



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

**FC08-新概念材料与前沿交叉科学发展
2050 高层论坛**
**FC08-2050 High-Level Forum on New
Concept Materials and Frontier
Interdisciplinary Science Development**

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



FC08 概念材料与前沿交叉科学发展 2050 高层论坛

分会主席：林元华、闫娜、张先正、俞燕蕾、李亮、潘曹峰、解荣军、魏展画

邀请报告

FC08-01

极端条件材料创制

靳常青*

中国科学院物理所

结构决定材料特性，极端条件对材料构效具有重要作用，极端条件正在创制越来越多具有战略应用前景的新材料并成为材料重要应用环境。

结合报告人的工作，通过发展先进的极端条件技术，汇报我们在极端条件新材料创制领域近期研究进展：

1、超导新材料设计研制和发现：(I)具有液氮温区“三高”特性(高超导转变温度 T_c 、高临界电流密度 J_c 、高临界磁场 H_c)的 $Cu1234$ 超导材料，常压环境 T_c 可达 118K 且具有液氮温区优良的承载电流和磁场特性，成为可比肩 $YBCO123$ 的高温高场超导材料；(II)铁基超导材料四大体系之一的“111”体系，“111”体系同时具有罕见的拓扑特性，为变革性量子计算提供了重要结构载体；(III)独立实验发现钙基近室温富氢超导材料，连续刷新元素超导最高温度记录，为实现常温超导材料梦想提供了新选项。

2、极端条件能源材料：通过压力综合调控，实现化学键构型、强度和序构大幅改变，开辟新概念能源材料赛道。

3、稀磁半导体新材料：引入自旋电荷分别掺杂的机制，研制发现了基于 $BaZn_2As_2$ (简称 BZA) 的新一代高居里温度稀磁半导体材料，入选 IEEE 发布的面向应用的自旋电子学新兴材料路线图。

FC08-02

无机/有机杂化纳米互贯网络的设计与性能研究

傅强*

四川大学

当前主流的有机-无机杂化结构主要包括以下三类：一是无机颗粒增强型结构，通过将无机颗粒直接分散于高分子基体中提升其力学性能。虽然无机组分含量的增加有利于提高材料的模量和强度，但通常会显著降低复合材料透明性与韧性；二是连续填料网络结构，在高分子基体内部构筑贯通的无机填料通路，可在提高材料力学性能的同时引入导热、导电等功能。然而，其连续无机填料通路的尺寸通常大于可见光波长，导致复合材料普遍不透明；三是“贝壳式”层状结构：通过有机与无机组分的交替堆叠，构建多层复合界面，在一定程度上兼顾了高强度与高韧性。但由于大量无机组分的堆叠及其与有机组分在光学性质上的不匹配，仍难以实现复合材料的透明性。

为了解决上述问题，我们将报告一种具有纳米有机无机杂化互穿网络结构的高透明高强高韧复合材料。其特征在于，将连续的高分子纤维网络骨架与含无机纳米颗粒的杂化纳米流体浆料相互贯通并交联固化所形成的互穿网络结构。以制备可折叠高硬度高透明玻璃塑料为例，我们将含有高硬度二氧化硅纳米粒子的浆料灌入多孔超高分子量聚乙烯纤维网络中，获得了该兼具玻璃般透明度（透光率 > 92%）和硬度（>1.1 GPa）、塑料般断裂伸长率（>6%）和橡胶般弹性回复（>79%）的玻璃塑料。当这种玻璃塑料被加工为 5 μm 厚的薄膜时，在 0.5 mm 的弯折曲率半径下可连续弯折至少 50 万次而无折痕，并且展现出优异的抗冲击性能。这种新型的玻璃塑料，打破了传统材料“软”和“硬”矛盾的界限，在下一代可折叠或可形变显示器件中的具有巨大的应用潜力。

FC08-03

生物医用高分子的研究

张先正*

武汉大学

生物医用高分子是一门生命科学、医学、材料科学与高分子化学交叉的新兴学科，是用于诊断、治疗或修复、替代组织和器官的功能高分子材料，有助于延长患者寿命和提高人类生活质量。我们通过对高分子特定化学结构可控合成及其功能化方法的不断创新，积极探索智能响应高分子在重大疾病诊断、治疗中的应用[1-3]。围绕高分子载体精准智能响应及功能集成协同这一关键科学问题，我们提出了肿瘤触发靶向和信封型多功能高分子载体设计新策略。近年来，面向生物医学领域的重大需求，我们进一步发展了基于多肽、蛋白、细胞、细菌等活性高分子材料，并成功用于重大疾病的诊疗，显著提高疾病治疗的有效性、稳定性与安全性，开拓了生物医用高分子新领域，形成特色研究方向[4, 5]。

参考文献：

[1] Luo GF, Chen WH, Zeng X, Zhang XZ.* Chem. Soc. Rev. 2021, 50, 945-985.

[2] Zhang QL, Zheng DW, Dong X, Pan P, Zeng SM, Gao F, Zeng X, Zhang XZ.* J. Am. Chem. Soc. 2021, 143, 5127-5140.

[3] Zheng DW, Pan P, Chen KW, Fan JX, Li CX, Deng RH, Cheng H, Zhang XZ.* Nat. Biomed. Eng. 2020, 4, 853-862.

[4] Dong X, Pan P, Zheng DW, Bao P, Zeng X, Zhang XZ.* Sci. Adv. 2020, 6, eaba1590.

[5] Zheng DW, Dong X, Pan P, Chen KW, Fan JX, Cheng SX, Zhang XZ.* Nat. Biomed. Eng. 2019, 3, 717-728.

