

中国科学院大连化学物理研究所  
优秀博士后奖励基金申请表

申请人： 周莹杰

研究组： 502 组

学科专业： 物理化学

合作导师： 包信和

填表日期： 2016 年 11 月 06 日

中国科学院大连化学物理研究所制

姓名	周莹杰		性别	女
出生日期	1987年3月3日		民族	汉
学历/学位	博士		专业技术职务	讲师
毕业院校	中山大学		专业	材料物理与化学
(拟)入站时间	2016年8月16日		入站性质	<input type="checkbox"/> 统招统分 <input checked="" type="checkbox"/> 在职人员
E-Mail	zyj8703@163.com		联系电话	13952069945
学习 简历	起止年月	所在单位/专业		所获学位
	2004年9月-2008年6月	中山大学/材料物理		学士
	2008年9月-2014年6月	中山大学/材料物理与化学		博士
	2012年8月-2013年8月	Texas State University/Materials Science and Engineering		联合培养博士
	2013年9月-2014年2月	University of Connecticut/Materials Science		联合培养博士
工作 经历	起止年月	所在单位		职务
	2014年6月-现在	南京信息工程大学		讲师
	2016年8月-现在	中国科学院大连化学物理研究所		博士后
博士 学位 论文 摘要	博士论文题目	固体氧化物催化材料的结构修饰及性能和应用研究		
	指导教师姓名	孟跃中		
	(限 800 字)	<p>将 CO<sub>2</sub> 和甲醇直接合成碳酸二甲酯 (DMC) 被认为最具有前景, 最经济和安全的绿色工艺。但是 CO<sub>2</sub> 难以被活化和该反应热力学上受到限制是该课题面临的挑战。解决方案有研发高效催化剂或动力学上促进反应右移两种。本论文旨在设计过渡金属负载型高效催化剂。首先采用天然矿土埃洛石 (HNTs) 并用 K 对其改性 (KHNTs) 负载 Cu-Ni 双金属催化剂, 其次制备 Cu 和 VIII 族 Fe、Co 负载于惰性气相 SiO<sub>2</sub> 催化目标反应。详细考察催化剂活性组分、催化反应条件等对催化剂活性的影响, 并使用 BET、TGA、TPR、XRD、XPS、LRS、SEM、TEM 及 TPD 等表征催化剂的化学组成、结构及表面形貌等。通过考查反应温度、压力及空速对催化活性的影响, 发现 DMC 产率对反应温度敏感。K 的添加促进 Cu-Ni 活性组分的还原, 降低 HNTs 表面的酸性。当以 KHNTs 为载体, 21%(2CuO-NiO) 的最高甲醇转化率可达 7.85%, DMC 选择性达 89.0%。对于 Cu-Fe 双金属负载型催化剂, 15% (3CuO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 于 600 °C 活化后催化活性最佳, 在压强 1.2 MPa, 空速 360 h<sup>-1</sup></p>		

及温度为 120 °C 时，甲醇转化率最高可达 5.37%，DMC 选择性为 85.9%；而 Cu-Co 双金属负载型催化剂，9% (6CuO-Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 于 450 °C 活化后在 120 °C，0.6 MPa 和 360 h<sup>-1</sup> 的反应条件下，最高甲醇转化率为 8.70% 和 DMC 选择性为 86.4%。考察 Mo 对 Cu-Fe 双金属的促进作用，发现 Mo 可以降低 Cu-Fe 还原温度，提高其分散，进而提高甲醇转化率达到 6.99%，DMC 选择性为 87.7%。结合催化剂活性及结构、形貌表征，发现催化剂表面过多的酸或碱性位只会促进单一活性组分的活化，不利于 DMC 的生成。当催化剂表面酸碱位比例合适时有利于 DMC 的生成。

层状磷酸氢锆(ZrP)被剥离之后，其表面丰富的弱酸性-OH (4.2/nm<sup>2</sup>) 裸露，使得其可作为优良的官能团载体。本论文将离子液体、Pd-NHC、-SO<sub>3</sub>H 等以共价键形式嫁接于 ZrP，将得到的纳米有机/无机复合材料分别应用于 Knoevenagel 缩合反应、Sonogashira 或 Heck 反应、Baeyer-Villiger 氧化反应的催化剂。通过对其结构和催化活性进行表征，发现官能团能在 ZrP 表明具有较高的负载能力，且负载后的官能团保持其原有的催化活性，并不改变其规则的层状结构，能在对应的溶剂中较好地分散，提高活性位利用率，催化剂回收利用率高。

