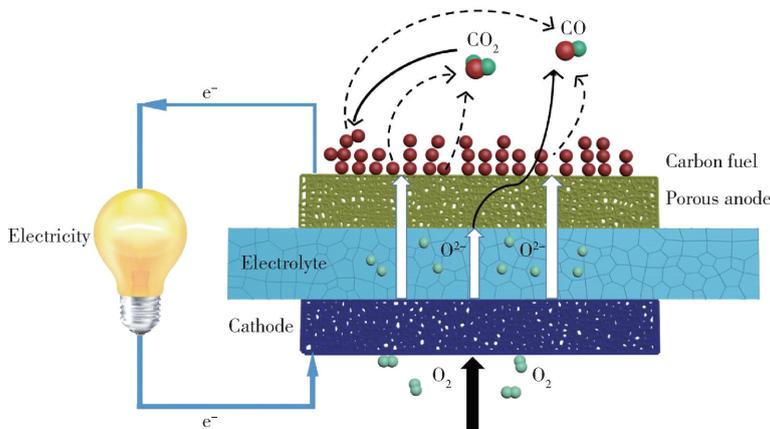
[收稿日期] 2022-09-16

[第一作者] 陈晓(1996—),女,四川巴中人,硕士研究生,研究方向为直接碳固体氧化物燃料电池。

[通信作者] 肖杰(1988—),男,江西南昌人,副教授,博士,研究方向为固体氧化物燃料电池、电催化剂。E-mail: jixiao@kust.edu.cn

[基金项目] 国家自然科学基金项目(52262034,51904136,51904130)

[引用格式] 陈晓,郝森然,曾晓苑,等.直接碳固体氧化物燃料电池钙钛矿阳极的研究进展[J].有色设备,2023,37(1): 31-35.

图 1 DC-SOFC 的工作原理图^[6]

其中部分 CO 分子又会扩散至阳极上发生电化学反应氧化反应(1)。反应(1)和(2)巧妙地形成了一个耦合和循环,从而很好地解决了固体碳的传质问题,同时能够消耗碳燃料源源不断地产生电能。

由于 DC-SOFC 的主要反应是阳极侧的反应,决定电池性能的主要因素是阳极腔室内碳燃料的逆向 Boudouard 气化反应过程、阳极催化剂材料对 C 和 CO 的电化学氧化催化活性以及阳极材料的抗积碳、抗硫能力。

1 不同钙钛矿材料在直接碳燃料电池阳极中的应用

钙钛矿材料作为一种混合离子和电子导体(MIEC),被广泛用于 SOFC 的电极材料^[10-12],若应用于 DC-SOFC 的阳极材料,则碳燃料的电化学氧化区域将从阳极/电解质界面扩展到阳极/固体碳燃料界面,提高了三相反应界面(TPB),使 DC-SOFC 的性能得到提升。关于钙钛矿阳极材料在直接碳固体氧化物燃料电池中的应用,主要有以下几个分类:

1.1 SrTiO_{3-δ}基钙钛矿

单钙钛矿结构的钛酸锶在氧化和还原条件下具有良好的稳定性^[13],而非掺杂的钛酸锶钙钛矿(Sr-TiO₃)在氧化气氛中表现出绝缘性能,在还原气氛中表现出具有 n 型电导率的半导体性能,Ti⁴⁺/Ti³⁺离子对的存在提高了阳极的电导率。在钙钛矿阳极中,La 掺杂的钛酸盐如 La_{0.3}Sr_{0.7}TiO₃(LST)和 La_{0.3}Sr_{0.7}Ti_{0.93}Co_{0.07}O₃(LSCT)等在还原性气氛中均表现出优良的稳定性,且对硫有优异的耐受性和抗积碳能力^[14-15]。此外,该材料能很好地和 YSZ 电解质相兼容,因而可作为 DC-SOFC 的阳极材料。

当使用 LST 和 LSCT 材料分别作为 DC-SOFC 的阳极时,在 800 °C 运行时电池产生的最大功率密度分别为 6 mW·cm⁻²和 25 mW·cm⁻²。这可能是由于在测试条件相同的情况下,LST 比 LSCT 的离子电导率更低导致的。

