

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

D17-智能传感功能材料与器件
D17-Smart Sensing Functional
Materials and Devices

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D17. 智能传感功能材料与器件

分会主席：毛昌辉、赖占平、耿延候、付振晓、魏晓勇、杨志民

报告

D17-01 (Keynote)

智能社会对传感技术和材料的发展需求展望

毛昌辉^{1,2}

1. 中国有研科技集团有限公司
2. 智能传感功能材料全国重点实验室

D17-02 (Invited)

磁电复合导电材料和器件

黄显

天津大学

钕铁硼微米颗粒因其高磁能积与强剩磁特性,成为构建柔性磁性薄膜及功能器件的理想材料。然而,开发高性能柔性磁器件需克服两大挑战:柔性薄膜厚度受限导致的磁性强衰减,以及钕铁硼颗粒的固有低导电性。本报告提出通过薄膜结构化磁路设计实现磁场定向增强,成功将 500 μm 厚度磁性薄膜的表面磁感应强度提升至 60 mT 以上,并实现磁场方向的可控分布。基于该薄膜构建的柔性机电系统(如磁悬浮离心泵、磁悬浮振动传感器等),可进一步应用于人工心脏、穿戴式 ECMO 等小型化诊疗设备。此外,通过对磁性颗粒表面进行导电纳米颗粒修饰,可制备兼具磁性与导电性的多功能复合材料。借助磁场诱导自组装技术,此类颗粒能在三维空间中精准排布,形成具有显著压阻效应的导电微架构。由此构建的柔性触觉传感系统,其性能显著超越人体触觉感受器,具备多参数测量与多维力感知能力。结合人工智能技术,该系统可实现通道数量动态配置及多通道信号特征识别,有望成为可大规模普及的新一代触觉传感方案,服务于具身智能技术发展。

D17-03 (Invited)

高性能隧穿磁阻传感芯片及其在智能感知领域的应用研究

胡忠强^{1,2*}, 关蒙蒙^{1,2}, 苏玮^{1,2}, 鲁琦^{1,2}, 王志广^{1,2}, 刘明^{1,2}

1. 精密微纳制造技术全国重点实验室
2. 西安交通大学电子科学与工程学院

磁传感芯片可用于电流、角度、转速、位置等多种物理量的非接触式检测与计量,在智能感知领域具有广阔的应用前景。本团队系统开展了高性能隧穿磁阻(TMR)磁传感芯片的仿真设计、材料优化、微加工工艺、芯片测试及应用研究。采用微磁模拟方法,研究了低磁滞 TMR 涡旋畴的成核机理,分析了自由层尺寸、厚度、各向异性材料参数与灵敏度、成核场、湮灭场之间的关联关系;利用复合自由层诱导的磁涡旋畴结构及微加工工艺,制备出高灵敏、低磁滞、抗强磁冲击的 TMR 磁传感芯片;基于自研 TMR 芯片的特性,设计了适配不同应用场景的传感器后端信号调理电路,实现了 mA 至 kA 级交直流电流信号的高精度检测;研制出-3dB 带宽覆盖 DC-50MHz 的超宽频电流传感器,开发了基于环形 TMR 芯片阵列的自供能电流传感器模组,并在电力智能感知及线路故障监测等领域开展了应用验证。

D17-04 (Invited)

室温化学电阻式气体传感器材料的超分子制备

常江楠, 范逸飞, 吴优, 李皓, 王耀*

华南师范大学

呼气检测是一种无创式疾病早筛和诊断的前沿技术。人体呼气中的特定气体与某些疾病密切相关^[1],我们通过设计制备“分子桥”和构筑仿生微纳结构两条路径,利用二维材料和超分子自组装技术制备高

性能室温化学电阻式气体传感器材料,并面向呼气疾病标志物检测进行应用研究。其中,呼气一氧化氮(NO)是哮喘等呼吸道炎症疾病的标志物,其浓度升高直接反映气道炎症程度。我们以四羧基苯基铁卟啉(TCPP(Fe))和氯化铝为原料,通过一步溶剂热法制备了片状铁卟啉 MOF-石墨烯复合材料(S-AITAG)用于 NO 室温传感^[2]。基于 S-AITAG 的传感元件在室温下对 10 ppm NO 表现出高响应($R_a/R_g = 8.349$)、快响应/恢复速率(80 s/20 s)、低实际检出限(10 ppb NO)以及排除其他呼出气体而对 NO 的良好选择性。醛类分子是肺癌早期诊断的关键标志物之一,我们发展了一种绿色的“冰融化诱导冷冻干燥(IMIL)”技术,高效制备尺寸可调的功能化石墨烯空心球材料,通过在石墨烯空心球上负载铂纳米颗粒获得高性能室温甲醛传感器材料^[3]。基于 IMIL 技术的室温甲醛传感器检测下限低至 5 ppb(十亿分之五),响应与恢复时间仅为 4.9 s,性能达到同领域甲醛传感器领先水平。二氧化碳(CO₂)是监测呼吸功能异常及代谢性疾病的重要指标等。我们通过超分子组装将客体小分子 3,4,9,10-花四羧酸(PTCA)封装到主体结构中,构建了一种 MOF-基离子传导型 CO₂ 传感材料 γ -CD-MOF@PTCA^[4]。所制备的复合材料具有高灵敏度($R_g/R = 2.88, 1000 \text{ ppm}$)、低实际检测限(1 ppm CO₂)等优异传感性能,并在肺癌患者和健康受试者呼出 CO₂ 的检测中,对肺癌患者的呼气 CO₂ 响应均值比健康受试者的高 16.99%,有望为肺部疾病的无创诊断提供辅助医用信息。

参考文献:

- [1] Popov, T.A. et al., *Ann. Allerg. Asthma Im.*, 2011, 106, 451-456.
- [2] Yao Wang et al., *Small*, 2025, 2411264.
- [3] Yao Wang et al., *J. Am. Chem. Soc.*, 2025, 147, 3478-3487.
- [4] Yao Wang et al., *Chem. Eng. J.*, 2024, 493, 152633.

D17-05 (Invited)

基于纳米金线的柔性传感器件

龚舒

中南大学

可穿戴电子领域最重要的任务之一是设计本征可拉伸的导体材料,以完成生物医学器件从目前的刚性系统到可穿戴的柔性系统的转变,最终实现电子器件与生物体的无缝连接,助力下一代生物医疗监测与互联。一维(1D)纳米金线因其具有高长径比、高导电性能、高透光性能以及优异的生物相容性,是构建本征可拉伸生物电子器件的理想材料。我们基于金纳米线为多功能生物传感构建了一个超薄的电子纹身平台,通过与人工智能技术深度结合,对包括小分子、细胞、类器官以及人体等多维度生物系统实现了无缝、即时、长期监测。

D17-06 (Invited)

Co-ZnO 纳米复合薄膜的气敏特性及磁电阻性能研究

张亦文^{1,2*}, 马艳玲¹, 吴忠¹, 秦真波¹, 季惠明¹, 刘新军³, 胡文彬¹

1. 天津大学材料科学与工程学院, 先进陶瓷与加工技术教育部重点实验室

2. 天津大学, 智能传感功能材料全国重点实验室

3. 天津大学理学院, 天津市低维功能材料物理与制备技术重点实验室

基于对电子设备体积和功耗的控制,小型化和多功能薄膜传感器已成为主要发展趋势。薄膜的磁阻性能和气敏特性基于电子传输特性的电阻值随施加信号(气体类型、磁场强度)变化而变化。通过这两种特性之间的相互作用,可以实现多功能传感特性的集成,改变传统传感器的激励响应模式。作为传统的气敏半导体材料,ZnO 具有较好的气敏性能。同时,ZnO 半导体由于具有高结晶度和合适的带隙宽度(3.37eV),已成为纳米复合磁电阻薄膜的优异基体材料。近年来,Co-ZnO 纳米复合薄膜体系已经实现了高室温磁电阻性能。我们以该材料体系为研究对象,开发了一种集气敏和磁敏于一体的新型多功能传感材料。本研究采用磁控溅射法制备了 Co-ZnO 纳米复合薄膜。通过调节 Co 靶的溅射功率来控制薄膜的成分,并研究了其对薄膜微观结构和气敏性能的影响,在 Co-ZnO 纳米复合薄膜中实现了磁阻和气敏性能的集成。该结构设计有望实现纳米尺度的耦合增强新型传感材料及器件的制备。

D17-07

改性 MXene 纳米填料显著提升 TPU 基传感材料介电常数

刘娅静, 乐恢榕*

清华大学

柔性高介电材料在柔性传感、电磁屏蔽和电致驱动等领域具有重要应用。热塑型聚氨酯 (TPU) 作为一种成本低、机械性能好且具有生物相容性的柔性介电材料, 因其本征介电常数较低 (11.02), 限制了其在柔性电子相关领域的应用。目前, 关于提高 TPU 基材料介电常数的研究较少, 且提升效果有限。本研究旨在通过添加特定纳米填料来显著提高 TPU 基材料的介电常数, 以拓展其在柔性电子相关领域的应用。本研究创新性地采用十二烷基三甲基溴化铵 (DTAB) 功能化的 MXene (MXene@DTAB) 纳米填料, 该填料通过特定的化学修饰, 有效改善了 MXene 在有机溶剂中的分散性, 并促进了其在 TPU 基体中的均匀分布, 从而显著提升了材料的介电性能。实验结果表明, 含有 8wt% MXene@DTAB 的复合材料在 1kHz 时介电常数高达 161.91, 几乎是纯 TPU 的 14 倍。这一介电常数的显著提升, 远高于目前其他同类研究中 TPU 基复合材料的介电常数提升效果, 充分证明了 MXene@DTAB 纳米填料的高效性。

基于 MXene@DTAB/TPU 高介电材料, 制造了一种柔性电容式压力传感器 (Sensor1), 其灵敏度达到 0.137 kPa^{-1} , 而基于纯 TPU 的传感器 (Sensor2) 的灵敏度仅有 0.046 kPa^{-1} 。此外, Sensor1 的压力检测范围和线性度方面均优于 Sensor2。本研究制备的高介电材料不仅显著提升了柔性电容式压力传感器的性能, 其优异的介电性能还有望在增强电磁屏蔽和降低电致驱动电压等方面发挥重要作用, 为柔性电子相关领域的发展提供了新的材料选择。

