

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

D05-智能材料
D05-Smart Materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



D05. 智能材料

分会主席：蒋成保

D05-01

最终交流类型：邀请报告

智能热控材料与机构

封伟*

天津大学/材料科学与工程学院

随着电子科技快速发展，5g 芯片、飞行器等器件装备集成度、运行速度、功率密度不断提高，其在工作过程中产生的热量越来越多，极易造成局部区域温度升高。如果不能及时将这些热量疏散出去，会严重影响电子设备的正常工作、造成设备的寿命减少。“热控”问题已经贯穿航空航天、国防民生的各个环节。当今热管理技术主要面临三个问题，第一是局部高温的问题，比如芯片的热聚集问题，第二是温度平衡的问题，比如卫星设备面向太阳的一面和背向太阳的一面温差很大，需要平衡温度，第三是力学承载的问题。应对这三个问题，热管理材料的设计需要实现定向导热、界面传热、软弹形变等功能，提升热界面材料在高低温以及热力交变下的热疏导能力和结构适应性。本文通过控制聚合物链段运动能力及复合材料界面相互作用，获得具有高弹性、高导热及智能响应的复合材料。通过材料与器件的一体化结构设计和功能设计，实现材料在热界面方面的应用。

D05-02

最终交流类型：邀请报告

高值高危化合物吸附与分离用分子基多孔材料

廖耀祖*

东华大学

多孔聚合物是一类重要的分子基多孔材料，在战略资源回收与能源存储等领域发挥重要作用，核心在于提高选择性吸附与高通量输运性能。然而，高选择吸附与高通量输运难以兼顾，其关键科学问题是面向传质动力学多尺度孔道的按需设计与调控。对此，本报告提出功能基元介导策略，通过精准合成调控孔道环境，强化传质动力，实现快速特异性吸附；发展多维度模板策略，通过结构仿生调控孔道结构，平衡传质动力和阻力，实现高通量选择性输运；结合以上两种策略，进一步构筑吸附与输运功能/结构一体化多孔聚合物。通过上述创新，解决了多孔聚合物对分子、离子以及电子等跨尺度高选择性吸附与输运功能调控难题，成果应用于战略资源如黄金、芯片特气、核工业原料纯化与高值化以及快充、高密度能量存储与转换器件开发。

D05-03

最终交流类型：邀请报告

调节 P(VDF-TrFE)的序列和纳米畴结构实现超高的压电系数

秦霸、张志成*

西安交通大学化学学院

During past decades, the construction of morphotropic phase boundary (MPB) behavior in ceramic-based relaxor ferroelectrics has successfully led to a significant enhancement in the piezoelectric coefficient for actuators, transducers and sensors application. However, MPB-like behavior has been achieved only in ferroelectric state in flexible ferroelectric polymers such as poly (vinylidene fluoride-trifluoroethylene) with the highest piezoelectric coefficients of approximately -63.5 pC/N, due to the lack of a rational design in polymer chain structure and composition. Here we report the first MPB-like behavior observed in a relaxor ferroelectric polymer synthesized by fully hydrogenating poly(vinylidene fluoride-chlorotrifluoroethylene), which are primarily linked in a head-to-head/tail-to-tail manner and trifluoroethylene units are randomly dispersed along the molecular chain. The unique polymer chain structure is found to be responsible for the formation of conformations

disorder thus strong relaxor behavior, and phase transition from an all-trans conformation to 3/1 helix thus induced phase boundary behavior. As a result, an outstanding longitudinal piezoelectric coefficient of -107 pC/N, more than five times higher than that of commercial poly (vinylidene fluoride) (-20 pC/N), is observed. This work opens up a new gate for next generation high-performance flexible devices.

D05-04

最终交流类型：邀请报告

离子导电聚合物的设计和应用研究

丁书江*

西安交通大学

基于离子导电聚合物的储能和传感器体系是多相多组分的高分子复合体系，组分之间的相容性和协同作用直接影响着复合材料的性能和应用范围。深入理解离子导电聚合物中离子传输的物理和化学机制是该领域的一个重要科学问题。报告人围绕离子导电聚合物离子传输机制，功能拓展，性能应用的研究主线，将高分子材料与电化学领域交叉融合，开展了以下研究：（1）针对离子导电聚合物中聚合物分子链段的固有差异导致离子解离-传输失配的问题，提出了聚合物分子链嵌段梯度极性匹配原则，发展了软硬“相锁定”策略，引入了“分子滑轮”设计新思路，实现了锂离子的解离与传输协同增强；（2）针对固态电池高荷质通量下界面离子转化不稳定造成界面分离和枝晶生长，导致电池短路失效的问题，提出多重氢键超分子和氟化亲锂聚合物疏导离子流均匀有序转化新策略，实现正负极/电解质界面耦合和界面处离子流的快速稳定转化。

D05-05

最终交流类型：邀请报告

高分子光探测材料的创制

陈爱华*

北京航空航天大学

2022年初国务院发布的“十四五”数字经济发展规划中将传感器、量子信息、新材料等列为我国战略前瞻性领域，传感器等是国家十四五规划重点发展方向。光电传感器是传感器中重要分支，其核心部件是具有光电效应的敏感元件，主要为半导体材料。目前，半导体敏感元件由于结晶度要求高，受限于生产工艺条件，光电探测敏感元件尺寸小成本高，国产化程度有待进一步提升，亟需从新机理角度开发新材料。液晶基元具有光、电、磁等多种环境刺激响应性、取向性和刚性，可作为小分子与聚合物混合，也可作为功能性官能团接在聚合物主链或侧链，构成液晶高分子。液晶高分子是一类重要的柔性智能材料，可作为传感器的敏感基元，用于制作柔性光传感器件。柔性传感材料是我国柔性电子领域的重大需求材料。然而，高分子材料中敏感基元感知的微观信号传递到本体材料器件作为宏观信号体现出来，通常需要较长时间，造成液晶传感宏观材料和器件响应时间较慢。此外，液晶材料的加工性较差，这些限制了液晶高分子材料在光探测、传感等领域的应用与发展。

本报告详细介绍了本课题组近年关于纯高分子光探测材料与器件相关工作进展。

D05-06

最终交流类型：邀请报告

高效磁相变换能材料机理及器件设计

张虎*¹、于子原¹、陈浩东¹、吉山¹、谢珑珑¹、刘明泽¹、胡凤霞²、沈保根²

1. 北京科技大学

2. 中国科学院物理研究所

磁相变合金是一种可实现磁-热-电能量转化的特殊材料，既可用于新型余热回收热磁发电，又可用于绿色磁制冷，正是符合节能环保要求的理想材料。近年来，科研人员不断探索高效磁相变能量转化合金，但是鲜有材料实现应用示范。阻碍这些磁相变合金发展的关键挑战是磁相变的磁-热-电能量转化机理不清

晰,即微观磁/结构有序度变化如何导致宏观磁-热-电能量转化的物理本质尚未弄清,导致普遍存在能量转化效率低、低场磁热效应小、合金高脆性易腐蚀等问题。

我们聚焦磁相变合金的磁-热-电能量转化机理这一基本科学问题,阐明了热磁发电的热-磁-电转化机理,基于相变调控成功研制出<100℃低品位余热温区的高效低滞热磁发电材料,首创磁热开关(magnetocaloric switch)实现磁通反转,提升发电功率密度3个数量级[1]。同时,建立了磁-晶多有序度调控磁热效应的新机制,通过磁-结构耦合相变获得2 T低场下3倍于传统Gd(4.5 J/kg K)的磁熵变15 J/kg K,利用晶格-磁矩的强关联择优取向开辟了织构多晶的旋转磁热效应新方向[2]。在此基础上,提出了表/界面强化修饰克服高脆性易腐蚀的新方法,通过表面细化晶粒和界面粘接强化克服磁相变合金高脆性,利用机器学习获得表面钝化缓蚀剂,研制出高强度、高导热、高耐蚀的磁相变合金[3],成功实现在磁制冷样机的应用示范。

参考文献

[1] Liu, X. L.; Chen, H. D.; Zhang, H.*; et al., Nat. Commun. 2023, 14: 4811.

[2] Zhang, H.*; Xing, C. F.; Zhou, H.; et al., Acta. Mater. 2020, 193: 210.

[3] Xie, L. L.; Liang, C. G.; Zhang, H.*; et al., Adv. Funct. Mater. 2024, 35:

D05-07

最终交流类型: 邀请报告

液晶基智能调光及防伪材料

杨槐*

北京大学

液晶是一类典型的智能材料,对电、光、热、磁和压力等外场刺激具有快速响应特性,在信息显示、智能调光、防伪和信息加密等领域具有广阔的应用前景。为满足智能器件逐渐向质轻、价廉、尤其是柔性薄膜化的方向发展,人们发明了高分子分散液晶(PDLC)和高分子稳定液晶(PSLC)材料体系。前者力学性能优异,但驱动电压较高;后者电-光性能优异,但难以进行大面积柔性加工。

本研究团队利用柔性和刚性光聚合单体在液晶中反应速率的差异,通过二步光固化方法,构筑了兼具PDLC和PSLC的微结构、从而创立了兼具前者优异的大面积加工性能和后者优异的电-光特性的高分子分散与稳定液晶共存(PD&SLC)材料体系。在此基础上,通过液晶材料的分子设计,制备了胆甾相液晶、近晶A-胆甾相转变液晶、双频液晶等不同相结构和物性的液晶材料,并利用这些液晶材料制备了PD&SLC薄膜,从而开发出温控调光膜、温敏变色膜、温电双控调光膜、低驱动电压的正式/反式/双稳态电控调光膜等柔性薄膜。这些薄膜在建筑节能、汽车智能门窗、低温存储和冷链运输、显示器智能防窥、电子纸等领域具有广阔的应用前景。

同时,针对目前防伪材料广泛存在的功能单一、难以实现多重复杂防伪、尤其是难以实现动态信息加密等问题,研究团队通过液晶的分子设计,制备了多种可实现多重信息加密的液晶基防伪材料。

D05-08

最终交流类型: 邀请报告

双连续结构多孔功能材料及其能源存储与转化应用研究

麦亦勇*

上海交通大学

光电功能材料是能源存储与转化等多个国家重大科技发展目标领域的核心材料,其主要研究目标之一的获得材料的构效关系和实现性能的优化。为此,实现材料的有序化是必要条件之一。本课题组致力于用高分子自组装方法解决结构特殊的光电功能材料的有序化难题,构筑了一系列新颖的多维多尺度光电功能材料,并揭示和理解未知的构效关系。本报告将介绍团本队在高分子自组装可控构筑双连续结构多孔材料研究方面的成果:通过嵌段共聚物精准溶液自组装和相结构精确调控,获得了有序双连续结构组装体,填补了长期以来该相图的空缺;以此为模板精准构筑了双连续结构光电功能材料,并揭示该结构在光电应用

