

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

FB01-青年托举材料论坛暨第三期青托党校

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



FB01. 青年托举材料论坛暨第三期青托党校

分会主席：李阳、陈亚楠、程瑞清

B01. 青年托举材料论坛暨第三期青托党校**FB01-01****钙钛矿量子点的合成及光伏应用**

袁建宇

苏州大学 功能纳米与软物质研究院

发现和合成量子点”被授予 2023 年诺贝尔化学奖。半导体量子点,作为一种新兴的光电转换功能材料,具有高载流子迁移率、量子限域效应以及与实际高通量生产高度兼容的加工工艺的独特优势,为发展低成本高性能光电应用提供了新的实验路径。量子点的本征结构、固相微观结构、材料有序度对其宏观光电性能有着巨大影响,但是这些关键科学问题还未被深入研究。2017 年以来,我们课题组在新型铅卤钙钛矿量子点材料的设计合成、表面化学环境调控以及光电器件应用开发方面开展了系统的研究,设计了化学组分和表面配体灵活可调的铅卤量子点材料,明确其本征化学和表面微观结构特性;通过发展可控液相和固相的调控策略,实现三维高度有序的量子点光电薄膜材料的可控制备,取得~20%的世界领先的能量转换效率,同时初步探索了基于高通量加工的大面积量子点光电器件制备工艺;进一步我们期望研究从量子点到体相薄膜的转变,制备高效高稳定电池提供新的实验路径,为推动新型纳米光电材料及应用做出了有益的探索。

FB01-02**新型二维信息存储材料及器件**

程瑞清

武汉大学

随着半导体技术的持续发展,现有电子信息器件的工艺尺寸和性能已接近硅基材料的物理极限。在后摩尔时代,开发以新材料、新结构和新原理为主要特征的新型电子器件技术显得尤为关键。二维电子材料凭借其独特的结构、新奇的光电性能以及丰富的材料种类,近年来正成为国际学术界和产业界广泛关注的前沿热点,被认为是下一代高密度集成电路的重要候选材料。报告主要包括以下两个方面:(1)利用二维电子材料及其异质结的独特物性构建出多种信息存储器件,并开发出多种具有本征阻变行为的超薄二维铜硫族化合物,可满足低功耗应用需求,并演示了它们在图像增强中的应用;(2)碘化铬等二维磁体的出现开创了二维材料研究的新时代,然而其种类相当有限,且大多具有远低于室温的居里温度和较差的环境稳定性,极大地限制了它们的实际应用。我们近期开发出多种具有室温以上居里温度的二维铁磁体,并揭示了它们的磁畴演变规律,为在二维尺度理解和调控磁相关性质提供了理想平台。

FB01-03**半导体功能纤维及织物电子应用**

王刚*

东华大学

半导体聚合物的迅猛发展,催生出融合电子功能的纤维和纺织品,在脑机接口、健康监测、便携式计算等领域具有巨大潜力,尤其在可穿戴与可植入领域备受关注。一个关键的科学挑战在于如何从高维半导体中制备一维纤维状半导体器件,同时保持原有的半导体特性。主要内容包括:(1)提出了“微流体剪切场诱导半导体纤维形成”的新颖设计理念,通过精确的微流体控制来精细调节纺丝过程中的组分、界面和取向。(2)改进了光刻技术,将精确的图形转移到光纤表面,从而制备出高性能的电路,如纤维状二极管和晶体管。(3)开发了半导体纤维集成的“光刻-编织”和“拓扑-编织”策略,并探索了其在虚拟现实拓扑力触觉纺织品和智能保健服装中的实际应用。

FB01-04**低维材料与器件**

张茜

中山大学

二维材料因其具备超薄厚度、原子级平整表面、硅基工艺兼容等特性，在电子/光电器件、能源催化、传感等方面展现出明显优势。层间范德华间隙的利用不仅可以进一步调控二维材料的结构和性质，还可能带来意想不到的新性质和新应用。液相插层法可在原子尺度上实现对材料电子结构和本征物理性质的调控，提高材料的载流子浓度、迁移率、磁学、光学等物理性质。本报告将介绍我们在二维材料液相插层方面取得的系列进展：包括高稳定性层内-层间液相插层策略、液相插层材料在电子器件中的应用、手性插层超晶格制备与应用等。相关研究有望为二维材料的器件构筑以及规模化生产提供技术与实验指导，展示了由智能、高效和定制化的二维材料驱动的新时代正在到来。

FB01-05**智能有机忆阻材料及神经形态感知器件**

张程、李阳*

苏州科技大学

在人工神经系统与类脑器件的研究中，忆阻器阵列有望模拟人类大脑中突触和神经元的调节机制，实现感知功能、记忆存储和多模态可塑性相结合的感存算一体的关键目标。尤其，智能有机忆阻材料具有出色的本征柔性、可设计性、光电响应特性，在感存算一体研究领域展示了巨大的发展潜力。在此，从智能有机材料设计角度出发，首次合成出一种对称大共轭双核萘二酰亚胺（bis-NDI）量子导电丝捕获剂。该材料不仅具备多重氧化还原活性中心，还能够在薄膜内部精准排列成“Zig-Zag”型长程层状取向纳米通道。基于电化学金属量子化的导电机理，所制备成的忆阻器能够通过重组层状活性捕捉位点，从分子层面上可控地操纵量子金属丝的生长，以实现神经突触和存储运算功能的可控 A-t-D 转换。其中，突触型器件表现出 $90 \text{ aJ } \mu\text{m}^{-2}$ 的超低功耗，而存储器件则能够在 50 mV 超低工作电压下运行，并且产率高达 98%，性能远优于近年来报道的有机神经形态器件。此外，通过算法优化提出脉冲神经网络（SNNs）的剪枝反馈策略，可以有效减少神经元的数量（最大减少比例 92%），从而在保持较高识别率（> 90%）的同时实现超低的系统级能耗。利用材料-器件-算法的协同设计能够实现超低功耗的感存算一体的神经形态器件提供了新的可能。

B01-06**全层/预血管化工程皮肤的 3D 制造方法与再生应用研究**

李梦

太原理工大学

组织工程皮肤是依托组织工程技术和微纳制造技术，结合自体细胞和生物材料，体外构建具有天然皮肤生物特性和功能的皮肤组织。组织工程皮肤可广泛用于高通量药物和化妆品测试，同时也可用于治疗传统方法难以治愈的皮肤疾病。目前已有大量构建组织工程皮肤的相关研究，然而，与天然皮肤相比，工程皮肤的复杂性和功能性仍有很大差距。本研究针对 3D 打印组织工程皮肤中遇到的生物墨水制备、仿生结构重建、血管生成诱导不足等关键问题，重点研究了墨水交联机制、生长因子负载以及 3D 打印工艺，构建了具有良好细胞相容性及微血管生成功能的组织工程皮肤。通过对墨水材料性能、细胞生物学分析及打印工艺优化，从基础模型制造、血管功能构建、复杂结构模拟三个方面开展了相关研究，验证了其在皮肤组织修复与再生中的应用。

FB01-07

有机亚晶格键合机制调控实现高效钙钛矿光伏

邢直、陈义旺*

赣南师范大学

作为新型光伏技术的主力军之一，钙钛矿太阳能电池（PSCs）具有光谱响应范围在可见-近红外波段灵活可调，光吸收能力强且具备良好的弱光吸收效应，兼容湿法加工等特点，使得其在柔性光电器件、移动可穿戴设备等领域具有广泛的应用前景。尽管 PSCs 在器件效率方面能够媲美传统硅基光伏，但是在长期运行条件下固有的不稳定性仍然是其商业化的严峻挑战。通过引入大型间隔阳离子构筑低维钙钛矿结构，可以有效提高晶体材料的综合稳定性，而在这一过程中会自发形成的不规则取向、不同宽度的量子阱结构，导致过高的激子束缚能和能量损失，限制了器件的性能的提升。大型间隔阳离子种类的开发和调控晶体生长为研究和优化高效低维 PSCs 的载流子传输特性提供了机遇。然而，绝大多数的优化策略都是在旋涂工艺中得到验证的，由于薄膜形成过程的差异性，现阶段基于印刷工艺对大面积低维 PSCs 的进一步研究仍然难以实现。我们针对低维钙钛矿晶体的结晶规律性不明确，薄膜均质性差且难以兼容印刷工艺的问题开展研究。聚焦大型间隔阳离子参与形成量子阱结构的键合作用机制，通过探索分子构型差异、胶体自组装行为以及修复空气印刷中湿度引起的界面降解，实现高效、稳定和高重现性的低维钙钛矿光伏器件及其模组化制备。