D17-08

钡-单壁碳纳米管材料的可控制备及其氢气传感性能研究

张玉^{1,2}, 郑哲^{1*}, 谌晓洪²

1. 中国工程物理研究院材料研究所

2. 西华大学

氢气被视为解决能源与环境问题的重要清洁能源, 但其快速灵敏检测的缺失成为限制其大规模安全应用的瓶颈。目前, 钡-单壁碳纳米管氢气传感器展现出了超高氢敏性能, 但现阶段此种材料存在构效关系不明的问题。本工作系统研究了冻干和超声干燥制备的材料结构及其传感性能, 发现当前驱体氯化钡的浓度同为 3 mg/ml 时, 冻干所得的传感器在 1% 氢气下响应度为 1.3%, 检测下限为 50 ppm; 而超声干燥所得的传感器在 1% 氢气下响应度为 3511.3%, 检测下限为 5 ppm, 且在 5 ppm 氢气下响应度为 179.4%。扫描电子显微镜显示在氯化钡浓度相同的情况下, 超声干燥制备的材料相比冻干制备的材料, 钡颗粒分布更加均匀, 且聚集程度小。后续使用超声干燥工艺研究浓度梯度对材料结构与性能的影响差异, 当氯化钡的浓度为 0.5 mg/ml , 制备的传感器在 5 ppm 的氢气下响应度为 341.7%。通过形态学分析、组分谱分析和能带结构测量表明, 钡-单壁碳纳米管复合材料的氢气传感性能受钡纳米粒子聚集程度及其沿碳纳米管管径的空间分布情况的影响, 这些结构参数共同调节混合体系的电子结构, 从而建立纳米尺度结构与宏观响应度之间的构效关系。本工作研究了钡-单壁碳纳米管氢气传感器结构与性能之间的对应关系, 为其可控制备提供了思路和方法。

D17-09

基于电致变色材料的比色-电化学双模钾离子传感器

娄刚

浙江大学海宁国际校区

钾离子 (K^+) 的实时监测在生理健康与病理预测中具有重要意义。尽管电化学传感技术已广泛应用于 K^+ 检测, 但仍面临芯片集成、无线通信和检测极限等挑战。本研究提出了一种新型双模 K^+ 生物传感器, 结合高性能电致变色材料 ($\text{W}_{18}\text{O}_{49}$ 纳米线) 与离子选择性薄膜, 实现了高选择性比色-电化学协同检测。该传感器在复杂离子环境中表现出卓越的选择性, 可在 1 mM 至 1000 mM 的宽浓度范围内同步进行光学与电化学响应, 光学透射率调制幅度达 ~48%, 着色时间仅需 15 秒。在临床关键范围 (1-10 mM)

内，透射率线性灵敏度为 0.6%/mM，且经过 100 次循环后仍保持 96% 的稳定性。此外，我们开发了集成电致变色薄膜的紧凑型固态传感装置，并成功应用于实际汗液样本的 K^+ 浓度光学量化。这一技术为可穿戴健康监测设备提供了高兼容性、低功耗的解决方案，推动了实时生化传感的发展。

D17-10

用于对流热源超高灵敏识别的热功能皮肤

李善武，刘玮书*

南方科技大学

人体皮肤能够通过多维热环境信息（包括热源类型、大小及方向）来实现对外界环境的热感知，以便维持舒适的体感状态。对流热源在皮肤与环境热交换中扮演着关键角色，其动态变化直接影响人体的热舒适性，精准感知对流热源的方向和强度对维持体感平衡具有重要意义。然而，现有热功能皮肤在对流信号的检测精度和维度上仍存在不足，特别是难以识别微风的方向和速度。为了解决这个问题，本研究利用双电层电容与弛豫时间分别解耦压力和温度，开发了一种基于聚丙烯酸乙氧基乙氧基乙酯-双（氟烷基磺酰）亚胺锂（PEOEOA-LiTFSI）、具有微结构的离子凝胶的热源识别传感器。该传感器借助凝胶微结构设计将压力检测极限降低至 1 Pa 以下，成功实现了对低速气流（ <0.1 m/s）的稳定识别，显著提升了对流热源的检测精度和多维感知能力。这一突破解决了现有热功能皮肤在微弱对流信号检测方面的技术瓶颈，为智能机器人环境交互、可穿戴设备和高精度人工皮肤的发展提供了新的技术方案。

D17-11

通过载流子传输调制提高 TiO_2 纳米管氢气传感器的室温响应

段晓川^{1,2,3,4}，温潇^{2,3,4}，张晓^{2,3,4}，吕铮¹，魏峰^{2,5}，刘晓鹏^{2,3,4*}

1. 东北大学

2. 中国有研科技集团有限公司智能传感功能材料全国重点实验室

3. 北京有色金属研究总院

4. 有研工程技术研究院有限公司

5. 有研（广东）新材料技术研究院

金属氧化物半导体（MOS）型气体传感器因其良好的气敏性能用于氢气检测，但仍存在工作温度高、响应值低等问题。本研究通过磁控溅射与阳极氧化法在 SiO_2/Si 衬底上制备了两种微型氢传感器（ $Pt/TiO_2/Ti$ 与 Pt/TiO_2 ）。 $Pt/TiO_2/Ti$ 传感器在室温下对 200 ppm H_2 的响应值达到 5.3×10^6 ，较 Pt/TiO_2 传感器提升约 300 倍，同时展现出良好的重复性与选择性。通过 $Pt/TiO_2/Ti$ 传感器的 I-V 特性分析表明， $Pt-TiO_2$ 界面形成的肖特基势垒提高了传感器的气敏响应，而纳米管底部的 Ti 薄膜降低了 Pt 叉指电极间载流子传输电阻，大幅提升了室温响应。此外， TiO_2 纳米管内部的平带状态提高了 TiO_2 的初始电阻，有利于提高传感器的气敏响应。此项研究为提升 MOS 型气体传感器的室温响应性能提供了新的研究思路。

D17-12

银纳米片的精确尺寸调控及低温烧结性能

张振斌^{1,2,3,4}

1. 北京有色金属研究总院

2. 中国有研科技集团有限公司智能传感功能材料全国重点实验室

3. 有研工程技术研究院有限公司

4. 北京科技大学

本研究在避免使用卤化物离子的前提下，通过引入 $N_2H_4 \cdot H_2O$ ，成功实现了对六边形银纳米片（AgNPs）横向尺寸和垂直厚度的精确调控。实验结果结合密度泛函理论（DFT）计算表明， $N_2H_4 \cdot H_2O$ 在 AgNPs 的合成过程中不仅充当了碱性和还原性角色，还起到了封端剂的作用，这一机制在以往的研究中较少被深入探讨。通过精细调节品种用量并在 6 倍当量的 $N_2H_4 \cdot H_2O$ 条件下进行合成，我们成功制备了厚度可精确控制至约 10 nm 的 AgNPs，并建立了尺寸预测模型以指导其可控合成。进一步地，我们将所制备的

AgNPs 与吸附有 Cl^- 的特定尺寸 AgNPs 进行烧结并进行了系统对比分析。研究表明, Cl^- 以稳定的 AgCl 形式存在, 显著阻碍了烧结过程的进行。相比之下, 厚度分别为 41.1 nm 和 29.8 nm 的 AgNPs 在低温烧结条件下表现优异。本研究提出了一种新颖且简便的 AgNPs 尺寸可控合成策略, 同时揭示了 AgNPs 尺寸与其烧结性能之间的关联关系。

D17-13 (Invited)

激光诱导石墨烯/聚氨酯智能三维蜂窝: 可编程跨尺度制造与航空航天多功能集成

罗斯达*, 高燕

北京航空航天大学

智能蜂窝因其轻量化与功能可定制特性, 成为航空航天领域高端装备的关键材料与结构。针对传统制造技术难以兼顾结构可编程性与功能集成度的瓶颈, 本研究提出一种激光诱导石墨烯 (LIG) 与热塑性聚氨酯 (TPU) 的跨尺度复合成型策略, 实现了智能蜂窝 (LIG-HC) 的结构部署与性能优化。通过精准调控 LIG 层数、TPU 几何构型、结构展开度及激光选择性辐照参数, 赋予了 LIG-HC 高自由度跨尺度设计, 包括宏观尺度可控面域尺寸 ($>100 \text{ cm}^2$) 与厚度 (1-10 mm); 介观尺度可控晶胞尺寸 (0.5-5 mm) 与形状 (六边形/四边形/梯度构型); 微观尺度可控比表面积与表面粗糙度等。基于工艺-结构-性能耦合机制的系统解析, 进一步揭示了 TPU 动态氢键网络高结构稳定性 (压缩强度可达 8.2 MPa) 与 LIG 三维互连网络导电特性 (电导率 $>1200 \text{ S/m}$) 的复合协同增强效应, 进而实现各向异性力学响应 (轴向/径向模量比达 5.8)、高灵敏压阻传感 ($\text{GF}=15.2$)、宽频电磁调控 (8-12 GHz 频段屏蔽效能 $>45 \text{ dB}$) 及主动热管理 (焦耳加热速率 $>50 \text{ }^\circ\text{C/s}$) 特性的同步优化。为验证其在航空领域的应用潜力, 创新构建了集成 LIG-HC 的智能机翼原型系统, 成功实现了集高效防/除冰、高温预警、主动阻燃、压力/振动实时监测以及电磁屏蔽/隐身的多功能融合, 为下一代飞行器智能蒙皮、可展开空间结构等先进装备提供了“材料-结构-功能”一体化创新范式。

D17-14 (Invited)