1.2 LaCrO_{3-δ}基钙钛矿

Cr 具有一个良好的六配位结构,因此在 LaCrO₃中很难形成氧空缺。但是当 A 位掺杂少量 Ca、Sr,在 B 位掺杂一些过渡元素如 Mn、Fe、Co、Ni、Cu、V 后在高温或还原气氛下在材料的结构中可以产生氧空缺进而形成氧离子导电能力^[12]。Cai^[16]等人制备的 LSCM-YSZ|YSZ|LSCM-GDC 和 Ni-LSCM-YSZ|YSZ|LSCM-GDC 燃料电池,以负载了 5 wt.% Fe 的活性炭为燃料,在 850 °C 分别获得了 114 mW·cm⁻²和 153 mW·cm⁻²的最大功率密度,开路电压均为 1.0 V,电化学性能还不是非常优异。La_{0.75}Sr_{0.25}Cr_{0.5}Mn_{0.5}O_{3-δ}(LSCM)阳极材料在使用含 SO₂、H₂S 和 CO₂ 气体的燃料工作时具有更好的稳定性,因此 Zhu 等^[17]浸渍法在 3D 多孔的 YSZ 骨架上制备了微纳结构的 LSCM 阳极材料。其中 YSZ 骨架可以为 O²⁻ 提供丰富的传输通道,弥补了 LSCM 氧离子电导率低的缺点,从而扩大了整个阳极的三相反应界面。当采用柳叶炭作为阳极室的燃料时,电池在 800 °C 下显示出优异的性能,最大功率密度可达 330 mW·cm⁻²。此外,当电池以 150 mA·cm⁻² 的恒电流密度放电,并采用 U 形管的连续填充燃料的通道装置时,可稳定运行 1 000 min 而不发生衰减。

1.3 LaFeO_{3-δ}基钙钛矿

Fe 基钙钛矿氧化物材料具有更高的电导率和更优异的催化活性,而且资源丰富、成本低,是一类

极具发展潜力的阳极材料。未掺杂的 LaFeO_3 钙钛矿氧化物包含高自旋态 Fe^{3+} 离子,是一种反铁磁的绝缘体材料。当在 A 位掺入镧元素,热激发的小极化子导电形式将会形成,载流子为 Fe 的不同价态离子^[18]。然而含 Fe 的钙钛矿材料化学稳定性差,在还原性气氛中会发生相的分解。若在 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$ 系统的 B 位引入高价的阳离子可以有效提高阳极材料的结构稳定性,产物 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{M}_y\text{O}_{3-\delta}$ ($\text{M} = \text{Cr}, \text{Sc}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Mo}$ 等),可以作为 SOFC 的阳极材料。例如, $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.9}\text{Mo}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ 阳极在以 H_2 和 CH_4 为燃料时,电解质支撑的单电池的最大功率密度在 $750\text{ }^\circ\text{C}$ 达到了 722 和 $513\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ ^[19]。同时 LaFeO_3 基材料也是常用的对称电池电极材料。如 $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ 对称电极在 $800\text{ }^\circ\text{C}$ 时空气中的极化阻抗达到了 $0.015\text{ }\Omega\text{ cm}^2$, H_2 中则达到了 $0.29\text{ }\Omega\text{ cm}^2$ ^[20]。Li 等^[21] 将 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Fe}_{0.9}\text{Nb}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (LSFNb) 用作 SOFC 的阳极,其表现出了良好的耐硫性和氧化还原稳定性。同时,以活性炭和玉米秸秆碳为燃料时^[22], DC-SOFC 电池在 $850\text{ }^\circ\text{C}$ 时最大功率密度分别可达 $302.8\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ 和 $218.5\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$, 表现出了优异的电化学性能。通过对放电后阳极的微观形貌进行表征发现,在 LSFNb 晶界沉积了一些直径约为 30 nm 的溶出物颗粒,进一步分析表明这些物质为 FeO, 这些金属溶出物可以显著提高 LSFNb 阳极对气体燃料的催化活性。Chen 等^[23] 开发了一种新型的钙钛矿阳极材料 $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_{3-\delta}$ (LSFV), 以 $\text{Ag}-\text{Gd}_{0.1}\text{Ce}_{0.9}\text{O}_{2-\delta}$ 和 Al_2O_3 掺杂的氧化钇稳定的氧化锆 (YSZ) 分别用作电池的阴极和电解质材料, 制备成 LSFV_x-GDC/YSZ/Ag-GDC 结构的 DC-SOFC, 通过研究 B 位掺杂对直接碳固体氧化物燃料电池综合电化学性能的影响机制, 为褐煤燃料的高效利用提供新的思路。结果显示 V 掺杂量为 0.1 时的电池性能最佳, 以热解褐煤为燃料, 在 $850\text{ }^\circ\text{C}$ 下最大功率密度达 249 , 同时具有最小的极化电阻 (0.37) 以及最长的放电时间。这归因于 $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.9}\text{V}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ 材料最大的氧空位浓度和最高的电催化活性。