FB01-08

基于低维氧化镓日盲探测器的性能优化和功能拓展研究

仲玮恒、刘为振*

东北师范大学

低维宽禁带半导体材料具有稳定性高、光响应强、响应速度快等优势，是构筑高性能光电探测器和多功能光电探测阵列的基础材料。当前工作针对低维宽禁带半导体材料在光探测领域的发展仍面临诸如器件关键性能指标难以同时优化、探测信号单一等瓶颈问题，开展了低维 Ga_2O_3 基光电探测器的性能优化及功能拓展研究：(1) 开发了紫外曝光液态金属镓制备二维非晶 Ga_2O_3 薄膜的新工艺，研制了具有 120 dB 宽线性动态范围的低维 Ga_2O_3 日盲探测器单元，制备出具有日盲光源轨迹识别能力的探测器阵列，实现了对于日盲辐照功率的准确探测和光源运动轨迹的有效识别【Nano Lett. 2024, 24(43), 13769-13774 (Cover Art)】；(2) 首次提出液态金属辅助剥离制备低维 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 单晶薄膜的新方法，利用 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 的高本征各向异性，实现了对日盲波段线偏振光的清晰检测，构筑了四层扭转堆叠探测结构，显著提升了日盲偏振成像的清晰度【Appl. Phys. Rev. 2025, 12(1), 011420 (Featured Article)】。相关成果为低维镓基宽禁带半导体在未来集成电路领域的应用提供了技术借鉴和理论参考。

墙报

FB01-P01

多氟材料与氟碳溶剂协同作用及其光伏应用

何智龙、李思源、郝哲、钟洪亮*

上海交通大学

有机太阳能电池具有轻薄、柔性、可大面积溶液加工等优势，是新一代的绿色能源技术。为了提高有机光伏器件的性能，发展新的光伏材料和器件工程至关重要。氟原子的电负性最强，原子半径较小，是一种具有独特性质的元素，被广泛用于功能分子的构筑。通过将氟原子引入到材料的特定位置，利用氟的吸

电子能力和非共价作用力，显著地调节了材料分子的电子结构和空间构象，从而影响材料的光伏性能。同时，多氟取代的分子具有憎水憎油的特性，氟碳溶剂能够形成有机相和水相之外的第三相“氟相”。利用氟相与有机相温度依赖的互溶特性，将氟碳溶剂作为热导率更高的介质可以为光伏材料薄膜提供快速和均一的热量传递，选择性地加速了材料分子的重组运动。我们设计了新型支化含氟结构，并将其修饰到聚合物的侧链以制备多氟聚合物 PF7。实验结果显示，通过含氟结构侧链修饰，聚合物的分子堆积更强，结晶性提高，且与受体更容易形成双连续纤维网络。进一步利用含氟有机材料与含氟溶剂相似相溶的特性，进一步开发氟碳溶剂蒸汽退火（FSVA），选择性促进含氟分子重新排布。通过 PF7 和 FSVA 的协同作用，有机光伏器件在光伏效率、分子量不敏感、厚膜器件、绿色溶剂加工、受体可耐性等方面均展现出优异的性质，而且“双氟协同”策略也在不同的材料组合和器件结构中证明了其普适性。

FB01-P02

基于动态无序锂亚晶格的超离子导体设计

官朝红*

上海交通大学

The design of superionic conductors has been largely focused on static structural features, with the dynamic ion transport mechanism less explored. Here, we demonstrate a paradigm that harnesses the polyanion rotations to trigger the dynamically disordered Li sublattice as well as the liquid-like cation diffusion for superior ionic conductivity in crystals. A novel descriptor called rotation tolerance factor (RTF) was proposed as a predictive metric for identifying the potential fast-rotating anion clusters with the low mass and reduced valence charge for given structural frameworks. Guided by RTF, halides with rotational polyanions, namely $\text{Li}_2\text{Y}(\text{SH})_6$, $\text{Li}_3\text{Y}(\text{NH}_2)_6$, $\text{Li}_2\text{Zr}(\text{NH}_2)_6$ and an oxide ($\text{Li}_{6.5}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{11.5}(\text{NH}_2)_{0.5}$) have been designed with synergistic anion rotation and Li^+ sublattice disorder, which lead to great enhancement of Li ionic conductivities at room temperature compared to the counterparts without polyanions. The experimentally synthesized NH_2^- incorporated $\text{Li}_2\text{ZrCl}_{5.5}(\text{NH}_2)_{0.5}$ demonstrates a four folder higher conductivity over Li_2ZrCl_6 , enabling all-solid-state Li-In|LCO and Li-In|NCM cells with 96.5% and 97.4% capacity retention after 190 cycles at 1C, respectively. This work provides a new insight that anion rotation could promote the dynamically disordered lithium sublattice distribution as well as the ionic conductivity.

FB01-P03

基于去偏振动态光散射的微流变方法及其在软物质研究中的应用

薛炳辉、殷盼超*

华南理工大学

我们提出了一种新开发的基于去偏振动态光散射（DDLS）和各向异性示踪粒子的微流变方法。由于其高精度，宽频率范围，以及去偏振带来的对基质信号的屏蔽，该方法适用于广泛的领域。我们演示了该方法在各种体系上的使用，遍历体系如聚合物溶液、二氧化硅悬浮液等；非遍历体系如水凝胶等，以及血浆等生物流体。同时探讨了影响微流变结果的关键因素，如示踪粒子尺寸和散射角度的组合，以及这些参数的选择标准。我们开发的这种方法是一种快速、方便、准确的流变技术，可以帮助理解控制软物质体系的动力学特征。

接下来，我们将该方法应用在杂化凝聚物的动力学研究上。凝聚现象指带相反电荷的聚电解质在一定的盐浓度下发生液液相分离现象，其中浓厚的一相也被称为凝聚相。这一现象普遍存在于生物体中，如无膜细胞器等，被认为与多种疾病（阿尔兹海默症）以及生命的起源息息相关。为了拓宽凝聚物的应用范围，人们将功能性带电颗粒引入，构筑了基于聚电解质与带电颗粒的杂化凝聚相。

我们发现基于 PEG（聚乙二醇）和偏钨酸铵（ $\{\text{W}_{12}\}$ ）的杂化凝聚物展现出独特的盐致硬化现象。通过上述开发的微流变方法，结合小角 X 光/中子散射技术，我们首次证明了杂化凝聚物的松弛行为遵循 sticky

reptation 动力学模式，而锂离子与聚合物的结合则导致了盐致硬化。同时，这种杂化凝聚层表现出优异的离子电导率 ($\sim 0.03 \text{ S/cm}$)，我们使用 fractional Walden rule 证明了离子传导的超离子性质。根据核磁测试，凝聚物内的水分子表现出受阻的扩散动力学，这有助于拓展电化学窗口 ($> 2 \text{ V}$)，证明了其作为水系电解质的潜在应用。

FB01-P04

高比容量、高安全性和高低温保持率的快充型磷负极

张少杰、孙洁*

天津大学

随着电动汽车和电子器件的快速发展，全温域可工作的快充型高能量密度电池研发成为全球关注的焦点。然而，现有锂离子电池的石墨负极难以满足动力电池对快充和高能量密度的要求。磷负极具有高的理论比容量 (2596 mAh g^{-1}) 和适中的锂化电位 ($\sim 0.7 \text{ V vs. Li}^+/\text{Li}$)，被看作是极具应用潜力的快充型动力电池负极材料之一。

