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

D04-刺激响应功能材料
D04-Stimulus-Responsive Functional Materials

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: https://cmc2025.scimeeting.cn

D04 刺激响应功能材料

分会主席：杨槐、俞燕蕾、陆延青、董丽杰、王玲

D04 -01

响应型有机光功能材料与器件

赵强*

南京邮电大学、南京信息工程大学

近年来，作为有机光电子领域研究的核心内容，有机半导体材料及其光电应用成为国际研究的热点。常规有机半导体大都基于纯有机体系，只能利用单重态激发态，无法有效利用三重态激发态。而金属配合物在金属原子的旋轨耦合作用下，突破了这一局限，可同时利用单重态和三重态激发态，具有优异的磷光发光性质，如高的发光效率、长的发光寿命及易调节的发光波长，尤其是其长的磷光发光寿命，非常适合应用于时间分辨发光成像。我们长期从事有机光功能材料激发态调控及其应用的研究，针对其“分子结构-电子组态-激发态性质-功能应用”之间的内在关系这一关键科学问题开展了系统研究。本次报告中，我将详细介绍本课题组在响应型有机光功能材料激发态调控与光学应用方面取得的研究进展，发现多种外界物理刺激可有效调控有机光功能材料激发态性质，实现其光学性质的显著调节。基于这一性质，实现了这类材料在信息器件中的应用。

手性等离超表面的精准构筑与光学调制

聂志鸿*

复旦大学

等离激元纳米结构在传感器、光子器件、信息加密，尤其是超材料等领域的应用极大依赖于其在基底表面的多层级有序排列。在这种情况下，阵列中的等离激元纳米结构共同与光相互作用，从而实现在纳米尺度上有效地控制光的相位、偏振和发射等。然而，目前，构筑具有亚波长分辨率和任意取向模式的等离激元纳米阵列仍然是一个巨大挑战。近期，我们团队发展了多种精准组装构筑二维或三维等离激元纳米复合阵列的新方法，通过调节亚波长功能单元的构型、取向和序列结构等实现了对等离阵列宏观非线性光学性质的有效调控。由于纳米粒子间的近场与远场耦合作用，该复合阵列表现出独特的光学性质，例如典型的偏振依赖的等离 Fano 共振特征、多模态的表面晶格共振、超强手性等。这些复合阵列以柔性聚合物为连续相基质或基底，具有柔性可拉伸、自支撑机械稳定性和良好的加工性能等优势。

纳米压印光刻胶

吴思*

中国科学技术大学

纳米压印是一种高精度、低成本、应用广泛的微结构加工方法。纳米压印于 2023 年被推向市场，用于加工 14 纳米线宽（相当于 5 纳米节点）的产品，但是相关的设备和技术对中国禁售。光刻胶是纳米压印必须使用的关键材料。自主研发光刻胶难点在于国外的专利技术壁垒很难突破。我们研发了和传统的纳米压印光刻胶原理不同的可逆光刻胶。可逆光刻胶利用了含偶氮苯、螺吡喃、二芳基乙烯、苯乙烯基茋或钌配合物的高分子在光照下发生的可逆相态转变。可逆光刻胶解决了传统的纳米压印光刻胶保质期短和压印结构缺陷难以被修复的问题。另外，可逆光刻胶的加工精度高、适用性广泛，能在不同材质的材料上加工高精度的纳米结构

手性光学材料与信息交互

庄涛涛*

中国科学技术大学

手性圆偏振发光材料，具有独特的偏振性质并且携带自旋角动量，在量子计算、信息安全、生命健康、新型显示以及自旋电子学等领域具有重要应用潜力。受限于目前相关材料发光不对称因子较低、器件结构

研究不足，基于手性发光的实际应用仍处于起步阶段。本报告汇报内容：基于开发的限域螺旋共组装技术，实现手性圆偏振发光材料的强圆偏振发光性质；利用新型手性微/纳米结构的刺激响应特性，探索材料在信息交互方面的功能应用。

柔性、抗溶胀的 MXene 水凝胶基表皮传感器

周宇辰、徐志善、张云飞、万鹏博*

北京化工大学

基于导电水凝胶的表皮传感器，因其良好的组织相似性、三维仿生网络结构以及可调的导电通路，在智能电子皮肤、人体健康监测、智慧医学诊疗等领域有广泛的应用前景。然而，传统水凝胶基传感器力学强度、传感灵敏度和抗溶胀性能欠佳。将 MXene 导电网络引入水凝胶网络中，实现了高灵敏度、宽检测范围（高达 350%）和良好稳定性的传感，可用于高性能智能人机交互感知和可穿戴智慧医学诊疗。此外，该水凝胶具有良好的抗溶胀能力，有利于减少伤口扩大，有助于后续可靠的伤口治疗和诊疗一体化发展。

液态金属可控相变智能材料

汪鸿章*

清华大学

自然界中物质从固态到液态的转变是一个基本而古老的物理现象，它在日常生活中无处不在，比如古语中所说的"滴水成冰"和"蜡烛垂泪"就形象地描绘了这些常见的凝固和熔化过程。金属因其卓越的特性，在现代工业中扮演着不可或缺的角色。然而，许多金属的熔点较高，这给研究和应用金属的可逆相变过程带来了不小的挑战。而室温液态金属作为一类具有独特物理化学性质的材料近年来得到了越来越多的关注；其在多个关键研究领域和高科技产业的潜力也不断被挖掘出来。特别是以镓为基础的液态金属，由于其室温附近的熔点，可以在相对温和的条件下实现可逆的固液相变。这一过程中，材料的光学、热学、力学和电学性能会发生显著变化，为深入研究和利用金属固液相变特性提供了一个理想的平台。本报告将重点介绍液态金属弹性体材料的多刺激触发相变行为，探讨如何通过性能调控来拓展其在智能传感、液体机器抓手、能源存储等领域的应用。

低强度磁场驱动软体微型机器人

秦海利*

合肥工业大学

仿生柔性微型机器人是尺寸在亚毫米级、兼具生物体结构特征与运动感知能力的软体智能材料。其通过仿生学、材料科学及人工智能等技术的深度融合，突破传统医疗物理限制，在靶向药物递送、微创手术等领域展现精准干预潜力。驱动机制是决定机器人运动仿生效能的核心要素。当前主流技术涵盖压电驱动、化学燃料、光热捕获等，其中磁控柔性微型机器人凭借对磁性颗粒的图案化设计，可在外磁场下实现三维形态转换，成为最具前景的研究方向。近年来，磁控机器人因微尺度特征、无线操控优势及复杂环境适应能力，在体内医疗与微操作领域获得广泛关注。但临床应用仍面临关键挑战：高强度磁场易对人体组织及植入设备造成损害，如何在低场强环境下实现高效驱动与精准控制，成为制约技术转化的核心科学难题，亟待通过材料创新加以解决。本研究提出一种基于磁畴精准组装的低场驱动软体微型机器人构建新方法，旨在突破传统磁控机器人依赖高强度磁场的应用瓶颈，推动微型机器人在生物医疗等敏感场景下的实用化进程。针对现有磁控微型机器人普遍存在低场强下驱动力不足、运动精度受限及机械稳定性差等难题，研究团队创新性地从材料设计与制造工艺两个维度协同突破：一方面，通过规模化合成具有高磁晶各向异性的单畴态铁磁纳米结构，结合亲水性聚合物链接枝改性技术开发复合磁性墨水，确保磁性单元在微纳尺度实现稳定分散与定向响应；另一方面，借助磁场辅助的墨水直写打印技术，在单根打印纤维内部实现磁畴的纳米级有序排列，从而构建具有仿生层级结构的软体机器人本体。该项研究为新一代智能软体机器人提供重要的理论支撑与技术原型，尤其在生物医疗领域展现出变革性应用潜力。

D04 -03

分子机器功能与调控

曲大辉*

华东理工大学

受自然界生物分子机器的启发，越来越多的人工分子机器被有机化学家通过有机合成的方法创造出来。我们利用多种主客体组分的自选择分类组装行为发展了复杂超分子体系的精准组装方法，并利用高效、专一的自分类组装方式精准合成出一系列具有复杂拓扑结构的轮烷分子梭体系；构建了全人工合成的分子制动器，并利用其肌肉一样的伸缩制动功能实现了纳米尺度下粒子间距的精准调控，使得纳米偶联系统中单分子尺度下动态分子机器的研究成为可能。另外，这些分子机器个体本身的热力学“噪音”信号能够通过一定时间内光学信号积分的方法加以克服，为分子机器等动态分子体系在单分子尺度下的信号输出和功能器件化提供了重要的解决思路。课题组还构建了具有特定亲疏水结构的动态轮烷体系，并实现了该动态分子体系在水中的可控组装及其可逆的组装形貌调控，进行高效、选择性的离子跨膜运输。

仿生微纳光子材料

李明珠*

中国科学院理化技术研究所

生物系统通过多级微纳结构赋予生物体多自由度的光学特性，实现超越经典光学的性能，例如大蓝闪蝶光子晶体、金龟子手性螺旋结构、乌贼动态变色细胞等，给予了人们很多启发。仿生光子材料通过模仿自然界生物的微纳结构，实现了许多传统材料难以达到的光学性能。例如，通过模仿蝴蝶翅膀的光子晶体结构，可以实现高亮度、高纯度的结构色。然而人工合成的光子材料往往性能单一，调控自由度少。为了构筑能够对光的振幅、相位、偏振、频率等灵活调控的微纳光子结构，例如结构色全息超构表面等，往往需要微纳米加工技术，依赖于昂贵、复杂的仪器和严苛的加工环境，并且很难实现大面积和高通量制备，这些都严重限制了光子材料的推广和应用。我们提出了通过光子晶体、光栅、回廊腔等光功能材料基元的序构构筑微纳多级次光学结构，实现多种功能基元协同作用，赋予材料新性能。开发了利用拓扑形变与各向异性光学结构协同作用能够对光场多维调控的智能光子晶体驱动，发现了基于聚合物材料的微半球具有宽带可调和多重偏振态可调的手性结构色，提出纳米压印限域结晶法构筑新型多功能和高性能光电材料和器件，并且利用自组装、印刷等方法实现了微纳光学结构高精度大面积图案化制备，推进了多级次微纳光功能材料在功能涂层、传感、加密、防伪、光电器件等领域的广泛应用。