有机半导体单晶电磁辐射探测与传感

杨方旭

天津大学

随着新型信息技术和智能传感技术的迅猛发展, 电磁辐射探测与传感在国防安全、医疗健康和环境监测等领域的重要性日益凸显。有机半导体单晶因其独特的电子、光学和结构可调控优势, 正逐步成为实现高性能传感器件的关键材料。本研究旨在构建基于有机半导体单晶的电磁辐射探测与传感平台, 围绕单晶生长、器件物理机制及多功能集成策略等关键问题展开系统探索。主要研究成果包括: 1、利用溶液加工技术, 实现了大面积二维有机单晶的生长, 同时通过溶液缓慢降温方法成功制备了大尺寸体相单晶, 为高灵敏探测提供了优质材料基础; 2、深入研究了有机单晶中电子、激子和光子的物理行为, 其中电子器件采用全晶态、范德华组装及聚合物模板辅助组装技术, 有效降低了界面缺陷, 突破了高迁移率与低功耗集成的技术瓶颈; 激子器件则通过构建新型 1D/2D 异质结, 实现了独特的负响应特性; 光子器件构筑的发光结构展现出耐高电压和本征偏振发光等优异性能; 3、在电磁辐射探测与成像方面, 本研究重点探讨了 X 射线、神经形态和偏振探测技术, 利用有机单晶成功构建了超灵敏 X 射线探测器、“全在一”偏振光突触晶体管以及理论极限不对称因子的异质结构圆偏振探测有机突触晶体管。综上所述, 本研究在有机半导体单晶电磁辐射探测与传感领域取得了一系列创新性成果, 为多功能集成传感器件的研发提供了全新的设计思路和技术路径。

D17-15 (Invited)

有机光电共晶的精准合成及功能研究

王雨

天津大学

近年来, 共晶工程逐渐发展成一种新兴的功能材料构筑策略。共晶是由两种或多种分子组分通过分

子间作用力相互识别和组装而成的、具有固定化学计量比和有序堆积结构的多组分分子晶体。共晶可以保留单组分的性能，展现出多功能特性，还可以通过不同组分间的协同效应，表现出有机物中罕见的、新颖的性能。我们围绕窄带隙共晶材料的设计合成及其性能，对共晶组装驱动力、外部生长条件和制备方法、结构性能关系进行了深入探索，挖掘了共晶材料在红外光电探测、光热转换、红外发射和上转换发射等领域的潜力和应用，为共晶工程在功能材料领域的进一步发展奠定了基础。

D17-16 (Invited)

柔性/可拉伸硅微纳结构的设计、制备及其传感应用

张丙昌

苏州大学

硅材料作为一种重要的半导体材料，因其优异的电学性能、稳定性及成熟的加工工艺，被广泛应用于传感器领域，但其固有的刚性和脆性限制了其在柔性电子器件中的应用。针对这一问题，我们通过创新性微纳结构设计，实现硅材料的柔性化与可拉伸化，并探索其在可穿戴传感器中的高性能应用。

一方面，采用自下而上方法生长超长硅纳米线。通过宏量金属催化结合温度梯度诱导生长技术，成功制备了厘米级长度的硅纳米线 (*Nano Lett.* 2017, 17, 7323)，由于大的长径比展现出优异的弯曲柔性。进一步，通过预应变屈曲策略，制备了具有 60% 可拉伸量的超长硅纳米线 (*Nano Lett.* 2020, 20, 2478)。此外，分别通过抽滤法和一步生长法制备了大面积硅纳米线织物 (*Nanoscale* 2016, 8, 2123; *Nano Res.* 2019, 12, 2723)。基于超长硅纳米线及其衍生材料，分别构筑了微型化可拉伸应变传感器，高灵敏仿生毛发气流传感器 (*Nano Lett.* 2021, 21, 4864)，以及多功能硅织物传感器 (*Appl. Phys. Lett.* 2022, 120, 130501)。

另一方面，采用自上而下的方法制备出理性设计的柔性透明/可拉伸硅微结构。开发了柔性透明单晶硅框架 (*Adv. Mater.* 2021, 33, 2008171)，基于它们构筑了无衬底柔性光电探测器与不易察觉应变传感器 (*J. Mater. Chem. C* 2024, 12, 5826)。通过理性设计 S 形硅微条带结构，实现了自支撑硅微条带超 300% 大可拉伸性 (*Adv. Mater.* 2024, 36, 2313603)。通过采用变形失配策略，使得高分子封装 S 形硅条带具有 120% 大可拉伸性 (*FlexMat* 2024, 1, 150)，为硅材料应用于可拉伸电子奠定了基础。

综上所述，我们通过理性设计克服了硅材料刚脆性难题，为构筑高性能可穿戴传感器提供了新材料与新方法。

D17-17

面向锂离子电池热失控的乙烯气体传感监测

程开新，梅梦，郑奕，王毓德*

云南大学

锂离子电池热失控早期监测是保障能源安全的关键。本研究创新性提出以乙烯 (C_2H_4) 作为热失控早期预警标志物——该气体在 120°C 热失控初始阶段呈现高产率释放特性，并开发了高性能 $PtO_2/Pt/SnO_2$ 复合材料传感器用于实时监测。通过研磨法结合烧结温度调控（重点优化 700°C 工艺参数），精确调控 Pt/PtO_2 比例，制备得到高灵敏度乙烯敏感材料。基于界面工程构建异质结与肖特基结，实现氧空位浓度、载流子迁移率及界面催化活性的协同优化，显著提升传感器性能：在 120°C 工作温度下，对 500 ppm 乙烯的响应值达 67（较纯 SnO_2 提升近 8 倍），响应/恢复时间缩短至 21 s/60 s，精准匹配热失控早期气体释放的温度窗口。在 NCM811 电池模组热失控模拟实验中，该传感器实现提前 15 分钟预警。其 120°C 工作温度与热失控早期温度的高度一致性，有效规避了传统高温传感器可能引发的二次安全风险。本研究不仅填补了热失控乙烯传感监测的技术空白，更通过精准温控与界面工程的协同策略，为电池管理系统提供了高可靠性的解决方案。

D17-18

用于电生理监测的高灵敏度表皮电极

卢江¹，栗乾明¹，黄青云²，李丹³，焦一丁¹，王远贞¹，李亦冉¹，邹旷怡¹，陈梓霖¹，顾嘉怡¹，王嘉诚¹，李方琰¹，杨朔¹，叶婷婷¹，宋杰¹，何儿¹，张晔^{1*}

1. 南京大学现代工程与应用科学学院

2. 上海交通大学医学院公共卫生学院

3. 南京中医药大学医学与整体整合医学院炎症与免疫调控重点实验室

电生理信号蕴含丰富的生理和病理信息，表面电极监测微小信号变化对早期发现潜在微病变，如心律失常、心肌梗死早期征兆意义重大，可降低严重并发症风险，因此高灵敏度表皮电极在医疗诊断和健康管理中至关重要。然而，当前制造高灵敏度表皮电极面临挑战。现有电极材料存在缺陷，金属电极导电性高但电极-皮肤界面不稳定、界面阻抗高；导电聚合物电极和导电复合电极虽能与皮肤形成较好界面，但导电性有限导致信号丢失，目前报道的表面电极最大灵敏度仅为 $5 \mu\text{V}\cdot\text{N}^{-1}$ ，难以满足监测微小特征信号变化的需求。本项目开发了一种双连续液态金属/聚合物薄膜电极。高达 92 wt% 的液态金属通过静电相互作用稳定固定在 3D 连续的聚合物网络中，液态金属形成连续导电路径，有效减少电子传输损耗；聚合物与皮肤表面通过氢键作用确保粘附能力，降低界面阻抗；且电极具有柔韧性，可适应皮肤变形。该电极的灵敏度高达 $20 \mu\text{V}\cdot\text{N}^{-1}$ ，比之前报告的最佳性能提高了约 400%。灵敏度的这一飞跃使电生理信号的高分辨率监测成为可能，从而能够更早、更准确地识别心肌梗死异常。此外，该电极还可进一步与机器学习算法相结合，集成到智能传感系统中用于材料识别，在危险情况下为有触觉障碍的人提供实时警告。这项工作可能为开发高性能表皮电极开辟新方向，并激发更多智能可穿戴应用。

D17-19

基于 Pd/CNTs-N-S 复合材料电化学传感检测多巴胺

谢金扑

湖南工业大学

在室温下，对碳纳米管进行酸化，然后掺杂 S 和 N，并将 Pd 负载在 S 和 N 掺杂的碳纳米管上。构建了一种基于碳纳米管电极 (Pd-CNTs-N-S/GCE) 的新型多巴胺 (DA) 电化学传感器。Pd-CNTs-N-S/GCE 传感器的线性范围为 0.001 mM 至 2 mM，检测下限为 3.56 nM (S/N=3)。Pd-CNTs-N-S/GCE 性能的提升，归因于通过 N 和 S 掺杂优化碳纳米管载体的结构和表面性质，以及显著提高 Pd 纳米颗粒的分散性和电化学表面积。Pd-CNTs-N-S/GCE 传感器具有良好的重现性、稳定性和良好的抗干扰能力。

D17-20

晶种生长法制备高振实密度金粉及其在电子浆料中的应用

王琰诏

有研工程技术研究院有限公司

金导体浆料凭借其优异的导电性、抗氧化性和低电化学迁移性等特性，已成为航空航天与军事领域用高可靠性电子元器件中无法替代的产品。金粉作为金导体浆料的导电相，其性能很大程度上决定了金浆料的应用性能；然而，传统液相还原法制备出的金粉存在粒径批次稳定性差、颗粒的结晶度难以控制和粉体振实密度偏低等问题。因此，本研究采用晶种生长法可控制备了平均粒径为 $1.5 \mu\text{m}$ 的类球形高结晶度金粉，该金粉具有粒径均匀、表面形貌规整、结晶完整性好等特点。经表面疏水性改性后，粉体在空气中分散性显著提升，抗团聚性能增强，振实密度可以达到 10.2 g/cm^3 。为验证其性能优势，将本研究金粉与普通液相法球形金粉分别配制金导体浆料进行对比，结果表明：高振实密度金粉所制备的浆料电导率更高，烧结后金层致密性显著提升。这主要归因于高振实密度金粉在烧结过程中更易实现紧密堆叠，促进致密化行为。本研究制备出的高振实密度、高结晶度金粉，为高性能电子浆料及高精度传感器电极材料提供了关键材料基础，具有广阔的应用前景。