针对快充型磷负极材料的生产安全、动力学瓶颈与结构失效机制，系统研究了磷负极的规模化安全制备、快充动力学及构失效方面的核心问题，提出了“边缘碳”^[1]、“蓄锂池”^[2]、“自修复与促脱锂协同催化”^[3]等策略，理论计算与实验共同揭示了磷负极的气相聚合催化机制、体相反应动力学特性、循环失效及催化机理，构建了功能化复合材料体系显著提升了磷负极的生产安全性、快充能力、循环寿命及全温域适应性，主要创新成果如下。

1. 针对气相蒸发-转化法生产磷碳复合材料过程中存在有毒易燃白磷 (P_4) 转化率低的挑战，基于密度泛函理论在原子层面系统地研究了碳载体表面不同官能团与 P_4 分子之间的相互作用，阐明了碳载体边缘位点对 P_4 分子的锚定与催化转化机制，并开发 KOH 活化法制备富含边缘碳的多孔碳作为红磷载体，通过气相蒸发-转化法实现红磷纳米化 (15.68 nm) 与高载量 ($49.4 \text{ wt\%}$) 复合。实验证实，边缘碳位点通过形成 P-C 键可促进 P_4 分子开环聚合，将白磷转化率接近 100%，有效解决了传统工艺中白磷残留的安全隐患，作为锂离子电池负极展现出了良好的长循环稳定性和快充性能。

2. 针对快充工况下磷负极体相反应不均匀的问题，首次提出“蓄锂池”策略，并建立了“蓄锂池”功能材料的筛选原则，选取铋纳米粒子作为磷负极动态锂浓度调节剂，发挥其优先磷发生嵌/脱锂反应，且反应动力学优于磷的特性，有效缓解局部锂浓度梯度，显著降低体积膨胀率和电压迟滞，在 5.2 C 快充下循环 300 次后容量保持率达 86.3%，可逆比容量达 $1515.5 \text{ mAh g}^{-1}$ 。

3. 针对磷负极脱锂反应动力学缓慢和局部破裂严重等问题。率先揭示了磷负极的脱锂反应比锂化反应需要更高的反应能垒，限制高倍率性能的问题。并创新性地提出液态金属协同催化-自愈合策略。液态金属可催化 Li-P 键断裂，降低脱锂活化能，加速多相反应动力学，从而实现活性物质的高效利用；其低冷冻温度、低杨氏模量、高电子电导率和高流动性的特性可在宽温域下动态修复失活导电网络，激活“死磷和磷化锂”，并吸附可溶性多磷化物，促进磷负极多相转变。实现了快充 (4 C)、长循环 (3000 圈) 和宽温域 ($-20 \sim 50^\circ\text{C}$) 性能突破。

从理论设计到材料构筑，为高能量密度、高安全性快充电池的开发提供了创新解决方案，相关策略对宽温域长寿命合金型负极的研发具有普适意义，为磷基负极在动力电池领域的产业化应用提供了理论和技术基础。

参考文献

[1] Zhang S, Liu C, Wang H, Wang H, Sun J, Zhang Y, Han X, Cao Y, Liu S, Sun J*. A covalent P-C bond stabilizes red phosphorus in an engineered carbon host for high-performance lithium-ion battery anodes. *ACS Nano*. 2021, 15(2): 3365.

[2] Zhang S, Zhang Y, Zhang Z, Wang H, Cao Y, Zhang B, Liu X, Mao C, Han X, Gong H, Yang Z, Sun J*. Bi works as a Li reservoir for promoting the fast-charging performance of phosphorus anode for Li-ion batteries. *Advanced Energy Materials*, 2022, 12(19): 2103888.

[3] Zhang S, Wan Y, Cao Y, Zhang Y, Gong H, Liang X, Zhang B, Wang X, Fang S, Wang J, Li W*, Sun J*. Delithiation-accelerating and self-healing strategies realizes high-capacity and high-rate black phosphorus anode in wide temperature range. *eScience*, 2025, 5(2): 100328.

FB01-P05

快速焦耳加热构建高效稳定合金电催化剂实现安培级电解水制氢

赵展、孟祥超*

中国海洋大学

发展氢能经济是我国面向可再生零碳能源结构转型，也是实现“碳达峰、碳中和”目标的必由之路。电解水/海水被广泛认为是非常有前景的绿色制氢路线，其原料是资源丰富水，产物是氢气和氧气，不会对环境造成二次污染，为可持续制氢提供了可能。因此探究高活性、低成本的析氢/氧反应（HER/OER）电极成为了热门的研究方向。目前，不同种类的功能纳米材料已经被发展用于电解水制氢领域，包括：二元合金（RuMo, PtFe）、多元层状材料（NiFe-LDH, CoFe-LDH）、异质结（NiO/MoO₂）等。通常这些材料能够通过不同的方法制备，包括固相、溶胶-凝胶、共沉淀、燃烧和喷雾干燥等，需要相应的热处理去得到良好的晶型结构，并促使金属原子与基体之间成键增强其稳定性。然而传统的加热方式会经历缓慢的升温过程，涉及复杂多步骤反应过程和迟缓的反应动力学，从而导致反应过程能耗高，时间长。并且，过长的热处理时间也会促使原子聚集形成纳米粒子，导致纳米材料制备过程中的表面氧化、团聚和不混溶，进而影响催化剂反应活性。

基于此，我们提出了快速自加热策略（焦耳加热）以实现高加热速率（~1000 K/s）、高烧结温度、高冷却速率（~1000 K/s）的反应过程，从而合成高活性、高稳定性的 Mo 基电催化剂。利用该快速加热的新方法，我们实现了 RuMo 纳米合金（~3 nm）在 MoO_x 表面的原位合成。通过焦耳加热策略引入 Ru 元素后，催化剂空位形成能（9.36 eV）以及 Mo-o*反键能级能够得到有效的增加和提高，从而抑制了 Mo 元素的溶解，提升催化剂的稳定性（2000 h @ 1A cm⁻²）。同时，借助于 RuMo 纳米合金引入的不对称电场，能够有效调控界面水网络（氢键:35~30;键长 2.37 Å~2.39 Å），促使快速的 OH 转移动力学，进而在电解水制氢方面表现出优异性能（256 mV @ 2A cm⁻²）。同时，我们利用焦耳热快速加热合成了一系列耐腐蚀 Mo 基氧化物用于海水氧化，并利用阳极电位下的原位重构反应促使催化剂转化为羟基氧化物，进行功能化调控，增强对氯离子的排斥作用，进而使催化剂在含有高浓度氯化钠/海水的碱性电解液中保持了优异的活性（<400 mV @ 1 A cm⁻²）和稳定性。最后我们将以上材料应用于 AEM 电堆测试，进而将光伏与电催化裂解海水制氢相结合，实现太阳能向氢能的高效转化（STH > 12%），从而真正实现电催化裂解水/海水制“绿氢”，探究该系列材料的工业化应用前景，为电催化裂解水/海水制氢提供材料支撑和理论参考依据。

FB01-P06

钙钛矿微纳单晶的表面张力诱导生长及其光电性能研究

洪恩柳*

复旦大学

Perovskite single crystals (PSCs) have ultralow trap density and exceptional optoelectronic properties, which can be used for developing high-performance perovskite optoelectronic devices with high efficiency and stability. However, there is a lack of comprehensive insight and universal principle to guide the preparation of high-quality PSCs. Herein, a universal liquid-air interfacial assembly strategy is proposed for synthesizing PSCs, in virtue of which a series of PSCs including whole structural dimensions from 0D to 3D are acquired. Specially, the CsPbI₃ PSCs exhibit an ultrathin thickness of 40 nm and the CsPbBr₃ PSCs show ultra-narrow PL FWHM of 11 nm. Photodetectors (PDs) based on CsPbBr₃ PSCs show excellent performance with responsivity up to 120 A W⁻¹ and detectivity exceeding 2×10¹³ Jones. Moreover, vertically integrated heterojunctions of mixed-dimensions are fabricated and the 2D/3D heterostructure PDs further display enhanced self-powered characteristics. Our work provides general synthetic guidance towards the synthesis of PSCs and promotes their application in PSCs-based optoelectronics.