新型弛豫铁电液晶材料

黄明俊*、张新新、叶繁、Satoshi Aya

华南理工大学

传统向列型（N）液晶为非极性流体，在需要快速响应的新兴技术领域受到限制。引入强极性或铁电性是加速液晶电场响应的重要策略。2020 年被提出的铁电向列型（NF）液晶及衍生的各类极性液晶展现出超快外场响应潜力，吸引着世界知名液晶研究机构和公司纷纷投入研发。然而，NF 类液晶畴壁缺陷密度高、垂直取向困难、粘度大、低温稳定性差等问题限制了其光电技术开发。受陶瓷/晶体等固体材料中弛豫铁电体（RFE）微观结构的启发，我们首次提出弛豫铁电体液晶的新概念。新型 RFE 液晶本质上是 NF 相极性纳米畴区均匀分散在非极性 N 型液晶中形成的新物态，兼具 N 相（无织构缺陷、低粘度、低温稳定等）和 NF 相（高介电常数、低电压驱动等）的优点。RFE 一方面是 NF 液晶相变过程中会经历的本征中间过渡态，另一方面可以通过 N/NF 液晶共混构造，连续调节铁电畴区尺寸。RFE 液晶在空间光调制及低电压驱动液晶技术等领域具有重要的应用潜力。

固态柔性材料结构调控与光电传感性能

胡万彪*

云南大学

固态柔性光电材料常具有自供电、电存储和光电探测与感应功能，在可穿戴电子器件领域具有重要应用。发展综合性能优异的固态柔性光电材料的关键在于系统结构设计与调控。本研究基于多种材料结构和

功能设计，进而构筑一体化复合柔性材料和器件，实现摩擦发电自供电、电化学存储电荷以及机械和光电响应功能，对生命体运动进行探测和实时传感。

高分子隔热复合材料设计与制备

张超*

东华大学材料科学与工程学院，先进纤维材料全国重点实验室

隔热材料是指能够有效阻碍热量传递的材料，通常具有低导热系数、良好的热稳定性以及一定的物理和化学稳定性。由于可实现高效的热阻隔功能，高性能隔热材料在航空航天工业、军事行动和极端天气等恶劣环境领域具有应用潜力，受到了研究人员的广泛关注。高分子多孔复合材料由于兼具高分子复合材料易加工、功能可设计以及多孔结构密度低、比表面积高、气固界面丰富的优势，在国民经济和国防建设等领域具有广阔的隔热应用前景。目前高分子多孔复合材料面临着高分子成孔体系种类有限、孔隙结构难以精准调控的瓶颈，其机械性能、隔热性能等难以满足更高的需求。我们聚焦于高分子复合材料孔隙结构设计与构效关系研究，提出了冷冻聚合等制备高分子复合多孔材料的新策略，获得了梯度结构、光学透明的高分子隔热复合材料新体系，拓展了所制备高分子多孔复合材料在隔热、辐射降温等方向的应用。

智能仿生可编程动态液晶弹性体驱动器

卢锡立*

四川大学

液晶弹性体（LCEs）在外部环境刺激下具有可逆宏观变形的功能，在软体机器人、微型马达、人工肌肉和传感器等前沿领域具有广泛应用前景。然而，能够显示外场控制仿生形变以及运动参数（方向、速度和模式等）可控宏观运动的 LCE 致动器，在很大程度上仍然处于未被探索阶段。针对以上挑战，本报告主要介绍以下三项工作。

（1）我们通过参考最近的植物卷须解剖学相关研究，根据自然界中攀援植物的结构-功能原理，分析植物卷须如何将结构不对称转化为宏观运动的机制，通过在液晶弹性体纤维中构建不对称和可重构的分子结构开发了一种液晶弹性体人工卷须，显示出具有进化功能（从卷须进化为鞭毛）的仿生运动。这种精心设计的具有不对称皮芯结构的卷须状液晶弹性体致动器，在半椭圆横截面上，从皮层到芯层的液晶取向程度呈现出从高到低的转变，可以从初始直线结构盘绕成螺旋结构，显示 710%的高收缩率。通过将螺旋形变和旋转形变功能集成到一个重新编程的鞭毛状结构中，成功模仿自然鞭毛的向触性运动。我们通过理论模型和有限元模拟，揭示了人工卷须螺旋变形的基本机理。

（2）为了进一步研究致动器结构和分子排列对 LCE 纤维致动器形状变形行为的影响，调整了印刷参数（包括丝数、宽度、厚度和芯鞘形态），以实现各种变形，如收缩、弯曲和螺旋扭曲。通过理论模型和有限元模拟，揭示了 LCE 光纤致动器螺旋变形的潜在机制。

（3）最后，通过理论计算辅助设计，制备了一种由红光（650nm±10nm，穿透距离可达 0.5 厘米）驱动的双稳态深度红移四邻氯偶氮苯液晶分子开关，实现了对液晶聚合物网络的可编程时空操纵。本研究系统地研究了该红光驱动液晶弹性体在微型驱动器、4D 打印仿生软体机器人以及微型手术缝合线等领域的应用潜力。以红光驱动的四邻氯偶氮苯液晶分子马达为基础，致力于在液晶聚合物体系中实现复杂的红光驱动刺激响应精准调控。我们相信，该研究是光驱动液晶弹性体从实验室研究向临床生物医学应用迈进的重要一步，同时该研究也为智能材料和仿生驱动系统的设计提供了全新的思路和见解。

强韧光子晶体高分子材料

侯磊*

东华大学

光子晶体是一类具有介电常数周期性的光学材料，可以反射入射光的特定波长而显示出结构色。将光子晶体与离子导体结合可得到光子晶体离子导体，是实现具有光学和电学双重信号输出柔性离子导体的有效途径。然而，现有的光子晶体离子导体材料，很难兼顾机械性能、离子电导率和结构色。这是因为：一方面，周期性排列的不同介电材料存在力学难匹配、界面不稳定等问题，使得机械性能与结构色之间存在

一定的权衡；另一方面，基于大量溶剂的离子导体，溶剂含量对离子电导率和机械强度的影响也存在此消彼长的关系。我们通过在合适的弹性体基质(聚丙烯酸甲氧基乙酯，PMEA)中引入具有协同效应的锂键和氢键，构筑了兼有高机械性能、高离子电导率和鲜艳结构色的光子晶体离子弹性体(Photonic Ionic Elastomer, PIE)。其中，锂离子与 PMEA 中羰基之间的锂键、二氧化硅纳米颗粒(SiNPs)表面的硅羟基与 PMEA 中醚基之间的氢键赋予了 PIE 高机械性能，断裂强度可达 4.3 MPa，韧性可达 8.6 MJ m-3。与此同时，锂键有助于锂盐(LiTFSI)的解离，赋予 PIE 高离子导电性，而氢键有助于稳定 SiNPs 的非紧密堆积，赋予了 PIE 鲜艳的结构色。在拉伸过程中，PIE 的周期性结构和电阻发生变化，可实现同步的光学和电学输出。此外，由于 LiTFSI 的吸湿性，PIE 结构色对湿度具有响应性。

Morphology-dependent chiroptical switching in intrinsically chiral gold nanorods encapsulated with polyaniline

Xiaolu Zhuo*, Shengyan Wang

The Chinese University of Hong Kong, Shenzhen

Exploring switching strategies for intrinsically chiral plasmonic nanoparticles is crucial for unlocking their potential in dynamic manipulation of light polarization states. Conjugated polymers, such as polyaniline (PANI), represent highly promising material candidates for this pursuit, owing to their unique combination of intrinsic structural flexibility, tunable optical characteristics, and multi-stimuli responsiveness. Herein, we demonstrate that chiroptical switching on PANI-encapsulated chiral gold nanorods (cAuNRs) by controlling proton doping of PANI, and reveal that the morphology of PANI within the nanogaps of cAuNRs results in abnormal spectral shifting which is in contrast with those in previous studies. Moreover, we elucidate that the near-infrared absorption of doped PANI reduces the chiroptical response intensity, leading to splitting in their circular dichroism (CD) spectra. Our study provides valuable insights into the interaction between conjugated polymers and chiral plasmonic nanoparticles, paving the way for the development of nanoscale chiroptical switches for on-chip devices.

