

能源催化转化全国重点实验室工作简报

< 2026 年 06 月 >

能源催化转化全国重点实验室编

2026 年 06 月 30 日

研究进展

我室利用固体 NMR 技术揭示 In_2O_3 催化 CO_2 加氢的表面
活性位物种演化及温度构效关系..... 01

我室提出电化学溢流氧调控甲烷氧化偶联反应活性新策略..... 02

我室提出动态保护层界面策略实现高度可逆的锌负极..... 03

我室实现氮气与甲烷直接等离子体合成高值 C-N-O 化合物..... 05

我室揭示钴基析氧催化剂活性位动态生成机制..... 07

我室实现单颗粒光电催化剂水氧化反应原位动态纳米成像..... 09

我室揭示气-固范德华相互作用驱动金属纳米结构动态演化机制..... 11

我室基于原位 PEEM 揭示 SOEC 中电场与氧溢流耦合
驱动电极动态重构机制..... 12

新闻动态

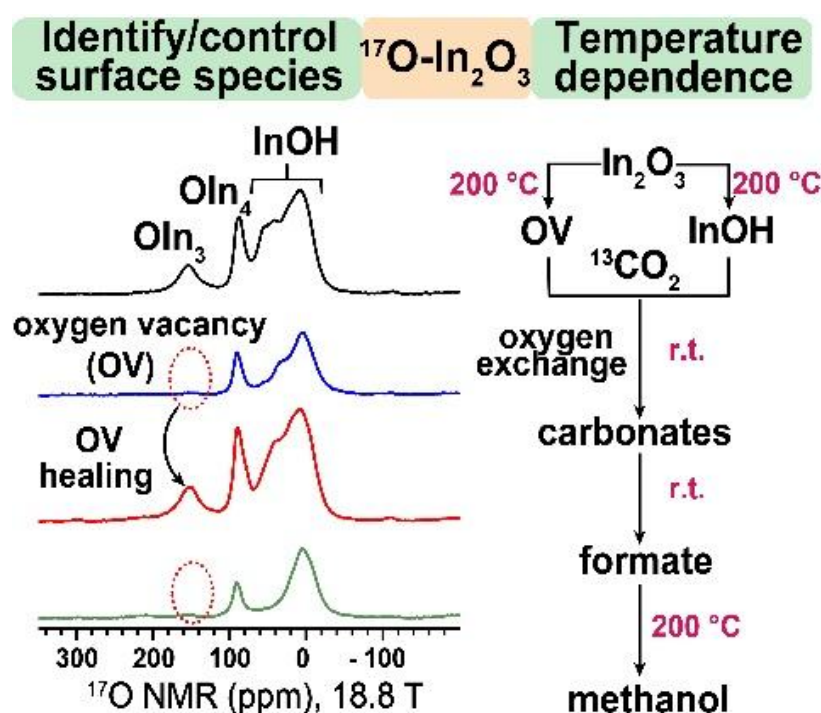
我所主办的《人工光合成》期刊编委会暨学术研讨会顺利举行..... 14

研究进展

我室利用固体 NMR 技术揭示 In_2O_3 催化 CO_2 加氢的表面活性位物种演化及温度构效关系

近日，我室纳米与界面催化研究中心固体核磁共振及前沿应用研究组（524 组）侯广进研究员、陈魁智研究员团队与天津大学刘昌俊教授、王召教授团队合作，在三氧化二铟（ In_2O_3 ）催化二氧化碳（ CO_2 ）加氢制甲醇反应机理研究方面取得新进展。

CO_2 催化加氢制甲醇是实现 CO_2 资源化利用的重要途径。 In_2O_3 因甲醇选择性高而备受关注，被视为极具潜力的 CO_2 加氢催化剂之一。然而，其表面真实活性位点的种类与功能，尤其是氧空位与表面羟基的协同作用，长期存在争议。主要原因在于传统表征手段难以直接区分不同表面氧物种。此外， In_2O_3 的催化温度通常较高（ 250°C 以上），其高温原因尚不明确。



针对活性位结构解析与温度响应构效关系的研究需求，研究团队发展了一种基于高效 ^{17}O 同位素富集与高场固体 NMR 结合的新策略，在 18.8 T 高场条件下实现了 In_2O_3 表面氧物种的高分辨识别。研究实现了对三类关键氧物种，即表面三配位氧（ OIn_3 ）、体相四配位氧（ OIn_4 ）、不同类型的表面羟基（ InOHs ）的高分辨识别与定量表征。其中，表面 OIn_3 被明确识别为氧空位形成的直接前驱体；变温实验进一步表明， OIn_3 转变至氧空位的温度在 200°C 以上。

在此基础上，团队结合 ^{17}O - In_2O_3 与 $^{13}\text{CO}_2/\text{H}_2$ 双同位素富集，追踪了 In_2O_3 表

面物种与 CO_2 活化、 H_2 活化等关键加氢步骤的构效关系，通过 ^{17}O NMR 直接观察到 CO_2 分子与 In_2O_3 的氧原子发生化学交换，并结合 ^{13}C NMR 证实几乎所有表面氧物种均（包括羟基）均参与 CO_2 吸附与活化。外原位反应表征揭示，在氧空位存在时，甲酸盐生成条件较为温和，室温下即大量生成，但进一步加氢生成甲醇/甲氧基需要较高温度（ $> 200^\circ\text{C}$ ）。