D17-21

基于 Nafion 固态电解质的高性能甲醛电化学传感器用于人体呼出气检测

鄯宇轩^{1,2,3}，郭伟清^{1,2}，魏千惠^{1,2}，王荣跃²，刘亚男⁴，韩芳⁴，魏峰^{1,2*}

1. 中国有研科技集团有限公司智能传感功能材料全国重点实验室

2. 有研（广东）新材料技术研究院

3. 北京有色金属研究总院

4. 北京大学人民医院

甲醛（HCHO）作为一种与肺癌筛查密切相关的人体呼出气生物标志物，可通过其 ppb 级别的浓度差异区分健康人群与疾病患者。因此，开发具有高灵敏度和低检测限（LOD）的 HCHO 特异性检测方法显得尤为关键。本研究在柔性平面丝网印刷电极上采用两步滴涂法制备了一种以 60% Pt/C-Nafion 为传感催化层、Nafion 为固态电解质的甲醛电化学传感器。在 0.5 V 的工作电位下，传感器在室温下实现了高性能 HCHO 检测：高灵敏度（0.197 $\mu\text{A/ppm}$ ）、宽线性响应范围（HCHO 浓度从 500 ppb 到 100 ppm）以及低 LOD（2.5 ppb）。传感器还具有优异的选择性、一致性和长期稳定性（超过 15 天）。在超低浓度 HCHO 测试中，利用氟膜采气袋对 50-400 ppb HCHO 进行检测，传感器表现出良好的线性度，灵敏度为 0.8 nA/ppb，能够有效区分健康人群和模拟肺癌患者的呼出气。高性能 HCHO 传感检测的实现得益于合适的工作电位选择、高效的三相反应界面（TPB）构建以及 Pt/C 催化剂的卓越电催化性能。此外，该传感器的制备方法简单、成本效益高。因此，基于 Nafion 固态电解质的甲醛电化学传感器为肺癌的临床诊断筛查和室内 HCHO 浓度监测提供了具有应用潜力的传感平台。

D17-22 (Invited)

柔性复合材料的构筑及多功能应用研究

叶美丹^{*}, 周豪, 王森京, 陈卓敏, 薛高飞, 何发亮, 白天, 游兴艳
厦门大学

随着人工智能和柔性电子器件迅速发展，柔性传感器作为其核心组成部分成为大家研究的焦点，其中，基于复合材料的柔性器件由于其可设计性和功能协同性等优点引起广泛的关注。柔性复合材料对于提高器件的多方面性能具有重要意义。因此，我们基于多种有机/无机功能组分，分别设计和制备了一系列柔性复合材料，如薄膜、气凝胶和水凝胶等^[1-8]，深入探究材料组分、结构和力学/电学等特性的内在关联和作用机制，并开发其在储能、传感等领域的多功能应用潜力。其中，我们开发了包括硼砂预凝胶化、盐水浸泡、冷冻干燥和再水合的多步骤策略，制备了具有阳离子特异性的聚乙烯醇凝胶，表现出对凝胶机械性能影响的特定顺序^[8]。该制备策略的多重效应，包括阳离子之间的静电排斥、氧化石墨烯纳米片的骨架支撑功能以及离子的吸水和保水作用，赋予了凝胶具有水凝胶和气凝胶（即水-气凝胶）的双重特性。用阳离子盐析效应制备的水-气凝胶显示出吸引人的压力传感性能，具有超过 90 天的优异稳定性，并能够实时连续监测环境湿度和在海水中有效工作以检测各种参数（例如深度、盐度和温度）。利用阳离子盐入效应制备的凝胶可作为超级电容器中的准固态电解质，在 10,000 次循环后电容保持率为 99.59%。

参考文献:

- [1] X. You, Q. Liu, F. He, X. Chen, X. Zhang, X. Zhao, M. Ye and X. Liu, *Appl. Nanosci.*, 2020, 10, 861-867.
- [2] T. Bai, W. Wang, G. Xue, S. Li, W. Guo, M. Ye and C. Wu, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2021, 13, 57576-57587.
- [3] F. He, X. You, W. Wang, T. Bai, G. Xue and M. Ye, *Small Methods*, 2021, 5, 2001041.
- [4] S. L. Long, Y. Feng, F. He, J. Zhao, T. Bai, H. Lin, W. Cai, C. Mao, Y. Chen, L. Gan, J. Liu, M. Ye, X. Zeng and M. Long, *Nano Energy*, 2021, 85, 105973.
- [5] G. Xue, Y. Shi, S. Wang, H. Zhou, Z. Chen, W. Guo, Y. Yang and M. Ye, *Chem. Eng. J.*, 2023, 456, 140976.
- [6] Z. Chen, X. Fu, B. Chen, H. Zhou, F. Wang, S. Long, Y. Chen, W. Guo, Y. Yang and M. Ye, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2024, 16, 24840-24850.
- [7] S. Wang, Z. Chen, H. Zhou, X. Fu, B. Chen, F. Wang, A. Liu, W. Guo and M. Ye, *ACS Appl. Electron. Mater.*, 2024, 6, 3491-3500.
- [8] H. Zhou, X. Wei, A. Liu, S. Wang, B. Chen, Z. Chen, M. Lyu, W. Guo, X. Cao and M. Ye, *Adv. Mater.*, 2024, 2313088.

D17-23 (Invited)**基于金属有机框架交联的机械增强型共析凝胶制备及其柔性传感性能研究**

贾丽超*, 马壮壮

陕西师范大学

共析凝胶在柔性电子领域的发展一直受限于韧性与动态恢复能力之间的固有矛盾。传统的化学交联法通常会导致材料脆性增加, 易产生不可逆损伤。尽管现有的增韧策略(如引入牺牲键或纳米复合材料填料)可增强韧性, 但往往无法有效缓解应力集中并抑制裂纹扩展。在本研究中, 金属有机框架(MOFs)作为动态物理交联剂被引入双网络共析凝胶体系, 成功制备出具有高韧性和抗裂纹扩展能力的 MOF 交联双网络共析凝胶。MOFs 的三维纳米多孔结构通过拓扑约束与聚合物链段发生物理缠结, 同时其丰富的路易斯酸性位点可形成强配位键, 这种协同相互作用有效促进了应力分散与能量耗散。其中, UIO-66 交联共析凝胶(0.1Zr-MOF Gel)表现出优异的断裂伸长率(1377%)、高韧性(7.060 MJ/m³)以及显著的抗裂纹扩展能力。此外, 该凝胶还具备高离子电导率(0.634 mS/cm)、快速自修复能力、可回收性和良好的生物相容性, 这凸显了其在人体运动监测、生理信号检测、手写或摩斯密码识别等领域的应用潜力。这种简单且普适的策略为开发高性能共析凝胶提供了新途径, 有望加速其在柔性可穿戴电子设备和生物电子器件中的集成与应用。

D17-24 (Invited)**基于巨磁阻效应的柔性磁敏式应力应变传感器**

巫远招*, 刘宜伟, 李润伟

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

人体活动所产生的压力(如脉搏、呼吸等)包含大量生理信号, 是医疗健康诊断与人体运动监测的重要数据来源。灵敏、精准、快速获取人体活动产生的压力信号, 对于开发医疗健康类可穿戴电子设备和新型人机交互界面具有十分重要的意义。传统的刚性传感器虽然具有优异的传感性能, 但是难以解决人体穿戴的舒适性问题。近年来, 柔性压力传感器具有柔软、轻便、易穿戴等突出特点, 在人体健康监测等领域得到了广泛的应用, 但还存在着抗应变干扰能力弱、信号难以兼容、监测参数单一等问题。基于此, 我们基于巨磁阻效应, 研发出高灵敏度、低探测极限的数字化仿生触觉传感器, 兼容高灵敏度和宽量程的弹性磁敏式应力应变传感器, 以及多功能弹性应变-温度传感器传感器和弹性自供电应变传感器, 在人机交互、运动/健康监测等领域实现演示应用。

D17-25 (Invited)**柔性驱动器及其多模态传感集成化探索**

翁明岑

福建理工大学

柔性机器人领域的趋势是研发集成传感功能的柔性驱动器, 使其能够依据环境情境进行决策制定, 并实施物理动作或执行特定功能。我们提出了普适性的“感知-驱动-供能”一体化智能驱动器器件的设计方法, 结合机器学习算法, 构建了集成多模态自供能传感功能的柔性驱动器原型, 在柔性软机器人、仿生器件等领域充分展示了应用潜力。首先, 通过制备多种基于多维异质纳米材料的能量收集器件^[1-4], 如摩擦纳米发电机、热电发电机、湿气发电机等, 为柔性驱动器集成自供能传感器提供了技术支撑。其次, 聚焦于多功能复合材料在智能驱动器和自供能传感器领域的应用。基于石墨烯-聚合物薄膜^[5]、Nb₄C₃T_x-丝素纳米纤维复合材料^[6]和 Ti₃C₂T_x-甲壳素纳米纤维复合材料^[7]等, 构筑了集成热电温度传感、摩擦电材质识别等功能的多模态与自供能柔性驱动器, 并通过神经网络辅助实现了高精度的智能交互。这些研究为下一代智能软体机器人和自供能电子设备的发展提供了新的思路和材料选择。

参考文献:

[1] Yi Nuozhou, Zhang Cheng, Wang Zhen, et., *Advanced Functional Materials*, 2025, 35, 2412307.[2] Weng Mingcen, Zhou Jiahao, Yu Wei, et., *Nano Research*, 2025, 10.26599/NR.2025.94907341.[3] Wang Zhen, Yi Nuozhou, Zheng Zhonghua, et., *Chemical Engineering Journal*, 2024, 497, 154443.

- [4] Guo Qiaohang, Guo Jing, Zhou Jiahao, et., *Chemical Engineering Journal*, 2024, 500, 157077.
- [5] Weng Mingcen, Zhou Jiahao, Zhou Peidi, et., *Advanced Science*, 2024, 11, e2309846.
- [6] Yi Nuozhou, Wang, Zhen, Zhou, Peidi, et., *Chemical Engineering Journal*, 2025, 506, 160125.
- [7] Zhou, Jiahao, Chen, Huamin, Wu, Zhihao, et., *Nano Energy*, 2025, 134, 110552.