上的独特优势。

D05-09

最终交流类型：邀请报告

突破传统的形状记忆高分子：网络结构与功能设计

谢涛*

浙江大学

形状记忆高分子自上世纪 50 年代就已有成熟的商业产品，但在过去半个多世纪现有新的变形机理及功能涌现。本报告将从高分子形状记忆的基本机理出发，介绍课题组在过去 15 年在形状记忆高分子领域的探索，包括三个具体工作：多重形状记忆效应的发现；原始形状的编程控制；新型定时变形行为的机理。在此基础上，简介课题组在器件应用上的尝试及成功案例。

D05-10

最终交流类型：邀请报告

功能蓝相液晶

王京霞*

中科院理化技术研究所

蓝相液晶因其独特的三维自组装超结构、多重外界刺激响应性、实时可重构性和优异的光学性能等吸引了研究者的广泛关注，在柔性光电器件中具有重大应用潜力。然而迄今为止，仍然缺乏对蓝相液晶多级结构和相变过程的实时观测，对功能特性的发掘仍然不足，从而限制了其实际应用发展。我们通过对蓝相液晶自组装过程的研究，引入可聚合液晶单体和非液晶性单体，实现了大面积、高质量、自支撑的多色单畴蓝相液晶光子晶体薄膜的制备；进一步通过合适的聚合物稳定体系拓宽了蓝相液晶的温域（-190~310 °C），并结合同步辐射、透射电镜等多手段详细研究了其相转变过程；利用蓝相液晶的刺激响应性研究了蓝相液晶光子晶体薄膜在形状记忆聚合物方面的应用；结合喷墨打印技术，发展了多色精美的蓝相液晶“活”图案，并通过调控打印参数及双手性蓝相模板的设计，实现了双手性具有时空可编程的蓝相液晶图案的制备。基于蓝相液晶谐振腔实现了高品质蓝相液晶激光，并进一步将其激光温域拓宽至超过 400 °C（-180~240 °C）。并进一步通过设计制备蓝相液晶弹性体，实现了宽温域的蓝相液晶膜的制备，并展示了其拉伸过程中的激光性能研究。这些工作极大的促进了功能性蓝相液晶在显示、防伪、激光等领域的应用拓展。

D05-11

最终交流类型：邀请报告

记忆合金编织物的力学特征

肖飞*

上海交通大学

D05-12

最终交流类型：邀请报告

磁致伸缩与磁结构相变研究

杨森*

西安交通大学

D05-13

最终交流类型：邀请报告

铁基磁致伸缩材料微结构及性能研究进展

王敬民*

北京航空航天大学

D05-14

最终交流类型：邀请报告

Co 掺杂 Tb_{0.27}Dy_{0.73}Fe₂ 磁致伸缩材料微观组织和磁性能的强磁场调控

刘铁*、张保泽、郭晓玉、刘延新、王强

东北大学

Tb-Dy-Fe 合金在宽温域内的磁致伸缩性能对于换能器、驱动器和致动器等器件的稳定运行具有重要影响。掺杂 Co 元素可提高合金的磁致伸缩温度稳定性，但磁致伸缩性能有一定程度降低，二者之间存在矛盾。强磁场辅助定向凝固技术可诱导合金中磁性相沿易磁化轴择优取向并显著影响相选择过程，进而有效调控材料的磁致伸缩性能。本工作利用强磁场下定向凝固技术制备了 Tb_{0.27}Dy_{0.73}(Fe_{0.9}Co_{0.1})₂ 合金，研究了合金的微观组织、晶体取向、残余应力、磁性能及其温度稳定性。发现合金的晶体结构均保持 Laves 结构。通过调整定向凝固拉伸速率与磁感应强度，得到了<110>、<112>及<111>择优取向的合金。相对于无磁场条件，强磁场下定向凝固制备的样品的磁致伸缩系数均明显降低，居里温度也有所降低。微观组织分析发现强磁场通过磁化能作用改变了凝固过程中的相选择，诱导产生高磁化率、负磁致伸缩系数的 DyCo₂ 相。通过热处理诱导相变消除了 DyCo₂ 相，大幅提高了合金的磁致伸缩性能。通过强磁场辅助定向凝固结合热处理，成功制备出沿<111>择优取向的 Co 掺杂 Tb-Dy-Fe 合金，实现了合金的磁致伸缩性能和温度稳定性共同提高。

D05-15

最终交流类型：邀请报告

NiMn 基合金在微纳尺度的超弹性和弹热效应

刘剑*

上海大学

基于磁晶耦合相变物理，NiMn 基 Heusler 合金在磁应变、磁传感、磁制冷等研究领域都备受关注。前大多数工作都是在厘米级以上的样品尺寸去研究这类智能材料的固态相变和多功能。本报告讲从宏观大尺寸块体样品到小尺度的微纳晶柱，汇报超弹性的尺寸效应及其微观组织关联机制，并首次表征出微尺度下的大弹热效应，期望对该类材料在芯片制冷、单点冷冻等未来发展提供基础科学数据和研究思路。

D05-16

最终交流类型：邀请报告

智能高熵合金探索

马天宇*、苟峻铭

西安交通大学

以超弹和磁弹合金为代表的金属智能材料可感知应力、温度和磁场等外界环境并产生智能驱动特性，在国防与高技术领域不可或缺。但是，基于低弹模传统思路设计的金属智能材料高功能特性和高力学性能不兼容，难以满足高技术领域对高性能(大弹性应变、高强度和高塑性)材料的迫切需求。我们基于高熵合金多种元素之间交互作用，通过探寻功能基元单相结构失稳边界，构筑了同时包含纳米尺度低弹模功能基元和高弹模结构基元的复合结构，同时实现了高功能特性和高力学性能。报告将分别介绍可覆盖航空工业宽温域的高屈服强度大超弹应变 Ti-Zr-Hf-Ni-Cu-Co-Nb 新型超弹合金及高塑性无滞后大磁致伸缩效应 Fe-Co-Al-Cr-Ni 新型磁弹合金，并探讨它们同时产生高功能特性和高力学性能的微观机制[1, 2]。

参考文献

[1] Junming Gou, Guoxin Liu, Tianzi Yang, Xiaolian Liu, Yun Pan, Chang Liu, Yu Qian, Yao Liu, Ying Chen, Xuefeng Zhang, Tianyu Ma, Xiaobing Ren, A high-entropy alloy showing gigapascal superelastic stress and nearly temperature-independent modulus, Nature Communications 16 (2025) 1227.

[2] Junming Gou, Yun Pan, Tianzi Yang, Yao Liu, Guoxin Liu, Ying Chen, Changsheng Zhang, Hao Li, Bojiang Lv, Chang Liu, Weixing Xia, Tianyu Ma, Large non-hysteretic volume magnetostriction in a strong and

ductile high-entropy alloy, *Advanced Materials*, 34 (2024) 2404192.

D05-17

最终交流类型：邀请报告

面向智能传感器的稀土永磁薄膜

赵晓天*

中国科学院金属研究所

随着智能电网、具身智能和无人驾驶等技术对电磁微机电器件的需求日益增长，亟需一种兼具高永磁性能和半导体工艺兼容性的微型永磁体。本研究在微米级厚度 Nd-Fe-B 基永磁薄膜的微纳制备与性能调控方面取得系列创新突破。揭示了微米尺度下 Nd-Fe-B 薄膜的生长机理，创新性地采用钽隔离层技术，实现了晶体取向与富钕相分布的有效调控，使薄膜的磁晶各向异性与矫顽力性能获得同步提升。提出了重稀土扩散层掺杂新方法，通过在永磁主相间构建扩散层结构，显著增强了主相形成能力，建立了矫顽力与剩磁协同优化的性能调控机制。成功制备 Nd-Fe-B/Fe 软硬复合微米级永磁薄膜，系统阐明了其磁化翻转动力学过程。开发激光辅助退火新工艺，将永磁薄膜的工艺温度降低约 30%，为低温集成提供了新途径。自主研制了稀土磁性薄膜溅射装备，突破了垂直各向异性晶圆级微米厚膜的可控制备技术，薄膜性能达到国际先进水平。该研究为微机电器件用高性能微磁组件的设计与制备提供了重要的理论指导和技术支撑。

D05-18

最终交流类型：口头报告

机器学习辅助开发大可恢复应变 Ti-Ta 基高温记忆合金

金畅文¹、薛德祯²、孟祥龙*¹

1. 哈尔滨工业大学

2. 西安交通大学

高温形状记忆合金作为一种新型智能材料，在航天航空发动机等领域有广泛应用前景，但大多数合金本身金属间化合物的结构导致了其固有脆性，限制了拓展应用。钛基记忆合金作为一种固溶型记忆合金，能够同时实现良好可加工性、高相变温度以及大可恢复应变，满足现有领域需求。本研究结合可解释性机器学习方法，在 Ti-Ta 基记忆合金中添加 Zr、Nb 和 Sn 元素提升合金强度，从而提高合金的形状记忆效应。通过领域知识约束以及多层感知机模型预测相变温度筛选高温合金成分，通过支持向量机回归逆向设计高温大可恢复应变 Ti-Ta 基记忆合金。利用 SHAP 方法揭示了与合金记忆效应关联的核心原子物理特征，同时分析马氏体界面结构，发现其中大量存在{011}复合孪晶，具有较小的孪晶剪切应变，此外存在的<211>孪晶界面存在晶格转动协调，使得合金在马氏体再取向过程中不易引入塑性变形，因此具有较好的记忆效应，最终实现高相变温度与大可恢复应变协调优化。

D05-19

最终交流类型：邀请报告

压力可控智能储热材料

李昂*

中国科学院金属研究所

热无处不在，全球约 72% 的初级能源转化后主要以热耗散的形式释放。传统相变储热材料完全依赖于环境温度，存在本征热耗散的弊端，导致其放热过程被动、不可控、效率低，应用场景受限。塑晶材料作为取向无序晶，从高温以较快速度冷却将进入过冷塑晶态甚至取向玻璃态；极小压力可诱导过冷塑晶态的完全结晶，释放出大量的热量。利用塑晶材料的该特性，我们研制了吸/放热温度、驱动压力、放热速度、放热量等性能可控的新型储热材料。将该类材料与其他对磁场和温度具有强响应性的金属材料复合，大幅提高了热导率，且实现了非接触式磁场触发和自适应温度触发，增强了材料的可应用性。