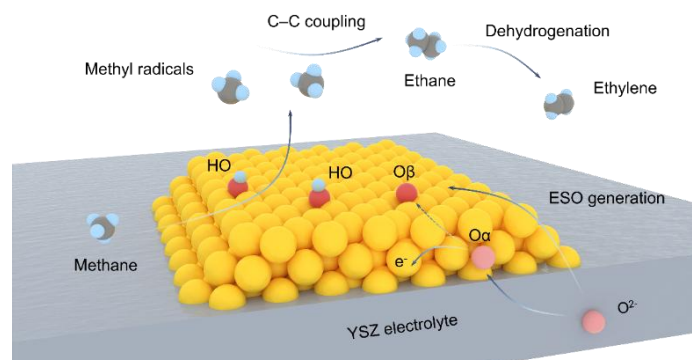
该工作明确了 In_2O_3 加氢制甲醇的两个关键制约温度——氧空位产生温度与甲酸盐制甲醇/甲氧基转化温度，有望为低温 In_2O_3 催化体系指明方向。同时，研究建立了一种可直接追踪氧空位生成、演化及反应行为的 ^{17}O 固体 NMR 新方法，为理解金属氧化物催化剂表面动态结构演化提供了新的实验手段。

相关研究成果以 "Hydrogenation of CO_2 to Methanol Catalyzed by In_2O_3 : Oxygen Vacancies, Surface Hydroxyl Groups and Temperature Dependence for Reactivity Revealed by ^{17}O NMR" 为题，发表在《德国应用化学》（*Angewandte Chemie International Edition*）上，并被选为 VIP（very important paper）文章。该文章第一作者为我室 524 组博士后陈虹余。该研究得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金、辽宁省兴辽英才计划、大连市高层次领军人才团队等项目的资助。（文/图 陈虹余、陈魁智）

文章链接：<https://doi.org/10.1002/anie.2883791>

我室提出电化学溢流氧调控甲烷氧化偶联反应活性新策略

近日，我室纳米与界面催化研究中心碳基资源电催化转化研究组（523 组）包信和院士、宋月锋副研究员团队联合复旦大学汪国雄教授团队、中国科学技术大学赵龙教授团队，在固体氧化物电解池（SOEC）阳极甲烷氧化偶联（OCM）研究中取得新进展。合作团队发现，金（Au）阳极表面电化学产生的溢流氧物种（ESO）能够精准调控甲烷（ CH_4 ）C-H 键活化路径，实现甲基自由基（ $\cdot\text{CH}_3$ ）选择性生成与气相偶联，为高温电化学甲烷转化提供了新思路。



电化学溢流氧是指在阳极极化作用下,从电解质溢流到催化剂表面的活性氧物种。它不仅是连接电解质离子传导与阳极表面催化反应的桥梁,更是调控高温电化学甲烷转化路径的关键。然而,ESO 的物理化学本质、电压驱动的动态演变规律及其在甲烷活化中的催化作用尚不清晰,是该领域长期存在的机理难题。

在本工作中,研究团队以 Au 为阳极模型催化剂,系统揭示了 ESO 物种在甲烷活化中的调控机制。团队通过同位素标记、原位拉曼光谱、原位 X 射线光电子能谱等手段,发现阳极极化驱动氧离子从电解质传输至 Au 表面,形成强吸附氧 ($O\alpha$) 和弱吸附氧 ($O\beta$) 两种活性物种。其中, $O\beta$ 负责甲烷的活化脱氢生成甲基自由基, $O\alpha$ 作为“氧储池”维持 $O\beta$ 的持续供给。DFT 计算与原位红外光谱进一步证实,ESO 降低了甲烷脱氢能垒,并促进甲基自由基从表面脱附进入气相。进一步,团队搭建了与 SOEC 反应器联用的原位同步辐射光电离质谱 (SR-PIMS) 系统,在电化学 OCM 反应中直接捕捉到气相甲基自由基 ($m/z=15$) 的信号,证实了“表面活化—气相偶联”的反应机制。在该机制下,甲基自由基在气相中偶联生成乙烷,部分乙烷脱氢生成乙烯,有效避免了甲烷过度氧化。

电化学测试表明,通过调节极化电压或电流密度,可连续改变 Au 表面溢流氧的覆盖度,从而灵活控制甲烷转化路径。低 ESO 覆盖度下有利于 C_2+ 选择性生成 (C_2+ 选择性最高约 84%, 乙烯选择性约 54%)。该研究从原子/分子层面阐明了电化学溢流氧的本质及其在甲烷活化中的动态催化作用,为 SOEC 阳极 OCM 催化剂设计与反应工程优化提供了理论依据。

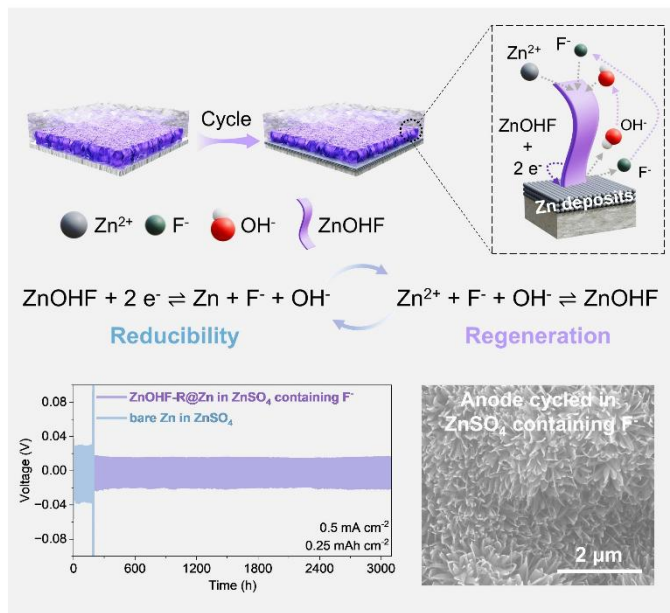
相关成果以“Electrochemical Spillover Oxygen Species on Au Surface for Methane Oxidative Coupling”为题,发表在《美国化学会志》(*Journal of the American Chemical Society*) 上。该工作共同第一作者是我室 523 组博士研究生郭宜阁、中国科学技术大学光电离质谱研究中心许鸣皋工程师。上述工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金、中国科学院 B 类先导专项“能源电催化的动态解析与智能设计”、辽宁省自然科学基金、我所创新基金等项目支持。(文/图 郭宜阁)