FC08-04

无机半导体超高塑性变形新机制

朱铁军*

浙江大学

当前柔性可穿戴电子和物联网等领域发展迅猛，面向复杂应用场景的自供电电源需求与日俱增。热电技术作为一种全固态能量转换技术，可利用环境温差实现热能向电能是直接转换，有望为复杂场景的低功率电子供电提供一种极具潜力的技术方案。面向曲面、复杂结构热源的低功率电子应用，迫切需要开发柔性热电技术。近年来，以 $\text{Ag}_2(\text{S}, \text{Te})$ 为代表的室温塑性无机热电半导体的发现为开发高性能柔性热电器件提供了新的研究方向。理解无机半导体的室温塑性变形机制、开发兼具室温高热电性能和良好柔塑性的无机热电半导体材料是该研究的核心主题。本报告将介绍有关 $\text{Ag}_2(\text{S}, \text{Te})$ 半导体的物相结构与脆塑性转变的关系，以及小应力作用下亚晶格非晶化作为塑性变形的新机制，利用这样的机制实现了该无机半导体材料的超高变形量以及类金属的塑性加工。

FC08-05

纳米磁性增强热电性能研究

赵文俞*

武汉理工大学

工业废热热电发电回收利用和集成电路芯片热电制冷散热对基于热电材料的热电转换技术提出了重大需求，但热电材料的电子输运和声子输运难以协同调控，严重限制了热电性能大幅提升和热电转

换技术开发。武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室热电材料与器件团队聚焦热电材料电子/声子输运协同调控国际性难题，创造性提出磁致增强热电性能新方法与新效应的原创思想并得到了实验证明，发现了纳米尺度上调控电子输运的电子库效应和电子多重散射效应，建立了纳米尺度上协同调控热电材料电子输运性能和声子输运性能的新方法。本报告的内容包括在热电材料中掺入磁性纳米粒子，建立纳米尺度微磁场，产生电子磁性散射和声子界面散射，在纳米尺度上协同调控电子/声子输运，创制高热电转换性能的新材料；纳米磁性与载流子自旋相互作用，产生载流子自旋极化，诱发载流子双电阻传导，导致正负磁阻共存和热电性能显著增强。

FC08-06

低维材料界面物性调控的理论预测

杜世萱*

中国科学院物理研究所

二维(2D)材料由于具有原子级厚度且表面无悬挂键的特性，为通过同质、异质界面工程精确调控材料性能提供了独特平台。这种调控方式不仅能增强材料现有的性能，还能引发新的涌现现象。在本报告中，我将介绍我们在利用界面工程调控二维材料物性方面取得的进展。首先，我们通过磁近邻效应，诱导出单层母体材料原本不具备的新奇物性，包括磁斯格明子、自旋极化、能带拓扑以及能谷极化。接着，我会阐述界面诱导在增强非线性光学系数、提升氨合成活性方面的应用。最后，我将介绍我们构建的二维材料与衬底界面数据库，并通过几个示例，展示该材料数据库在发现新材料和新物性方面的应用。

关键字：铁电材料、磁电耦合、斯格明子、离子层状材料

参考文献

- [1] Zhu, Y. et al. Phys. Rev. Lett. 2025, 134: 046403.
- [2] Li, P. et al. Nano Lett. 2024, 24: 2345.
- [3] Pan, J. et al. Nano Lett. 2024, 24: 14909.
- [4] Zhang, X. et al. Nano Lett. 2024, 24: 10796.
- [5] Pan, J. et al. NPJ Comput. Mater. 2020, 6: 152
- [6] Li, Y. et al. NPJ Comput. Mater. 2023, 9: 50.
- [7] Yang J. et al. J. Am. Chem. Soc. 2024, 146: 21160.
- [8] Yang J. et al. Adv. Funct. Mater. 2023, 2305731.
- [9] Yang J. et al. Adv. Funct. Mater. 2024, 2410240.
- [10] Zhang, X. et al. Chin. Phys. Lett. 2021, 38: 066801.
- [11] Deng, J. et al. Nano Lett. 2023, 23: 4634.

FC08-07

光化学能转换功能材料

杨化桂*

华东理工大学

人工光合成技术可实现太阳能到化学能的高效稳定转化，是助力“碳达峰、碳中和”目标实现的理想途径，其核心是光化学能转换功能材料。针对传统光化学能转换功能材料吸光范围窄、电荷分离效率低和表面催化反应速率低等关键科学问题，在高效捕光材料和助催化剂材料、原子尺度精确结构调控新方法以及光化学能转换新机制等方面展开研究，推动了光化学能转换效率的大幅提升。开创了捕光材料“活性晶面设计”这一重要突破性理念，发展了光催化材料的晶体结构设计和可控制备方法；通过对晶面结构、局域原子结构以及电子自旋结构的微观调控，有效拓宽了材料的光吸收范围并提升电荷传输能力；在国际上率先从原子尺度澄清了光解水表面活性位点的构效关系，发展了单向抑制水分解逆反应的PtO助催化剂、打破析氧反应线性关系的Rh0-Rh3+双功能助催化剂；近期又发展了一种固相合成晶面调控策略，通过固态前驱体再结晶可控制备暴露高活性{111}晶面的SrTiO3单晶光催化剂，实现了高效的

