



中国材料大会 2024
暨第二届世界材料大会
CMC 2024 & WMC 2024

July 8-11, 2024
Guangzhou, China

D05-智能材料
D05-Smart Materials

Organized by

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.scimeeting.cn>

D05. 智能材料

分会主席：徐惠彬、南策文、冷劲松、蒋成保

最终交流类型：邀请报告

D05-01

基于铁弹相变的大弹热效应研究

从道永*

北京科技大学

基于应力场驱动铁弹马氏体相变吸/放热的新型固态相变制冷技术被认为是最有潜力替代传统气体压缩的制冷技术之一。新型固态相变弹热制冷技术的实施取决于高性能相变弹热制冷材料的研制。本报告将介绍我们在新型金属相变弹热制冷材料设计与研制方面的最新进展，希望能为设计和研制新型高性能马氏体相变弹热制冷材料提供参考。

最终交流类型：邀请报告

D05-02

高温形状记忆合金复合材料

孟祥龙*、孙旭善、衣晓洋

哈尔滨工业大学

航空航天和武器装备等领域的发展要求材料同时具有高强高韧等力学性能和各种功能特性，其中，形状记忆合金复合材料能同时表现出优异的形状记忆效应和较高的屈服强度，实现结构功能一体化，突破原有材料需求瓶颈。本研究通过原位自生方法，在高温形状记忆合金（Ti-Ni-Hf 合金和 Ti-V-Al 合金）中引入 TiB 等各种陶瓷相，使陶瓷相呈准连续网状结构，制得的 TiB 增强形状记忆合金复合材料兼具有高相变温度、高强度和大可恢复应变；形状记忆合金复合材料中的准连续网状结构增强相强化了基体，而增强相周围的梯度应力场促使马氏体组态择优取向（TiB/Ti-Ni-Hf 合金）或表现为纳米马氏体畴（TiB/Ti-V-Al 合金），使增强相和基体协调变形，实现大可回复应变；进一步优化增强相的分布状态，获得高强度和大可回复应变，可实现高承载能力与应变恢复特性的一体化。

最终交流类型：邀请报告

D05-03

基于 R 相变固态弹热制冷材料的开发

肖飞*

上海交通大学

面对全球变暖的局势，传统的蒸汽压缩制冷方式易排放温室气体、对环境造成不利影响，绿色高效的新型固态弹热制冷技术有望从根本上解决这一问题。NiTi 基形状记忆合金是目前力学性能和加工性能最好的弹热材料，其弹热效应基于马氏体相变过程中潜热的变化，从奥氏体 B2 相到马氏体 R 相的应力诱发马氏体相变由于晶格畸变较小，具有较小的应力滞后性和较高的循环稳定性，在长期应用中很有潜力。然而，由于固有相变应变较小，其弹热效应受到极大限制。通过掺杂适量 Fe 元素，结合机械塑性变形与低温时效处理的方法，制备出了具有宏观非均质 R 相变方式的纳米晶 TiNiFe 丝材。其应力-应变曲线中存在应力平台，与传统宏观均质相变表现出的应力随应变持续增长现象不同，这是宏观非均质相变行为的主要特征；原位拉伸 X 射线衍射结果间接证明了相变带的存在。与 NiTi 相比，其 R 相变的弹热效应提高了近 100%、最大绝热温度下降达到了 5.8K，并且保留了 R 相变出色的功能循环稳定性；相变相关材料性能系数高达 21，远高于大多数 SMA。因此本文设计的新型 SMA 弥补了传统 B19'相变疲劳寿命的不足、降低了相变驱动力、大幅提高了 R 相变的弹热效应，兼具更强的制冷能力和出色的疲劳性能，这使得 TiNiFe 丝有望成为固态制冷的新型替代材料。

最终交流类型：邀请报告

D05-04

面向低品位余热能源回收再利用的新型热磁发电技术张虎*、乔凯明、陈浩东、刘贤良、胡凤霞、沈保根
北京科技大学

低品位余热约占总余热的 65%，但传统余热回收技术对低品位余热回收的转化效率较低。近年来，新型热磁发电技术成为低温余热回收研究的新热点，能推进我国实现“双碳”目标。

我们设计了一种用于低温余热回收的新型热磁发电机(TMG)[1]。不同于在以前的 TMG 中磁热材料作为线圈磁芯，本装置巧妙的利用磁热材料作为小型磁路开关，磁路的拓扑结构并配合磁热开关可以使感应线圈中的磁通量在正、负最大值之间变化。与磁通量仅在零和最大值之间变化的传统 TMG 相比，输出功率提升了 4 倍。此外，通过优化结构参数，有效减少了磁路中杂散场的产生从而使磁路的性能提升了 562%。与同样具有磁通量反转的 pretzel-like 拓扑磁路结构相比，该 TMG 显示出更简单的设计和更低的杂散磁场。

该 TMG 产生的最大功率密度不仅远高于文献中已经报道的热磁发电装置，而且也高于热电(TEG)以及热释电(PEG)技术。特别是单位温度下的最大功率密度比文献中的 TMG 高 2~3 个数量级。如此高的 TMG 性能证明了利用磁热开关进行磁路拓扑设计的有效性。此外，本研究也突出了 TMG 在低温余热回收中的应用潜力，并提出了一种 TMG 阵列来收集低温余热供电的潜在应用场景。

参考文献：

X.L. Liu, H.D. Chen, J.Y. Huang, K.M. Qiao, Z.Y. Yu, L.L. Xie, R.V. Ramanujan, F.X. Hu, K.Chu, Y. Long, H. Zhang, "High-performance thermomagnetic generator controlled by a magnetocaloric switch," Nat. Commun. 14, 4811 (2023).

最终交流类型：邀请报告

D05-05

化学浓度波调制的负温度依赖性超弹性行为宗洪祥*、赵龙、丁向东
西安交通大学

越来越多关于形状记忆合金 (SMAs) 的研究表明，超弹性的温度依赖性表现出异常，即超弹性应力随温度变化 ($d\sigma/dT$) 偏离了根据克劳修斯-克拉佩龙关系所预期的行为，特别是在低温时显示出负的 $d\sigma/dT$ 。然而，背后的机制仍然在实验上不清晰。在这里，我们对基于 NiTi 的形状记忆合金进行大规模分子动力学 (MD) 模拟，以阐明观察到的负 $d\sigma/dT$ 与化学浓度波动之间的关系。通过比较 Ni₅₀Ti_{47.2}Nb_{2.8} 形状记忆合金的超弹性行为，其中铌(Nb)原子的固溶体要么无序地均匀分布，要么形成纳米级浓度波动，我们发现化学上无序的均匀分布可以促进 $d\sigma/dT$ 的偏差。这是因为在低温下，具有相对高浓度的无序均匀固溶体原子，其晶格级别的应变场均匀分布，可以显著细化跨越数个晶格单元的马氏体胚胎，诱发类条幅分解的相变模式。从这个意义上讲，加载时成熟马氏体的形成被延迟，从而增加了临界超弹性应力。此外，随着温度的降低，这种动力学效应将变得更加显著。我们的发现强调了均质化处理对于设计超低温超弹性形状记忆合金的重要性。

最终交流类型：邀请报告

D05-06

宽温区弹热制冷钛合金王延绪，张琨，郝玉琳，李昂*
中国科学院金属研究所

伪弹性形状记忆合金表现出可逆的弹热效应，被认为是一种最具潜力的新型制冷技术，而这种功能特性源自于应力诱导的马氏体相变所关联的潜热释放/吸收。在常规(传统)的形状记忆合金中，当工作温度低于马氏体相变的温度时，传统的弹热效应将消失，因此实现室温到极低温范围内的弹热制冷一直是当前领域的重要挑战。在本研究中，我们发现 Ti-Nb 系亚稳 β 钛合金在低温下仍保持了伪弹性。随着温度下降，出现了与传统弹热效应符号相反的热效应。已有结果表明，这种低温弹热效应来源于与晶格弹性熵与马氏体相变熵的相互竞争。该热效应在 100 K 附近开始出现，并在 37 K 附近通过快速卸载测得的绝热温度变化 ΔT_{ad} 可达 +4.2 K。相较于其他低温固态相变制冷材料，

该体系在无论是工作温区还是制冷性能方面，均体现出优越性，有望提供一种新的途径实现超低温制冷技术。

关键词：形状记忆合金；弹热效应；宽工作温区；极低温制冷

最终交流类型：口头报告

D05-07

FeGa 单晶的磁畴重构及磁致伸缩性能均匀性研究

赵烁宇¹、田奔²、王敬民*¹、柯小琴²、蒋成保¹

1. 北京航空航天大学材料科学与工程学院
2. 西安交通大学物理学院

FeGa 合金是一类新型磁致伸缩材料，驱动磁场低，力学性能好，成本低，在传感、驱动和换能等领域极具发展前景。FeGa 合金的磁致伸缩效应具有强烈的晶体学各向异性，制备<001>取向单晶，是获得最优磁致伸缩性能的关键。目前，大温度梯度布里奇曼法是唯一可制备大尺寸 FeGa 合金单晶的方法，对于研制大功率器件有重要意义。然而，大温度梯度条件下制备的 FeGa 合金单晶磁致伸缩性能均匀性较差。我们系统地研究了 FeGa 单晶的成分分布、相结构、磁畴结构等，发现磁畴结构与其磁致伸缩性能均匀性密切相关。我们通过应力时效方法重构 FeGa 单晶的磁畴结构，使其磁致伸缩均匀性大幅提高，饱和磁致伸缩应变 (~300 ppm) 方差由生长态 31.9 ppm² 减小至时效态 8.36 ppm²，提升了三倍多。通过磁畴结构和内应力状态实验表征，以及相场模拟手段，分析了磁致伸缩均匀性的内在原因。

最终交流类型：邀请报告

D05-08

多维磁性纳米材料的构建及应用

杨森*、李佳宁
西安交通大学

磁性纳米材料由于其高灵敏度、远程响应、良好可逆性、高折射率和高吸光度等优异的理化特性，在智能窗、防伪、加密和柔性电子器件等应用领域展现出巨大潜力。通过“自下而上”的分步组装方法，可以构建具有层级结构的多维（零维、一维、二维）超顺磁性颗粒及超材料，从而在感知、控制和驱动等方面进行一系列应用研究。利用细小初级纳米晶粒的聚集来制备磁性纳米颗粒，进而构建准非晶光子晶体阵列，这些阵列通过布拉格衍射展现出高亮度的结构色。此外，通过复合 SiO₂ 层和利用不同溶剂的局部溶胀，可以构建可擦写光子纸、防伪图案和信息加密系统等智能光学材料。通过线性组装纳米颗粒来制备磁性纳米链，这些纳米链在一维形状各向异性结构中实现了高磁导率和低矫顽力的近超顺磁特性，从而开发出一系列具有高响应灵敏度和大光学调制范围的磁机械驱动可调谐智能窗。结合磁辅助 3D 打印技术，基于纳米链在 PDMS 基底上的有序排列，可以构建具有低摩擦系数和高耐磨性的三维多层次结构柔性传感器。将纳米链的磁响应特性及形状各向异性进一步应用于增强复合材料的机械性能。

参考文献：

Jin Li, Xuefeng Zhao, Yang Xia, Xuanyu Qi, Chenghao Jiang, Yuhuan Xiao, Fei Jiang,* Xinquan Jiang,* and Guoliang Yuan*, Strontium-Containing Piezoelectric Biofilm Promotes Dentin Tissue Regeneration, *Adv. Mater.* 2313419 (2024).

最终交流类型：邀请报告

D05-09

压力可控储放热

李昞*
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，应用场景受限。利用压力对材料相变和热物性的有效调控，我们提出了三类压力可控储放热新原理：反常庞压卡效应^[1]、

取向玻璃态的压致结晶效应^[2]和大滞后一级相变^[3],实现了对低品位余热的高效利用。在本报告中,我们将详细介绍这三类压力可控储放热情形,将从可能应用场景方面论述这类技术的未来前景。

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。

参考文献:

- [1] Zhe Zhang et al., Sci. Adv. 9, eadd0374 (2023).
- [2] Kun Zhang et al., The Innovation 5,100577 (2024).
- [3] Kun Zhang et al., Applied Energy, in revision.