本文工作得到中国科学院“从 0 到 1”项目和国家重点研发计划的资助。

D05-20

最终交流类型：邀请报告

压电材料与声-磁传感器器件

汪尧进*

南京理工大学

压电水声换能器与磁电传感器作为实现水下声、磁探测的关键电子元件，在国民经济和国防建设等高新技术领域具有不可替代的应用价值。压电材料是实现高灵敏度和低噪声的声、磁传感器核心智能部件，直接决定传感器性能。水下侦察预警和无人智能作战平台对压电材料提出了新的应用需求，尤其是高可靠性、高压电系数和低介电损耗的压电材料成为了无人平台传感器的关键材料。本报告首先着重报道了组分与应力梯度对硅基 PZT 压电薄膜的铁电极化调控，实现了自极化、大面积(4 英寸)、高性能($d_{33}>500$ pC/N)和一致性好的 PZT 薄膜，解决压电薄膜 MEMS 器件加工过程中“过流焊”的技术瓶颈。随后探讨了水触发离子解锁范德华剥离制备柔性压电薄膜的制备工艺，自支撑 PZT 压电薄膜 d_{33} 突破 500 pC/N, 较传统 PVDF 基柔性压电材料性能提升超 30 倍。本报告在理论层面建立了压电式水声换能器及磁电传感器的多物性参数协同优化理论模型，解析了优值因子 FOM 关键参量。在应用层面，基于自支撑 PZT 薄膜制备了高性能柔性声音传感器，具有高灵敏度 (-39.3 dBV) 和高信噪比 (63 dBV)；基于多重纵向-横向工作(MLT)模式磁电复合材料的阵列并联结构，设计了噪声等效磁场达到 927.8 fT/Hz^{1/2} 的磁电式弱磁传感器，突破 1 Hz 噪声等效磁场皮特级的限制；基于高品质因数织构 PZT 基压电陶瓷设计制备声矢量传感器，传感器灵敏度达到 1713 pC/g (PZT-8 基传感器的 5 倍)，噪声仅 16.8 ng/Hz^{1/2} (仅为 PZT-5 基传感器的 1/3)。本报告的创新成果构建了覆盖不同量级的水下弱磁/声信号检测技术体系，综合性能优异，为新一代水下弱信号探测装备的研制提供了关键技术支持。

D05-21

最终交流类型：邀请报告

高性能压电驱动器研究

高翔宇*

西安交通大学

随着微型机器人、精密光学系统、微创手术器械及高精度自动化装备的快速发展，对多自由度驱动器的性能要求日益严苛。传统电磁驱动器受限于体积与结构复杂度，难以在毫米级尺寸下实现高精度多轴运动；而现有压电驱动器虽在微型化方面具有优势，但普遍面临多自由度集成困难、负载能力不足（通常<0.1 N）或分辨率受限（微米级）等问题。尤其在需要亚微米级定位精度的场景（如光通信对准、半导体检测）中，兼具大推力、高响应速度与纳米级精度的多自由度驱动器仍属技术空白。自然界中，鱼类通过身体与尾鳍的协同变形实现高效多维运动，其肌肉-骨骼系统的超材料特性为人工驱动器的设计提供了仿生学启示。近年来，弛豫铁电单晶（如 PIMNT）因其超高压电系数（ $d_{33}>2000$ pC/N）和机电耦合性能，成为突破压电驱动器性能瓶颈的理想材料。然而，如何通过材料-结构协同设计，在微型化结构中实现多振动模式耦合与能量高效传递，仍是亟待解决的科学问题。本研究通过融合仿生运动学与超材料构型设计，提出一种基于人工混合振动模态（31 伸缩与 35 剪切耦合模式）的新型驱动机制，为多自由度压电驱动器的性能突破提供了新思路。

D05-22

最终交流类型：邀请报告

基于介电弹性体形变的高灵敏电致变色材料

肖明*

四川大学

结构色材料通过微纳结构对光的散射和干涉作用呈现颜色，在传感和显示领域具有重要应用。传统电致变色材料通常依赖电场驱动溶液中的胶体粒子迁移，受限于离子扩散速率、氧化还原副反应及使用寿命问题。本研究基于介电弹性体与结构色光子结构的耦合，提出了一种全固态电响应光子材料。通过在介电

弹性体中构筑胶体粒子组装体,利用弹性体形变改变粒子间距,实现结构色变化。当电场作用于弹性体时,材料内部应力诱导胶体粒子阵列发生重构,产生快速、可逆的变色响应。此外,采用无序相关排列(光子玻璃)降低界面形变对颜色均匀性的影响,使得材料即使在面外褶皱或屈曲时仍保持稳定变色。通过优化介电弹性体的模量和厚度,该材料可在 800 V 下实现 85 nm 的变色范围,远超同类型变色灵敏度。进一步结合多层结构设计,实现同步变色与可编程形变调控。该研究为电致变色材料提供了新机理,拓展了其在智能传感、柔性电子和变色显示等领域的应用潜力。

D05-23

最终交流类型: 口头报告

Effect of annealing temperature on the structure and superelasticity of a (Ni, Cu)-rich TiNiCu alloy

Jun Cao, Aleksandr Shuitcev, YunXiang Tong*

Harbin Engineering University

The effect of annealing temperature on microstructure, transformation temperature (TT), mechanical properties and superelasticity of (Ni,Cu)-rich Ti49Ni39Cu12 alloy was studied. It is found that annealing below 850 °C leads to the formation of Ti(Cu,Ni)₂ precipitates. Formation of these precipitates during low temperature annealing improves superelastic properties and increases TTs. The lower annealing temperature, the higher TTs and recovered strain during superelasticity. Precipitate-free samples annealed above 850 °C exhibit two-step transformation and are characterized by a higher hardness compared to those with precipitates. It is proposed that the high vacancy density in the precipitation-free state after annealing at 900 and 950 °C leads to embrittlement and the occurrence of a multi-step transformation behavior in the studied alloy.

D05-24

最终交流类型: 口头报告

Ti-Nb-Zr-Sn 形状记忆合金马氏体相变与弹热性能

孔令娇、高智勇*、郑仪萍、韦良晓

哈尔滨工业大学

为推动弹热制冷技术进行工程化应用,宽温域范围内实现稳定的高弹热性能是目前亟待解决的关键问题。TiNbZrSn 合金在外加应力作用下可发生 β 与 α' 马氏体相之间的可逆相变,呈现出超弹性,且具有良好的加工性能,是一种极具潜力的弹热制冷材料。通过热机械处理方法在 TiNbZrSn 合金中构造出大量弥散分布的纳米畴,获得应变玻璃态 TiNbZrSn 合金,开发出具有宽温域和良好绝热温变的弹热制冷材料,为亚稳 β 钛合金在弹热制冷领域的应用提供理论指导。

合金铸锭为粗大的 β 相等轴晶且无明显择优取向;经冷轧变形 35%后合金的晶粒被拉长,形成 $\{223\}\beta<-1-33>\beta$ 型冷轧织构,并在 β 相基体中存在少量针状 α' 马氏体;冷轧变形增加到 75%时,合金中形成 $\{112\}\beta<110>\beta$ 型塑性孪晶及纳米微区组织;继续增加冷轧变形量到 95%,合金晶粒完全碎化,形成纳米晶。随后对冷轧变形的 Ti-12.5Nb-18Zr-2Sn 合金进行 1173 K, 30 min 固溶处理,合金形成 $\{001\}\beta<1-10>\beta$ 型再结晶织构,织构强度随冷轧变形量的增加而增强;同时在合金中形成了大量弥散分布的 ω 相和 O'相纳米畴。动态机械分析 DMA 测试表明:不同冷轧变形的固溶态 Ti-12.5Nb-18Zr-2Sn 合金在低温处的相变峰呈现频率依赖性,具有应变玻璃态特征;且随冷轧变形量的增加,理想冻结温度 T 下降,超弹温度区间逐渐变宽。冷轧变形 95%的固溶态 Ti-12.5Nb-18Zr-2Sn 合金在 263K-363K 的宽温域范围内展现出 4%的超弹应变,且等温熵变和绝热温变分别稳定保持在 10 J/kg K 和 2.5 K。研究表明,随循环次数增加,冷轧变形 95%的固溶态 Ti-12.5Nb-18Zr-2Sn 合金在室温拉伸循环加载-卸载时,理想冻结温度升高,超弹应变降低,绝热温变减小。原位 XRD 分析表明加载-卸载过程中应力诱发了 β 与 α' 马氏体相之间的可逆相变。TEM 观察结果表明:未循环合金样品室温为体心立方结构的 β 相,且基体内弥散分布着 O'和 ω 相纳米畴。经 50 次循环后,除纳米畴外, β 相基体中还形成了大量相互平行的针状 O'相。经 150 次循环后,形成的 O'相转变成微米尺度的残余 α' 马氏体。经 250 次循环后,在 α'/β 相界面处出现宽约 10 nm 的 O'相过渡层。朗道理论分析表明 O'相为热力学中的亚稳相,在循环加载-卸载过程中积累的位错形成残余应力场,促使晶格

错排的 O'相沿 $\{2\bar{1}1\}\beta(111)\beta$ 方向发生晶格切变, 形成正交结构的 α'' 马氏体; 且应力诱发的微米级带状 ω 相与 α'' 马氏体形成梯子状结构, 阻碍了 α'' 马氏体的可逆相变路径, 导致残余 α'' 马氏体数量进一步增多。由此表明残余 α'' 马氏体的形成与长大是合金超弹性和弹热效应随循环次数增加而衰减的主要原因。

D05-25

最终交流类型: 邀请报告

智能响应近红外高分子光敏剂的构建及其在光动力治疗中应用

张伟安*

华东理工大学

近年来, 报告人主要针对传统光敏剂在光动力治疗中存在的问题开展工作, 利用肿瘤微环境的特异性, 设计构建了一系列智能响应近红外高分子光敏剂, 提升了光敏剂的利用效率, 具体工作为: 提出了构建具有精准结构的响应性卟啉高分子光敏剂的新策略, 实现了光敏基元在分子结构中定点定量的精准构造, 解决了疏水小分子光敏剂药物递送率低、非特异选择性等问题, 为实现精准光动力治疗奠定了基础; 发展了交替结构降低光敏基元聚集诱导淬灭的新策略, 提升了光动力治疗的效果; 提出了高稳定低氧依赖的近红外高分子光敏剂构建的新方法, 解决了传统光敏剂因吸收光波长短而导致的激发光组织穿透性浅、光敏剂稳定性差等问题, 有效地克服了光动力治疗的应用瓶颈。