光解纯水制氢；借助自主搭建的原位核磁共振装置，在线描绘光解水产氢动力学过程，为研究固液界面质子耦合电子参与的界面反应历程提供了一种有效方法。

FC08-08

超越传统能源器件：从结构设计到 3D 打印加工

张楚虹*，何蕾娜，刘新刚

四川大学高分子研究所

新能源、电子通讯、生物医用、国防军工等高技术领域的发展迫切需要高性能多功能能源器件。然而，目前的能源器件以二维器件为主，结构、功能单一，能量和功率密度、力电转换效率受限。理论分析表明，实现功能的放大需要三维复杂结构，如：三维储能器件能利用 Z 轴空间，实现更高负载、更高能量与功率密度，具有大长径比的阵列结构和小模量的多孔结构三维俘能器件，可提高力电转换效率，但现有加工技术很难实现。本研究创新三维结构设计和 3D 打印加工技术，获得了传统加工方法难实现的高性能、多功能复杂结构三维储能-俘能器件：（1）建立了三维储能器件室温快速自修复、原位表界面工程等 3D 打印加工新技术，有效消除层间界面电阻，加快反应动力学，同时实现高能量/功率密度和高柔性，突破传统二维薄膜电池有限空间供能阈值；（2）创新设计并 3D 打印加工了“小应力到大应变”功能增强复杂结构三维压电俘能器件，解决了高性能三维复杂结构功能器件加工难题，突破目前二维脆性压电陶瓷薄膜局限，实现高效、智能力电转换，为二次电池、电子电器、智能传感等领域提供关键器件和技术。

FC08-09

高导热绝缘氮化硼纳米管控制制备研究

姚亚刚*

南京大学

氮化硼纳米管（BNNTs）是由硼和氮组成的一种双原子纳米管，由于其独特的高导热、高强度、电绝缘及化学稳定性好等特性，被认为是新一代热管理系统的核心材料。如何低成本、放量制备 BNNTs 以及进一步提高其复合材料的热传导性能在以后相当长的一段时间内仍是 BNNTs 基绝缘热管理材料研究领域的重点和难点。首先，需进一步厘清 BNNTs 的生长机制，从而设计高效的催化剂及前驱体源，实现 BNNTs 的控制制备，这是实现高性能绝缘热管理系统的材料基础；其次，如何将 BNNTs 高效组装并获得尽可能低的界面热阻（高热导率）是实现其在高性能热管理材料中应用的前提。围绕着这些科学与技术问题，南京大学姚亚刚课题组开展了系统深入的研究。

FC08-10

电解海水制氢

凌涛*

天津大学材料学院

清洁能源电解水制氢是最具前景的绿氢技术，但催化材料存在活性和稳定性差、对水纯度要求高等关键挑战，精准调控催化材料结构是提高催化性能的最有效途径。我们开发气相金属离子交换新方法，构建多种催化材料体系“宏观-微观-原子”跨尺度多级结构；调控电解水制氢材料活性晶面、晶格应力、缺陷和掺杂等表界面原子结构，揭示材料表界面原子/电子结构和催化性能之间关联，突破催化材料活性和稳定性限制；创造催化材料和电解液界面分子尺度的反应微环境，实现高效稳定的天然海水电解制氢。

FC08-11

一类有希望的合金：共晶高熵合金

卢一平*

大连理工大学

我国的下一代舰船、水下潜航器及两栖战车螺旋桨/推进器用材料需要高性能的金属合金材料。常用的铜合金材料的铸态强度满足不了使用要求，且合金密度较高抗海水腐蚀性能较差。而不锈钢材料铸造性能差，成分的宏观和微观偏析严重且机加工成本较高，传统的桨用材料，如铜合金和不锈钢的制备技术已达极限，铸态性能都达不到我国的下一代舰船、水下潜航器及两栖战车螺旋桨/推进器对轻质、高强、耐海水腐蚀等使用要求。由于螺旋桨/推进器形状复杂，体积较大，难以轧制和热处理，这对传统的铸态合金性能提出了极大挑战。

大连理工大学卢一平等提出了共晶高熵合金设计思想，开辟了共晶高熵合金这一新的研究领域和分支，属于从 0 到 1 的工作。共晶高熵合金思想提出，引领、推动了共晶高熵合金相关领域的研究，吸引了国内外 400 余个学术团队持续跟进、深化拓展，在学术界产生了重大影响，具有重要的理论研究意义和工业应用价值。有望满足我国的下一代舰船、水下潜航器及破冰船螺旋桨/推进器材料对轻质、高强、耐海水腐蚀等使用要求。

FC08-12

二维无机分子晶体

翟天佑*

华中科技大学

石墨烯等二维材料在层间由范德华力结合，层内由强化学键结合。与之完全不同，我们研究的二维无机分子晶体以无悬挂键的笼状小分子为结构单元，在三维方向上均通过范德华力结合。我们首先提出了二维无机分子晶体的新概念，发展了表面钝化的气相生长方法，实现了二维无机分子晶体 Sb₂O₃ 的可控合成；深入研究了无机分子晶体中强分子间相互作用的物理本质和起源，揭示了其对分子间电荷运输的显著影响；我们利用热蒸镀法制备了晶区级二维 Sb₂O₃ 范德华介电薄膜，通过减小载流子的界面散射并增大栅极电容，显著提高了二维晶体管器件的迁移率并大幅降低器件操作电压，为高性能、低功耗的二维电子器件的规模化集成提供了新的思路。我们关于二维无机分子晶体的系列工作不仅丰富了二维材料的概念，也在无机分子的性质以及器件应用研究方面打开了崭新的局面。

FC08-13

纤维表面分子工程和纤维功能化应用

刘旭庆*

西北工业大学

聚焦纤维表面分子工程，通过精准设计，包括共价键修饰、 $\pi-\pi$ 键相互作用、表面拓扑结构调控及二维材料复合等策略，在纤维表面成功构建了高效、稳定的催化活性体系。该催化体系为后续无电沉积金属及其氧化物提供了理想的平台，实现了对纤维表面组成与结构的精确控制。基于此技术，成功制备了多种功能性纤维。功能化纤维在柔性可穿戴电子设备（如传感器、能量收集/存储器件）及高性能纤维增强复合材料（界面强化、多功能集成）领域展现出显著的应用潜力，为智能与多功能复合材料的开发提供了新途径。