D17-26**In₂O₃-ZnO 异质结气体传感器的构建及其对锂离子电池电解液泄漏（DMC）的早期检测与热失控预警**

梅梦, 程开新, 王毓德*

云南大学

氢气（H₂）和一氧化碳（CO）通常被视为锂电池热失控前的标志性产物。事实上，大多数小分子气体源于锂电池内部电解质在高温下的分解，电解液的主要成分—碳酸二甲酯（DMC）的逸出时间远早于 H₂ 和 CO。本研究通过水热法结合高温煅烧法成功制备出 In₂O₃-ZnO 复合材料，在制备过程中，着重通过调控 In₂O₃ 的掺杂比例来优化材料的能带结构以及表面活性位点。依托 In₂O₃ 与 ZnO 之间构筑的 n-n 异质结，有效提升了该材料对 DMC 的敏感性能，进而实现了对 DMC 的高灵敏（对 500 ppm 的 DMC 响应率达 350(Ra/Rg)）、高选择性（响应倍数 >100 倍）检测，并具有快速的响应恢复能力（31/27 s）。与传统温度监测及其他商用气体传感器相比，本研究所构建的 In₂O₃-ZnO 传感器能够通过检测气态 DMC，在热失控发生前 15 分钟以上发出预警，这在锂离子电池电解液泄漏检测及热失控预警方面展现出显著的实际应用价值，为保障锂离子电池的安全使用提供了一种有效的检测手段。

D17-27**低贵金属复合催化剂在非酶葡萄糖传感性能研究**

刘庆林, 魏千惠*

有研（广东）新材料技术研究院

可穿戴葡萄糖传感器能够实时、持续地监测人体的血糖情况，克服空间和时间上的限制。但目前大部分微创式可穿戴传感器中核心零部件为覆盖葡萄糖氧化酶的催化电极，酶容易受环境影响而失活。因此，开发高效稳定的非酶型催化电极尤为重要。本研究在丝网印刷电极上沉积一层低贵金属含量的 Au 基金属，该电极能在中性添加下高效催化葡萄糖氧化，传感灵敏度达到 41.9 $\mu\text{A}\cdot\text{mM}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ ，检出限低至 1 μM ，线性范围 2-1000 μM ， $R^2 \geq 0.99$ ，并且在工作电位下对尿素、乳酸等干扰项并无响应，说明电极的抗干扰性良好。优异的传感性能可归因于贵金属在合金中高分散存在，有效增加贵金属的原子利用率，增强去本征质量活性。该电极有望应用于无创式汗液葡萄糖传感器中，实现长时间无创血液检测。

D17-28**Design and Research of Electromyography (EMG) Sensor Arrays for Accurate Gesture Recognition**

Guangmei Hu, Xuanting Wang, Yuwen Ge, Jiale Yang, Ge Ren, Anneng Yang*

Kunming University of Science and Technology

Surface electromyography (sEMG) is a crucial electrophysiological indicator of muscle activity and has significant potential applications in various fields, including motion analysis, rehabilitation medicine, and human-computer interaction. However, traditional rigid electrodes, which are constrained by their high Young's modules and poor conformability, are highly susceptible to motion artifacts during dynamic use, significantly degrading signal quality. Additionally, commercial electrodes typically rely on conductive gels for signal transmission. Prolonged use not only tends to cause skin irritation but also leads to a gradual reduction in adhesion due to interface contamination induced by sweat secretion. In recent years, the rapid advancement of flexible electronics has introduced new ideas and opportunities in the field of wearable bioelectric sensing. However, existing flexible bioelectrodes continue to face a significant challenge-achieving a balance among conductivity (contact impedance), mechanical properties, and biocompatibility. Additionally, high-precision gesture recognition necessitates the synergistic analysis of the spatiotemporal features of multi-channel surface

electromyography (sEMG) signals. Current systems exhibit notable limitations regarding signal acquisition density, signal-to-noise ratio, and algorithm adaptability. The development of a functional material with high conductivity, stretchability, biocompatibility, and stable adhesion, to construct a multi-channel sensor array featuring high spatiotemporal resolution, supplemented by machine learning algorithms for precise gesture mapping, has become essential for advancing the practical application of flexible sEMG technology. This study is dedicated to the optimization of materials, devices, and algorithms to develop a high-performance flexible electromyography (EMG) sensor array, thus achieving high spatiotemporal resolution in EMG signal acquisition and gesture recognition. A hydrogel skin electrode that combines high conductivity, high stretchability, biocompatibility, and strong adhesion, significantly enhancing both signal quality and wearing comfort is developed. Then a multi-channel EMG sensor array using a low-cost, simple photopatterning technique, which is equipped with high-precision signal acquisition circuits to enable dynamic monitoring of muscle electrical activity is fabricated. Furthermore, advanced machine learning algorithms are integrated to extract and classify features from the multi-channel EMG signals, establishing a highly accurate gesture mapping model. Ultimately, we construct a flexible intelligent wearable system that offers lightweight, low-power innovative solutions for human-computer interaction, rehabilitation medicine, and other applications.

D17-29

锡酸盐基钙钛矿材料的组成、结构调控及其气敏性能研究

段家欣, 高云飞, 张铨璧, 施伟敏, 王新震*

山东科技大学

与单一金属氧化物相比, 无机钙钛矿结构金属氧化物具有两个金属离子位点, 为开展组成调控和结构优化提供了更多的可能性, 成为金属氧化物半导体型气体传感器的研究热点之一。本工作以 CdSnO_3 和 ZnSnO_3 为主要研究对象, 合成了 CdSnO_3 和 ZnSnO_3 基微纳米结构, 研究了元素掺杂对其晶体结构、微观形貌和气敏性能的影响规律。采用 XPS、UPS、EPR 等手段对样品进行分析, 对 CdSnO_3 和 ZnSnO_3 基材料的气敏机理进行了分析。主要包括: 采用共沉淀和煅烧相结合的方法制备了 ZnSnO_3 立方体结构, 研究了添加剂对结构和气敏性能的影响, 该材料对正丁醇具有优异的气敏性能; 制备了 Mg 掺杂 ZnSnO_3 多孔纳米立方体, 分析了 Mg 掺杂量对气敏性能的影响规律, 并对其机理进行了分析; 分别采用 La 和 Zn 分别对 CdSnO_3 进行掺杂, 分析了不同元素掺杂对 CdSnO_3 气敏性能的影响规律和作用机理。本工作的开展为高性能无机钙钛矿型气敏材料及气体传感器的开发提供实验积累。

D17-30

Electromagnetic Wave Absorption, Favorable Hydrophobicity and UV Protection Properties

Longxia Yang^{1,2,3}, Faling Li^{1,2,3}, Haicheng Wang^{1,2,3*}, Changhui Mao^{1,2,3}

1. State Key Laboratory of Advanced Materials for Intelligent Sensing, China GRINM Group Co. Ltd., Beijing, China
2. GRIMAT Engineering Institute Co. Ltd., Beijing, China
3. General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing, China

Multifunctional electromagnetic wave (EMW) absorbing materials have attracted extensive attention owing to the increasing demanding for absorber applications in various environments. However, it is still a huge challenge to implement these desired functions simultaneously. Herein, a flexible EMW absorbing film composed of polydimethylsiloxane (PDMS), FeCo@SiO_2 nanoparticles and PPy-Ag composite with hydrophobicity and UV protection properties is designed and prepared. Benefiting from the magneto-dielectric synergistic effect and multi-layered heterogeneous interfaces, the synthesized FeCo@SiO_2 /PPy-Ag/PDMS (FSPA/PDMS) composite film exhibits excellent EMW absorption capabilities. The minimum reflection loss (RL) of -29.8 dB and the maximum effective absorption bandwidth (EAB) of 5.8 GHz with a thin matching

thickness (1.77 mm) can be obtained. Furthermore, the low surface energy of PDMS endows the composite with hydrophobic functionality with a water contact angle of 128.6°. Simultaneously, the conjugated double bonds in the PPy polymer can absorb ultraviolet (UV) light, while the Ag nanoparticles can both absorb and scatter UV radiation. This combination enables the FSPA/PDMS composite film to demonstrate exceptional UV protection performance, achieving an ultraviolet protection factor (UPF) value as high as 143.46. This research provides a new strategy for achieving efficient EMW absorption with a thin matching thickness, alongside favorable hydrophobicity and excellent UV protection. We believe this work holds great potential for practical applications such as aircraft, military tents and protective clothing.

D17-31

Design of N, O-rich functionalized core-shell adsorbent for efficient extraction of Co(II) and reuse in oxygen evolution reaction

Huizhen Sun¹, Xiuhua Chen^{1,3*}, Wenhui Ma^{2,3}, Shaoyuan Li⁴

1. College of Materials and Energy, Yunnan University, Kunming, China

2. School of Engineering, Yunnan University, Kunming, China

3. National Joint International Research Center for Optoelectronic Energy Materials, Yunnan University, Yunnan, China

4. State Key Laboratory of Complex Nonferrous Metal Resources Clean Utilization/Silicon Metallurgy and Silicon Material Engineering Research Center of Universities in Yunnan Province, Kunming University of Science and Technology, Kunming, China

To address the critical bottleneck in the sustainable supply of cobalt (Co) resources for power batteries in new energy vehicles, this study proposes a multi-level structural engineering strategy to design and synthesize a core-shell adsorbent, UiO-66-NH₂@TpTTA-COF, enriched with N/O active sites. The material exhibits excellent Co(II) adsorption performance (359.9 mg/g), selectivity, and recyclability. Its high adsorption efficiency stems from the synergistic effect of coordination and hydrogen bonding between the N/O atoms and Co(II), as confirmed by experimental results and DFT calculations. In line with the concept of green recovery, the Co(II)-loaded material can be directly utilized as an efficient electrocatalyst for the oxygen evolution reaction (OER), with an overpotential of 270 mV and a Tafel slope of 77.8 mV·dec⁻¹, offering a promising new pathway for cobalt resource recovery and recycling.