D04 -04

纳米绿色印刷制造技术

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，通过研究纳米材料构建浸润性差异的材料表面，发展了系统的绿色印刷技术。利用图案化浸润性表面实现了对液滴撞击液滴碰撞前后平动能向转动能的转化的精准调控。该过程突破了经典的牛顿碰撞定律描述范畴，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成型。进一步，利用微模板操控泡沫的演变，克服了困扰百年的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，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，为功能器件与微纳芯片的印刷制备开辟了全新的思路，构建了纳米绿色印刷技术的理论和技术体系。

二维材料无机液晶的超灵敏磁光和电光响应

刘碧录*

清华大学深圳国际研究生院

液晶是一种能够对外界刺激做出动态响应的材料体系，受到了学术界和产业界的广泛关注。截止 2018 年，仅薄膜晶体管驱动的液晶显示器（TFT-LCD）的全球市场规模就已超过 1000 亿美元。现有的液晶功能材料主要是有机小分子和高分子，响应灵敏度较低、且难以在紫外辐照等环境下长期稳定工作。理论分

析表明，二维材料分散液具有极大的结构各项异性及其伴随而来的电学、磁学、光学各向异性，加之无机材料的光稳定性，使得二维无机材料有望在液晶应用领域发挥独特作用。在本报告中，将介绍二维材料无机液晶的发展历史及二维材料的巨外场响应行为，并介绍基于二维材料无机液晶的特色应用，包括零能耗磁光调制器件、深紫外磁光调制器件、光学各向异性水凝胶等。同时，将介绍基于二维矿物材料的无机液晶体系，实现从矿物到二维材料的规模制备及其高值化、新原理光学器件应用。

功能液晶纳米复合材料

王玲*

天津大学

液晶是一种兼具液体流动性和晶体有序性的“活性”软物质材料，能够快速灵敏地响应电、热、光、磁、力等外源刺激，是年产值超千亿美元的平板信息显示行业关键基础材料。液晶纳米复合材料是一种结合液晶分子有序性与纳米材料功能特性的新概念功能与智能材料，因其独特的光学、电学、力学和刺激响应特性，在人工智能、军事隐身和航空航天等领域具有重要的应用前景，是备受国内外重点关注的科学前沿研究方向。液晶作为软模版能够诱导纳米基元长程有序自组装形成功能纳米超材料，纳米基元能够赋予液晶材料独特的功能；如何实现有机液晶材料与功能纳米基元的高效复合、按需取向和功能化集成应用是当前该领域亟待解决的关键科学问题。本人聚焦液晶分子取向新方法、有机液晶与无机纳米复合新策略，以及功能集成与新概念应用，开展了功能液晶纳米复合材料的深入研究。提出了溶剂各向异性挥发诱导液晶自组装取向新方法，发展了功能液晶纳米复合材料的原位聚合和层状复合普适性策略，创制了具有高品质圆偏振发光、多波段变色隐身和灵敏感知驱动等特性的新概念液晶纳米复合材料，探索了其在人机界面、变色隐身和人工肌肉等领域的潜在应用。

动态硼酸酯聚合物设计与柔性电路焊接技术

何儒斌、袁丛辉*

厦门大学材料学院

柔性电子器件具有便携、可折叠、可拉伸等特性，在健康监测、生物医学、人机交互、智能机器人等领域获得了广泛的研究。然而，一个可以独立运行的柔性电子器件，通常需要刚性电子材料和元件与柔性电路集成以及不同柔性电路相互连接。器件接口存在界面机械性能不匹配、电气连接稳定性较差、耐疲劳与老化性能弱等问题。因此，柔性电子器件实际应用的一个关键难点在于不同柔性电路之间、柔性电路与柔性传感器件之间、柔性电路与刚性电子元件之间的接口稳定互连。我们聚焦动态硼酸酯聚合物设计，提出了界面电化学反应控制的粘性因子暴露与屏蔽机制，开发了导电弹性体“电焊”的策略。焊接的过程非常简单，只要表面简单润湿，通电 5 秒至 5 分钟左右的时间即可实现焊接。自焊接强度为 6.0 ~ 8.0 MPa；与金属焊接强度为 120~160 kPa；而且还可对水凝胶焊接。将导电弹性体印刷成柔性电路，可与商业导电油墨印刷电路、刚性电子元件焊接。该电焊策略实现了单片机、三极管、电阻、电容、LED 等在柔性电路中的集成，使得柔性电子器件可以模块化、按需拆卸/拼接，极大地降低了柔性电子器件制造门槛。在此基础上，进一步开发了导电弹性体“溶剂焊”策略。通过设计微相分离的硼酸酯聚合物导电弹性体，采用乙醇作为焊料，活化弹性体表面的粘附性基团，显著提升导电高弹性体的界面粘附性能。上述导电弹性体焊接策略从刺激响应高分子设计的角度提出柔性电子器件组装新方案。

柔性智能传感材料与器件

梁嘉杰*

南开大学

柔性触觉传感集成是智能仿生机器人用于模仿生物触觉功能的传感器集成，在高端智能技术领域具有巨大的应用前景。皮肤是人体最重要的触觉器官。由于触觉机制与传感系统的复杂性，相比于视觉、听觉等感知系统，目前对触觉的研究依然处于较为初级的阶段。如何从传感材料、机制、器件的协同创新出发，实现对人体皮肤触觉传感特性的模拟、还原、超越，获得高性能柔性电子皮肤，是该领域的关键科学技术挑战。本报告将以“传感材料设计-传感机制探索-传感器件构建”为主线开展工作，设计制备了一系列多功

能纳米复合传感材料，超越了皮肤触觉传感特性的灵敏性和检测限，并模拟了人体皮肤对多重触觉信号的独立响应性和传感稳定性，实现智能传感应用。

液晶弹性体材料的原位结构调控

黄帅*、杨洪

东南大学

液晶弹性体在柔性驱动、传感、仿生、微流控等领域具有潜在应用，是国际上的研究热点。其功能的设计取决于预设的化学结构、取向结构以及聚集结构，一般难以进行后续的修改和优化。这限制了对材料进行空间维度的编制，并实现复杂的功能。我们提出了液晶弹性体材料的原位结构调控策略。开发了利用能够在线性偏振光下发生光诱导环加成反应的液晶基元来原位调控材料整体的各向异性。结果表明，通过控制偏振方向和辐照区域，可以在自支撑的液晶弹性体薄膜中创建图案化的取向分布，从而实现复杂且可逆的三维变形行为。此外，我们通过将力响应分子基团四芳基琥珀腈基团整合到液晶弹性体主链中，实现了原位力化学诱导的与环境进行物质交换，使液晶弹性体可通过机械应力诱导的自由基聚合反应实现自我强化并获得新功能。

柔性离子导电弹性体的设计和应用研究

吕晓林*

福州大学

柔性导电材料在可穿戴设备和人机交互等领域具有广泛的应用前景。但是，现有的柔性导电材料难以兼具机械稳健性、自修复性、可视化的传感能力和超远程感知等优异特性。因此，我们构建了具有 3D 液晶超分子网络的液晶离子导电弹性体（LCIE），使其具有可调的拉伸性、高断裂强度、抗裂纹能力和丰富的干涉色变化。同时，可逆的超分子网络和内部的大量离子还赋予其良好的弹性、自修复性、高粘附性和离子导电性。将 LCIE 组装为柔性传感器，其可以在拉伸/压缩时利用电信号和颜色信号进行灵敏的双模传感。同时，通过液晶分子放大阴离子的静电感应能力，其还可以实现高达 5 m 的超远程感应距离，从而在三维空间感应人体运动轨迹，为多模态柔性传感和无接触智能设备提供了新的路线和材料基础。

D04 -06

仿生功能力学高分子凝胶

刘明杰*

北京航空航天大学

自然界中的生物凝胶利用多组分生物大分子的协同作用实现多种生命学功能。聚合物的多组分复合已经成为发展高性能高分子水凝胶的一种卓有成效的途径，是高分子材料领域一个重要前沿课题。我们围绕“凝胶网络中多组分聚合物可控微相分离与界面调控”这一关键科学问题开展了系统的研究，向自然学习，模仿肌肉组织，制备的油水凝胶互穿网络，在复杂环境下具备高强、稳定、可编辑等特性。（1）提出亲水/亲油高分子协同网络的设计理念，制备了异质高分子互穿网络的自适应耐低温油水凝胶，并应用于耐低温柔性传感器、超级电容器及抗生物粘附等领域；（2）利用界面反应构筑了微相界面稳定的油水复合网络，实现了油水凝胶的功能化、力学性能响应性及形变可控性，并应用于可变形智能微流体通道及自适应软体机器人等领域；（3）揭示了限域环境下凝胶表面的超铺展特性，基于此发展了一种流体剪切取向纳米片的普适性方法，实现了高强度层状结构复合材料的大面积可控制备。

柔性离电界面传感

郭传飞，南方科技大学

聚合物离子导电材料和电子导电材料的界面上能形成双电层。双电层是一种非法拉第异质结，电容密度极高，其电容大小和界面面积成正比，通过设计界面结构，可以用于柔性压力、应变、温度等物理参量的传感，这类器件被称为离电型传感器。本报告专注于离电型压力传感研究。然而，柔性离子导电材料显

著的粘弹性、离子泄露、结构硬化使得器件的灵敏度、量程以及稳定性难以兼顾，同时也难对外界刺激进行精准计量。本研究通过材料分子结构、微结构、传感界面的创新设计，有效兼顾多项关键性能，开发了超灵敏、大量程、高线性、高稳定性的离电型压力传感器，克服传统器件的粘弹性、离子泄露、界面耗散等，使得传感器测得稳、测得准、测得快。进一步，本报告将展示离电型柔性压力传感器在机器人触觉以及健康医疗上的特色应用。

基于液晶微结构的圆偏振发光调控

李炳祥[1,2]、宋振鹏[1]、刘娇[1]、马云[1]、赵强[1,3]、陆延青*[2]

1. 南京邮电大学电子与光学工程学院、柔性电子（未来技术）学院，江苏 南京，210023

2. 南京大学现代工程与应用学院，江苏 南京，210023

3. 南京信息工程大学，江苏 南京，210044

有机室温磷光材料的圆偏振发光特性在 3D 显示、手性光电器件及信息安全等领域具有重要应用潜力，然而现有体系普遍存在圆偏振不对称因子较低且无法调控的关键问题。液晶作为一种典型的取向序软物质材料，凭借其独特的光学各向异性和外场响应特性，为圆偏振发光的提高与调控提供了理想平台。本报告将介绍课题组近期如下几个方面的研究成果：（1）基于液晶螺旋超结构的圆偏振不对称因子的提高；（2）结合液晶弹性体与分子马达实现圆偏振不对称因子的调控；（3）利用光敏手性剂实现圆偏振不对称因子的正负转化。

