

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

D22-先进陶瓷材料

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D22. 先进陶瓷

分会主席：解荣军、陈航榕、周时凤、章根强、范宇驰

D22 -01

高强韧轻质碳基复合材料

汤素芳

中国科学院金属研究所

D22 -02

高熵超高温陶瓷基复合材料的设计制备与多功能化

倪德伟*、胡洋、董绍明

中国科学院上海硅酸盐研究所

新型高速飞行器苛刻的服役条件与日益增强的电子对抗环境对热结构材料的要求逐渐从单一的结构承载向多功能化方向转变，其超高温、高速气流冲刷以及复杂的电磁干扰服役环境，对材料提出了承载、抗烧蚀、电磁屏蔽/吸波等性能多功能化的要求。高熵超高温陶瓷具有优异的抗氧化性能，并且可以通过组元设计优化氧化层的组成和稳定性；同时，由于高熵效应的存在，多相固溶晶格畸变产生的缺陷，可作为极化中心抑制空间电荷的重排和偶极子转向，调控电磁吸波性能。本工作以 $\text{Cf}/(\text{CrZrHfNbTa})\text{C-SiC}$ 高熵超高温陶瓷基复合材料为研究对象，从组成和结构上对纤维、界面及陶瓷基体进行设计，实现了材料抗烧蚀、电磁屏蔽/吸波等性能的多功能化，并深入揭示了其内在机理。

D22 -03

高热导率 SiC 陶瓷的设计与制备研究

李寅生*、阎硕、杨帆、黄斌炜

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

碳化硅（SiC）陶瓷具有优异的高强度、耐高温、耐腐蚀性能和良好的导热性能，是严苛工况下热交换器的理想材料。在核能、太阳能、煤电等关键领域，SiC 陶瓷发挥着重要作用，为推动节能减排、助力“双碳”目标实现提供了重要技术支撑。当前，开发具有更高热导率的 SiC 陶瓷材料已成为提升节能效率的紧迫需求。理论上，SiC 单晶的热导率可达 490 W/mK ，但实际上，受晶格缺陷、杂质元素以及晶界残留相的影响，SiC 陶瓷的热导率通常介于 $30\text{--}270 \text{ W/mK}$ 之间。尤其因晶格氧杂质引发的强烈声子散射效应，是公认的制约 SiC 陶瓷热导率提升的关键因素。本报告将围绕上述科学问题，分别以固相烧结和液相烧结 SiC 陶瓷为研究对象，基于烧结助剂的优化设计，在 SiC 陶瓷的烧结过程中高效消除晶格氧、促进晶粒长大、减少晶界残余相，实现 SiC 陶瓷热导率的显著提升。揭示 SiC 的 $\beta \rightarrow \alpha$ 相变行为对晶格氧含量、晶粒尺寸和晶界热阻的影响机制，阐明 SiC 陶瓷导热性能的影响因素和作用机理。

D22 -04

高压条件下的陶瓷材料烧结机理研究

季伟

武汉理工大学

D22 -05

极端环境用超高温陶瓷基复合材料

曹晔洁

西北工业大学

D22 -06

基于纳米序构的强韧化薄膜材料

王之君¹

1. 郑州大学

靶材作为制备平板显示用透明导电薄膜的关键基础材料，其品质影响着整个显示行业的发展进程，因此开展靶材的制备工艺及致密化机制研究具有重要的意义。而晶粒微观组织结构对靶材溅射性能具有重要的影响，如何进一步细化晶粒一直是高性能陶瓷靶材制备的难题。本工作以氧化铟锌（IZO）陶瓷靶材为主体，提出掺杂诱导晶粒细化的策略，引入稀土元素作为晶粒细化剂，通过工艺优化，制备出晶粒细小的高致密 LnIZO 靶材。结合 XRD\SEM\XPS 等表征手段深入分析了稀土元素种类、掺杂含量、电子结构等对致密化过程中靶材致密度、物相结构、晶粒尺寸以及电阻率的影响规律。探讨了 LnIZO 靶材的晶粒生长动力学和晶粒细化机理，推断出掺杂有限固溶引起的溶质转化形成微量 LnInO₃ 相富集 In₂O₃ 相晶界处，产生晶界迁移的阻力效应，阻碍了晶粒的进一步生长。这项工作提供了一种通过掺杂诱导晶粒细化来提高氧化物靶材性能的独特思路，为高性能氧化物陶瓷靶材的制备提供了理论支撑。

D22 -07

高熵碳化物陶瓷的主元设计与组织性能调控

张侃

吉林大学

D22 -08

多场耦合环境下平纹编织 SiCf/SiC 陶瓷基复合材料强韧性能研究

王锋

苏州实验室

D22 -09

多场耦合环境下平纹编织 SiCf/SiC 陶瓷基复合材料强韧性能研究

邓勇*、张超

西北工业大学

陶瓷基复合材料是支撑航空航天、深空探测及高速飞行器等发展的核心材料，以其卓越的耐高温、轻质高强和优异防隔热性能应对极端热环境挑战。本文系统研究了多场耦合环境下平纹编织 SiCf/SiC 陶瓷基复合材料的高温力学行为演变规律，重点揭示了高温预载荷与环境气氛对其强韧性能的影响机制，阐明了典型服役下陶瓷基复合材料的失效机理与高温力学性能关键控制因素。进一步，针对传统实验技术的探测能力与物理空间限制，创新性发展了基于同步辐射的原位高温测试技术，实现了复合材料内部结构与损伤演化的实时、动态监测。研究成果为陶瓷基复合材料的高温性能精准评价、失效预测及机理分析提供了关键支撑。

D22 -10

三元层状 MAX 相材料结构设计的探索与创新

李友兵*

苏州大学

化石燃料的大规模使用引发的能源危机与环境污染问题，已成为制约全球可持续发展的重大挑战。为应对这一挑战，我国积极推进“碳达峰”和“碳中和”的国家战略部署，核电凭借其显著的低碳排放特性和极高的能量密度，正成为能源结构转型的关键支撑。近年来，随着我国能源结构的持续优化，核能产业实现了跨越式发展，我国在运核电机组总发电量达跃居全球第二位。安全是核能发展的首要前提，核燃料包壳材料是核反应堆安全运行的第一道屏障，其性能直接关系到核能系统的安全性、经济性和可持续性，因而开发和设计新型核燃料包壳材料至关重要。三元层状 MAX 相材料作为核燃料包壳的候选材料，其兼具金属

的高导电、高导热、优良的损伤容限和易加工性质，以及陶瓷的高强度、高模量、耐辐照、耐腐蚀、耐高温和抗氧化性质，近年来受到核能领域的重点关注。受限于传统高温固相合成方法的高热力学势垒和竞争相问题，MAX 相材料的元素化学长期以来被局限在传统定义中用。近十年来，科学家们通过发展同晶置换策略、优先合金法和“化学剪刀”法等新型合成策略，大幅扩展了 MAX 相材料的种类和组元，展现了 MAX 相的元素包容性和结构多样性，并揭示了其原子晶体结构特性与功能应用的新特征，为深入理解其化学键形成机制和物性调控提供了新的研究视角。

D22 -11

SiBCN 基陶瓷纤维的电磁防护和热管理性能研究

丁奇*、范宇驰、王连军、江莞

东华大学

电磁波干扰、机舱失火和表面结冰等因素对航空安全构成严重威胁，集电磁防护、耐火和热管理功能于一体的多功能纤维材料备受青睐，但也极具挑战性。基于此，通过静电纺丝、交联、热解和退火工艺，制备了一系列 SiBCN 基陶瓷纤维。首先，通过微观结构设计，调控载流子迁移、偶极子极化和界面极化，进而调控电导损耗和极化损耗，实现其电磁吸波和屏蔽性能的可控调节；其次，SiBCN 基纤维还展现出优异的耐火表现；最后，SiBCN 基纤维也展现出优异的电热转换性能以及快速的电热响应。本工作为设计轻质、耐火的 multifunctional 电磁防护材料提供宝贵见解，以期为提高航空安全提供理论指导。

D22 -12

一种高导热和低介电损耗的球形 h-BN 团聚体填充复合材料

李佳奇、姚晓刚*

上海硅酸盐研究所

本研究介绍了一种基于环状烯烃共聚物 (COC) 和球形 h-BN 团聚体 (Sh-BN) 的复合材料的开发及其性能的全面分析。通过喷雾造粒和真空烧结制备了粒径超过 100 μm 的 Sh-BN 颗粒，然后通过双螺杆挤压和热压成型工艺制备复合基板。结果表明，当填料含量为 50 vol% 时，50 $^{\circ}\text{C}$ 下的热导率达到 1.786 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。同时，介电常数从 2.3 增加到 3.6，而介电损耗仍处于 4×10^{-4} 的较低水平。同时通过有限元分析模拟了复合基板的介电常数，模拟结果与理论结果的偏差归因于实验过程中复合材料的孔隙无法完全消除。通过优化填料分布和界面相容性，这种复合材料成功地平衡了热导率和介电特性，在高频通信和电力电子封装领域具有广阔的应用前景。