文章链接: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.6c05220>

我室提出动态保护层界面策略实现高度可逆的锌负极

近日,我室无机膜与催化新材料研究组(504 组)杨维慎研究员和朱凯月研究员团队提出了一种“动态导锌保护层”界面调控策略。该策略通过构建兼具溶液离子调控与界面保护功能的动态保护层,实现了锌离子的快速传输和均匀沉积,

同时降低了水活度,有效抑制了析氢和碱式锌盐副产物的生成,实现“一石三鸟”,为长寿命水系锌离子电池提供了新的设计思路。



水系锌离子电池因具有安全性高、成本低、环境友好等优势,被认为是极具应用潜力的新一代储能技术之一。然而,锌负极界面稳定性不足是制约其发展的关键瓶颈。在充放电过程中,不均匀的锌沉积会引发枝晶生长,甚至刺穿隔膜,造成电池短路。同时,活泼的锌金属易与水发生析氢反应,导致电池膨胀失效。此外,副产物的不断积累也会增大极化,加速电池性能的衰减。

针对上述挑战,团队提出了一种动态界面工程策略,在锌负极表面原位构建氢氧氟化锌(ZnOHF)保护层,并在电解液中引入氟离子(F⁻)。ZnOHF 具有较好的导电性和还原性,能够引导锌离子均匀成核与沉积,从源头阻断枝晶的生成。电解液中的 F⁻在循环过程中持续参与界面反应,不仅促进了 ZnOHF 保护层的动态再生,还能将有害副产物原位转化为有益的 ZnOHF,实现界面的自修复与自优化。同时,ZnOHF 界面层有效隔离了锌负极与电解液的直接接触,且 F⁻的加入也使电解液的 pH 值从 4.1 升至 5,进一步降低了水活度,抑制了析氢反应。

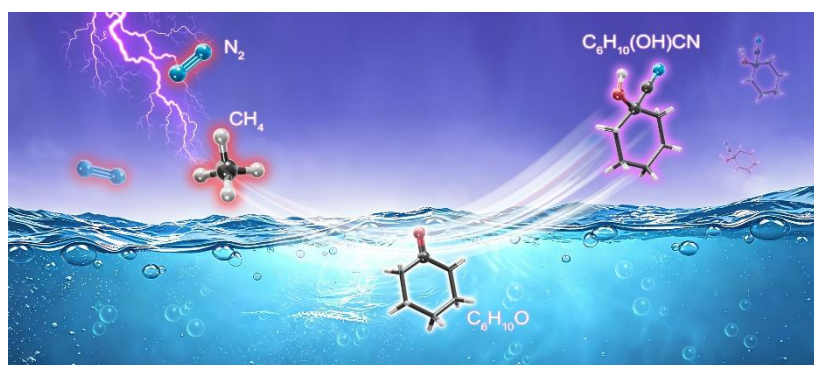
实验结果表明,动态 ZnOHF 保护层“赋予”了锌负极优异的循环稳定性。组装的对称电池在 0.5 mA cm⁻² 的电流密度下实现 3100 小时的稳定运行;在全电池中,即使在大电流密度(10 A g⁻¹)下循环 4000 次,电池容量保持率仍达 85%。研究团队进一步制备了 90 cm² 的软包电池,其初始容量为 240 mAh,200 次循环后依然保持 70% 的容量,展现出良好的实际应用潜力。

该研究提出了一种兼具界面保护、动态修复和副产物转化功能的界面调控策略,为高稳定性锌金属负极的设计提供了新思路,有望为开发长寿命、高安全性的实用化水系锌离子电池提供理论指导和技术支撑。

相关研究成果以“Dynamic Zn²⁺-Conductive Protective Layer for Durable Zinc Anode in Aqueous Zinc-Ion Batteries”为题，于近日发表在《先进材料》（*Advanced Materials*）上。该工作的第一作者是我室与中国科学技术大学联合培养博士研究生马嫚霞。上述工作得到了国家自然科学基金、辽宁省重点研发计划、辽宁省兴辽英才计划等项目的资助。（文/图 马嫚霞、朱凯月）

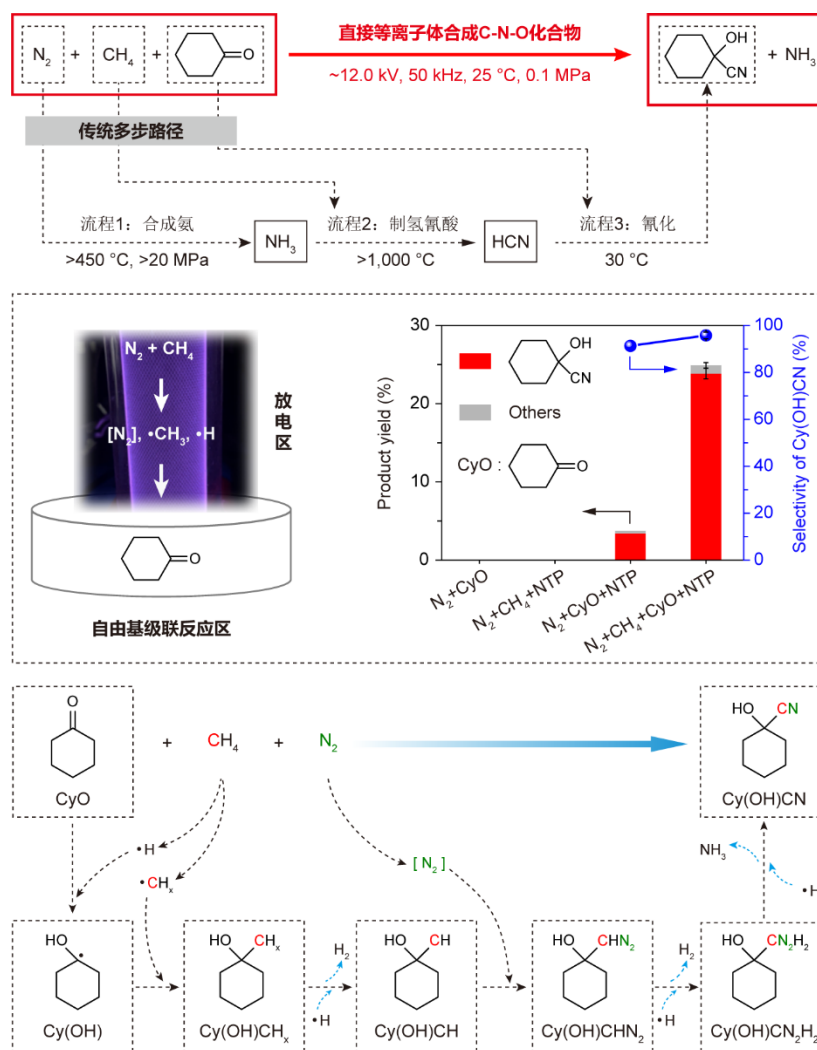
文章链接：<https://doi.org/10.1002/adma.73449>

