

2018-04-28

Interaction between Energy and Electrocatalysis—A Review on the 1st Young Scientist Forum on Energy Electrocatalysis

Hong LI

Wen-bin CAI

Department of chemistry, Fudan University , Shanghai 200438, China;; wbcail@fudan.edu.cn

Recommended Citation

Hong LI, Wen-bin CAI. Interaction between Energy and Electrocatalysis—A Review on the 1st Young Scientist Forum on Energy Electrocatalysis[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2018 , 24(2): 194-196.

DOI: 10.13208/j.electrochem.180441

Available at: <https://jelectrochem.xmu.edu.cn/journal/vol24/iss2/11>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electrochemistry. It has been accepted for inclusion in Journal of Electrochemistry by an authorized editor of Journal of Electrochemistry.

DOI: 10.13208/j.electrochem.180441

Artical ID:1006-3471(2018)02-0194-03

Cite this: *J. Electrochem.* **2018**, 24(2): 194-196

[Http://electrochem.xmu.edu.cn](http://electrochem.xmu.edu.cn)

能源与电催化的碰撞

—第一届能源电催化青年科学家论坛会议评述

Interaction between Energy and Electrocatalysis

——A Review on the 1st Young Scientist Forum on Energy Electrocatalysis

李 宏, 蔡文斌*

(复旦大学化学系, 能源与材料化学协同创新中心, 上海市分子催化与功能材料表面重点实验室, 上海 200438)

摘要: 本评述介绍了 2017 年 11 月 29 日-12 月 1 日在上海举行的“第一届能源电催化青年科学家论坛”的情况. 本届会议以能源电催化为核心, 围绕电催化基础、应用和前沿问题, 展示了中国优秀青年科研人员所取得的最新研究成果, 交流探讨了当前电催化研究所面临的机遇与挑战, 对促进能源电催化方向的发展具有积极意义. 同时, 主题聚焦、听讲互动以及专家点评等论坛组织形式可供今后中国电化学相关会议借鉴.

关键词: 第一届能源电催化青年科学家论坛; 电催化材料; 电催化基础; 氢能利用; 二氧化碳还原

由厦门大学孙世刚院士倡议、复旦大学蔡文斌教授和上海电力学院徐群杰教授共同组织的“首届能源电催化青年科学家论坛”, 作为第十九次全国电化学大会的前置卫星会议, 于 2017 年 11 月 29 日-2017 年 12 月 1 日在上海电力学院召开. 此次论坛参会人数共计约 150 人, 特邀孙世刚院士、庄林教授和邢巍教授担任主持与点评嘉宾, 由 21 位平均年龄不足 36 岁的国内知名青年学者汇报各自在能源电催化领域的最新研究成果. 论坛围绕电催化基础和应用的的前沿问题, 探讨电催化领域所面临的机遇、挑战和未来的发展方向. 论坛中明确的主题内容、活泼的讨论形式、开放的学术氛围, 激发了现场听讲者的互动热情, 受到了与会者的一致好评.

电催化是指发生在电极/溶液界面上包含电子转移的异相催化. 能源电催化以化学能源高效转化和存储为目标, 以表界面反应为对象, 以电催化材料为支撑, 横跨电化学、催化和能源化学等学科. 现代表征和光谱技术以及计算方法的发展和应用使得人们从深层次上揭示电催化材料结构及表界面反应过程成为可能, 从而也推动了电化学能源存储与转换等领域的发展; 能源电催化材料的研

发不仅是一般意义上的化学合成, 更是创新方法和理性材料创制的协同过程. 从本次论坛交流的工作来看, 围绕材料-化学-方法三要点, 当前能源电催化研究在以下方面取得了特色性成果.

1 二氧化碳(CO₂)电催化还原

发展 CO₂ 高效转化技术已成为国际上能源和环境催化等领域的重要方向. CO₂ 电催化还原, 能够在温和的反应条件下同时实现 CO₂ 的高效转化和洁净电能的有效存储. 当前, 设计高效的催化剂来降低过电势和提高反应选择性是 CO₂ 电催化还原研究中的热点课题. 中国科学院大连化学物理研究所汪国雄研究员通过调控纳米 Pd 活性位、活性相及利用电化学增强催化效应显著提高典型析氢金属 Pd 上的 CO₂ 电催化还原性能, 同时结合 CO₂ 电催化和热催化还原的技术特点, 提出热-电催化耦合是实现高效 CO₂ 还原的可能途径.

