

中国材料大会 2025

暨新材料科研仪器与设备展

7月5-8日, 2025

福建 厦门

D28-双碳生态健康功能材料
D28-Dual-Carbon Ecological and
Healthy Functional Materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D28. 电化学功能材料

分会主席：周科朝、魏秋平、徐浩、刘敏、刘国帅

D28-01

场效应催化

刘敏*

中南大学

全球工业的高速发展以及人类活动导致温室气体排放量大幅增加，地球生态环境正在遭受着不可逆转的破坏。二氧化碳作为温室气体的主要代表成分，如何将其转化为碳氢化合物燃料吸引了全球科学家们的重点关注。在现存的几种有效的转化方法中，电化学催化还原二氧化碳由于可在常温常压下进行，并且能够实现人为的闭合碳循环，已然成为当下研究热点和重点。在催化反应中，反应分子的吸附和活化，往往是反应的第一步，同时也是反应关键步骤，通常限制了催化反应的效率。强电场有可能对分子中电子轨道的运动产生影响，从而提升其电子轨道的极化，增强反应分子的吸附和活化，提高其催化反应活性。本报告将汇报，我们通过构建各种局域强电场，提升对反应分子的吸附和活化，实现了对各种催化反应，如二氧化碳还原，氧还原，水分解等，效率的提升，同时提供了从物理角度提升和理解化学反应的途径。

D28-02

二氧化碳捕集与电化学转化研究

胡新明*

山东大学环境研究院

二氧化碳过度排放导致大气二氧化碳浓度逐渐升高，引起全球气候变化和各类环境问题。对二氧化碳进行捕集与转化利用是减少碳排放、实现二氧化碳资源化利用的重要措施。近些年，我们聚焦二氧化碳捕集与电化学转化方向开展了一系列研究。提出工业冷却塔捕集空气二氧化碳的新技术，开发室温电化学方法高效率释放捕集到的二氧化碳，有助于提高直接空气捕集效率，扩大捕集规模[1]。设计合成多种高性能非贵金属催化剂，将二氧化碳高效地电化学转化为一氧化碳、乙烯等各类高价值化学品，克服了二氧化碳转化电流密度小、产物选择性低的难题[2-4]。开展捕集态二氧化碳直接电化学转化研究，绕开二氧化碳解吸步骤，实现低能耗、高效率二氧化碳转化利用[5,6]。以上结果可为二氧化碳捕集与电化学转化应用提供一些参考和借鉴。

参考文献：

- [1] Zheng, A.-C.; Zou, Y.-B.; Du, L.; Zhang, Q.; Daasbjerg, K.; Hu, X.-M. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2025, 64, e202412697.
- [2] Li, S.; Zhao, S.; Lu, X.; Ceccato, M.; Hu, X.-M.; Roldan, A.; Catalano, J.; Liu, M.; Skrydstrup, T.; Daasbjerg, K. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2021, 60, 22826–22832.
- [3] Liang, H.-Q.; Zhao, S.; Hu, X.-M.; Ceccato, M.; Skrydstrup, T.; Daasbjerg, K. *ACS Catal.* 2021, 11, 958–966.
- [4] Li, S.; Lu, X.; Zhao, S.; Ceccato, M.; Hu, X.-M.; Roldan, A.; Liu, M.; Daasbjerg, K. *ACS Catal.* 2022, 12, 7386–7395.
- [5] Feng, L.-H.; Wang, N.; Zou, Y.-B.; Li, Y.; Hu, X.-M. *Small* 2025, 21, 2410719.
- [6] Hu, X.-M.; Liang, H.-Q.; Rosas-Hernández, A.; Daasbjerg, K. *Chem. Soc. Rev.* 2025, 54, 1216-1250.

D28-03

电化学负碳资源化

朱文磊*

南京大学

低碳经济对能效技术、可再生能源技术和温室气体减排技术提出了很高的要求。有针对性的对 CO₂ 进

行高价值资源化转化，既可以有效地应对气候变化带来的挑战，也对我国“碳中和”目标的达成具有重要的科学意义与实际价值。传统二氧化碳电化学还原使用的催化剂由于其复杂多变的晶面结构与缺陷，其反应机理和活性位点难以完美揭示。基于环境催化剂反应活性原子位点设计的单分散纳米颗粒和单原子纳米材料可以有效的调控其反应过程中间态，进而精确调控还原产物。本报告将从单分散纳米颗粒材料、单原子纳米材料和多孔纳米材料等催化剂角度介绍二氧化碳还原反应（CO₂RR）的分析与调控方法。我们通过制备单分散的钯（Pd）纳米颗粒研究了 Pd(100)和 Pd(111)晶面是如何影响 Pd 立方体和 Pd 八面体颗粒在 CO₂RR 制备合成气时的选择性。Pd 八面体颗粒显示出更高的 CO 选择性（高达 95%）和比 Pd 立方体和商业颗粒更好的活性。单原子催化剂（SACs）因其精确的活性中心结构和最大化的原子利用率而广泛用于 CO₂RR 反应中，但其产物通常仅限于一氧化碳（CO）。我们通过前驱体部分碳化的方法合成了边缘带有独特 CuN₂O₂ 位点的单原子碳量子点，其能够将 CO₂ 深度还原为 CH₄。最后我们利用多孔纳米材料设计了一种用于 CO₂RR 的自增压纳米催化剂胶囊，它能够通过选择性透过 CO₂ 与 CO 进而在铜催化剂周围产生一个高压 CO 的环境。通过触发 CO- CO₂ 耦合路径实现 CO₂ 到乙酸的过程。

D28-04

物理场促进光/电催化

李杰*

河南大学

光/电催化可以利用太阳能或者可再生能源把小分子（诸如水、二氧化碳、氮气等）转换为有价值的化学品或者燃料。在光/电催化过程中，电子空穴在体相的低分离效率以及较慢的表面催化动力学，是制约光/电催化效率的重要因素。为了解决这两个科学问题，我们发展了利用物理场来提高光/电催化效率的策略。具体来说，就是利用内电场提高半导体光催化材料的体相电荷分离效率，通过构建界面极化场和张力场促进电催化合成氨，基于限域场构筑高效二氧化碳还原体系。

D28-05

面向 MEA 体系的电催化 CO₂RR 初步探索

刘乐全*

天津大学

二氧化碳还原（CO₂RR）作为 CCUS 中碳利用的重要环节，可以将间歇性可再生能源和二氧化碳转化为可储存燃料和有价值的化学燃料，有效缓解能源危机，实现碳中和。如果有效提升二氧化碳还原的效率和选择性，并深入理解作用机制目前是该领域的主要挑战。^[1]

水作为 CO₂RR 的质子源，其较高的裂解能垒会严重降低 CO₂RR 的活性，而这一点在现有的研究中通常被忽略。在近期的工作中，我们通过在 Bi₂O₂CO₃ 中引入氧空位，提高水裂解能力，从而实现了 2.8 mmol h⁻¹ 甲酸生成速率（法拉第效率大于 90%）。动力学实验和 DFT 研究表明水裂解在 CO₂ 还原的反应速率中发挥了至关重要的作用。氧空位的引入加强了对羟基的吸附，从而降低了水裂解的能垒。另外，在构建的光伏-全电解系统上实现了高达 13.3% 的太阳能-甲酸盐的转换效率。^[2]

如何在无阴极电解液的膜电极组件（MEA）中利用碱金属阳离子效应促进 CO₂ 还原反应（CO₂RR）面临巨大的挑战。本工作设计开发了一种锚定碱金属阳离子的策略用于 MEA 电解槽，显著提升了市售 Ag 纳米颗粒在大电流密度下的 CO 选择性，实现了约 500 mA cm⁻² 的 CO 分电流密度，比纯 Ag 高出 3 倍。原位拉曼光谱表征和结合机器学习力场的理论计算结果表明，锚定的 Cs 显著促进了 *CO₂ 中间体的吸附；从 HER 角度来看，多位点自由能计算和旋转圆盘电极实验表明，锚定 Cs 形成的电场减弱了 *OH 中间体的吸附，从而抑制了 HER。

参考文献：

- [1] X. Chen, H. Chen, W. Zhou, Q. Zhang, Z. Yang, Z. Li, F. Yang, D. Wang, J. Ye and L. Liu*, Small, 2021, 17, e2101128.

- [2] X. Chen, J. Chen, H. Chen, Q. Zhang, J. Li, J. Cui, Y. Sun, D. Wang, J. Ye and L. Liu*, Nat. Commun., 2023, 14, 751.
- [3] Y. Sun, J. Chen, X. Du, J. Cui, X. Chen, C. Wu, X. Yang, L. Liu* and J. Ye, Angew. Chem. Int. Ed, 2024, 63, e202410802.