最终交流类型: 邀请报告

D05-10

强磁场诱导 Tb-Dy-Fe 合金定向凝固过程中的<111>取向生长

刘铁*、郭晓玉、王强
东北大学

Tb-Dy-Fe 磁致伸缩材料在室温下具有饱和磁致伸缩系数高、磁-机耦合系数大、响应速度快等特点被广泛应用于声纳、致动器和传感器等领域。其磁功能相为(Tb, Dy)Fe₂相,具有强的磁晶各向异性,易磁化方向<111>方向且磁致伸缩系数 $\lambda_{111} > \lambda_{100}$ 。因而制备出沿<111>取向的 Tb-Dy-Fe 合金有望获得其优异的磁致伸缩性能。然而(Tb, Dy)Fe₂相的易生长方向为<110>或<112>方向,通过传统的定向凝固技术无法实现易磁化轴<111>取向 Tb-Dy-Fe 合金的制备。近年来,利用强磁场诱导材料的取向行为受到了研究人员的广泛关注。本文通过强磁场母合金全熔定向凝固原位制备了<111>择优取向的 Tb-Dy-Fe 合金,解决了易生长和易磁化方向之间的矛盾,提高了合金的磁致伸缩性能。在凝固初始阶段,磁力矩诱导先析出以及伪共晶反应生成的(Tb, Dy) Fe₂相的<111>方向沿磁场方向偏转,在后续晶粒的竞争生长过程中,<111>取向(Tb, Dy) Fe₂相晶粒在磁晶各向异性性能作用下平行于磁场方向长大。本文丰富了强磁场下定向凝固过程中的磁取向理论,为高取向度功能材料的制备提供了新思路。

最终交流类型: 邀请报告

D05-11

Ni-Mn 基铁磁形状记忆合金的制备与性能

张学习, 钱明芳, 耿林

哈尔滨工业大学, 材料科学与工程学院

Ni-Mn-X (X=Ga, In, Sn 或 Sb) 及掺杂的 Ni-Mn 基铁磁形状记忆合金,在外加磁场或应力作用下具有多种功能特性(如形状记忆效应、超弹性、磁热效应、弹热效应及多卡效应),在驱动、传感和固态制冷(热)等领域具备应用潜力。然而,由于主族和过渡金属原子之间的 p-d 共价杂化, Ni-Mn-X 合金本征上是脆性的,限制了这些合金成形复杂形状器件和稳定应用。本文讨论通过几种液相工艺制备 Ni-Mn 基合金,分析其功能特性,包括采用造孔剂熔体浸渗制备多孔合金、熔体抽拉法制备微米丝或者增材制造技术(如激光粉末床熔融、激光定向能量沉积、粘合剂喷射和直接墨水书写)制备近净形多孔/致密材料。其中,所制备的 Ni-Mn-Ga 多孔材料具有大于 50% 的孔隙率,经过有序热处理后显示超过 2% 的磁感生应变,可以直接应用于驱动器;微米丝材料具有超弹性、磁热及弹热等性能,可以直接应用于微型器件,或作为构筑复杂形状器件的原材料;采用激光粉末床熔融和粘合剂喷射制备的 Ni-Mn-Sn-Co 合金,相变温度可以调控到室温附近、具有均匀纳米马氏体组织,在 5.0 T 磁场下磁致冷工作温度区间为 18.4 K、最大磁熵变为 23.2 J·kg⁻¹·K⁻¹、有效制冷能力为 165.9 J·kg⁻¹;在 1.38 T 下直接测量到-1.95 K 的绝热温变。此外,增材制造的合金具有稳定的超弹性和弹热性能,300MPa 压缩应力下线性超弹性在 320 次加载-卸载循环期间保持稳定,具有-3.06 K 的绝热温变,显示出采用增材制造技术制备高性能 Ni-Mn 基合金器件的潜力。

最终交流类型: 邀请报告

D05-12

铁磁应变玻璃的磁致伸缩效应及其相场模拟

王宇*
西安交通大学

在掺杂缺陷的 Ni-Mn-Ga 和 Fe-Pd 等铁磁形状记忆合金体系中存在一类新玻璃现象——铁磁应变玻璃。它既包含短程应变有序又保存着长程磁有序，是纳米马氏体畴与磁畴共存的状态。磁性纳米马氏体畴(短程有序的晶格应变微区)是铁磁应变玻璃的基本结构单元，它能对磁场响应而发生转动，并使得铁磁应变玻璃表现出高灵敏的磁致伸缩效应。相场理论模型可对铁磁应变玻璃的相变行为及微观结构演化进行模拟，并能绘制出与实验相符的铁磁应变玻璃相图。此外，铁磁应变玻璃合金在模量最小时具备最大的磁致伸缩值。因为，降低模量能使纳米马氏体畴更容易转动，导致铁磁应变玻璃展现出高灵敏的磁致伸缩性能。

最终交流类型：邀请报告

D05-13

超高柔性超高强度记忆合金

纪元超*、徐治志、任晓兵

西安交通大学

变体飞行器、人形机器人等新兴科技需要金属材料兼具与超强钢一样的高强度、与有机材料一样的高柔性/低模量。然而，现有材料面临着强度-柔性矛盾关系的制约，无法兼具高强度、高柔性。最近我们发现了一种具有超强钢的屈服强度~1.8GPa、有机材料的杨氏模量~10.5GPa 的钛镍记忆合金，它突破了强度-柔性矛盾关系原理性制约。该材料在强度-模量图中超出了现有金属和有机材料区域，占据了新区域。进一步研究发现，该奇异性能组合起源于一种特殊的应变玻璃——具有两种马氏体“种子”的应变玻璃。我们的工作将为高强度、高柔性金属材料的应用奠定良好基础。

最终交流类型：邀请报告

D05-14

高性能亚稳态 Fe-Ga 磁致伸缩合金

马天宇*、苟峻铭、张艺群、杨天子

西安交通大学

将合金处于亚稳态会使其性能优于平衡态，例如，当 Al-Cu 合金脱溶析出亚稳相时，其硬度和强度均高于析出平衡相的状态。因此，在亚稳态获得力学性能极值已成为设计高性能结构材料的重要方法。包括本课题组在内的研究表明，在亚稳态也能产生磁性能极值，有望指导高性能功能材料的设计。本报告将以大磁致伸缩 Fe-Ga 合金的高性能化研究为例进行介绍：1) 与析出非共格面心立方平衡相的状态相比，在脱溶初期析出共格四方亚稳相可显著提高材料的磁致伸缩性能，最高可将多晶材料的性能提高到单相状态的 3 倍[1]。2) 高分辨 TEM 和原位磁化小角中子散射研究表明，共格析出相与 BCC 基体相的弹性相互作用增大了晶格畸变度（本征磁致伸缩应变），可显著提高磁致伸缩性能；且当其尺寸小于两相的交换耦合长度时，两相间的随机磁交换耦合还可大幅降低驱动场[2]。3) 通过在晶粒沿[001]易磁化方向取向的定向凝固合金中析出共格亚稳相，还可进一步提高磁致伸缩性能[3]。因此，将铁基合金处于亚稳态，为发展高性能磁致伸缩材料提供了新途径。

[1] Yiqun Zhang, Junming Gou, Tianzi Yang, Yubin Ke, Tianyu Ma, Non-equilibrium time-temperature-transformation diagram for enhancing magnetostriction of Fe-Ga alloys, Acta Mater. 244 (2023) 118548.

[2] Changsheng Zhang, Junming Gou, Junjie Yang, Tianyu Ma, Liangwei Sun, Guangai Sun, Qiang Tian, Guanyun Yan, Liang Chen, Pei Zhang, Yi Liu, Nanoheterogeneity response in large-magnetostriction Fe-Ga alloys: an in-situ magnetic small-angle neutron scattering study, Acta Mater. 225 (2022) 117594.

[3] Junming Gou, Tianyu Ma, Ruihua Qiao, Tianzi Yang, Feng Liu, and Xiaobing Ren, Dynamic precipitation and the resultant magnetostriction enhancement in [001]-oriented Fe-Ga alloys, Acta Mater. 206 (2021) 116631.

最终交流类型：口头报告

D05-15

FeGa 合金滞弹性和阻尼行为的研究进展

孙孟

中国科学院固体物理研究所

FeGa 合金由于具有低驱动磁场、高饱和磁致伸缩系数、高阻尼系数以及优良的力学性能,在制动器、换能器以及减振器件等领域具有潜在的应用价值。FeGa 合金的高磁致伸缩系数与 A2 基体中 Ga 原子有序度以及纳米析出相密切相关, Ga 原子有序度的变化以及第二相的析出将导致基体局域对称性降低,从而改变材料本身的滞弹性行为(内耗)。在本次的报告中,将简要介绍和探讨:1) FeGa 合金内耗行为的研究进展,特别是与 Ga-Ga 短程序结构演变相关的内耗行为特征;2) 内耗研究对提高磁致伸缩和阻尼性能启发;3) FeGa 合金磁机械滞后阻尼行为研究进展及阻尼与磁致伸缩系数的相关性。

最终交流类型: 邀请报告

D05-16

液晶基功能材料的设计、制备及性能研究

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、智能调光与防伪、形状记忆、人工智能等领域具有广阔的应用前景。

随着国民经济的飞速发展及人民生活水平的提高,食品、医药、证件和票据等领域对防伪材料的需求日益加剧。针对目前液晶基防伪材料广泛存在的功能单一、难以实现多重复杂防伪等问题,研发团队通过分子设计,利用单轴棒状液晶分子与双轴二聚体液晶分子差异化构型的分子协同自组装,构筑了超宽温域(-30~80 °C)的蓝相液晶复合材料体系,基于该自组装机理,利用含氢键的二聚体材料的 pH 响应特性,制备了可在不同颜色背景下进行不同颜色信息存储的智能蓝相液晶高分子柔性防伪材料,实现了图案的编程和重构。

同时,为满足 LCD 器件逐渐向质轻、价廉、尤其是柔性薄膜化的方向发展和人们对多功能智能响应薄膜的需要,针对可驱动的液晶/高分子复合材料体系中,聚合物分散液晶(PDLC)虽力学性能优异,但驱动电压较高,聚合物稳定液晶(PSLC)虽电-光性能优异,但难以大面积柔性加工的问题,研发团队利用非液晶性和液晶性光聚合单体在液晶中反应速度的差异,通过二次光固化方法,构筑了兼具 PDLC 和 PSLC 的微结构、从而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高分子稳定液晶共存(PD&SLC)体系。在此基础上,通过在胆甾相液晶、近晶 A-胆甾相转变液晶、双频液晶等不同相结构和性能的液晶材料中构筑共存网络,制备了温控调光膜、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。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。

关键字: 聚合物分散和聚合物稳定液晶共存体系; 智能调光膜; 蓝相液晶; 智能防伪

参考文献:

- [1] JY Bao, H Yang*, et al. Shape-programmable liquid-crystalline polyurethane-based multimode actuators triggered by light-driven molecular motors. *Adv. Mater.* 2023, 35: 2302168.
- [2] RC Lan, H Yang*, et al. Orthogonally integrating programmable structural color and photo-rewritable fluorescence in hydrazone photoswitch-bonded cholesteric liquid crystalline network. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022, 61: e202213915.
- [3] W Hu, H Yang*, et al. Ultrastable liquid crystalline blue phase from molecular synergistic self-assembly, *Nat. Commun.* 2021, 12: 1440.

最终交流类型: 邀请报告

D05-17

宏观超分子组装及其应用

石峰*

北京化工大学

宏观超分子组装,是指在微米以上的构筑基元表面,通过表面化学修饰引入超分子识别基团,再利用界面组装构筑超分子材料的过程。它是超分子化学的新兴研究方向,为体相超分子材料的制备提供了新的思路。一方面,宏观超分子组装的研究可以通过借鉴天然超分子材料,发展新型功能材料;另一方面,宏观超分子组装的研究能为阐释材料科学领域广泛存在的界面-界面相互作用提供

理想的模型体系，有助于我们理解相关的界面作用机制。围绕如何实现高效、精准的宏观超分子组装的问题，我们从界面变形能力对组装行为影响的角度，具有高柔顺性表面是宏观超分子组装中构筑基元的设计原则。在宏观超分子组装中，由于构筑基元的碰撞与组装依赖于震荡、旋转等强外力，导致最终组装体匹配度差，有序度低的问题，为此，我们发展了两种策略，对于非精准结构动力学过程占优的体系，我们利用非精准与精准结构之间热力学稳定性的差异，发展自纠错策略，获得精准组装体；对于可以调控组装动力学，实现精准结构动力学过程占优势的体系，通过构筑基元自发运动，实现其在近热力学平衡态的组装，直接获得有序结构。进而，我们通过宏观超分子组装构筑了异质材料的三维有序结构，解决了异质材料在三维空间高效复合的难题，拓展了超分子组装的适用范围。

最终交流类型：邀请报告

D05-18

自驱动异质型张拉整体结构

王志坚*

北京航空航天大学

张拉整体结构是一类由受拉的杆和受压的绳索构成的特殊力学结构，具有可折叠抗冲击等特点，被视为深空探测巡视着陆一体化机器人的理想结构。传统的张拉整体结构机器人大多数通过多步电机协同收缩，驱动张拉整体结构的运动，控制复杂程度高。设计构建具有物理智能的自驱动张拉整体结构具有重要意义。本报告利用热响应智能软材料液晶弹性体和不响应的弹性体作为驱动绳索，构建了异质型张拉整体结构机器人，该结构能够在温度梯度场中实现自驱循环运动。提出了自驱动张拉整体结构的设计策略，系统研究了材料性能、外界环境对自驱运动的影响规律，揭示了异质型张拉整体结构构型与运动模式之间的构效关系。介绍引入外界扰动可以实现单一张拉整体结构的运动模式之间的切换。最后引入“魔力贴”构建了可拆卸可重组的异质型张拉整体结构，实现不同运动模式之间的切换。