当前水系介质中研究的催化剂主要为无机金属材料, 而有机催化材料较少被关注. 对此, 苏州大学李彦光教授课题组借助于碳纳米管特有的一维结构特点, 利用酞菁钴聚合物与碳纳米管复合后产生的协同作用, 大大提高了聚酞菁钴的催化活性面积和结构稳定性, 在较低的过电势下即可

* 通讯作者, Tel: (86) 13816400242, E-mail: wbcai@fudan.edu.cn

高效地把 CO_2 还原成 CO 。此外,该课题组还介绍了利用 BiOI 在负电压下的拓扑还原制备了超薄二维金属铋纳米片,实现了从 CO_2 到甲酸的高效转化,其法拉第效率在较宽的电压范围内接近 100%。

析氢反应(HER)作为最主要的副反应制约了电催化还原 CO_2 的法拉第效率。对此,氮掺杂碳材料能有效催化 CO_2 还原,其活性和选择性取决于氮掺杂的浓度和氮掺杂的类型。复旦大学郑耿峰教授介绍了其课题组采用高温水蒸气对氮掺杂的碳纳米管上不同类型的氮原子进行选择刻蚀,显著降低了 HER 的法拉第效率,提高了 CO_2 还原生成 CO 的效率。

2 氧还原反应(ORR)

燃料电池效率在很大程度上受制于其阴极 ORR 的电催化活性。 Pt 是目前最好的 ORR 催化金属,但单纯 Pt 催化材料的成本高且活性较低,因而发展高效的铂基多金属纳米催化剂是重要方向。北京大学郭少军研究员提出了调控铂基多金属纳米线和纳米片表面应力的新策略,利用配体效应,整合催化剂表面电子结构及表面结构的调控,实现了氧还原的高效电催化。例如,其所研制的 PtPb/Pt 核/壳纳米片,因晶相和晶面的不匹配产生双轴向应力,实现对氧还原催化性能的大幅提升。

华中科技大学王得丽教授通过改变 Pt 与过渡金属原子种类、比例及后处理温度来调控 Pt 基催化剂的表面结构、合金度及电子结构等,所形成的有序化金属间化合物,在酸性和碱性溶液中对 ORR 都具有较高的电催化稳定性及活性。而该校的李菁教授研究表明,铁铂(FePt)纳米晶通过结构调控形成有序金属间结构,可显著提升铁的耐酸性和结构完整性;而通过后处理形成的“ Pt -肤层”结构能够进一步提升催化剂在 60°C 时的稳定性,是一类很有希望的低铂氧还原催化剂。同校的夏宝玉教授则介绍了具有三维结构的自组装铂纳米线作为自支撑催化剂,具有更高的耐腐蚀性能和稳定性能,还可避免由于非晶碳黑载体引入带来的负面效应。

中科院化学所胡劲松研究员认为发展高负载量的单原子分散金属-N-C 类催化剂,有望成为一种替代 Pt 族金属的非贵金属催化剂。在报告中他讨论了高活性与高稳定性的氧还原催化剂及电解水制氢催化剂的设计、可控制备催化机理研究。同时,对规模化制备单原子分散金属-N-C 类催化剂

技术以及利用模型化体系研究金属-N-C 催化剂上 ORR 机理提出了展望。李菁教授也指出对于金属-N-C 催化剂来说,制备单原子分散的催化剂能够提升其活性,但如何提高其稳定性仍需解决。

表面化学功能化可改进贵金属纳米晶的电催化活性和选择性。陕西师范大学陈煜教授在报告中介绍了贵金属-聚胺纳米复合材料在氢生成反应(HER)和 ORR 领域中的应用。聚胺中- NH_2 质子化导致贵金属表面质子富集,对质子-电子耦合反应有显著增强的电催化活性。

3 析氢反应(HER)与析氧反应(OER)

在电解水反应中,OER 相对于 HER 无论在热力学或是动力学上困难均较大,成为水分解体系能量转化效率的瓶颈,增加了电解水的能耗。同济大学陈作锋教授汇报了其课题组在构建廉价、高效、稳定的水氧化电催化剂方面新的制备方法和设计理念,为降低水产氢能耗提供了一种可行的方案。同时他们提出了以氯离子氧化作为水氧化的替代半反应,发展了一种基于银离子的高效氯离子氧化催化剂,并阐述了相关的催化机理。

中山大学李高仁教授研究构建了金属/合金界面调控活性位点的新方法,揭示了金属/金属羟基氧化物界面调控催化活性的机制,阐明了金属/导电高分子界面调控催化稳定性的规律及机理,基于界面效应建立了高性能廉价水分解电催化剂设计的相关理论基础。