D05-26

最终交流类型: 邀请报告

异质特性微结构弹性体导电复合材料加工与线性应变传感

柯凯、贾进、龚涛、邵鹤青、荆琪、杨鸣波、杨伟*

四川大学高分子科学与工程学院

人工智能与物联网技术的快速发展, 使弹性体导电复合材料在柔性可拉伸应变传感器方面展现出广阔的应用前景。但是, 热塑性弹性体与功能纳米材料在力学与电学性能上的严重不匹配, 导致导电复合材料电信号随应变加载通常均呈现非线性响应特征, 严重限制了其在柔性可拉伸/可穿戴应变传感器上的应用。为了打破传统无机或者金属基应变传感材料的应用限制, 在宽应变范围内实现电信号随应变加载的线性响应, 需要科学设计热塑性弹性体导电复合材料的形态微结构并实现连续可控加工。我们针对热塑性弹性体导电复合材料存在的力学弹性与导电性能难以兼顾及电信号响应灵敏度和线性度低的问题, 充分利用聚合物加工过程中的多场耦合作用, 构筑力学与电学双异质特性微结构, 调控材料内部导电网络结构, 规划微裂纹扩展的方式和路线, 实现宽应变范围可拉伸可弯曲导电复合材料电信号随应变加载的高灵敏度和线性度。在满足柔性可穿戴应变传感需求的电子传输网络结构设计及规模化加工的前提下, 主要围绕利用加工外场在材料体系内构筑力学与电学异质特性微结构, 解析异质特性微结构化导电网络与应变传感性能之间的关系, 并以此为基础, 发展具有线性响应特征的多功能机械传感器的连续化加工方法, 探索其在人体健康监测与人机交互等方面的应用, 为柔性应变传感器的连续化可控加工提供了新的思路。

D05-27

最终交流类型: 邀请报告

绿色印刷制备光电器件

宋延林*

中国科学院化学研究所

基于纳米材料制备及功能墨滴图案化的基础科学问题, 发展了系统的绿色印刷技术, 形成了液滴操控印刷自组装-功能基元图案化-光电器件应用的研究体系, 并揭示了液滴在图案化表面的动态行为机制。首次实现了液滴碰撞前后运动方式的改变, 为解决高精度图案的印刷制备和精确调控提供了新的思路。从液滴操控三维成型出发, 用模板诱导液滴在三维空间内自发收缩, 实现了单一或多材料的三维微纳结构的快速组装。进一步, 利用微模板操控泡沫的演变, 克服了气泡图案化控制难题, 实现了气泡的反奥斯瓦尔德熟化和印刷气泡图案化, 并以此为印刷模板组装多类功能材料。特别地, 利用液滴操控纳米绿色印刷微纳

制造的优势，首次发现了纳米光子结构散射-衍射转变的临界条件，并发展了光学超材料检测芯片用于新冠病毒、流感病毒、肿瘤标志物的超灵敏快速检测，为功能器件的印刷制备开辟了新的思路。

D05-28

最终交流类型：邀请报告

纳米绿色印刷智能传感器件

苏萌*

中国科学院化学研究所

发展微纳制造技术是从纳米材料到器件规模化制造与应用发展的核心课题。我们利用微模板精确控制液滴成型及功能材料的组装和图案化，实现超高精度三维微纳结构和器件的印刷制造，精度达 100 nm；将表面能量最小化驱动的液滴自成型策略引入到微纳印刷制造领域，发展结构-功能一体化印刷制造方法，实现柔性太阳能电池、可穿戴电子、智能光电传感器件的印刷制备。我们印刷制造单纳米颗粒精度的光子共振结构，首次验证了纳米结构光子相互作用中散射-衍射转变临界尺寸。当病毒等生物颗粒吸附在共振结构的表面，会产生散射共振近场增强作用，显著改变散射光的颜色，在 15 分钟内直接从血清或痰液中快速识别目标病毒，并可对 0 到 1.0×10^5 PFU/mL 范围内的病毒载量进行实时响应，适用于缺乏专业实验设备的地区的快速筛查。

D05-29

最终交流类型：口头报告

微型机器人的智能材料构建与生物医学应用探索

金东东*

哈尔滨工业大学（深圳）

微型机器人是指尺度在微米或纳米量级，能够将外界能量转化为动能，从而实现自主运动的微小型器件。基于其体积小、灵活性高的特点，微型机器人能够在蜿蜒闭塞的狭小环境（如人体内复杂的流体环境）中到达指定位置并实现许多常规传统手段无法完成的任务，在生物医学领域具有巨大的潜在应用价值。但是，由于尺寸过于渺小，微型机器人无法如宏观机器人一样轻易集成计算芯片、通讯模块、执行与传感器等功能部件，目前往往只具备简单的结构和单一的功能，缺乏适应动态复杂环境的能力，从而在面向生物医学应用时带来理论、技术和应用层面上的诸多挑战，无法满足应用需求。在此次报告中，本人将介绍近年来在微型机器人“个体强化”方面的工作，采用双光子聚合微纳制造的手段，以生物智能材料为核心设计、构建与功能化可重构微型机器人，增强其在生物医学应用中的智能性、实用性与安全性，从而实现具有自主适应能力的多功能微型机器人系统。

D05-30

最终交流类型：口头报告

自修复聚硅氧烷材料结构设计及性能研究

时向荣*、姜波、陈菊香、张皓然、黄玉东

哈尔滨工业大学

以聚硅氧烷为研究对象，主要介绍自修复聚硅氧烷材料以及相应的柔性电子器件应用。针对多重动态键构筑的自修复聚硅氧烷及其所制备的柔性应变传感器，从自修复聚硅氧烷的结构设计、修复特性、传感特性等方面进行详细介绍，所制备的柔性传感器可对于人体状态进行监测，且可损伤修复。此外，也研究了基于可滑移硫氢键阵列策略制备的可穿戴柔性智能材料，其可用于皮肤组织光热治疗。在此基础上，利用自修复光响应传感结构模拟生物体的自我修复、运动和局部感知能力，所制备的智能抓取器可用于各种光响应运动，且可通过实时电阻变化检测动作并提供信息反馈。该研究将为自修复聚硅氧烷的研究及柔性电子器件的应用提供借鉴方法。

D05-31

最终交流类型：口头报告

二维黑磷基光热电转换阵列的飞行器姿态识别应用

张梁舒彤、王建元*、张煜浦

西北工业大学

随着小型飞机的使用日益增多，如何在提高传感器适应性和稳定性的同时，实现快速、简便、经济高效的飞机姿态估计，仍然是一项至关重要的挑战。传统姿态识别方法多受风速、光照、磁场等环境因素影响，亟须寻找新的材料与器件结构设计方案。本研究，我们利用具有良好光热性能的二维材料 CuS 和黑磷（BP）进行了带隙调控和结构设计。通过对 CuS 进行硒化成功实现了带隙优化的 $\text{Cu}_2\text{Se}_{1-y}\text{S}_y$ (CSS) 材料制备，并利用超声化学合成法利用 CSS 与 BP 纳米片成功制成了具有类叶绿体结构的 CSS@BP 复合材料。其中，作为框架的 BP 纳米片能像类囊体一样有效吸收光能，而分散的 CSS 层则能像叶绿素一样促进光热电能的快速转换。在 405 nm 波段，CSS@BP 表现出卓越的光热转换性能和高达 68.9% 的光热转换效率。高性能主要是复合材料界面的非平衡载流子快速产生和传输，不仅增强了 CSS 的局部表面等离子体共振（LSPR）效应，而且抑制了 BP 的辐射弛豫，这使得吸收的光能主要通过非辐射声子弛豫进行转换。基于此，我们引入具有优秀热电性能的 Bi_2Te_3 材料通过脉冲激光沉积法，并以具有高绝热性能的聚酰亚胺（PI）薄膜作为绝缘层，制备了 CSS@BP/ Bi_2Te_3 光热电转换阵列，通过集成自平衡激光器和电流测量芯片，组装设计出飞行姿态识别盒（ARB）。飞行姿态的偏差会改变激光照射区域，引发对侧电流值信号的灵敏变化，从而显示俯仰角和滚转角等姿态变化信息。这种 ARB 装置可安装在飞行器的任何部位，无需复杂的算法和抗环境干扰能力强，具有超过 87% 置信度和出色的稳定性。它为高精度飞行姿态识别和姿态估计技术的发展提供了一个新的研究开发视角。

D05-32

最终交流类型：口头报告

形状记忆高分子及发光行为

王考进*

北京师范大学珠海校区

形状记忆高分子材料（SMPs）是一种在一定的条件下改变其初始形状并固定后（临时形状），在外界刺激下（如热、光、电、磁、微波、超声、溶剂、金属离子、酸碱度等）可恢复至其初始形状的智能高分子材料。双向可逆形状记忆高分子材料克服了单向形状记忆行为不可逆性的局限，极大扩展了其应用范围。我们首先基于简便的方法合成了胆酸基多重形状记忆聚合物，最近又开发出了可用于智能缝合的胆酸基聚氨酯弹性体（图 1）。通过改变可共结晶无规共聚物的共聚组分，开发出了驱动温度可调的双向可逆形状记忆聚合物，在此基础上加入聚多巴胺光热纳米粒子，开发出了光响应的可行走的机器人以及人工肌肉。通过加入聚集诱导发光基团，开发出了可发光的双向可逆形状记忆聚合物，又通过加入具有分子内扭曲电荷效应的 AIE 分子，开发出了可同时可逆变形变色的聚合物。这些智能高分子材料有望被应用到生物应用、智能仿生及航空航天等领域。

参考文献：

1. Wang, K.; Si, H.; Wan, Q.; Wang, Z.; Qin, A.;* Tang, B. Z.*; J. Mater. Chem. C, 2020, 8, 16121.
2. Wang K.; Jia Y.-G.; Zhao C.-Z.; Zhu X. X*. Prog. Mater. Sci. 2019, 105, 100572.
3. Wang K.; Zhu X. X*. ACS Biomater. Sci. Eng. 2018, 4, 3099.
4. Wang K.; Jia Y.-G.; Zhu X. X*. Macromolecules 2017, 50, 8570.
5. Liu, H.; Wang, K*.; Jia, Y.G*.; Zhu, X.X*. Adv. Funct. Mater. 2025, 35, 2412565.
6. Wang, K.; Si, H.; Du, X.; Han, P.