**1、主持或参与项目情况：**

序号	项目名称	项目来源	项目金额	起止年度	角色
1.	金属-有机框架原位复合生物炭的可控构筑及其超级电容特性研究	江苏省自然科学基金-青年基金项目	20	2016.07-2019.06	主持
2.	金属-有机框架材料修饰生物炭及其超级电容性能研究	江苏省高校自然科学研究面上项目	3	2016.09-2018.08	主持
3	层状材料的表面修饰及其在光降解有机污染物或光活化二氧化碳的应用研究	南京信息工程大学启动经费	10	2014.09-2017.08	主持

**2、论文发表情况：（已发表或已接收发表）**

序号	论文题目	期刊名	影响因子	发表年度/卷期/页码	排序
1	In-Situ Fabrication of Graphene Oxide Hybrid Ni-Based Metal-Organic Framework (Ni-MOFs@GO) with Ultrahigh Capacitance as Electrochemical Pseudocapacitor Materials	<i>ACS Applied Materials &amp; Interfaces</i>	7.1	2016/8(42)/ 28904-28916	1 ( 通讯作者)
2	Electrochemical Synthesis of Dimethyl Carbonate from CO <sub>2</sub> and Methanol over Carbonaceous	<i>RSC Advances</i>	3.8	2016/6/40010-40016	1

入  
站  
前  
期  
科  
研  
情  
况  
简  
介

	<b>Materials Supported DBU in a Capacitor-like Cell Reactor</b>				
3	<b>Designing Supported Ionic Liquids (ILs) within Inorganic Nanosheets for CO<sub>2</sub> Capture Applications</b>	<i>ACS Applied Materials &amp; Interfaces</i>	7.1	2016/ 8(8) /5547-5555	1
4	<b>Derivatization of Diamondoids for Functional Applications</b>	<i>Journal of Materials Chemistry C</i>	5.1	2015/ 3/6947-6961	1
5	<b>Titanium Functionalized <math>\alpha</math>-Zirconium Phosphate Single Layer Nanosheets for Photocatalyst Applications</b>	<i>RSC Advances</i>	3.8	2015/ 5/93969-93978	1
6	<b>Formation of Dimethyl Carbonate on Nature Clay Supported Bimetallic Cu-Ni Catalysts</b>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	4.9	2015/103/925-933	1
7	<b>Sulfonic Acid Functionalized <math>\alpha</math>-Zirconium Phosphate Single Layer Nanosheets as a Strong Solid Acid for Heterogeneous Catalysis Applications</b>	<i>ACS Applied Materials &amp; Interfaces</i>	7.1	2014/ 6 (10)/ 7417–7425	1
8	<b>Effects of Mo Promoters on the Cu-Fe Bimetal Catalysts for the DMC Formation from CO<sub>2</sub> and Methanol</b>	<i>Chinese Chemical Letters</i>	1.9	2013, 24, 307-310	1
9	<b>Novel Cu-Fe Bimetal Catalyst for the Formation of Dimethyl Carbonate from Carbon Dioxide and Methanol</b>	<i>RSC Advances</i>	3.8	2012/ 2/ 6831-6837	1
10	<b>Fabrication of sponge-like <math>\alpha</math>-Ni(OH)<sub>2</sub> on styrene-acrylonitrile copolymer (SAN)-derived carbon spheres as electrode materials for supercapacitor</b>	<i>RSC Advances</i>	3.8	2016/6/100623-100631	2 ( 通 讯 作 者)