D17-32

嵌入式光纤增强 3D 打印结构的力学性能与分布式应变感知能力分析

邓鹏飞, 孙杰, 付涛*

中国工程物理研究院化工材料研究所

本研究基于增材制造将单模光纤原位嵌入树脂基 3D 打印结构, 通过拉伸和三点弯曲实验系统评估其力学-传感耦合性能, 并利用光频域反射 (OFDR) 技术揭示内部应变场演化。结果表明: 1、在拉伸载荷下, 含光纤试样弹性模量较对照组提高 10-18%, 而抗拉强度与断裂伸长率差异不显著, 说明光纤对整体力学性能影响有限; 2、三点弯曲测试中, 含光纤样品的弯曲模量 ($\approx 5.3 \times 10^2$ MPa) 与无光纤样品 ($\approx 4.8-6.0 \times 10^2$ MPa) 处于同一水平, 整体承载能力保持稳定; 3、OFDR 提供高精度的空间分辨率, 实现加载全过程的连续应变测量, 其应变曲线与材料试验机同步记录的力-位移数据高度吻合, 验证了传感精度。综上, 嵌入光纤不会削弱 3D 打印结构的力学完整性, 同时赋予结构亚毫米级、空间连续的应变监测能力, 为制造-传感一体化智能结构设计奠定了实验基础。

D17-33 (Invited)

混合键合互连材料晶界迁移机制研究

韩英⁶, 田原¹, 龚小国², 徐明杰³, Caihao Qiu⁴, 毕雨桐¹, Leonardo Velasco Estrada⁵, Evgeniy Boltynjuk⁵, Horst Hahn⁵, 韩健⁴, David J Srolovitz², 潘晓晴^{1,3*}

1. Department of Materials Science and Engineering, University of California, Irvine, CA, USA
2. Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong, China
3. Irvine Materials Research Institute (IMRI), University of California, Irvine, CA, USA
4. Department of Materials Science and Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong, China
5. Institute of Nanotechnology, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany
6. 天津大学

随着高算力芯片的快速发展,三维异质集成封装中金属互连材料的特征尺寸已逐步微缩至纳米量级。在纳米尺度下,晶界体积分数显著增加,其动态行为对材料热机械可靠性产生决定性影响。尽管透射电子显微镜(TEM)已在半导体材料静态表征中广泛应用,但针对混合键合互连材料在服役条件下的动态演变过程研究仍存在显著空白,尤其是晶界动力学研究。本研究基于原位 TEM 实验平台,针对芯片封装中关键互连材料(Cu、Au、Pt)开展系统性动态表征。实验结果表明,在热载荷作用下,纳米晶粒迅速长大,通过多尺度表征(原子级至微米级)清晰地解释了剪切耦合的晶界迁移机制,并给出晶粒旋转与晶粒生长的定量关系。本研究为优化互连材料制备工艺(晶界工程调控)和服役可靠性评估(热循环失效预测)提供了理论依据,同时验证了先进原位 TEM 技术在半导体封装研究中的关键作用。

D17-34 (Invited)

B₄C-W/MgGd 复合屏蔽材料的制备与性能研究

马书旺

有研工程技术研究院有限公司

随着核能向移动式反应堆、空间反应堆及乏燃料高效存储等领域的拓展,传统核辐射屏蔽材料(如硼钢、铅硼聚乙烯)因屏蔽组元含量不足、重量占比过高,难以满足先进核能系统小型化、轻量化的迫切需求。镁基复合屏蔽材料凭借密度低(较铝基材料轻 1/3)、屏蔽组元含量高、耐高温及抗辐照等特性,成为突破现有技术瓶颈的关键方向。本研究围绕镁基复合屏蔽材料的成分设计、制备工艺及性能优化展开系统性研究,旨在为新一代核能系统提供高效轻量化屏蔽解决方案。本研究通过合金元素筛选,确定 MgGd 合金(Mg-10wt.%Gd-0.5wt.%Zr)作为基体材料。经 T4 和 T6 热处理优化, MgGd 合金在铸态、T4 态、T6 态下呈现不同析出相分布,确定 500°C 为热压成型最佳温度。针对 MgGd 合金基体与屏蔽组元(B₄C、W)的相容性,研究发现:535 °C 真空退火时, MgGd 合金与 B₄C 界面无反应,545 °C 则生成 MgB₂ 和 MgO; W 与 B₄C 需在 1500°C 以上才发生反应,体系相容性良好。为解决 B₄C 与镁基体润湿性差的问题,采用化学镀铜工艺对 B₄C 颗粒进行表面改性,改性后 B₄C 与 Mg 合金基体界面结合紧密,有效提升界面结合强度。采用热等静压法制备的 B₄C-W/MgGd 复合材料,致密度超 98%, B₄C 与 W 颗粒均匀分布且界面清晰。力学性能测试表明,材料抗弯强度达 280MPa,断口呈现 B₄C 颗粒光滑断面与基体韧窝共存特征,显示基体塑性保留与界面载荷传递能力。屏蔽性能测试显示,5mm 厚材料热中子屏蔽率达 99.9%,对 ¹³⁷Cs 和 ⁶⁰Co 源的 γ 射线线性减弱系数分别为 0.22 cm⁻¹ 和 0.15 cm⁻¹,同等面密度下性能显著优于传统 B₄C/Al 材料。本研究阐明了镁基复合屏蔽材料的成分-工艺-组织-性能关联机制,为其在先进核能系统中的工程化应用奠定了理论与实验基础,对推动我国核能装备轻量化发展具有重要战略意义。

D17-35 (Invited)

碳基杂化材料的力学传感与锂存储应用

林惠娟

南京工业大学

随着柔性可穿戴技术的迅猛发展,多功能可穿戴电子设备已逐步覆盖医疗健康保健、人机交互操控、信息影音娱乐等诸多领域。电池是可穿戴设备的供能单元,然而传统的刚性电池已难以满足其高柔性、穿戴性等特殊应用需求。金属锂以其低质量密度、高理论比容量和最低还原电位等优势脱颖而出,是目前二次电池理想的负极材料之一。但是,锂枝晶生长带来严重的电池安全隐患和循环寿命降低等问题,极大制约了金属锂负极的实际应用。作为可穿戴设备的另一个关键部件,传感器可实时感知外界刺激(力、

温度、湿度），其中，电阻式传感器具有器件结构简单和数据输出容易等优点。尽管碳基柔性传感器已取得诸多成就，但如何平衡传感器的宽应变范围和传感灵敏度也是一大挑战。为解决上述问题，我们开发了多种碳基杂化体系（溶剂热合成双金属氢氧化物修饰碳布、微波合成金属/金属氧化物修饰碳布、电化学合成石墨烯-聚吡咯纳米复合材料等），分别用于锂存储及抑制枝晶生长，探索应力/应变等信号的实时智能监测，有望实现对可穿戴体系的性能优化。

D17-36 (Invited)

微纳光电功能器件的印刷制备与多功能应用

潘琪
郑州大学

微纳制造技术是从纳米材料到器件制造与应用的关键技术。精细和多维度微纳米结构的制备，是功能材料器件化应用和新功能发展的基础。本报告从纳米功能材料的精细图案化组装研究出发，以含有功能纳米材料的液体多维成型操控为基础，系统研究了调控功能材料高精度图案化、多材料精细界面控制成型过程，发展了多维微纳器件制备的方法。印刷制备了一维、二维和三维微纳功能结构，发展多维度的光电功能器件制造的通用策略，并开发其在智能存储、光电传感、医学检测上的应用。

D17-37 (Invited)

集成电路用高纯钨溅射靶材制备技术及发展方向

丁照崇^{1,2}

1. 有研亿金新材料有限公司
2. 北京科技大学

高纯溅射靶材是集成电路用关键基础材料，对实现集成电路产业链、供应链自主可控，推动集成电路产业高质量发展具有基础性价值。针对集成电路自旋磁存储、阻变存储等制备用高纯钨靶材，阐述了高纯钨原料提纯及控制、高致密低缺陷靶坯成形、晶粒尺寸及均匀性调控等靶材关键制备技术，并着眼集成电路领域2030年发展目标，提出集成电路用高纯钨溅射靶材关键技术发展方向。

D17-38

自主采样-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., *National Science Review*, 2025, 12, nwaf155.

[2] Li C, Jia K, Liang Q et al., *Interdiscip Mater*, 2024, 3, 270-296.

D17-39

热塑性聚氨酯表面微结构阵列的构筑及压力传感应用

张亚杰
郑州大学

电子皮肤因其在医疗康复和人机交互方面的潜在应用而受到极大关注。尽管很多工作为了提高电子皮肤的传感器性能提出了各种策略，但制备的电子皮肤很难同时具有高的灵敏度和宽的压力检测范围。众所周知，表皮和真皮之间互锁的微脊可以有效地将外界刺激传递给机械感受器，使得人体皮肤无论在细微和大的外界刺激下都能表现出优异的灵敏度。因此，受人类皮肤的启发，本文提出了一种新型的仿生电子皮肤，即通过简单高效的真空热压成型的方法在灵敏层和叉指电极之间引入了互锁微脊。该互锁微脊可以显著地增强灵敏层和叉指电极之间接触点的局部应力集中，从而使制备的仿生电子皮肤具有超高灵敏度 ($\approx 1502.5 \text{ kPa}^{-1}$)、宽的压力检测范围 (0-160 kPa)、优异的稳定性 (10,000 次循环) 以及较短的响应时间 (10 ms)。此外，由于外部应力能有效从灵敏层传输到叉指电极，该仿生电子皮肤能够检测多种人体生命体征和声波引起的振动。该仿生互锁微脊的简便制备为电子皮肤的实际应用提供了巨大的设计潜力。

D17-40

Design and study of a multimodal wearable sweat sensor

Xuanting Wang, Guangmei Hu, Jiale Yang, Ge Ren, Yuwen Ge, Anneng Yang*, Xuanting Wang
Kunming University of Science and Technology

Traditional sweat detection techniques often suffer from insufficient integration, intermittent detection processes, poor skin compliance, and low levels of intelligence, making it difficult to meet the practical needs for dynamic, precise, and long-term monitoring of sweat biomarkers. In recent years, the emergence of flexible multimodal wearable sensor systems has brought new possibilities for the simultaneous monitoring of physiological parameters and sweat biomarkers. However, challenges such as the complex miniaturization and integration processes of sensors, signal crosstalk between sensors, and difficulties in fusing multi-source data still need to be addressed. This study introduces a flexible, multimodal, and wearable sweat sensor array system, which is capable of simultaneously collecting physiological signals (such as skin temperature and electrocardiograms) and sweat biochemical indicators (such as pH, sodium concentration, and glucose levels). By introducing a low-crosstalk sensing unit structure and flexible interconnection circuits, the system achieves synergistic acquisition and complementary fusion of multiple sensing signals, significantly enhancing the comprehensiveness and accuracy of health status assessment. In terms of material selection, high skin-compliant substrate materials are used, which not only improve wearing comfort but also enhance sensing stability. The system integration also includes a low-power Bluetooth communication module, enabling real-time processing, anomaly recognition, and remote transmission of sensing data. Human wear experiments have shown that the system can stably record changes in multimodal physiological and biochemical parameters before, during, and after exercise, and accurately identify potential health risks such as dehydration and electrolyte imbalance. This fully demonstrates the system's potential application value in scenarios such as exercise monitoring, sub-health screening, and chronic disease management. The integrated, intelligent, and multimodal wearable sweat sensor system developed in this study has promoted a shift from single-indicator detection to multidimensional health monitoring, showcasing the significant innovative value and broad application prospects of multimodal flexible sensing technology in the fields of future personalized medicine and digital health.