我室实现氮气与甲烷直接等离子体合成高值 C-N-O 化合物



近日，我室能源与环境小分子催化研究中心（509 组群）邓德会研究员、于良研究员和黄瑞研究员团队在氮气（N₂）与甲烷（CH₄）直接合成高值 C-N-O 化合物领域取得新进展。团队设计了低温等离子体（NTP）驱动自由基级联反应系统，在室温（25 °C）、常压（0.1 MPa）的温和条件下，实现了 N₂、CH₄ 与环己酮直接合成高附加值氰醇化合物，并联产氨气（NH₃）。该过程避免了传统的高能耗、高碳排放及剧毒中间体问题，为短流程、绿色化、高选择性制备 C-N-O 化学品提供了新途径。

氰醇是同时含有醇羟基与氰基的多官能团化合物，广泛用于合成抗抑郁、抗病毒药物，也是工程塑料的重要工业原料。传统氰醇生产工艺通常需经历复杂的多步过程：Haber-Bosch 过程（450 °C、20 MPa）合成氨、Andrussow 过程（>1000 °C）将氨与 CH₄ 转化成氢氰酸、氢氰酸与酮反应制得氰醇。该路线流程长、能耗高、原子经济性差，且伴随较高碳排放。在温和条件下将 N₂ 和 CH₄ 共转化并偶合酮类底物一步法直接制备氰醇，是缩短流程、降本增效并规避剧毒氢氰酸使用的可持续发展路线，但面临 N₂ 和 CH₄ 均为惰性小分子，难以在温和条件下同时高效活化和转化，以及氰基生成及其与酮的选择性偶联不易控制等难题。



邓德会团队长期致力于能源与环境小分子的催化转化研究，前期在 N_2 和 CH_4 等惰性小分子催化转化方面取得了系列进展 ([Nat. Synth.](#), 2024; [Nat. Catal.](#), 2023; [Natl. Sci. Rev.](#), 2022; [Chem](#), 2026; [J. Am. Chem. Soc.](#), 2026; [J. Am. Chem. Soc.](#), 2025; [J. Am. Chem. Soc.](#), 2025; [J. Am. Chem. Soc.](#), 2024; [Nat. Commun.](#), 2025)。本工作针对上述挑战，提出了一条基于自由基级联反应机制的合成新路线：利用低温等离子体激发气相 N_2 和 CH_4 ，产生 N_2 激发态和甲基自由基 ($\cdot\text{CH}_3$)、氢自由基 ($\cdot\text{H}$) 等活性物种，进一步与环己酮底物直接反应，在室温常压下实现了多官能团环己酮氰醇的高效合成。环己酮氰醇的选择性达 95.8%，收率为 23.9%，生成速率为 0.60 mmol h^{-1} 。研究团队结合自主搭建的等离子体耦合原位分子束质谱等监测手段与理论计算，揭示了自由基级联反应机制：等离子体激发产生的活性 $\cdot\text{H}$ 与环己酮羰基反应生成环己醇自由基，随后与 $\cdot\text{CH}_3$ 发生 C-C 偶联；该中间体进一步脱氢形成的亚甲基自由基与激发态 N_2 发生 C-N 偶联，进而被 $\cdot\text{H}$ 加氢并断裂 $\text{N}\equiv\text{N}$ 断键，最终生成环己酮氰醇，并副产高附加值 NH_3 。该路线可拓展至其他酮类底物，实现氰醇类化合物的定制化

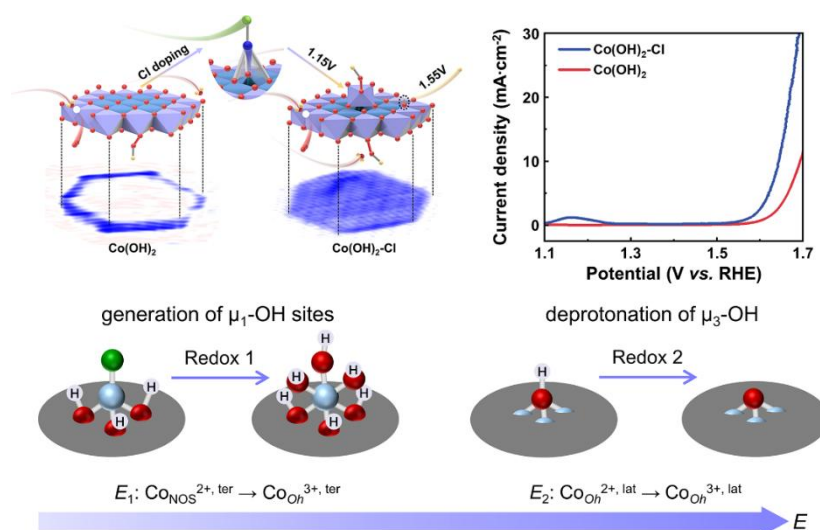
合成。该工作建立了一条直接利用 N_2 和 CH_4 一步高选择性合成氰醇类化合物的绿色反应新路径，为惰性小分子在温和条件下直接高效利用提供了新思路。