1.4 SrMoO_3 -基钙钛矿

纯的 SrMoO_3 是电子导体材料, 不适合直接作为 SOFC 的电极材料。通常的方法是在 Mo 位引入过渡金属元素 Fe、Co、Ga 等元素, 使其变成混合电子-

离子导电材料, 或者与离子导电的电解质 GDC 或 YSZ 等材料进行复合^[24-27]。例如, $850\text{ }^\circ\text{C}$ 以 H_2 为燃料时, 以 $\text{SrMo}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ 为阳极的单电池最大功率密度达到了 $800\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ ^[25]。 $850\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 以 H_2 为燃料, SrMoO_3 -60GDC 复合阳极的单电池最大功率密度达到了 $452\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ ^[27]。Xiao 等^[24] 采用溶液渗透工艺将 $\text{SrFe}_{0.75}\text{Mo}_{0.25}\text{O}_{3-\delta}$ (SFMO) 电极浸渍到多孔 $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ (LSGM) 骨架制备成 SFMO-LSGM 复合电极。以 LSGM 为电解质薄膜材料组装成对称电极的 DC-SOFC, 采用搭载了 $5\text{ wt.}\%$ Fe 的活性碳作为燃料, 周围环境中的空气作为氧化剂。单电池在 $850\text{ }^\circ\text{C}$ 时最大功率密度可达 $405\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$, 这与 Ni 基阳极支撑的 DC-SOFC 的输出结果相当。此外, 重新填充碳燃料后的 DC-SOFC 仍可恢复至初始性能。同时还对测试后电极的微观结构和物相进行了检测和分析, 结果表明, SFMO-LSGM 复合阳极仍具有多孔结构, 并保持其结构稳定性, 这表明对称的 SFMO 材料可应用于 DC-SOFC 领域的电极, 并且拥有非常广阔的前景。

2 总结与展望

直接碳固体氧化物燃料电池作为一种新兴的能量转换装置和技术, 对于化石燃料尤其是煤炭的清洁和高效利用具有非常重要的意义。然而如果真正实现这种新型技术的应用, 还有很多巨大的挑战。其中电池的阳极作为一个核心反应的电极部件, 已经取得了许多进展, 制备高性能低成本的阳极成为 DC-SOFC 研究的焦点。除了传统的 SOFC 的金属陶瓷阳极材料 (如 Ni-YSZ、Ag-GDC 等) 可直接作为 DC-SOFC 的阳极, 新型钙钛矿材料也作为其阳极材料进行研究。除了设计对 DC-SOFC 阳极反应具有高催化活性的新型阳极, 优化阳极的微观结构从而改善固体碳燃料的传质也同样值得重视。

[参考文献]

- [1] Liu J, Zhou M, Zhang Y, Liu P, Liu Z, Xie Y, Cai W, Yu F, Zhou Q, Wang X, Ni M, Liu M. Electrochemical Oxidation of Carbon at High Temperature: Principles and Applications [J]. Energy Fuels, 2018, 32 (4): 4107 - 4117.
- [2] Jiang C, Ma J, Corre G, L. Jain, S, S. Irvine J. T. Challenges in Developing Direct Carbon Fuel Cells [J]. Chemical Society Reviews, 2017, 46 (10): 2889 - 2912.
- [3] Cao T, Huang K, Shi Y, Cai N. Recent Advances in