D28-06**生物—非生物杂化材料的电化学能量转化**

苏育德*

中国科学技术大学苏州高等研究院

对于二氧化碳还原、电合成、燃料电池等相对复杂的电化学反应，人工合成的电催化剂展现出催化活性较低、对特定产物选择性较差等局限。与之相比，生物催化剂（包括酶和微生物）经过自然界数亿年的进化和筛选，展现出对于复杂电化学反应的高催化活性和对于特定产物的高选择性。其中，微生物作为活体催化剂，展现出比酶更好的稳定性和自我繁殖优势。然而，生物催化剂受到自身导电性差的限制，通常无法独立完成电极的组装和电化学反应的进行。将生物催化剂与高电导率、高比表面积且生物相容的非生物电极材料杂化，是解决上述问题的有效途径。申请人围绕生物—非生物杂化材料的电化学能量转化开展研究，聚焦电合成和燃料电池两个应用领域，建立了将二氧化碳转化为乙酸和丁二酸等高价产物的微生物电合成体系，提出原位负载生物催化剂和可穿戴微生物燃料电池的新概念，解决了“微生物与非生物电极材料之间的协同工作效应”这一关键科学问题。

D28-07**电催化燃煤烟气中低浓度 CO₂ 资源化转化制备乙醇**

姚凯利*

昆明理工大学

基于低成本绿电驱动的电催化 CO₂ 还原技术制备醇类高附加值化学品是近年来发展起来的一种新型 CO₂ 资源化利用技术。在 Cu 等金属催化剂的作用下，CO₂ 能被高选择性地还原为乙醇等具有高能量密度和市场价值的产品。但现有研究多聚焦高纯 CO₂ 原料的催化转化，而无论是从烟气或是空气中获得高纯 CO₂，其高昂的分离成本对后续规模化应用均有限制。燃煤烟气是指火电、钢铁等行业燃烧煤炭时所产生的废气，主要以 N₂ 为主，其中 CO₂ 浓度占比约为 10%~15%，直接从燃煤烟气出发，将其中低浓度的 CO₂ 电催化转化为乙醇等高附加值化学品，兼具碳减排和资源化利用双重效应，可为工业级碳减排提供更具经济性和可持续性的解决方案。

D28-08**强酸条件下催化剂微环境重构驱动高效 CO₂ 电催化还原**

范期奎、孔春才*、许钟霜

西安交通大学

电催化二氧化碳还原反应（eCO₂RR）是实现碳中和目标的关键技术之一，但其在强酸性电解质中的高效运行仍面临催化剂活性低、产物选择性差及稳定性不足等挑战。本报告聚焦铜基催化剂的微环境重构策略，系统阐述酸性条件下提升 eCO₂RR 性能的创新方法。首先，通过含氟配体功能化与碳链长度调控，优化催化剂表面局域微环境，显著增强界面疏水性，有效抑制析氢副反应并促进 CO₂ 传质。其次，基于应变工程策略，调控 Cu 催化剂的晶格应变与电子结构，实现 C²⁺ 产物（如乙烯和乙醇）的法拉第效率达 80% 以上，同时电流密度提升至安培级，揭示了应变-选择性构效关系。最后，提出原位电化学还原法构建亲气疏水铜（BGH-Cu），其独特的表面润湿性与气-液-固三相界面特性，在 pH=1 的酸性电解质中实现 CO₂ 产乙烯的选择性达到 54.7%。本研究通过多尺度微环境调控策略，为开发高活性、高选择性及耐酸腐蚀的铜

基催化剂提供了新思路，推动 eCO_2RR 技术在绿氢耦合能源系统中的应用，助力“双碳”战略目标的实现。

D28-09

电化学储能微/纳材料的功能化设计及应用研究

王嘉楠*

西安交通大学

随着近些年能源环境问题的日趋严重以及国家对于“双碳”战略的大力推进，开发以电化学储能电池为动力核心的能源存储技术已广泛普及并呈现井喷发展趋势。虽然电化学储能电池（锂/钠离子电池等）的商业化应用有效实现了低碳、节能、环保等诸多良性社会效果，但随着不断提高的电池续航里程需求，现有商用锂离子电池系统的能量密度已临近理论极限，且随之引发的安全问题日渐凸显，因此设计并发展新型的功能微/纳材料对于推动电化学储能电池及新能源技术的快速发展至关重要。为此，报告人近年来针对解决当前电化学储能电池长续航能力与高安全性难以兼顾的行业难题，以电池能量密度和安全性问题为主要切入点，系统性设计和研发了多种新型功能微/纳材料并积极推进成果应用转化，力求满足电化学储能电池对于正极、负极、隔膜、电解质等各组件的不同功能化需求，有效提升了电池整体的电化学性能和全表现，可有效助力未来电化学储能技术和高安全高比能电池材料的创新突破及应用发展。

D28-10

电催化 CO_2 还原催化剂设计及重构过程调控

谢文富*

北京林业大学

电化学 CO_2 还原是实现碳循环和碳资源增值利用的有效策略之一，构筑高活性、稳定性的催化材料是实现 CO_2 高效转化的核心。然而，在工况条件下催化剂易发生重构且过程不可控，导致反应选择性降低，限制了电化学 CO_2 还原技术的工业化发展。基于此，首先围绕催化剂的结构化设计和活性位调控，通过模板限域策略，构筑了单原子、双原子催化剂，提升了活性位点利用率和 CO_2 还原选择性。进一步提出原子隔离策略，有效抑制活性原子的重构团聚。同时，通过掺杂和非晶化处理，有效调控了催化剂的重构路径，获得了更高效的活性位点，显著提升了 CO_2 还原性能。通过对工况条件下催化剂结构的动态变化研究，为高活性催化剂的设计和电化学 CO_2 还原的工业化发展提供一定的思路。

D28-11

煤基碳材料电催化还原 CO_2 基础研究

刘伟琪*

中国矿业大学

在全球碳中和背景下，电催化还原 CO_2 制高附加值化学品因其高经济价值成为研究热点，但传统催化剂（如金属 Cu 纳米颗粒）面临选择性低、电流密度小等挑战。本团队发现，通过精准调控煤基碳材料的微观结构与表面化学性质，可实现高效、高选择性得电催化还原 CO_2 制乙烯，突破煤基碳材料难以催化 C-C 耦合的传统认知，为 CO_2 资源化利用提供全新解决方案。

本研究以低成本煤为前驱体，通过定向热解-活化构建具有丰富微孔结构和边缘缺陷的碳骨架，并利用电化学重构和聚四氟乙烯表面修饰策略在煤载体表面负载 $\text{CuO/Cu}_2\text{O}$ 异质纳米颗粒。煤基碳材料独特的活性位点结构优化了 $^*\text{CO}$ 中间体的吸附强度，并促进了 C-C 耦合动力学，这使其在电化学测试中表现出 93% 的乙烯倾向性、62% 的乙烯法拉第效率及 142.4 mA/cm^2 的工业级电流密度。这一优异性能证实了煤基碳材料可作为乙烯合成的高效催化剂，填补了该领域的空白。

本工作不仅开辟了煤基碳材料在电催化还原 CO_2 领域高值化利用的新方向，也为乙烯的定向合成提供了颠覆性研究思路，研究成果已发表于 *Applied Catalysis B: Environment and Energy*，并授权发明专利

ZL202310367865.0。报告将深入讨论材料设计策略、反应机理及未来产业化潜力，助力煤基碳材料在碳中和领域的创新应用。

D28-12

金属-氮-碳 (M-N-C) 催化剂：合成、结构调控与能源电催化应用

费慧龙*

湖南大学

单原子催化剂是近几年来催化研究领域的热点和前沿，其兼具了均相催化剂和传统异相催化剂的优势，包括最大原子利用率、高活性、高选择性、易与产物/溶剂分离等。作为一类特殊的单原子催化剂，石墨烯基金属单原子因其具有高比表面积、高导电性、高（电）化学稳定性而被广泛应用于电催化领域，而行之有效的合成方法以及原子结构的确立是探索 and 实现石墨烯基单原子材料电催化性能的前提条件。有鉴于此，我们以氧化石墨烯为前驱体，利用其热解过程中产生的缺陷来锚定金属单原子（包括铁、钴、镍等），并发现氮元素的引入有利于形成强 M-N 键而稳定金属单原子。结构解析发现，在制备所得金属单原子材料中，金属与周边的四个氮原子相键合，镶嵌在石墨烯的双空位缺陷，构成了 MN₄C₄ 型单原子结构。以此具有明确原子结构的石墨烯基单原子材料为模型催化剂，我们结合实验和理论研究，探讨了金属原子种类对催化性能的影响，发现 CoN₄C₄ 和 NiN₄C₄ 分别可用于电催化析氢和析氧反应。同时，针对传统热解法耗时、耗能且易造成单原子高温团聚等问题，我们开发了瞬时微波加热（2 秒）来快速制备多种石墨烯基金属单原子材料的新方法，具有高效性、普适性、简易性、可量产化等优点。

D28-13

异质电催化

周海青*, 廖礼玲, 李东阳, 余芳

湖南师范大学

氢能源被视为 21 世纪非常有发展潜力的二次清洁能源。水资源地球储量丰富，通过水分解制取的氢燃料总能量相当于地球化石燃料热量的 9000 倍。因此，利用水分解制氢是目前备受关注的制氢方式，有望将清洁能源太阳能、风能或我国多余的弃水、弃电、弃风资源转化为可储存、运输的氢燃料，以备未来之需。然而，受限于制备成本和经济效益，工业上只有不到 5% 的氢气由此而来，例如酸性条件下常采用稀有、昂贵的贵金属铂或铱作为催化剂材料，不利于规模化应用；碱性条件下使用的廉价镍基材料催化活性低，电能损耗严重，无法高效地进行产氢（1.8 伏只传递 200 mA/cm²）。基于此，本报告将介绍如何从材料的表界面结构调控和催化剂材料间的协同效应等重要因素出发，设计、制备出高性能的富铁基析氧或双功能催化剂方面所取得的研究成果，以及如何借助原位光谱技术来解析铁基材料的重构机制。