D22 -13

不同 N 含量的 (TiVCrZr) N_x 四元氮化物陶瓷制备与性能

陈旭园、战再吉*、王晓宇、曹海要

燕山大学

由于具有传统材料无法实现的独特性能，高熵陶瓷日益受到关注。尽管已经涌现出大量高熵陶瓷，但由于高熵陶瓷的制备涉及大量元素的混合以及共价键和离子键的重组，其热力学行为更加复杂，因此对多组分固溶体的相组成理论预测研究较为匮乏。本研究中，利用 Thermo-Calc 软件和 TCHEA4 数据库，生成了由 Ti、V、Cr、Zr 和 N 五种元素形成的四元固溶体氮化物的一系列平衡相数据；同时，通过放电等离子烧结 (SPS) 技术，在 1600 $^{\circ}\text{C}$ 下利用市售过渡金属及其氮化物制备了五种具有不同氮化学计量比的四元固溶体氮化物。实验中的相组成检测与热力学计算证实，氮含量的增加有利于单相固溶体的形成。由于氮化学计量比的变化，氮-金属键的浓度相应改变，导致不同的相对密度和力学性能。基于实验数据，构建了预测成分复杂陶瓷的 CALPHAD (计算相图) 模型，预测最大绝对误差仅为 8.31%。

D22 -14

Engineered Amorphous Interfaces in Cold-sintered ZnO-PAN Hybrids: Synergistic Thermal Insulation and Nonlinear Electrical Properties

司明明
东华大学

D22 -15

超高压制备(EuGdTbDyTm)₂(HfZr)_{0.7}高熵陶瓷及性能研究

陈朝然、张兆泉*
中国科学院上海硅酸盐

本研究针对核反应堆中子吸收控制材料的关键技术瓶颈开展创新性研究。核反应堆控制棒作为堆芯安全运行的核心组件，长期服役于高温 (>300℃)、强中子辐照及高压水热腐蚀等多场耦合极端环境，面临着因辐照脆化效应和应力腐蚀耦合作用引发的结构失效风险，严重威胁反应堆的服役安全性。基于组分熵调控策略，本研究设计开发了具有长周期服役稳定性的(EuGdTbDyTm)₂(HfZr)_{0.7}高熵烧绿石陶瓷(A₂B₂O₇)，其多主元固溶效应显著提升了材料的辐照损伤容限。然而，高熵烧绿石体系固有的低烧结活性导致传统制备工艺需在1500℃以上进行长时间(>6h)高温处理，由此引发的异常晶粒生长(平均尺寸>10 μm)和晶界弱化现象严重劣化材料力学性能。为解决这一材料制备难题，本研究突破常规烧结技术局限，创新性地引入超高压(>1GPa)极端条件制备技术。通过系统研究压力-温度-时间多参数协同作用机制，成功开发出超高压低温烧结新工艺(5GPa/1000℃/15min)。实验结果表明：相较于传统烧结方式，超高压烧结使材料致密化温度降低33%的同时，获得了相对密度达99.2%的高致密纳米晶陶瓷，晶粒尺寸显著细化至亚微米级(~500nm)。XRD与SEM表征证实，新型烧结工艺在实现快速致密化的同时，有效维持了单一烧绿石相结构，未出现第二相。特别值得关注的是，超高压制备样品在保持10GPa高硬度的基础上，断裂韧性提升至2.4MPa·m^{1/2}，较常规烧结试样提升约35%。机理研究表明，超高压促进了颗粒重排和晶界滑移，细化了组织结构，抑制了晶粒的形核和长大，实现纳米晶材料的快速致密化。本研究为高韧性结构陶瓷的可控制备提供了新思路，将超高压技术从超硬材料制备拓展至核用结构材料领域。

D22 -16

共沉淀法制备(Mg_{0.2}Al_{1.0}2Ce_{0.2}Y_{0.2}Zr_{0.2})_{0.1.6}高熵陶瓷的相结构及合成机理

王吉春¹、杜娇娇³、高鹏飞^{1,4}、王震宏⁴、杨柏俊*²

1. 西南科技大学
2. 中国科学院金属研究所
3. 扬州大学
4. 中科泰达新材料科技(苏州)有限公司

本文采用共沉淀法合成了纳米级(Mg_{0.2}Al_{1.0}2Ce_{0.2}Y_{0.2}Zr_{0.2})_{0.1.6}高熵陶瓷粉体，考察了烧结温度对粉体物相组成、微观结构以及在1400℃下反复煅烧后的相稳定性等的影响。结果表明，在1200℃下烧结的(Mg_{0.2}Al_{1.0}2Ce_{0.2}Y_{0.2}Zr_{0.2})_{0.1.6}粉末较1000℃下烧结的粉末表现出更优异的结晶性，室温下呈现出高含量的t'-ZrO₂相。Ce⁴⁺(0.92 Å)和Y³⁺(0.89 Å)因离子半径较大，更容易以取代掺杂的形式固溶于ZrO₂晶格中，引起晶格膨胀，显著提高其四方度(c/a)。而半径较小的Mg²⁺和Al³⁺则通过间隙固溶或取代Zr⁴⁺引起晶格收缩，有效抵消了大离子掺杂导致的晶格畸变，从而降低大离子掺杂的负面影响。这种“大-小离子协同掺杂”机制使材料在1400℃长时间热处理后仍保持优异的相稳定性。微观结构分析显示，虽然共沉淀法的爆发性成核与生长导致粉体宏观形貌不对称，但纳米尺度上仍呈现良好均匀性。1200℃制备的粉体晶粒尺寸较大，这可能与高温下晶粒生长和结晶度提高有关。本研究为开发新型高热稳定性的高熵陶瓷热障涂层材料提供了重要参考，其优异的相稳定性有望克服传统YSZ材料在1200℃以上易发生相变的局限性。

D22 -17

通过 Al_4SiC_4 辅助低温瞬态液相烧结制备轻质超硬 $\text{B}_4\text{C}/\text{SiC}$ 陶瓷复合材料

张妍彬、侯甲一、魏剑*、李雪婷、姚毅

西安建筑科技大学

在提升碳化硼 (B_4C) 陶瓷烧结性能与断裂韧性的同时, 保持其优异的硬度与低密度, 对于其在先进防护陶瓷及高端工程应用中的推广具有决定性意义。本研究提出以 Al_4SiC_4 为辅助剂的瞬态液相烧结策略, 通过原位反应构建轻质超硬 $\text{B}_4\text{C}/\text{SiC}$ 陶瓷复合材料。在 1700°C 与 1850°C 的烧结条件下, 复合陶瓷分别展现出 33.7 GPa 与 37.9 GPa 的维氏硬度, 理论密度为 2.52 g/cm^3 与 2.55 g/cm^3 , 相对密度高达 98.13% 与 99.99% , 断裂韧性达到 $3.03\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 与 $3.36\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, 兼具致密性与力学性能的优异提升。 Al_4SiC_4 的引入有效降低了致密化过程的激活能, 通过促进瞬态液相的形成显著加速了烧结动力学过程, 并显著优化了材料的微观结构。此外, Al_4SiC_4 在高温下可原位生成片状 SiC 相, 未引入有害副产物, 在保证复合陶瓷轻质特性的同时, 显著增强了其在极端服役条件下的结构稳定性与抗热性能。片状 SiC 作为裂纹偏转和分叉的重要调控因素, 在细化晶粒、延长裂纹传播路径方面发挥了关键作用, 实现了材料韧性与硬度的协同提升。本研究构建的低温高效烧结体系及其微结构设计策略, 为高性能 B_4C 基复合陶瓷材料在弹道防护等领域的工程化应用提供了新路径, 展现出广阔的应用前景与工程价值。

D22 -18

极端服役环境 X 显微原位 CT 在陶瓷材料领域的应用

李仁庚*、戴峰

南京工业大学

随着陶瓷材料在航空、航天、军工等关键领域的应用, 在高温、低温和复杂应力等极端服役条件下对关键材料和构件的内部缺陷形成、演变和裂纹扩展进行可视化、定量化、数字化原位研究, 成为评估部件服役可靠性和预测剩余寿命的重要实验手段。基于 X 射线强穿透能力和计算机断层扫描 (CT) 技术, 结合亚微米级精密控制转台和机械控制, 可实现毫米/厘米级试样的三维无损成像。通过配置超高温模块、低温模块、高载荷模块 (拉伸/压缩/弯曲/疲劳), 构建热-力耦合系统, 实现超高温变形、超低温变形以及热冲击、疲劳、蠕变等复杂工况下陶瓷材料与部件的原位 CT 成像。极端服役环境 X 射线显微原位 CT 设备的成功研发, 将极大提升关键结构材料在服役工况下的可靠性和安全性。