纳米复合柔性光驱动器及自振荡变形研究

胡颖*

合肥工业大学

自然界中的一些生物能够响应外界环境刺激，产生自主变形运动。通过仿生设计出能够将外部能量刺激转化为机械变形的柔性驱动器在人工肌肉、软体机器人等领域具有重要的前景。然而，目前大部分的柔性驱动器在外部刺激下仅产生单一变形，而无法实现连续的自主变形，也就无法持续地输出机械能。 在此，我们将介绍基于纳米材料/聚合物复合材料的柔性光热驱动器的自主连续变形的研究工作。首先，我们制备了卷曲形状的 CNT/聚合物薄膜，该薄膜可以在恒定的光照下产生连续的自振荡波运动。该驱动器可以以波浪状传播方式自主地、连续地向光源爬行，展示了独特的趋光运动特性。其次，我们制备了基于黑磷-CNT/聚合物复合薄膜的光驱动器，并通过引入独特的负反馈结构设计实现了恒定光照下的自振荡变形和连续向光运动。此外，通过在 MXene/聚合物薄膜上安装负载，实现了在恒定光照下具有可调振幅和频率的连续自振荡变形。在此基础上，进一步设计了 MXene/聚合物薄膜驱动器，实现了在无负载情况下的多角度向光自振荡变形和光驱动风车、光驱动帆船等仿生应用。除了人工光源，我们还设计了基于梯度层状结构 MXene 的复合薄膜驱动器，该驱动器可以利用自然阳光作为光源。并进一步开发了 CNT-nafion/聚合物驱动器，可以在自然阳光照射下实现自主的向光滚动运动。上述工作为设计具有自振荡变形的光驱动器提供了简单的方法，并展示了它们在仿生应用中的前景。

基于 MoS_2/GaSe 异质结的高性能室温自驱动 NO_2 气体传感器

牛越*

大湾区大学

随着人类社会的不断发展，气体传感器在空气质量监测、工业生产和军事安全等领域均有广泛应用。作为气体传感器的核心组成部分，气体传感材料对其性能起到了决定性的作用。金属氧化物作为传统的气体传感材料，虽然具有成本低廉和易于集成等优势，但其对目标气体检测限较高、选择性较差，且通常需要在 200℃以上的工作温度下才具有较好的气体传感响应，因此限制了金属氧化物在气体传感方面的进一步发展。新型二维材料（如过渡金属硫化物和III-VI族半导体等）因具有比表面积大、带隙可调、载流子迁移率高和光电性能优异等优点，逐渐取代金属氧化物成为气体传感材料的研究热点[1,2]。本文设计并制备了基于不同过渡金属硫化物的二氧化氮（NO_2）气体传感器，探究其光电性能和可见光光照对其室温气体传感性能的增益效果，并通过多种分析方法阐明其气体传感机理。本工作利用二维材料易于集成在微型器件

的独特优势，通过机械剥离和干法转移制备了基于 MoS_2/GaSe 异质结的自驱动气体传感器；并借助 MoS_2/GaSe 异质结在可见光照射下的光伏效应，实现对 ppb 级别 NO_2 的室温自驱动传感。其中，在功率密度为 12 mW/cm^2、波长为 405 nm 的可见光照射下，MoS_2/GaSe 异质结气体传感器能对 ppb 级 NO_2 实现稳定可逆的自驱动气体响应，且检测限达到 20 ppb（对应响应值为 6.3%），为目前所报道的光伏自驱动气体传感器中的最低检测限。最后，通过拉曼光谱和开尔文探针力显微镜等表征手段，分析并证明了 MoS_2/GaSe 异质结气体传感器在可见光照射下的自驱动气体传感机理。即在可见光照射下，MoS_2/GaSe 异质结内的光生空穴和光生电子发生分离，并产生短路电流；MoS_2/GaSe 异质结与 NO_2 接触后发生电子交换，引起其短路电流的变化，从而实现对目标气体的自驱动传感。该 MoS_2/GaSe 异质结气体传感器为低功耗的环境监测系统提供了理想的传感平台。

D04 -07

长效制剂用高分子辅料及局部植入器械

周绍兵*

西南交通大学

聚乳酸类高端药物辅料用作药物缓释、控释制剂具有传统制剂无可比拟的优点：不仅能提高药效，简化给药方式，降低药物的毒副作用，而且可通过控制辅料降解时间控制药物起作用的时间。聚乳酸及其共聚物类缓释制剂已有产品在临床上使用。然而，由于这类辅料生产工艺的复杂以及国家药典对药物辅料的严格要求，目前，这类缓释制剂所需的聚乳酸类辅料基本靠国外进口。本次报告将介绍我们课题组在聚乳酸类高端药物辅料的合成方面的研究进展，以及用其作为植入医疗器械取得的进展。

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分子材料，特别是液晶弹性体研究领域，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。

含稠并螺环力敏团的力诱导发光高分子材料

陈于蓝*

吉林大学

基于高分子力化学反应的力诱导发光高分子材料在应力传感、损伤探测等领域具有广阔的应用前景。然而，力敏团有限的力响应能力和单一的力刺激响应特性已逐渐无法满足多功能响应材料的开发及应力传感多模态分析的需求。我们近期的研究发现，可调控性强并且力响应信号输出丰富的稠并螺环结构已成为构建高灵敏、多模式力响应材料的关键功能单元，本报告将介绍我们近期在稠并螺环结构力敏团及其弹性体材料的设计合成、响应机理研究与应用探索方面的进展，展示稠并螺环结构力敏团在力诱导发光高分子的手性信号调控、受力状态及受力历史的可视化探测等方面的应用。

印刷电池一体化柔性电子器件

官操*

西北工业大学

本次报告主要介绍纳米储能材料和通过印刷方法获得高性能柔性电池和集成电子器件。通过梯度化阵

列化结构设计，增加电极材料的活性面积、缩短电子传输和离子扩散路径，并提高其循环稳定性。利用印刷方法，通过三维力学建模和开发新型的 3D 打印墨水，可充分利用电极材料的活性面积、缩短电子传输和离子扩散路径，并提高其循环稳定性，可有效用于柔性超级电容器中，获得良好的机械性能和电化学性能。

超低表面能界面微环境构筑大面积纳米粒子超晶格单层膜

龚二猛、刘旭、苑楠、宋丽平、黄又举*

杭州师范大学

等离激元超晶格膜材料作为一种具有独特表面晶格共振特性的“智能材料”，被誉为下一代生物传感、能源转换和医疗诊断技术中核心材料的“明日之星”。然而，长期以来，如何实现大面积、高精度纳米粒子定向有序排列，一直是困扰科研人员的技术难题。本报告基于前期提出的超疏水力诱导的超快速(5 秒)界面纳米粒子宏观单层自组装的纳米薄膜工程化技术（ Sci. Adv. 2021, 7, eabk2852）上，突破传统两相界面组装的固定思维，创新性地提出利用超低表面能全氟配体，构筑独立于水油两相的“界面第三相”微环境（J. Am. Chem. Soc. 2025,147, 10369）。这一微环境不仅利用其与水-油两相的不相溶性提升了界面稳定性，还通过其低表面能特性显著降低超晶格畴形成及愈合的能量势垒，成功实现了大面积等离激元超晶格单层膜的构筑，组装面积可达 11 cm^2。更有趣的是，研究团队还巧妙地将温度——这一通常被认为对超晶格组装起破坏作用的参数——引入组装体系中。在传统方法中，高温往往会导致纳米粒子通过配体诱导发生晶界扩散，形成热烧结结构，或促使纳米粒子团聚体的形成。为了深入理解这一组装机制，研究人员通过粗粒化模拟确认了超低表面能全氟微环境在界面独立于水和正己烷的存在。进一步的分子动力学模拟揭示了全氟微环境中油胺配体分子间弱范德华力吸引作用与全氟刚性配体间排斥作用的平衡，在畴愈合过程中对粒子的有序排列起到了主导作用。此外，通过调控不同的全氟配体，可以实现不同组分、形态的纳米及微米粒子的大面积超晶格构筑。这项研究不仅为纳米粒子超晶格组装提供了一种全新的策略，还为拓展超晶格在生物检测、柔性电子皮肤等领域的应用奠定了坚实基础。

液晶非线性光场调控

马玲玲*、陆延青

南京大学

本报告将基于铁电向列相液晶体系，阐释了自旋锁定的非线性几何相位编码原理和级联的线性/非线性自旋-轨道相互作用物理过程，通过对铁电向列相液晶空间极化矢量的动/静操控，实现对入射光的频率、相位、振幅、自旋/轨道角动量等光场自由度的多维调控，为发展高效率、可重构非线性光子器件提供了新思路和新途径。基于铁电液晶材料的非线性软物质光子学平台有望为在高阶涡旋光源、超分辨率成像、光信息处理等领域取得重要应用。

生物刺激素基智能纳米载体协同提升小麦赤霉病防效

钟廷珺*、杜凤沛、何承依

中国农业大学

农药作为防治农作物病虫害的化学手段，仍是当今的最主要措施，严重用药不当或停止用药都会造成农作物减产，直接威胁人类的生存与发展。科学使用农药，进而进一步提升单位耕地面积粮食产量，已经成为缓解粮食安全压力、满足健康膳食需求和加强农业生产的必由之路。功能型农药载体广泛应用于农药的缓释控释、提高对靶亲和性以及助力活性成分降解等方面。由禾谷镰刀菌引起的小麦赤霉病会导致小麦产量的大幅下降和霉菌毒素的污染，严重威胁人类和动物健康。由于小麦赤霉病多发于小麦麦穗部位，其疏水的表面性质和近乎垂直于地面的生长结构，极易导致农药药液难以沉积，造成病害的难防控；此外，禾谷镰刀菌的感染会导致小麦头部组织内的局部酸化。由此，我们利用生物刺激素聚谷氨酸构建了一种具有 pH 响应的对靶高粘附递送丙硫菌唑的纳米递送体系，此生物友好型体系在具备功能型载体优点的同时，作为活性物质促进植物生长，实现了农药对靶高效沉积和药肥协同增效的双重效果。在实际防治过程中，单一农药防治小麦赤霉病易使其产生抗药性，因此不同机制的农药组合是延缓抗药性的有效策略。现有农