最终交流类型：邀请报告

D05-19

仿生智能热控超材料

周涵*

上海交通大学

辐射热控材料可广泛应用于建筑物降温、电子元器件散热、荒漠治理等。提供基于生物光子结构设计仿生热控散热材料的新思路和新方法。发现极端耐热生物巨瘤角天牛、大白花金龟、尖翅银灰蝶等辐射冷却新奇现象及其热光子构型的宽频散热增益特性。构筑仿生微结构聚偏四氟乙烯 PVDF/SiO₂ 辐射冷却薄膜，由纳米孔、微米网格、微米球以无序形式排列。采用紫外光刻和纳米压印结合的方法构筑仿生微结构 PDMS/Al₂O₃/SiO₂ 辐射冷却复合薄膜，由半椭圆柱有序阵列和微纳球无序结构组合而成。基于全内反射效应可增强反射率，基于折射率递减协同可增强发射率。创制的仿生微结构聚偏四氟乙烯 PVDF/SiO₂ 辐射冷却薄膜具有强日光反射、高红外辐射、低角度依赖性等特点，对太阳光波段(0.25-2.5 μ m)能量的反射高达 92%，在大气窗口的平均发射率高达 0.95，可在 1000 W/m² 的太阳光照下实现最高 6 °C 的降温，辐射降温功率达到 61 W/m²，且薄膜兼具柔性与强度。

发现涡蛱蝶蓝绿色鳞片基于非对称多层脊的镜面反射相位差所致的反射分光效应，构建基于锆/铝掺杂氧化锌 AZO/铝的二维孔仿生序构复合超表面，提出收敛速度快、预测精度高、可靠性强的结构-性能映射神经网络逆向设计方法，实现近红外镜面低反射-中红外高发射双波段光谱的快速反向预测，算法模型数 ≥ 900 ，单组参数逆向设计和性能预测时间 ≤ 700 ms，多目标综合优化时间 ≤ 10 min，解决热辐射多目标光学响应的快速优化及高通量设计难题。创制的散射型仿生陶瓷基复合超表面具有 1.06 μ m 处镜面反射率 $\leq 1\%$ ，5-8 μ m 红外最高发射率 $\geq 94\%$ ，半高宽 ≥ 1.8 μ m，实现高于 50 °C 的辐射降温。

最终交流类型：邀请报告

D05-20

气-热双响应液晶弹性体驱动器

杨忠强*

清华大学化学系

液晶弹性体 (LCE) 在刺激下具有大且可逆的变形, 使其成为人工肌肉的理想材料。目前, 多刺激响应型 LCE 实际上是对每个刺激独立响应, 而不是同时响应多个刺激。为实现同时响应多种刺激以及由此产生增强效果仍然是一个挑战, 这需要一种新的刺激响应机制。本工作开发了一种新颖且简单的溶剂蒸发辅助模板方法, 以制备具有轴向排列的 LCE 空心纤维 (LCEHF)。利用热诱导液晶相变和机械力诱导液晶旋转的增强效应, 在热和气压双重刺激下, LCEHF 可以产生约 50% 的大收缩率, 高于热刺激的 42% 或气动刺激的 27%。它还可以将 LCEHF 对气动驱动响应和恢复速度分别提高到 300 倍和 3700 倍。这种双重刺激带来的增强效应使驱动温度远低于相变温度, 赋予 LCEHF 在驱动时高弹性模量和机械稳定性。此外, 这种气-热双响应型 LCEHF 可以模拟人类二头肌, 并导致人工手臂可逆地快速大幅度弯曲。这种新的驱动方法为提高 LCE 驱动性能和拓宽其应用场景提供了新的思路。

最终交流类型: 邀请报告

D05-21

基于液态金属可控相变的智能响应软材料

汪鸿章*

清华大学

智能响应软材料作为构建未来智能系统的基础, 其设计和应用前景广阔, 但如何实现多重刺激响应功能并显示仍是一个难题。尤其是要创造出既具备高度柔韧性又能够对多种刺激做出响应的材料仍然面临着诸多挑战。液态金属同时具有金属流体的双重属性, 为解决这一问题提供了新的思路。本报告介绍了一种创新的智能软体架构, 该架构利用分散在高弹性硅胶网络中的磁化液态金属颗粒, 为智能柔性响应材料的研发提供了新的途径。这些高度过冷的液态金属颗粒在外界刺激下能够可控相变, 并释放出大量的潜热。结合热成像和热致变色技术, 该材料能够对多种输入信号进行可编程的显示。该材料能够感知多种信息编码的接触性 (如机械按压、拉伸、扭转) 和非接触性 (如磁场) 刺激。该技术可以动态感知形变过程中的大面积应力分布和演化过程, 并实现红外和光学频段下的可视化。此外, 外界刺激还可以诱发智能材料在绝缘体与导体之间可逆切换。基于液态金属弹性体架构的智能软材料, 为设计智能软体传感、显示和信息加密系统提供了一个通用平台。随着技术的不断进步和优化, 这类材料有望在智能穿戴、健康监测、应力感知、柔性显示等多个领域发挥重要作用。

最终交流类型: 口头报告

D05-22

光化学辅助 4D 打印智能聚合物材料及其应用研究

魏洪秋

西北大学化学与材料科学学院

4D 打印能够使增材制造所得结构的形状等物理性质在外界特定的激励下 (热、光、磁、电、湿度等) 呈现出随时间动态变化的特性。该智能制造技术的出现为柔性电子、软机器人、微创医学等高科技产业带来了全新的发展契机。形状记忆聚合物、水凝胶等作为具有激励响应行为的智能聚合物材料是实现 4D 打印的重要材料。关于 4D 打印形状记忆聚合物以及水凝胶等智能聚合物材料的研究引起了学术界和工业界的广泛关注, 并取得了系列研究成果。本文将针对课题组近年来有关光化学辅助 4D 打印智能聚合物材料的最新研究进展进行全面的综述。首先, 将重点介绍基于光化学方法的形状记忆聚合物、水凝胶等智能聚合物材料的合成制备; 随后, 将系统阐述所制备的材料性能及光化学辅助 4D 打印智能聚合物材料的结构化设计; 最后将深入探讨 4D 打印结构化智能聚合物材料在柔性电子、生物医疗等领域的应用探索。

最终交流类型: 口头报告

D05-23

恒温驱动的 4D 打印自持续软体爬行机器人

李冰倩*

吉林大学

环境驱动的可持续自主运动是一种先进的智能行为，类似于生物体中的无意识动作，如心跳和蠕动。在本研究中，介绍了一种具有偏心铰链结构的自持振荡软体机器人，该结构受软体动物爬行运动的启发。采用参数编码的 4D 打印方法预先编程偏心铰链结构的局部应变，从而使软体机器人在恒定热场下实现可持续的爬行运动。通过基底摩擦、偏心铰链构造和基底温度的耦合设计，软体机器人能够实现可调的爬行、滚动和振荡。作为概念验证，展示了两个应用：光学斩波器和发电机。该研究为软体机器人在航空航天和医疗等受限环境中的应用提供了可行的解决方案。

最终交流类型：邀请报告

D05-24

液晶弹性体材料的制备与性能研究

杨洪*

东南大学

液晶分子对热、光、电、磁等外源物理刺激都能产生响应，是极为重要的一类智能软物质材料，在光电显示、非线性光学、弹性体材料、光反射屏蔽材料、手性分离、微流体控制等研究领域有广阔的应用前景。本报告将汇报课题组在液晶弹性体材料研究领域，聚焦“功能基团与液晶网络的协同机制”科学问题，取得的三个阶段性成果：1、提出了化学键合网络功能增强构筑策略，实现了液晶弹性材料形变速度和力学性能的显著提升；2、发展了液晶基元多层次梯度取向方法，实现了对液晶弹性体的高自由度连续性驱动；3、构建了空间几何网络结构协同驱动机制，发展了多维度复杂形变液晶弹性体驱动器。

最终交流类型：邀请报告

D05-25

柔性紫外光探测材料的创制与应用研究

陈爱华*

北京航空航天大学

由于紫外线优异的抗干扰特性，基于紫外探测技术的紫外通讯在对通讯保密性、机动灵活性要求高的特殊领域具有重要的应用。紫外光探测器中的敏感元件主要是无机半导体材料，原理是光电效应，对材料的纯度要求高，成本高，限制了其广泛应用。可穿戴类器件的构建主要是将光电半导体敏感元件集成到柔性基底上，由于两类材料的弹性模量不匹配、表面能差异较大等问题，导致弯曲、拉伸等运动过程两种材料容易分离脱落，限制了其作为可穿戴设备在动态环境下的使用。敏感元件和基底全部采用柔性高分子材料，是解决动态下服役问题的有效途径。然而，由于高分子材料的软物质特性，刺激响应性从分子基元传递到聚合物材料通常需要一定时间。与无机半导体敏感基元比，响应时间慢是本征柔性高分子传感材料的关键问题。

由于液晶取向和聚合物网络的协同作用，偶氮苯液晶弹性体对紫外光刺激极其敏感，极少量偶氮苯分子 (<1 mol%) 发生顺反异构产生的能量就可引起材料整体取向的变化，具有刺激响应快、机械稳定性高等优势。但该类材料多是通过一步法合成的，同时聚合、交联，因此材料不溶不熔，难以加工。更为重要的是，偶氮苯分子需要在紫外光/可见光（或加热）条件下实现顺反可逆异构，作为光探测材料，需要采用单波长光通过开-关实现形变-回复操作，如何通过有效复合实现单波长光源对材料器件的快速可逆微观形变控制是该方向的关键难题。

我们以偶氮苯聚合物为敏感基元，构建了基于光-机-电转换的传感机制，研制了多种全高分子的紫外光探测材料，并进一步结合蓝牙技术探索了其在紫外光通信、日光中紫外光照射强度实时检测等应用。

最终交流类型：邀请报告

D05-26

EG 机电耦合机理与高发电性能 DE 材料的设计制备

宁南英 1,2,3,江英杰 2,3, 吴文举 2,3, 郝雪松 2,3, 李卫波 2,3, 仲美霖 2,3, 田明 1,2,3

- 1 无机复合材料国家重点实验室, 北京化工大学
2. 碳纤维及功能高分子材料教育部重点实验室, 北京化工大学
3. 北京新型高分子材料制备与加工重点实验室, 北京化工大学

介电弹性体发电机 (DEG) 是一类利用可变电容器原理, 将自然界中的机械能转化为电能的新型发电装置。DEG 具有高能量密度、结构灵活和柔性质轻等特点, 不仅适合从低频率大应变 (>50%) 的人体运动中回收能量, 为便携设备供电, 还适用于阵列式海洋发电等场景, 是极具前景的新型供电技术。DEG 的发电性能与器件结构、介电弹性体 (DE) 材料以及柔性电极的性能息息相关[3]。然而, 器件设计对发电性能研究仍面临高性能与实用性不可兼得的两难局面; DE 材料依赖商业化弹性体, 高性能发电材料的缺乏已成为制约 DEG 进一步发展的瓶颈; 此外, 尚未探明 DE 材料本征性能对发电性能的影响, 无法指导高性能 DE 材料的制备。我们课题组近年设计搭建了 DEG 发电性能测试平台及科学评价方法, 通过优化装置结构与关键工艺参数, 大幅提升了 DE 材料能量密度[4,5]。结合理论计算和实验研究, 探明了 DE 材料本征性能对发电性能的影响; 进一步设计制备了系列高能量密度, 高转化效率的 DE 材料[6,7]。此外, 设计合成了兼具高顺从性、导电性、导电稳定性、高耐久性、室温自修复性和可回用性的新型 DEG 用柔性电极材料[8,9]。

关键词: 介电弹性体发电机 (DEGs); 发电性能, DE 材料; 电极材料

参考文献:

- [1] Yingjie Jiang, Chenchen Tian, Jiashuai Yao, Wenju Wu, Nanying Ning*, Ming Tian*, Liqun Zhang. *Chem. Eng. J.*, 2022, 439: 135339
- [2] Yingjie Jiang, Suting Liu, Meilin Zhong, Liqun Zhang, Nanying Ning*, Ming Tian*. *Nano Energy*, 2020, 71: 104606
- [3] Xuesong Hao, Xueying Liu, Yingjie Jiang, Chaojun Wang, Haibin Sun, Wenpeng Zang, Nanying Ning*, Ming Tian* and Liqun Zhang. *J. Mater. Chem. A*. 2022, 10 (17): 9523-9534.
- [4] Wenju Wu, Yingjie Jiang, Meilin Zhong, Suting Liu, Bing Yu, Nanying Ning*, Ming Tian*, Liqun Zhang. *Compos Sci. Technol.*, 2022, 228: 109639