D22 -19

导电型碳化硅红外辐射陶瓷的设计、制备及性能研究

祝明*

上海硅酸盐研究所

碳化硅 (SiC) 陶瓷兼具高红外发射率、高强度、抗高温氧化、耐中子辐照等优异的结构、功能特性, 是航空航天、核工业等领域重要的红外光源材料。然而 SiC 陶瓷同时呈现高电阻和非线性压敏特性, 导致红外光源存在响应慢、难以准确控制辐射功率等问题。本工作通过引入 TiB_2 作为导电相在 SiC 基体中构建导电网络, 实现了对 SiC 陶瓷电学性能的剪裁。 TiB_2 的引入可形成势垒高度较低的 $\text{SiC}-\text{TiB}_2$ 晶界取代 $\text{SiC}-\text{SiC}$ 晶界, 削弱晶界效应, 降低晶界电阻, 进一步弱化复相陶瓷的非线性特征并降低体电阻率。当 TiB_2 含量达到 $15\text{ vol}\%$ 时, 渗流导电现象发生, $\text{SiC}-\text{TiB}_2$ 复相陶瓷伏安曲线呈线性特征, 电阻率降低 3 个数量级至 $0.87\ \Omega\cdot\text{cm}$ 。为实现 SiC 陶瓷电学性能和红外辐射性能的协同优化, 在高导电 $\text{SiC}-\text{TiB}_2$ 基体中进一步添加 AlN , TiB_2 的引入和 Al 、 N 元素的成功掺杂, 使得 SiC 陶瓷兼具高导电和高红外辐射特性, 在 800°C 时电阻率和总发射率分别为 $5.54\ \Omega\cdot\text{cm}$ 和 0.922 。

D22 -20

基于声学共振混合（RAM）和 SPS 技术的高性能陶瓷快速制备方法

张扬

国机金刚石（河南）有限公司

D22 -21

基于光热固化的选择性激光诱导凝胶成型（SLIG）陶瓷 3D 打印技术研究

朱朋飞

深圳奇遇科技有限公司

D22 -22

稀土发光材料的创制与大功率光源器件应用

夏志国

华南理工大学

D22 -23

稀土发光陶瓷与激光照明应用

李淑星*、解荣军

厦门大学

由于 LED 固有的效率滚降效应，难以实现超高亮度光源。激光照明光源应运而生。利用蓝光激光激发稀土发光材料获得的高亮度、高准直性的光源在远距离照明、高亮度显示、远距离通信等领域有巨大应用潜力。稀土发光材料是这一应用中的关键核心材料。这一应用背景面临的关键问题包括：1. 高功率密度激光激发下发光材料的失效机制是什么？2. 如何理性设计和科学制备耐激光激发的荧光材料？3. 如何实现超高亮度、高显色激光照明光源器件？本报告将针对上述问题展开。

D22 -24

紫外和红外波段无机固体发光材料

梁延杰

山东大学

D22 -25

高费尔德常数磁光玻璃的无容器制备与性能研究

张明辉*

中国科学院上海硅酸盐研究所

具有大法拉第效应的材料已被用作光隔离器、光环行器和电流或磁场传感器。光学隔离器已广泛应用于激光系统，以迫使激光单向传播或防止背反射，提高激光器的稳定性和可靠性。磁光性能可用 $\theta = VHL$ 表示，其中， θ 是法拉第旋转角， H 是外部磁场， L 是材料中的光通过长度， V 是材料的费尔德常数(取决于材料、波长和温度)。磁光玻璃光学性能优异、各向同性、易于制备加工、生产成本低，在磁光器件中已经开始得到应用。创新性引入气悬浮无容器激光加热技术，用于新型磁光玻璃材料的研究。磁光费尔德常数（1064nm）是商用 TGG 晶体的 1.7 倍，高于美国商用 M24 玻璃的 -28rad/(T m)，消光比大于 30dB。DSC 热学测试表明， ΔT 只有 80°C 左右，玻璃形成能力较差，充分体现了悬浮无容器技术制备新型玻璃的优势。热导率 0.83W/(m K)，优于美国 Kigre 公司 M24 磁光钽玻璃的 0.68W/(m K)。通过调控熔制工艺、稀土离子价态和澄清，提高玻璃尺寸、磁光性能和均匀性，有利于磁光器件高功能化、低成本化。本研究将有效促进磁光材料在成本、性能、加工等方面的发展，促进磁光玻璃的器件化应用。

D22 -26

晶体复合玻璃光纤及其应用探索

董国平*

华南理工大学

复合玻璃光纤结合了晶体发光性能优异和玻璃易于拉制光纤的优势，成为获得高效荧光和激光输出的理想增益材料。本团队基于玻璃基因工程预测设计了前驱体玻璃体系，利用外场诱导的方式在玻璃基质中可控形成低声子能量的纳米晶体。开发了复合玻璃光纤制备技术，研制了高性能复合玻璃光纤，并探索了复合玻璃光纤在激光、放大、传感、探测等领域的广泛应用。

D22 -27

钠钙硅透明陶瓷

刘超

武汉理工大学

D22 -28

荧光玻璃陶瓷膜的红外快烧技术与激光照明应用

聂玉婷^{1,2}、王鹏飞²、林航^{*2}

1. 福州大学化学学院

2. 中国科学院福建物质结构研究所

激光照明/显示技术，在大电流驱动下不产生由电子-空穴俄歇复合所致的“效率骤降”现象，且具有效率高、光通量大、光学扩展量小等优点，是半导体固态光源最新的发展方向。为解决高功率密度激光激发荧光转换材料带来的严重热效应问题，我们将高效荧光粉与硅基玻璃复合，以玻璃陶瓷膜形式低温共烧于高导热基板上，形成一体化全无机复合材料，进而将之与蓝光激光远程耦合，构建高亮度激光照明/显示光源[1-2]。

最近，我们创制了荧光玻璃陶瓷（膜）的红外辐射快速烧结 RTA 技术，可在 10 秒内实现玻璃陶瓷膜的高度致密化（气孔率<3%），大幅提高制备效率并减少能耗。该制备技术适用于不同荧光粉体系和多种基板，显示了设计灵活性和通用性。经 RTA 处理，显著抑制了界面反应，荧光粉颗粒几乎未被侵蚀，仅在颗粒表面观察到 1-2 nm 的离子扩散层。以 SCASN:Eu 玻璃陶瓷膜为例，膜层的内量子效率达到 91.2%。重要的是，RTA 技术的均匀温度场适合材料的高通量筛选，能够快速验证理论预测，有望加速各种新型玻璃陶瓷膜材料的发现[3]。

[1] X. Yue, H. Lin,* S. Lin, B. Wang, Q. Huang, J. Xu, Y. Cheng, Y. Wang*, Laser Photon. Rev., 2021, 15, 2100317.

[2] Y. Lin, H. Lin*, P. Wang, J. Xu, Y. Cheng, Y. Wang*, Laser Photon. Rev., 2024, 2400995.

[3] P. Wang, H. Lin*, G. Chen, W. Weng, Y. Xu, Y. Lin, J. Xu, Y. Cheng, Y. Wang*, Nature Commun., 2025, accepted.

D22 -29

航空发动机新型环境障涂层

张小锋

广东省科学院新材料研究所

D22 -30

载酶杂化水凝胶生物材料及生物诊疗研究

王霞*、王启刚

同济大学

代谢途径中的许多细胞反应不是通过游离的自由酶，而是由基质如凝胶组织相结合的多酶复合物催化实现。酶连同其组装/嵌合的凝胶基质环境构成了纳米尺度上生命体的必要组成部分。基于凝胶材料高的物质传输性能和优异的生物相容性，仿生构建的载酶凝胶材料也得到了广泛的研究。申请人及课题组近十年来一直从事酶促凝胶材料的设计制备，探索其在组织工程和生物诊疗等相关领域的应用研究。基于催化自组装/聚合/交联作用将酶固定在复合水凝胶中得到的载酶活性水凝胶材料，通过小分子生物催化与微环境进行交互作用，并对其生物催化监测和调控性能进行探索研究。特别是在微/纳米的介观尺度上，率先设计以功能纳米粒子为内核，在粒子表面组装/聚合形成纳米凝胶结构，进一步担载生物酶得到酶负载的有机-无机杂化纳米凝胶材料体系。该体系既保留了凝胶体系良好的生物相容性特点，将无机纳米材料的稳定性、功能性赋予软湿的水凝胶体系，同时保护并赋予生物酶组分高反应特性，形成了一类体内微环境响应的纳米反应器材料同于肿瘤等疾病的高效成像和治疗研究。

D22 -31

氧化硅基生物医用材料

牛德超*

华东理工大学

随着当前医学及诊疗技术的快速发展，人们对生物材料的设计构建提出了新的要求。氧化硅基载体材料具有生物相容性好、表面易改性、稳定性好等优势，在药物递送、肿瘤诊疗等领域展示出较大的应用潜力，引起科学及医药产业领域的广泛关注。然而，现有氧化硅基载体在生物医学领用的应用依然面临诸多挑战，如孔结构难以精准调控、生物学效应尚不明确以及硅骨架活性不足等问题。基于此，我们提出“胶束介导的氧化硅基生物医用材料”新思路，在氧化硅基生物医用材料可控制备及生物医学应用领域取得了系统性成果。本报告将介绍近年来我们课题组在氧化硅基生物医用材料的可控制备及其生物医学应用方面的最新研究进展。

D22 -32

长节距中空氧化钨基陶瓷旋转靶材的产业化

许积文*

桂林电子科技大学

中空薄壁管状结构的旋转靶材是关键镀膜材料，其制造的难点高于平面靶材。本文研究长度为 700mm 的 ITTO 旋转靶材的制造，以及微结构和电阻率及延长度方向的均匀性，研究结果较好的评价了制造工艺能够符合量产要求。