参考文献：

- [1] Zhou, F. Yu, J. Y. Sun, R. He, S. Chen, C. W. Chu, Z. F. Ren, PNAS 2017, 114, 5607-5611.
- [2] D. Y. Li, Y. Zhang, W. Q. Xie, Q. Zhou, F. Yu, Y. Qi, Z. Y. Lian, L. Zhang, H. Wang, D. S. Tang, H. Q. Zhou, Energy Environ. Sci. 2025, 18, 1320-1330.
- [3] X. Zhou, Y. X. Mo, F. Yu, L. L. Liao, X. R. Yong, F. M. Zhang, D. Y. Li, Q. Zhou, T. Sheng, H. Q. Zhou, Adv. Funct. Mater. 2023, 33, 2209465.
- [4] F. M. Zhang, Y. L. Liu, F. Yu, H. J. Pang, X. Zhou, D. Y. Li, W. Q. Ma, Q. Zhou, Y. X. Mo, H. Q. Zhou, ACS Nano 2023, 17, 1681-1692.
- [5] D. Y. Li, R. Xiang, F. Yu, J. S. Zeng, Y. Zhang, W. C. Zhou, L. L. Liao, Y. Zhang, D. S. Tang, H. Q. Zhou, Adv. Mater. 2024, 36, 2305685.
- [6] L. L. Liao, D. Y. Li, Y. Zhang, Y. Zhang, F. Yu, L. Yang, X. Z. Wang, D. S. Tang, H. Q. Zhou, Adv. Mater. 2024, 36, 2405852.

D28-14

原位同步辐射技术研究电催化氧相关反应机理

苏徽¹、刘美欢^{*2}¹湖南师范大学²中南大学

电催化水分解和燃料电池技术是实现清洁的、高能量密度的氢能的绿色生产与利用的关键技术，认为是解决能源危机和环境污染的最有效的途径之一。长期以来在提升电催化剂的能量转换效率和稳定性方面一直遇到很大的挑战，缺乏有效的原位表征技术来深入认识能量转化过程的动态反应机理。单原子催化剂由于高的原子利用率、均一的局域结构、可接触的活性位点，可以广泛的应用于电催化反应（氧析出和氧还原反应）。采用离子交换法、热解等策略制备了 Co、Ir 基电催化剂，实现了电解水和氧还原性能的明显提升，在大电流密度下可稳定运行 300 h。基于大科学装置建立的原位同步辐射实验技术，研究电催化反应中金属位点的原子、电子和配位结构的动态演变规律以及捕捉关键的反应中间体，揭示了 Co 单原子催化剂在氧还原中真实的活性结构 Cl-Co-N₂ 以及动态变化的电子态是提升性能的关键、明确了有压缩应力的 MnO₂ 上负载的 Ir 位点的局域晶格氧催化反应路径；深入了解了压缩应力和氧空位在调节 IrO₂ 催化剂的活性结构和反应路径的微观机制。实现了从原子和电子水平直观地揭示了催化剂的电催化反应的微观反应机理，进一步指导和设计稳定高效的新型的氧相关电催化剂，从而提升电催化水分解和燃料电池的能量转换效率。

D28-15

新型膦基离子液体电解液的分子设计与锂金属电池界面调控

杨鸿辉^{*}，何陶宏，吴瑶，栾小贺

西安交通大学

为应对锂金属电池在高能量密度与界面稳定性方面的双重挑战，本研究围绕膦基离子液体开展定向分子设计，提出了一种醚功能化策略，成功合成新型离子液体[P₄₄₄₁₀₁][PF₆]，并构建了离子液体基电解液体系。该电解液在维持较高锂离子迁移率的同时，显著增强了锂金属负极界面的稳定性，抑制枝晶生长，延长电池寿命。实验表明，醚基团通过弱配位作用促进 Li⁺与阴离子的溶剂化，构建富含无机组分的稳定 SEI 界面，实现“高电导-稳界面”的双优平衡，突破了传统离子液体电解液黏度高、界面不稳定等瓶颈问题。此外，系统评估了该离子液体电解液与多种聚丙烯隔膜的相容性，明确 PP 3501 隔膜最具协同优势，可实现高达 0.103 mS/cm 的锂离子电导率和均匀锂沉积行为。在高负载（11.25 mg/cm²）LiFePO₄ 电池中，该体系展现出卓越的循环稳定性与倍率性能，验证了分子层面调控电解液-界面结构的工程可行性与实用价值。在此基础上，进一步优化 Li⁺的溶剂化结构，在锂金属表面原位生成富含 Li₂O 和 LiF 的 SEI，使其具有超快的锂离子扩散动力学，在 Li|LFP 电池表现出优异的电化学性能，可以实现 600 圈下 94.9% 的容量保持率。

D28-16

钙钛矿氟化物电化学新能源材料

丁锐^{*}

湘潭大学

开发新型电极材料、器件及机理是电化学新能源领域的核心问题。本报告聚焦于钙钛矿氟化物（ABF₃）电极材料电化学新能源领域的研究。主要包括：（1）创制水系储能（电容/电池）ABF₃ 新型正极材料，揭示其碱性/中性介质多电子体相转换/脱嵌/吸附储能机理，构建双高型水系新型电化学储能器件（水系超级电容电池、双极氧化还原电解液辅助超级电容器/锌基电池，赝电容快充水系锌基电池等）；（2）创制非水系储锂/储钠 ABF₃ 新型负极材料，揭示其表面转换/嵌入/合金化储能机理，构建双高型非水系新型电化学储能器件（锂/钠离子超级电容电池、钠基双离子电容电池等）；（3）创制尿素氧化反应/析氢反应 ABF₃

等新型电催化剂，揭示其电催化机理及构效关系，构建高效电化学能量转换器件（直接尿素双氧水燃料电池、全 pH 环境电解水制氢等）。

D28-17

基于电极界面硝酸根富集调控的电化学 C-N 偶联尿素合成机理研究

刘元*¹、陈颖²

¹中国科学院重庆绿色智能技术研究院

²西南交通大学环境科学与工程学院

电化学二氧化碳协同硝酸盐合成尿素对缓解温室效应、资源循环利用具有重要意义。由于 H 型电解池离子迁移被限制而逐渐被促进传质的流动池替代。但其对高附加值产品尿素电合成的影响机制仍不清楚。因此，本研究致力于揭示不同电解池中离子传输的差异及其对 C-N 偶联的影响，为优化尿素合成提供见解。n 型半导体更有利于阴极反应，选取带隙更窄且易被激发的 CuInS₂ 作为电化学 C-N 偶联尿素合成的催化剂。首先研究了穿透式流动池（flow-through）、平行板流动电解池（flow-by）和 H 型电解池的多物理场模拟规律。结果显示，在穿透式流体力学条件下，flow-through 电解模式下的阴极表面及其孔隙结构中可显著富集 NO₃⁻，有利于促进物质间相互作用。在以 KHCO₃ 和 KNO₃ 混合溶液为电解质的体系中对上述模拟结果进行了验证性研究。实验结果表明，在 flow-through 电解模式下，尿素产率为最高，达到了 3182.7 μg h⁻¹ mg_{cat.}⁻¹，对应的耗电量为 95.7 kWh kg_{urea}⁻¹。同时，尿素合成的法拉第效率也达到了 24.9%，分别较 flow-by 和 H 型电解池高出 12.7% 和 27%，凸显了 flow-through 电解模式优越的尿素选择性。通过电化学测试对机理进行分析，结果显示，在 flow-through 电解模式中具有更快的反应速率和电荷转移速率，且表征 NO₃⁻ 扩散的信号值最低。上述结果凸显了穿透式电解在促进离子到中间体转化中的重要作用，并表明对多孔电极进行有针对性的改性以提高 NO₃⁻ 的界面富集，还有望进一步提高尿素定向转化的电化学 C-N 偶联效率。本研究为深入理解传质影响尿素合成过程提供了新见解，可为电合成尿素催化体系的合理设计提供新参考。

D28-18

钛基体金属氧化物电极的稳定性能评价方法

徐浩*

西安交通大学

电化学水处理技术是一种典型的绿色环保技术，非常符合当前国家的双碳政策。阳极作为该技术的性能核心与价格核心而受到重点关注。目前常用的阳极材料主要包括：石墨类电极、贵金属类电极以及钛基体金属氧化物电极。综合考虑性能、价格及生产因素，钛基体金属氧化物电极是目前学术界与工业界关注最多、应用最广的水处理电极种类。本报告从理想阳极材料的四个评价维度（催化性、稳定性、经济性和安全性）出发，简要阐述钛基体金属氧化物电极的发展历史，详解其工业化生产与制备流程、电极性质检测技术方案、电极典型失效机制（急性失效、慢性失效）及电极稳定性能评价新方法，并介绍了徐浩教授课题组在钛基体金属氧化物电极领域（尤其是亚氧化钛电极材料）的相关工作。