- High-Temperature Carbon – Air Fuel Cells[J]. *Energy & Environmental Science*,2017, 10 (2):460 – 490.
- [4] Cai W, Zhou Q, Xie Y, Liu J, Long G, Cheng S, Liu M. A Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cell Operated on a Plant Derived Biofuel with Natural Catalyst[J]. *Applied Energy*, 2016,179:1232 – 1241.
- [5] Zhou M, Wang X, Zhang Y, Qiu Q, Liu M, Liu J. Effect of Counter Diffusion of CO and CO₂ between Carbon and Anode on the Performance of Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cells[J]. *Solid State Ionics*, 2019,343:115127.
- [6] Wu H, Xiao J, Zeng X, Li X, Yang J, Zou Y, Liu S, Dong P, Zhang Y, Liu J. A High Performance Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cell—A Green Pathway for Brown Coal Utilization[J]. *Applied Energy*,2019,248:679 – 687.
- [7] Nakagawa N, Ishida M. Performance of an Internal Direct-Oxidation Carbon Fuel Cell and Its Evaluation by Graphic Exergy Analysis [J]. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 1988, 27 (7):1181 – 1185.
- [8] Ma M, Yang X, Qiao J, Sun W, Wang Z, Sun K. Progress and Challenges of Carbon-Fueled Solid Oxide Fuel Cells Anode[J]. *Journal of Energy Chemistry*,2021,56:209 – 222.
- [9] Tang Y, Liu J. Effect of Anode and Boudouard Reaction Catalysts on the Performance of Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cells [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010,35(20):11188 – 11193.
- [10] Boukamp B. A. The Amazing Perovskite Anode[J]. *Nature Mater*,2003,2(5):294 – 296.
- [11] 卢春玲. 钙钛矿结构对称固体氧化物电池电极材料及性能研究[D]. 长春:吉林大学,2020.
- [12] Zheng Y, Zhou W, Ran R, Shao Z P. Perovskite as Anode Materials for Solid Oxide Fuel Cells[J]. *Progress in Chemistry*,2008,20(0203):413.
- [13] Miruszewski T, Gdaniec P, Rosiński W, Karczewski J, Bochentyn B, Kusz B. Structure and Electrical Properties of Y, Fe-Based Perovskite Mixed Conducting Composites Fabricated by a Modified Polymer Precursor Method[J]. *Solid State Sciences*,2017,70:41 – 46.
- [14] Alvarado Flores J. J, Ávalos Rodríguez M. L, Andrade Espinosa G, Alcaraz Vera J. V. Advances in the Development of Titanates for Anodes in SOFC[J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, 44 (24): 12529 – 12542.
- [15] Tiwari P K, Yue X, Irvine J T S, Basu S. La and Ca-Doped A-Site Deficient Strontium Titanates Anode for Electrolyte Supported Direct Methane Solid Oxide Fuel Cell [J]. *J. Electrochem. Soc.*, 2017,164(9):1030.
- [16] Cai W, Zhou M, Cao D, Yan X, Li Q, Lü S, Mao C, Li Y, Xie Y, Zhao C, Yu J, Ni M, Liu J, Wang H. Ni-Doped A-Site-Deficient La_{0.7}Sr_{0.3}Cr_{0.5}Mn_{0.5}O_{3-δ} Perovskite as Anode of Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cells [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, 45 (41):21873 – 21880.
- [17] Zhu X, Li Y, Lü Z. Continuous Conversion of Biomass Wastes in a La_{0.75}Sr_{0.25}Cr_{0.5}Mn_{0.5}O_{3-δ} Based Carbon – Air Battery [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016,41 (9):5057 – 5062.
- [18] Liu F, Zhang L, Huang G, Niu B, Li X, Wang L, Zhao J, Jin Y. High Performance Ferrite – Based Anode La_{0.5}Sr_{0.5}Fe_{0.9}Mo_{0.1}O_{3-δ} for Intermediate – Temperature Solid Oxide Fuel Cell[J]. *Electrochimica Acta*, 2017, 255:118 – 126.
- [19] Wu X, Zhou X, Tian Y, Kong X, Zhang J, Zuo W, Ye X. Stability and Electrochemical Performance of Lanthanum Ferrite-Based Composite SOFC Anodes in Hydrogen and Carbon Monoxide [J]. *Electrochimica Acta*, 2016, 208:164 – 173.
- [20] Liu X, Han D, Zhou Y, Meng X, Wu H, Li J, Zeng F, Zhan Z. Sc-Substituted La_{0.6}Sr_{0.4}FeO_{3-δ} Mixed Conducting Oxides as Promising Electrodes for Symmetrical Solid Oxide Fuel Cells [J]. *Journal of Power Sources*, 2014, 246:457 – 463.
- [21] Li J, Wei B, Cao Z, Yue X, Zhang Y, Lü Z. Niobium Doped Lanthanum Strontium Ferrite as A Redox-Stable and Sulfur-Tolerant Anode for Solid Oxide Fuel Cells[J]. *ChemSusChem*,2018,11(1):254 – 263.
- [22] Li J, Wei B, Wang C, Zhou Z, Lu Z. High-Performance and Stable La_{0.8}Sr_{0.2}Fe_{0.9}Nb_{0.1}O_{3-δ} Anode for Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cells Fueled by Activated Carbon and Corn Straw Derived Carbon[J]. *International journal of hydrogen energy*,2018,43(27):12358 – 12367.
- [23] Chen X, Hao S, Lu T, Li M, Han L, Dong P, Xiao J, Zeng X, Zhang, Y. A Vanadium-Doped La_{0.5}Sr_{0.5}FeO_{3-δ} Perovskite as a Promising Anode of Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cells for Brown Coal Utilization[J]. *Journal of Alloys and Compounds*,2022,928:167212.
- [24] Xiao J, Han D, Yu F, Zhang L, Liu J, Zhan Z, Zhang Y, Dong P. Characterization of Symmetrical SrFe_{0.75}Mo_{0.25}O_{3-δ} Electrodes in Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cells [J]. *Journal of Alloys & Compounds*,2016,688:939 – 945.
- [25] Martinez-Coronado R, Alonso J. A, Fernandez-Diaz M.