感谢国家自然科学基金项目 (52221006) 和有机-无机复合材料国家重点实验室人才培养 (OIC-D2021002) 资助

最终交流类型: 邀请报告

D05-27

液晶弹性体热-力-序耦合力学模型及其数值建模技术

梁旭东

哈尔滨工业大学 (深圳) 理学院

液晶弹性体 (LCE) 是一种独特的材料, 它结合了液晶的响应属性和弹性体的柔韧性, 能够响应各种外部刺激而产生显著的可逆形变。本研究探讨了单畴向列型 LCE 的复杂热机械向列序耦合行为, 强调其与热和机械刺激的复杂相互作用。我们发展了一个热-力-序耦合的液晶弹性体本构模型, 将现有理论与 Landau-de Gennes 理论结合, 从而有效提高了模型对温度影响的预测能力。此外, 我们还引入了半软弹性能的概念, 并研究了由液晶取向影响的各向异性行为, 更准确地捕捉在不同载荷条件下的软弹性和各向异性特性的细微差异。我们进一步将理论模型在 ABAQUS 有限元软件中进行了数值离散化和建模分析, 实现了不同热力环境下特定液晶取向的应力-应变关系和各向异性机械行为的准确预测。数值模型结果与实验数据高度吻合, 特别是在预测 LCE 在不同应力状态和温度下的复杂机械行为方面。研究结果突显了力学分析与数值建模技术在探索 LCE 动态属性方面的实用性, 为人工肌肉、软机器人和响应式生物医学设备等领域的创新应用奠定了基础。

最终交流类型: 邀请报告

D05-28

智能仿生离子皮肤

孙胜童*

东华大学先进低维材料中心

用于智能感知的仿生离子皮肤需要具备良好的柔性和适应性，但低模量设计往往带来较差的力学耐受性。如何从凝聚态结构水平上设计合成刺激作用下力学强化的离子皮肤是提高其力学耐受性的关键难题。为此，我们基于二维相关光谱等先进表征分析手段，提出了“高分子动态相分离”的凝聚态结构设计策略，使离子皮肤在刺激作用下实现相分离结构的可控解离及重组，强化了其耐受拉伸断裂、疲劳破坏、冲击震荡、热致软化、界面剥离等多种场景下的服役性能。例如，近期我们设计了一种可在极宽频率范围内始终维持在凝胶点状态的自顺应离子皮肤，其自顺应特性源于多尺度氢键缔合相分离，体系物理交联随频率降低逐级解离，并同步增强链缠结，作为拓扑交联维持粘弹动态平衡。得益于这一自顺应特性，该离子皮肤可用于动态场景下的高保真皮肤生理信号监测。

最终交流类型：邀请报告

D05-29

极性向列型液晶的光电特性和材料开发

黄明俊*

华南理工大学

铁电性是电介质具备的一种自发极化状态，普遍发现于对称性较低的晶(固)体材料体系。流体或高流动性软物质材料通常呈现高对称性，因而与铁电性的要求是相违背的。引入强极性或者铁电性是液晶新材料领域备受关注的策略，对开发新型柔性光电器件具有重要意义，但是在液晶乃至软物质流体材料中一直充满挑战性。2017年，该类液晶材料被首次发现，其铁电向列相液晶（Ferroelectric Nematic）状态于2020年在实验上被严格证实。相比于传统的液晶和软物质材料，铁电向列相液晶具备多种变革性性质，包括超高介电常数、强非线性光学响应、低电压驱动、压电性以及高流动性等，为开发新型先进的柔性光学和电学器件提供了新的可能性。本报告将介绍铁电向列相液晶的基本光电特性，然后重点阐述铁电向列相液晶与分子结构之间的关系、物理拓扑结构及特征物性，并介绍我们在一些新型的衍生极性向列相液晶材料方面的进展。

最终交流类型：口头报告

D05-30

高性能介电弹性体设计及其驱动器制造和应用

冒杰*

宁夏大学

介电弹性体（Dielectric Elastomer）是一种在外加电场激励下发生大变形，实现电能和机械能相互转换的智能软材料，在智能仿生、柔性机器人、智能医疗器件、可穿戴器件等领域具有巨大的应用潜力。目前介电弹性体在无预拉伸的情况下，驱动变形较小且加工手段较为单一，限制了其潜在应用空间。本次报告首先将从提升介电弹性体材料的本征击穿场强和克服力电失稳现象入手，通过引入具有大烷基侧链的单体和含有高电子亲和性的单体构建介电弹性体网络结构，提升材料的应力硬化性能，增强捕获空间电荷的能力，有效提升材料的击穿场强，可控制备出具有大驱动变形（>170%）、高输出力（~500倍自重）和高能量密度(>>人体肌肉)的介电弹性体材料。其次，本报告将报道一种墨水直写介电弹性体驱动器的3D打印技术，成功实现了自动化、连续化、定制化地制造纤维状介电弹性体驱动器。基于此技术，进一步地制造出了目前爬行最快，体积最小，具有良好环境适应能力和优异鲁棒性的介电弹性体爬行机器人，为介电弹性体材料的应用提供新思路。

最终交流类型：口头报告

D05-31

多相共存纳米畴调控的无铅压电陶瓷窄滞后大电致应变研究

He Liqiang

Xi'an Jiaotong University

One of the key questions in the development of eco-friendly piezoelectrics lies in how to achieve large hysteresis-free electrostrain responses in a facile and effective manner, to meet the requirements of high-precision electromechanical devices. Here, through integrating phase-field modeling and

experimental approach, a highly effective strategy is proposed for large electrostrain outputs with negligible hysteresis in lead-free perovskite oxide ferroelectrics, by building coexistent glasses with diverse local symmetries near a quadruple point rendering low energy barriers between different polar states. Guided by phase-field simulations, a superior electrostrain of $\sim 0.21\%$ with nearly-zero hysteresis is obtained at the constructed glasses region near the quadruple point of Bi-doped $\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_{3-x}(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3$ ceramics, outperforming almost state-of-the-art lead-free piezoelectric substitutions when taking both electrostrain and hysteresis into account. The strategy of building coexistent glasses near the quadruple point provides a novel design paradigm for high-performance piezoelectric materials in the application of high-precision actuators.

最终交流类型：邀请报告

D05-32

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。

最终交流类型：邀请报告

D05-33

自极化压电薄膜与器件

汪尧进

南京理工大学 材料科学与工程学院

水下无人智能作战平台发展是国家重大需求，其中攻防智能化的新型传感装备如水下软体传感器对压电材料提出了新的应用需求，尤其是柔性压电材料和 MEMS 集成薄膜材料成为无人平台传感器的关键材料。因此，突破大面积柔性可共形柔性压电薄膜的制备显得十分必要和重要。本报告首先介绍了柔性压电薄膜的制备方法及其器件应用，随后探讨了压电薄膜自极化现象的机理，旨在解决压电薄膜器件加工过程中“过流焊”技术的瓶颈，以提高压电器件的综合性能。

关键词：压电材料，自极化，柔性电子，传感器

最终交流类型：邀请报告

D05-34

相场模拟铁电材料电致结晶相变微观机制以提升电卡制冷效率

黄厚兵

北京理工大学

铁电材料的电卡效应制冷因低功耗、体积小等优势，在芯片等电子元器件制冷领域具有重要应用前景。传统方法通过增加外加高电场来提升电卡效应熵变，但施加高电场容易导致材料被击穿，因此迫切需要寻找新方法来提升电卡效应熵变。本项目研究对象是铁电聚合物中的电卡效应，利用外加低电场实现铁电聚合物结晶度的可逆调控，通过提升铁电聚合物的结晶度来提升熵变，实现低电场下获得高熵变。首先，在传统相场模型中耦合电场诱导材料结晶相变，搭建新型相场模型探究“结晶度-极化强度耦合”的理论规律；其次，通过微结构精确设计来有效调控相界面-极化强度耦合，揭示电致结晶的微观物理机制；最后，实现电场调控结晶度提升电卡效应熵变和温变，大幅提升电卡制冷效率，为进一步研发高性能铁电制冷材料的制备提供切实可行的设计方案。

最终交流类型：邀请报告

D05-35

变刚度智能弹性体的制备及其应用

巫金波*

深圳北理莫斯科大学

上海大学

电流变弹性体 (ERE) 是由微纳米介电颗粒分散在弹性体制备而成, 其剪切模量会随着外加电场的增大而减小。针对 ERE 现存的电流变性能不足、应用模式单一的问题, 我们利用固化电场将各向异性结构引入 ERE 使其电流变性能获得巨大提升。我们制备出的各向异性巨电流变弹性体在 3 kV/mm 测试电场下表现出的最高电流变效应为剪切储能模量增量 5.2 MPa 和相对电流变效应 17.2 倍。在 30-45% 的压缩应变范围内, 压缩模量从无电压时的 2.65 MPa 变化到 1.5 kV 下的 9.09 MPa。

基于各向异性 ERE 的高电流变性能, 针对运动员对乒乓球拍拍面不同刚度的需求以及帮助专业运动员的非常规技术训练的问题, 设计了智能乒乓球拍。该球拍能通过控制电场调节拍面刚度, 实现对乒乓球运动轨迹的改变。该球拍通电时, 可使乒乓球的出射角度减小、出射速度增大。通过乒乓球垂直击打和非垂直击打测试、使用者的挥拍测试等验证了其有效性。

同时, 我们通过将巨电流变颗粒引入硅橡胶弹性体中, 获得一种同时具有高介电和电流变性能的巨电流变介电弹性体 (GERDE), 可同时实现致动 (形变) 和刚度调控的双响应。设计了刚度自适应柔性驱动器 (SAFA) 实现了增强驱动、刚度调节能力的直接控制和耦合效应, 且响应时间都是毫秒级。最后, 基于 SAFA 构建了一体化变刚度仿生抓手结构, 可以分别基于致动和刚度可调实现对毛笔抓取和书写动作的响应, 并获得三种以上不同情绪的书法笔痕, 实现了书法写作中情绪表达的多样化。这项工作为实现柔性抓手的致动与刚度可调一体化提供新的思路与方法。

最终交流类型：邀请报告

D05-36

压电材料在治疗牙齿方面的应用袁国亮*¹、江飞²、汪尧进¹

1. 南京理工大学

2. 南京医科大学

在临床环境中诱导硬牙本质组织再生仍然是一个挑战。为了克服这个问题, 设计了一种含有 2wt% SrCl₂ 的 P(VDF-TrFE) 压电复合薄膜。该生物膜具有高柔韧性和高生物相容性等优点, 其压电系数 d_{33} 为 14 pC/N, 这有助于在正常咀嚼、说话等过程中建立一个帮助牙髓干细胞 (DPSC) 再生及其分化的微电环境。另一方面, 锶离子可以从薄膜中逐渐释放出来, 从而促进 DPSC 齿体分化。小鼠活体实验表明, 该薄膜诱导牙本质矿物质的释放和牙本质组织的再生。在大型动物牙本质缺陷模型中, 这种压电膜在三个月内有效地诱导原位牙本质组织的形成。该研究说明了压电膜在临床环境中改善牙本质组织修复的治疗潜力。

最终交流类型：口头报告

D05-37

Temperature-insensitive large electrostrain with low hysteresis in BNT-based lead-free piezoelectric ceramics

Zhang Hanbing

Xi'an Jiaotong University

Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃ (BNT)-based ceramics with ultrahigh electrostrain properties are considered to be one of the most promising candidates in lead-free systems. Unfortunately, a large strain is generally accompanied by serious hysteresis behavior. Therefore, the research on the balance between large electrostrain and low hysteresis is of great importance for piezoelectric ceramics in high precision actuator applications. In this work, we develop a morphotropic relaxor boundary (MRB) in (1-x)(0.75Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃-0.25Bi_{0.5}K_{0.5}TiO₃)-xBaZr_{0.2}Ti_{0.8}O₃ doped with manganese and samarium. In the designed relaxor system, MRB composition (x = 0.25) presents a combination of large electrostrain (~0.26%) and low hysteresis effect (~14.9%) at room temperature. Besides, it was found that the ceramics

exhibite good temperature stability in the temperature range of 25-160°C at $x=0.3$, as well as large electrostrain ($>0.2\%$) and small hysteresis ($<20\%$). The properties are superior to the most of the reported BNT-based ceramics. Experimental results illustrate that the composition in MRB region exhibits the existence of different nanodomain structures favoring the achievement of high electrostrain and low hysteresis. Our work indicates that the MRB is an effective method for designing lead-free piezoelectric ceramics with high strain and low hysteresis simultaneously.