FC08-14

柔性力学传感和量子隧穿效应

李卓*、石澜、武利民

复旦大学

柔性力学传感器能够实现压力、应变及剪切力等多维力学信号的精确感知，在健康监测、虚拟现实(VR)/增强现实(AR)、智能运动装备及柔性机器人等领域展现出重要应用价值。目前柔性电阻型应变传感器主要基于三种工作机制：渗流机制（导电通路断裂导致电阻率变化）、接触电阻机制（导电填料接触面积减少引起电阻上升）以及裂纹扩展机制（导电裂纹网络分离造成电阻突变）。尽管这些机制已实现较高灵敏度，但仍面临传感线性度差、材料透明度低以及阵列集成密度不足等关键瓶颈问题。相较之下，基于量子隧穿效应的新型传感机制虽具有突破现有性能极限的潜力，却鲜见系统性研究报道。

量子隧穿效应的物理基础可追溯至微观粒子的波粒二象性。根据经典物理理论，电子仅当其能量超过势垒高度时方可穿越势垒；而量子力学表明，电子波函数在势垒区域呈指数衰减分布，存在非零穿透概率。1928年Fowler-Nordheim理论揭示：强电场作用下，势垒形状由矩形畸变为三角形势阱，显著降低有效势垒高度（即场致发射效应），这使得宏观尺度下的量子隧穿成为可能。传统导电复合材料中观察到的隧穿效应通常局限于纳米尺度，原因在于电子波函数在势垒宽度超过数个原子间距后呈指数级衰减。因此，如何在传感体系中构建稳定的场致发射条件，是实现大范围高灵敏度量子隧穿传感的核心科学问题。

本报告将系统阐述团队在量子隧穿传感领域的三项研究：（1）构建基于垂直排列碳纳米管(VACNTs)/聚二甲基硅氧烷(PDMS)的场发射型压力传感器，通过PDMS介电层厚度调控实现势垒高度的动态调制，获得当时最高的灵敏度和检测精度；（2）设计具有各向同性场增强特性的空心碳纳米刺球，其表面分布的尖锐SP²碳突起可在多方向产生电场集中效应，所构建的PDMS复合传感器阵列的单元密度（60 units/cm²）达到人类触觉神经的6倍；（3）开发浮动自组装-激光烧蚀协同工艺，实现纳米刺球的液面定向组装，制备出兼具高灵敏度（应变系数GF=7×10⁴）与高集成度（100 units/cm²）的可拉伸传感阵列，并进一步建立原位应变场动态映射系统，实现微应变场的实时可视化监测。

此项技术平台不仅突破了现有柔性传感器的性能极限，其普适性设计原理更可拓展至温度、老化、湿度等多物理场传感领域，为发展新一代智能感知系统提供了全新范式。

FC08-15

类神经界面材料与器件

杜学敏*

中国科学院深圳先进技术研究院

植入式生物电子技术因对失明、耳聋、帕金森、抑郁症等神经系统疾病疗效显著而备受关注。然而，现有植入式生物电子器件的核心神经界面材料与神经组织在功能和结构性能上存在显著差异，导致严重的界面失配问题，进而引发免疫排斥反应和信号传递障碍。针对该重大难题，我们通过仿生神经元的功能与结构特性，设计并构建了具备独特极化生电功能和复杂拓扑形貌的类神经界面材料与器件。在此基础上，我们进一步提出“分子-微纳-宏观”多尺度界面协同调控策略，实现了类神经界面器件与神经组织的高效界面适配。最后，我们验证了类神经界面材料与器件在神经调控方面的功能效果。基于上述研究，我们还探索了类神经界面材料与器件在神经系统疾病治疗中的潜在应用前景。

FC08-16

基于人工光学非线性的太赫兹超材料

文永正*

清华大学

非线性光学是现代光学的核心之一，但是受限于自然非线性材料中不清晰明确的物理过程，光学非线性几乎无法实现人工的按需设计，极大影响了相关技术领域的进一步发展。本报告将介绍利用超材料结构耦合，实现的一种人工光学非线性及其在太赫兹谐波产生和光电探测方面的应用范例。与自然非线性不同，人工非线性无需特殊的自然非线性材料参与，即可实现包括二次谐波产生和光电转换在内的多种非线性效应，而且通过改变超材料结构，可以对非线性特性实现超高自由度的人工设计和操控。进一

步的，我们针对自然非线性材料的“太赫兹间隙”问题，利用人工光学非线性进行探索，成功在室温产生了太赫兹二次谐波信号，且具有极高的等效二阶非线性系数；实现了非制冷超快太赫兹光电探测，达到微秒级响应。相关研究成果，有望给非线性光学、太赫兹技术和超材料领域带来一系列新的研究和应用可能。

FC08-17

宏观超分子组装及其应用

石峰*

北京化工大学

宏观超分子组装，是指在十微米以上的构筑基元表面，通过表面化学修饰引入超分子识别基团，再利用界面组装构筑超分子材料的过程，为体相超分子材料的制备提供了新的思路。一方面，宏观超分子组装的研究可以通过借鉴天然超分子材料，发展新型功能材料；另一方面，宏观超分子组装的研究能为阐释材料科学领域广泛存在的界面-界面相互作用提供理想的模型体系，有助于我们理解相关的界面作用机制。围绕如何实现高效、精准的宏观超分子组装的问题，从界面变形能力对组装行为影响的角度，提出有高柔顺性表面是宏观超分子组装中构筑基元的设计原则。进而，通过宏观超分子组装构筑了异质材料的三维有序结构，解决了异质材料在三维空间高效复合的难题，拓展了超分子组装的适用范围。