- T. $\text{SrMo}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$: A Potential Anode for Intermediate-Temperature Solid-Oxide Fuel Cells (IT-SOFC) [J]. Journal of Power Sources, 2014, 258: 76 – 82.
- [26] Cascos V, Troncoso L, Alonso J. A, Fernandez-Diaz M. T. Design of New Ga-Doped SrMoO_3 Perovskites Performing as Anode Materials in SOFC [J]. Renewable energy, 2017, 10: 476 – 483.
- [27] Xiao P, Ge X, Zhang L, Lee J. M, Wang J. Y, Xin W. H_2 and CH_4 Oxidation on $\text{Gd}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{O}_{1.9}$ Infiltrated SrMoO_3 – Yttria-Stabilized Zirconia Anode for Solid Oxide Fuel Cells [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2012, 37(23): 18349 – 18356.

Research Progress of Perovskite Anodes for Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cells

CHEN Xiao, HAO Sen-ran, ZENG Xiao-yuan, XIAO Jie *

Abstract: Direct carbon solid oxide fuel cell (DC-SOFC) is an all-solid-state energy convertor, which can directly convert the chemical energy stored in solid carbon fuel into electricity, which demonstrates superior electrical efficiency and fuel utilization compared to other types of fuel cells. Nevertheless, using carbon directly as fuels still faces several challenges, like low carbon electrooxidation activity, sluggish mass transfer and limited triple phase boundaries in the anode side. Wherein, the anode reaction plays a vital role in determining the electrochemical performance of the DC-SOFC. In the paper, novel perovskite materials towards the application of anodes for DC-SOFC are introduced detailedly. This paper provides an important reference and guidance for the design and investigation of the anode materials for DC-SOFC.

Key words: Direct carbon solid oxide fuel cells; Perovskite anodes; Clean and efficient power generation technology ▲

敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据知识服务平台(<https://www.wanfang-data.com.cn/>)、维普网(<http://www.cqvip.com/>)下载使用。本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话 010-63936591 联系。

《有色设备》编辑部