FB01-P07**Electrocatalytic CO₂ conversion in PEM system**

Wensheng Fang, Bao Yu Xia*

Huazhong University of Science And Technology

Carbon dioxide (CO₂) electrolysis holds great promise for a sustainable and carbon-neutral future. However, the industrialization of CO₂ electrolysis is hindered by two main obstacles: carbon utilization and stability, which is caused by inevitable carbonate problems. Physical washing, pulsed reduction and dipolar membranes can partially alleviate these issues but are far from providing the long-term stable and efficient operation for industrial-level. Herein, we develop an advanced proton-exchange membrane (PEM) system using recycled lead (r-Pb) catalyst, derived from waste lead-acid batteries. This system demonstrates superior performance in producing formic acid, with over 93% Faradaic efficiency, and compatibility with start-up/shut-down processes. It achieves nearly 91% single-pass conversion efficiency for CO₂ at a current density of 600 mA cm⁻² and a cell voltage of 2.2 V, while operating continuously for more than 5200 hours. The exceptional performance arises from the synergistic cooperation of system components, including robust catalyst, stable three-phase interface, and durable membrane. Comprehensive characterizations and theoretical calculations revealed that the phase-transition-induced lattice carbon activation (LCA) mechanism of r-Pb catalyst contributed to the high CO₂ hydrogenation efficiency.

FB01-P08**分级有序相强化单相 FCC 中熵合金**顾雷*^{1,2}、陈翔¹、赵永好^{1,2}

1. 南京理工大学材料学院

2. 河海大学材料学院

大多数中、高熵合金中的长程有序相由于其特定键合的复杂晶体结构具有本征脆性，往往表现出较差的延展性。我们提出一种设计策略，通过分级有序化在单相面心立方（FCC）结构 Ni₂CoFeV 中熵合金中引入三方结构 κ 和立方结构 L12 金属间相，实现强度数倍提升。这种三相中熵合金在室温下具有超过 1.6 GPa 的超高抗拉强度和 30% 的优异延展性，其强塑性协同效应超越了绝大多数已报道的中、高熵合金。 κ 相中反常的位错多系滑移和层错，以及耦合的 L12 和 fcc 相中的纳米层错网络、Lomer-Cottrell 位错锁和高密度位错的协同激活，共同促进了应变硬化的提升和优异延展性的实现。这项工作通过利用分级有序相，为设计超强韧结构材料提供了一个新范式。

FB01-P09**用于记录神经信号的双模式电子-离子导电水凝胶生物电极**

李玲玲*

南京大学

本研究开发了一种基于生物基离子液体构筑的电子-离子双模式传导的水凝胶生物电极，以解决传统刚性金属电极与生物组织之间界面兼容性差的问题。生物基离子液体通过反离子作用增强导电聚合物的有序堆积，实现电子-离子双载流子的高效传输，同时还降低了电极与脑组织之间的界面阻抗。将所制备的电子-离子双模式传导水凝胶生物电极植入自由活动小鼠的初级运动皮层，能准确记录神经信号，且信噪比高于金属电极，这对神经解码和生物电子学的发展具有重要意义。

FB01-P10

Interfacial Regulation of Lithium Metal Anodes for High-Energy-Density Lithium Metal Batteries

Luoyi Ding*

Shanghai Jiao tong University

Porous materials have been widely applied to address Li dendrite-related problems, especially in the field of separator engineering, due to their distinctive advantages of high porosity, adjustable pore structures, and easy functionalization. However, developing functional integrated and self-supporting separators through ingenious molecular level structural design has been rarely explored thus far. Herein, a self-supporting PIA separator containing rich hierarchical pores and polar skeleton was fabricated to regulate the interfacial Li chemical behavior for restricting the dendrite growth of Li metal, and the Li metal batteries with the PIA separator exhibit high Coulombic efficiency and stable high-rate cycling. This work provides a favorable separator design approach suggested for the performance enhancement of LMBs.

FB01-P11

MOF 基膜反应器的构建及其催化水处理应用

袁铭伟*

南昌大学

催化膜反应器 (Catalytic membrane reactors CMRs) 将膜技术与催化工程结合, 实现了小型化、连续化、自动化和低运行成本的高效催化过程, 有效处理工业上的污染物。分子筛和金属-有机框架 (Metal-Organic Frameworks, MOFs) 等多孔材料具备有序的孔结构、高比表面积等, 可以有效地限域金属纳米粒子构成复合催化剂。以此构成的复合催化剂在膜内形成连续的反应通道, 展现出超高效率的水处理催化过程。

(1) 基于自然界中蜂窝结构的启发, 我们制备了具有穿透蜂窝结构的混合基质催化膜反应器, 将 MOFs 复合催化剂作为填料, 保留了分子筛和 MOFs 的高比表面积和孔道结构, 通过微米级的通道将蜂窝结构的孔壁连接起来, 从而增强了膜内催化剂与反应物之间的接触。由此提出利用混凝-絮凝机理设计膜反应器, 通过调节聚电解质与沉淀之间的电荷关系, 形成稳定的界面调节层, 实现超高通量和优异催化性能。调节基质的 zeta 电位可以控制其絮凝状态, 从而实现膜的特殊结构的可控合成。这种方法不仅提高了催化活性, 还实现了对阴阳离子型染料的选择性催化降解。

(2) 利用液相离子激活策略, 实现具有非对称分布结构的 MOF 基混合基质膜快速制备。解决了传统混合基质膜填料利用率低、通量-效率之间的矛盾等问题, 在高级氧化处理水中污染物时表现出优异的性能。

(3) 受雷电激发土壤中氮元素电离的机制启发, 我们通过后合成修饰技术, 在 MOF 复合碳纤维膜上修饰电响应功能分子, 成功实现膜反应器的超强疏水性功能化改性, 并在电刺激下完成快速由强疏水性向强亲水性转变的过程, 同时实现电催化降解一系列离子型染料和苯酚类污染物并分离油水混合物。

FB01-P12

稳定吡啶基 MOF 用于高效分离六氟化硫分离

赵砚琰*、张鑫、李建荣

北京工业大学

六氟化硫 (SF_6) 在发电厂中被广泛用作保护气体。然而, 由于 SF_6 具有强大的全球增温潜势 (比 CO_2 强 23900 倍), 其在大气中的排放引起了重大的环境问题。目前, 由于缺乏有效的吸附剂, 很难有效地将低浓度 SF_6 ($\leq 10\%$) 从废气混合物中分离出来, 以尽量减少 SF_6 排放。此外, 由于用碱性水溶液预处理以去除酸性和腐蚀性杂质, 含 SF_6 的废气具有高湿度的特点。作为一类新型物理吸附剂, 金属有机框架 (MOF) 具有前所未有的孔结构可调性, 通过定制设计的“分子陷阱”促进精确的分子识别, 使 MOF 吸附剂在 SF_6/N_2

分离中具有前景。然而，气体混合物中水分的存在不仅会由于水的共吸附而阻碍分离性能，还会增加 MOF 在重复循环中降解的风险。根据软硬酸碱（HSAB）理论，吡啶基 MOF 具有优异的抗湿度能力，这启发了我们设计具有 SF₆ 分子陷阱的吡啶基 MOF，以实现在潮湿条件下高效捕获 SF₆。

我们报道了在稳定的 Co（II）-吡啶基 MOF，BUT-53（BUT 代表北京工业大学）中通过吸附分离从 SF₆/N₂ 混合物中富集 SF₆，该 MOF 具有动态分子陷阱。BUT-53 在 0.1 bar 和 298 K 下表现出 2.82 mmol/g 的优异 SF₆ 吸附吸收率，以及高达 2485 的 SF₆/N₂（10:90）选择性，超过此前报道的所有材料。此外，BUT-53 显著的 SF₆/N₂ 选择性使其能够通过动态穿透实验从低浓度（10%）混合物中回收高纯度（>99.9%）SF₆。在多个循环中，在潮湿条件下（RH=90%）也很好地保持了优异的 SF₆/N₂ 分离效率。