FC08-18

催化材料活性调控与应用

邓意达*

海南大学

发展高效电化学能源器件对于推动绿色能源发展和实现碳循环具有重要意义。但目前大多数器件性能仍无法满足应用需求，其关键在于核心电催化材料的性能不足。催化过程本质在于反应物种在活性位点上的吸、脱附与重构，通过优化材料组成、结构与电子特征，从而调控活性位点对于反应中间体吸附、杂化特性，可以有效优化反应路径并提升反应性能。因此，解析电催化材料表面活性位并构建其与性能的构效关系，是研发高性能催化材料的关键。

FC08-19

人造黑色素材料

李乙文*

四川大学

黑色素是一类能在人和动物自我防护机制中起到关键作用的生物大分子材料，通常由二羟基吲哚单体在黑色素细胞中聚合生成。近年来，科学社会对黑色素的潜力充满期待，希望能在提升其关键性能的前提下满足高端制造的需求。然而，目前黑色素材料研究的主流方法还是在构效关系的基础上进行功能优化，进展比较缓慢。我们针对此难题，不拘泥于全面理解材料的复杂结构，建立黑色素研究平台，从大分子材料最基本的电子效应、空间效应和配位效应出发，突破天然黑色素胞内合成的种种限制，成功实现了对材料关键性能的有效提升。我们进一步利用这些新概念黑色素材料替代传统的高黑度（如聚苯胺、炭黑等）、防光（如钛白粉等）和抗氧化（如亚磷酸酯等）原料设计新型产品，如安全高效的防晒和染发产品，耐弯折哑光覆盖膜和超黑隐形涂料等，来推动航天、信息和大健康领域的产品升级。

FC08-20

弛豫铁电体：从学术研究到压电器件

李飞*

西安交通大学

弛豫铁电体（例如： $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$, PMN-PT），具有优异的压电、介电、光电等物理效应，在医疗超声成像、工业无损检测、精密驱动等领域有着重要的应用价值。本报告将介绍课题组在弛豫铁电单晶与陶瓷方面的研究工作，包括：高压电效应的起源、电畴结构调控、压电性能优化等。同时，报告还将探讨新型压电材料从学术研究到器件应用中可能存在的一些问题，以及报告人在新型压电材料成果落地方面的思考。

FC08-21

散射型光学奇异点超材料的超灵敏无标记光学生物传感

白洋*

北京科技大学

无标记光学生物传感器以光信号为探测手段，可以对生物分子进行快速、灵敏检测，在疾病诊断、药物研发以及环境监测等方面都有重要应用前景。传统无标记光学生物传感器通常基于表面等离子体共振和局域表面等离子体共振这两种机理，具有灵敏度不足、功能单一等缺点，难以满足日益复杂的现实生活需求。超材料作为一种人工复合材料/结构，能够在亚波长尺度精细调控电磁近场分布，产生丰富电磁模态，增强光与物质交互作用，可以极大提高无标记光学生物传感器灵敏度，是研发下一代高性能生物传感平台的重要方案之一。本研究通过金属-电介质多层膜超材料结构，在近红外波段构建二阶散射型光学奇异点，实现超材料生物传感器系统特征值劈裂量与外部微扰的根号依赖关系，在极小微扰时表现出优于传统光学生物传感器的灵敏度。而且，通过对薄膜层数以及厚度进行设计，可增强奇异点处超材料的光谱非对称因子，放大系统的特征值光谱响应，进一步提高光学生物传感灵敏度。在生物素-链霉亲和素的特异性吸附实验中，对于链霉亲和素的最优检测极限能够达到 $<1\text{aM}$ 的超高灵敏度，优于绝大多数生物传感器；在乳腺癌标志物 ErbB2 的特异性检测中，实现单分子检测的灵敏度。

FC08-22

半导体功能纤维

王刚*

东华大学材料科学与工程学院&先进纤维材料全国重点实验室

半导体聚合物材料的突破性进展为新一代智能纺织品的发展提供了关键材料基础，正在深刻变革可穿戴电子设备和植入式医疗器件的发展范式。针对高维半导体材料在一维纤维化过程中面临的半导体特性衰减这一关键科学挑战，本报告将主要介绍微流体剪切场诱导半导体纤维纺丝的创新性技术，通过精确调控纺丝过程中的流体动力学参数，实现了对纤维内部多组分分布、异质界面特性以及分子取向结构的精准调控。开发了面向曲面纤维基底的微纳光刻工艺，成功在纤维基底上制备了二极管和晶体管等高性能电子器件。此外，本工作进一步提出的“光刻-编织”、“拓扑-编织”等半导体纤维协同制备方法，为虚拟现实拓触觉纺织品和智能保健服装等应用提供了新的技术路径。

参考文献

[1] Fengqiang Sun, Hao Jiang, Haoyu Wang, Yueheng Zhong, Yiman Xu, Yi Xing, Muhuo Yu, Liangwen Feng, Zheng Tang, Ping Song, Jun Liu, Hengda Sun, Hongzhi Wang, Gang Wang, Meifang Zhu. Chem. Rev., 2023, 123(8): 4693.

[2] Yi Xing, Mingjie Zhou, Yueguang Si, Chi-Yuan Yang, Liang-Wen Feng, Qilin Wu, Fei Wang, Xiaomin Wang, Wei Huang, Yuhua Cheng, Ruilin Zhang, Xiaozheng Duan, Jun Liu, Ping

Song, Hengda Sun, Hongzhi Wang, Jiayi Zhang, Su Jiang, Meifang Zhu, Gang Wang. Nat. Commun., 2023, 14: 2355.

[3] Gang Wang, Liang-Wen Feng, Wei Huang, Subhrangsu Mukherjee, Yao Chen, Dengke Shen, Binghao Wang, Joseph Strzalka, Ding Zheng, Ferdinand S. Melkonyan, Jinhui Yan, J. Fraser Stoddart, Simone Fabiano, Dean M. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 2020, 117: 17551.