D28-19

Ti₄O₇ 电催化降解新污染物研究及应用

林辉*

东莞理工学院

电化学氧化是有效的新污染物降解技术，而廉价、无毒、稳定、高导电率的新型 Ti₄O₇ 电极是极具应用前景电极材料，它具有与掺硼金刚石（BDD）电极类似的强氧化能力。然而，Ti₄O₇ 晶体中的氧空位缺陷倾向于在内部剪切面上有序排列，这导致了 Ti₄O₇ 晶体表面缺乏足够的反应位点，因而表现出较慢的界面电荷转移速率，致使它·OH 产率显著低于 PbO₂ 和 Doped-SnO₂ 等传统“non-active”电极，还严重制约了全

氟及多氟化合物（PFAS）等新污染物在电极表面的直接电子转移降解。本报告：1）从调控 Ti_4O_7 电极几何构型发展了电活膜技术强化污染物传质过程，实现了水中典型抗生素等污染物的高效降解，和 2）从调控 Ti_4O_7 晶体表面电子结构着手发展了增强 Ti_4O_7 本征催化活性的方法，多氟及全氟化合物（PFAS）降解效能显著提升。

D28-20

硼掺杂金刚石反应性电化学膜电极构建及其在污染物高效降解的应用

吴浩、魏秋平*

中南大学

硼掺杂金刚石（Boron-Doped Diamond, BDD）电极因其优异的电化学稳定性和强氧化能力，被广泛应用于有机污染物的电化学氧化处理。然而，传统平面 BDD 电极受到严重的液相传质限制，导致污染物难以高效接触电极表面，从而限制了其降解速率与能效表现。本研究构建了一种基于多孔结构的反应性电化学膜电极（Reactive Electrochemical Membrane, REM-BDD），将膜过滤过程与电化学氧化过程相结合，在提升电化学活性面积的同时，提高污染物传质效率，实现污染物的高效去除。

该 REM-BDD 的电化学活性面积为传统平面 BDD 的 7.89 倍，质量传递速率提升 19.5 倍。实际降解实验中，REM-BDD 在 6 分钟内实现了污染物氨基黑 10b 的完全去除，而平面 BDD 电极的去除率不足 15%；其降解速率为平面电极的 39.4 倍，能耗仅为 3.53%。该电极在连续运行下保持性能稳定，在处理实际废水及多种典型有机污染物中均优于商业 BDD 电极。REM-BDD 电极可通过羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ）、超氧自由基（ $\cdot\text{O}_2^-$ ）以及直接电子转移三重机制协同实现污染物降解。此外，REM-BDD 在电化学合成臭氧与电活化过一硫酸盐（PMS）等高级氧化路径中也表现出优越性能，展现出良好的多功能适配性和反应通用性。REM-BDD 电极通过结构设计实现了高效传质与高反应活性的协同优化，在污染物降解效率、能耗控制、电极稳定性及多氧化路径适应性方面均表现出显著优势，为水环境治理中高难废水处理与零排放技术的发展提供了关键材料支撑和理论依据。

D28-21

金刚石薄膜的制备与电学性能研究

胡晓君*

浙江工业大学

面向国家在宽禁带半导体材料的重大需求，开展金刚石的制备新方法、n 型掺杂、光电性能、器件研制及应用等研究，本报告的主要内容有：（1）化学气相沉积金刚石的形成机制研究。发现化学气相沉积过程中金刚石的形成是由石墨相变而来，颠覆了“碳原子形成金刚石结构”的传统观念；发现石墨低压转变为金刚石的机理，颠覆了“石墨高温高压转变为金刚石”的传统观念，发展出基于石墨低压/常压制备金刚石的新方法。（2）纳米金刚石薄膜的 n 型掺杂新方法研究。创制了适用于纳米金刚石薄膜的低剂量离子注入工艺、低真空热氧化退火工艺；提出 n 型密堆积纳米金刚石薄膜新结构，迁移率较文献结果提高 400 多倍，为宽禁带半导体掺杂及器件研制提供新范式。（3）色心金刚石的制备及性能研究。首次人工制备出少于 3 个色心的超小尺寸纳米金刚石，其室温发光性能至今保持世界第一，在单光子源、量子探针等方面有重要应用；发展出提升色心发光强度的普适性方法，采用热氧化法在金刚石颗粒表面制造纳米结构，将 SiV 发光强度提高 4-27 倍，线宽压窄至 3 nm。

D28-22

硼掺杂金刚石电极的制备及其电化学应用进展

魏秋平*

中南大学材料科学与工程学院

硼掺杂金刚石（BDD）是电化学氧化、合成和分析技术领域的理想电极材料。金刚石特殊的 sp^3 杂化碳-碳共价键结构及其硼掺杂后具有的导电性，赋予了其优异的电化学特性，如最高的析氧电位、最宽的电化学窗口、优异的耐腐蚀性及抗污染性等。热丝化学气相沉积技术是规模化、低成本制备 BDD 电极的关键技术，通过调控沉积工艺可精准调控 BDD 电极材料的电化学性能。BDD 电极在电化学氧化降解（如高有机废水降解）、电化学合成（如二氧化碳还原转化）和电化学分析（如电化学生物传感）等领域具有广泛的应用前景。本报告将介绍多功能化 BDD 电极材料的制备技术及其在电化学氧化、合成和分析技术领域的研究进展。

D28-23

导电金刚石材料电化学应用研究

黄楠*

中国科学院金属研究所

在功能金刚石领域，导电金刚石是一种非常重要的电极材料，除具有优异的力学性能外，其在电解质溶液中具有极其稳定的物理和化学性能，拥有高的析氧电位，表现出宽的电化学势窗，在电化学合成和电催化氧化领域发挥重要作用。其次，导电金刚石具有极低的电化学电容，表现出低的背景电流，是重要的电化学传感电极材料。本报告重点介绍团队基于元素掺杂实现导电性能的硼掺杂金刚石电极材料的孔结构构筑及其在电化学传感和电催化氧化领域应用进展。此外，本报告还介绍团队基于 CVD 技术 sp^2 碳杂化实现导电性能的两种金刚石/石墨电极材料的结构构筑和界面解析研究，及其在电化学传感、电催化和电化学储能领域的应用探索研究。

D28-24

基于电化学受控水解实现稀土高效除杂

张绘*

中国科学院赣江创新研究院

当前离子型稀土浸出液中含有大量的铝镁铁硅等杂质，如何从稀土浸出液中高效、环保地去除杂质并富集稀土具有十分重要的意义。传统加碱调节 pH 除杂方法存在局部碱过量导致共沉淀、产生大量中和废水、体系水膨胀等问题。基于水电解过程中阴阳极表面分别产酸（阳极）产碱（阴极）的电化学反应，本团队开发了一种基于电化学受控产碱的选择性沉淀方法。该方法基于水电解在阴极产生 OH^- （或消耗 H^+ ）的产量和产生速率受到同电量及电流密度的精确控制，电流效率接近 100%，为实现精准调控溶液 pH 并选择性水解高效分离奠定了理论基础。本报告介绍了利用电化学受控水解方法选择性沉淀 Al^{3+} （不沉淀 RE^{3+} ）和选择性沉淀 RE^{3+} （不沉淀 Mg^{2+} ）的基本原理、关键影响因素以及旋流电解强化除杂应用，显示了该方法在调控 pH 方面具备的独特优势。

D28-25

质子“过滤”驱动电催化反硝化产 N_2 机制研究

刘国帅*

江南大学

硝酸盐（ NO_3^- ）污染对水环境与人体健康构成严重威胁，而现有电催化脱硝技术因质子过度参与导致 N_2 选择性低。本研究通过连续模块化组装与热解策略，开发了一种双壳层介孔碳球负载双单原子位点（ $FeNC@MgNC-DMCS$ ）的新型催化剂。外层 $Mg-N_4$ 位点通过中等碱性环境有效捕获质子，抑制 N-H 氢化副反应；内层 $Fe-N_4$ 位点则促进 N-N 偶联，驱动 NO_3^- 定向转化为 N_2 。实验表明，该催化剂在 0.05 M Na_2SO_4 电解液中可实现 92.8% 的硝酸盐去除率及 95.2% 的 N_2 选择性。原位表征与理论分析证实， $Mg-N_4$ 的质子过滤作用显著降低局部 H^+ 浓度，优化了 $Fe-N_4$ 位点的 N-N 耦合动力学。此外，连续流电解装置中 250 小时

的长效运行验证了其优异的稳定性 (N_2 选择性 > 93%), 且金属离子溶出量极低 (Fe^{3+} : $1.58 \mu\text{g L}^{-1}$, Mg^{2+} : $6.17 \mu\text{g L}^{-1}$)。本研究为高选择性脱硝催化剂设计提供了质子调控新策略, 并拓展了单原子材料在环境修复中的应用潜力。