D22 -33

粉体细化策略实现 BS-PT 基压电陶瓷压电性能与温度稳定性协同优化

孔祥超、梁瑞虹*

中国科学院大学上海硅酸盐研究所

随着高温压电器件在航空航天、汽车行业及能源勘探等领域的需求日益增强，开发兼具高压电性能与高热稳定性的压电陶瓷成为研究重点。BiScO₃-PbTiO₃ (BS-PT)陶瓷体系由于其在准同型相界(MPB)处高压电系数(460 pC/N)与高居里温度(450 °C)成为 300 °C以上高温应用的重要候选材料。过去二十年中，为满足实际应用需要，常通过组分设计(第三组元固溶、元素掺杂)引入不稳定结构对 BS-PT 陶瓷性能进行优化，

这不可避免地降低了体系的居里温度和温度稳定性。因此实现压电性能、居里温度、热稳定性协同优化成为了高温压电陶瓷领域的研究重点和关键难题。在本研究中,首先利用 $\text{Li}^+/\text{Sm}^{3+}$ 共掺杂将 BS-PT 陶瓷的压电性能初步提升至 509 pC/N,居里温度为 408 °C。随后通过粉体细化工艺在 BS-PT 陶瓷中引入局部异质结构,将 BS-PT 陶瓷的压电性能进一步提升至 602 pC/N,且实现了热稳定性优化(压电系数在 100-350 °C 变化率仅为 13.4%)并保持了高居里温度(414 °C)。原子分辨率扫描透射电子显微镜(STEM)表明,粉体细化诱导 BS-PT 陶瓷微区极化矢量分布从不连续分布转变为准各向同性分布,促进了不同局部对称性之间的极化旋转,从而导致了压电性能的增强。动态热机械分析(DMA)和变温压电力显微镜(PFM)测试结果表明粉体细化诱导的极化畴融合现象与高温畴活化、晶格膨胀的竞争是样品热稳定性的提高的原因。这项研究为增强压电陶瓷压电性能和热稳定性提供了一种新的方法,为设计和开发高温压电陶瓷提供了指导。

D22 -34

Zn-Mg-Al 水滑石涂层的制备及其抗原子氧/防紫外性能研究

郑佳裕、谷红宇*、徐梦芸、孙瑞、王佳琪、章俞之、宋力昕

中国科学院上海硅酸盐研究所

近年来,轻质柔性聚合物材料的原子氧防护成为低轨卫星星座等航天器低成本规模化部署的重要研究课题。聚酰亚胺凭借其优异的综合性能在航天器领域广泛应用,然而在低地球轨道环境中易受原子氧和紫外辐照的协同侵蚀,严重影响材料服役寿命。本研究针对聚酰亚胺薄膜的原子氧/紫外防护问题,以二维 Zn-Mg-Al 水滑石(LDH)纳米片为核心单元,结合硅烷偶联剂(APTES)的表面修饰,通过旋涂法制备了具有鳞片叠层结构的 Zn-Mg-Al LDH 涂层,系统探究了 APTES 浓度与涂层厚度对防护性能的影响规律。该涂层以层状纳米片为骨架单元,有效吸收与释放应力,防止涂层开裂;同时 APTES 的修饰也可以增强涂层与聚酰亚胺基体的结合力,防止涂层脱落。结合 AO 地面模拟试验(剂量 8.70×10^{19} atoms/cm²)发现:当 APTES 浓度为 20 $\mu\text{L/mL}$ 、旋涂层数为 9 层时,涂层质量损失仅为 0.0033 mg/cm²(为纯聚酰亚胺薄膜的 1.28%),侵蚀率低至 4.396×10^{-28} cm³/atom,紫外反射率提升 5%-15%,展现出优异的综合防护性能。本研究为低轨极端环境下聚酰亚胺薄膜的防护提供了高效解决方案,并拓展了二维纳米材料在空间工程领域的应用潜力。

D22 -35

批量化制备激光照明用 YAG:Ce 荧光陶瓷

庞淇瑞*

厦门大学

YAG:Ce 荧光粉及荧光陶瓷在激光驱动白光光源中具有优异的光学性能和热稳定性,应用前景广阔。然而,商业化生产面临大尺寸、无缺陷生坯的制备难题,需兼顾高致密度、优异的光学性能和较低的加工成本。本研究采用流延成型工艺制备大尺寸 YAG:Ce 陶瓷生坯,研究了成型条件和烧结温度的影响机制。实验表明:当分散剂 PEI 添加量为 2 g、粘结剂 PVB 添加量为 16 g 且 R 值(粘结剂与增塑剂质量比)为 0.5 时,浆料具有最佳流变性能和最优机械强度,其中增塑剂与粘结剂比例的调节可有效调控生坯带的柔韧性。制备得到的 YAG:Ce 荧光陶瓷在激光蓝光激发下,发光效率为 523.52 lm/W,亮度为 167.85 Mcd/m²。

D22 -36

热辅助分层喷涂类海胆状空心碳球超黑涂层

曹倩颖、冯爱虎、肖雨昕、于云*

上海硅酸盐研究所

随着深空探测领域的快速发展,解决深空中存在的杂散光对星敏感器等高精密光学探测器的影响已成为重点关注问题之一。这些杂散光不仅会影响成像的信噪比与识别精度,甚至会淹没目标图像,因此,杂散光抑制是发展高精密光学仪器的关键技术问题。超黑涂层可以极大程度的吸收 200~2500 nm 范围的入射

光，能够有效实现杂散光抑制。然而，大多仪器零件的表面较为复杂，激光刻蚀或者化学气相沉积法通常是直接在基底表面制备涂层，难以实现涂层大规模的制备。而喷涂法的表面适应性极强，可以满足各种复杂表面的实际应用，但是涂层的结合力又成为另一关键问题。当添加粘结剂越多，涂层的结合力越好，但是超黑涂层的吸光率却会随之下降。因此，本工作提出一种热辅助分层喷涂法，有效平衡粘结剂与涂层结合力问题，实现超黑材料的超高吸光率。

该项工作在一种可采用简单喷涂的类海胆状空心陷光碳球的基础上，提出了一种热辅助分层喷涂的技术，能大规模应用于各种复杂器件表面。其主要内容是：以无水乙醇作为粘结剂的稀释剂和粉料的分散溶液，通过加热基板加速溶剂挥发，可使粉末快速沉淀。与此同时，交替喷涂粘结剂与类海胆状空心陷光碳球，该超黑涂层可在满足涂层结合力的基础上，实现在 200~2500 nm 范围的全角度高吸光率。相较于一次性喷涂法，多次喷涂可极大程度使该超黑涂层的“陷光单元”边界明显，不会被粘结剂完全覆盖，且吸光率高于一次喷涂法，在 200~2500 nm 的吸光率均高于 99%。

D22 -37

待定
纪效波
中南大学

D22 -38

钠离子电池层状氧化物正极稳定性机制研究

肖遥*
温州大学化学与材料工程学院

钠离子电池在智能电网以及大规模储能等领域中具有广阔的应用前景。其中，层状过渡金属氧化物正极由于成本低、合成简单，且具有相对较高理论比容量，成为最具潜力的钠离子电池正极材料之一。但在实际生产应用中，层状氧化物正极材料仍存在一些关键问题：如不可逆的多相转变和较差的空气稳定性，以及能量密度低等限制了钠离子电池的产业化进程。针对上述问题，从局域电子结构调控和轨道杂化机制出发，有效调控晶粒的尺寸、抑制不可逆多相转变、调控氧化还原电位和稳定阴离子氧化还原反应，进一步设计和探究出一系列高性能层状过渡金属氧化物正极材料。另外，分析了层状氧化物作为钠离子电池正极在成本和资源方面的优势，探讨了钠离子电池在实验室研究与大规模生产中的融合问题，就未来钠离子电池的水系涂布及回收问题进行相关讨论，旨在进一步降低生产成本、提升电池性能，推动其在智能电网、工业储能以及低速电动汽车等领域的商业化和规模化应用。

D22 -39

钠基固态电解质新材料与界面

杜菲
温州大学

D22 -40

全固态锂电池界面调控

郭少华
南京大学

D22 -41

磷酸盐正极材料的设计及性质研究

方永进
武汉大学

D22 -42

金属负极界面调控

潘安强
中南大学

D22 -43

荧光玻璃陶瓷膜的红外快烧技术与激光照明应用

聂玉婷^{1,2}、王鹏飞²、林航^{*2}

1. 福州大学化学学院

2. 中国科学院福建物质结构研究所

激光照明/显示技术，在大电流驱动下不产生由电子-空穴俄歇复合所致的“效率骤降”现象，且具有效率高、光通量大、光学扩展量小等优点，是半导体固态光源最新的发展方向。为解决高功率密度激光激发荧光转换材料带来的严重热效应问题，我们将高效荧光粉与硅基玻璃复合，以玻璃陶瓷膜形式低温共烧于高导热基板上，形成一体化全无机复合材料，进而将之与蓝光激光远程耦合，构建高亮度激光照明/显示光源[1-2]。

最近，我们创制了荧光玻璃陶瓷（膜）的红外辐射快速烧结 RTA 技术，可在 10 秒内实现玻璃陶瓷膜的高度致密化（气孔率<3%），大幅提高制备效率并减少能耗。该制备技术适用于不同荧光粉体系和多种基板，显示了设计灵活性和通用性。经 RTA 处理，显著抑制了界面反应，荧光粉颗粒几乎未被侵蚀，仅在颗粒表面观察到 1-2 nm 的离子扩散层。以 SCASN:Eu 玻璃陶瓷膜为例，膜层的内量子效率达到 91.2%。重要的是，RTA 技术的均匀温度场适合材料的高通量筛选，能够快速验证理论预测，有望加速各种新型玻璃陶瓷膜材料的发现[3]。

[1] X. Yue, H. Lin,* S. Lin, B. Wang, Q. Huang, J. Xu, Y. Cheng, Y. Wang*, Laser Photon. Rev., 2021, 15, 2100317.