相关研究成果以“Direct plasma synthesis of a high-value C-N-O compound with inert N_2 and CH_4 ”为题，发表在《自然—合成》（*Nature Synthesis*）上。上述工作得到国家自然科学基金委“空气主份转化化学”卓越研究群体项目、国家重点研发计划、我室、我所创新基金等项目的资助。（文/图 张浩）

文章链接：<https://doi.org/10.1038/s44160-026-01055-y>

我室揭示钴基析氧催化剂活性位动态生成机制

近日，我室太阳能研究部（DNL16）李灿院士、范峰滔研究员、周潘旺研究员等在电解水析氧催化研究领域取得新进展。研究团队发展了原位原子力显微镜—扫描电化学显微镜（AFM-SECM）纳米成像方法，实时揭示了钴（Co）基（氧）氢氧化物催化剂在析氧反应（OER）过程中的动态结构重构行为，阐明了真实活性位的形成机制，并实现了催化剂活化过程中“活性位生成”与“晶格氧化调控”两类过程的功能解耦。



电解水 OER 动力学缓慢，是制约绿色制氢效率的因素之一。Co 基（氧）氢氧化物因资源丰富、性能良好而受到广泛关注，但其在反应过程中会发生复杂的结构重构和价态演化，真实活性位的形成机制仍不明确，尤其是 OER 前多个氧化还原过程在催化剂活化中的作用尚缺乏深入认识。

针对上述问题，研究团队构筑了具有氯（Cl）局域配位结构的氢氧化钴（ Co(OH)_2 ）模型催化剂，并利用自主发展的 AFM-SECM 联用平台，在纳米尺

度原位追踪催化剂结构演化、界面电荷传输和活性分布。研究发现，活化过程中 Cl⁻ 脱除诱导局域结构重构和电荷重新分布，驱动四面体 Co 位点向端位 Co-OH 活性结构转变。结合原位 X 射线吸收谱、原位 X 射线衍射和原位拉曼光谱等多种表征手段，研究人员进一步揭示了 Co 基催化剂的两阶段活化机制：在较低电位区间，催化剂发生由四面体 Co 向八面体 Co 的结构转变，并形成大量端位 Co-OH 活性结构；在更高电位区间，催化剂主要发生晶格深度氧化和电子结构调控。研究表明，第一阶段对应真实活性位的生成，是催化活性提升的决定因素；第二阶段则主要增强活性中心的氧化能力，对新增活性位贡献有限。该发现突破了传统上将催化活性提升简单归因于高价 Co 形成的认识。单颗粒尺度活性成像表明，该过程不仅激活催化剂边缘位点，还使活性扩展至原本惰性的基面区域。理论计算进一步证实，动态生成的端位 Co-OH 结构能够优化反应中间体的吸附与转化，降低反应能垒，是催化活性提升的本征来源。

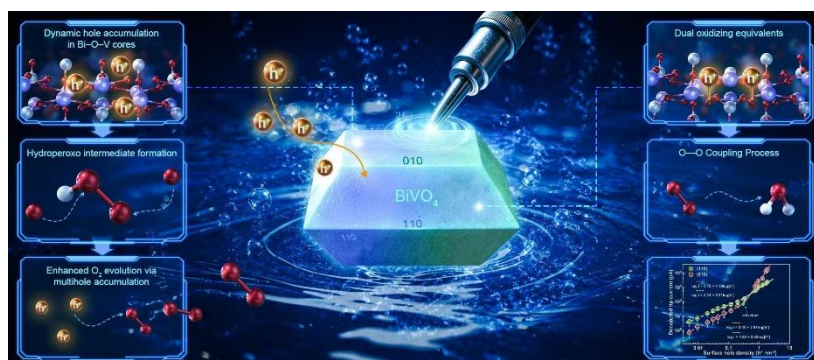
该工作从动态结构演化角度揭示了 Co 基析氧催化剂的真实活性来源，建立了活性位生成与电子结构调控之间的关联机制，为理解电催化反应中的动态重构过程提供了新思路，也为高效析氧催化材料的理性设计提供了理论指导。

该研究是团队构建光/电催化界面“全时空成像”研究体系的新突破。近年来，团队围绕光/电催化界面关键物理化学过程的原位表征持续开展研究，先后发展了 AFM-SECM 双通道纳米成像方法，实现催化活性与界面电荷传输行为的同步可视化表征 ([Angew. Chem. Int. Ed.](#), 2026)；建立了固—液界面固相电荷传输原位成像方法，实现了催化剂内部电子输运过程的空间分辨测量 ([Nature](#), 2022; [Nat. Protoc.](#), 2024)；发展了液相局域电势原位检测技术，实现了界面电势分布的纳米尺度解析 ([J. Am. Chem. Soc.](#), 2025; [J. Am. Chem. Soc.](#), 2025; [J. Am. Chem. Soc.](#), 2025)。本工作进一步实现了跨固—液界面结构重构与活性位生成过程的原位可视化，为构建涵盖固相电子输运、液相电势分布及界面反应动力学的光/电催化全时空成像体系奠定了基础。