D28-26

掺硼金刚石在电化学合成领域应用研究与进展

罗浩*

湖南新锋科技有限公司

金刚石具有高硬度、高导热、高稳定性、耐腐蚀、良好的生物相容性等诸多优点, 纯净的金刚石并不导电, 而掺硼金刚石膜则随掺硼量的不同具有半导体甚至低温超导体的特性。掺硼金刚石在电化学领域具有很大的优势, 包括宽的电势窗口、低的背景电流、高的电化学稳定性等优点, 是公认为最有前景的优秀电化学电极材料。电化学合成技术是利用电能驱动化学反应形成新化合物的技术。通过电极直接给予反应物电子或者从反应物上获得电子生成自由基中间体, 再进行均相反应得到目标产品, 包括阳极电化学氧化和阴极电化学还原。以 BDD 作为阳极的电化学氧化技术, 可以合成过硫酸盐、高价含氧酸根、臭氧、双氧水等高价值物质。

D28-27

“零极距”电化学反应装置的设计及其工程应用研究

朱云庆*

陕西科技大学

针对硝酸盐还原过程中的装备设计问题, 开展了基于零极距电化学反应装置的设计研究工作, 从多孔电极的传质过程到反应器的设计和应用, 进行了系统性的工作。同时以三维自支撑的 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 纳米电极为阴极, 构建了一种“零极距”电催化系统用于电催化 $\text{NO}_3\text{-RR}$ 。“零极距”电化学反应器的特点在于电极间距极小 ($d = 0.1 \text{ mm}$), 能有效减少电极之间的欧姆降, 从而提高电催化硝酸盐还原效率和反应速率, 具有稳定性强、能耗低的优势。在初始浓度为 100 mg-N L^{-1} 和电流密度为 10 mA cm^{-2} 条件下, “零极距”电催化系统实现了最高的 N_2 选择性 (80.4%) 和最低的能耗 (0.12 kWh g^{-1}), 优于多数过渡金属基电催化剂在无氯离子体系中的性能。通过线性拟合发现, 电流效率与 N_2 选择性之间呈现正相关性 ($R^2 = 0.940$), 而缩短电极间距可以显著提高电流效率。在“零极距”电催化系统中, 显著提升了电流效率, 增加催化剂表面的关键中间体* N 覆盖率, 促进 N-N 键结合从而改善 N_2 选择性。通过改进电化学反应器结构提高了硝酸盐还原效率和 N_2 选择性, 该策略为构建高性能的电催化系统提供了新的途径。

D28-28

镍基电极电催化还原低电导率硝酸盐废水过程的影响研究

严群*

江南大学环境与生态学院

随着工业废水排放量激增和农业面源污染扩散, 低电导率 ($< 3000 \mu\text{S/cm}$)、低浓度硝酸盐 ($< 50 \text{ mg/L}$) 废水的高效治理成为水处理领域的重大挑战。传统电化学还原技术受限于离子传质效率低、析氢副反应 (HER) 竞争显著、电极活性位点不足等问题, 导致硝酸盐还原效率低下, 且存在中间产物积累、电极循环稳定性差等缺陷, 严重制约该技术的实际应用。现有研究多聚焦于高浓度硝酸盐体系, 而针对低浓度废水的高效处理仍缺乏经济可行的解决方案。本研究旨在开发低成本、高活性的三维自支撑复合电极, 通过材料结构设计与电子特性调控, 突破低电导率体系的传质限制与副反应干扰, 构建适用于低浓度硝酸盐废水处理的高效电催化还原体系, 并阐明金属掺杂提升催化性能的微观机理。

D28-29

抗结垢阴极

于洪涛*、王威龙、盛鸿懿、拉姆玉珍
大连理工大学

金属镁是国民经济发展的重要材料，我国镁产量占世界总量 60%以上，矿石开采、加工、销售、镁制品、新材料产业链完善。海水中镁资源丰富，如能提取海水中镁替代矿石开采，在保持地貌、维护生态、降低碳排放等方面具有明显优势。电化学法相比传统的化学沉淀法或高温冶炼法能耗低，碳排放低一个数量级，仅需输入电能，无需添加任何化学试剂即可从海水中选择性析出氢氧化镁。电化学通过电解海水提高阴极表面的 OH^- 浓度，引发 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 晶体在阴极表面成核析出，无需投加药剂、不增加固废体积，符合双碳目标。电解海水的内在技术难题是连续运行一段时间后绝缘垢层覆盖阴极导致反应中止，并且海水中的钙往往混在氢氧化镁晶体中，导致产品纯度低。

针对这个问题，本团队提出了基于抗结垢阴极的海水提镁新技术。“垢晶自动脱落机制”通过改变阴极结构和表面性质削弱垢晶在阴极表面的粘附力并通过气泡运动形成表面湍动导致垢晶自动脱落，从而彻底实现阴极不结垢，使电化学反应连续运行，电极寿命延长、提镁效率提升、能耗降低，完全取消了现有电化学技术难以回避的倒极、酸洗、刮垢等繁琐操作，运行管理难度大幅降低。“强化均相成核机制”运用分解水产生的微气泡推动 OH^- 快速充满阴极区强化 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 晶体在溶液中成核，通过调控 OH^- 浓度并结合超滤膜将纳米尺寸的高纯度 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 收集后资源化利用。目前可提供 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的抗结垢阴极和 10L/h 海水通量的提镁装置，提取 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的纯度高于 98%，平均粒径小于 2 微米，能耗不超过 $4\text{kWh/kg Mg}(\text{OH})_2$ 。特别适合作为冶炼金属镁的原料。

D28-30

还原氧化石墨烯修饰电极的制备及在污染物降解中的应用

黄荣夫*
四川大学环境科学与工程系

本研究通过水热还原自组装法制备了还原氧化石墨烯修饰镍泡沫 (RGO@NiF) 电极，并将其应用于电催化降解石油工业废水中难降解的环烷酸类化合物。以金刚烷羧酸 (ACA) 为模型污染物， RGO@NiF 阴极在电-芬顿体系中显著提高了 H_2O_2 的生成效率，使 $\text{EC/RGO@NiF/Fe(III)}$ 体系在 15 分钟内实现了 ACA 的完全降解。该体系中产生的超氧自由基 ($\cdot\text{O}_2^-$) 有效加速了 Fe(III)/Fe(II) 循环，从而活化 H_2O_2 生成羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$)，增强了降解效率。材料表征、电化学分析及 DFT 计算表明，RGO 表面边缘、空位缺陷及残余氧基团为关键催化位点，提升了电子转移效率和 2e^- 氧还原能力。研究结果表明， RGO@NiF 电极在石油废水电芬顿处理中的应用具有广阔前景。

参考文献：

- [1] Li, D.; Zhao, Y.; Zhang, J.; Wang, Y.; Ghani, D.; Yang, X.; Zeng, B.; Zhang, I. Y.; Huang, R*. Chem. Eng. J. 2024, 500, 156699.
- [2] Wang, Y.; Li, D.; Wang, J.; Zhang, B.; Zhao, C.; Huang, R*. Sep. Purif. Technol. 2025, 357, 130048.
- [3] Long, X.; Zhang, I. Y.; Huang, R*. Chemical Engineering Journal 2023, 472, 145144.
- [4] Chen, Y.; Li, Y.; Wang, Y.; Zhang, I. Y.; Huang, R*. Journal of Hazardous Materials 2023, 455, 131524.
- [5] Wang, J.; Long, X.; Zhang, I. Y.; Huang, R*. J. Hazard. Mater. 2023, 458, 132004.

D28-31

电化学废水处理新技术的产学研创新实践

徐涛*
中南林业科技大学

本研究针对抗生素等新型污染物分子结构稳定、生化难降解的难题，提出以产学研协同创新为导向的

交流电化学氧化处理新技术。采用掺硼金刚石 (BDD)-Fe 耦合电极体系, 兼顾实验室基础研究与企业工程化示范, 深入探讨双向脉冲电参数、液相环境与界面能质传递对 OH 生成效率的协同调控机制。在交变电场作用下, 双 BDD 电极界面原位生成 H_2O_2 和 OH, Fe 电极同步溶解释放 Fe^{2+} , 高效催化体相 H_2O_2 向 OH 转化, 实现界面与体相双重 OH 富集, 显著缩短污染物传质路径。通过非均相与均相氧化的协同强化, 抑制中间产物累积, 提升抗生素分子矿化率, 并在能效评价体系下对电化学氧化过程的电子利用效率和能耗进行了系统量化。基于产学研一体化设计, 构建了电极制备—反应机理解析—工程放大验证的创新流程, 揭示了交变电场下界面/体相协同产生 OH 的新机理, 明确了自由基形成及演变规律, 为开发低成本、高效、可规模推广的双向脉冲电化学氧化技术提供了坚实的理论与实践支撑, 具有重要的学术价值与产业应用前景。