最终交流类型：口头报告
D05-38

All-d-metal-Heusler 合金的独特相变行为与场致相变热效应

魏志阳^{*1,2}、蔡瑞²、张欣宇²、钱瀚杨²、刘国伟²、刘恩克³、刘剑⁴

1. 大湾区大学
2. 中国科学院宁波材料技术与工程研究所
3. 中国科学院物理研究所
4. 上海大学

全过渡族 Heusler 合金是近年来新发现的一类基于 d-d 共价成相的新型金属间化合物体系[1]。相比于传统 Heusler 合金，这类合金具有更大的相变热效应、更好的韧性和更高的屈服强度[2]，因此是目前最有潜力的替代性制冷技术——固体相变制冷的理想材料体系，引起了领域内广泛的关注和研究，其优异的物性被陆续报道[3]。本报告重点介绍全过渡族 Heusler 合金的相变行为和应力诱发的弹热效应，并探索它在固体制冷方面的应用潜力。本工作从价键、织构、多物理场等不同维度出发调控合金物性，采用多种原位表征手段深入分析其相变过程、相变机制以及热效应来源。通过对全过渡族 Heusler 合金 NiMnTi 中 d-d 共价的调控，在保持大相变热效应的同时，取得相变温度、脆性和塑性的平衡；在定向凝固制备的高取向 NiMnTi 合金中直接测得了低温 200 K 条件下高达 14 K 可逆大弹热温变，成为低温固体制冷的候选材料体系。借助变温 XRD、DIC 对其温度和应力诱发的相变过程进行了深入表征，发现了其中与合金可逆弹热效应相关的独特的两步相变行为，将为低温固态相变制冷的研究提供重要参考。另一方面，通过退火条件优化，获得了包含 Heusler 主相与晶间 γ 相的复相样品，表现处高强度和高韧性，在其中获得了局部 57.2 K 的弹热温变，并分析了其大热效应的来源。本工作结果表明全过渡族 Heusler 合金相变机制丰富、热效应高、力学性能好，是固态制冷的优选体系，具有较大的应用潜力。

[1] Wei Z. Y., Liu E. K., Wu G. H., et al. "Realization of multifunctional shape-memory ferromagnets in all-d-metal Heusler phases," Appl. Phys. Lett., 107, 022406 (2015).

[2] Liu E. K., Wei Z. Y., Wang W. H., Wu G. H. et al. "Magnetic Phase-Transformation Material," US Patent 10279391B2, (2019).

[3] Shen Y., Wei Z. Y., Liu J., et al. "Large elastocaloric effect in directionally solidified all-d-metal Heusler metamagnetic shape memory alloys," Acta Mater. 188, 677 (2020).

最终交流类型：口头报告
D05-39

铁电聚合物的相结构设计及性能调控

高放放、廖庆亮、张跃*
北京科技大学

高性能有机铁电材料被认为是构建机电系统中先进换能器和传感器的关键材料。然而，大多数铁电聚合物材料在提升压电性能时不可避免地会增加杨氏模量，这导致差的生物力学相容性。为解决上述挑战，提出了不同组分聚偏二氟乙烯 (PVDF) 类压电材料分子级别相容，结合多梯度结晶、退火等工艺制备高性能压电聚合物合金的方法，揭示了组分和制备工艺对聚合物合金晶相结构的调控规律，构造了 3/1 螺旋相和 β 相双相共存的准同型相界 (MPB)，攻克了极化有机材料难以构造 MPB 的难题，发现了组分调控分子间相互作用诱导有机材料 MPB 的新机制，将有机材料压电系数提高到 32 pC/N、杨氏模量降至 180 MPa，突破了低模量有机材料压电系数不超过 25 pC/N 的性能极限，破解了介电材料低模量和高压电的倒置关系。

最终交流类型：邀请报告

D05-40

弛豫铁电单晶在光学领域中的应用探索

李飞*

西安交通大学

弛豫铁电单晶（例如： $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$, PMN-PT），具有优异的压电效应，已广泛应用于超声成像、精密驱动、无损检测等领域。然而，由于其内部存在大量的铁电畴壁，弛豫铁电单晶在可见光波段透光率较低。这一问题长期阻碍了人们试图探索弛豫铁电单晶的光学性能以及利用弛豫铁电单晶开发声-光-电多功能耦合器件的设想。本次报告将首先介绍课题组在弛豫铁电单晶透明化方面的研究工作，其次介绍课题组近期利用透明弛豫铁电单晶所开展的新型光学器件研究，包括光声成像探头、自适应光学透镜等。

最终交流类型：邀请报告

D05-41

智能热管理材料与器件

马儒军*

南开大学

被动辐射制冷为实现零能耗热管理提供了一种解决方案。在能源危机和环境问题日益突出的情况下，这种制冷技术受到越来越多的关注。然而，解决单模辐射制冷材料的静态光谱与实际环境中动态温度变化之间的矛盾是辐射热管理面临的挑战。在此，基于光与结构之间相互作用的依赖关系，构建了一种光谱选择性结构，它与光谱的一部分相互作用较强，而与其他部分的相互作用相对较弱，从而实现了被动辐射散热功率的提高，阐述了辐射制冷技术中光热转换的机理。从光子设计的角度出发，控制发射率分布，制备出高性能的被动辐射冷却装置。与其他类型的辐射冷却设计相比，温度响应型辐射热管理装置可根据环境温度的变化实时调整热管理模式，因此具有更广阔的应用前景。

最终交流类型：邀请报告

D05-42

全纤维自主感知型柔性驱动器

熊佳庆

东华大学纺织科技创新中心

微型软体机器人在低能耗、高响应和多场景适应方面具有独特优势，有望实现狭小复杂空间内的智能操控和信息采集。柔性驱动器是开发软体机器人的关键，其驱动性能、响应速度和稳定性决定软体机器人的运动和操控灵活度。当前，受限材料形态和结构设计等因素，各类柔性驱动器往往只能对单一环境刺激产生响应和简单变形，缺乏对环境信息的自主感知和采集能力，严重限制了其应用和微型软体机器人的进一步开发。为此，我们提出驱动-传感一体化策略，通过材料合理设计和驱动器开发，实现稳定、可编程驱动性能，同时提出驱动诱导的自能量传感策略，实现驱动器主动感知能力的一体化集成，可感知例如环境温度、湿度、物体特征等信息。这类器件有望以驱动器或电子皮肤形态直接或间接服务于软体机器人的开发，实现结构简化、功能集成和多场景适用。

最终交流类型：邀请报告

D05-43

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。

最终交流类型: 邀请报告

D05-44

功能性蓝相液晶

王京霞 1,2, 江雷 1,2, 王京霞 1,2*

1 中国科学院理化技术研究所

2 中国科学院大学

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($-190 \sim 310$ °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;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 ($-180 \sim 240$ °C)。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。

关键词: 蓝相液晶, 功能性, 图案打印, 激光, 相变

参考文献

- [1] Yang, J.; Liu, J.; Guan, B.; He, W.; Yang, Z.; Wang, J.; Ikeda, T.; Jiang, L. Fabrication and Photonic Applications of Large-Domain Blue Phase Films. *J. Mater. Chem. C* 2019, 7 (31): 9460 - 9466.
- [2] Liu, J.; Liu, W.; Guan, B.; Wang, B.; Shi, L.; Jin, F.; Zheng, Z.; Wang, J.; Ikeda, T.; Jiang, L. Diffusionless Transformation of Soft Cubic Superstructure from Amorphous to Simple Cubic and Body-Centered Cubic Phases. *Nat Commun* 2021, 12 (1): 3477.
- [3] Meng, F.; Zheng, C.; Yang, W.; Guan, B.; Wang, J.; Ikeda, T.; Jiang, L. High - Resolution Erasable “Live” Patterns Based on Controllable Ink Diffusion on the 3D Blue - Phase Liquid Crystal Networks. *Adv. Funct. Materials* 2022, 32 (15): 2110985.
- [4] Liu, J.; Chen, Y.; Jin, F.; Wang, J.; Ikeda, T.; Jiang, L. Single -, Dual -, Triple, and Quadruple - Wavelength Surface - Emitting Lasing in Blue - Phase Liquid Crystal. *Adv. Mater.* 2022, 34 (9): 2108330.
- [5] Chen, Y.; Zheng, C.; Yang, W.; Li, J.; Jin, F.; Li, X.; Wang, J.; Jiang, L. Over 200 °C Broad - Temperature Lasers Reconstructed from a Blue - Phase Polymer Scaffold. *Adv. Mater.* 2022, 34 (47): 2206580.
- [6] Chen, Y.; Zheng, C.; Yang, W.; Li, J.; Jin, F.; Shi, L.; Wang, J.; Jiang, L. Super-Wide Temperature Lasers Spanning from -180 to 240 °C Based on Fully-Polymerized Blue Phase Superstructures. *Adv. Mater.* 2024: 2308439.

Functional Blue Phase Liquid Crystal

Jingxia Wang 1,2, Lei Jiang 1,2, Jingxia Wang 1, 2*

1 CAS Key Laboratory of Bio-Inspired Materials and Interfacial Science, Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Haidian District, Beijing, 100190

2 Center of Material Sciences and Optoelectronics Engineering, School of Future Technologies, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101407

Blue-phase liquid crystals have attracted extensive attention owing to their unique three-dimensional self-assembled superstructure, multiple external stimulus responsiveness, real-time reconfigurability, and

excellent optical properties, which have significant potential for applications in flexible optoelectronic devices. However, so far, the functional characteristics of blue-phase liquid crystals are still not sufficiently understood, thus limiting their practical applications. We have studied the self-assembly process of blue-phase liquid crystals and achieved large-area, high-quality, free-standing multicolor single-domain blue-phase liquid crystal films by introducing polymerizable liquid crystal monomers and non-liquid crystal monomers; the temperature window of blue-phase liquid crystals was further broadened (-190~310 ° C) by a suitable polymer stabilized system and the phase transition process was investigated using multiple methods such as small angle X-ray scattering and transmission electron microscopy; the shape memory effect of blue-phase liquid crystals was studied based on the stimulus responsiveness of blue-phase liquid crystals; multi-color fine blue-phase “live” patterns were developed in combination with the inkjet printing technology; benefiting from the periodic structure of blue-phase liquid crystals, high-quality blue-phase lasing was realized and the laser temperature range was further extended to over 400 ° C (-180-240 ° C). These works have greatly contributed to the practical application of functional blue-phase liquid crystals in the fields of display, anti-counterfeiting, and laser.

最终交流类型：邀请报告

D05-45

基于共存铁电玻璃态的无铅钙钛矿陶瓷压电及储能特性优化研究

张乐*

西安交通大学 (Xi'an Jiaotong University)

无铅钙钛矿材料因其优异的压电铁电响应及环境友好特性在驱动器、换能器、水声及医用超声、脉冲电容器等领域具有广阔的应用前景。如何简便且有效地提高其压电及铁电储能特性已成为领域重点关注的前沿热点问题。我们在这里提出了一种铁电玻璃态与准同型相界(MPB)多相共存概念耦合的新策略, 不仅大幅提升了无铅钙钛矿陶瓷的电致应变性能, 在 Mn 掺杂 ($B_{10.5}Na_{0.5}$)TiO₃-BaTiO₃ 无铅陶瓷中获得了 0.55% 的大可逆电应变(S_{max})和 917 pm/V 的压电常数 d_{33}^* (S_{max}/E_{max}), 同时可将 Zr 掺杂 BaTiO₃ 陶瓷的静态压电响应 d_{33} 大幅提高到约 610 pC/N。值得关注的是通过构建共存铁电玻璃态的技术路径还可以大幅降低滞后的同时提高其电致应变及铁电储能特性。以上成果表明了共存铁电玻璃态具有优化无铅钙钛矿陶瓷压电及储能特性的巨大潜力。相关数据已发表在 *Advanced Functional Materials* 2020, 2004641, *Nano Energy* 2021, 90, 106519, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2022, 14, 1434-1442 及 *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2024, 16, 9, 11497-11505 等一系列论文上。

最终交流类型：邀请报告

D05-46

液态金属智能材料：过去、现在及未来

陈森*

南京航空航天大学

继天然材料、合成材料和人工设计材料之后, 智能材料已成为一类新兴前沿材料, 并在近年来引起了广泛关注。智能材料通常具备多种功能, 如响应特性、自反馈、自愈合等。液态金属由于其高电导率、高热导率、低熔点、高表面张力和活跃的化学界面等特性, 能够响应多种外场, 展现出丰富的智能属性。正因如此, 液态金属近年来作为一种新型智能材料崭露头角。值得注意的是, 单一的液态金属难以充分展现智能特性, 因此需要强调复合系统的概念。也就是说, 本报告中讨论的液态金属智能材料是指由液态金属和协同物质(如溶液、颗粒和聚合物)组成的复合系统。这些系统展现出多种智能行为, 如多场响应、运动、变形、自组织、自愈合和自感知。液态金属的独特属性在这些响应过程中起到了重要作用。例如, 液态金属的高表面张力在液态金属-溶液复合系统的响应行为中发挥关键作用, 而高电导率和高热导率则显著影响液态金属-聚合物复合系统的响应。因此, 使用液态金属智能材料来概括此类智能材料系统是恰当的。本报告基于在该领域的研究积累, 梳理了液态金属智能材料的发展历程, 探讨其过去、现在的研究和应用。特别地, 本报告将重点介绍报告人自身在液态金属智能材料方向上的诸多研究, 包括铜离子激发的液态金属类蛇形运动、铁离子激发的液态金属自发分散及变形、双氧化激发的液态金属高维度分形、金属间电子传递促成的液态金属高频震荡、相变激发的液态金属导电绝缘转变、电场激发的液态金属氧化与还原等。最后, 本报