FB01-P13

铜基硫化物超快载流子动力学调控及高效光热转换研究

苏梦瑶、张加涛*

北京理工大学

面对能量转换与智能仿生医用的交叉需求，高能效转化体系的创新研发已成为多学科融合领域的前沿课题。光热转换技术因其非介入式操作优势与多级能量转化特性（光能→热能→化学能/机械能），被视为可实现高效能量利用的重要突破口。为了提高光能的利用效率，材料的选择与纳米结构的巧妙设计成为决定性能的关键因素。铜基硫化物纳米材料凭借其可调谐局域表面等离子激元共振（Localized Surface Plasmon Resonance, LSPR）与独特的载流子动力学特性，在宽光谱响应与高光热转化效率方面展现出显著优势。然而，其精确可控构筑策略与性能优化机制尚不明确，仍面临光热转化效率较低、合成过程复杂、稳定性差以及可持续性不足等挑战，制约着该材料体系的理论突破与工程应用。因此，如何利用光热弛豫动力学机制开发高效光热材料和探索光热转换效率的理论极限仍然存在较大挑战性。本论文针对铜基硫化物近红外光热转换材料的可控制备、弛豫动力学及智能应用展开研究：利用化学热力学驱动的热注入反应实现铜基硫化物纳米晶体族的调控制备，通过等离激元共振及非辐射弛豫动力学机制，阐述了铜基硫化物中晶体结构-载流子动力学-光热功能的构效关系，进一步开发了具有超高光热性能的原子级二维硫化铜纳米晶，通过独特的晶型与结构性质促进热电子与热空穴的高效产生、复合与利用，提高原子级铜基硫化物光热剂的光能-热能-机械能转化效率，增强了在深层脑血管光声成像中的应用。

FB01-P14

Clar's Aromatic π -Sextet Rule for the Construction of Red Multiple Resonance Emitter

Haowen Chen¹, Wei Jiang^{*1}, Yuewei Zhang²

1. Southeast University

2. Tsinghua University

Despite the proliferation of multiple resonance (MR) materials in the blue to green spectral ranges, red MR emitters remain scarce in the literature, an area that certainly warrants attention for future applications. Here, through a clever application of classic Clar's aromatic π -sextet rule, we triumphantly constructed the first red MR emitter by substituting the conventional benzene ring core with anthracene (fewer π -sextets). Theoretical studies indicate that the quantity of π -sextets ultimately determines the optical band gap of a molecule, rather than the number of fused benzene rings. Benefiting from the high photoluminescence quantum yield of ~94% and horizontal dipole ratio of ~90%, the corresponding narrowband red (luminescence wavelength: 608 nm) organic light-emitting diode shows a high external quantum efficiency of 27.3%, with only a slight decrease of 3.7% at an elevated luminance level of 100,000 cd/m².

FB01-P15

基于高电压摩擦纳米发电机与介电弹性体驱动器的自驱动注射泵

魏毅¹、武文杰²、杨丹^{*1}

1. 北京化工大学

2. 华南理工大学

为解决传统胰岛素泵存在的装置刚性大、佩戴不适、给药灵活性差及电池寿命短等问题，本文提出了一种创新的胰岛素泵治疗（IPT）系统，该系统将基于介电弹性体的柔性注射泵（DE-SSP）与高电压摩擦纳米发电机（H-TENG）集成，实现了柔性、自驱动的胰岛素精准输送。该系统可与实时血糖监测联动，根据患者实际需求稳定调控胰岛素释放，为糖尿病个性化治疗提供有效支持。在直流电源驱动下，泵送体积可达 262.4 μL ；在 H-TENG 驱动下，体积提升至 303.7 μL ，完全满足 1 型糖尿病治疗的常规剂量需求。值得注意的是，H-TENG 具备高电输出能力，并集成灵敏的自保护机制，有效降低电击风险，保障使用安全。同时，该系统具备结构简单、易于制造与维护、适应性强等优点，能够在多种复杂环境下长期稳定运行。为进一步提升系统的安全性与适用性，IPT 系统采用柔顺、生物相容电极，支持多角度灵活佩戴，非常适用于对连续运行和低用户干预要求较高的可穿戴 biomedical 应用。该研究不仅成功实现了 H-TENG 与介电弹性体驱动器的集成，解决了传统胰岛素泵的多项局限，还为柔性、自驱动微流控装置的设计与应用提供了新思路，展示出其在下一代个性化智能医疗系统中的广阔前景。

FB01-P16

面向多维光电探测的三维自卷曲纳米薄膜器件

张子煜¹、蔡天骏¹、吴斌民²、梅永丰^{*1}

1. 复旦大学 智能机器人与先进制造创新学院 智慧纳米机器人与纳米系统国际研究院及应用表面物理国家重点实验室
2. 中国科学院技术物理研究所

纳米薄膜作为一类新兴的超薄材料，具有极低的弯曲刚度，使其能够兼容柔性器件、异质集成和应变工程，同时保留其固有的电学和光学特性。其独特的物理特性可以克服当前光电检测领域的挑战，例如集成密度低和依赖辅助光路等，从而实现基于“超越摩尔定律”技术路线的多功能器件集成。我们将从纳米薄膜的三维结构成型，器件探测机制与设计，性能与应用领域三个方向展开介绍。三维自卷曲光电探测器可涵盖传统半导体、红外功能材料、二维材料等薄膜体系，展现出良好的兼容性，可通过结构-材料体系的相互耦合实现对入射光方向、偏振等额外维度信息的探测。基于纳米薄膜自卷曲技术的结构设计和器件将为下一代光电探测器设计与应用提供了一类范式，在空间定位，温度传感，光电子系统等领域均具有应用潜力。

FB01-P17

二维晶体管中超薄高 κ 复合介电层的规模化集成

徐永善、刘开朗、翟天佑*

华中科技大学

二维半导体具有原子级厚度和优异的栅极控制能力，是构筑下一代场效应晶体管（FET）的理想沟道材料。然而，二维晶体管中高质量栅极介电层的集成却面临多重挑战。首先，传统高 κ 介电材料（ HfO_2 等）与二维半导体结构不兼容，且介电层在其表面难以均匀集成；其次，新型二维介电材料（hBN 等）虽与二维半导体界面兼容，但其介电常数低且难以进行规模化集成。针对上述难题，我们利用无机分子晶体 Sb_2O_3 作为缓冲层构筑复合介电层，在二维 FET 中实现了兼具高质量界面与高介电性质的 $\text{HfO}_2/\text{Sb}_2\text{O}_3$ 介电层的规模化集成，使其性能全面提升。该方法能在不同二维材料（石墨烯、 MoS_2 等）上实现超薄介电层的均匀集成，具有极高的普适性。在性能方面，基于 $\text{HfO}_2/\text{Sb}_2\text{O}_3$ 复合介电层的二维 FET 的等效氧化层厚度（EOT）可低至 0.67 nm，为当前二维晶体管介电层的最低值。优异的界面质量降低了界面态密度，以

MoS₂ 为沟道的 FET 的亚阈值摆幅低至 60 mV/dec, 达到理论极限。晶体管阵列器件呈现出优异的均一性, 满足二维晶体管规模化集成要求。得益于超低的 EOT 与优异的界面质量, 该晶体管在 0.4 V 的超低工作电压下即可获得超过 10⁶ 的开关比, 实现了对 IRDS 所规划最先进硅基晶体管 (3 nm 制程 FinFET) 的超越, 是目前 FET 中最高栅极控制效率, 为未来二维半导体在高集成度、低功耗电子器件中的应用铺平了道路。