[2] Y. Lin, H. Lin*, P. Wang, J. Xu, Y. Cheng, Y. Wang*, Laser Photon. Rev., 2024, 2400995.

[3] P. Wang, H. Lin*, G. Chen, W. Weng, Y. Xu, Y. Lin, J. Xu, Y. Cheng, Y. Wang*, Nature Commun., 2025, accepted.

D22 -44

边缘型接触的二维半导体与范德华异质结与器件

诸葛福伟*

华中科技大学

以 MoS₂ 为代表的二维过渡金属硫族化合物(TMDCs)是后摩尔时代发展先进半导体晶体管器件的关键材料，其特有的金属-半导体相转变特性为在器件中制备理想的边缘型金属接触提供了全新的方法。该报告主要介绍团队在利用 Li 嵌入诱导 MoS₂ 相变方面的研究进展，将其应用在范德华异质结体系，有效改善了异质结型浮栅晶体管存储器件中的载流子注入效果，在较低的工作电压下获得了快速擦写特性，速度提升至 10-100 ns，而低缺陷的接触和异质结界面也带来优异的循环擦写效果，达到 10⁶ 次以上。

D22 -45

高熵稀土双硅酸盐涂层(Y_{0.25}Ho_{0.25}Yb_{0.25}Lu_{0.25})₂Si₂O₇ 的设计、制备及抗 CMAS 腐蚀研究

刘雨东¹

1. 中国矿业大学

碳化硅陶瓷基复合材料是新一代涡轮发动机叶片的首选材料，而提高环境障涂层的抗 CMAS 腐蚀能力对航空航天发动机叶片的实际应用具有重要意义。本文通过固相烧结法制备了一种高熵等摩尔稀土双硅酸盐(Y_{0.25}Ho_{0.25}Yb_{0.25}Lu_{0.25})₂Si₂O₇，发现其能在 1300℃ 的高温下一定程度上抵抗 CMAS 的腐蚀。腐蚀后样品表面出现 CMAS 熔盐反应析出的 CaSiO₃ 新相。同时，样品由表及里分别出现 Ca-RE-Si-O 磷灰石相以及 Ca²⁺扩散相。随着腐蚀时间的加长，反应前沿向基体内部移动，从而使磷灰石相反应层厚度增加，

有效阻挡了 CMAS 熔盐的继续渗透，提高了稀土双硅酸盐的抗 CMAS 腐蚀能力。这项工作设计了一种高熵陶瓷，利用鸡尾酒效应综合调控材料的抗 CMAS 腐蚀能力，为环境障涂层的抗 CMAS 腐蚀能力的提高提供了见解。

D22 -46**信息探测用稀土/过渡金属基金属卤化物发光材料**

王静

中山大学

D22 -47**高功率激光陶瓷的研究进展与挑战**

李江

中国科学院上海硅酸盐研究所

D22 -48**多光子上转换及应用**

周博*

华南理工大学

稀土上转换发光在激光、传感、显示、防伪、信息安全、生物成像与诊疗等领域表现出巨大的应用潜力。目前借助能量传递上转换和能量迁移上转换等方式可以获得多种稀土离子的上转换发光。然而，如何构建新型发光机制，实现上能级跃迁的多光子调控与智能光色输出仍然是一个挑战性课题。本报告主要介绍我们近年来的研究进展：1) 提出界面能量传递上转换发光概念模型，实现了多种稀土离子 NIR II 响应的多光子上转换发射；2) 揭示了微观尺度能量传递和能量迁移等典型的离子相互作用过程的基本规律；3) 获得了稳态/非稳态调控的红-绿、红-蓝和红绿蓝三基色等多种光色智能输出，初步用于信息安全、生物诊疗、纳米探针、多重防伪、红外器件等。上述进展为稀土发光基础研究、光谱调控、新型发光材料开发以及前沿光子学应用提供了新思路。

参考文献：

[1] B. Zhou,* et al., Nat. Photon., 14, 760-766 (2020).

[2] B. Zhou,* et al., Nat. Commun., 15, 1923 (2024).

[3] B. Zhou,* et al., Nat. Commun., 15, 10890 (2024).

[4] B. Zhou,* et al., Nat. Commun., 16, 2378 (2025).

[5] B. Zhou,* et al., Adv. Mater., 36, 2310524 (2024).

D22 -49**力致发光材料及其应用**

解荣军

厦门大学

D22 -50

待定

林元华

清华大学

D22 -51**多位点协同光催化定向转化**

韩庆

复旦大学

D22 -52

氮化铝陶瓷的绝缘性能研究

李涛¹、古思勇²、吴昊阳¹、张厚安²、秦明礼*¹、曲选辉¹

1. 北京科技大学

2. 厦门理工学院

AlN 是纤锌矿型晶体结构，具有高导热性、高绝缘性、类似于硅的热膨胀性和高强度，其已被广泛用作绝缘和散热衬底材料。尤其是在半导体设备领域，多晶 AlN 陶瓷是用作静电吸盘的绝佳材料。AlN 本身作为绝缘材料并不导电，而氧杂质引起的 Al 空位是影响 AlN 绝缘性能的重要因素。本文采用热压烧结制备了不同晶格氧含量的 AlN 陶瓷，研究了不同晶格氧含量对 AlN 陶瓷电性能的影响。结果表明，晶格氧含量的降低可以有效提升 AlN 陶瓷的电阻率，当晶格氧含量降低为 0.12 wt% 时，电阻率最高可达 $6.02 \times 10^{15} \Omega \text{ cm}$ 。

D22 -53

晶仿生蜂窝结构增强六方氮化硼(h-BN)/聚硅烯基炔 (PSAE)复合材料的热导率：TBA 模板定向冷冻策略

杨玉杰、姚晓刚*

中国科学院上海硅酸盐研究所

高效导热性能是下一代电子产品面临的一项关键挑战，然而传统的聚合物基材料本身具有较低的导热性。受天然蜂窝结构的启发，我们开发了一种冷冻铸造策略，以制备具有高效导热性的六方氮化硼(h-BN)/聚硅烯基炔 (PSAE)复合材料。通过利用叔丁醇(TBA)的在单向冷源结晶，构建了高度有序的 h-BN 蜂窝骨架结构，促进了高效声子传导途径的形成。当 h-BN(10 μm)比率低至 23 vol%，该复合材料在沿着 TBA 结晶方向上(Z-轴)表现出 4.71 W/(m K) 的出色的导热性能，并在垂直于 TBA 结晶方向上(X/Y-轴)表现出 3.44 W/(m K)的优异导热性能，这种全方向导热性能明显优于传统的聚合物复合材料。此外，该材料的介电特性证实了蜂窝结构各向异性的介电行为 ($\epsilon_{\text{tz}} = 3.68$, $\epsilon_{\text{rx}} = 3.32$, 对于 23 vol% 的 h-BN(10 μm)。所提出的仿生方法为开发用于先进电子、轻质导热复合材料提供了一种可扩展且有效的途径。

D22 -54

具有梯度孔隙结构的超亲水碳化硅纳米线的制备及其超级电容器应用

刘慧敏、李贺军*、殷学民

西北工业大学

电极材料的结构设计与优化是超级电容器开发的关键步骤。本研究提出了一种基于碳化硅纳米线 (SiCNWs) 作为超级电容器电极的设计策略，该电极具有梯度孔结构、超亲水性以及增强的电导率。通过催化剂辅助的化学气相沉积工艺，在碳织物基底上实现了定向碳化硅纳米线 (SiCNWs) 阵列的原位生长。所形成的独特结构产生了具有梯度孔径的锥形通道，这些通道产生了显著的毛细作用力以加速离子传输。随后，在 SiCNWs 上包覆了一层超薄热解碳 (PyC) 壳层 (4.98 nm)，这不仅显著提高了电极的电导率，同时维持了原有梯度孔结构与超亲水特性。得益于这些优势，所制备的 SiCNWs@PyC 电极材料在 0~60 $^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内表现出优异的电化学性能。在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下，SiCNWs@PyC 电极在 0.2 mA/cm 的电流密度下实现了 32.48 mF/cm 的面积比电容，是初始 SiCNWs 面积比电容的 227.58%。当温度升高至 60 $^{\circ}\text{C}$ 时，在相同电流密度下，SiCNWs@PyC 的面积比电容仍保持在 28.09 mF/cm²。此外，原位生长策略结合所制备材料的优异稳定性，使得组装成的对称超级电容器在 0~60 $^{\circ}\text{C}$ 的宽温度范围内表现出出色的倍率性能和循环稳定性。基于其改善的导电性、优异的离子传输特性以及结构稳定性，SiCNWs@PyC 核壳纳米结构成为一种极具前景的超级电容器电极材料，为开发下一代高性能储能装置提供借鉴。