D28-32

三维粒子电极电催化氧化 PPCPs

卓琼芳*、孟翠琳

东莞理工学院

为了处理卡马西平抗生素造成的环境污染, 本研究采用冷冻/碳化法制备了铁钴双金属纳米颗粒 (Fe, Co/NPs@GO), 并通过铁钴的合成比例优化了电催化耦合催化剂活化过一硫酸盐(PMS)体系对 CBZ 的降解性能。探讨了 PMS 投加量、Fe, Co/NPs@GO 投加量、溶液初始 pH 值、电流密度对 CBZ 降解的影响。结果表明: 0.15 g/L 的 Fe, Co/NPs@GO (Fe:Co=1:1)、3 mM PMS, 在 20 mA/cm² 的电流密度下, CBZ (1 mg/L) 在 30 min 内的去除率能达到 99.5%。与单纯的催化剂活化 PMS 体系相比, 加入电催化条件后, CBZ 的去除率提升了约 37%。自由基淬灭实验及 EPR 实验证实, 羟基自由基和单线态氧是降解 CBZ 的主导活性氧物种, 并推测出 CBZ 在电催化耦合催化剂活化过一硫酸盐 (PMS) 体系的降解机理。研究表明, 电催化耦合 Fe, Co/NPs@GO 双金属纳米复合材料活化 PMS 体系在处理水中的 CBZ 抗生素污染方面有很大的应用前景。

D28-33

多孔 BDD 缺陷锚定铂纳米颗粒用于高效稳定的电化学臭氧生成

王杰、汤子健、邓泽军*、魏秋平*

中南大学材料科学与工程学院

本研究针对掺硼金刚石 (BDD) 电极电化学臭氧生成 (EOP) 活性低的问题, 开发了一种铂纳米颗粒修饰的多孔掺硼金刚石电极 (Pt/PBDD)。通过热镍刻蚀技术构建多孔 BDD 基底, 随后, 借助电沉积将铂纳米颗粒 (PtNPs) 锚定于孔洞及晶界缺陷处。Pt/PBDD 电极在 EOP 中表现出优异的性能: 电流效率达 20% (是原始 BDD 的 1.82 倍), 能耗降至 0.131 Wh·mg⁻¹ (是原始 BDD 的 0.57 倍), 且在 100 mA·cm⁻² 下连续运行 40 小时后效率衰减<5%。机理研究表明, PtNPs 增强了对含氧中间体 (OH、O 等) 的吸附, BDD 与 PtNPs 的协同作用促进了臭氧生成路径。此外, 原位臭氧成功降解亚甲基蓝 (90 分钟降解率 82.6%), 验证了实际应用潜力。该工作为设计高效稳定 EOP 阳极提供了新策略。

D28-34

基于丝网印刷电极的电化学传感研究

刘松*

湖南大学化学化工学院

电化学传感技术以其响应快速、操作简便、成本低廉、易于微型化和便携化等显著优势, 在即时检测 (POCT) 和环境监测领域展现出巨大潜力。本研究聚焦于丝网印刷电极 (SPE) 这一理想平台, 通过创新设计与开发高性能传感油墨材料, 成功制备了一系列高灵敏度、高选择性的电化学生物传感器。这些传

感器针对多种关键生物标志物（如疾病相关蛋白、核酸、小分子代谢物等）进行设计，显著提升了检测性能。研究突破传统模式，深入结合临床实际需求，与多家医院紧密合作，将所开发的传感器应用于多样化的真实场景，并成功完成了临床样本的验证。尤为重要的是，我们系统性地将机器学习（ML）技术整合到检测的全流程中。本研究不仅推动了 SPE 电化学生物传感器向更高性能、更智能、更实用的方向发展，也为精准医疗、个性化健康管理和现场快速检测提供了强有力的技术支撑和有效解决方案。

D28-35

相图设计开发电催化剂

韩朝*

中南大学材料科学与工程学院

氧气相关（析氧、氧还原）及析氢等氧化还原反应与多种电能-化学能转化器件的性能表现息息相关，对于清洁能源的利用意义重大。电催化剂的使用可以大大降低反应过电位，增强器件性能。过渡族金属基电催化剂成本低，性能灵活可调且接近贵金属，已经成为催化剂设计的主要方向；但是其性能仍然低于贵金属且性能调控预测极为困难。本报告通过简单的相成分设计低成本可控可预测的引入多级催化位点，可同时增强对不同反应的电催化活性，制备了可同时实现多种催化功能的过渡族金属催化剂。相关研究有助于进一步降低相关能源器件的成本。

D28-36

基于功能化碳材料界面的生物活性分子电化学测定

苏招红*

湖南农业大学

石墨烯和碳量子点由于其优异的性能，已广泛应用于能源、环境、传感等领域，本研究在石墨烯和碳量子点等碳材料的功能化改性方面开展了一些工作，并对此开展了新型功能化碳材料研制和生物活性分子电化学测定研究。结合丝网印刷电极+便携电化学工作站+智能手机这一理想的现场快速检测平台，采用所构建的传感器对水稻种子、油菜、茶叶、辣椒、烟草中关键生物活性分子（如植物激素、植物多酚、生物碱、叶绿素等）进行快速检测，并引入理论计算和机器学习方法，深入结合数字农田、智能温室需求，与多家农业科技公司合作，将所开发的传感器应用于多样化的真实场景，并成功完成了现场植物样本的验证。本研究不仅推动了智能电化学传感器向更高性能、更实用的方向发展，也为精准农业、智慧农业管理和现场快速检测提供了强有力的技术支撑和有效解决方案。

D28-37

碳基功能化材料的构筑及氧还原性能的研究

孙焱焱*

中南大学材料科学与工程学院

利用可再生能源产生的电能驱动能源小分子电催化转化，是解决当前能源和环境问题的主要手段之一，具有重要的意义和前景。其中，氧还原反应（ORR）是电化学能量转换和储存系统中的关键反应，但面临的主要挑战是 ORR 的催化活性和选择性尚待提高，催化剂在 ORR 过程中的活性位结构、作用机制、有效活性位点密度和利用率不明确，缺乏高性能催化剂的理性设计策略。针对上述关键科学问题，申请人聚焦碳基非贵金属催化剂，通过缺陷策略对碳材料进行功能化改性，揭示碳缺陷类型和密度对 ORR 活性和选择性的影响机制；以理论计算为指导，采用空间限域策略制备系列金属活性位点结构明确的非贵金属催化剂，厘清金属活性位结构与 ORR 催化反应路径的关系；发展表面分子探针技术，提出有效金属活性位点密度和利用率的定量解析方法，建立了反应活性描述符，为高性能 ORR 催化剂的理性设计提供了技术基础和理论依据。

D28-38

MXene 基电化学致动器

陈少华*

中山大学

电化学致动器(ECA)通常由两电极夹层聚合物电解质构成,能够在低电压下产生变形并输出力。ECA具有轻质、柔软、节能、安全、常温工作等优势,在触觉交互、生物医疗、软体机器人等领域有诱人的应用前景。 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene 具有优异的电导率、体积比电容、力学性能和表面极性,很有潜力作为 ECA 的活性电极材料。然而原始 MXene 宏观膜沿平面方向的电化学应变非常低,且在潮湿环境和水系电解液中的存储稳定性较差,大大限制了其 ECA 的宏观变形、输出力和使用寿命。为此,我们使用两亲性高分子吸附和有机碱中和对 MXene 表面进行改性,通过引入疏水基团增加片层间距、缩短层间结合力并降低薄膜的吸湿性,从而大幅提高了薄膜的平面电化学应变以及在空气和水中的稳定性。采用多种原位表征手段(液体池 TEM、XRD、AFM、FTIR),观测到了 MXene 片的各向异性电化学应变行为以及改性 MXene 片的平面滑移现象,提出了片层滑移致动新机理。基于此,设计了 1 V 驱动的弯曲型半固态软体致动器,输出力可达自重 100 倍以上;组装的“机器镊子”可夹持自重 20 倍的物体,并在 0 V 下维持稳定夹持状态。

参考文献:

- [1] Shaohua Chen, et al. Adv. Mater. 2024, 36, 2307045.
- [2] Shaohua Chen, et al. Adv. Mater. 2022, 34, 2200660.
- [3] Liuxiang Zhan, Shaohua Chen, et al. Adv. Sci. 2024, 11, 2402196.
- [4] Shaohua Chen, Matthew Wei Ming Tan, et al. Adv. Intell. Syst. 2022, 4, 2100075.