D05-33

最终交流类型：邀请报告

TiNi 系合金大线弹性研究

从道永*

北京科技大学

具有大弹性应变的金属在高精度驱动、机械能存储及弹性应变工程领域需求迫切，但块体晶态金属的弹性应变极限通常难以突破 1%。本报告将呈现我们在 TiNi 系多组元合金中开展大线弹性研究的结果，具体包括无滞后、大应变、宽温域线弹性的获得和其背后可能的微观机制，期望本报告能为开发高性能大弹性应变合金提供参考。

D05-34

最终交流类型：邀请报告

超高强度超高柔性金属材料纪元超^{*1}、任晓兵^{1,2}、徐志治²、崔进¹、常杰¹

1. 西安交通大学

2. 甬江实验室

空天装备、人形机器人、智能终端等领域亟需突破金属材料的性能极限，开发兼具高强度（媲美超高强度钢）与高柔性（媲美高分子材料）的新型材料。然而，现有材料受强度-柔性倒置关系（strength-flexibility trade-off）的制约——强化键虽带来高屈服强度，但同时导致高弹性模量和低柔性，难以满足变形机翼、灵巧手、折叠屏等关键部件的性能需求。针对这一挑战，申请人等提出“应变玻璃工程”的新策略——通过创制“双马氏体种子应变玻璃”实现性能突破，成功开发了世界首例超强超柔金属材料（Nature 2024，通讯作者）。采用三步热机械处理工艺调控应变玻璃形成条件，在商用 Ti-50.8Ni 合金中设计出“双马氏体种子应变玻璃”。该合金兼具超高强度（超高屈服强度 $\sigma_y \sim 1.8\text{GPa}$ ）、超高柔性（超低杨氏模量 $E \sim 10.5\text{GPa}$ ）以及超大弹性应变（ $\sim 8\%$ ）。此外，其超强超柔特性在 -80°C 至 $+80^\circ\text{C}$ 的宽温域内保持稳定，并具有优异的高应变抗疲劳性能（例如，在 1.6%-1.8% 应变下可承受 500 万次循环而不发生断裂）。这种具备量产潜力的奇异合金有望为空天装备、人形机器人、智能终端等前沿技术领域开辟新发展路径。

D05-35

最终交流类型：邀请报告

Torsion deformation behavior and microstructure evolution in a Ti-Ni shape memory alloy

Xianglong Meng*

Harbin Institute of Technology

Ti-Ni shape memory alloy (SMA) have been widely used in many fields such as aerospace, biomedical engineering, etc. Usually, Ti-Ni alloy actuators are driven in tension, compression or bending states. However, Ti-Ni actuators in torsion mode attracted many attentions in recent years. For example, a Ti-Ni-Hf SMA torsional actuator in aerospace vehicles was developed to change the shape of the wings. The torsion deformation behavior of Ti-Ni SMAs is not clear so far due to its heterogeneity. In the present study, the effects of torsion deformation on the martensitic transformation, microstructure, and shape memory effect were investigated systematically. Compared with the tension stress-strain curve, the torque-twist angle curve of Ti-Ni SMAs does not show an obvious “torque plateau”. After the elastic deformation stage, the martensite variants with $\langle 011 \rangle$ type II twins preferentially oriented, and the detwinning of the internal substructure occurs simultaneously. Further increasing the twist angle, the $\langle \rangle$ type I twins, as a kind of deformation twins, can be observed frequently. Meanwhile, some fine (001) compound twins were found as the substructure in the internal of $\langle \rangle$ type I twins. When the twist angle is too large, the (011) type I twins of martensite and dislocation slip were introduced, indicating the severe plastic deformation. The torsion deformation can completely recover when the twist angle is less than 100° . And then the shape memory recover ratio decreases rapidly with increasing the twist angle.

D05-36

最终交流类型：邀请报告

无需标注数据的形状记忆合金智能发现新策略

宗洪祥*、王一丁、李天庆、丁向东、孙军

西安交通大学

在形状记忆合金 (SMA) 设计中, 构建精准预测材料成分与晶体结构之间关系的模型对发现新型 SMA 至关重要。然而, 受限于标注数据匮乏以及 SMA 对晶体对称性高度敏感的特性, 传统机器学习方法难以有效开展。为此, 我们提出了一种自监督概率模型 (SSPM), 能够仅依赖现有材料数据库中的晶体结构数据, 自动学习原子层级的表示, 并建构成分与晶体结构之间的概率关系。该模型极大提升了下游 SMA 识别模型的性能。在实际应用中, SSPM 成功筛选出 50 个 SMA 候选, 其中 23 个已通过实验或理论方式得到验证, 且发现了一个此前从未报道的 SMA 候选材料 MgAu。该研究展示了 SSPM 在形状记忆合金发现中的潜力, 为新型 SMA 的高效筛选提供了新的思路和技术路径。

D05-37

最终交流类型：口头报告

基于氮掺杂碳点复合介电弹性体的仿生柔性致动器：双向运动与荧光功能集成

韩宇兵、巫金波*

深圳北理莫斯科大学

介电弹性体 (Dielectric Elastomer, DE) 材料作为软体机器人驱动模块的核心组成, 虽因其高可变形性与轻量化特性被广泛应用, 但其本征性能在驱动效率与柔顺性之间存在固有矛盾, 导致难以兼顾高灵敏度动态响应与多维度可控形变的协同控制。本文提出了一种基于碳点增强介电弹性体复合材料 (N-doped carbon dots (NCDs), NCDs-PDMS) 与仿生尺蠖柔性致动器框架的协同设计策略, 提出了一种材料-结构-功能一体化集成的解决方案。通过创新性构建材料体系, 采用一步水热法合成了氮掺杂碳点, 其平均荧光寿命为 9.29 ns, 量子产率为 15.53 %。通过优化 NCDs 在聚二甲基硅氧烷基体中的分散比例 (0.067 wt%), 成功制备了兼具优异机电性能与光学特性的 NCDs-PDMS 复合薄膜。在样品厚度为 1 mm 时, 该复合材料仍保持高达 97.0 % 的透光率, 同时实现介电常数提升 5.88 %、杨氏模量降低 31.36 %, 表明其在力学性能与光学特性之间实现了有效平衡。在此基础上, 基于 NCDs-PDMS 的介电弹性体致动器在 5.68 kV/mm 的驱动场强下, 面外致动位移较纯基体提升了 3.58 倍, 显著增强了复合材料的致动性能。在此基础上, 设计了仿生“双腔室一体化”柔性框架结构, 并结合 CDs-PDMS 作为驱动层, 成功实现了仿生尺蠖的双向平面爬行运动。在相同电场, 不同占空比条件下, 其双向爬行速率达 2 mm/s。进一步结合弯曲角度动态分析, 揭示了致动器基于周期性形变与摩擦力协同作用的运动机制。最终集成碳点增强复合材料与仿生框架的多功能致动器, 不仅展现出黄绿色荧光特性, 还实现了稳定双向爬行功能, 在柔性传感、医疗监测及智能制造等领域具有显著的技术优势和应用潜力。

D05-38

最终交流类型：口头报告

铅基弛豫铁电单晶极化行为调控电学性能及相变机理研究

王书豪、汪尧进*

南京理工大学

在相界面处, 铅基弛豫铁电单晶的宏观性能与微观结构表现出对极化电场和组分的依赖性与敏感性。然而, 极化过程中潜在的畴翻转与相变过程及其理论依据尚未完全阐明。本报告首先系统研究了交直流极化对 $\text{Pb}(\text{In}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3\text{-Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ 弛豫铁电单晶宏观电学性能及相/畴结构的影响规律, 通过同步辐射 XRD 和压电力显微镜证明 [110] 交流极化诱导单斜 M_B 相-正交相相变, 明确了 Landau 自由能和畴壁能的相互竞争是亚稳态正交相主要成因。在此基础上, 研究了直流极化场强对 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ 单晶电学性能和相结构的影响规律, 通过 XRD 证明 PMN-0.305PT 单晶在强电场下不可逆地转变为正交相。基于 Landau 理论, 构建了电场诱导亚稳态正交相的相场模型, 提出弛豫铁电单晶“过极化效应”源于相界面处

Landau 自由能和弹性能相互耦合。

D05-39

最终交流类型：口头报告

Realizing overall trade-off of barocaloric performances in 1-bromoadamantane-graphene composites

Changjiang Bao^{1,2}, Ziqi Guan¹, Zhenzhuang Li¹, Haoyu Wang¹, Yuanwen Feng¹, Qing Guo¹, Kun Zhang¹, Yanxu Wang¹, Liang Zuo², Bing Li^{*1}

1. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences.

2. Key Laboratory for Anisotropy and Texture of Materials (Ministry of Education), School of Material Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China.

Barocaloric materials have attracted extensive attention for their promising applications in low-carbon refrigeration technology. Given that the performances of barocaloric materials are intrinsically and even inversely correlated, an overall trade-off is necessitated. Here, we have prepared the 1-bromoadamantane-graphene composite (15 wt.% graphene), whose pressure-induced entropy change ($75.8 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), pressure-induced adiabatic temperature change (10.3 K), and thermal hysteresis (8 K) nearly remain unchanged. The pressure-induced adiabatic temperature change is comparable to the prototype neopentylglycol while the thermal hysteresis is much smaller. More importantly, by incorporating the additive the thermal conductivity has been elevated by 10 times, from 0.684 to $6.549 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Such a combination renders the composite represents state-of-the-art barocaloric performances and is expected to benefit the design of barocaloric refrigeration technology.

D05-40

最终交流类型：邀请报告

增材制造 Ni-Mn-Sn-Co 合金组织调控与磁/弹热效应

钱明芳*、钟诗江、张学习、耿林

哈尔滨工业大学

制冷是现代生活中不可或缺的一部分，其消耗了全球约 20% 的电力供应。随着全球气候变暖和能源危机，人们越来越关注清洁、高效、可持续的能源技术。当今主流的气体压缩制冷技术，虽已发展 150 余年，但依然存在能效低、难以小型化、易造成温室效应等问题。近年来，开发具有零全球增温潜能值的固体制冷工质和技术，已成为应对全球气候变化问题的一个关键领域。Ni-Mn-Sn-Co 合金的相变热效应大、工作温度区间宽，是一类有前途的固体制冷工质候选者。然而，这类合金脆性大、机械加工难度高，难以满足应用需要。近年来，增材制造凭借材料适用性广、灵活度高、成本低等优势，正成为最具前景的 Ni-Mn-Sn-Co 合金加工方法。然而，当前对增材制造这类合金的研究多局限于工艺参数对成形质量及性能的影响层面，关于工艺过程与材料冶金的相互作用本质理解不足。本研究以熔融法增材制造（激光粉末床熔融）和粘结法增材制造（粘结剂喷射、材料挤出）技术中两个核心要素——非平衡凝固条件和粘结剂的使用为切入点，通过分析不同工艺过程下 Ni-Mn-Sn-Co 合金的显微组织特点，辅助合金马氏体相变行为和磁/弹热效应表征，阐释工艺过程对合金微观结构和宏观特性的影响规律，建立了“工艺-组织-性能”的联系，获得优异制冷性能。

D05-41

最终交流类型：邀请报告

引入应变玻璃转变实现高熵 TiZrHfNiCuCo 合金的弹热效应与准线性超弹性

侯慧龙^{*1,2}、吕超¹、李冠奇^{1,2}、霍雪艺^{1,2}、李泽怡^{1,2}、张凯超¹、赵新青¹

1. 北京航空航天大学，材料科学与工程学院

2. 北京航空航天大学，天目山实验室

具有形状记忆效应和超弹性的形状记忆合金，其功能特性源于合金内部的奥氏体发生的一阶热弹性马

氏体相变。但是，当向形状记忆合金中掺入过量的能产生的局部应力/应变场的缺陷（过量原子、位错、纳米沉淀相）时，传统热弹性马氏体相变消失，代之以宽温域范围内存在的马氏体纳米畴为典型特征的应变玻璃转变。理论研究表明，只有当掺入的缺陷含量超过某一临界值，才能够产生应变玻璃转变。基于此，我们采用高熵理念制备了等原子 TiZrHfNiCuCo 高熵合金，并展示了一系列机械和功能特性，包括高强度、低弹性模量、准线性超弹性、宽温度范围弹性热效应、弹性模量软化以及优异的疲劳稳定性（超过 10 万次循环）。通过纳米级微观结构分析，我们证实这些性能与高熵合金的应变玻璃化转变有关，其特点表现为模量行为随频率变化、平均结构不变、非遍历性以及纳米畴的形成和生长。所揭示的构效关系表明，高性能系数材料的弹热效应和疲劳稳定性可归因于纳米域在应力诱导下不断演化所产生的窄滞后准线性超弹性，而弹性模量软化则是 B2 基体弹性模量软化与 B19c 与 R 纳米畴弹性模量硬化共同作用的结果。

论文发表：K. Zhang et al., *Acta Mater.* 294, 121172 (2025). C. Lv et al., *Acta Mater.* 264, 119598 (2024).