D22 -55

基于原位声发射信号与机器学习的热障涂层失效模式识别

刘光泽、王亮*

中国科学院上海硅酸盐研究所

热障涂层 (TBCs) 因体系结构复杂且服役环境苛刻, 易发生界面分层、宏观断裂和剥落等失效行为。本研究结合声发射 (AE) 技术与机器学习方法, 系统探究了热障涂层在三点弯曲载荷下的失效机制。通过原位 AE 信号监测, 结合微观形貌分析和 K-means 聚类, 识别出基底变形、表面垂直裂纹、剪切型界面裂纹和张开型界面裂纹四种失效模式。进一步采用 Fourier 变换和小波包变换分析波形特征, 发现不同失效模式的频率分布特征显著差异: 基底变形 (62.5~125.0 kHz)、表面垂直裂纹 (187.5~250.0 kHz)、剪切型界面裂纹 (250.0~312.5 kHz) 和张开型界面裂纹 (375.0~437.5 kHz), 而宏观断裂或剥落信号则无明显频带。基于小波能量系数构建反向传播神经网络 (BPNN) 模型, 通过收敛曲线、混淆矩阵、ROC 曲线及 F1 值评估表明, 该模型能有效判别失效模式, 准确率达 90% 以上。本研究为热障涂层失效实时预测与寿命评估提供了新方法, 对航空发动机等高温部件涂层的可靠性优化具有重要参考价值。

D22 -56

钛酸铋钠基陶瓷的宽温域储能性能研究

康瑞瑞、姜晓杰*

西安交通大学

随着能源短缺和环境污染问题日益突出, 可再生清洁能源的开发和利用得到了快速发展。然而, 新型能源的高效存储技术是制约其大规模应用的瓶颈。介电储能电容器具有更高的功率密度、更快的充放电速率和更好的温度稳定性, 在脉冲功率器件领域具有不可替代的优势。钛酸铋钠 ($\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$, BNT) 陶瓷具有较高的相变温度和较大的自发极化强度, 成为下一代介电储能电容器中极具竞争力的候选材料。然而, BNT 基介电储能陶瓷的宽温域储能性能仍面临挑战。第一性原理计算结果表明, 将 Sr^{2+} 和 La^{3+} 引入 BNT 可使基体的部分菱方相 (R) 逐渐转变为四方相 (T), 实现两相共存。从能量存储的角度来说, 两相共存有助于降低畴翻转能垒, 延迟极化饱和, 从而提升储能性能。实验结果表明, 相比铁电陶瓷基体, 组分优化后的弛豫铁电陶瓷在室温下的储能密度提升了约 343%, 高达 9.65 J cm^{-3} , 且效率高达 91%。并且, La^{3+} 掺杂拓宽了两相共存的温区, 最终显著提升了陶瓷在宽温域 (-50~200 °C) 下的储能性能。

D22 -57

低压条件下 NaY 分子筛对挥发性有机化合物吸附机理的分子动力学模拟研究

高旭、于云*

中国科学院上海硅酸盐研究所

在轨高真空环境中, 航天器所用非金属材料释放的有机分子污染物, 将严重影响航天器光学系统等敏感部件的使用性能和寿命。NaY 沸石在低压条件下表现出较高的热稳定性和吸附容量, 使其在太空环境中具有广泛的应用前景。空间分子污染物组分与种类复杂多样, 单一孔径的微孔沸石吸附剂难以高效吸附复杂尺寸的污染物, 同时极性与非极性分子污染物存在竞争吸附。通过巨正则蒙特卡罗 (GCMC) 模拟, 可以预测沸石对复杂多样污染物组分的竞争吸附动力学, 为开发高吸附性能材料提供依据。采用 GCMC 方法计算了低压下 NaY 沸石对七种具有不同尺寸和极性的代表性挥发性有机化合物 (VOCs) 的吸附容量。沸石与不同尺寸分子之间的相互作用强度随分子尺寸的增大而增强, 且大尺寸分子在沸石内的扩散受到限制, 导致吸附容量较低。对于单组分极性分子, 沸石的吸附强度随极性的增加而增强。此外, 还使用相同的方法模拟了甲苯与其他污染物在 NaY 沸石中的竞争吸附相互作用。对于非极性分子, NaY 沸石与混合物中不同尺寸组分的吸附相互作用是独立进行的, 且相互作用的强度与分子尺寸成正比。在甲苯与极性分子的竞争吸附中, 分子筛优先吸附极性分子, 且极性分子的存在会削弱分子筛与甲苯之间的相互作用, 导致甲苯的吸附量减少。NaY 分子筛在低压条件下表现出显著的分子筛效应和选择性吸附位点, 能够有效提

高其对污染物的吸附性能。在实际应用中,优化分子筛的孔径和表面极性可以实现对特定分子的选择性吸附和分离。通过控制表面活性剂尾链链长成功实现了孔径尺寸 2-5nm 的介孔沸石制备,其对甲苯的吸附量比微孔沸石提高 30%。

D22 -58**基于微环境改良的骨再生**

李斌

苏州大学

D22 -59**纳米硒的结构精准调控与临床放射增敏应用机制**

陈填烽

暨南大学

D22 -60**胶原结构调控与医学应用**

屈雪

华东理工大学

D22 -61**硅基杂化生物材料及其疾病催化治疗性能**

李永生

华东理工大学

D22 -62**催化生物材料**

陈雨

Shanghai University, China

D22 -63**生物适配的组织修复材料**

施雪涛

华南理工大学

D22 -64**生物陶瓷复合支架功能设计及骨组织修复应用**

朱钰方*

中国科学院上海硅酸盐研究所

目前,由于人口老龄化、交通和运动事故创伤、骨肿瘤等疾病导致的骨缺损病例日益增多,临床对骨修复材料的需求也逐年增加。临床骨修复材料希望能够满足形状、结构和功能重建要求,以实现精准医疗和个性化医疗的目的。在满足骨缺损形状、结构等匹配的个性化骨修复材料制备方法中,具有“量身定制”、精确制造特点的 3D 打印技术无疑是最佳选择。在骨修复材料选择方面,具有生物活性的生物陶瓷类材料由于其生物降解、骨诱导、骨传导等功能而赋予骨功能重建优势。然而,对于病理性骨组织缺损的修复治疗,纯生物陶瓷材料由于缺乏疾病治疗或者调控病理性微环境的功能,使得其骨组织修复治疗效果不甚理想。因此,将治疗或者微环境调控组分与生物陶瓷支架复合,将能够赋予支架治疗或调控微环境功能而提

高骨组织修复性能。本报告将介绍本课题组近年来在生物陶瓷复合支架材料功能设计及骨组织修复应用方面的相关工作[1-3]。

参考文献

1. Shanshan Pan, Junhui Yin, Luodan Yu, et al., 2D MXene-Integrated 3D-Printing Scaffolds for Augmented Osteosarcoma Phototherapy and Accelerated Tissue Reconstruction. Adv. Sci. 2020, 7, 1901511.
2. Chaoqin Shu, Chen Qin, Lei Chen, et al., Metal-organic framework functionalized bioceramic scaffolds with antioxidative activity for enhanced osteochondral regeneration. Adv. Sci. 2023, 10, 2206875.
3. Chaoqin Shu, Chen Qin, Aijun Wu, et al. 3D printing of cobalt-incorporated chlorapatite bioceramic composite scaffolds with antioxidative activity for enhanced osteochondral regeneration. Adv. Healthcare Mater. 2024, 13, 2303217.

D22 -65

Rational Design of Organic-Inorganic fibrous Spheres for Efficient Stem Cell Delivery and Bone Tissue Repair

吴桐

青岛大学

D22 -66

疾病微环境调控水凝胶

李俊杰

天津大学

D22 -67

仿生纳米药物用于重塑免疫微环境以增强抗肿瘤疗法

甯明亮*

中国科学院上海硅酸盐研究所

具有激活免疫反应能力的系统治疗方法是治疗晚期肝细胞癌（HCC）的有效策略。然而，由于肿瘤区域缺氧和乳酸积聚所造成的肿瘤免疫抑制微环境（TIME），大大限制了治疗效果。在此，我们建立了一种基于仿生纳米药物的高效治疗策略，以重塑肿瘤免疫抑制微环境并刺激免疫激活，从而治疗 HCC。首先，通过简便的生物矿化工艺合成了葡萄糖氧化酶（GOx）-MnO₂ 自组装颗粒（GM），并进一步载入一氧化氮供体（L-精氨酸，L-Arg）（GMA）。接下来，将 GMA 和 β -lapachone（ β -lap，一种治疗 DNA 损伤的药物）共同载入纳米脂质体（GMA-LP）中，构建了仿生纳米药物。我们发现 GMA-LP 可以调节葡萄糖代谢以减少乳酸的产生，同时产生氧气（O₂）以缓解肿瘤缺氧，从而减轻肿瘤免疫抑制。更重要的是，GMA-LP NPs 释放的 β -Lap 可诱导肿瘤细胞的 DNA 损伤，而 H₂O₂ 介导的 L-精氨酸激活产生的 NO 进一步阻碍了受损 DNA 的自我修复，从而最终导致 STING 通路的原位激活，激发抗肿瘤免疫反应。总之，该研究为晚期 HCC 的有效治疗提供了一种普遍适用的新策略，具有重要的临床研究价值和科学意义。