相关研究成果以“Operando Imaging of Adsorbate-Charge Cooperative Reconstruction into Terminal Active Co-OH Sites”为题，于近日发表在《美国化学会志》(*Journal of the American Chemical Society*) 上。该工作的第一作者是我室 DNL1600 组群博士研究生孙福赛。上述研究工作得到国家自然科学基金、中国科学院 B 类先导专项“能源电催化的动态解析与智能设计”等项目的支持。(文/图 孙福赛、崔俊豪)

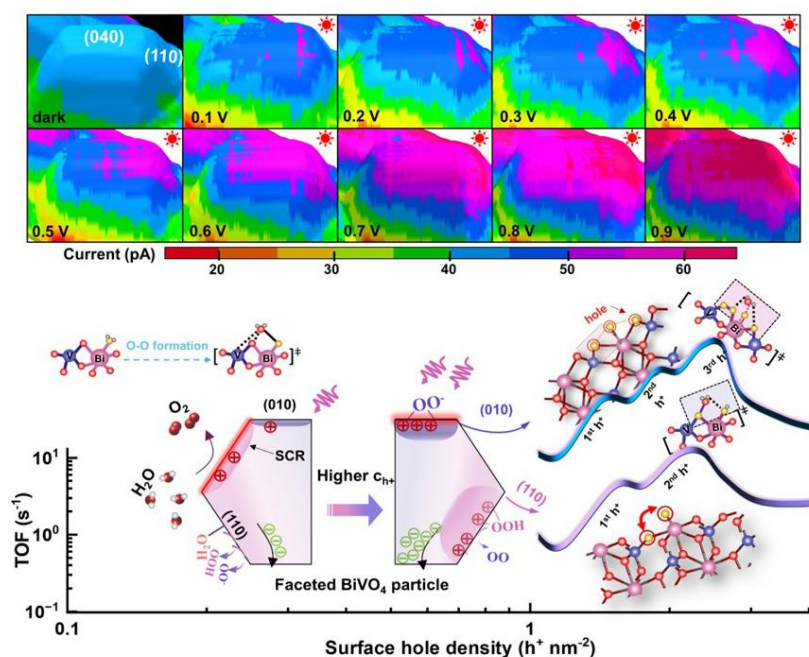
文章链接: <https://doi.org/10.1021/jacs.6c06054>

我室实现单颗粒光电催化剂水氧化反应原位动态纳米成像



近日，我室太阳能研究部（DNL16）李灿院士、范峰滔研究员等联合厦门大学李剑锋教授团队，在水氧化反应的电化学成像研究中取得新进展。研究团队利用自主研发的高空间分辨原位电化学成像技术，并结合原位谱学表征，发现水氧化反应并非由固定不变的静态活性位点简单主导，而是由表面电荷积累驱动活性中心发生动态结构适应，进而调控不同晶面的反应路径和动力学行为。该工作为突破太阳能光（电）催化反应的“瓶颈”提供了全新的机理认识。

太阳能光（电）催化水分解能够提供清洁可再生的太阳燃料，是科学研究中的“圣杯”式反应，受到全世界关注。其中，水氧化反应涉及多个电子和质子的协同转移，是制约整体效率提升的关键步骤。然而，该反应发生在复杂的固—液界面：光生电荷在催化剂表面积累、转移，并进一步驱动表面化学键的形成与断裂。长期以来，在真实反应环境中直接观察表面电荷、活性位点和反应中间物种之间的动态耦合关系存在困难，这也成为理解水氧化反应机制的主要障碍。



针对这一问题，研究团队发展了纳米空间分辨的原位电化学成像方法，在液相反应条件下对异质纳米催化剂表面的局域反应活性和动力学过程进行了可视化追踪。通过外球电子转移反应成像，研究人员实现了液相中催化剂表面电荷浓度的定量化“滴定”，为解析水氧化反应动力学提供了关键基础。

研究发现，水氧化反应并不是由固定不变的静态活性位点简单主导，而是由表面空穴浓度驱动的动态过程。当表面空穴密度较低时，催化剂的(110)和(010)晶面均处于单空穴转移限制的动力学区间，并稳定生成过氧羟基和过氧中间体；此时，(110)晶面表现出略高的本征活性。当表面空穴密度达到临界阈值后，反应机制发生显著转变：(010)晶面通过过氧中间体在 Bi-O-V 核心结构中实现动态空穴积累，催化活性迅速跃升，并表现出高阶动力学特征，其活性超过(110)晶面成为主导活性面。同时，(110)晶面则倾向于积累双氧化等价物，促进分子内 O-O 偶联过程。

该研究表明，高效水氧化反应依赖于多空穴协同积累机制。空穴不仅是反应所需的“电荷载体”，还参与调控催化剂表面结构，使活性中心在反应过程中发生动态适应。这一认识推动了水氧化催化机制从传统的“静态活性位点模型”转向“电荷介导的动态活性系统模型”，为下一代人工光合作用催化剂设计提供了新思路：不仅需要优化材料的静态结构，还应精准调控光生电荷与催化剂结构之间的动态耦合。