	application				
11	Titanium incorporated with UiO-66(Zr)-type Metal–Organic Framework (MOF) for photocatalytic application	<i>RSC Advances</i>	3.8	2016/6/3671-3679	2
12	Superiority and Mechanism of Pt Oriented-deposition in Improving the Photocatalytic Activity of TiO <sub>2</sub> Sphere with Exposed {001} Facet	<i>Materials Letters</i>	2.4	2015/ 145/180-183	2
13	Effect of Destructive {001}-{101} Heterojunction on Separating Photo-generated Electrons and Holes of Anatase TiO <sub>2</sub>	<i>Materials Letters</i>	2.4	2015/ 158/ 29-31	2
14	The Effect of Hydrothermal Temperature on the Structure and Photocatalytic Activity of {001} Faceted Anatase TiO <sub>2</sub>	<i>Materials Letters</i>	2.4	2015/ 160/231-234	2
15	New insight on facet-dependent physicochemical properties of anatase TiO <sub>2</sub> nanostructures for efficient photocatalysis	<i>RSC Advances</i>	3.8	2016/6/67556-67564	3
16	Preparation of Hybrid Composite Microspheres Containing Nano-silicon via Microsuspension Polymerization	<i>Journal of Applied Polymer Science</i>	1.9	2015/133(12)/43101-43108	3
17	Facile in situ synthesis of 2D porous g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> and g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /P25(N) heterojunction with enhanced quantum effect for efficient photocatalytic	<i>Journal of Alloys and Compounds</i>	3.0	2015/635/34-40	3

	<b>application</b>				
<b>18</b>	<b>Intercalated Polyfluorinated Pd Complexes in <math>\alpha</math>-Zirconium Phosphate for Sonogashira Reactions</b>	<i>RSC Advances</i>	<b>3.8</b>	<b>2014/4/27329-27336</b>	<b>5</b>
<b>3、专利情况：</b>					
<b>序号</b>	<b>专利名称</b>	<b>授权/申请</b>	<b>授权/申请号</b>	<b>起始日期</b>	<b>排序</b>
1	用于合成碳酸二甲酯的负载型催化剂及其制备和使用方法	授权	ZL 2010102922227	2010年9月21	2
2.	固体酸催化剂及制备方法和应用	申请	201510006206.X	2015年1月7日	1
<b>4、获奖情况：</b>					
<b>序号</b>	<b>奖励名称</b>	<b>奖励等级</b>	<b>授奖单位</b>	<b>奖励年度</b>	<b>排序</b>
<b>1</b>	The Society of Plastic Engineers South Texas Section Scholarship 学生奖学金	-	The Society of Plastic Engineers South Texas Section	2013年2月	1
<b>2</b>	2013 International Polyolefines Conference 墙报大赛第一名	<b>第一名</b>	2013 International Polyolefines Conference	2013年2月	1
<b>博士后研究题目： LaSrFeO 基电极固体氧化物电解池高温共电解 CO<sub>2</sub> 与 H<sub>2</sub>O 的研究</b>					
<b>(简述研究计划的可行性、先进性和创新性，理论和现实意义)</b>					
<b>1. 研究背景</b>					
<p>将丰富廉价的 CO<sub>2</sub> 作为 C1 资源合成有高附加值的化学品是一条绿色、经济、清洁的化工路线，成为解决能源危机和环境问题的重要举措之一。但由于 CO<sub>2</sub> 热力学性质稳定，难以被活化，使其资源化利用成为一个障碍。近年来，太阳能、风能等可再生清洁能源发展迅猛，但这些能源受气候等自然环境影响较大而不能持续稳定地输出电能，难以直接并入电网供使用。且今后核能的发展使得局部地区电能过剩。目前对这部分电能的存储和转化依赖于高效电池、电容、压缩空气、抽水等，这种电能——化学能、机械能——化学能的多次转化降低其能量效率。若采用这部分电能在温和条件下将 CO<sub>2</sub> 转化为 CO、碳氢化合物及甲醇等燃料和化学品，可以实现将太阳能、风能、及富余核能与 CO<sub>2</sub> 固定利用相结合，实现电能向化学能的转化，具有较高的应用前景。<sup>1</sup> 目前 CO<sub>2</sub> 的电催化还原体系研究主要有室温液相体系和高温固体氧化物电解体系 (Solid Oxide Electrolysis Cells, SOECs)，后者在热力学和动力学上均对 CO<sub>2</sub> 还原比较有利。此外，SOECs 在高温电解水蒸气制备</p>					

氢气可实现氢能的无污染高效的大规模生产。因此，利用 SOECs 以  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  为原料进行共电解 (co-electrolysis) 可以实现将风能、太阳能及核能等新能源存储与  $\text{CO}_2$  的转化联用的大规模集成，被看作是潜力巨大的新型能源存储技术。