告也将对液态金属智能材料未来的发展进行展望，以期推动对液态金属智能材料的进一步研究，促使其更好地走向应用。

最终交流类型：口头报告

D05-47

一维近超顺磁纳米链驱动的智能窗设计与应用探索

李佳宁、卢学刚、张垠、杨森*

西安交通大学

“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要明确提出要“坚持节能优先方针，深化建筑领域节能”，特别是要“开展近零能耗建筑项目示范”。智能窗通过调控透射太阳光谱从而减少建筑的照明、供暖和制冷能耗，因此开发智能窗及其关键材料在当前背景具有重要的理论价值和工程应用前景。商业化的电响应智能光学材料通常由多个功能层组成，其制作成本昂贵、功能单一，难以普及应用。针对以上问题，本工作以实现智能调控透明度为目的，探索新型响应型智能窗，开展了一系列研究，主要包括以下两方面：其一，磁场调谐是实现智能窗调控的一种潜在方法，特别是具有顺磁性能且可逆磁响应的超顺磁性材料可以通过外部磁场快速地响应。本工作基于一维超顺磁性 $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ 纳米链开发了磁场调谐智能窗，通过一维链条在磁场下的超快排布，实现了智能窗的透明度动态调控。外加磁场作用下当纳米链平行于观察方向时，材料表现出清晰的透明状态；而当纳米晶随机取向时，材料表现出良好的屏蔽效果。其二，通过机械驱动来调节透光率的机械响应智能窗具有高效率，低成本和高化学稳定性的巨大优势。但是当前研究主要集中在拉伸响应型智能窗，通常需要很大的应变才能实现光学透明性的切换。本工作通过将 $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ 纳米链垂直固定在弹性聚丙烯酰胺基体中，制备了一种具有高应变敏感性的新型剪切响应智能窗，在极小的剪切应力驱动下，即可实现光学透明状态的调整。

最终交流类型：口头报告

D05-48

光学各向异性复合弹性体材料的制备及其驱动变色性能研究

肖友华

浙江农林大学

仿生制备具有驱动变色功能的智能软材料，有望拓宽其在显示、传感等领域中的应用。本研究基于纤维素纳米晶（CNC）的光学各向异性，通过叠层剪切取向 CNC 液晶制备具有高光程差（同时满足高厚度和高取向度）的定向 CNC 液膜，经溶剂置换和原位聚合制备取向 CNC 复合的弹性体薄膜材料，其兼具光学各向异性和力学各向异性，垂直于取向 CNC 方向拉伸时，在偏振光下可实现显著的驱动变色功能。在拉伸过程中，随着复合 CNC 厚度的增加，其在偏振光下干涉色变化的数量也随之增加，展现出更强的响应能力。相比于自然光，弹性体材料在偏振光下的驱动变色更具隐蔽性，在动态加密显示等应变光学领域具有广阔的应用前景。

最终交流类型：邀请报告

D05-49

基于磁场驱动马氏体相变的磁致超弹性效应研究

王敬民*、于骐嘉、蒋成保

北京航空航天大学材料学院

超弹性是指材料在外场作用下产生的弹性应变超出通常材料弹性极限（0.2%）的现象。此前，在温控形状记忆合金、高熵合金、非晶合金等材料中均获得了应变达百分之几的超弹性，但均为力致超弹性。 TbDyFe 、 FeGa 等合金在磁场作用下可产生磁致伸缩效应，也称为磁弹性效应，在驱动、传感、换能等领域有重要应用，但其磁弹性应变最高仅为 0.2%。在磁驱动形状记忆材料中，马氏体相变可由磁场驱动，由于相变过程中晶体结构的变化，理论上可产生高达数十倍于传统磁致伸缩材料的磁弹性应变，但目前该类材料国际报道应变仅为 0.6%。最近，我们在 NiCuCoMnGa 合金单晶中，通过成分设计，实现了完全可逆的磁场驱动马氏体相变，通过应力约束相变实现了磁场驱动相变过程中马氏体变体一直保持择优取向，以及通过非公度结构调控实现了窄温跨相变。由此，通过相变、组织和磁性调控，获得了高达 5% 的磁致超弹性效应，为研发磁致超弹性材料及器件提供了

一条可能的途径。

最终交流类型：邀请报告

D05-50

TiNb 形状记忆合金中的纳米结构不均匀及其连续相变行为

梁强龙^{*1}、王栋¹、王云志²、丁向东¹

1. 西安交通大学

2. The Ohio State University

TiNb 基形状记忆合金作为一种多功能亚稳态 β -Ti 合金，具有超宽温度范围的超弹性、超低模量以及 Invar 和 Elinvar 异常特性等优异性能引起了广泛关注。本研究基于 Ti-24Nb-4Zr-8Sn (wt%, Ti2448)合金中的纳米尺度畴结构，系统研究了受这些纳米畴调控的连续相变行为及其对性能的影响。在固溶态 Ti2448 合金中，我们发现了随机分布的纳米尺度结构不均匀，正交结构 O'相纳米畴。通过两个垂直位相下的球差校正晶格结构表征，构建出了这种 O'相纳米畴的三维原子结构，清晰呈现了 O'相在 bcc 基体中形成所需的 $\{011\}\langle 0-11\rangle\beta$ 晶格错排。基于这种 O'相纳米畴结构中的晶格错排，通过变温微观结构表征和相变行为分析，我们发现了一种由晶格错排所调控的 O' \rightarrow α'' 连续转变行为。在这种转变中，室温下晶格错排主导的 O'相纳米畴在降温下连续长大，并逐渐发生 $\{2-11\}\langle -1-11\rangle\beta$ 晶格切变而转变为 α'' 相马氏体纳米畴。经过晶体学的详细分析，我们给出了 O'相纳米畴中 $\{011\}\langle 0-11\rangle\beta$ 晶格错排对后续发生 $\{2-11\}\langle -1-11\rangle\beta$ 晶格切变的调控机制。结合原位降温结构表征，这种新型应变玻璃转变可以为 Ti2448 合金中的宽温域超弹性的物理起源提供合理解释。基于 Ti2448 合金中的纳米畴结构和 O' \rightarrow α'' 连续转变行为，我们进一步分析了外力加载对这种 O' \rightarrow α'' 纳米尺度转变的促进作用，并通过多尺度表征观测发现了基于应力诱发纳米畴转变的变形机制，为冷变形 Ti2448 合金中的 Invar 和 Elinvar 效应提供了新的理解。在冷轧变形下，O'相纳米畴能够促进 $\{332\}\langle 113\rangle\beta$ 变形孪晶的形成。在初生孪晶与基体的界面处，存在因孪晶界残余应力而稳定的 α'' 相纳米薄层；在孪晶内部，O'相纳米畴在加载下转变为择优取向的 α'' 相马氏体纳米畴。这种从 O'相纳米畴转变而来的择优取向 α'' 相马氏体纳米畴是多功能 Ti2448 合金在变形后出现可变热膨胀系数和可变弹性模量的原因。这些实验结果给出了 Ti2448 合金中因应力诱发纳米尺度结构相变而产生的冷变形新机制，也为冷变形后独特性能的物理机理提供了微观结构依据。

参考文献：

Q. Liang et al. / Acta Materialia 186 (2020) 415-424

Q. Liang, et al. / Scripta Materialia 177 (2020) 181-185

Q. Liang et al. / Scripta Materialia 158 (2019) 95-99

最终交流类型：邀请报告

D05-51

马氏体相变和应变玻璃转变共存的镍钛基金属弹热效应研究

侯慧龙^{*1,2}、吕超¹、李冠奇¹、李泽怡¹、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. 天目山实验室(航空浙江省实验室)

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，当向镍钛二元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。因此，在马氏体相变和应变玻璃转变的界限处，存在一个应变玻璃自发向马氏体转变的过渡区。本报告首先介绍通过连续冷却处理在奥氏体基体内部形成不均匀分布的多模态缺陷的实验结果，然后讨论通过研究马氏体相变和应变玻璃转变的现象和微观机理，得出结论：连续冷却的 Ni-Ti 合金表现出马氏体转变和应变玻璃转变的共存，这种现象源于合金内部高度不均匀的空间结构和成分；含有马氏体相变和应变玻璃转变的镍钛合金，能够呈现出高强度、准线性超弹性和明显弹热效应。最后介绍基于深空探测的宽温域超弹性合金与应变玻璃转变的研究进展。

最终交流类型：邀请报告

D05-52

激光增材制造 NiTi 形状记忆合金研究郝世杰*、李仲瀚
中国石油大学（北京）

激光粉末床融合（L-PBF）是一种前景广阔的增材制造方法，用于制造接近净形状的复杂金属部件。然而，通过 L-PBF 生产的 NiTi 形状记忆合金部件的拉伸力学性能和超弹性性能明显低于使用传统方法生产的部件，无法满足实际应用的需求。主要问题是 L-PBF 导致的孔隙缺陷、硬析出物和粗晶粒，导致位错滑移和应力诱发马氏体相变（SIMT）发生前的过早断裂。在本研究中，我们报告了一种创新的策略，通过高密度局部化学不均匀性（LCI）显著提高 L-PBF NiTi 合金的拉伸力学性能和超弹性性能。利用 L-PBF 引入的高密度点缺陷，精确控制镍原子的扩散，通过特殊热处理将高密度富镍 LCI 引入到 L-PBF NiTi 合金中，使 SIMT 在位错滑移和断裂之前发生，并在不牺牲拉伸载荷下显著提高强度。含富镍 LCI 的 L-PBF NiTi 合金抗拉强度超过 900 MPa，总伸长率超过 11%，超弹性应变超过 7%，超弹性循环稳定性优于不含富镍 LCI 的 L-PBF NiTi 合金。这项研究为开发具有复杂几何结构的高性能超弹性 L-PBF NiTi 合金器件提供了新的思路。

最终交流类型：邀请报告

D05-53

选区激光熔融铜铝锰合金及其低温热处理研究钱明芳、张洁瑞、张学习*、耿林
哈尔滨工业大学

提高形状记忆合金超弹性循环稳定性是力制冷基础与应用研究方面最重要的目标之一。本研究利用选区激光熔融的快速冷却和熔池梯度温区特性，成功制备“细晶+织构”Cu-Al-Mn 合金。打印态合金具有大可恢复超弹性应变（10%）和极低的临界应力温度敏感性（0.43MPa/K），然而 Cu-Al-Mn 合金本身的低屈服强度和高的弹性各向异性导致其循环稳定性较差。通过低温热处理，在基体中引入了纳米尺度的针状析出相，析出强化结合“细晶+织构”组织状态显著提高了合金屈服强度。随着时效时间的延长，纳米析出相含量逐渐增加，导致热诱发马氏体相变逐渐消失，合金呈现出超宽温域的线性超弹性特征。该种状态合金在室温附近弹热温变~4K 时稳定循环 3000 次性能未见衰减。该研究可指导低成本高超弹性循环稳定性 Cu-Al-Mn 合金制备与开发。

最终交流类型：口头报告

D05-54

TiNi 形状记忆合金的相变调控与低滞后超弹性党鹏飞、周玉美、丁向东、孙军、薛德祯*
西安交通大学金属材料强度国家重点实验室

基于应力诱发的 B2-B19'可逆马氏体相变，TiNi 形状记忆合金表现出良好的超弹性和弹热效应。然而，两相之间大的相变能垒往往会引起显著的应力滞后和能量耗散，降低合金能量效率和服役稳定性。在本工作中，首先我们通过“低 Cu 富 Ni”的成分设计策略，在保障合金优异加工性能的基础上实现了具有更好晶格相容性的 B2-B19 相变。相比于典型商用 TiNi 合金，所开发的公斤级 TiNiCu 合金薄板材应力滞后和能量耗散降低了约 40%，绝热温变提高了约 25%。得益于材料弹热性能的提升，所研制的新型复叠式弹热制冷样机实现了 78% 的功回收效率以及 25.4K 的系统温跨。此外我们提出了一种“双级纳米结构”的微观设计策略，一方面利用纳米晶结构显著提高材料的屈服强度、增强相变可逆性，另一方面利用晶内预存的马氏体纳米畴降低加卸载过程中的应力滞后和能量耗散。通过适当掺杂结合轧制退火，我们在 TiNiV 合金中成功构建出了这一独特的双级纳米结构，所开发合金兼具高弹性极限~1.5GPa、大回复应变~5% 和低能量耗散率~6%，进而获得了超高的弹性储能（>40MJ/m³）和能量效率（>94%）。这些结果表明通过成分或微观结构的巧妙设计能够有效地调控马氏体相变行为，从而进一步改善形状记忆合金的功能特性。

最终交流类型：口头报告

D05-55

FeGa 合金大磁致伸缩效应起源的第一性原理计算研究

颜克愚、牛洁珏、徐一琛、吴煜焯、王敬民、蒋成保*

北京航空航天大学

作为最新一代磁致伸缩材料，FeGa 合金以其高的温度稳定性，优异的机械性能以及低场下的高磁致伸缩性能，使其在精密加工、深海探测等多方面具有广阔应用前景。在纯 Fe 中加入了无磁性的 Ga 原子，可以使其磁致伸缩性能提高了 10 倍，这一现象持续引发着研究人员对 FeGa 合金产生大磁致伸缩性能机理的探索。我们通过电子和晶格之间的跨尺度耦合作用的解析，深入系统地分析了二元 FeGa 合金大磁致伸缩的机理，揭示了掺杂态 Fe-Ga 合金的磁致伸缩性能的演化规律及其机制。