D05-42

最终交流类型：邀请报告

局部化学非均匀实现增材制造 NiTi 合金的强度-延展性-超弹性协同提升

李仲瀚、郝世杰*

中国石油大学（北京）

增材制造 NiTi 形状记忆合金存在抗拉强度低、总延伸率低及超弹性能差的问题，无法满足实际应用需求。我们提出了一种策略，可显著且协同改善了 LPBF 制备 NiTi 合金的强度、延展性和超弹性。该策略通过在 B2 基体中构建高密度的富 Ni 局部化学非均匀性（LCI）结构来实现。与长程有序结构的 Ni₄Ti₃ 析出物相比，富 Ni 局部化学非均匀性结构独特地增强了抵抗位错滑移的能力，促进了应力诱导的马氏体相变，尤其缓解了微孔缺陷和结构界面周围的局部应力集中。这种特殊的微观结构赋予了 LPBF 制备 NiTi 合金优异的拉伸力学和超弹性能，即拉伸极限强度达到 958.7 MPa，总拉伸延伸率为 11.2%，超弹应变超过 7%，并具有优异的循环稳定性。该研究提升了通过增材制造及 LCI 工程制造复杂几何形状的高性能超弹性形状记忆合金器件的能力，为实际应用开辟了新的可能性。相关研究成果发表于 *Nature Communications* (2025) 16:1941。

D05-43

最终交流类型：邀请报告

激光定向能量沉积制备鱼骨状晶粒构型的 NiTi 形状记忆合金：优异的延伸率和超弹性

佟运祥*、王福斌、李梦楠

哈尔滨工程大学

激光定向能量沉积为制备复杂形状 NiTi 合金构件提供了有效的解决途径，然而沉积态合金的塑性和超弹性均较差，这极大制约了合金构件的工程应用。本研究通过调控沉积工艺参数，设计了鱼骨状晶粒成功突破了上述限制，实现了最大 34±5% 的延伸率和 7.15% 的超弹性可恢复应变，优于现有增材制造 NiTi 合金。通过鱼骨状晶粒形貌的三维重构，发现其具有两个外延生长方向；晶粒在剖面上呈现锯齿状晶界；特殊的晶粒排布弱化了外延生长的<001>织构。原位背散射电子衍射及扫描电子显微分析表明锯齿状晶界可以缓冲单向滑移带的扩展断裂，并促进滑移带的扩展，有助于实现均匀化拉伸变形；弱化的<001>织构（织构强度 MUD=2.97）和较高的施密特因子（0.39）能够在变形过程中开启滑移，完成塑性变形。透射电子显微分析表明呈网状分布的 Ti₂Ni 析出相与基体之间界面晶格失配度约为 8.5%，也可以有效地缓解晶间断裂。结合不同方向、不同温度的拉伸试验，揭示了鱼骨状晶界几何构型与晶体取向对延伸率的影响机制。建立了激光定向能量沉积工艺参数（能量密度 78-91 J/mm³、扫描速度 300-400 mm/min）与鱼骨状晶粒之间的工艺图谱，实现了微观组织与性能的精准调控。本研究有望为航空航天和生物医疗领域提供无需后处理即可获得高性能增材制造 NiTi 合金的新范式。

D05-44

最终交流类型：邀请报告

零自然时效 Fe-Mn-Al-Ni-Mo 单晶形状记忆合金及 Mo 元素的双功能作用

彭华备*、左阳、付雨、文玉华

四川大学机械工程学院

Fe-Mn-Al-Ni 基形状记忆合金拥有宽温域超弹以及超弹性应力对温度的极低依赖，在深空等领域拥有广阔的应用前景。然而，该合金体系难以获得大尺寸单晶且存在自然时效的问题。针对上述问题，本研究基于 Mo 元素的双功能作用成功制造出了无自然时效的大尺寸单晶 Fe-Mn-Al-Ni-Mo 形状记忆合金。循环热处理过程中，利用 Mo 元素沿晶界偏析产生的溶质拖曳效应，有效地促进了该合金的异常晶粒生长，获得了直径约为 15.5mm、长度约 95mm 的大尺寸 Fe-Mn-Al-Ni-Mo 单晶棒。同时，低扩散系数的 Mo 元素有效地阻碍了自然时效时共格纳米 B2 相的长大，所以接近[001]取向的 Fe-Mn-Al-Ni-Mo 单晶在自然时效 1.5 年后 8.5% 的巨大超弹性应变未变化。相比之下，未添加 Mo 的 Fe-Mn-Al-Ni 形状记忆合金中共格纳米 B2 相在自然时效 1.5 年后从~7.7nm 增长到~10.1nm。本研究为利用元素偏析工程开发高性能高熵合金提供了参考。

D05-45

最终交流类型：口头报告

激光诱导 60NiTi 合金梯度结构的形成机理及应用功能特性

郑仪萍、高智勇*、韦良晓

哈尔滨工业大学

随着我国航天航空、海上探测运输等重大机械装备的迅猛发展，耐磨部件长期服役在交变载荷、振动冲击载荷、高压、腐蚀等复杂环境，对其综合性能提出更高要求。传统耐磨材料不锈钢材料具有优异的耐磨性能，但常发生应力腐蚀；而陶瓷材料虽具有优异的耐蚀性，但在振动和冲击环境下因局部高频冲击应力易出现磨损甚至开裂。因而探寻新型高端耐磨材料，实现满足振动、冲击、强腐蚀等复杂工况环境的新材料是当前这一领域亟待解决的热点问题。60NiTi 合金是近年来发展起来的新型高端耐磨耐蚀材料，其微观组织与宏观性能对热处理制度极为敏感，在中温时效处理时呈现 B2 相基体与 Ni₃Ti 析出相共存组织特征，具有良好的超弹性和高抗应力冲击性能，经高温固溶水淬处理后具有 Ni₄Ti₃ 相基体和少量 B2 相共存组织特征，呈现高硬度和良好的耐磨性能。因此如何将两种组织有机结合起来使 60NiTi 合金同时兼具高抗应力冲击与高耐磨性能是当前亟待解决的问题。

本论文提出对中温时效处理的 60NiTi 合金进行激光表面淬火处理，在具有抗冲击性能的 60NiTi 基体材料表面实现高硬度和优异的耐磨性。结果表明：随着激光温度的升高，淬火硬化区的表面粗糙度和厚度增大；维氏硬度在深度方向呈现明显的梯度分布，在淬火硬化区，高密度的 Ni₄Ti₃ 析出相分布在 NiTi 基体中，使母相分布在狭窄的通道，产生 Orowan 强化。硬度梯度的形成与激光加热温度场和冷却速率有关，随着深度的增加，峰值温度和冷却速率降低，在 Ni₄Ti₃ 相析出的同时，逐渐分解为稳定的 Ni₃Ti，导致硬化效果下降。淬火温度为 1150℃ 的样品，表面维氏硬度为 624.29 HV_{0.2}，是非激光试样（275.78 HV_{0.2}）的 2.26 倍，摩擦系数从 0.96 下降至 0.39。因此，激光表面淬火技术可以在具有抗冲击性能的 60NiTi 基体材料表面实现高硬度和优异的耐磨性。

D05-46

最终交流类型：口头报告

预存纳米马氏体畴结构赋予形状记忆合金独特弹性性能

党鹏飞、周玉美、薛德祯*、丁向东

西安交通大学

随着未来高新技术与现代国防领域快速发展，对金属材料的弹性性能提出越来越高的要求。例如，骨植入物、医用导丝等要求材料兼具高的强度和低的弹性模量；精密计时器、航空航天传感器等要求材料弹性性能随温度不变；弹性发射系统、仿生机器人等要求材料能够实现弹性机械能的高效储存与释放。然

而，现有基于胡克定律的真弹性与基于马氏体相变的伪弹性都难以满足上述材料性能需求。预存马氏体纳米畴作为“相变种子”能够有效扬长避短，克服强一级相变固有缺点，同时利用纳米畴的可逆生长获得大弹性。在这一思路的指导下，我们首先在 Beta-Ti 合金中通过热机械处理获得了弥散分布 O'马氏体纳米畴结构，实现了低于 30GPa 的弹性模量和约 2.5% 的线弹性应变；其次在 TiNi 基合金中构建了预存纳米马氏体畴的纳米晶结构，基于无需形核的相变模式和晶界强化效应，同时实现高屈服强度、大弹性应变和低能量耗散，所开发合金进而表现出超高弹性储能密度 ($> 40 \text{ MJ/m}^3$)、能量效率 ($> 94\%$) 以及优异的抗疲劳性。

D05-47

最终交流类型：邀请报告

数据驱动的可变储热合金智能设计与开发

薛德祯*

西安交通大学

相变储热材料能够利用在某一特定温度下发生物理相态变化从而实现热量的存储和释放，在能源高效利用及电子器件热管理领域具有重要应用价值。其中，基于固态马氏体相变的形状记忆合金，因体积能量密度高，化学稳定性好，热导率高而备受关注。然而现有形状记忆合金仍存在潜热不足、热滞后大等问题。同时，随着高熵合金理念的提出和复杂加工处理条件的引入，可供探索的合金空间呈指数增大，传统设计方法难以快速寻优。为此，本工作首先利用强化学习与代理模型交互提升的方法，将性能预测排序策略转换为序列决策，解决了大搜索空间难以探索的问题，在 TiNi 多组元形状记忆合金中高效实现了成分优化，相变潜热达到 39J/g；其次，提出了一种噪音感知的主动学习策略，结合多目标优化算法快速设计开发了兼具高相变潜热 ($\approx 30 \text{ J/g}$) 与低热滞后 ($\approx 17 \text{ K}$) 的新型储热合金；最后，利用基于生成学习的逆向设计框架，以目标热流曲线为约束，从广域合金成分和工艺参数中高效生成潜在的候选方案，快速开发出具有高储热优值、潜热可控释放的热电池材料，其功热转换系数达到 9，有效实现低温废热的回收与再利用。