FC08-23

钙钛矿超薄膜铁电金属

李桃^{*1}、杨玉荣²、闵泰^{1,2}

1. 西安交通大学
2. 南京大学

铁电性与金属性传统上被认为是互不相容的物理现象，主要由于金属中的自由电子会屏蔽稳定长程极化有序所必需的库仑相互作用。自从 1965 年 P. W. Andersen 和 E. I. Blount 首次提出了铁电金属的概念后，钙钛矿体系的实验研究仍停留在极性金属的阶段，其铁电性的关键性质，即外电场引起的极化翻转，仍未得到实验证实。基于以上背景和问题，我们在外延生长的 (001) 取向 NdNiO₃ 超薄膜中实现了铁电性与金属性的共存。这些薄膜在室温下表现出类似费米液体的电输运行为，证实了其金属性。我们同时通过电学和光学手段测得剩余极化、矫顽场以及居里温度等铁电材料的标志性特征，均表明其具有稳定的铁电性。第一性原理计算表明，(001) 取向 NdNiO₃ 中铁电性的产生源于 Ni 离子之间在特定层内形成的类棋盘式的电荷有序结构，这种结构可降低极化翻转的能垒，有利于极化序与金属导电性的共存。该工作确立了 NdNiO₃ 作为金属铁电体的潜力，为新一代高耐久性、快速响应的非易失性存储器及量子器件提供了重要材料平台。

FC08-24

纤维催化材料设计与器件

杨建平*

东华大学

柔性功能材料比传统功能材料具有更好的复合性、可塑性、延展性和柔韧性，和优异的电、光、力、磁等多功能耦合特性，在光/电催化、智能电子、可再生能源、航空航天等诸多关键领域具有广泛应用前景。开发柔性功能性新材料体系可以解决高端制造、极端环境和重大工程中很多的关键瓶颈问题。纤维作为典型的柔性材料具有表面可功能化、可加工性等特点，结合功能组分后在微纳器件制造、传质等方面具有显著优势，促进了其在电催化等领域中的应用，并有望突破绿色循环催化、未来智能能源、太空探索、深海探测等应用。

一维纤维材料由于其优异的机械强度、大的表面积、高的电导率、成分/形态可调性和结构稳定性成为在硝酸盐催化还原领域的理想的催化剂载体。然而纤维催化剂面临合成工艺复杂、活性位点暴露不足、催化稳定性差等问题。因此我们基于一维纤维结构的优势，对活性物质组分调控、纤维基体结构设计以实现硝酸盐的高效转化。首先针对活性位点暴露不足和分布不均匀的问题，我们开发了一种在纤维 (NFs) 基底上有序分布金属纳米晶体 (NCs) 的界面组装通用策略。通过溶剂蒸发诱导组装 (SEIA) 使 NCs 沿着 NFs 表面实现强相互作用和有序排列，由此通过暴露更多的活性位点和促进质量扩散实现催化性能的提高。针对活性位点稳定性差以及活性位点本征活性不足的问题，利用纤维基的约束工程和合金化策略，开发了氮掺杂的多孔碳纳米纤维 (FeCo-NPCNF) 限制的 FeCo 合金催化剂。双金属接力催化表现出连续的活性位点，分别作用于速率决定步骤 (RDS) 中 *NO₃ 向 *NO₂ 的转化和选择决定步骤 (SDS) 中 *NO 向 *N 的转化提高了

性能。系列工作将对构建和设计具有丰富的可达活性位点和高效的质量扩散能力的无机纤维电催化剂提供理论和技术支持。

FC08-25

新型能源电催化材料与器件

韩晓鹏*

天津大学

本报告将聚焦与电催化相关的氢/金属-氧燃料电池的研发，因其具有能量密度高、绿色环保等优势而备受关注。其中，发展廉价高效金属基催化材料是实现高性能电池器件规模应用的关键。围绕新型高效过渡金属基能源电催化材料方面取得了系列创新成果，分为三个方面：①解析了过渡金属基材料的催化活性位结构并阐明了催化机制，进而设计研发了新型廉价、高效的锰/钴基电催化材料，获得了媲美商用贵金属材料的氧还原/氧析出单功能催化活性；②发展了增强金属活性位点本征活性的界面耦合和原子级调控策略，提出了双金属中心协同催化机制，建立了活性位结构-热力学势垒-催化性能的映射关系，材料双功能催化活性是文献报道的最高水平之一；③揭示了金属催化活性位原位羟基化的动态演变规律，提出了在材料表面构筑保护层锚定金属活性位点的策略，阐明了金属单原子位点桥连耦合的稳定机制，显著提升了材料催化稳定性。基于以上成果，积极推进技术转化，校企联合搭建了产学研平台，突破了高性能催化材料的公斤级宏量制备技术，研发的高比能、长续航水系金属空气电池和二次锂金属电池系统在应急备用、单兵电源和无人飞行器等不同场景下开展了应用验证与示范。

FC08-26

静电驻极体的动态界面电荷跃迁机制与健康传感应用

陈翔宇*

北京纳米能源与系统研究所

发展微纳米尺度的能源系统从周围环境中自行收集能量，并且以此实现多功能的自驱动传感与微机械系统，具有重要的实用价值。报告内容聚焦于利用静电驻极体实现的微能源与功能化传感，着重介绍主动式微纳米系统以及可穿戴智能器件等方向的研究。我们基于电子云重叠和量子势阱的物理模型，研究了静电驻极界面的静态和动态接触过程中原子尺度的电子转移现象，揭示了聚合物驻极体材料的分子结构和官能团组成对驻极电荷稳定性的作用机制，进而提出一套完整的制备高性能静电聚合物的加工工艺和极化方法，最终实现了目前具有最高面电荷密度的静电驻极体薄膜，制备了高输出特性的微能源和力电传感器件。我们基于之前压电陶瓷驱动器的研究，将力电传感和微能量回收的研究拓展到以介电弹性体材料和电介质薄膜材料为主的柔性器件方向，制备了多种柔性传感系统和仿生肌肉器件，在健康监控，术后肌肉恢复等领域的实现了多个自驱动功能系统的应用拓展。