在 FeGa 合金中，Ga 元素的加入可以导致了无序 A2 基体中 Ga 的固溶以及局域有序纳米异质 L6 结构的形成。我们通过第一性原理计算证明，固溶态的 Ga 原子和 Fe 原子形成的 p-d 共价键，有效弱化了原有的 Fe-Fe 金属键网络，导致弹性模量减小，降低，实现晶格软化；局域有序 L6 结构的形成，影响了原子的 3d 轨道态密度，增强了本征 Fe 原子及周围的 Fe 原子的自旋轨道耦合效应，导致磁弹耦合效应增强。两者协同作用增强了 FeGa 合金的磁致伸缩性能。

元素掺杂是进一步提高 FeGa 合金磁致伸缩性能的有效手段，我们通过第一性原理计算，明确了不同种类合金化原子对磁致伸缩性能的作用规律与作用机理。其中，过渡族元素 Co、Ni 倾向于占据局域有序纳米异质 L6 结构的体心，破坏 L6 结构，导致合金的晶格硬化，增大，磁致伸缩减弱；主族元素 P 倾向于占据 Fe 原子的近邻位置，与 Fe 原子形成 p-d 共价键，减弱了合金的自旋轨道耦合效应及磁弹耦合效应，导致磁致伸缩减弱；稀土元素 Tb 增强了周围 Fe 原子的自旋轨道耦合效应，进而导致磁弹耦合效应增强，使磁致伸缩系数从 308ppm 增大至 738ppm。

最终交流类型：邀请报告

D05-56

相界竞争与马氏体相变

刘恩克*

中国科学院物理研究所

相变过程中的临界竞争可带来多样性物态演化，为智能材料的功能化提供了丰富的物相基础和调控角度。全过渡族 all-d-metal Heusler 合金是近年来被提出的一类新家族，为马氏体相变磁性形状记忆合金材料提供了新的候选平台。在新近的研究中，我们在 Ni-Co-Mn-V Heusler 合金中发现了一种新的磁性马氏体相变。合金成分逼近 BCC-FCC 相界的过程中，BCC 母相的热力学非稳定性逐渐增加。在相界附近，结构阻挫导致多相竞争现象，切变型马氏体相变在多种扩散型相变竞争中胜出，体系以晶格切变的相变方式取代了原有的原子重构型相变。这表明在相界附近，多相竞争有可能产生马氏体相变竞争。本工作不仅提供了一个新的磁性形状记忆合金体系，也发现了一种磁性马氏体相变的新形式，为磁性马氏体相变体系的发现和设计提供了一个新思路。

最终交流类型：邀请报告

D05-57

低温高耗散的超弹性形状记忆合金模拟

王栋*

西安交通大学

形状记忆合金是一类重要的“智能”材料，因其超弹性和形状记忆效应而广泛应用于各种领域。然而，在传统形状记忆合金中，可回复性和能量耗散之间的权衡仍然是一个主要挑战，这限制了它们在需要高效减震的极端环境（如火星或月球探测）中的应用。我们通过相场模拟提出了一种形状记忆合金中可逆畴反转的新机制来解决低温下超弹性和高耗散矛盾的挑战。通过相场模拟，调控时效温度及加载设计了不同的析出相结构，产生了具有异质/定向的局部应力和浓度分布的组织。在具有梯度分布、变体选择的析出体相结构条件下，定向的局部应力分布可以稳定某些的马氏体畴并调节其大小，此种组织响应外部应力场并诱发可逆畴反转有助于在低温下实现超弹性，长程有序的马氏体畴和短程有序的纳米畴的耦合进一步提高低温下超弹性的耗散。我们的研究为设计新型形状记忆合金开辟了新的可能性。

最终交流类型：邀请报告

D05-58

宽温域超弹形状记忆合金的设计与开发

薛德祯*

西安交通大学金属材料强度国家重点实验室

基于应力诱发的可逆马氏体相变，形状记忆合金能够表现出良好的超弹性变形。然而，由于一级相变的固有属性，形状记忆合金能够实现大回复应变的温度区间十分有限，这限制了形状记忆合金在深海、深空等领域的应用。针对这一问题，我们通过掺杂和纳米晶化开发了低温宽温域 TiNiCo 合金，利用应变玻璃的低熵变特性发展了 TiNiCuNb 合金体系，利用多主元合金化的高熵强化作用开发了 TiNiHfCuNb 宽温域合金，进一步发展了数据驱动开发宽温域超弹性的设计策略，将 Landau 理论、相场模拟与机器学习相结合，成功开发出 TiHfZrNi 高强宽温域超弹合金。

最终交流类型：邀请报告

D05-59

基于相场理论的铁性智能材料相图设计及性能优化

柯小琴*

西安交通大学

铁电和铁磁材料由于具有力电耦合和力磁耦合性能，可以作为传感器和驱动器用于航空航天、民生医疗等多种高科技领域。装置微型化及使用环境复杂多变等需求对铁电智能材料的力电和力磁耦合性能提出了“宽温域、大响应”的高要求，然而通过铁性准同型相界相图得到的力磁或力电耦合性能具有响应大的优点，但温域窄；通过铁性玻璃相得到的性能具有温域宽的优点，但响应小。本工作通过建立铁性准同型相界和铁性玻璃相的相场理论模型，阐明了准同型相界大响应的机理以及玻璃相宽温域的机理。在此相场理论基础上，设计了两种新相图来同时实现宽温域和大响应：一是设计了近垂直的铁磁准同型相界相图，利用该相图宽温域内具有低磁晶各向异性性能的特点，实现了宽温域、大磁致伸缩响应，所得温域较商用材料提高 1.4 倍；二是结合铁电准同型相界大响应和玻璃相宽温域的优点，设计了玻璃态铁电准同型相界新型相图，实现了宽温域、大电致伸缩响应，所得电致伸缩值较之前最大值提高 80% 以上。本工作不仅为铁性智能材料的相图设计奠定了理论基础，还为设计高性能铁性智能材料提供了新思路。

最终交流类型：邀请报告

D05-60

中子散射技术及其在智能合金微观结构研究中的应用

柯于斌*¹、赵雪婷²、蒋寒秋¹、李昶²、Xun-Li Wang³

1. 散裂中子源科学中心
2. 中国科学院金属研究所
3. 香港城市大学

中子散射可探测原子的位置及运动，在物质的结构及动力学研究中发挥着越来越重要的作用。中子不带电，穿透性强，且波长与晶格尺寸相当，因此可以利用弹性中子散射技术在复杂外场下原位表征不同尺度微观结构的动态演化过程。此外，中子有自旋，是对磁结构及磁畴进行探测的绝佳工具。作为国内唯一的散裂中子源，中国散裂中子源同时发展两类中子散射技术并建设了相应的线站，可满足国内多学科领域的研究需求。

在智能合金微观结构的研究中，常用的技术有中子衍射、全散射以及小角散射，可分别对合金中的长程有序的晶体结构、短程有序的局域结构以及纳米尺度的团簇或析出相进行离线或外场原位表征，而基于中子衍射又可对合金中的应力分布进行无损测量。

依托中国散裂中子源 (CSNS) 的 SANS 谱仪，我们对等温时效时块体 Fe-Ga 磁弹性应变合金中纳米四方相的形成、长大及粗化机制进行了原位定量研究。对比不同制备状态合金在不同时效温度下纳米相的尺寸、形状和数密度等结构参数随时间的动力学演化规律，揭示了纳米相结构参数与磁弹性能的对应关系。对合金的原位小角中子磁散射数据进行了核-磁散射分离和自旋错排信号提取，

揭示了纳米相磁矩的空间分布及核磁散射信号的外场响应特征。此外，采用自研的加载装置对磁场-应力耦合条件下 Ni-Mn-Ga 磁形状记忆合金的磁晶结构进行了原位极化中子衍射研究。通过衍射峰的核-磁散射分离，同时获得了孪晶结构取向及磁矩矢量随磁场和应力加载的演化规律，揭示了晶格应变与 Mn 原子间交换相互作用的关联。

最终交流类型：口头报告

D05-61

Fe-Ga 合金中局域化学有序结构的起源研究

徐一琛、颜克愚、吴煜焯、王敬民、牛洁珏、蒋成保*

北京航空航天大学

金属材料中的局域化学有序结构被在各种材料体系中被广泛发现，并被证实对材料结构特性及功能特性有较大的影响。解决局域化学有序结构的起源问题对于制备和调控高性能金属材料有着重要的指导意义。

作为最新一代磁致伸缩材料，Fe-Ga 合金以其高的温度稳定性、优异的机械性能以及低场下的高磁致伸缩性能，使其在精密加工、深海探测等多方面具有广阔应用前景。在 Fe-Ga 合金中，面心四方的局域化学有序 L6 结构被认为是 Fe-Ga 合金大磁致伸缩的起源。我们通过第一性原理结合磁致伸缩的实验测量，系统验证了局域化学有序的 L6 结构对磁致伸缩的增强作用；通过原位加热的透射电镜实验，结合衍射分析与基于机器学习的 APT 分析，探究了 L6 纳米有序结构的产生过程及产生条件；通过晶体学位向关系建立了 L6 纳米有序结构与 L1₂ 长程有序结构的相变模型并加以验证，同时结合长时间的热处理后 L6 消失、L1₂ 出现的实验现象，进一步证实了局域化学有序 L6 与长程有序 L1₂ 的演化关系；通过加热到 A2 相区并原位观察了其消融过程证实了该调控过程的可逆性。

我们通过对简单材料体系中化学有序结构从形成、演化到消融的“全生命过程”研究，系统揭示了局域化学有序结构为长程有序结构的冻结中间态的物理本质。

最终交流类型：口头报告

D05-62

In-Situ Precipitation 3D Printing of Piezoelectric nanogenerator with Tunable Porosity and Microarchitecture for Wearable Electronics

Li Hai

Jiangxi Province Key Laboratory of Flexible Electronics, Jiangxi Science and Technology Normal University

Piezoelectric nanogenerators (PENGs) are pivotal in advancing self-powered Internet-of-Things (IoT) devices due to their superior electromechanical coupling effects [1,2]. However, these devices often require complex 3D structures to enhance functionality in various biotechnological applications [3]. Herein, we present a novel design approach using in-situ precipitation three-dimensional printing (ISP3DP) to fabricate polyvinylidene fluoride-barium titanate (PVDF-BTO) composite films. Our approach simultaneously creates modulated porosities and intricate microarchitectures, using a polymer-solvent-nonsolvent ternary system. The key process involves immersing the 3D printed object in a nonsolvent, which induces the phase separation necessary for the in-situ precipitation of dissolved polymers, thus forming a porous structure. By varying the PVDF-BTO ink concentration, the morphology of the 3D printed objects can be controlled, ranging from higher-porosity structures to lower-porosity structures, with hole sizes ranging from microscale to nanoscale. Both COMSOL simulation and experimental results confirm that the structural porosity played a crucial role in enhancing the harvesting performance by promoting local stress concentration and reducing the dielectric constant through the air-filled pores. The optimized porous PVDF-BTO composite films achieve a maximum peak-to-peak voltage of 50.2 V and a power density of 43.7 $\mu\text{W cm}^{-2}$. Additionally, our findings highlight the potential of hollow-cylinder based PENGs printed by ISP3DP, especially for wearable sensor applications that require monitoring vital signs. This study offers a simple and cost-effective approach for developing flexible and highly sensitive 3D structural PENGs, which will inspire the future optimization of nanogenerators and enable their wide-ranging applications in wearable electronics.

Reference

- [1] Khan, Muhammad Umair, Yawar Abbas, Moh'D. Rezeq, Anas Alazzam, and Baker Mohammad. Unidirectional Neuromorphic Resistive Memory Integrated with Piezoelectric Nanogenerator for Self - Power Electronics. *Advanced Functional Materials* 34, no. 15 (2024): 2305869.
- [2] Hu, Dengwei, Minggang Yao, Yong Fan, Chunrui Ma, Ming Fan, and Ming Liu. Strategies to achieve high performance piezoelectric nanogenerators. *Nano energy* 55 (2019): 288-304.
- [3] Han, Ying, Li Song, Hongwu Du, Geng Wang, Tongrui Zhang, Lei Ni, and Yijun Li. Enhancing structural response via macro-micro hierarchy for piezoelectric nanogenerator and self-powered wearable controller. *Chemical Engineering Journal* 481 (2024): 148729.