D05-48

最终交流类型：邀请报告

纳米晶稀土永磁材料研究

郑强、全伟、黄英正盛、马龙飞、耿琪瑶、杜娟*

上海大学

基于单畴理论和交换耦合理论设计的纳米晶磁体和纳米复合磁体具备优异磁理论磁性能，作为潜在的下一代永磁体而成为近年来的研究热点。探索相组成-微观组织-性能之间的构效关系，并实现复杂微观组织的精细调控，是实现纳米复合稀土永磁材料理论值的关键。

基于纳米晶稀土永磁材料的研究，我们在微观组织调控方面取得了系列研究进展：（1）采用非晶低温晶化工艺，成功研制出具有磁性能可调控的各向同性纳米晶 Sm-Co 磁体，以及多硬相 Sm-Co/FeCo 纳米复合磁体，不仅使得剩磁大幅度增强，更通过构建梯度多相设计有效解决了矫顽力偏低的难题。（2）表面活性剂辅助低温化学沉积（LTCC）的新型制备工艺，实现了软磁相 5nm 级别的超精细调控，成功构建了具有核壳结构的各向异性 SmCo₅@FeCo 纳米复合材料，同时获得了高矫顽力和高磁能积。该技术突破性地。（3）创新性地通过热压-低温蠕变变形方法，在远低于晶界相熔点的变形温度使仅有百纳米的钕铁硼晶粒实现强组织化，并探讨了钕铁硼磁体独特的低温变形和组织形成机制。这些研究成果为新一代高性能纳米晶稀土永磁材料的研发提供了重要借鉴。

D05-49

最终交流类型：邀请报告

Ti-Ni 基形状记忆合金中预应变效应机制新进展：本征效应及扩大化效应

张建*、顾嘉玮、陈昱林、张鹏、杨德厚、徐辰、任镜霖、刘珂

江南大学智能制造学院

Ti-Ni 和 Ti-Ni-Nb 形状记忆合金(shape memory alloys, SMAs)分别是应用最为广泛的二元和宽温域

SMA。形状记忆效应(SME)是在低于 A_f 进行预变形,然后加热至高于 A_f 时恢复原始形状。预应变会导致马氏体的稳定化,使逆相变温度显著升高,被定义为预应变效应(PSE)。因此,PSE 机制具有重要的基础和工业研究意义。目前,预变形 Ti-Ni SMA 中被认为存在三种 PSE 机制:1)去孪晶机制:预应变时自适应温度诱发多畴马氏体发生去孪晶,孪晶界弹性能得到释放;2)晶界约束机制:预应变造成多晶样品中晶界附近内应力上升;3)位错机制:马氏体诱发位错网络的偏置局部应力场是严重变形后 PSE 的主要机制。然而,这些研究均是在存在着严重功能疲劳(热马氏体引入位错)的 Ti-Ni SMA 中进行的;在预变形通过加热逆相变消失后,随后降温时该类型样品中马氏体相变温度下降,这样表明了预变形引入了位错。因此,前人总结的 PSE 机制可能受到预变形引入的位错的影响。

研究进展一: 目前对无位错参与的本征预应变效应(intrinsic pre-strain effect, IPSE),尚未见报道。为了避免预变形位错的影响,我们对不易产生位错的 Ti49Ni45.7Cu4.9Cr0.4 SMA (20 次热循环无功能退化)中施加小预应变冷轧变形(CR)。IPSE 被证明出现在 CR3.5 (小于平均相变应变)范围内的预应变样品中,其中去孪晶和引入位错均可以忽略不计。DSC 结果表明,第一次逆相变的 A_s^{1st} 和 A_f^{1st} 分别增加了 13 °C 和 10 °C。CR2.5 TEM 结果表明,马氏体仍然是孪晶/多畴的,由预先去孪晶和重新取向马氏体组成。研究揭示了 IPSE 机制:预应变时,自适应马氏体孪晶会通过预先去孪晶、去孪晶和/或再取向进行重新排列,在这个过程中由于周围约束导致产生了不相容的应变,引起局部应力场。

研究进展二: 目前大部分学者将 Ti-Ni-Nb SMA 的 PSE 归因于富 Nb 颗粒塑性变形,认为这种塑性变形使马氏体和富 Nb 颗粒界面处的弹性应变能松弛,而忽略了二元 Ti-Ni SMA 中 PSE 机制。本研究通过 CRx Ti44Ni47Nb9 和 CRx Ti50Ni50 的 DSC 结果对比,发现了 Ti44Ni47Nb9 拥有扩大化 PSE 效应,主要体现在两方面:1) A_{f2} 更大增幅(CR10 为 175 °C,是 Ti50Ni50 的 206%),及相变滞后更大增幅(CR10 为 195 °C,是 Ti50Ni50 的 224%);2) $FWHM_{DSC-P2}$ 更大增幅(CR10 为 36 °C,是 Ti50Ni50 的 514%)。SEM 显微表征表明,随着冷轧量的增加,Ti44Ni47Nb9 中马氏体孪晶的基体/孪晶宽度之比增加,且稳定化的应力诱发马氏体孪晶的宽度增大,这分别说明 IPSE 和去孪晶机制对扩大化 PSE 有贡献。然而,这两个 PSE 机制都只能导致 $FWHM_{DSC-P2}$ 减小,表明它们是导致扩大化 PSE 的次要原因。STEM 结果表明,在冷轧过程中富 Nb 颗粒与附近应力诱发马氏体的相互作用,在颗粒周围产生了高密度位错,且位错密度随着与距离增加而显著减小,这产生了梯度应力场 $\sigma_{dislo(Nb)} \cdot \sigma_{dislo(Nb)}$ 会大幅度提高马氏体的稳定化程度,是导致 CRx Ti44Ni47Nb9 中扩大化 PSE 的主要原因。

根据本研究,TiNi 基 SMA 中 PSE 机制可归纳为三种:1)IPSE,归因于周围约束(马氏体/母相、晶界、析出物)产生的局部残余应力;2)去孪晶,通过释放储存在马氏体孪晶的孪晶界中的弹性能;3)位错(网络),归因于位错(网络)产生的偏置局部应力场。对于含有富 Nb 颗粒的 Ti-Ni-Nb SMA,除了上述 3 种 PSE 机制,更为主要是富 Nb 颗粒周边高密度位错及梯度应力场。本研究深化了对 SMA 中 PSE 及相应 SME 的基本理解,为 SME 应用提供一定理论指导。

D05-50

最终交流类型:邀请报告

基于生物大分子的智能凝胶材料及其传感应用

蔡仲雨*1、赵芳媛 1、刘睿祥 1、张玉琦 2、马潘潘 2

1. 北京航空航天大学

2. 延安大学

生物大分子如蛋白质、核酸及碳水化合物是生命体系中不可或缺的基本组成单元,其间的分子识别与相互作用在多种生理和病理过程中发挥着至关重要的作用,例如细胞黏附、细胞识别以及疾病的发生与进展。近年来,基于生物大分子构建的智能凝胶体系因其优异的生物活性、生物相容性及分子可编程性,逐渐成为生物医学和传感技术领域的研究热点,并在疾病诊断与环境监测等方面展现出广阔的应用前景。

我们近年来开发了一系列基于蛋白质和核酸适配体构建的智能传感材料,并成功将其应用于高选择性和高灵敏度的智能传感系统中,为生物大分子功能材料的设计与应用提供了新的策略。我们首先提出了一种通用的全蛋白质智能传感材料制备方法,可将任意蛋白质转化为相应的功能凝胶。具体而言,我们采

用戊二醛对蛋白质进行微交联，制备了刀豆蛋白基凝胶材料，并与二维光子晶体结构集成，构建了可用于白色念珠菌检测的光子晶体生物传感器。该刀豆蛋白水凝胶传感器表现出良好的选择性，其检测限低至 32 CFU/mL，远低于健康人体中白色念珠菌的正常浓度（约 400 CFU/mL）。在此基础上，我们进一步优化了该方法，开发出以辣根过氧化物酶（HRP）和牛血清白蛋白（BSA）为基础的复合智能凝胶材料，有效克服了部分蛋白质缺乏赖氨酸残基而难以交联成凝胶的限制。所得 HRP/BSA 复合凝胶传感器可用于高灵敏度地检测过氧化氢，检测限达到 8.8×10^{-6} M。此外，我们还发展了一种蛋白质官能化修饰技术，通过将修饰蛋白与高分子材料协同构建蛋白质-高分子杂化智能凝胶，实现了对有害化学物质——如过氧化氢——的选择性检测，检测限低至 3.75 μ M，显著提升了传感器的灵敏度并降低了成本。在核酸适配体方面，我们采用化学修饰手段，制备出适配体功能化的智能凝胶材料，用于农药残留的选择性检测。开发的多菌灵传感器展现出优异的检测性能，其检测限低至 2.8 nM，具有良好的实用潜力。

总体而言，基于生物大分子的智能材料可构建光子晶体传感器，其明亮且清晰的衍射信号使其在疾病诊断、环境分析等领域具备可视化、快速响应和高效检测的独特优势。

D05-51

最终交流类型：口头报告

光介导多尺度结构设计可编程形状记忆导电复合材料研究

魏洪秋*

西北大学

形状记忆导电复合材料在柔性电子、生物医疗、可穿戴传感器等领域有着重要的应用前景。然而，目前所报道的形状记忆导电复合材料在应用中仍存在拉伸率低、制备耗时长、结构单一等问题。基于此，本研究报道了一种光介导多尺度结构设计的协同策略，制备高性能可编程形状记忆导电复合材料。在微观分子水平上，通过高效且温和的光介导，同步引发夺氢反应和自由基聚合，进而实现弹性-塑性多重聚合物网络的一步快速构建。同时，利用核壳结构银包碳纳米纤维原位构建了高效的导电网络。所制备的形状记忆导电复合材料表现出了良好的力学性能和快速的凝胶化能力；在宏观层面，进一步结合增材制造技术引入超材料结构，在丰富结构化设计的同时提升了材料拉伸变形性能。最终，本研究制备出了一种可拉伸形状记忆导电复合材料。其最大应变较未优化前提升了近 19 倍，电导率 >104 S/m，形状固定率和形状恢复率 $>95\%$ 。更有意义的是，高拉伸率、高导电性和优异形状记忆行为的结合为所设计的可拉伸形状记忆导电复合材料提供了可编程调控的电学特性。基于这些特点，本研究展示了所制备的高性能形状记忆导电复合材料作为功能可编程的电磁干扰屏蔽器件和可穿戴传感器应用的可行性。