药载体多为单一递送，缺乏协同增效且易残留造成环境负担。因此，我们紧接着创新性地通过多机制的包封，构建了一种具备 pH 响应、且按比例差异化释放的生物刺激素基纳米双药共递送体系。此体系基于聚谷氨酸和环糊精，利用分子对接设计，通过多机制包封负载戊唑醇和丙硫菌唑两种杀菌剂，实现了两种农药的差异化 pH 响应和精确按比例控释，从而达到协同增效、延缓抗药性、减少农药残留和降低环境负担的目的。上述研究服务于国家绿色农业的发展，为高效绿色农药纳米载体的构建提供了新思路，为小麦赤霉病的高效防治提供了新策略，为农药减量增效及“药肥一体化”提供了新支撑。

具有双稳特性的胆甾相液晶/聚合物复合材料

张慧敏*

西京学院

具有双稳特性的胆甾相液晶/聚合物复合材料通过材料分子结构、聚合物微观形貌设计与性能调控，在节能显示、智能调光等领域展现出巨大潜力。本研究分别构建了基于热固化环氧-硫醇微球锚定胆甾相液晶的体系，以及基于紫外固化丙烯酸酯-硫醇微球锚定胆甾相液晶的体系。系统研究了可聚合单体分子结构、手性化合物螺旋扭曲力、固化条件等对胆甾相液晶/聚合物复合材料的双稳态性能的影响。研究表明，可聚合单体分子结构、手性化合物螺旋扭曲力、固化条件等均会影响聚合物形貌，进而影响材料的双稳态特性。未来需进一步解决驱动电压、响应时间、环境稳定性、成膜性等问题，推动胆甾相液晶/聚合物复合材料从实验室走向产业化应用。

D04 -09

有机高温光热材料

秦安军*

华南理工大学

有机材料由于其热稳定性的问题，其应用温度基本低于 300℃。另外，传统的有机共轭分子合成相对复杂，条件较苛刻。针对上述两个问题，我们基于聚集诱导发光的分子内运动受限机制，反其道而行，通过简单、高效的点击反应并设计固态下具有大自由体积的分子构型，高产率地制备了具有近红外吸收的分子 ATT。该分子在 808 nm 激光照射下可实现创纪录的温升 450 ℃。基于该高温光热材料，实现了其在木材点燃、光焊接、高温形状记忆等方面的应用。

液晶态光学功能序构的构筑与操控

郑致刚*、胡宏龙、袁丛龙、刘璇

华东理工大学

液晶态物质具有外场响应与各向异性，已成功应用于平板显示领域。由于分子短程与长程作用的平衡，液晶通过自组装形成尺度达波长量级的光学功能序构，调制光传输、谐振等物理行为，实现光场构造与调控。液晶态物质的序构构筑一般受其自组装动力学主导，但面对光学功能对序构构效关联需求，以组装为动力的序构方式已不能满足要求，亟需在构效关联的基础上探索新的序构构筑策略。此外序构操控性是其迈向应用技术的关键，然而目前面临操控稳定性不高、抗疲劳性不强、动态域不广等难点。围绕序构构筑与操控问题，本报告聚焦液晶态光学功能序构的构筑策略与操控性能，探索了基于表面相互作用诱导的光学功能序构，突破了序构的稳定性，实现按需编辑。从分子尺度入手，设计基于位阻型二芳基乙烯结构的光敏液晶体系，实现了具备高稳定性、强抗疲劳度、多稳态的光控液晶态微结构，突破了长期以来液晶体系光调控稳定性差、抗疲劳度弱的瓶颈问题；设计基于二聚体液晶的电控液晶体系，实现了广动态域、低电场可控，解决了传统液晶电操控动态域窄的普遍难题。

激励响应高分子材料及其智能变形结构应用

张风华*、刘彦菊、冷劲松

哈尔滨工业大学

激励响应高分子材料是一类智能高分子材料能够根据外界环境的刺激，如温度、湿度、光照、磁场、电场等变化，进行智能响应，展现出不同的物理和化学性质。这类材料具有感知、驱动、控制、自修复等功能，其多功能应用广泛，在航空航天、生物医疗、智能纺织、柔性机器人及智能制造等领域发挥着重要作用。团队研发了多种激励响应高分子材料及可变形结构，重点探究了智能材料与结构在药物控释、组织工程、4D 打印等领域的验证及应用。智能响应高分子材料及其结构凭借其独特的智能化和多功能化特性，正逐步引领未来科技的发展方向，有望为人类生活带来更多颠覆性的变革。

偶氮光开关分子的单晶异构

李涛*

上海交通大学

单晶到单晶（SCSC）光异构化是指光开关分子在紧密堆积的晶态下的直接结构转变，保持晶体晶格中的长程有序性。尽管偶氮分子是应用最广泛的光开关之一，但至今仍未实现 SCSC 光异构化。这是由于偶氮分子异构前后需要经历大的体积变化，对其保持单晶性提出了巨大挑战。在此，我们首次证明了一种双吡唑偶氮分子在 365 nm 和 500 nm 光照下能够实现高质量的可逆的 E⇄Z SCSC 异构化。我们通过单晶 x 衍射仪系统地监测了单晶异构化过程，捕捉到了中间态结构，并提出了一种涉及构象变化和多向双层滑移的机制。我们认为，偶氮分子自身高效的光异构化能力以及异构化前后晶格的相似性，是偶氮分子从单晶到单晶光异构化的重要保障。我们的工作为未来偶氮单晶相变材料的设计和应用奠定了重要基础，有望推动其在光控材料领域中的进一步发展。

含水黏附材料的智能调控机制

薛龙建*、罗小杭、张凯杰、任员缘

武汉大学

在自然界中，很多动物利用可逆黏附进行运动。这些动物脚上的多级刚毛或多边形平滑垫对可逆黏附性能起着至关重要的作用，这类黏附也因此被称为结构黏附。同时，很多动物体表具有黏液（如蛙类）或者会向接触界面定向分泌液体，这类黏附统称为湿态结构黏附。这些液体的组分十分复杂，对黏附的影响机制不明确。针对这些科学问题，我们开展了一系列工作。我们合成了含有过饱和醋酸纳的水凝胶，其在室温环境下保持无定型状态；当与黏附表面接触时发生相转变，模量大幅提升并与接触表面形成结构互锁，获得强黏附力。而在水凝胶中引入疏水性基团则可以将界面水排除出去，实现固态接触，进而实现水下的强黏附。通过改变水凝胶的表面结构和液体组成，深入解析了液体表面张力和粘度对黏附的贡献占比。通过构建多孔材料向界面动态传输液体，实现了动物黏液分泌功能的模仿；进一步揭示了刚毛微结构与液体耦合所带来的生物进化优势：可以大幅降低动物形成黏附的时间，获得强黏附（同样适用干态黏附的接触细化机理），并会减少脱附后的液体损失，减少脱附的距离。综合而言，我们的研究深入解析了湿态黏附的机理，为湿态结构化黏附材料的开发奠定了坚实的基础。

多步双向可变形的液晶弹性体

姚昱星*

香港科技大学

近年来，为实现软体系统对环境的智能响应，研究者不断探索具备逻辑驱动功能的软物质驱动器，使其在刺激下实现结构变形与功能调控。目前常用策略依赖双稳态之间的单一转换，功能受限。为了实现更复杂的变形逻辑，已有研究尝试在驱动器中引入几何设计或瞬态行为作为辅助。相较而言，开发能够在单一材料模块中实现多个相变的系统，将更高效地拓展材料的可编程变形能力，尤其是在实现方向相反、顺序切换的变形方面。但在现有材料体系中，实现任意方向的相反变形仍缺乏普适的化学设计策略。

在本研究中，我们设计并合成了一种新型液晶弹性体（LCE），其在连续热刺激下沿着预设取向轴可实现两个阶段的方向相反变形：先收缩，后膨胀。该材料的关键在于其内部液晶的双阶段相变与聚合网络间的协同响应，从而在单一材料中引入非单调的形变能力。通过在光刻过程中引入磁场调控，精确设定微结构中 LCE 的排列方向，该非单调形变能力可以被用于实现倾斜与扭转等复杂形变。

同时，我们展示了这种局部相变驱动的反向变形行为可扩展至宏观尺度，用于构建具有可逆高斯曲率切换功能的径向排列膜结构。最后我们展示了该种材料可以用于微型致动器，或者模拟动植物稳态的孔隙非单调调节。

基于光驱动分子马达的响应型液晶材料

陈家文*

华南师范大学

以大位阻烯烃为基础的光驱动分子马达有着特殊的性能，它能够单向地连续转动，转动的方向由分子的绝对构型所决定。在转动过程中，分子马达的构型与螺旋手性可以通过光与热信号被动态的精确控制。这种光响应性及手性的动态变化，可被用于响应型材料的构建中。液晶材料由于本身分子排布的相对有序性，与分子马达相互作用后，能形成结构相对规整，且具有较强取向性的材料。所得的材料能有效地将光驱动分子马达微观尺度上单向旋转运动，转变为宏观层面上材料的特定性能。分子马达可以作为手性掺杂剂，动态调控所得胆甾相液晶的螺旋扭曲率，进而改变液晶薄膜的反射光波段，从而制备一系列调光材料。此外，将分子马达作为制动器，通过光刻、3D 打印等方法，可以制备一系列能够在光信号刺激下实现精确且复杂形变的高分子液晶材料。