D28-39

界面稳定的纤维状电化学传感器及其体内应用研究

栗乾明^{*1,2}、卢江²、邹旷怡²、柳欣遇²、李丹³、张晔²¹ 安徽大学² 南京大学³ 南京中医药大学

可植入化学传感器能够实时、连续地监测体内关键生化物质,为疾病早期诊断、个性化治疗和慢性病管理提供精准的数据支持,在智慧医疗与精准医学领域展现出广阔的应用前景。根据结构特征,可植入化学传感器可分为平面状和纤维状两类。纤维状可植入化学传感器凭借微创植入、易于多功能集成以及便于取出的独特优势,在健康监测领域展现出巨大潜力。然而,该类传感器在复杂体液环境中的稳定性仍然不足,器件-组织界面的动态适配机制研究相对滞后,导致传感器植入后易诱发免疫排斥和炎症反应。此外,当前可植入化学传感器的临床应用主要集中在血糖监测领域,而在其他关键医学场景中的应用仍较为有限。

本研究以碳纳米管纤维为柔性基底,发展出一系列纤维状可植入电化学传感器。传感器表现出优异的稳定性,经过 1000 次弯曲循环后阻抗波动小于 3%,连续工作 30 天后信号保持率超过 90%。此外,通过加捻工艺,可实现多传感单元的集成,以满足不同应用场景下的多参数同步监测需求。一维纤维结构使传感器可通过注射器精准植入至靶向组织,进一步提升了植入操作的可控性和安全性。针对不同体液监测需求,通过优化传感器的界面材料与结构设计,构建了稳定的传感器-组织界面,并进一步拓展其在药物损伤评估、妊娠期疾病预警及骨关节炎监测等多个医学场景中的应用。本工作的研究成果有望加速可植入电化学传感器在早期疾病诊断和个性化治疗中的实际应用,为智慧医疗和精准医学的发展提供了重要的理论和技术支持。

D28-40

理论计算用于电催化水分解催化剂活性预测及机理分析

吕春梅¹、叶克^{*1,2}

¹ 哈尔滨工程大学² 中国科学院青岛生物能源与过程研究所

电催化水分解是实现绿色制氢的重要技术，其效率在很大程度上依赖于催化剂的本征活性及反应机理。基于 VASP（Vienna Ab-initio Simulation Package）的第一性原理计算在电催化水分解催化剂的理论预评价与机理研究中占据着重要地位。通过密度泛函理论（DFT）框架，VASP 能够精确模拟催化剂表面及界面的原子结构、吸附/脱附行为和电子特性，为分析析氢反应（HER）和析氧反应（OER）的催化机理提供了重要的理论依据。在 HER 的研究中，基于 VASP 的结构优化与能量计算能够构建催化剂表面氢吸附模型，通过计算氢吸附自由能（ ΔG_{H^*} ）来评估催化剂的 HER 活性趋势。在 OER 的研究中，VASP 通过计算催化剂在反应过程中各中间态的自由能差异，能够确定反应的速率控制步骤（如 $*O \rightarrow *OOH$ ），从而评价不同催化剂的 OER 活性。此外，VASP 的电子结构分析功能，如态密度（DOS）、Bader 电荷分布及 d 带中心计算，能够揭示催化剂表面活性位点的电子调控机制。特别是过渡金属的 d 带中心与中间体吸附强度之间的关系，对于理解催化剂的电子结构与反应活性有着重要意义。理论计算与实验的结合为电催化水分解催化剂的设计与机理研究提供了高效的理论框架和技术支撑。

D28-41

新型氧化物分子印迹石墨烯电化学晶体管传感器构建及其性能研究

高难^{1,2}、常钢²、吴钰祥*¹¹ 江汉大学智能体育与主动健康研究院² 湖北大学材料科学与工程学院

电催化水分解是实现绿色制氢的重要技术，其效率在很大程度上依赖于催化剂的本征活性及反应机理。基于 VASP（Vienna Ab-initio Simulation Package）的第一性原理计算在电催化水分解催化剂的理论预评价与机理研究中占据着重要地位。通过密度泛函理论（DFT）框架，VASP 能够精确模拟催化剂表面及界面的原子结构、吸附/脱附行为和电子特性，为分析析氢反应（HER）和析氧反应（OER）的催化机理提供了重要的理论依据。在 HER 的研究中，基于 VASP 的结构优化与能量计算能够构建催化剂表面氢吸附模型，通过计算氢吸附自由能（ ΔG_{H^*} ）来评估催化剂的 HER 活性趋势。在 OER 的研究中，VASP 通过计算催化剂在反应过程中各中间态的自由能差异，能够确定反应的速率控制步骤（如 $*O \rightarrow *OOH$ ），从而评价不同催化剂的 OER 活性。此外，VASP 的电子结构分析功能，如态密度（DOS）、Bader 电荷分布及 d 带中心计算，能够揭示催化剂表面活性位点的电子调控机制。特别是过渡金属的 d 带中心与中间体吸附强度之间的关系，对于理解催化剂的电子结构与反应活性有着重要意义。理论计算与实验的结合为电催化水分解催化剂的设计与机理研究提供了高效的理论框架和技术支撑。

D28-42

集自主诱导与长期监测的电化学传感织物

李长昕、何思斯*

哈尔滨工业大学（深圳）

智能织物凭借其柔软、透气与贴肤等特性，将汗液生物传感技术融合进织物结构，可实现多模态生理状态的持续感知，展现出构建下一代个体化健康交互平台的广阔潜力[1,2]。然而，传统汗液采样策略对运动或热力诱导的依赖，制约了可穿戴器件在广泛场景与人群中的普适部署。在此，我们提出了一种集成自主汗液诱导模块与多重电化学传感纤维的智能织物系统。该系统通过优化离子电渗凝胶电极，使其在皮肤表面形成稳定的电接触界面，从而有效降低了皮肤-电极的界面阻抗；同时，采用顺序沉积策略在纤维电极上引入 NiHCF 复合保护层，显著提高传感织物的操作稳定性与使用寿命。最终集成的电子传感织物可在仅 75 μA 的外施电场下实现安全且持续的汗液诱导，远低于传统离子电渗器件普遍依赖的毫安级操作条件，兼具高诱导效率、皮肤安全性与用户依从性优势，并能在 6 小时内对多种汗液标志物进行长期稳定监测。

将该传感织物通过无线通信与移动终端互联，该系统在包括静息活动在内的日常交叉场景中实现了可靠演示，该研究展示了自主采样-监测织物平台的可行性，为可穿戴器件的多模态健康交互拓展提供了新范式。

参考文献：

- [1] Zhou L, Li C, Luo Y et al. An autonomous fabric electrochemical biosensor for efficient health monitoring. *National Science Review* 2025; 12: nwaf155.
- [2] Li C, Jia K, Liang Q et al. Electrochemical biosensors and power supplies for wearable health-managing textile systems. *Interdiscip Mater* 2024; 3: 270-296.

D28-43

超细 BDD/铁基氧化物复合材料的制备及其电容去除 Pb^{2+} 性能研究

何垚，邓泽军*，魏秋平*

中南大学材料科学与工程学院

电容去离子（CDI）是去除水中有毒金属离子最有效和新兴的技术之一。本工作采用简单水热法制备了超细微粉 BDD /氧化铁复合吸附剂，并研究了所制备纳米复合材料的相应表征和电容式去除 Pb^{2+} 性能。微观结构分析表明：该复合吸附剂具有相对均匀的纳米颗粒组装网络；电化学性能测试证实了其出色的电容性能和导电性。在初始浓度为 100 mg mL^{-1} 的氯化钠水溶液中，施加 1.2V 电压时，吸附量（NaCl）可以达到 46.5 mg g^{-1} 。同时，由于 BDD 微粉的加入，复合吸附剂也展示出显著的稳定性改善效果。在同样条件的 CDI 实验中，该复合吸附剂能达到 89% 以上的 Pb^{2+} 去除效率和展示出良好的电极再生能力。此外，电吸附和化学吸附相结合有效产生了更高的吸附容量和更快的吸附速率。因此，本工作所制备的复合吸附剂在 CDI 去除 Pb^{2+} 中具有很大的应用前景。

D28-44

二维催化剂 $\text{Bi}_2\text{Te}_3@\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 中内建电场与 Te 电荷调控协同优化锂空气电池循环稳定性

冯娟娟¹、刘彬¹、李亮亮²、王春雷¹、王洪超*¹

¹ 山东大学物理学院

² 香港岭南大学跨学科学院

为解决锂空气电池（LAB）中 Li_2O_2 形成的缓慢动力学和副产物 Li_2CO_3 的不良影响，开发高效稳定的催化材料至关重要。本研究介绍了暴露（001）晶面的共格异质结 $\text{Bi}_2\text{Te}_3@\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 作为正极催化剂在锂空气电池中的应用。理论分析表明， Bi_2Te_3 和 Sb_2Te_3 之间功函数的差异会导致界面上的电子重排，形成内建电场，进而导致 Te 原子电荷不对称分布，增强了对中间产物的吸附能力，促进了放电产物的生长。同时，还促进了 LiO_2 与异质结表面的电荷转移，提高了材料整体的导电性，降低了过电位。此外， Bi_2Te_3 和 Sb_2Te_3 晶格结构高度相似，晶格失配率低于 3%，增强了 $\text{Bi}_2\text{Te}_3@\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 异质结的结构稳定性，从而确保了 LAB 的稳定循环。采用 $\text{Bi}_2\text{Te}_3@\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 阴极的 LAB 在纯氧环境中可循环 635 次，在空气环境中可循环 537 次。该工作为具有内建电势和电荷重排性质的共格异质结在锂空电池正极催化剂中的应用提供了新的角度。

墙报

D28-P01

聚吡咯负载 PdSn 对 C2 醇的电催化氧化性能研究

郝亚凯、张涣、陈慧津、岳瑞瑞*、刘佩佩、徐景坤

江西科技师范大学

开发高活性、长寿命的催化剂对推动燃料电池技术发展及应对化石燃料枯竭至关重要。本研究采用一步界面聚合法，在室温下通过有机相与水相结合（无需加热和搅拌），成功合成了聚吡咯负载钯锡合金纳