D05-52

最终交流类型：口头报告

弛豫铁电体形成机制的相场模拟研究

洪政凯*

西北有色金属研究院

相比于正常铁电体，弛豫铁电体和再进入弛豫铁电体由于具有高的压电系数、优异的介电温度稳定性、小滞后下的大电致应变、较高的储能密度等特性更是成为现代社会航空航天、无人驾驶、生物医学等尖端技术领域高速发展的关键材料。无论是弛豫铁电体还是再进入弛豫铁电体，都是通过在正常铁电体中掺杂大量的点缺陷而得到。但是点缺陷是如何影响弛豫铁电体和再进入弛豫铁电体的形成还不是很清楚。本研究利用相场模拟手段，综合考虑点缺陷掺杂产生的纳米尺度成分不均匀所引起的三种局部效应（局部相变温度效应、局部内电场效应和局部相变路径效应），重现了弛豫铁电体以及再进入弛豫铁电体的形成，揭示了弛豫铁电体中三个特征温度（TB、T*和 Tf），可回复电致应变曲线和再进入弛豫铁电体出现的物理机制，为设计更多具有优异性能的铁电材料提供理论指导。

D05-53

最终交流类型：口头报告

TiNi/Ag 多层复合膜的马氏体相变和功能特性研究

黄小雪、孟祥龙*

哈尔滨工业大学

形状记忆合金薄膜具有高功率密度和大输出应力与应变，是一种应用前景广阔的生物 MEMS 微驱动器材料。但现有的 TiNi 形状记忆合金弹性模量大（20-90 GPa）作为生物医用植入物易引起应力屏蔽。与其他膜层复合时，形状记忆效应功能显著降低。本研究通过磁控溅射法沉积柔性 TiNi/Ag 多层复合膜，通过优化层结构参数获得兼具良好循环稳定性、大可恢复应变和抑菌性的异质结构复合膜。异质结构是由纳米晶 Ag 层和微米晶的 TiNi 膜组成。在异质层结构中，Ag 层引入的残余压应力作为预应力作用于 TiNi 层，显著降低了其应力诱发马氏体变体再取向的临界应力，拉伸复合膜时提前相变，进而降低了复合膜整体的表观弹性模量。此外，富含 Ag 纳米颗粒的 Ag 膜释放出大量的 Ag 离子，其对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的展现出显著的抗菌活性。同时高延伸率的软 Ag 膜可以协同 TiNi 膜的变形，为大可恢复应变、抗菌柔性薄膜驱动器材料设计提供了理论基础。

D05-54

最终交流类型：口头报告

析出相变体调控时效 TiNiCr 合金的组织结构与超弹性性能

李昕航、孟祥龙*

哈尔滨工业大学

TiNi 基合金丝材因其良好的超弹性在微创手术器械、微型驱动器等狭小空间中具有广阔的应用前景，而这类精密操作环境也对其超弹性提出更高的要求。本研究采取单轴拉应力时效的方法，在 TiNiCr 合金中引入弥散分布的析出相，通过优化约束时效应力调控 TiNiCr 合金中析出相的尺寸、变体类型和分布；时效应力的增加不仅会降低不利取向的析出相变体数量，还会导致有利取向析出相变体发生粗化并降低其密度，择优析出相变体的形成释放了其周围应变场导致析出相对基体强化作用减弱，在低时效应力下获得兼具高超弹稳定性和大可恢复应变的 TiNiCr 合金；有望拓展 TiNiCr 合金在生物医用和微驱动器等领域的应用。

墙报**D05-P01****具有大变形和高回复应力的光响应液晶聚氨酯弹性体**

赵予溪、杨科珂*、石玲英、王玉忠

四川大学

具有可反复形状编程、大变形及高做功能力的多刺激响应特性的软体驱动器在各个领域展现出广阔的应用前景。其中，液晶聚合物（LCPs）因其快速响应和优异的可逆变形能力在智能驱动器领域应用广泛，而在 LCPs 基体中引入光响应填料可以赋予其远程精准控制和局部触发的特性。然而，开发兼具高可逆形变（>80%）与回复应力（>0.35 MPa）的 LCPs 体系仍面临巨大挑战。本研究以 RM82 为液晶基元、MXene 同时充当光响应填料及增强剂，通过原位聚合法构建了液晶聚氨酯(LCPU)/MXene 动态交联网络。利用氨基甲酸酯键与脲基间多强度氢键的协同效应，显著提升了驱动性能（驱动应力达 0.91 MPa，驱动应变达 88%，做功能力达 546 kJ m⁻³）。利用氢键的动态性，同时实现了材料的网络重构和可反复编程。该驱动器在热/近红外光刺激下可完成精准折纸运动，并可带动自身重量 3700 倍的物体发生运动。该光响应 LCPs 复合材料在人工肌肉、航空航天等领域展现良好的应用潜力。

D05-P02

机器学习和多目标优化方法驱动 NiTi 形状记忆合金的 LPBF 工艺参数智能设计

李志诚、张利军*

中南大学粉末冶金研究院

激光粉末床熔融 (LPBF) 制备的镍钛形状记忆合金 (NiTi SMAs) 在航空航天与医疗领域展现出巨大潜力。然而, 打印件的制造可重复性与定制化设计仍具挑战。针对该问题, 论文集成粉末成分、LPBF 工艺与设备参数作为特征, 基于 23 篇文献的 195 条数据条目, 训练了面向多个目标性能的机器学习模型。经过数据清洗、特征工程和超参数优化, 模型可准确预测关键性能指标, 包括致密度、极限抗拉强度、延伸率和热滞后等。随后, 基于八个实验组数据的验证证实了模型的可靠性与泛化能力。通过多目标优化, 确定了可实现性能协同优化的工艺参数组合, 进一步获得抗拉强度 783 ± 8 MPa、延伸率 $13.7 \pm 0.8\%$ 与低热滞后 (15.1 K) 的打印态 NiTi 合金。论文进一步探讨了机器学习模型在 LPBF 工艺优化中的应用策略, 提出构

仅发表论文

D05-PO01

Fe83Ga17 合金内部应力对其阻尼性能的影响

杜金超、牟星*、侯振宇、徐立红、郭世海

钢铁研究总院有限公司 功能材料研究院

Fe-Ga 合金是一类典型的铁磁性阻尼合金, 其阻尼性能具有高稳定性、宽振幅适应性和宽温域平台等特性[1-3], 可应用于消声、减振领域。研究表明<100>取向的 Fe83Ga17 合金的阻尼值能达到 0.068[4], 高于复相型 (0.01~0.45) 和单晶型的阻尼合金 (0.01~0.53) [5]。根据 Smith-Birchak 模型, 阻尼性能与磁致伸缩系数呈正比、与内应力呈反比[6], 由于 Fe-Ga 合金的阻尼性能与相结构、内部缺陷等密切相关, 可通过热处理工艺进一步提高合金的阻尼性能。本文首先通过定向凝固方法制备具有<100>择优取向的 Fe83Ga17 合金, 再对其进行不同的热处理工艺, 旨在改善 Fe83Ga17 合金的阻尼性能。结果显示, DS、Q730、Q730+T300 和 T300 试样的阻尼值分别为 0.035、0.050、0.078 和 0.054。Q730 试样阻尼性能优于 DS 试样, 这是因为 730°C 淬火处理后, 合金保持了大量的无序 A2 相, 有利于磁致伸缩性能, 使得阻尼值上升。根据 Fe-Ga 合金的相图可知, Q730+T300 的相结构应与 Q730 试样相同, 而造成 Q730+T300 试样的阻尼性能优于 Q730 的原因是退火处理降低了合金中的内应力。Q730+T300 试样与 T300 的区别在于相结构不同, Fe83Ga17 合金在缓慢冷却过程中, 会有 D03 相析出, 使得磁致伸缩应变降低, 导致阻尼性能下降。综上所述, 通过适当的热处理工艺调控 Fe83Ga17 合金的相结构和减小内应力, 有利于提高阻尼性能。

注:

DS: Directional Solidification (定向凝固)。

Q730: 从室温以 10°C/min 升温至 1100°C, 保温 1h, 再以 10°C/min 降温至 730°C, 保温 3h, 水淬。

Q730+T300: 从室温以 10°C/min 升温至 1100°C, 保温 1h, 再以 10°C/min 降温至 730°C, 保温 3h, 水淬; 再以 10°C/min 升温至 300°C, 保温 1h, 随炉冷却至室温。

T300: 从室温以 10°C/min 升温至 1100°C, 保温 1h, 再以 10°C/min 降温至 730°C, 保温 3h, 再以 10°C/min 降温至 300°C, 保温 1h, 随炉冷却至室温。

参考文献

[1] I.S. Golovin, V.V. Palacheva, J. Cifre, C. Jiang, Internal friction in Fe-Ga alloys at elevated temperatures, J. Alloys Compd. (2019) <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.265>

[2] M. Sun, L. Li, W. Jiang, Y. Gao, H. Wang, X. Wang, Q. Fang, Internal friction phenomena in a wide

temperature range up to 800 °C in long-term annealed Fe-(0–30) at% Ga alloys, *J. Alloys Compd.* (2021) <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161444>

[3] S. Yan, X. Mu, B. Liu, L. Xu, Y. Qi, H. Zhang, Mechanism of phase structure modulating damping in Fe₇₃Ga₂₇ alloy, *Intermetallics* (2023) <http://dx.doi.org/10.1016/j.intermet.2023.107890>

[4] S. Yan, X. Mu, B. Liu, L. Xu, S.-H. Guo, Y. Qi, H. Zhang, Damping capacity of Fe₈₃Ga₁₇ magnetostrictive alloy under magnetic field, *Rare Metals* (2023) <http://dx.doi.org/10.1007/s12598-023-02382-1>

[5] 方前锋, 朱震刚, 葛庭燧, 高阻尼材料的阻尼机理及性能评估, *物理* (2000)

[6] J.R. Birchak, G.W. Smith, Magnetomechanical Damping and Magnetic Properties of Iron Alloys, *J. Appl. Phys.* (1972) <http://dx.doi.org/10.1063/1.1661245>

D05-PO02

纤维驱动器的连续制备和应用

裴新杰、邸江涛*

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所

纤维驱动器因其轻便、柔性和高效能的优势,在仿生机器人、柔性电子和医疗器械领域展现出巨大潜力。然而,现有的螺旋纤维驱动器制备技术仍主要依赖于实验室手工操作,存在效率低和稳定性差等问题,限制了其大规模应用。本研究聚焦于螺旋纤维驱动器的连续化制备,设计一套闭环张力控制系统,通过优化设备设计和关键工艺参数,解决纤维螺旋化过程中张力恒定及螺距稳定性难题。同时使用尼龙纤维围绕大螺距纤维结构的设计策略展开研究,优化纤维的几何参数与工艺条件,提升纤维驱动器螺旋结构的驱动效果和稳定性,探索其在智能机器人中的应用。本研究为纤维驱动器的大规模生产提供了理论基础和技术支持,为其在柔性驱动领域的实际应用奠定基础。