皮牛力学显微成像揭示高分子网络分子尺度的微观非均匀性

郑锴锴[1]、张一帆[2]、李博[3]、Steve Granick*[4]

1. 浙江大学化学工程与生物工程学院

2. 中国科学院化学研究所

3. 武汉大学高等研究院

4. 麻省大学高分子科学与工程学院

高分子网络凭借其卓越的形变能力，在生命健康与军工航天等领域具有重要应用价值。然而，受限于现有合成策略，其分子尺度的微观非均匀性普遍存在（如悬垂链、悬垂环及网格拓扑异质性等），显著制约其宏观力学性能。然而，传统宏观力学测试与微观结构分析存在时空解耦，难以解析材料断裂前分子尺度的应力分布。本研究通过设计合成力学响应型磷光探针分子，将其精准标记于高分子网络的交联位点处作为力学传感单元，进一步耦合宏观拉伸平台与单分子显微成像技术，发展皮牛力学显微成像方法。本研究首次实现了对高分子网络中单个交联点动态响应行为的原位实时测量，揭示以下核心规律：交联点在拉伸场下的迁移、受力及能量耗散过程呈现显著时空异质性。该方法为高分子材料微观力学机制研究提供了新视角。

响应性的过渡金属硫化物纳米剂构建与抗肿瘤应用

张秋红*

国科大杭州高等研究院

癌症（恶性肿瘤）是威胁人类健康的重大疾病之一，其中肿瘤微环境在癌症的发生进展中发挥着重要作用。随着纳米医学概念的提出和纳米药物的成功临床应用，越来越多的纳米材料被应用于抗肿瘤治疗。过渡金属硫化物独特的物理化学性能使其在生物医学领域备受关注，我们通过构建一系列肿瘤微环境/肿瘤免疫微环境响应性的过渡金属硫化物纳米剂，以及响应外部施加的外场如 X 射线、近红外光照等，实现了高效的肿瘤放疗、化疗、光热治疗以及免疫治疗。研究工作为攻克临床重大疾病提供了重要参考和新材料解决方案。

D04 -10

智能软材料的相分离调控

武培怡*

东华大学

随着物联网时代的到来，人机交互的需求也在推动着仿生智能材料的发展。特别是，受生物组织的大分子网络和离子信号的启发，智能软材料，包括凝胶和非挥发性离子弹性体，由于许多仿生特性，如生物相容性、柔软性和离子传导性，引起了越来越多的研究者的兴趣，也已经发展出了丰富的功能，实现了广泛的应用，成为了促进人机交互的重要候选材料之一。拟综述生物启发的准固态离子导体在人机交互平台的最新进展；涵盖了从材料、加工和应用到未来的机遇与挑战等主题；从生物启发的概念和人工离子导体的历史出发，展示团队前期在准固态离子导体领域的一系列研究工作，简要讨论了准固态离子导体的在实际应用中的机遇与挑战。

智能光热调控材料与器件

曹逊*

中国科学院上海硅酸盐研究所

动态辐射热管理技术通过材料对外界环境温度的响应而切换自身热管理模式，以此实现可调节的加热和冷却效果，从而扩展其潜在应用。实现动态辐射热管理主要有两种策略：调节材料的太阳辐射吸收或调整其热辐射特性。传统用于全季节热管理的材料常常受到切换速度慢、循环耐久性差和机械强度不足的限制，这极大地制约了它们的实际应用。本次报告基于二氧化钒（VO_2）、氧化钨（WO_3）等材料的动态热管理的系统研究，研究其在智能窗等透明器件中的应用。

摩擦起电材料与智能系统

陈翔宇*

北京纳米能源与系统研究所

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

多维瑞利波动的光控自动管状柔性执行器

吕久安*

西湖大学

生物管状蠕动器官能够通过肌肉管壁的非对称、非平衡自振荡变形，在时空上周期性地变形其肌肉管壁，从而实现适应性强（适用物质种类丰富）且可持续的蠕动泵送。然而，当前人造管状柔性执行器的管壁运动具有单调性和互易性的特点，无法打破时间反演对称性和系统平衡，因此表现出较低的泵送性能。受生物力学原理的启发，我们成功设计和制备出一款具有多维瑞利（Rayleigh）波动特征的光控自动管状柔性执行器，能够实现多模态、非互易、自持续的管壁变形波动，这使得系统可以适用于种类丰富物质的高效蠕动泵送，有力推动了仿生管状蠕动泵送技术的进步。

液晶弹性体薄膜电解质结构设计与性能

苗宗成*、严瑞

西北工业大学

液晶弹性体（LCE）由于其独特的各向异性网络和刺激可编程特性，已成为下一代电解质的转化材料。本研究为具有多级离子传输通道和多模响应性的 LCE 电解质的设计提供了一种新的思路。LCE 电解质采用巯基丙烯酸酯聚合工艺制造，可精确控制交联密度和中间相行为，探讨了刚性/柔性链单元比例和疏水/

亲水特性对离子输运的多相协同效应。通过调整电解质体系的刚度和柔韧性，改变交联密度，可以优化体系的力学和电化学性能。此外，微孔和纳米孔结构的制备有可能产生均匀的 Li+溶剂环境，从而促进离子在界面和体相中的协同传输。此外，在连续网络中同时存在宏观非晶和微观短程有序结构也促进了离子的定向输运。本研究为下一代锂离子电池的智能响应设计提供了一个可扩展的平台。

基于灰度数字光处理的形状可变 4D 打印及机器学习逆向设计

岳亮*

香港科技大学（广州）

数字光处理（Digital Light Processing, DLP）3D 打印是一种高速度，高精度的光固化打印技术。近年来其应用已从早期的快速成型逐渐扩展到各种智能器件的打印。单一材料已经无法满足各种功能化的打印需求。通过聚合前驱体材料上的创新设计并结合灰度数字光处理技术(grayscale DLP)对单体转化率精确控制，可实现大范围内调控打印结构的力学特征。该技术利用单一前驱体实现了多材料功能结构的一体成型，极大拓展了数字光处理 3D 打印的应用范围。

4D 打印技术进一步赋予 3D 打印结构动态形变能力，使其在温度、湿度等外界刺激下随时间自主改变形态，类似“变形金刚”的智能响应特性。然而，复杂形变过程的精确控制仍面临重大挑战，尤其是高精度材料性能分布设计与多自由度变形路径规划。通过循环神经网络（RNN）等算法解析材料变形规律，结合梯度下降（ML-GD）与进化算法（ML-EA）的全局优化策略，可快速逆向推导最优材料分布方案，将传统有限元模拟的耗时计算（数小时至数天）缩短至秒级，极大提高了 4D 打印逆向设计效率。

Monolayer montmorillonite-based liquid crystal and its electro-birefringence response for electrochromism

Shengkai Chang, Jiarong Liu, Jiayu Chen, Yunhao Zhang, Zhongyue Wang, Ziyang Huang, Bilu Liu*

Tsinghua Shenzhen International Graduate School

Clays, pivotal in human civilization for millennia, are re-emerging as promising candidates in applications such as liquid crystals (LCs) after two-dimensional (2D) delamination. However, the scalable exfoliation of monolayer clays with high geometrical anisotropy remains challenging, hindering fundamental investigations and applications of 2D clay LCs. Here, we develop a cation exchange capacity (CEC) controlled exfoliation to achieve monolayer production of montmorillonite (MMT), a typical aluminosilicate clay. The optimized exchange ratios based on the CEC of MMT enable stepwise swelling and delamination, thus achieving 2D MMT with a record-high aspect ratio of ~600. Then, we observe lyotropic liquid crystalline behavior in 2D MMT and discover its electro-birefringence Kerr effect with a high sensitivity of ~1.0×10^{-3} m V^{-2}. By leveraging the interference from electro-birefringence, we demonstrate electrochromic devices capable of reversible electro-optical switching and dynamic coloration. This work provides an effective strategy to prepare monolayer clays and bridges natural resources with novel 2D LCs, advancing sustainable materials in smart optics and beyond.

力刺激响应智能变色聚合物及纤维材料的研究

王雯雯*、刘飞霞、魏佳俐、张浩

武汉纺织大学

力致变色聚合物及智能纤维材料是一类通过机械力刺激实现颜色变化的智能材料，其核心机制包括分子链构象改变、化学键断裂、晶体结构重组等。力致变色现象的本质是材料微观结构与宏观光学性质的动态耦合，如螺吡喃类材料的力致开环反应可产生显著的蓝移现象。胆甾型液晶弹性体（Cholesteric Liquid Crystal Elastomers）是一类将胆甾型液晶的光学各向异性与弹性体网络的力学响应性相结合的智能材料。其核心特征在于分子链呈螺旋状有序排列（胆甾相），并通过交联形成弹性网络，赋予材料“力学刺激-光学响应”的耦合特性。目前，如何协同提高材料的回弹性、力响应灵敏度及可逆性仍面临重大挑战。

本研究通过对力致变色聚合物的化学结构优化，并借助纤维物理结构与形貌的调控，构筑了高灵敏度、高颜色饱和度、高回弹的力致变色弹性纤维，揭示了力致变色纤维回弹性、变色灵敏度、变色可逆性等协