D17-41

氧缺陷 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-C/Fe-MOF}$ p-n 异质结耦合 Au(111)晶面选择性识别纳米催化剂用于痕量毒死蜱的超灵敏检测

张子莲, 王毓德*
云南大学

通过对材料的电子能带结构及表面活性位点的精准调控, 可实现对电化学传感器界面电荷转移动力学与分子识别特性的协同优化, 从而显著提升其在复杂基质中对痕量目标物的检测灵敏度与选择性, 这对实现高干扰环境下超低浓度分析物的准确测定具有决定性意义。本研究创新性的提出了一种基于 $\text{Au}/\text{Co}_3\text{O}_4\text{-C}/\text{Fe-MOF}$ 复合结构的新型电化学传感器, 用于高灵敏度和选择性检测毒死蜱 (CPF)。具体而言, $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-C}/\text{Fe-MOF}$ 中的氧空位缺陷工程有效增强了 CPF 的化学吸附能力, 而 p-n 异质结的形成优化了界面电荷转移效率, 显著提升了传感器对痕量 CPF 的检测灵敏度。进一步引入的 Au 纳米粒子不仅作为 p-n 异质结的助催化剂促进电子转移, 进一步提高灵敏度, 还通过其特定的晶面效应赋予传感器优异的选择性。密度泛函理论 (DFT) 计算证实, Au(111)晶面对 CPF 的选择性吸附能力最强。实验结果表明, 该传感器在 $1\text{ pM} \sim 50\text{ }\mu\text{M}$ 范围内呈现良好的线性响应, 检测限低至 0.8 pM ($\text{S/N}=3$), 具有较高的稳定性、灵敏度和重现性, 应用于实际样本中 CPF 的精准监测。这种集成缺陷工程、界面调制和表面功能化的多层次协同策略, 不仅为高性能电化学传感材料的设计提供了新思路, 也为复杂基质中痕量农药的快速检测开辟了新途径。

墙报

D17-P01

A novel hairy-skin-inspired tactile sensor for multimodal sensing application and handwriting input

Wanqing Xu^{1,2}, Tianyu Zhu^{1,2}, Hongyi Tu^{1,2}, Min Chen^{1,2}, Lan Shi^{1,2}, Limin Wu^{1,2*}

1. Fudan University

2. State Key Laboratory of Coatings for Advanced Equipment, Fudan university

Electronic skin sensors, capable of sensing various human tactile perceptions, offer significant potential for the development of real-time health monitoring, AI robotics and human-machine interface (HMI). While e-skin sensors with diverse materials and designs have been widely adopted to track human movements, detecting intricate finger actions, such as sweeping or sliding along a certain trajectory remains a big challenge. Herein, by mimicking the cooperation between human hair and the follicle receptors underneath, a novel hairy-skin-inspired tactile sensor assembled by a well-ordered magnetic micro cilia array and an anisotropic magnetoresistive sensor is rationally designed, which exhibits a maximum sensitivity of $3.14 \times 10^{-4}\text{ N}^{-1}$, a working range of 1.6 N in positive pressure sensing and six directions distinguishment in sweeping operations monitoring. Additionally, this sensor is applied to the fingertips for novel wearable handwriting input with the help of the multilayer perceptron algorithm, which provides a promising solution for HMI.

D17-P02

基于超声多模态信号特征解码的端到端金属材料晶粒尺寸分布深度学习表征方法

戴乐, 周世圆*, 程宇涵, 王琳, 张宇轩, 智恒

北京理工大学

晶粒尺寸精准表征对金属材料质量控制具有重要意义。针对传统超声检测方法在晶粒尺寸评估中存在模型假设局限性强、工况适应性不足及实验依赖性高等瓶颈问题, 本研究创新性地提出了基于多模超声信号空间编码的深度学习架构, 实现了镍基高温合金 GH4099 晶粒尺寸分布的高精度端到端预测。该方法首先通过超声 C 扫获得不同位置的 A 扫原始信号, 并提取原始超声信号的时频特征, 然后构建结合了双卷积深度压缩网络 and 全连接网络的编解码架构深度学习模型, 创新性地引入材料厚度编码器实现物理约束下的特征解耦以满足端到端预测需求; 最后基于椭圆空间融合策略优化预测结果。实验数据表明, 本方法在晶粒尺寸均值与标准差预测中的平均绝对误差分别为 $1.08\text{ }\mu\text{m}$ 和 $0.84\text{ }\mu\text{m}$, KL 散度评估值为 0.0031。对比试验表明, 该方法在平均晶粒尺寸预测方面显著优于衰减法和声速法。特别地, 本研究设计了输入特异性试验, 提出了基于迁移学习的新场景标定泛化策略以提高模型适用性。本研究的研究成果验证了深度学习技术与工业检测需求融合的有效路径, 具有明确的工程应用前景。

D17-P03

水凝胶基智能传感材料：创新与高灵敏度检测技术

葛平欣，张少辉*

广东省科学院生物与医学工程研究所

水凝胶以其三维网络结构、高生物相容性和动态响应性，成为突破传统刚性传感器柔性及灵敏度瓶颈的理想材料。本研究基于光交联甲基丙烯酸化海藻酸钠 (MA-Alg) 与 MXene 复合体系，开发了一种新型碱性磷酸酶 (ALP) 检测平台。通过甲基丙烯酸酐改性 (G/M 比 2:1) 结合光引发剂 LAP，构建高强度 (0.7 MPa)、快速固化 (120 s) 三维网络，并嵌入超薄 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene 纳米片 (厚度 < 5 nm)，电导率提升至 10^{-3} S/cm，灵敏度较传统方法提高 3 倍。ALP 催化焦磷酸盐水解破坏 MA-Alg/ Ca^{2+} 交联结构，触发凝胶-溶胶转变并释放 MXene，同步输出电化学 (检测限 0.08 U/L) 与光学位移 ($\Delta\lambda=15$ nm) 双信号。临床验证显示，其与 ELISA 检测一致性达 97.4%。

D17-P04

具有超高输出性能分层压电复合材料的介观偶极子定向制备研究

李志成，裴浩然，周新闻，陈英红*

四川大学高分子研究所，先进高分子材料全国重点实验室

聚合物基柔性压电复合薄膜具有优异的可加工性、长期稳定性和高效低频能量收集能力，日益在物联网、人机交互等新兴领域有重要应用^[1,2]。然而，聚偏二氟乙烯及其共聚物压电聚合物存在压电系数不够高、电路损耗高等问题，严重制约其更广泛应用^[3]。为此，本文提出了一种分层压电薄膜的制备新方法，利用溶液铸造法实现了聚偏二氟乙烯-六氟丙烯共聚物与高极性钛酸钡纳米颗粒、耐击穿羟基磷灰石纳米线等无机陶瓷纳米填料的有效复合及压电薄膜制备，同时利用偶极定向工程赋予了所得薄膜中压电陶瓷的高响应性与聚合物的柔性低损耗特性，适用于制备可穿戴电子设备。该分层压电薄膜由极化层/耐击穿层/极化层复合结构构成，通过聚合物-填料介观相互作用增强了偶极子定向排列和介电稳定性，实现了压电性能和铁电性能的协同改善，其最高开路电压达到 31.5 V，短路电流为 0.7 mA，功率输出高达 $2.78 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ，压电系数为 $22.8 \text{ mV}\cdot\text{V}^{-1}$ 。上述工作为下一代柔性电子设备的制造提供了新思路，有望应用于医疗保健、物联网、高精度电子传感等领域。

参考文献:

- [1] T. Xu, L. Jin, Y. Ao, J. Zhang, Y. Sun, S. Wang, Y. Qu, L. Huang, T. Yang, W. Deng, W. Yang. *Nature Communications*, 2024, 15, 10876.
- [2] C. Liu, C. Wang, M. Huang, Z. Zhang, J. Qiao, X. Han, J. Wang, Q. Zu, X. Zhou, H. Jiang, L. Zhou, S. Guo, M. Zeng, L. Fu, L. Yu. *Advanced Materials*, 2024, 36, 2410383.
- [3] J. Hu, Z. Liu, P. Yang, S. Qin, N. Li, W. Ji, Z.L. Wang, X. Chen. *SusMat*, 2024, 4, e250.

D17-P05

CF@MXene 复合电极的制备及其余氯传感应用

尹乐乐^{1,2}，张亚斌^{1,2*}

1. 广西有色金属及特色材料加工重点实验室
2. 广西大学资源环境与材料学院

城镇人口对饮用供水提出了高的要求。为确保饮水中微生物的存在不影响人体健康，余氯处理成为饮水中不可或缺的环节。然而，余氯过多时不仅会影响饮用口感，一些副产物 DPBs 也可能对人体健康造成危害；余氯过少则造成饮水中微生物的存在泛滥，引发饮用水危机。如 2014 年美国爆发的弗林特水危机，余氯含量不够导致嗜肺军团菌爆发，上千群众感染呼吸道疾病。为此，开发实时在线的余氯传感器势在必行。现有的市售余氯传感器，如哈希传感器，陆恒生物传感器等。哈希传感器基于比色法，可以精准测量至 0.1 ppm，可家用且小巧便携，但价格昂贵，需要每月持续采购并定期更换试剂。陆恒生物传感器采用恒压法的电化学传感器实时检测，但价格昂贵且适用场景过于局限。电化学传感器由于可实时检测的优点而在在线检测中备受关注，然而其电极采用昂贵的贵金属如 Au、Pt 或表面镀 Au 的材料，成本高昂。研究发现，电化学传感器的性能往往取决于电极材料。研究人员积极探索了新的电极材料，

其中碳基材料如石墨和石墨烯，由于每个碳原子通过 sp^2 杂化而形成稳定的结构，展现出机械强度、高热稳定性、化学惰性的优势，但其表面不可调限制了进一步的实际应用。如何在化学惰性基础上实现性能可调成为余氯传感器性能提升的关键，其中材料复合与结构设计为关键策略。鉴于 MXene 材料高导电性、可调表面化学、高比表面积及多尺度结构设计自由度的优势及在传感领域的突出表现^[1-2]，拟通过将其与碳材料复合来应对余氯传感实时检测的挑战。为此，本研究基于饮用水余氯实时检测，开发电化学传感方法的新型 CF@MXene 复合电极材料；实现高灵敏 ($96.8 \text{ pA} \cdot \text{ppm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$)、宽检测范围 (0.5-4 ppm) 稳定的余氯实时检测并实现低成本制备，为饮用水余氯的现场实时监测和大规模应用提供了一种高效、低成本、易于工业化推广的解决方案。

参考文献：

[1] R. Yuan, Y. Yang, B. Zou, Y. Zhang. *Chemical Engineering Journal*, 2025, 510, 161414.