中国科学技术大学吴长征教授介绍了其在低维无机固体的电化学行为调控和能源应用方面取得的进展。在报告中,他提出通过“挖渠道”和“灌水”相结合来实现新型高导电率能源固体的新思路,系统探讨了无机电导材料作为电催化剂应用的行为规律,强调了电催化剂表面效应在析氧反应的重要作用。

催化剂中若含有非完整的结构,如表面缺陷等,会让材料具有更优异的催化性能。湖南大学王双印教授在研究 OER/ORR 催化剂缺陷调控方面取得了系统性的进展,在这次论坛中,他强调了表面缺陷产生、缺陷类型和缺陷浓度调控研究的重要性,并就缺陷与性能的构效关系提出了自己的新见解。南开大学程方益教授通过在 MnO_2 、 CoMn_2O_4 、 CaMnO_3 等材料中引入适量浓度氧缺陷,调控晶相构型、金属比例、混合价态及颗粒尺寸,显著提升了材料的催化活性及导电性。

4 研究方法的发展与应用

电催化材料表面界面结构和化学信息的原位捕获对揭示电催化过程具有十分重要的作用. 新的原位观测和表征方法特别是空间和时间分辨检测技术的应用, 为更好理解单颗粒纳米催化剂的形成及其电催化机制提供了可能. 厦门大学廖洪钢教授介绍了通过纳米微加工技术制备了透射电镜原位池芯片及配套样品台, 实现了原子分辨级的原位动态观测; 发现了邻位粒子在胶体纳米粒子生长过程中对粒子形貌的巨大影响; 研究了胶体纳米晶体固液界面, 为经典固液界面双电层结构模型提供直观的实验数据. 中科院长春应用化学研究所徐维林研究员报告了基于单分子荧光显微镜, 结合光学超分辨成像技术和传统电化学技术, 成功揭示了单个纳米粒子表面催化活性位点在时空分布上的动态变化过程和单个铂纳米粒子在电催化氢气电氧化过程中的失活过程动力学.

表面增强拉曼光谱具有极高表面检测灵敏度, 但仅有极少数金属(如 Ag、Au 和 Cu 等)的粗糙表面才具有高的 SERS 效应. 厦门大学李剑锋教授发展了一种新的壳层隔绝纳米粒子增强拉曼光谱(SHINERS)技术, 应用于原位监测 Au 单晶表面电氧化和 Pt 单晶表面氧还原反应过程, 获得了羟基、过氧和超氧物种作为中间产物吸附在界面最直接的光谱证据, 确定了反应路径和机理, 建立 SHINERS 卫星结构应用于真实催化剂, 监测 CO 氧化过程的中间物种. 中科院长春应化所彭章泉研究员采用电化学质谱技术对锂-氧电池的可逆性进行了定量的研究; 同时采用电化学拉曼光谱获得了锂-氧电池反应中间产物的谱学特征, 阐明了各种可能存在的基元反应, 得出了令人信服结论, 将推动锂-氧电池这一前瞻性储能体系走向更

高的发展阶段.

香港科技大学邵敏华教授介绍了与复旦大学蔡文斌教授课题组的合作研究, 他们利用原位表面增强红外光谱结合同位素示踪, 研究了二氧化碳在铜电极上的还原机理, 首次检测到了 CO、CHO、COOH 和 COO⁻ 等多种吸附物种; 发现电解质碳酸氢钾不仅仅提供质子而且通过电离平衡提供参与反应的二氧化碳.

理论计算是一种研究电催化界面和反应机理、研制新型电催化材料的有力工具. 厦门大学程俊教授基于第一性原理, 发展了计算电子和质子转移反应自由能的一种新方法, 并将此方法应用到界面体系, 计算金属水界面的零电荷电位和界面双电层的结构和电容. 重庆大学李莉教授通过实验与理论计算相结合, 发现了铂基合金催化剂中配位效应和应力效应对其活性的影响规律、过渡金属氧化物氧空穴浓度和晶体结构对其导电性和氧还原活性调控机制, 以及 N 和 P 掺杂石墨烯中掺杂结构与活性间的构效关系.

5 结束语

本次论坛反映了当前能源电催化研究的热点和趋势. 从报告内容上看, 有关燃料电池和氢能利用相关的电催化(包括 ORR、HER 和 OER 等)材料和性能研究仍然是重点; CO₂ 还原电催化研究包括电催化剂研制和反应机理的探讨是一个新热点; 而理论计算以及原位表征手段的发展为电催化反应机理及电催化剂构效关系的研究提供了新机遇, 相关研究仍需加强. 还需指出的是, 本次论坛主题聚焦、形式活泼、互动热络是电催化界的一次高水平、高信息量的学术交流. 与会者一致希望将这种论坛的组织形式延续下去, 为同行间的学术交流继续搭建更好的平台.