同提高机制，探究了其在智能纺织品领域的应用，为智能纺织品的发展奠定了坚实的基础。

D04 -12

柔性智能刺激响应功能材料研究

董丽杰*、冯锐、苏芃、刘铂薇

武汉理工大学/武汉科技大学

柔性智能刺激响应功能材料作为一类能够感知外界物理或化学刺激并产生响应和反馈的先进材料，是构建新一代智能传感和人机交互的核心基础[1]。其技术发展正深刻影响着国防安全、工业制造、个人健康管理等多领域的革新进程[2-3]。随着软体机器人、智能穿戴设备、人机互联等前沿技术的快速演进，兼具高灵敏度、宽响应范围、多模态信号感知和快速应激反馈特性的柔性智能材料需求日益迫切。其中，力感知柔性传感材料作为典型代表，可实现对压力、形变等外界刺激及其耦合信号的精准捕捉。为提升柔性传感材料的灵敏度，项目组提出基于模量失配机制，诱导聚合物表面自发形成具有离子通道的网状自褶皱微结构。该结构不仅能增强材料的能量耗散能力，还可为离子迁移提供高效传输通道。通过该技术制备的离子导体应变传感器，其灵敏度因子（GF）高达 7.02，刷新了现有离子导体型应变传感器的性能纪录。该传感器可精确识别人体关节运动角度变化、笔触压力感知以及莫尔斯密码信息传递等场景。此外，聚合物结构中丰富的离子基团及离子间相互作用，赋予该传感器自粘附与自愈合特性，使其能够稳定监测人体关节运动行为。面向多场耦合机制的刺激响应功能材料设计，本项目组基于自研超细磁致伸缩纳米纤维与压电聚合物 P(VDF-TrFE)，开发出一种新型柔性磁电纳米复合薄膜。利用聚合物模板 sPPTA 制备的磁致伸缩纳米纤维尺寸与 P(VDF-TrFE)晶体尺寸匹配，实现了两相间高效应力传递。即使纳米纤维掺量低至 3 wt%，薄膜仍表现出高达 43.0 mV cm^{-1} • Oe^{-1} 的磁电耦合系数。此外，力-电转换性能在施加磁场后提升了 7%，验证了磁场对应变响应的有效调控。该方法为力感知柔性传感材料的设计与性能优化提供了新思路。

在 Cell Press 发表材料研究文章

林宇卿*

Matter 编辑，Cell Press

本报告旨在向大家介绍 Cell Press 细胞出版社的物质科学期刊阵容，尤其是材料学科刊物 Matter 的期刊宗旨与定位，并向大家介绍 Matter 的文章发表现状与遴选过程，让投审稿流程更清晰透明。同时简单介绍 Matter 最近主办和参与的一些学术活动，期望有机会和老师同学们多多交流。

基于刺激响应材料的印刷柔性太阳电池研究

胡笑添*

南昌大学

在柔性可穿戴电子器件与节能建筑一体化的发展趋势下，新型薄膜太阳电池展现出广阔的应用前景。然而，其固有的易脆性、结晶性问题及柔性透明电极材料的选择限制了其性能提升与大规模应用。本研究以刺激响应功能材料为基础，结合柔性印刷工艺与仿生设计策略，开展柔性太阳电池的集成设计与大面积印刷制备研究。通过调控墨水协同分散行为与剪切响应过程，实现了多种光电功能材料的一致性形貌印刷；开发了一套基于新原理与新概念的高精度光电器件印刷系统，具备自主知识产权，并成功应用于大面积柔性透明电极及光伏模组的印刷制备。

智能非共价协同与动态共价聚合物

刘小孔*

吉林大学

高分子材料是支撑人类社会与经济发展的重要基础材料。面向可持续发展社会以及人类社会对高新科技的需求，发展可持续性（可循环、可降解、可回收）与功能性的新型高分子材料成为高分子材料领域的重要发展方向。利用超分子科学的原理与方法创制可持续性与功能性高分子材料虽展现出巨大的发展空间，

但却面临重要挑战。我们课题组将超分子科学理念融入到高分子材料创制中，围绕“如何利用非共价键的多重协同与动态可逆性调控并增强非共价及动态共价聚合物的力学性能与稳定性”这一科学问题，建立了“非共价协同与动态共价聚合物”研究体系；提出了“空间限域非共价交联”的策略，实现了聚合物体系中多重非共价键协同性与动态性的有机结合；突破了非共价交联聚合物力学性能与稳定性差的瓶颈，调和了高分子材料增强与增韧的矛盾；发展了系列具有超强超韧力学性能与近似于共价交联稳定性的可持续性高分子材料；构筑了系列具有定制化力学性能的导电高分子材料并开发了其在柔性电子、人机交互、智能制动器等方面的应用。

人工肌肉纤维的感知功能集成与智能机器人中的应用

董立忠、邸江涛*、李清文

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所

生物体拥有一个神经肌肉系统并通过神经和肌肉组织的协同作用来感知外部变化并执行运动。例如，蜗牛的触角在被碰触或非常接近时会收缩。这种应激性有助于蜗牛躲避突然的危险，增加对环境变化的适应能力。随着软体机器人的快速发展，非常需要一个简单的集成系统以使机器人技术更加智能、先进和逼真。虽然传统的刚性机器人可以通过电机与传动系统、力传感器和摄像系统来实现感知-驱动-反馈功能，但这些单元的集成往往限制了机器人的小型化和灵活性。人工肌肉纤维的发展为制备更紧凑和灵活的驱动单元提供了新机会。像自然肌肉组织一样，人工肌肉纤维可以在热、湿度、溶剂和电化学等刺激的驱动下提供大而可逆的收缩行程，同时提升重物。在纤细的人工肌肉纤维中集成感知功能以适应环境变化和实现驱动反馈是非常必要的，但由于纤维的驱动和传感单元之间的界面不匹配仍具有挑战。在此，我们报道了一种人工神经肌肉纤维，通过将碳纳米管（CNT）纤维芯依次包裹在弹性体层、纳米纤维网络和 MXene/CNT 薄鞘中，在弹性纤维中实现了巧妙的感知-判断-运动的智能系统。CNT/弹性体单元提供了驱动功能，鞘层由于其应变电阻响应特性实现了触摸/拉伸感知和无滞后的循环驱动追踪功能。作为一个整体，该同轴结构建立了一个介电电容器，实现了敏感的非接触感知。精巧集成的关键是使用了纳米纤维界面，其允许传感层自适应追踪但不限制驱动行为。这项工作为未来智能软体机器人的闭环控制提供了创新的解决方案。

电致变色多光谱调制器用于热伪装与辐射制冷兼容

丁一琳[1]、梅哲跃[2]、刁训刚[2]、张如范*[1]

1. 清华大学

2. 北京航空航天大学

热伪装技术为红外探测提供了关键的应对策略，但该技术在环境适应性、多光谱兼容性和同时热管理方面仍然存在持续的挑战。传统静态热伪装材料通过低发射率涂层降低红外辐射，但宽谱低发射率会阻碍热量散发，导致目标温度飙升，最终“热到暴露”，严重制约其在军事、航空航天等领域的实际应用。为了解决这些问题，本研究提出了一种电响应的光谱选择性调制器，该调制器协同集成了动态热伪装和辐射散热。在红外探测波段（3-5 μm 和 8-14 μm）内，该调制器可实现明显的发射率调制（$\Delta\varepsilon_{max} = 0.76$）；在非探测波段，调制器可实现较高的发射率（$\varepsilon_{max} = 0.79$），用于被动被辐射散热。这种光谱选择性有效解决了传统技术"低发射率伪装"与"高发射率散热"的矛盾，同时可梯度调节发射率，支持多级动态伪装切换。调制器的多光谱操作性进一步通过动态漫反射率控制（可见光和近红外波段的最低反射率 $R_{lowest} = 0.07/0.05$）和太赫兹吸收率调制（$\Delta A_{max} = 0.66$）得以证明，从而实现全光谱自适应隐蔽。该调制器在没有外部加热的情况下实现了近 10 ℃ 的表观温度调制，有效地将 70 ℃ 的目标伪装为 40 ℃。通过理论建模（峰值冷却功率：367 W/m^2）和实验验证（在 60 ℃ 下与传统宽光谱隐身表面相比减少约 6 ℃），验证了辐射冷却的有效性。实验表明，EWEM 具备快速响应（<6 s）、超长循环稳定性（>10 秋）及良好柔韧性，可集成于复杂曲面目标表面，并支持红外信息加密功能。这些集成的功能使得该调制器在动态环境中更具实际适用性，也为下一代智能隐身系统在国防、航空航天、信息安全和节能热调节应用中奠定了多功能基础。

D04 -13

液桥限域微加工技术与器件

吴雨辰*

中国科学院理化技术研究所

以集成电路为代表的先进制造业和信息技术产业是国家重要的战略发展方向。过去几十年中，纳米科技的发展创造了多种性能优异的纳米材料，但这些材料与传统无机半导体微加工技术不兼容，难以集成到光电器件中。液相微加工技术条件温和，是实现纳米材料到光电功能器件的关键途径。如何控制材料在液相微加工过程中的宏观图案化构筑和微观有序组装成为了高性能光电功能器件产业发展的关键技术瓶颈。为此，报告人从液相加工的关键媒介“界面”出发，结合界面微结构与化学修饰协同作用开发了液桥限域微加工技术：在宏观液膜中，调控局部毛细力梯度分布诱导液膜可控收缩形成图案化微液桥；在微观液桥中，调控蒸发毛细流和马兰戈尼流的动态平衡诱导结构单元的有序组装，实现了大面积、高精度的微单晶图案化制备，构筑了高性能光电器件和功能耦合器件。

光/热辐射动态调控超表面

李洋*

浙江大学

光和热是自然界最普遍的能量形式，也是现代文明最常用的两种能源。光热调控技术通过精密设计亚波长尺度的光学超表面与器件，突破了自然材料的局限，赋予其特殊的光学和热学性能。这种颠覆性技术在太阳能利用、建筑节能、农业大棚等“双碳”目标的核心领域，以及军事伪装、航天器热控、红外探测等关乎国家利益的重大领域中，具有广泛的应用需求。本报告将梳理课题组近 3 年在光/热辐射动态调控方面的工作，介绍湿度响应、温度响应、光响应以及多刺激响应的光/热辐射调控超表面与器件。