[2] Y. Yang, S. Yang, Xia, X. Hui. *ACS Nano*, 2024, 18, 24705-24740.

D17-P06

基于间歇架构的两级放大压力传感器

王生龙, 邓维礼, 杨维清*

西南交通大学

快速饱和和低灵敏度是限制压力传感器发展的重要因素。引入常规的微结构（例如金字塔结构）可以显著提高灵敏度，但结构压缩性差这一因素限制了其应用范围，并在复杂条件下限制了操作任务的执行。在此，我们提出了一种受到生物皮肤绒毛毛发启发的策略，即通过结合 MXene 纳米片的两级放大间歇结构来有效提高灵敏度，同时扩大响应范围。得益于这两级结构和导电材料的协同作用，压阻器件表现出极高的灵敏度 (461 kPa^{-1}) 和宽的压力范围（高达 311 kPa ）。这些传感特性使其适用于捕捉复杂的人体运动，而实时人体运动识别的深度学习算法可以高精度实现。在其他类型的传感器中使用间歇结构也是一种通用的设计方法，以实现更复杂的应用场景的高性能表现。

D17-P07

AI 辅助表面增强拉曼消化道肿瘤细胞的检测

李雪

西南交通大学

消化道肿瘤的早期精准诊断面临严重挑战，传统方法（如内窥镜，液体活检等）存在侵入性强、灵敏度低等缺点。表面增强拉曼散射光谱（SERS）因其极高的检测灵敏度（单分子水平）和分子指纹识别能力，成为新兴肿瘤诊断工具。再者，AI 技术能够高效处理 SERS 的海量光谱数据，通过特征提取和模式识别，克服传统分析方法在噪声抑制、多组分分辨和定量建模中的局限性。因此本研究构建了一种多功能核壳结构的磁性纳米探针 ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Au}@\text{Ag}$)，以 Fe_3O_4 磁性纳米颗粒为中心，包裹 $\text{Au}@\text{Ag}$ 贵金属壳层以提高其表面拉曼增强效果，利用三轴电磁线圈阵列实现探针在细胞表面的旋转富集，增强热点效率。实验证明，磁控效果使得 SERS 信号强度提升 10 倍，检测灵敏度达到单细胞水平。同时，建立了 CNN-Transformer 混合模型对采集的 SERS 信号进行智能解析，在细胞样本中实现癌/正常细胞的判别。该技术突破传统 SERS 检测中背景干扰与信号弱的局限，在 5 分钟内完成高精度诊断，为消化道肿瘤的液体活检与术中快速病理评估提供了创新解决方案。

D17-P08

煅烧温度对 BiFeO_3 晶体结构及碳酸二甲酯气敏性能的影响研究

施伟敏, 段家欣, 张铨璧, 王新震*

山东科技大学

近年来，采用气体传感器检测电解液挥发性特征气体成为锂离子电池热失控和气体传感器领域的研究热点。碳酸二甲酯是锂离子电池最常用的电解液组分之一，由于其沸点较低，是热失控初期的主要挥发物。本研究采用化学沉淀与煅烧相结合的方法制备了 BiFeO_3 ，采用 SEM、XRD、TEM、XPS 等手段

对产物进行了表征,研究了煅烧温度对产物晶体结构和气敏性能的影响规律。研究表明, BiFeO_3 的气敏性能与煅烧温度关系密切,随着煅烧温度从 500°C 升高到 800°C ,对碳酸二甲酯的灵敏度逐渐降低。 500°C 煅烧制备的 BiFeO_3 样品灵敏度最高,对 100 ppm 碳酸二甲酯的灵敏度为 320,响应和恢复时间分别是 21s 和 19s。此外,该样品对碳酸二甲酯表现出优异的选择性和长期工作稳定性。该样品优异的碳酸二甲酯气敏性能归因于其较大的比表面积和丰富的氧空位,为气敏反应提供了较多活性位点,促进了材料表面氧吸附和离子化过程。本研究为开发高性能碳酸二甲酯气体传感器和锂离子电池热失控预警提供了研究基础和实验积累。

D17-P09

基于 MIL-125(Ti)衍生的 TiO_2 对于 ppb 级丙酮的灵敏检测

王乾, 王婷婷, 黄永巍, 程亮*, 杨婷, 马亚丽
宁夏大学

晶相结构的调控能够改变金属氧化物半导体 (MOSs) 材料的带隙与化学吸附氧含量,从而优化材料的气敏性能。本文通过对 MIL-125(Ti)前驱体煅烧温度的调控,制备出了纯锐钛矿相、锐钛矿与金红石复合相、纯金红石相结构的 TiO_2 纳米材料,并研究了不同晶相结构的材料对丙酮气敏性能的影响。研究表明,尽管金红石相 TiO_2 -700 (MIL-125(Ti) 在 700°C 下煅烧得到) 样品较于其他样品比表面积小、氧空位含量低,但却表现出最佳的气敏性能;相应的传感器在 275°C 下对 100 ppm 丙酮的响应值高达 13.38,响应时间短至 11 秒,检测限低至 200 ppb。深入研究表明,其优异的传感性能可归因于 TiO_2 晶相结构的调控,使得带隙变窄、化学吸附氧含量和丙酮分子吸附能增加。此外, TiO_2 -700 在模拟糖尿病检测时表现出优异的性能。这有助于系统了解材料的晶相结构对气敏性能的影响规律,进而为优良 TiO_2 基气体传感器的设计奠定基础。

D17-P10

Rapid in-situ 2D-MOF/2D-TMDCs growth strategy for Humidity-Independent NO_2 Sensor

Junwei Zeng^{1,2}, Weicheng Jiao², Yue Niu^{1*}

1. School of Physical Sciences, Great Bay University, Dongguan
2. Harbin Institute of Technology

Two-dimensional transition metal dichalcogenides (2D TMDCs) materials are widely used for room-temperature gas sensors. However, the effect of ambient humidity on the 2D TMDCs materials-based gas sensors would cause unpredictable fluctuations in the sensing response and hence significantly reduce sensors' accuracy, which is still a large challenge impeding their practical application. Here, we present a novel rapid aqueous synthesis strategy to in-situ assembly a 2D metal-organic framework (MOF) UiO-66- NH_2 onto mechanically exfoliated molybdenum disulfide (MoS_2), where UiO-66- NH_2 and MoS_2 nanosheets are held together via van der Waals (vdW) interaction. Owing to its hydrophobic nature, the UiO-66- NH_2 serves a water-isolated layer and the UiO-66- NH_2/MoS_2 gas sensor exhibits near-constant nitrogen dioxide (NO_2) responses when humidity varies across a wide range from 30-80 % relative humidity (RH). Moreover, the sensing stability and reliability of UiO-66- NH_2/MoS_2 were substantially enhanced at room temperature. The reported rapid aqueous synthesis strategy is expected to be a highly attractive approach for in-situ synthesizing 2D-MOF on 2D-TMDCs, leading to a new alternative of gas sensors with excellent humidity-independent gas sensing performances.

D17-P11

High-precision electrohydrodynamic printing for cross-scale cylindrical surfaces

Qingshuang Wu, Hongyang Wang, Dong Ye*
Huazhong University of Science and Technology

Based on polarization-driven electrohydrodynamic printing (PDE), this study proposes an

electrohydrodynamic inkjet printing method for fabricating high-precision electronic devices on micro-cylindrical surfaces, addressing the resolution and accuracy limitations of traditional techniques on highly curved substrates. By inducing favorable Maxwell-Wagner polarization via the precoated dielectric layer, the reversely polarized spot brought about a significant drop ($\sim 57\%$ for ceramics) in the operation voltage as its induced electric field and a negligible residual charge accumulation. Thus, ordered micro/nanostructures with line widths down to 300 nm were directly written at a stage speed as low as $5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Employing this methodology, high-precision temperature sensor arrays were fabricated on micro-cylindrical substrates with line widths under $20 \text{ }\mu\text{m}$. The sensors maintain measurement errors within $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ across $20\text{-}100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, exhibiting resistance fluctuations below 3% subsequent to 1000 mechanical bending cycles. This technique delivers a high-precision manufacturing solution for smart electronics on ultra-fine fiber surfaces, advancing the development of wearable devices and implantable systems toward functional integration and intelligent control.

D17-P12

柔性可穿戴温度-应变双模态传感器的设计与制备

杨帅, 李诗颖, 刘宜伟*

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

传感器作为信息感知的关键元件,是实现“万物互联”的基础单元。其中,兼具温度-应变双模态感知功能的柔性传感器因其优异的柔韧性和双重感知能力,在健康监测、智能机器人、智能汽车等领域发挥着重要作用。然而,现有技术仍面临柔性宽温域难以兼顾,以及温度与应变信号解耦的挑战。针对这些问题,本研究选用 PDMS/BaTiO₃ 作为温敏材料构建电容式温度传感单元,采用 NiCr 作为应变敏感材料形成电阻式应变传感单元;通过中性层结构设计消除应变对温度的干扰,建立温度、应变与电阻的关联方程,实现双参数解耦。所开发的传感器工作温域为 $0\text{-}200 \text{ }^{\circ}\text{C}$,灵敏度高达 $-160.90 \text{ fF}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$,线性度达 0.998,温度分辨率为 $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;应变检测下限达 $20 \text{ }\mu\epsilon$,加载-卸载响应时间分别为 54 ms 和 74 ms。这些突破性进展在智能机器人、人机交互等领域展现出广阔的应用前景。