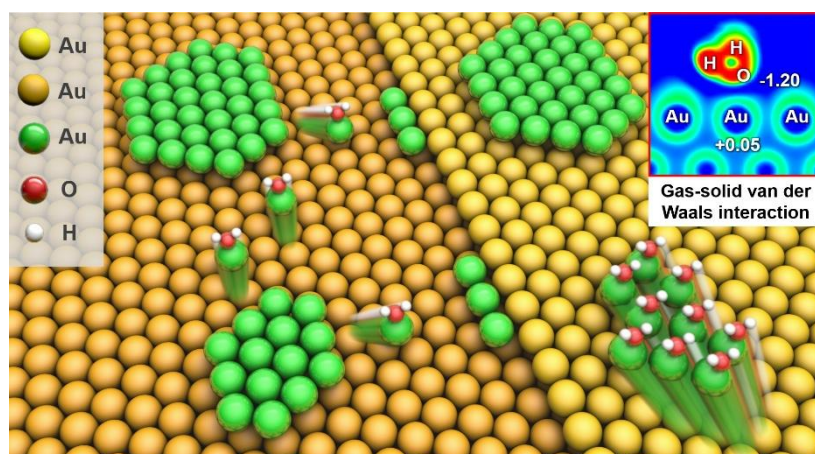
李灿、范峰滔团队围绕光催化体系中光生电荷分离与转移动力学这一核心科学问题，开展了长期而系统的全时空尺度表征研究：从晶面电荷分离 ([Nat. Commun.](#), 2013) 和异相结电荷分离 ([Acc. Chem. Res.](#), 2025) 等基础科学问题出发，自主研发了可直接表征催化剂表面光生电荷分布的表面光电压成像技术，先后实现了对晶面电荷分离 ([Angew. Chem. Int. Ed.](#), 2015)、相结 ([J. Phys. Chem. Lett.](#), 2017)、扩散过程 ([Nat. Energy](#), 2018)，以及铁电退极化场 ([Nat. Commun.](#), 2025) 等多尺度不同电荷分离驱动力的可视化表征，阐明了内建电场、浓度梯度和极化场等因素在空间上驱动电荷迁移的作用机制；进一步发展了时空分辨表面光电压技术，实现了光生电荷分离动力学在全时域范围内的追踪 ([Nature](#), 2022; [Nat. Protoc.](#), 2024)，发现了单颗粒光催化剂中多重复杂电荷转移机制和准弹道输运机制；在此基础上，揭示了光生电荷转移与催化反应位点精准耦合，从而实现高量子效率光催化完全分解水的微观机制 ([Nat. Commun.](#), 2026)。近期，该团队进一步实现了固—液界面表面光生电荷的直接成像，揭示了溶剂环境对电荷分离的重要影响 ([J. Am. Chem. Soc.](#), 2025, [J. Am. Chem. Soc.](#), 2025)。本次工作将成像对象从“电荷分离与转移”推进到“真实液相界面反应过程”，是团队构建人工光合作用全时空成像研究体系中的重要环节突破。

相关研究成果以“Spatial imaging of water oxidation on single-particle catalysts”为题，发表在《自然—纳米技术》（*Nature Nanotechnology*）上。该工作的第一作者为 DNL1600 组群博士毕业生聂伟。该工作得到国家自然科学基金、国家自然科学基金委“人工光合成”基础科学中心项目、国家重点研发计划、中国科学院稳定支持基础研究领域青年团队、中央高校基本科研业务费专项资金、新基石科学基金会科学探索奖等项目的资助。（文/图 聂伟、范峰滔）

文章链接：<https://doi.org/10.1038/s41565-026-02184-3>

我室揭示气—固范德华相互作用驱动金属纳米结构动态演化机制

近日，我室纳米与界面催化研究中心表面科学与界面催化研究组（521 组）傅强研究员、慕仁涛研究员团队与武汉大学顾向奎教授、中国科学技术大学李微雪教授合作，在气体分子诱导金属表面纳米结构动态演化研究中取得新进展。研究团队在原子尺度上证实，室温下气相水分子与金（Au）表面原子之间的气—固范德华相互作用，可驱动 Au 纳米岛发生迁移、融合和熟化，揭示了弱相互作用诱导金属结构动态演化的新机制。



气体分子与固体表面的相互作用是调控催化剂表界面结构及其反应性能的重要因素。长期以来，人们更多关注气体分子与固体表面之间的化学吸附及反应作用，而对于范德华作用等气—固弱相互作用在固体结构演化中的作用认识有限。

近年来，傅强团队围绕水分子调控表界面结构及演化开展了一系列研究：揭示了表面羟基化对金属氧化物表界面结构及催化性能的调控机制（*Angew. Chem. Int. Ed.*, 2024; *ACS Catal.*, 2024; *ACS Catal.*, 2025）；发现载体表面限域水层或羟基物种可促进表面活性物种的迁移和溢流（*Nat. Commun.*, 2024; *Nat.*

[Commun.](#), 2025)；证实了水分子对氧化物纳米结构的氧化与还原双重结构调变作用 ([Natl. Sci. Rev.](#), 2026)。上述研究表明，水分子不仅可以通过羟基化和质子转移等化学过程调控固体表界面结构，还可能通过弱相互作用影响固体表面的原子迁移及结构演化。

在本工作中，研究人员在 Au(111)表面构建了单层 Au 纳米岛模型结构，并结合高压扫描隧道显微镜 (HP-STM)、近常压 X 射线光电子能谱 (NAP-XPS) 和理论计算，对其在水气氛中的动态演化进行了原位观测和机制研究。研究发现，室温水气氛中 Au 纳米岛通过颗粒迁移与融合、Ostwald 熟化过程发生快速粗化。该研究深化了气体分子调控固体表面结构动态演变的认识，也为在温和条件下利用弱相互作用调控和构筑金属表面纳米结构提供了新途径。

相关研究成果以“Gas-Solid van der Waals Interaction Driving the Dynamic Evolution of Surface Nanostructures”为题，于近日发表在《美国化学会志》(*Journal of the American Chemical Society*) 上。该成果的共同第一作者为 521 组博士研究生刘昌平和程熙。该研究得到国家重点研发计划、国家自然科学基金、中国博士后科学基金、我所创新基金、能源催化转化全国重点实验室等项目的资助。(文/图 程熙)