D22 -68

生物矿化碳酸钙的超分辨叠层成像研究

彭丁宇、杨文峰、于荣*

清华大学

珍珠质作为一种天然生物矿化材料，其卓越的力学性能源自于高度有序的碳酸钙文石/有机质交叉层状结构。研究发现，生物文石相较矿物文石存在各向异性的晶格畸变^{1,2}，而原子尺度结构的精确解析对揭示生物矿化机制及指导仿生材料设计至关重要。然而，传统透射电子显微术对轻元素（碳原子、氧原子）的低敏感度仅能分辨钙原子结构³，生物文石的完整原子构型仍不清楚。

超分辨叠层成像作为一种基于扫描透射电镜中像素化探测器数据（也称 4D-STEM）的计算成像方法，

不仅具备准三维成像能力,更在空间分辨率、位置精度和剂量效率等关键性能指标上超越了像差校正电镜的 HAADF、ABF、iDPC 等传统技术,成为原子分辨结构分析领域的前沿技术^{4,5,6,7,8}。

本研究以皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai*) 珍珠质为对象,利用聚焦离子束 (FIB) 沿片层平行与垂直方向精确制备纳米级薄片样品,采用低电子剂量条件 ($\sim 10^4 \text{ e}/\text{\AA}^2$) 采集 4D-STEM 数据集。通过局域轨道叠层成像⁸ (LOP) 进行相位重构,成功实现了珍珠质文石结构的原子尺度解析。该研究首次在原子尺度下直接观察并分辨了生物碳酸钙文石结构中的碳原子和氧原子,清晰呈现了完整的碳酸钙文石晶胞结构,并精确获得了 C-O 键长与键角等轻原子晶体学信息,相较于已有研究观察到了新的结构信息。此外,该研究在原子尺度下揭示了珍珠质文石层中包含 C、O 轻原子在内的层错结构。本研究成功实现了生物矿物中轻元素的高分辨直接成像。所获得的原子尺度结构信息,不仅为深入理解生物矿化过程的精确调控机制及珍珠质优异力学性能的结构基础提供了关键证据,也为探究贝类矿化中独特的局域原子环境/应力调控机制以及文石层增韧机制奠定了重要基础。

参考文献:

1. Pokroy, B., et al., Atomic Structure of Biogenic Aragonite. *Chemistry of Materials*, 2007. 19(13): p. 3244-3251.
2. Pokroy, B., et al., Anisotropic lattice distortions in biogenic aragonite. *Nature Mater.*, 2004, 3: p. 900-902.
3. San, X., et al., Uncovering the crystal defects within aragonite CaCO_3 . *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2022. 119(14): e2122218119.
4. Rodenburg, J.M., Ptychography and related diffractive imaging methods. *Advances in imaging and electron physics*, 2008. 150: p. 87-184.
5. Ophus, C., Four-dimensional scanning transmission electron microscopy (4D-STEM): From scanning nanodiffraction to ptychography and beyond. *Microscopy and Microanalysis*, 2019. 25(3): p. 563-582.
6. Yu, R., et al., Introduction to electron ptychography for materials scientists. *Microstructures*, 2024. 4(4): p. 2024056.
7. Miao, J., Computational microscopy with coherent diffractive imaging and ptychography. *Nature*, 2025. 637(8045): p. 281-295.
8. Yang, W., et al., Local-orbital ptychography for ultrahigh-resolution imaging. *Nat. Nanotechnol.*, 2024, 19: p. 612-617.

D22 -69

基于数据驱动的 3D 打印磷酸钙陶瓷制备工艺及性能优化

朱向东

四川大学

D22 -70

陶瓷基二维材料用于疾病的催化治疗

林翰

中国科学院上海硅酸盐研究所

D22 -71

超声响应生物催化材料

冯炜

上海大学

D22 -72

调控肿瘤干细胞命运的多功能纳米材料构建及其抗肿瘤治疗机制

朱雨桐、陈航榕*

中国科学院上海硅酸盐研究所长宁园区

肿瘤异质性是肿瘤治疗面临的关键难题，而肿瘤干细胞（CSCs）作为肿瘤异质性的驱动因素，其极强的自我更新和多向分化能力导致了肿瘤耐药、复发、转移和免疫逃逸等问题。基于此，针对 CSCs 的生物学特征以及肿瘤微环境特征，具体构建了超声响应载药纳米液滴和铁基纳米复合水凝胶，分别通过超声机械作用调控 CSCs 内外微环境并联合全反式维甲酸诱导 CSCs 分化为耐药程度更低的肿瘤细胞以克服肿瘤化疗耐药的问题，或利用 CSCs 对铁的依赖性打破胞内氧化还原稳态并促进铁死亡进程以抑制肿瘤术后的复发和转移，为增效抗肿瘤治疗提供新的参考。

D22 -73

多功能碳点基双通道双信号传感器用于核糖核苷酸鉴别和铁离子检测的研究

苗润杰、陈航榕*

中国科学院上海硅酸盐研究所

核糖核苷酸和 Fe^{3+} 是人体许多生物过程的关键调节因子，它们的有效鉴别和检测对于代谢过程研究和疾病的早期诊断至关重要。然而目前基于单一信号输出的传感策略难以满足实际检测精度的要求。在此，我们开发了一种以铜掺杂的荧光碳点（Cu-CDs）作为单一传感元件的双通道传感器，用于精确分辨核糖核苷酸。结合对数据阵列的统计学分析，实现了四种最关键的三磷酸核糖核苷酸（ATP、CTP、UTP 和 GTP）的精准区分和定量检测，为改进复杂传感器阵列的设计提供了有价值的参考。此外，考虑到双信号检测的优势，进一步引入硅基聚集诱导发光材料作为第二荧光团，构建的新型双荧光信号传感系统可实现对 Fe^{3+} 的快速定量检测（2 min）和可视化半定量传感，检测精度更高。简而言之，这种基于 Cu-CDs 的双信号传感器易于操作、简单准确，为双通道检测工具的设计和构建提供了有益的参考，具有实际应用潜力。

D22 -74

Encapsulation of CRISPR/Cas9 by Mn-based Metal-Organic Frameworks for Efficient Gene editing and immunotherapy for liver cancer

苏正娴

昆明理工大学

墙报

D22 -P01

不同氯化物矿化剂对(Ce,Pr)- ZrSiO₄ 黄色陶瓷色料呈色性能的影响

刘杰*

景德镇陶瓷大学

目的：锆镨黄是一种掺杂型硅酸锆基陶瓷色料，其具有耐高温、抗熔体腐蚀和着色能力强等优点被广泛应用于陶瓷装饰领域，但是制备的锆镨黄色料常呈现黄绿色调，本研究从稀土掺杂改性角度出发，在锆镨黄中引入 Ce 元素，通过 Ce、Pr 共掺杂成功的改善锆镨黄色料的色调。矿化剂的引入可显著降低合成温度并优化显色性能，而当前对于矿化剂影响的研究多集中于氟化物，氯化物矿化剂的作用机制尚需系统研究。方法：本次研究以 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 为硅源， $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 为锆源， $\text{PrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 为掺杂剂， MgCl_2 、 NaCl 和 LiCl 为矿化剂，采用熔盐法，煅烧温度 900°C 、保温 3 h 的条件下，制备出 (Ce,Pr)- ZrSiO_4 陶瓷色料，并进行表征测试。结果：以上三种氯化物矿化剂对 (Ce,Pr)- ZrSiO_4 陶瓷色料呈色性能的促进作用为 $\text{NaCl} < \text{MgCl}_2 < \text{LiCl}$ 。结论：矿化剂 LiCl 可以促进 (Ce,Pr)- ZrSiO_4 陶瓷色料呈色，制备出的色料样品的 L^* 值为 81.86， a^* 值为 2.31， b^* 值为 59.88，颜色呈现为明亮的黄色。

D22 -P02

Layered-to-rocksalt atomic reconfiguration on O3-type cathodes surface for high-energy and durable sodium-ion batteries

Zhao-Kun Guan, Mengting Liu*, Peng-Fei Wang*

School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University

High-energy O3-type cathode materials have been intensively pursued due to the immense potential of sodium-ion batteries as a scalable and economic energy storage solution. However, their intrinsic sensitivity of surface to humid air inevitably triggers detrimental bulk degradation and the formation of ionically/electronically insulating surface residuals, severely impairing their battery performance and commercialization efforts. Here, we present a transformative layered-to-rocksalt atomic reconfiguration strategy, that achieves dual breakthroughs, the elimination of residual alkalis and the *in-situ* construction of a robust layered-rocksalt heterostructure surface in the prototypical O3- $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ cathode. This ingenious design defies conventional trade-offs, simultaneously preserving rapid Na^+ diffusion kinetics, ensuring exceptional electrochemical reversibility, and reinforcing structural stability. Consequently, the engineered cathode demonstrates a superior initial Coulombic efficiency of 97.6%, a high cycling durability with capacity retention of 80.1% after 300 cycles at 1 C, and a new benchmark for rate capability with 78.9% capacity retention at a high rate of 10 C. The proposed surface layered-to-rocksalt atomic reconfiguration strategy exemplifies a groundbreaking electrode design concept, and opens up a wide of compositional possibilities for future development of high-power and high-energy cathodes, marking a significant step forward in the evolution of sodium-ion battery technology.