最终交流类型：口头报告

D05-63

基于 PVC gel 驱动传感一体化设计的触觉交互界面

田成博、于敏*、尹国校

南京航空航天大学

当前，全球主要国家和地区都开启了第六代移动通信技术(6G)的研究和战略布局，一个振奋人心的发展方向是，更大的流量密度将促进诸多通讯工具在原有听觉、视觉信息交互基础上添加触觉信息交互功能。触觉生成和触觉采集技术分别在驱动和传感领域得到了广泛关注，然而，触觉生成和采集功能的集成尚属发展初期，亟需新的材料和技术实现驱动传感一体化目标，提升触觉交互界面的功能单一问题。因此，本文提出了 PVC gel（聚氯乙烯凝胶）驱动/传感器，基于 PVC gel 驱动传感基本原理，设计凝胶阵列棘突结构，同时提升其驱动/传感性能；进一步地，研究了凝胶表面结构参数对 PVC gel 驱动传感性能的影响规律，并分别通过电化学阻抗谱和多物理场耦合模型分析了 PVC gel 结构参数对其机械性能、电化学性能及压阻性能的影响机制；最后，作为优选，将动态位移性能、触感灵敏度等效果最好的圆锥形阵列结构凝胶设计成 PVC gel 驱动/传感器的核心部件，并将 PVC gel 驱动/传感器应用于一款无线动态盲文读写装置，通过盲文字符的“读”“写”一体以及盲文字符的分辨率和可读性指标等展示了 PVC gel 凝胶在触觉交互领域的发展潜力，为更多触觉交互应用提供新的解决方案。

最终交流类型：墙报

D05-P01

高性能巨电流变弹性体的制备及其在智能乒乓球拍上的应用

黄东阳¹、周雪峰¹、巫金波*^{1,2}

1. 上海大学

2. 深圳北理莫斯科大学

电流变弹性体（electrorheological elastomer, ERE）是一种刚度可对外界电场作出响应的智能材料，有着广泛的应用前景，体育运动领域也因为 ERE 的应用而有了新的活力。为适应乒乓球运动员不同的打球方式，提高其非常规技术水平，研制了一种基于高性能各向异性 ERE 的刚度可调智能乒乓球拍。使用定制的模具在电场下制备了 ERE，形成了巨电流变颗粒（尿素层包裹的钛氧基草酸钡）组成的各向异性结构，促进了颗粒间饱和和表面极化和局域场的产生。各向异性 ERE 的性能显著提升，剪切模式下的相对电流变效应达到 17160%，远高于各项同性 ERE 的 3280%。同时，各向异性 ERE 的剪切储能模量和压缩模量的增量分别为 5.2 和 6.4MPa，为 ERE 同时在剪切模式和压缩模式下应用提供了可能。在此基础上，使用 ERE 取代海绵层开发了智能乒乓球拍，智能乒乓球拍的拍面由橡胶、柔性电极、ERE、铜电极和木板构成。通过控制智能乒乓球拍复合胶皮中 ERE 的电场，调节拍面刚度，智能乒乓球拍成功地改变了球的轨迹，降低了 11% 的出射角，提高了 2% 的出射速度，证明了器件的有效性。本研究将在比赛、娱乐及训练中有较为广泛的应用前景。

最终交流类型：墙报

D05-P02

高性能光致形变材料的制备及其作为光传感器的研究

张梦涵、韦嘉*、俞燕蕾

复旦大学材料科学系

开发具有较高基础性能的智能形变材料是研究智能软机器人、智能执行器的热点方向之一。然而，对于大多数含偶氮苯基团的光致形变聚合物而言，其能够执行形变功能的同时往往无法集成优异的热学、力学性能，限制了其在极端环境的应用。本工作中，我们通过三元共聚的方法制备了偶氮苯聚酰亚胺材料 (azoPI)，并且利用聚酰亚胺材料结构可定制的特点，通过调控二酐单元的结构研究了高基础性能光致形变材料构效关系。我们发现，增强分子链刚性并且在主链上引入大尺寸取代基是构筑高性能 azoPI 的关键。由此，我们制备了玻璃化转变温度达到 336 °C、弹性模量为 3.3 GPa、同时能够具有优异的光致形变性能（形变角度为 85°）的光致形变材料。除此之外，通过与压电材料复合，我们成功地将 azoPI 的宏观形变转化为电压信号，拓展了智能形变材料在光响应传感器领域的应用前景。

参考文献

[1] WIE J J, WANG D H, LEE K M, et al. The contribution of hydrogen bonding to the photomechanical response of azobenzene-functionalized polyamides [J]. *Journal of Materials Chemistry C*, 2018, 6(22): 5964-5974.

[2] ZHANG P, LAN Z, WEI J, et al. Photodeformable azobenzene-containing polyimide with flexible linkers and molecular alignment [J]. *Acs Macro Letters*, 2021, 10(4): 469-475.

[3] SUN X, WEI J, YU Y. Photoinduced deformation of amorphous polyimide enabled by an improved azobenzene isomerization efficiency [J]. *Polymer Chemistry*, 2022, 13(38), 5425-5516.

[4] PENG B, CHEN X, YU G, et al. A Neuron-readable artificial photoreceptor composed of photodeformable liquid crystal polymers and piezoelectric materials [J]. *Advanced Functional Materials*, 2023, 33(23), 2214172.

本工作得到国家自然科学基金 (No.52073062) 资助

最终交流类型: 墙报

D05-P03

Study on the directional solidification process of large-size rare-earth magnetostrictive materials

JIANGPING XIN*

University of Science and Technology Beijing

At $x=0.7$ (i.e., the classical composition) of the $Tb_xDy_{1-x}Fe_2$ alloy system, the easy magnetization axis of the alloy system at room temperature is in the $\langle 111 \rangle$ direction, and this compositional point is at the same time the anisotropy compensation point at room temperature. A large magnetostriction λ_{111} can be obtained when magnetized in the $\langle 111 \rangle$ direction. Cast alloys are generally polycrystalline with freely oriented grains, and their saturation magnetostriction is only about $0.6 \lambda_{111}$. Only single crystals or oriented crystals with grains in the vicinity of the $\langle 111 \rangle$ direction may reach a maximum value of λ_{111} for their axial saturation magnetostriction. Oriented solidification is based on the principle of grain competition during crystal growth to obtain materials with a certain preferred orientation. This method maximizes the large magnetostrictive properties of rare earth super magnetostrictive materials. Numerical simulation techniques can be used to predict the macroscopic temperature field and microscopic structure of large-size rare-earth magnetostrictive cylinders during the directional solidification process. A multi-scale coupled computational model of phase field, temperature field and concentration field in the directional solidification process of large-size rare earth magnetostrictive round bars is established. The relationship between microstructure formation and heat and mass transfer was determined, and then the process parameters are optimized to provide theoretical and technical support for actual industrial production. At the initial stage of solidification, the bottom of the casting is rapidly solidified by the cooling action of the water-cooled copper head. At this time, the temperature gradient is larger, the mushy zone is smaller. With the pulling, casting height increased, the role of the copper head gradually weakened, the temperature gradient decreased, the solidification rate is also gradually reduced, the mushy zone became larger. The increase in drawing speed will accelerate the mushy zone to move down to the heating zone, so that there is a radial temperature gradient along the front of the mushy zone. Under single-phase directional solidification conditions, the solidification system deviates more from flat interfacial stability as the

pumping rate increases. The interfacial morphology usually undergoes four stages: linear growth stage(planar growth)→interfacial destabilization stage(cytosolic crystal growth)→competitive growth stage(cytosolic dendrites)→relatively stable growth stage(primary dendrite spacing remains stable).

最终交流类型: 墙报

D05-P04

Enhanced magnetostriction of <100>-orientated polycrystalline (Fe₈₁Ga₁₉)_{99.8}Tb_{0.1}(NbC)_{0.1} alloy by synergy strategy of trace NbC-doping and quenching treatment

Long Shen, Jiheng Li*, Xiaoqian Bao, Xuexue Gao
University of Science and Technology Beijing

Magnetostrictive Fe-Ga alloys, discovered in 2000, have attracted considerable attention due to their large magnetostriction, good mechanical properties, and low cost. As a new-generation magnetostrictive materials, Fe-Ga alloy is widely used in micromanipulation instruments, torque sensing, and transducers [1]. Recent studies found that doping rare earth elements into Fe-Ga alloys can greatly improve their magnetostrictive properties [2-4]. In this work, the <100>-orientated polycrystalline (Fe₈₁Ga₁₉)_{99.8}Tb_{0.1}(NbC)_{0.1} alloy with excellent magnetostriction was developed by the synergy strategy of trace NbC-doping and quenching treatment. The significant reduction of the Tb-rich precipitate after quenching leads to the dissolution of Tb into the matrix and results in the formation of Tb-doped induced L6 heterogeneities that enhance the lattice distortions in the matrix. The saturation magnetostriction of orientated polycrystalline (Fe₈₁Ga₁₉)_{99.8}Tb_{0.1}(NbC)_{0.1} alloy before and after quenching reached 200 ppm and 289 ppm, respectively, which is 5.8% and 12.9% greater than that of the undoped NbC alloys. This work reveals that reasonable alloy design and thermal treatment can effectively increase the solubility of Tb in the matrix and improve the magnetostrictive properties of Fe-Ga alloys, and provides a crucial guide for future studies of magnetostrictive Fe-Ga alloys.

References

- [1] Wu Y, Chen Y, Meng C, et al. Multiscale influence of trace Tb addition on the magnetostriction and ductility of <100>-orientated directionally solidified Fe 2019, 3(3): 033401.
- [2] Han Y, Wang H, Zhang T, et al. Exploring structural origin of the enhanced magnetostriction in Tb-doped Fe₈₃Ga₁₇ ribbons: Tuning Tb solubility[J]. Scripta Materialia, 2018, 150: 101-105.
- [3] He Y, Jiang C, Wu W, et al. Giant heterogeneous magnetostriction in Fe-Ga alloys: Effect of trace element doping[J]. Acta Materialia, 2016, 109: 177-186.
- [4] He Y, Ke X, Jiang C, et al. Interaction of trace rare-earth dopants and nanoheterogeneities induces giant magnetostriction in Fe-Ga alloys[J]. Advanced Functional Materials, 2018, 28(20): 1800858.

最终交流类型: 墙报

D05-P05

主链型液晶弹性体相转变温度调控及其双向形状记忆行为研究

尹茜、李露、石玲英、杨科珂*、王玉忠
环保型高分子材料国家地方联合工程实验室

液晶弹性体 (LCEs) 作为典型的双向形状记忆材料, 因其独特的各向异性特性, 具有响应速度快、可逆形变大、力学性能优异等优势, 已经被广泛用于开发仿生材料、防伪材料、柔性执行器等新型智能材料。然而, 大多数主链型 LCEs 因含有大量刚性基团, 其清亮点温度 (T_{cl}) 较高, 限制其在温和条件下应用。因此, 如何通过 LCEs 交联网络化学结构及拓扑结构的有效调控, 降低其相转变温度, 同时仍保持其优异的双向形状记忆性能, 具有重要的研究价值。本研究以商品化液晶单体 RM82 为主要原料, 通过选择不同柔性调节单体和动态键反应单元, 采用先预聚后交联的方式制备一系列主链型 LCEs。建立 LCEs 结构与 T_{cl} 的关系, 系统研究动态键对 LCEs 单畴化以及双向形状记忆行为的影响。通过优化 LCEs 结构, 获得了 T_{cl} 接近室温的样品, 进一步利用动态键实现了液晶畴的取向从而获得无外力双向形状记忆行为, 同时还可以实现 LCEs 永久形状的重构。动态热机械分析测试表明, 该 LCEs 具有温和的响应温度和优异的双向形状记忆性能, 材料的可逆激发应变可达 53.57%, 50 °C 下材料的形状回复率为 99.97%。

最终交流类型：墙报

D05-P06

成分/析出调制设计马氏体+应变玻璃混合结构

张宸*

西安交通大学

TiNi 合金由于其优良的形状记忆效应和超弹性而被广泛应用于航天、航空和生物医疗领域。然而马氏体相变是典型的一级相变，通常发生在较窄的温度或应力范围内，极大的限制了 TiNi 合金的应用范围。TiNi 合金中时效诱发的 Ni₄Ti₃ 析出相不仅会显著影响马氏体相变，还可以强化基体提高应变回复率。因此，本工作系统研究了 TiNi-51.7 合金不同时效条件下的相变行为和力学性能；发现相比于一次时效（300°C-2h）的 TiNi-51.7 合金，经过二次时效（300°C-2h，200°C-12h）后超弹性温域提升了 45%。本工作有望为改善形状记忆合金超弹温域提供了一种全新的方法。

最终交流类型：墙报

D05-P07

累积叠轧技术制备铝锌轻质高阻尼复合材料

陈君兰

中国科学院合肥物质科学研究院，固体物理研究所

高阻尼材料由于其独特的组织结构，可通过结构功能一体化设计，将结构振动机械能高效耗散为热能，实现减振降噪目标，在减振降噪领域具有广阔的应用前景。本研究采用累积叠轧法(ARB)制备多层 Al-Zn-Al“三明治”结构复合板材，获得了多道次轧制的样品。通过拉伸，阻尼和微观结构等手段对材料性能进行了表征。力学和阻尼测试结果表明，阻尼和力学性能随着轧制次数增加而一直增加。当振幅为 400×10^{-6} 时，ARB1 试样室温阻尼为 0.043。ARB5 试样室温阻尼高达 0.026。ARB1 抗拉强度为 150 MPa，ARB5 抗拉强度为 217MPa。通过材料的微观结构表征，发现在界面处锌原子往铝基体扩散，形成了新的合金相。通过两种材料质量的合理配比，结合叠轧工艺和热处理工艺的优化，实现了 AlZn 复合材料轻质高强高阻尼效果。

关键词：累积叠轧法(ARB) 复合材料 高阻尼 力学性能