SOEC是将电能和热能直接转化为化学能的储能装置，它是固体氧化物燃料电池的逆过程，理论能量转化效率高。但实际应用中，SOEC的系统效率受到电解池的本身性能、电池堆的大小和系统设计等多方面的影响，从而限制其商业化应用。本课题着重于研究讨论以高温固体氧化物电解池 (SOEC) 直接高温电解 $\text{H}_2\text{O}$ 和还原 $\text{CO}_2$  (图1) 的电极材料的设计、制备及性能改进，并对电化过程进行原位表征以进行机理性探讨，为提升电解池的本身性能提供实验基础和理论依据。

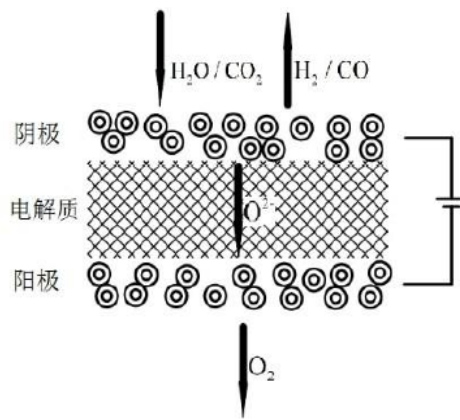


图 1 氧离子型 SOEC 高温水蒸气和二氧化碳共电解示意图

## 2. 研究方案

### 2.1 技术路线

本课题的总体研究思路如图 2 所示：

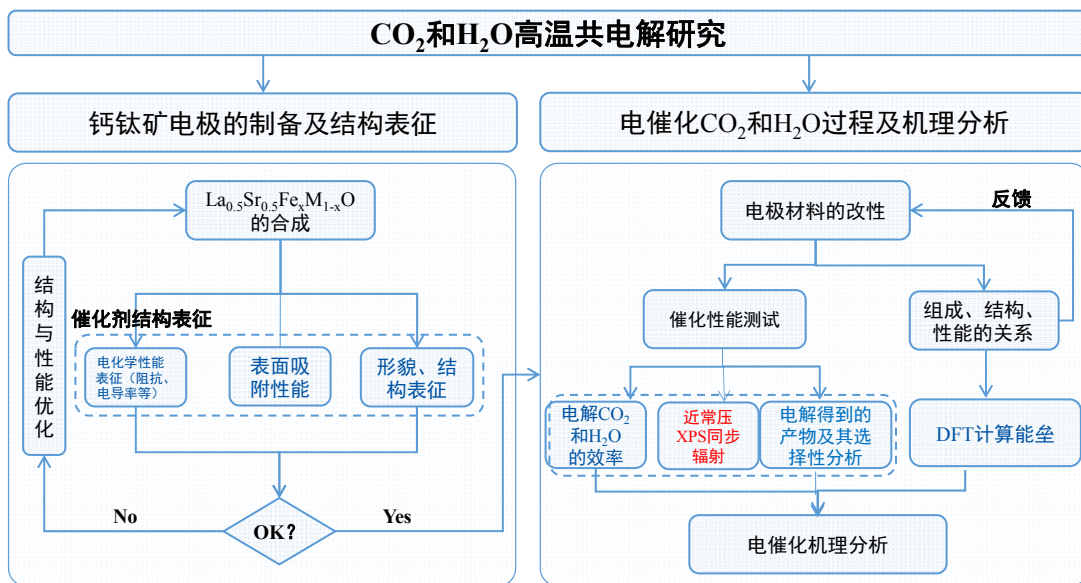


图 2 研究思路流程图

## 2.2 研究方法、实验手段和关键技术说明

### (1) 阴极材料的合成

将镧、锶、铁及替代金属元素的前驱体可溶性盐溶于一定比例的乙二醇/水溶液，在表面活性剂 P123 的存在下于特定温度反应，得到多孔 LaSrFeMO (LSFM) 前驱体备用。改变替代金属 M 的类型及在 LSMF 中的比例，分别得到不同的阴极材料。通过 ICP-MS、XRD、SEM、TEM、XPS、Raman、等技术手段表征阴极材料的结构、组成、性能。采用 Temperature Program Desorption (TPD) (对 CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 及 H<sub>2</sub>O) 表征催化剂的表面吸附活性点的情况。随后，将 LSFM 与燃烧法制备的 Ce<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>O (GDC) 混合并充分研磨后得到阴极材料浆液。