FB01-P18

压力诱导 BiI₃ 导电类型及自驱动光电流极性的显著反转

岳磊、李全军*、张立军、刘冰冰

吉林大学

在单一材料体系中实现导电类型的可控转换, 是突破电子/逻辑电路功能集成瓶颈的关键问题。已有研究表明, 压强能够诱导功能材料的导电类型发生转变, 但这种转变往往伴随半导体向金属态的转变, 极大地限制了其在半导体领域的应用。因此, 寻找高压下能在半导体-半导体相变中实现导电类型快速切换的材料变得尤为重要。在此背景下, 团队利用金刚石对顶砧技术在金属卤化物 BiI₃ 中发现了一种反常的压强诱导的 P-N 型转变, 并显著地提升了其光电响应特性。与通常在类似转变中伴随带隙闭合的现象不同, BiI₃ 在导电类型转变后仍保持约 1.1 eV (与硅相近) 的带隙。此外, 以往的研究通常将高压下负光电导归因于载流子类型的切换, 但在光电流测试中施加偏压会对载流子类型的判断产生潜在的误导。因此, 研究团队提出了一种基于光热电效应 (PTE) 主导的自驱动光电流来判断载流子极性的新方法, 并进一步揭示了高压下正负光电导转换与载流子类型切换之间的关联。这些发现不仅有助于深化对半导体载流子行为的理解, 还为逻辑电路的设计和器件性能的优化提供了可行途径。

FB01-P19

Self-assembled hydrated copper coordination compounds as ionic conductors for room temperature solid-state batteries

Xiao Zhan¹, Miao Li¹, Xiaolin Zhao², Jianjun Liu², Qiaobao Zhang¹, Li Zhang^{*1}

1. Xiamen University

2. Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences

As the core component of solid-state batteries, neither current inorganic solid-state electrolytes nor solid polymer electrolytes can simultaneously possess satisfactory ionic conductivity, electrode compatibility and processability. By incorporating efficient Li⁺ diffusion channels found in inorganic solid-state electrolytes and polar functional groups present in solid polymer electrolytes, it is conceivable to design inorganic-organic hybrid solid-state electrolytes to achieve true fusion and synergy in performance. Herein, we demonstrate that traditional metal coordination compounds can serve as exceptional Li⁺ ion conductors at room temperature through rational structural design. Specifically, we synthesize copper maleate hydrate nanoflakes via bottom-up self-assembly featuring highly-ordered 1D channels that are interconnected by Cu²⁺/Cu⁺ nodes and maleic acid ligands, alongside rich COO⁻ groups and structural water within the channels. Benefiting from the combination of ion-hopping and coupling-dissociation mechanisms, Li⁺ ions can preferably transport through these channels rapidly. Thus, the Li⁺-implanted copper maleate hydrate solid-state electrolytes shows remarkable ionic conductivity (1.17×10⁻⁴ S cm⁻¹ at room temperature), high Li⁺ transference number (0.77), and a 4.7 V-wide operating window. More impressively, Li⁺-implanted copper maleate hydrate solid-state electrolytes are demonstrated to have exceptional compatibility with both cathode and Li anode, enabling long-term stability of more than 800 cycles. This work brings new insight on exploring superior room-temperature ionic conductors based on metal coordination compounds.

FB01-P20

具有简单骨架和少量硅氧烷修饰的聚合物给体使有机太阳能电池的效率达到 19%

陈星*

华南理工大学

有机太阳能电池（OSCs）由于其材料种类丰富、重量轻、柔韧性好、低温溶液处理等独特的特点，作为一种环境友好、可持续发展的能源技术受到了广泛的关注。随着高性能非富勒烯受体的出现，例如，Y6 型分子，为单结 OSC 贡献了超过 19% 的功率转换效率（PCE），开创了一个新时代。为了与 Y6 系列受体匹配，研究人员已经付出了巨大的努力来开发苯并[1,2-b:4,5-b']二噻吩（BDT）基聚合物给体，如 PM6 和 D18，或它们的无规共聚物。然而，基于 BDT 的聚合物给体的高合成复杂性和高生产成本不利于 OSCs 的大规模工业制造。这就急需开发重复单元简单、合成复杂度低的低成本聚合物给体，其中以非常简单的 6,7-二氟喹诺啉-噻吩骨架结构的聚合物 PTQ10 为代表。到目前为止，基于 PTQ10 的二元 OSCs 的 PCE 已达到 18% 以上，显示出良好的前景。PTQ10 的成功也激发了对其分子修饰的进一步研究。然而，受到喹诺啉-噻吩简单骨架的限制，化学修饰的位置有限。在喹诺啉-噻吩骨架上进行不同的氟取代，相应的聚合物 PTQ7、PTQ8 和 PTQ9 的 PCE 在 0.90% ~ 10.5% 之间，远低于 PTQ10。在 Sun 等人的一份报告中，在 6,7-二氟喹啉单元上的 3-甲基化合成了另一种简单的聚合物 PTQ11。相对于 PTQ10，聚合物 PTQ11 在性能优化方面受到的关注较少，基于 PTQ11 的 OSCs 的最佳 PCE 仍然保持在 16.32%。本文采用端部硅氧烷侧链对 PTQ11 进行修饰，成功合成了新型含硅氧烷侧链的聚合物 PMQ-Si605。有趣的是，少量硅氧烷端侧链的存在有利于提高聚合物的分子量。与不含硅氧烷的聚合物 PTQ11 相比，PMQ-Si605 具有更高的分子量、更强的聚集能力和更快的空穴迁移速率。当与单氟代受体 L8-BO-F 匹配时，PMQ-Si605 二元活性层在 N2 手套箱和 90% 相对湿度的空气加工中分别可以实现 18.08% 和 17.47% 的 PCE，远高于 PTQ11 器件的 16.21% 和 14.22%。进一步优化 PMQ-Si605 的光伏性能，与 BTP-H2 受体匹配，得到二元和三元 OSCs 结构的 PCE 分别为 18.50% 和 19.15%。该效率是迄今为止报道的含硅氧烷聚合物基 OSCs 的最高值。

FB01-P21

Dual-site segmentally synergistic catalysis mechanism: boosting CoFeS_x nanocluster for sustainable water oxidationSiran Xu², Jia-Nan Zhang^{*1}

1. Zhengzhou University

2. CHINA THREE GORGES UNIVERSITY

Efficient oxygen evolution reaction electrocatalysts are essential for sustainable clean energy conversion. However, catalytic materials followed the conventional adsorbate evolution mechanism (AEM) with the inherent scaling relationship between key oxygen intermediates *OOH and *OH, or the lattice-oxygen-mediated mechanism (LOM) with the possible lattice oxygen migration and structural reconstruction, which are not favorable to the balance between high activity and stability. Herein, we propose an unconventional CoFe dual-site segmentally synergistic mechanism (DSSM) for single-domain ferromagnetic catalyst CoFeS_x nanoclusters on carbon nanotubes (CNT) (CFS-ACs/CNT), which can effectively break the scaling relationship without sacrificing stability. Co³⁺ (L.S, $t_{2g}^6 e_g^0$) supplies the strongest OH* adsorption energy, while Fe³⁺ (M.S, $t_{2g}^4 e_g^1$) exposes strong O* adsorption. These dual-sites synergistically produce of Co-O-O-Fe intermediates, thereby accelerating the release of triplet-state oxygen ($\uparrow O=O \uparrow$). As predicted, the prepared CFS-ACs/CNT catalyst exhibits less overpotential than that of commercial IrO₂, as well as approximately 633 h of stability without significant potential loss.