米粒子 (PdSn/PPy)。Pd₄Sn₆/PPy 催化剂在碱性介质中对乙二醇氧化反应 (EGOR) 和乙醇氧化反应 (EOR) 表现出卓越的电催化活性, 其峰值电流密度分别达到 7445.1 mA mg_{Pd}⁻¹ 和 3823.8 mA mg_{Pd}⁻¹, 是商用 Pd/C 催化剂的 12.8 倍和 17.5 倍。性能的提升源于 Sn 合金化对 Pd 的 d 带中心电子结构的调控, 以及金属纳米粒子与 PPy 载体间的协同作用。本研究为优化碱性直接醇类燃料电池 (ADAFCS) 阳极催化剂提供了新策略, 同时实现了低钯负载量和高催化效率。

D28-P02

光热赋能电化学免疫传感器用于高灵敏骨钙素监测

周诗萍、张少辉*

广东省科学院生物与医学工程研究所

双模式传感策略不仅具有各响应模式的固有特征, 还能相互验证不同模式得到的监测结果, 从而有效提高监测的准确性和可靠性。本研究利用聚多巴胺 (PDA) 包覆碳纳米管 (CNT) 与导电聚合物 PEDOT:PSS 构建三维高导电界面, 借以 Schiff 碱反应固定 OC 抗体。引入近红外响应型 MXene-PDA 异质结, 通过光热效应调控抗原-抗体结合动力学, 结合差分脉冲伏安 (DPV) 与红外热成像技术, 实现电化学-光热信号的双模态输出与交叉验证。理论分析表明, 该策略有望为 OC 等低丰度生物标志物的监测提供新思路。

D28-P03

Au/PEDOT 纳米线电化学传感器的构建及对猪肉中莱克多巴胺的高效检测

鲍明秋、黄昕宇、郝亚凯、陈慧津、岳瑞瑞*、徐景坤、段学民

江西科技师范大学

莱克多巴胺 (Ractopamine, RAC) 被非法用于猪饲料中, 以促进瘦肉产率, 严重危害人类健康 (特别是儿童的发育), 因此有必要对猪肉及其衍生产品中的 RAC 残留量进行快速和准确地检测。本文采用界面聚合法制备了金/聚 (3,4-乙烯二氧噻吩) 纳米线 (Au/PEDOT NWs), 以此修饰电极构建了 RAC 电化学传感器。相关物理表征证实了 Au/PEDOT NWs 的组成、结构和形貌。Au 纳米粒子均匀分散于 PEDOT NWs 的表面, 表现出高稳定性和优良的电催化性能。PEDOT 聚合链中丰富的 π - π 、 p - π 电子共轭结构增强了其载体效应, 改善了 Au 纳米粒子的电子结构, 优化了其电催化活性。检测实验表明, Au/PEDOT NWs 电化学传感器对于 RAC 的检测具有低检出限 (LOD, 1.67 μ M)、宽线性范围 (10 ~ 200 μ M) 和高灵敏度 (1.33 μ A μ M⁻¹ cm⁻²) 的优异性能。同时, 该平台对猪肉中 RAC 的检测回收率与高效液相色谱法相当。本工作将为食品安全现场检测提供技术支持, 促进电化学传感技术的广泛应用。

D28-P04

聚多巴胺负载 Pd 基催化剂高效电催化氧化乙二醇

陈慧津、张涣、黄昕宇、郝亚凯、鲍明秋、岳瑞瑞*、卢宝阳、徐景坤

江西科技师范大学

设计、开发高效、稳定且低成本的阳极催化剂对于推进直接乙二醇燃料电池 (DEGFCs) 技术至关重要。本研究采用原位聚合法成功合成了聚多巴胺 (PDA) 修饰的还原氧化石墨烯 (PDA-rGO), 以此负载钯纳米粒子 (Pd NPs), 制得 Pd/PDA-rGO 纳米复合催化剂。相关形貌和结构表征显示 Pd NPs 均匀分散于褶皱状 PDA-rGO 的表面。在此复合材料中, rGO 提供了优良的导电性和高比表面积, PDA 颗粒附着于 rGO 表面即防止了 rGO 二维片层的团聚, 进一步提高稳定性, 又强化了载体效应。PDA-rGO 复合材料作为 Pd NPs 的载体将有助于 Pd NPs 分散性、稳定性、电催化性的同步提升。电化学催化实验表明, 优化后的 Pd/PDA-rGO 在乙二醇氧化反应 (EGOR) 中表现出优越的催化活性 (3391.7 mA mg_{Pd}⁻¹/22.2 mA cm⁻²)、本征活性 (TOF 值为 4.6 s⁻¹) 和稳定性, 其质量活性比商业 Pd/C 高约 8 倍。本研究结果为开发高性能 DEGFCs 阳极电催化剂提供了新思路和理论支撑。

D28-P05

颗粒硼掺杂金刚石（BDD）三维曝气电化学反应系统的构建及其降解机制

葛镭恺、吴浩、魏秋平*

中南大学

电化学氧化是处理废水中有机污染物的有效方法。然而，传统的二维（2D）平板电极体系存在活性氧（ROS）产率低和传质受限等问题。本研究开发了一种基于颗粒硼掺杂金刚石（BDD）的三维曝气电化学反应体系，以有效降解高危有机废水。通过热丝化学气相沉积法，以 SiC 颗粒为基体制备了性能优异的颗粒 BDD 电极，构建了颗粒与平板 BDD 电极耦合的三维电化学反应器。进一步引入曝气技术（3D+Air 体系），显著提高了污染物孔雀石绿的降解速率并降低能耗。实验结果表明，3D+Air 系统对高浓度孔雀石绿（MG，100 mg L⁻¹）的反应速率比传统的二维系统高 3.63 倍，且电能消耗仅为后者的 8.4%。极化 G-BDD 电极参与了电化学反应，将有效反应区域从平板电极附近扩展到整个反应器；曝气引入充足的氧气，促进 G-BDD 电极上 O₂ 转化为 ROS（如 O^{2•-}、OH、¹O₂ 和 H₂O₂）。此外，堆叠 G-BDD 电极形成的窄通道通过促进极化 G-BDD 电极间隙之间的气液流动来增强传质，从而产生协同增强效应。因此，3D+Air 系统在降解各种污染物方面表现出了显著的可重复性、长期稳定性和多功能性，为先进废水处理提供了可持续的解决方案。

仅发表论文

D28-PO01

Research Progress of Expanded Graphite Composites

Qian Yu, Tianshu Sun*, Kan Kan, Dongqing He, Xiaochen Zhang

Institute for advanced technology of HAS

Expanded graphite (EG) is a new porous carbon-based material with well-developed pore structure and it has become a research hotspot in the field of materials due to their unique properties. EG/carbon material composites, EG/polymer composites, EG/metal compound composites, and other multi-component composites are currently popular varieties. EG composites can be applied in important fields such as energy storage and conversion, environmental water protection, construction engineering, and electronic information. In this paper, research of EG composite materials was reviewed. The varieties, preparation techniques, and application areas of widely used EG composites are primarily introduced in this study. Based on this, the problems that exist in the current research on EG composites and the main development trend of research on EG composites in preparation and applying is put forward.

D28-PO02

Activated carbon based SAC electrode and environmental catalysis

Lifen Liu, Weiyi Wang, Chen Wang, Bohai Li, Yan Li

School of chemical engineering, ocean and life science, Dalian University of Technology

Environmental catalytic processes involving efficient ORR(O₂ reduction reaction) and AOPs (Advanced Oxidation Processes), rely heavily on high activity and low cost catalysts. Electrodes with SAC (single atom catalyst) are promising for maintaining high efficiency of such electrocatalytic reactions. Activated carbon has been proved as adsorbent and supports of SAC, we further explored conditions for preparing SAC over AC, and demonstrated enhancement of the catalytic activity under optimized preparation and reaction condition.

(1) With AC adsorbed with Urea and heavy metal ions such as Ce, Co and/ or Ni, calcination produced a composite catalyst with features of SAC and gC₃N₄. The composites act as 3D electrode, CeCoNi/CN or

Co-Ce/CN/AC, can catalyze pollutant oxidation by activating PMS, or electrocatalytically forms H_2O_2 , with high activity ($1200 \mu\text{mol} / \text{g h}$) which synergetically enhanced reaction constants. This kind of adsorbent SAC catalyst, has been proved effective and successful in adsorption and regeneration when used in treating high salinity ($>16\%$) wastewater. This kind of SAC/CN/AC can be used as cathode in AOP or in MFC treating coking wastewater.

(2) With AC, adsorbed with heavy metal ions, and then immersed in sulfide solution, the recovered catalyst was found formed within AC, and it catalyzed pollutant oxidation under PMS in AOP. The formed CoS_2/AC can quickly degrade pollutant under low dosage of PMS.

(3) With Fe SAC/CN/AC, it also has high electrocatalytic H_2O_2 formation activity.

The prepared SAC/AC catalysts were characterized by XPS, XRD, TEM or HAAD-STEM and/or XAFS. The synergy of the metal elements and the semiconductor were confirmed. The mechanism in enhancing efficiency of AOPs is discussed.