### (2) 固体氧化物电解质的制备

将 8Y 稳定的氧化锆 (YSZ) 于单向压片机中压制成直径约 28mm 的圆片，并于高温下烧制，得到厚度约 800μm 的 YSZ 电解质陶瓷片。

### (3) 阳极电极材料的制备

将 (La<sub>0.75</sub>Sr<sub>0.25</sub>)<sub>0.95</sub>MnO (LSM) 与 YSZ 按照一定比例球磨 24 小时，再与乙基纤维素和松油醇充分混合制备得到阳极电极材料浆液。

### (4) 电解池组装

在电解质的一面旋涂一层 GDC 的缓冲层并于高温下烧结，再在另一面表面涂敷一定厚度的阳极材料的浆液，再次烧结制备成半电池，最后在 GDC 缓冲层的一面涂敷阴极材料 (LSFM)，并烧结后待用。

整个电解池片的组装过程如图 3 所示：

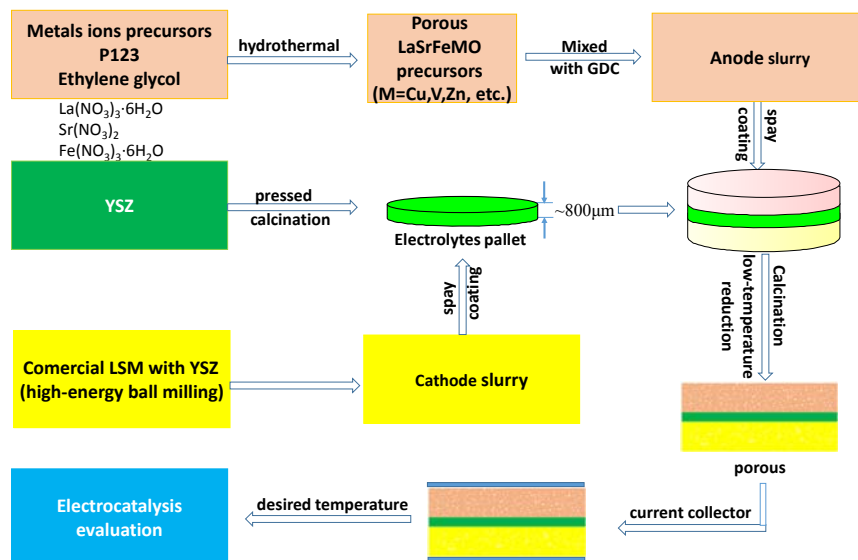


图 3 电解池片组装过程



### (5) CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 共电解研究

将电解池片置入电催化反应装置，通过测试电池的欧姆电阻、极化电阻，I-t、I-V 曲线研究电解池片对原料 CO<sub>2</sub> 和水的电解效率。采用近常压 XPS 同步辐射技术原位表征电解过程及表面活性物种的演变情况，结合 SEM、XRD 等表征电池片反应前后的结构和形貌，研究电催化机理。