FB01-P22**基于壳聚糖的 Janus 双功能粘结剂实现多碘化物穿梭抑制与氧化还原动力学协同提升的可持续水系锌碘电池**

杨佳霖、吴兴隆*

东北师范大学

水系锌碘电池因其本征安全性、经济性与环境友好性，已成为下一代可持续储能技术的有力竞争者。然而，多碘化物穿梭效应和氧化还原动力学迟滞严重制约其实际应用。本研究创新性地设计了一种基于壳聚糖（CTS）的 Janus 功能粘结剂体系，通过分子极性端基调控实现力学性能与电化学功能的双重优化。该粘结剂不仅通过增强分子间作用力赋予电极优异的机械稳定性，更构建了物理限域与催化转化协同机制。尤为重要的是，CTS 粘结剂展现出全生命周期可持续性，其天然可降解特性与环境兼容性显著降低二次污染风险，而再生器件经碘再负载后仍可实现 73.3 mAh g^{-1} 的容量输出（循环 1000 次）。该双功能粘结剂设计通过同步提升碘利用效率与器件可持续性，为发展高性能水系锌碘电池提供了创新解决方案。

FB01-P23**基于双级纳米结构开发超高弹性储能合金**

党鹏飞、周玉美、薛德祯*、丁向东

西安交通大学

对于自然界中的生物系统、工程领域的机械装置，比如控制动物快速运动的生物组织、微机电谐振器和驱动器等，弹性机械能的高效储存与释放是至关重要的。近年来，人造肌肉、跳跃机器人、无人机弹射系统的快速发展迫切需要具有高储能密度以及高能量效率的弹性材料。金属材料因具有高强度和优良加工性在弹性储能应用中占据重要地位，常被制成弹簧、发条等，然而其相对较低的弹性储能密度限制了其在设备小型化、集成化趋势下的进一步应用。针对这一问题，我们提出了一种“双级纳米结构”微观设计策略，旨在形状记忆合金中实现优异的弹性储能。该策略通过构建预存纳米马氏体畴的纳米晶结构，基于无需形核的相变模式和晶界强化效应，同时实现高屈服强度、大弹性应变和低能量耗散。所开发的新型 TiNiV 形状记忆合金表现出超高弹性储能密度（ $> 40 \text{ MJ/m}^3$ ）、能量效率（ $> 94\%$ ）以及优异的抗疲劳性。这种通过预先引入“相变种子”降低一级相变过程中的能量耗散，并利用晶粒细化提升材料强度，最终提升材料弹性储能的设计思路，有望拓展至其他相变体系，启发基于固态相变的其他功能特性的进一步优化，比如高介电储能、高效弹热制冷等。

FB01-P24**二维过渡金属碳化物层间界面水新奇动力学行为**

侯鹏飞、孟醒*

吉林大学

界面水有着区别于体相水的奇异行为，与凝聚态物理、环境科学、细胞生物学等领域的基本问题密切相关。表面效应以及溶质环境是影响界面水性质的两个主要因素。二维过渡金属碳化物，又名 MXenes，是由层状陶瓷材料 MAX 相刻蚀去除 A 元素后得到的一类新型二维纳米材料家族，被广泛应用于能量储存和转化、电子器件等各类领域。在合成或使用过程中，水分子会进到 MXenes 中形成层间水，是研究界面水的理想体系。研究 MXenes 和水的界面反应机制以及探究表面、溶质调控界面水动力学性质的物理规律，对于拓展 MXenes 材料相关科学应用有着极其重要的科学意义。

结合近年来兴起的机器学习方法[1]，报告人广泛考虑了层间水层数、各类表面基团以及质子效应等多种实际情况，开发了 MXenes 含水体系的深度神经网络势函数，基于神经网络势，研究了 MXenes 层间水一系列新奇动力学行为，包括实验上饱受争议的 MXenes 水致氧化反应[2]、含水环境中缺陷对于氧化

速率的调控作用[3]、限域条件下新型冰相的形成和消失[4]、水扩散能力和表面基团的关系[4]等。相关研究从原子尺度展示了 MXenes 表面结构被水分子破坏的宏观动力学过程,揭示了实验上观测到的 MXenes 降解速率随时间呈指数型衰减的本质,并定量探究了 MXenes 氧化动力学和质子浓度的关系,提出了通用的抗氧化策略,为实验合成高稳定的 MXenes 材料提供了理论指导。此外,报告人还识别了具有反键合规则的二维六方冰相,阐明在不同质子浓度下水分子构型取向的差异,捕捉到受质子诱导下水六方相到无定形相的相转变过程,并利用氢键理论解释了层间限域水的扩散系数随质子浓度升高而大幅降低的物理本质。相关结果为识别新型二维水相和优化能量储存转换过程等供了有用的指导。

参考文献

- [1] Pengfei Hou et al. Chem. Eur. J. 2024, 30, e202401373.
- [2] Pengfei Hou et al. Angew. Chem. Int. Ed., 2023, 62, e202304205.
- [3] Pengfei Hou et al. Environ. Sci. Technol. 2024 58, 19861-19871.
- [4] Pengfei Hou et al. Angew. Chem. Int. Ed. 2024, 63, e202411849.

FB01-P25

手性共组装策略构建窄带发射的高性能圆偏振有机发光二极管

郭晨浩^{1,2}、李猛^{*2}

1. 山西大学

2. 中国科学院化学研究所

圆偏振有机发光二极管 (CP-OLEDs) 在光电器件领域具有巨大应用潜力;然而,制造同时具备大不对称因子 (g_{EL}) 和高外量子效率 (EQE) 的器件仍然面临挑战。通过将手性发光聚合物 F8BT、手性诱导剂 R/S-5011 以及非手性 Förster 共振能量转移 (FRET) 受体 DBN-ICZ 共掺杂并热退火,成功制备出一种具有大不对称因子 (g_{lum}) 和窄带发射的三元手性共组装体。优化后的共组装体 (F8BT)_{0.9}-(R/S-5011)_{0.1}-(DBN-ICZ)_{0.005} 展具有窄带黄色发光,其半峰宽 (FWHM) 为 37nm,光致发光量子产率 (PLQY) 为 79%,并且具有强烈的圆偏振发光 (CPL) 信号,其 $|g_{lum}|$ 值高达 0.26。将三元手性共组装体作为发光层,制备了溶液加工的 CP-OLEDs,其展现出黄色电致发光,最大外量子效率 (EQE_{max}) 为 4.6%,电致发光的不对称因子 ($|g_{EL}|$) 高达 0.16,并且电致发光为窄带发射,FWHM 仅为 39nm。相应的品质因数 (Q_{factor}) 可达到 7.36×10^{-3} ;在这份工作报道时,这是 CP-OLEDs 中最高的。

FB01-P26

错配超分子作用提高强韧热固性弹性体的可回收性

王璐平*

山东大学

热固性弹性体因其优异的力学性能和耐久性 (包括卓越的耐化学性),在多个工业领域中发挥着不可替代的作用。然而,其固有的不可回收性带来了严峻的环境挑战,限制了进一步的发展。本研究提出了一种精心设计的策略,通过在共价交联的聚 (氨酯-脲) 网络中引入错配超分子作用 (MMSIs),有效应对这一问题。该网络中含有动态酰胺基脲结构基元,MMSIs 的引入不仅显著增强了弹性体的韧性和强度,通过高效耗散能量和抵抗外部应力实现性能提升;同时,由于 MMSIs 的高度可逆性,材料的回收效率提高了约 2.7 倍。优化后的热固性弹性体表现出卓越的综合性能,包括高达 110.8 MPa 的超高拉伸强度、前所未有的 1245.2 MJ m^{-3} 的拉伸韧性,以及优异的耐化学性、抗蠕变性和抗损伤能力。尤其值得注意的是,该材料展现出出色的多次回收能力,在第四次回收后仍能保持近乎 100% 的性能回收率。这一可规模化的设计策略为开发兼具高性能与优异可回收性的热固性材料提供了新的思路,并为通过分子设计克服材料不可回收性问题提供了有价值的启示。

FB01-P27

Regulation of Cathode-Electrolyte Interphase for High-voltage LiCoO₂

Hengyu Ren, Feng Pan*

School of Advanced Materials, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China.