文章链接: <https://doi.org/10.1021/jacs.5c22700>

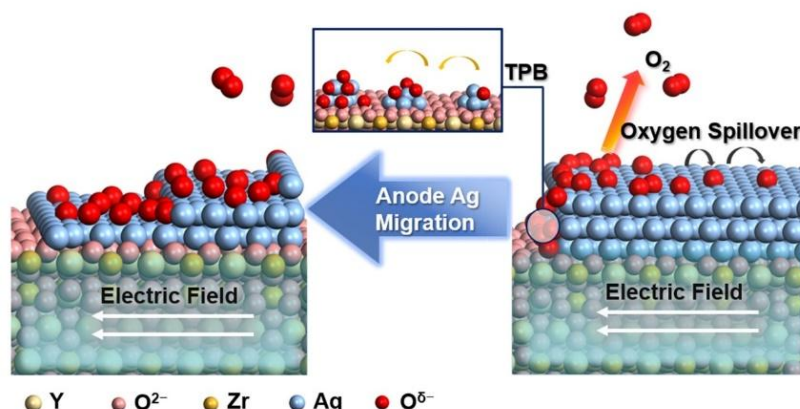
我室基于原位 PEEM 揭示 SOEC 中电场与氧溢流耦合驱动电极 动态重构机制

近日，我室纳米与界面催化研究中心表面科学与界面催化研究组 (521 组) 傅强研究员、宁艳晓副研究员团队利用自主研制的近常压光发射电子显微镜 (NAP-PEEM)，实现了固体氧化物电解池 (SOEC) 电极动态重构过程的原位可视化表征，揭示了电场与氧溢流 (oxygen spillover) 协同驱动电极迁移的作用机制。

SOEC 是一类在高温条件下实现电能与化学能高效转换的电化学器件。在其运行过程中，高温、电场、气氛等条件驱动电解质和电极的表界面处发生离子输运、氧溢流、电解质/电极动态重构，这些过程的实时动态表征面临挑战。

傅强团队长期致力于发展原位表界面表征方法和仪器，先后研制了深紫外激光光发射电子显微镜 (DUV-PEEM)、近常压光发射电子显微镜 (NAP-PEEM)、质谱—真空拉曼耦合装置 (TPD-Raman)、冷冻 X 射线光电子能谱 (Cryo-XPS)，

并将这些技术应用于能源催化研究中（*Rev. Sci. Instrum.*, 2020; *Natl. Sci. Rev.*, 2021; *Rev. Sci. Instrum.*, 2025; *J. Am. Chem. Soc.*, 2025; *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2025）。



在本工作中，团队利用自主研制的 NAP-PEEM 在高温、外场和气氛条件下表面过程动态成像的优势，结合微区 X 射线光电电子能谱（ μ -XPS）、原位质谱等技术，基于构建的平面型 Ag|Y₂O₃ 掺杂 ZrO₂ (YSZ) |Ag 模型电池，实现了阳极表界面化学态及结构演化的时空分辨关联。研究发现，在外加电压作用下，YSZ 和阳极的三相界面位点形成高活性氧物种并溢流到 Ag 电极表面。同时，局部电场与氧溢流形成协同增强效应，共同驱动 Ag 电极发生定向迁移。空间电场分布决定了 Ag 迁移的方向性，而氧溢流则控制最终迁移程度。该工作实现了 SOEC 工作条件下电极动态重构行为的原位时空可视化，为理解高温电化学体系中的重要表界面过程提供了研究方法。

相关研究成果以“Electric Field and Oxygen Spillover Coupling Governs Electrode Migration in Solid Oxide Electrolysis Cells”为题，于近日发表在《美国化学会志》（*Journal of the American Chemical Society*）上。该工作的第一作者为 521 组博士研究生裴晋徽。上述工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金、中国科学院 B 类先导专项“能源电催化的动态解析与智能设计”等项目支持。（文/图 裴晋徽、宁艳晓）

文章链接：<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jacs.6c07436>

新闻动态

我所主办的《人工光合成》期刊编委会暨学术研讨会顺利举行

5月29日至31日，由我所主办的《人工光合成》(*Artificial Photosynthesis*)期刊编委会暨首届人工光合成国际研讨会(The 1st International Symposium on Artificial Photosynthesis)在成都举行。本次会议由我室李灿院士担任主席，我所与电子科技大学、西湖大学、美国化学会联合主办，以“人工光合成：面向可持续燃料与化学品的跨学科创新”为主题，重点聚焦太阳能高效转化和绿色燃料与化学品制备的前沿方向，旨在搭建一个高水平国际交流平台，促进国内外学者分享最新成果、碰撞学术思想、推动国际合作。

会议吸引了来自英国、日本、韩国、西班牙、法国、德国、新加坡等国家的人工光合成领域100余位学者参会。会议邀请了日本东京大学/信州大学 Kazunari Domen 教授、英国剑桥大学 Erwin Reisner 教授、韩国蔚山国立科学技术院 Jae Sung Lee 教授、西湖大学孙立成院士作大会特邀报告；英国纽卡斯尔大学 Elizabeth Gibson 教授、法国索邦大学 Marc Robert 教授、西班牙加泰罗尼亚化学研究所 Antoni Llobet 教授、德国埃尔朗根—纽伦堡大学 Dirk M. Guldi 教授等作大会主旨报告。与会学者围绕该领域前沿科学问题、关键材料体系及未来发展方向进行了深入交流。会议还设置了邀请报告、专题交流和墙报展示等环节。会议学术氛围活跃，得到了国内外同行的广泛认同。



《人工光合成》(*Artificial Photosynthesis*)期刊于2024年在美国化学会(ACS)出版社创刊，由李灿担任创刊主编，孙立成、美国西北大学 Michael Wasielewski 教授、瑞典乌普萨拉大学 Leif Hammarström 教授担任副主编。期刊致力于发表太阳能人工光合成领域的原创性、突破性研究成果，坚持科学家办刊、国际化办刊，推动学科交叉融合发展，为解决人类面临的能源危机、气候危机及生态环境问题和可持续发展问题作出贡献。(文/图 李仁贵)