### 3. 可行性分析

#### (1) SOEC 高温水蒸气和二氧化碳共电解研究思路

文献中，Irvine 等<sup>2</sup>报道了一种氧离子型固体氧化物电解池将 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 共电解生成 CH<sub>4</sub>，法拉第效率为 2.8%，CO/H<sub>2</sub> 的法拉第效率达到 74.2%。BaCe<sub>0.5</sub>Zr<sub>0.3</sub>Y<sub>0.16</sub>Zn<sub>0.04</sub>O<sub>3</sub> (BCZYZ) 电解质和复合铁/氧化铁阴极上，CO<sub>2</sub> 在 614 °C 时的电流可达 1.5 A cm<sup>-2</sup>，电化学还原过程中总的 CO<sub>2</sub> 转化率达到 65%。Xia 等<sup>3</sup>在自制的固体氧化物电解池和费托合成反应器的组合上进行 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 共电解，产生的合成气进行费托合成生成甲烷，在 800 °C、1.3 V 电解 24 h 电流密度稳定在 0.42 A cm<sup>-2</sup>，甲烷的平均产率达到 0.84 mL min<sup>-1</sup>，CO<sub>2</sub> 的总体转化率达到 64.1%。Wang 等<sup>4</sup>采用熔融碳酸盐 (Li-Na-K)、Ni 阴极和 SnO<sub>2</sub> 惰性阳极组成的 CO<sub>2</sub> 电解体系，发现在 500 °C 时，CO<sub>2</sub> 还原产生的电流密度达到 50 mA cm<sup>-2</sup>，法拉第效率在 70% 以上。综上所述，CO<sub>2</sub> 电催化还原反应仍然存在许多挑战，比如电解效率较低，电催化剂稳定性有待提高，电催化机理仍不明确，中低温电池的开发等问题。传统的电催化剂有 NiO/YSZ，但是该类催化剂易积碳、硫毒化和 Ni 颗粒烧结等问题导致电池的能量效率较低，需要在还原气氛下才能保持其活性和稳定性。取而代之的钙钛矿类材料 (ABO<sub>3</sub>) 在高温下通常具有较高的电导率，因而常应用于固体氧化物燃料电池。其中常用的 (La,A)BO<sub>3</sub> (A = Sr, Ba or Ca; B = Cr, Mn, Fe, Co, Ni 或 Ce) 一般具有混合离子/电子导电特性，在用于固体氧化物燃料电池时通常具有较好的电催化活性，而对 A 位或者 B 位进行参杂或者替代原子半径相近、但不同价态金属元素，引入氧缺位活性位，通常可以提高其电化学活性。<sup>5</sup> 目前，对不同形貌的钙钛矿结构的材料合成通常有纳米线、纳米薄膜等，但是不同形貌的材料对电化学活性的影响尚较少研究。<sup>6</sup> 开发具有很好的电子导电性和一定的离子导电性以实现三相界面的延长的电极材料是首要元素。鉴于此，本课题拟开发的阴极材料，从微观角度调控电催化剂的结构，调变催化剂活性组分比例，合成具有特殊空心微球结构的钙钛矿型电极材料，旨在利用空心微球的高比表面积、多晶格缺陷和高裸漏的活性位，预期有利于提升 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 的共电解的电催化效率。该研究课题的提出的是基于文献调研和申请人前期研究基础而提出，因此是可行的。

#### (2) 水热法合成阴极材料

通常阴极材料的合成有 Sol-Gel 法，燃烧法和固相反应法等，前两种方法得到的材料的粒径大

小不均一，容易团聚，孔径较小，活性位少，不利于气体分子的扩散和吸附活化。而固相法通常需要较高的煅烧温度，且高温下各种金属元素分散不均匀，也不利用其电催化活性。本课题创新地拟采用水热合成法制备空心球形电极材料，水热法相较于其它合成方法具有得到产物产率高、粒径分布均一、可控的特点，预期空心微球形电极材料具有较高的电催化效率。

### (3) 高温近常压 XPS 同步辐射原位表征电催化过程

近年来，催化过程的原位表征是催化领域的发展方向之一，在众多原位表征手段中，近常压 XPS (Ap-XPS) 能更直观地表征催化剂与反应物之间的反应活化过程。Stoerzinger 等<sup>7</sup>首次采用 Ap-XPS 研究了 H<sub>2</sub>O 与钙钛矿 LaCrO 薄膜的 (001) 面的相互作用，发现主要的中间产物是羟基，还有一些双齿碳酸盐等，将氧化物催化剂与周围环境的微观反应一览无余，为开发功能氧化物提供理论和实验依据。随后，Penner 等<sup>8</sup>利用 Ap-XPS 表征 La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>FeO 和 SrTi<sub>0.7</sub>Fe<sub>0.3</sub>O 的电解水和水煤气转化的反应，发现催化剂的活性依赖于催化剂的还原程度、晶格缺陷以及氧缺位，而 SrTi<sub>0.7</sub>Fe<sub>0.3</sub>O 的催化活性较好。Opitz 等<sup>9</sup>研究了 La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>CoO<sub>3-δ</sub> (LSC), La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>FeO<sub>3-δ</sub>(LSF), 和 SrTi<sub>0.7</sub>Fe<sub>0.3</sub>O<sub>3-δ</sub> (STF) 薄膜模型体系下电解水的过程，发现这些钙钛矿型催化剂在电解过程中，类金属性质的活性中心起主要的催化作用，主要归因于金属氧化物周围氧元素的化学势的变化引起金属的费米能级的改变。目前，利用 Ap-XPS 研究钙钛矿类材料电催化 CO<sub>2</sub> 还未有报道。由此可见，本课题提出的采用 Ap-XPS 探索高温共电解 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 的电催化过程，提出反应机理是可行的。