D22 -P03

ZK61M 镁合金表面螯合剂辅助层状双氢氧化物涂层制备及耐腐蚀性能研究

陈梦晗、于洋、于云*

上海硅酸盐研究所

随着航天器向更轻、更强、更高效的方向发展，材料的选择至关重要。镁锌合金（ZK61M）凭借低密度、高比强度和优异的热稳定性，成为航空航天领域轻量化设计的理想选择。然而镁合金较高的电化学活性使其易在多种介质中受到腐蚀，表面形成的氧化镁薄膜稀松，致密性差，无法起到阻挡腐蚀的作用。因此需要对其进行腐蚀保护。虽然传统的表面处理方法在一定程度上可以提高镁合金的耐腐蚀性，但它们往往存在附着力差、操作困难、涂层易脱落等问题。相比之下，层状双氢氧化物（LDHs）涂层以其独特的二维层状结构和优异的性能，能够提供更可靠的保护。但是通常层状双氢氧化物涂层在高温高压的反应釜中生成，限制了大尺寸镁合金表面涂层的制备。

因此，本研究采用螯合剂辅助的方法，利用螯合剂可以与金属离子形成螯合物，从而调节金属离子的浓度和沉积速率的特点，来控制 LDHs 的成核和生长过程，从而在低于反应釜温度和常压的条件下在镁合金表面制备镁铝层状双氢氧化物涂层。

结果表明，LDHs 涂层具有致密均匀的结构，能够有效阻挡腐蚀介质与镁基体的接触，显著提高 ZK61M 镁合金的耐腐蚀性能。相比裸镁合金，涂层样品的自腐蚀电流密度提升 3 个数量级，经中性盐雾试验 120h 后，仍具有较完整的涂层表面，表现出优异的耐腐蚀性能。这种表面改性技术为镁合金在航空航天领域的广泛应用提供了新的解决方案，有望用于暴露在富氯化物环境中的航空航天部件。

D22 -P04

Cr/Mn/Ti 涂层氧化铝陶瓷真空表面耐压性能

冯丹丹*、韩雪莹、王箫婧、于志强

中国电子科技集团公司第十二研究所

氧化铝陶瓷作为真空电子器件中的关键材料，承担着高压绝缘、真空密封、功率传输及支撑固定等重要作用。随着真空电子器件向高功率、高频率、小型化方向发展，对器件中陶瓷材料的真空耐压性能提出了更高的要求。根据二次电子发射雪崩理论，陶瓷材料的二次电子发射系数是决定其表面耐压强度的直接因素，降低二次电子发射系数是提高真空耐压性能的有效途径。同时，陶瓷材料过高的电阻率会阻碍表面积聚电荷的消散，导致局部电场畸变，进而诱发沿面闪络现象。表面改性技术通过优化表面特性，可在不改表基体结构的前提下显著提高耐压强度。本研究采用浸涂工艺在氧化铝陶瓷表面制备 Cr/Mn/Ti 涂层，通过系统地表征 Cr、Cr/Mn、Cr/Ti 涂层的微观形貌、二次电子发射系数、电阻率、表面电荷分布等，探究涂层对氧化铝陶瓷真空表面耐压性的影响。结果表明，在氧化铝陶瓷表面涂覆 Cr、Cr/Mn、Cr/Ti 涂层可以降低陶瓷的二次电子发射系数，促进表面电荷消散，从而降低陶瓷材料发生沿面闪络的概率，提高真空耐压强度。其中，通过优化的涂层配方和热处理工艺制备的 Cr/Ti 涂层氧化铝陶瓷的真空表面耐压强度最高达到了 35 kV/5mm，较基底 95%氧化铝陶瓷提高了 40%。高耐压涂层氧化铝陶瓷材料的制备为真空电子器件的发展提供了基础技术支撑。

D22 -P05

The influence of Ni addition on the microstructure and properties of TiB₂ reinforced Ti₃AlC₂

许欢

九江学院

D22 -P06

基于(Ni, Mn)共掺杂(CuFe)Fe₄O₈ 的新型无钴无铬高温黑色陶瓷色料的制备

刘甜甜*

景德镇陶瓷大学

采用固相法合成了新型无钴无铬高温(Ni, Mn)共掺杂(CuFe)Fe₄O₈ 黑色陶瓷色料。结果表明，随着 Ni₂O₃ 和 MnO₂ 掺杂量的增加，合成色料的 L*值先降低，然后达到最佳值，然后增加。最佳的 Ni₂O₃ 和 MnO₂ 掺杂量分别为 0.20 (相对(CuFe)Fe₄O₈ 的摩尔比)和 0.75 (相对(CuFe)Fe₄O₈ 的摩尔比)。最佳的色料 (0.20Ni, 0.75Mn)共掺杂(CuFe)Fe₄O₈ 的 L*、a*和 b*值分别为 21.36、1.10 和-0.24。最佳色料的主要晶相为(CuFe)Fe₄O₈ (JCPDS73-2314)，色料的晶体尺寸为 0.8-1.5 μm，具有优异的分散性。在 1000 °C、1150 °C 和 1300 °C下使用时，上釉温度对色料的着色影响很小。结果表明，该色料具有优异的耐高温性能，有望广泛应用于高温釉料着色。

D22 -P07

High-voltage phase stabilization and air-stability enhancement in O3-type entropy-reinforced sodium layered cathodes

Zhao-Kun Guan, Mengting Liu*, Peng-Fei Wang*

School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University

Extending the depth-of-charge of the O3-type layered oxide cathodes provides a feasible solution to elevate the energy density of the sodium-ion batteries (SIBs). However, detrimental/irreversible P-to-O phase transition resulting in severe structural distortion and rapid capacity decay frequently occurs during high-voltage region above the 4.0 V cutoff. To address these challenges, herein, a rational high-entropy strategy is employed to develop a Co-free $\text{Na}_{0.9}\text{Ni}_{0.3}\text{Fe}_{0.2}\text{Mn}_{0.3}\text{Ti}_{0.1}\text{Cu}_{0.05}\text{Sn}_{0.05}\text{O}_2$ prototype cathode with the extended depth-of-charge to 4.2 V cutoff. Not only the suppressed P3-to-OP2 phase transition by slab gliding at the deep state of charge but also the resistant ability to humid air is obtained. Consequently, owing to the inhibited deteriorated structural degradation upon high-voltage cycling, the high-entropy compound manifests quasi-zero strain feature (1.29 % volume variation), good rate capability (101.3 mAh g^{-1} at 10 C), long-term cycling stability (90.7 % over 400 cycles at 5 C) and a high energy density of 299.3 Wh kg^{-1} in full cell with slight capacity decay (3 % after 200 cycles at 1 C). This work highlights the significance of the high-entropy strategy in stabilizing the P-to-O structural degradation at deep desodiation state and enhancing the air stability of O3-type layered cathodes for SIBs.

D22 -P08

工艺参数对 PFA-NHSG 法制备 $\text{C}@\text{ZrSiO}_4$ 的影响

张俊雄、江峰*

景德镇陶瓷大学

无机黑色陶瓷颜料，尤其目前商业中广泛应用的尖晶石结构系统（例如，Fe-Cr-Ni-Mn），由于其基础釉中的锌/钡等有毒金属的影响使得呈色不稳定，而面临着严重的限制。虽然炭黑提供了一种低成本、环保的替代品，但它在高温下易氧化，因此需要稳定的包裹策略。硅酸锆（ ZrSiO_4 ）已成为一种很有前途的包裹材料，但传统的合成方法往往会产生不完全的碳覆盖和较差的呈色效果。为了解决这些挑战，本研究开发了一种 PFA-NHSG 方法来合成具有新型籽浆结构的 $\text{C}@\text{ZrSiO}_4$ 颜料。采用丁二氧锆和原位碳前驱体，系统优化了非水解反应温度（ $140 \sim 180^\circ\text{C}$ ）、压力场持续时间（ $8 \sim 20 \text{ h}$ ）和煅烧条件（ $875 \sim 950^\circ\text{C}$ ）的影响。结果表明，在 170°C 、12 h 压力处理和 925°C 煅烧条件下，得到了致密的 ZrSiO_4 壳层，包覆均匀分散的原位碳纳米颗粒（ $\sim 20 \text{ nm}$ ），获得了最佳色度（ $L^* = 21.32$ ）。机理分析表明，压力场促进了 Si-O-Zr 键的形成，引导碳前驱体重组成 C=C 键，抑制了醚化反应，提高了碳的保留率。颜料在釉料中表现出优异的高温稳定性（ 1200°C ），保持结构完整性和均匀着色。本研究提供了一种通过协同控制无机结晶和碳前驱体碳化来设计耐用陶瓷颜料的环保策略。

仅发表论文

D22 -PO01

Sensitization and mineralization synergistically enhanced the coloration of V to Cr-doping ZrSiO_4 based jewel green pigment and its near-infrared reflection performance

余君玲

景德镇陶瓷大学

D22 -PO02

非水解溶胶凝胶法制备钛酸钡的工艺研究

陈智斌

景德镇陶瓷大学