With the acceleration of lightweight tendency of the consumer electronic products, the application of LiCoO₂ (LCO) cathodes calls for higher cut-off voltage beyond 4.6 V (vs. Li/Li⁺) to release more reversible specific capacity with enhanced energy density. However, high-voltage operation can seriously threaten the stability of the LCO-electrolyte interface, which is mainly reflected in the severe interface parasitic reactions derived from the oxidation of Co⁴⁺/Oⁿ⁻ (0<n<2) on LCO, leading to surface structure degradation. Herein, from the perspective of surface modulation and electrolyte tuning for LCO, we regulate the interface reactions and construct robust cathode-electrolyte interphase (CEI) on LCO, to achieve excellent electrochemical performance and stability of LCO beyond 4.6 V. Through the construction of Zr-O deposits on LCO, we realize the progressively densification of CEI through the in situ chemical reaction between LiF and Zr-O-F species in the interphase. By rational control of electrolyte solvents from EC to anti-oxidative FEC/DFEC solvents, we regulate the reaction pathway of PF₆⁻ through the in situ electrochemical decomposition of FEC/DFEC to avoid the formation of corrosive species but promote the generation of P-O species in CEI. These works provide new insights for developing advanced LCO cathodes. (Participate in the poster exhibition)

FB01-P28

Governing the dispersion of quasi-2D perovskite phases toward efficient and stable perovskite solar cells

Sihui Peng, Zhipeng Miao, Yuncai Liang, Rudai Zhao, Fangfang Yuan, He Zhu, Wenlong Liang, Yapeng Shi, Pengwei Li, Yiqiang

Zhang, Yanlin Song*

Zhengzhou University

Multiphase formations within quasi-two-dimensional (quasi-2D) perovskite films have been shown to impede efficient charge transfer, reducing device performance. To address this issue, we propose using acetic acid (AcOH) as an additive to achieve a narrow phase distribution in quasi-2D perovskite films. In situ UV-visible light absorption spectra show an effective reduction in phase polydispersity in the early stage of film crystallization. First-principles calculations confirm that the AcOH coordination alters the reaction path, lowering the enthalpy of formation for a concentrated phase distribution. This configuration leads to carrier diffusion length exceeding 1 μm, and the mobility is up to 7.18 cm² V⁻¹ s⁻¹ in the quasi-2D perovskite film. The resultant solar cells exhibit a champion power conversion efficiency (PCE) of 19.05% and demonstrate exceptional long-term stability, retaining over 90% of their initial PCEs over 10,000 h and maintaining over 80% efficiency after 500 h under continuous illumination tracking at the maximum power point.

FB01-P29

单原子催化剂的配位调控及锂硫电池性能增强机制研究

冬晨旭*

武汉理工大学

锂硫电池因其高的理论容量和能量密度被广泛关注，被认为是有望在电芯级别突破 500 Wh kg⁻¹ 的电池体系之一。然而，锂硫电池的商业化应用受到硫正极导电性差、穿梭效应等问题的限制，其中最为严重的问题是可溶性多硫化物溶解所造成的穿梭效应以及锂离子不均匀沉积引起的锂枝晶生长。单原子催化剂具有最大原子利用率、均匀的活性位点结构等特点，能够实现均匀的硫负载和对多硫化物高效吸附与催化转化。但单原子催化剂的配位调控及锂硫电池性能提升机制尚不清晰。我们设计了 Fe-Co 双单原子配位环

境，通过双单原子掺杂提高了多硫化物双向氧化还原动力学，组装的锂硫全电池在 5 C 电流密度下能够稳定循环 700 圈，每圈衰减仅为 0.03%。设计了 P, S 双杂原子调控的 Co-N3PS 配位结构，通过 S、P 原子对 Co 单原子的配位调控实现了高效转化，组装的锂硫电池能够在 5 C 电流密度下稳定循环 2000 圈。

FB01-P30

磁诱导磁电纳米链调控基质取向与无线电刺激协同促进神经再生

张雨生、卫丹、孙静、范红松*

四川大学生物医学工程学院

磁场在材料科学与生物医学工程中具有重要应用价值。磁响应材料可在磁场诱导下在基质中有序排列，从而构建具有取向结构的生物支架。在神经组织损伤修复中，由于其复杂的解剖结构和病理微环境，单一的拓扑线索难以充分激活组织再生，亟需整合电刺激与仿生基质等多种信号，实现多维协同调控。近年来，磁电材料因其独特的磁-电耦合效应在生物医学领域备受关注。该类材料不仅可在磁场作用下实现有序排列，还能在交变或脉冲磁场刺激下产生局部电信号，从而实现非接触式、无线化的电刺激功能，特别适用于神经组织的精准调控。因此，本研究构建了一种可在磁场调控下合成长度可控的一维磁电耦合 $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{BaTiO}_3$ 纳米链，并将其与胶原和透明质酸复合，形成生物活性仿生水凝胶基质。磁电纳米链在磁场引导下可在水凝胶中定向排列，并进一步驱动水凝胶微纤维沿链方向取向，实现对细胞行为的方向性引导。在外加脉冲磁场刺激下，纳米链可产生局部电场，实现无线电刺激，进而诱导细胞膜去极化，激活电压门控钙离子通道，促进胞内钙离子流入。拓扑与电信号双重刺激协同作用，显著增强神经功能蛋白的表达，促进突触重塑与神经再生。本研究基于低成本、合成工艺简便的磁电纳米链，成功构建了兼具结构引导性与功能刺激性的多功能仿生水凝胶，展现出良好的生物相容性与磁响应性能，为神经及其他组织的再生修复提供了一种可控、高效、无创的新型治疗策略。

FB01-P31

可注射共组装微凝胶程序化诱导髓核内源性再生

李星、梁洁、蒋青、孙勇*、樊渝江、张兴栋

四川大学生物医学工程学院

内源性髓核再生通常受限于干/祖细胞募集不足、分化调控能力有限以及细胞外基质维持效果差等因素。为此，我们构建了一种基于微球的注射平台（GBKE），该微球在温和水化条件下可迅速转变为具有自愈性能的动态微凝胶，能够实现椎间盘内原位成胶并在软组织中稳定保留。该水凝胶具有高度多孔且互联的三维结构，利于营养输送和细胞深层浸润。通过在微球表面引入促细胞募集的功能肽段，可增强内源性干/祖细胞的归巢能力；同时，通过共轭作用将 Kartogenin 分子与微凝胶共组装，有助于诱导内源性干/祖细胞向髓核细胞分化并促进基质的持续重塑。该 GBKE 系统实现了对内源性细胞行为的程序化调控，在微创修复椎间盘退变方面展示出良好的应用前景。

仅发表论文

FB01-PO01

基于多尺度协同设计的高性能抗辐射炭泡沫复合材料研究

张琴琴、曲俊宇、王承冲、徐冬、符飞燕*

中国人民解放军 61699 部队，湖北省枝江市江汉大道 64 号，443299

深空探测是拓展宇宙科学认知与空间技术革新的战略性领域，其探测器面临极端力学载荷（发射阶段 8~15 G 过载）、严苛空间环境（高能粒子辐照、热循环）与严格轻量化需求等多重挑战。传统金属材料（如铝合金、钛合金）的比强度已接近理论极限，碳纤维增强聚合物（CFRP）等复合材料可实现 30% 的减重

效果，但由于基体与纤维的界面相容性问题，在长期辐照与温度交变下易发生脱粘失效。尽管轻量化结构设计（如蜂窝夹层、点阵超材料）和新型合金（镁锂合金）取得阶段性进展，但其承载-稳定性权衡不足及工艺复杂性严重制约工程应用。针对上述问题，团队正联合武汉理工大学和中国辐射防护研究院，开展一种基于炭泡沫的轻质抗辐射复合材料制备，以解决深空探测领域对轻量化、高承载及抗辐射防护材料的迫切需求。研究内容主要包括：（1）通过微观-宏观多尺度调控，优化炭泡沫复合材料的组分选型与结构设计，提升其力学性能与抗辐射性能；（2）开展地面模拟实验，评估材料在中子辐照、极端温度循环等单因素模拟环境下的抗辐射性能、力学性能及长期稳定性；（3）结合分子动力学模拟，建立材料“组分-结构-性能”的构效关系模型，指导材料优化设计。本研究为深空探测器的长周期服役提供了一种兼具抗辐射、高承载与轻量化的新型材料范式。