## 4. 先进性和创新性

(1) 创新地采用水热法合成粒径均一，晶格缺陷多，活性位裸露易接近的空心球形离子/电子共混型导电钙钛矿氧化物用于高温共电解 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 。

(2) 采用 Ap-XPS 探索电催化过程，对高温 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 共电解进行电催化反应机理探讨。

## 5. 理论和现实意义

本课题能将太阳能、风能和富余核能与 CO<sub>2</sub> 的固定和利用集成联用，将清洁能源储存为化学能，是一种非常有效的洁净的储能方法。其中采用 Ap-XPS 技术表征电催化过程，为高温电解 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 提供理论和实验基础。

## 参考文献:

- (1) Whipple, D. T.; Kenis, P. J. A. Prospects of CO<sub>2</sub> Utilization via Direct Heterogeneous Electrochemical Reduction. *J. Phys. Chem. Lett.* **2010**, *1* (24), 3451–3458.

	<p>(2) Xie, K.; Zhang, Y.; Meng, G.; Irvine, J. T. S. Direct Synthesis of Methane from CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O in an Oxygen-Ion Conducting Solid Oxide Electrolyser. <i>Energy Environ. Sci.</i> <b>2011</b>, <i>4</i> (6), 2218–2222.</p> <p>(3) Chen, L.; Chen, F.; Xia, C. Direct Synthesis of Methane from CO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O Co-Electrolysis in Tubular Solid Oxide Electrolysis Cells. <i>Energy Environ. Sci.</i> <b>2014</b>, <i>7</i> (12), 4018–4022.</p> <p>(4) Yin, H.; Mao, X.; Tang, D.; Xiao, W.; Xing, L.; Zhu, H.; Wang, D.; Sadoway, D. R. Capture and Electrochemical Conversion of CO<sub>2</sub> to Value-Added Carbon and Oxygen by Molten Salt Electrolysis. <i>Energy Environ. Sci.</i> <b>2013</b>, <i>6</i> (5), 1538.</p> <p>(5) Saravanan, R.; Thenmozhi, N.; Fu, Y.-P. Structural Characterization and Electron Density Distribution Studies of (La<sub>0.8</sub>Ca<sub>0.2</sub>)(Cr<sub>0.9-x</sub>Co<sub>0.1</sub>Mn<sub>x</sub>)O<sub>3</sub>. <i>Phys. B Condens. Matter</i> <b>2016</b>, <i>493</i>, 25–34.</p> <p>(6) Zhu, J.; Li, H.; Zhong, L.; Xiao, P.; Xu, X.; Yang, X.; Zhao, Z.; Li, J. Perovskite Oxides: Preparation, Characterizations, and Applications in Heterogeneous Catalysis. <i>ACS Catal.</i> <b>2014</b>, <i>4</i> (9), 2917–2940.</p> <p>(7) Stoerzinger, K. A.; Hong, W. T.; Crumlin, E. J.; Bluhm, H.; Biegalski, M. D.; Shao-Horn, Y. Water Reactivity on the LaCoO<sub>3</sub> (001) Surface: An Ambient Pressure X-Ray Photoelectron Spectroscopy Study. <i>J. Phys. Chem. C</i> <b>2014</b>, <i>118</i> (34), 19733–19741.</p> <p>(8) Thalinger, R.; Opitz, A. K.; Kogler, S.; Heggen, M.; Stroppa, D.; Schmidmair, D.; Tappert, R.; Fleig, J.; Klötzer, B.; Penner, S. Water-Gas Shift and Methane Reactivity on Reducible Perovskite-Type Oxides. <i>J. Phys. Chem. C</i> <b>2015</b>, <i>119</i> (21), 11739–11753.</p> <p>(9) Nennung, A.; Opitz, A. K.; Rameshan, C.; Rameshan, R.; Blume, R.; Hävecker, M.; Knop-Gericke, A.; Rupprechter, G.; Klötzer, B.; Fleig, J. Ambient Pressure XPS Study of Mixed Conducting Perovskite-Type SOFC Cathode and Anode Materials under Well-Defined Electrochemical Polarization. <i>J. Phys. Chem. C Nanomater. Interfaces</i> <b>2016</b>, <i>120</i> (3), 1461–1471.</p>
本人承诺	<p>本人承诺：申请表所填内容均真实可靠。对因虚报、伪造等行为引起的后果及法律责任均由本人承担。</p> <p>本人签字： _____ 年 月 日</p>