FC08-27

基于界面浸润性原理的一维传感器件制备

姜翔宇*

北京航空航天大学

在第四次工业革命浪潮的推动下，全球传感器市场规模预计在 2025 年突破 3000 亿美元，其中微纳传感器在环境监测、工业物联网和生物医药等领域的应用呈现爆发式增长。当前，传统传感器在灵敏度、响应速度及集成度等方面已难以满足智能检测系统的严苛要求，其性能瓶颈主要源于传感材料的结构局限性。要进一步提升传感器的灵敏度、响应速度、小型化程度以及可集成程度，就需要对传感材料进行微观图案化，目前的材料图案化方法均存在诸多问题，例如成本高昂、加工精度低、结构无序等。为解

决以上痛点，本课题组开发了一种基于浸润性原理的液桥诱导自组装技术，在过去的工作中成功研制出一系列创新性微米线阵列传感器，包括有机蒸汽传感器、磁场传感器以及阵列式光电器件。其中，基于浸润性原理图案化的 AIE 分子微米线阵列传感器具有极大的比表面积，表现出卓越的稳定性和灵敏度，能针对性地对各类有机蒸汽进行高效识别和快速响应。这一突破性工作不仅丰富了聚集诱导发光材料在传感应用领域的理论基础，而且为高性能、多功能化学传感系统的构建提供了全新的技术和方法，为智能传感系统的微型化、集成化发展提供了创新解决方案。这些突破性进展彰显了本团队在功能材料设计与器件工程领域的核心竞争力。

FC08-28

金属空气电池正极材料界面设计与电堆开发

郑学荣*、黄文杰、邓意达

海南大学

发展先进储能技术对于推动我国可再生能源高效利用和实现“双碳”目标具有重要战略意义。金属空气电池具有理论能量密度高（比锂离子电池高 2-3 倍）、水系电解液本征安全等突出优势，在储能领域极具应用潜力。其中，发展高效非贵金属基（Fe、Co、Ni 等）正极材料是提高电池工作效率、降低储能成本的关键。但由于其电子构型不合理导致对氧中间体的吸附力过强，造成充、放电过程中氧析出和氧还原催化反应动力学缓慢。通过掺杂、空位等短程缺陷对金属位点电子结构的调控范围在零维方向仅为 1-2 个原子层，而界面效应可在二维方向调控至离界面的 5-6 个原子层，是宏观调控材料电子结构和催化性能的有效方式。基于此，申请人以镍钴基正极材料的界面效应为核心，提出了镍钴基复合材料强耦合同源异质界面的结构设计与构筑理论，发展了材料的界面密度和界面应变连续精准调控策略，阐明了界面间的耦合效应、几何效应和应变效应对提升材料本征活性和稳定性的增强机制，开发出高效、长寿命的镍钴基正极材料和金属空气电池电堆系统。

FC08-29

基于低维柔性半导体的电子信息与能源环境交叉技术

陶立*

东南大学

本报告主要介绍低维半导体材料与器件的界面精准构筑与光电物理与化学性能协同调控的研究进展。首先，发现并阐明了零维宽禁带氮化物半导体表面态调控光电性质的新机制，通过表面钝化与氨基化程度协同调控策略刷新了可见光波段表观量子效率纪录。其次，揭示了宽禁带半导体中光诱导质子传输机制及其对提升光辅助储能器件稳定性的决定性作用，通过调节质子反应路径将循环寿命提高了一个数量级，为现有文献报道的新纪录。借鉴以上光电材料物理与化学性能调控研究，实现了基于二维柔性半导体的自供电无线通信-智能感知耦合器件的异质集成；实现了智能感知（分子检测限<50 ppb、360-940 nm 宽带光电探测）、GHz 射频通信功能以及光电转化自供电（输出功率 3 mW）一体化。相关工作探索了低维半导体材料和器件的表界面精准构筑及其信息能源交叉与耦合器件，为未来集成电路、无线通信、人工智能等前沿领域提供了新材料和新器件基础。

FC08-30

等离子球磨制备二维材料及改性粉体表面

欧阳柳章*

华南理工大学

传统球磨技术通过机械能对粉体进行合金化和破碎，其效果受到多种因素的影响，包括研磨时间、球料比、磨球种类与大小、样品性质以及研磨方式等。在球磨过程中，磨腔内的粉体受到磨球的撞击和剪切作用，从而实现能量输入。然而，粉体整体的能量接收效率相对较低，导致生产效率低下、周期较长，并且样品易受到杂质污染等缺陷。高能球磨在研磨效率、操作便捷性、安全性和维护保养等方面展现出显著优势，但单一的机械能难以有效诱发材料的活化、相变及反应，并且对材料的体相和表面结构的精确控制存在一定限制，因此在高研磨效率要求严格的实验领域应用受到限制。

近年来，利用外加能场将其他物理能引入球磨过程已成为高能球磨的发展趋势。通过将机械能与外加物理能复合应用于粉体，不仅可以加速粉体的反应活性、细化组织，还能促进机械合金化进程，从而显著提升二维材料的制备和粉体表面改性的加工效率。

等离子球磨技术在传统球磨的基础上，结合介质阻挡放电的等离子体，创新性地引入到球磨系统中。通过在设计的放电电极上施加足够高的交流电压，形成介质阻挡放电，击穿电极间气体后生成均匀、弥漫且稳定的低气压辉光放电过程，进而构建出大量细微的快脉冲放电通道，产生丰富的冷场等离子体。该技术实现了材料合成过程中的“电-热-力”多场耦合，显著加速了粉体的反应细化或合金化，提升了球磨效率和效果。

等离子球磨技术不仅能够制备少层石墨烯、黑磷烯，还在表面改性方面显著提升了粉体材料的反应活性，促进了表面层原子扩散等合金化过程。此外，该技术可在各类粉体材料表面构筑功能涂层和催化修饰，广泛应用于硬质合金、储氢合金、锂离子电极材料、导热材料、氧化物陶瓷、缺陷材料、电催化剂、红外/吸波隐身材料及 3D 打印材料等功能材料的合成与表面改性。同时，等离子体球磨还利用等离子体场下的高效气-固、固-固反应特性，合成碳化物、氮化物及碳氮化物，并可在不同介质作用下原位形成钛基、镁基和铝基等粉体表面的惰性层和保护层。值得注意的是，表面形成的氮化物和碳化物能够提高 3D 打印粉体材料在空气中的稳定性，同时作为 3D 打印件材料的增强体，提升打印件的力学性能和耐磨性。

FC08-31

单相合金与陶瓷中的晶格畸变效应

吴正刚*

湖南大学

晶格畸变可通过与位错应力场的相互作用来强化/硬化高熵合金 (HEAs)，因此丰富的位错行为成为晶格畸变能有效发挥强化作用的核心和前提。相较而言，高熵陶瓷 (HECs) 缺乏 HEAs 中丰富存在的位错。从这个角度来看，存在一个根本性问题：“晶格畸变在高熵陶瓷 (HECs) 中的作用是什么？”实际上，大量位错行为的缺失阻碍了 HECs 中宏观塑性的发生，从而导致其呈现出显著的本征脆性。基于此，本研究的主要目标是通过选取高熵陶瓷体系中的一种代表性材料——高熵二硼化物 (HEB)——来初步回答上述问题。研究发现，晶格畸变会加剧 HEBs 中化学键的弱化，从而导致软化和增韧现象的发生。

FC08-32

Strong and ductile multifunctional high-entropy materials

Zhiming Li*

Central South University

Multi-principal element high-entropy materials (HEMs) have attracted great interest owing to their considerable potentials for achieving unprecedented properties in their practically infinite compositional space. Apart from exceptional mechanical properties such as high strength and good ductility, it has been shown that excellent magnetic, electrical and thermal properties can also be involved in HEMs via compositional and microstructural design. In this talk, we will present the unique combinations of multiple functions and even mutually exclusive properties that we have successfully achieved in recently developed multicomponent HEMs. The multiple functions include high strength, good ductility,

electrical resistivity, soft magnetism, low thermal expansion (Invar), resistance to corrosion and hydrogen embrittlement. The associated design strategies will be clarified and some potential directions for further developing multifunctional HEMs will also be briefly discussed.

FC08-33

结构化液体理论、方法及应用

李晓光*、庞祥龙、刘恒

西北工业大学

液态物质因其流动性而无法像固体一样自由塑形，从而严重制约了液体功能材料的发展。本研究团队基于界面微纳工程原理，创新性地构建了具有稳定三维构型的结构化液体材料体系，突破了传统液态体系无法自由塑形的科学难题，为发展新型软物质功能材料开辟了全新路径。所构筑的结构化液体具有独特的开放式容器功能，既突破了传统固体容器的封闭性和难以重构性，又突破了常规液滴体系的形态单一性，因此具有独特的应用潜力和广泛的前沿探索价值。本报告将具体阐述以下三方面内容：1) 基于“界面堵塞”效应的结构化液体理论框架；2) 压印法、双液桥法、激光切割法等结构化液体构筑方法；3) 基于结构化液体容器的肿瘤培养、肿瘤检测、肿瘤体外治疗模型等应用验证。

FC08-34

高性能硬碳负极材料的设计准则与应用

刘继磊*

湖南大学 材料科学与工程学院

炭基材料作为碱金属离子电池的关键负极组分，优化其可逆容量和动力学行为对于提升电池的能量密度和倍率特性至关重要。其核心在于厘清能源炭材料结构参数、物化特性等影响碱金属离子脱嵌动力学行为、存储机制的作用规律，构建新一代高性能碳基负极材料设计的理论基础。针对能源炭材料微观结构复杂、表面化学特性多样的难题，通过发展超高温温控脱附技术和多种表界面表征技术，结合中子小角衍射、多原位谱学电化学表征和理论计算，阐明了结构参数、表面物化特性影响碱金属离子脱嵌动力学行为的作用机制，建立了硬碳、快充石墨等负极材料倍率特性快速评估方法；揭示了不同碱金属离子在硬碳负极材料中的存储行为与机理，提出了高性能硬碳负极材料设计的准则；发展了炭基模板适度交联技术，构建出超高容量硬碳负极材料。

FC08-35

一体化电极材料及 AEMWE 制氢

余强敏*

清华大学深圳国际研究生院

氢能 (H_2) 是一种零碳排放的清洁能源载体，可通过可再生能源驱动的电解水技术制取，对实现全球碳中和目标具有重要意义。电解水技术虽能实现大功率制氢（电流密度可达 2000 mA cm^{-2} ），但面临稳定性差、成本高和效率低等瓶颈问题。开发制氢电极材料是实现高效电解水制氢的关键，高性能电极的核心挑战在于如何在大电流密度下同时实现高效率 and 长寿命制氢。本报告将重点介绍新型一体化电极材料及高效电解水制氢，报告涵盖其设计策略、制备方法及其制氢性能研究。此外，我们成功实现了一体化制氢电极材料在工业条件下的高性能电解槽示范应用，有望为波动工况下的绿电制氢提供材料和技术支撑。