光学信息安全材料和器件

黄伟国*

中国科学院福建物质结构研究所

随着不法分子伪造技术的不断进步，传统荧光防伪技术正面临着前所未有的挑战，这对社会治理、经济发展乃至国家安全都构成了严重威胁。从化学材料学的角度来看，传统荧光油墨分子直接印刷在基质（材）表面且用量较大，导致其分子结构和元素组成容易被破解；而在光学信息学层面上，传统荧光防伪技术完全依赖油墨的本征静态发射特征，防伪逻辑简单，且缺乏构建高阶逻辑运算所需要的多维可控的动态光学响应行为，使得其所承载的光学信号易被仿制。为应对这一挑战，申请人基于化学、材料学、光学、电子工程和信息学等多学科交叉研究，提出了“多米诺效应诱导发光”新机制，开创了荧光油墨与基质之间协同动态发光的新模式，实现了基质刚性增强诱导荧光分子发射大幅红移的原创性发现。在此基础上，申请人进一步挑战了光学防伪材料和技术的升级变革，创制了防破解且具有丰富动态响应行为的荧光分子功能体系，开发了嵌入式荧光图案打印技术，构建并集成了高阶缜密的分子逻辑门和光子逻辑门，解决了现有荧光防伪技术易破解、易预测和易仿制等难题，推动了该领域的快速发展。

基于液态金属复合体系的刺激响应功能材料研究

陈森*

南京航空航天大学

受生物智能行为启发，刺激响应功能材料可通过外界刺激主动调控性质，实现类生物功能。镓基液态金属凭借室温流体中最大的导电导热性、高表面张力、优异流动性、良好生物相容性及本征响应特性，成为构筑此类材料的理想平台。本研究聚焦液态金属复合体系的设计制备及其多刺激响应机制与功能开发，通过将液态金属与聚合物（弹性体/水凝胶）、溶液（酸碱 / 盐溶液）及功能壳层复合，构建了液态金属基多功能响应复合体系。系统表征表明，复合体系保留液态金属本征特性，并通过组分协同与结构设计实现性能增强：① 液态金属 / 溶液体系中，铜铁离子诱导液态金属分散型运动（如自生长类蛇行运动、自发分散等）；② 基于电场响应行为，开发液态金属存储器，其氧化 / 去氧化记忆机制模拟生物神经元极化过程，为全柔性存储器及神经形态器件奠定基础；③ 液态金属 / 聚合物体系展现温度响应性，可逆调控

导热 / 导电通路，实现自适应热管理，在自动控温热疗等应用中展示出独特价值；④ 液态金属核壳结构通过功能化壳层修饰，在光热响应中表现优异抗菌抗炎性能。本研究揭示了液态金属复合体系的刺激响应机理，展示其在可重构软体机器人、生物医学及智能传感驱动等领域的应用潜力，为开发高性能多功能智能响应材料提供了关键技术路径。

有机硅氧烷复合膜的异常热致变色与滞后褪色机制

肖明*

四川大学

智能窗在建筑节能和热管理领域具有重要应用，其中热致变色材料可根据环境温度自适应调节透光率，降低空调能耗。然而，传统热致变色材料主要追求高灵敏度和快速变色，难以满足长期热历史指示和持续热管理需求。本研究构建了一种具有长时滞效应的热致变色复合材料，采用疏水二氧化硅纳米粒子在聚二甲基硅氧烷（PDMS）基体中自组装形成功能薄膜。该材料在 60 ℃ 以上加热数分钟后由无色半透明状态转变为蓝色，并在 20 ℃ 环境下可维持蓝色超过 8 小时。此外，随着环境相对湿度的降低，颜色恢复时间进一步延长。通过结合水分吸收测试、折射率测量及光学模型计算，我们发现颜色变化来源于瑞利散射和多重散射的共同作用，而长时滞变色现象意外地由水分缓慢吸收所引起。该材料的热响应特性和长期稳定性为零能耗热管理提供了新策略，有望广泛应用于智能窗、热历史指示器及节能建筑领域，推动热致变色技术的进一步发展。

仿生异质 MXene 界面工程：湿气响应与水能转换

张宝萍*

香港理工大学

纳米限域空间内物质的快速输运可引发超越体相材料的独特界面效应。尽管在海水淡化、离子筛分及能量收集等领域已取得重要进展，现有研究多聚焦于单相液态输运，而缺乏对涉及动态相变过程的调控。受自然界多尺度水分响应现象的启发，例如松果的湿气响应缓慢开合，自埋种子的螺旋卷曲，豆荚的爆炸式释放，我们构建了兼具浸润性与刚度异质性的仿生 2D MXene 界面工程，实现了恒定湿气条件下快速连续可逆的湿气-机械能转换，并进一步展现了在湿气发电和可编程驱动领域的应用潜力。该工作深化了对纳米限域水输运的动力学认知，拓展了微观流体行为到宏观工程应用（如软体机器人、人工肌肉及湿气发电），为 MXene 基湿气响应材料在水能转化领域的创新应用提供了新范式。

本征光热驱动可重构液晶弹性体

王猛*

东南大学

本征光热响应可重构软驱动器引发了广泛关注，其可以通过改变驱动模式以满足多样化实际需求。然而，在设计合成兼具可聚合/可交联基团及多功能特性的有机光热分子方面仍存在挑战。本工作报道了一类新型多功能光驱动可重构液晶弹性体材料（PUOLCE）。该类材料通过将多功能动态共价有机光热分子作为扩链剂、光热剂及动态共价键前驱体，化学键合至液晶弹性体网络中，从而赋予材料本征光热响应性与动态特性。基于 PUOLCE 的本征光热效应，其动态肟-氨基甲酸酯键可在近红外光触发下发生快速交换反应，实现材料高效焊接。利用近红外辅助焊接策略，PUOLCE 基元可组装成具有新型形变模式的复杂驱动器。此外，已组装的驱动器在近红外光调控下可便捷重构，执行不同机械任务，如花朵绽放、抓取物体及抬升物体等。通过控制近红外光照区域，PUOLCE 驱动器可实现全局或局部光驱动运动。该研究为开发具有可编程形变能力的自适应软驱动器提供了新思路。

驱动温度可调的液晶弹性体材料

姚艳锦[1]、吉岩*[2]

1. 贵州大学机械工程学院材料成型及控制工程系

2. 清华大学化学系

液晶弹性体（LCEs）是一种理想的软驱动器材料，在人工肌肉，软机器人等高科技领域有重要应用潜能。液晶弹性体的液晶相转变温度（Ti）是液晶从各向异性到各向同性的温度转变点，其精确调控是实现材料多功能化的关键所在。这类材料的应用温度范围、智能形变效果以及复杂驱动形变结构的编辑功能等，都深受其 Ti 的影响。然而，Ti 一般由材料化学组分、分子结构及材料凝聚状态决定，一旦材料被合成出来，其 Ti 往往被“锁定”，难以灵活调整，这极大地限制了 LCEs 的应用范围。传统调控 Ti 的方法主要依靠物理退火和化学合成，但两者均有局限性。物理退火能暂时改变 Ti，但不稳定。化学合成则需从头设计分子，成本高且复杂，难以广泛应用。所以目前针对这种液晶材料 Ti 的调控不仅在普通高分子液晶材料中难以实现，在完全交联固化的液晶弹性体材料体系里更是难上加难。在此工作中，通过利用交联体系中的动态酯交换反应，成功改变了材料的网络拓扑结构，从而实现了对 Ti 的精准调控。并且证实这种调控方案不仅稳定有效，而且可以实现可逆调控，还能在不同的动态共价自适应网络实现，具有一定的普适性。这一技术不仅能从单一原料组分的交联结构的液晶弹性体中调控出多重不同驱动温度的软执行器，还能在同一张薄膜上实现多重 Ti 的复杂图案化相态调控，为液晶弹性体材料的多功能化和广泛应用开辟了新途径。

光驱动液晶智能材料

兰若尘*

江西师范大学

光响应分子机器是能够实现光到机械能转换的单分子装置，如何将分子机器的纳米尺度异构性转化为宏观材料是一个智能分子材料研究中的基本科学问题。液晶聚合物材料兼具液晶的各向异性和聚合物的弹性，液晶分子的协同效应可以将纳米尺度上的扰动放大为宏观材料的响应行为，因此液晶聚合物可以用作桥梁，连接纳米尺度分子的异构性和宏观材料的智能响应行为。本文提出了一种由拥挤烯烃分子马达、腙分子开关和 DASA 分子驱动的光响应液晶聚合物材料的构建策略，揭示了分子结构和交联模式对光响应液晶聚合物响应行为的影响，阐明了新型光响应液晶聚合物的响应机制。

D04 -15

纳米片磁流体控制手性液晶单畴生长

成正东*、陈明风

浙江大学

软物质单晶正成为新一代技术革命的材料基石，正如单晶硅奠定了硅时代的发展。然而，由于手性液晶的螺旋结构引入了额外的自由度，制造手性向列相单晶面临巨大挑战。我们首次通过磁场调节介观相分离，借助各向异性的铁磁纳米片、实现了溶致手性向列相的大面积单畴生长。该过程发生在由铁磁纳米片和纤维素纳米晶（CNC）的水性胶体混合物中。在相分离过程中，首先产生出手性向列相类晶团聚体(tactoids)，其中纳米片的磁极轴和法向与 CNC 棒的轴向垂直。在弱磁梯度下，类晶团聚体沿磁场方向均匀取向并定向平移、聚结成一个均匀的单畴液晶。与传统使用球形磁性纳米粒子不同，纳米片的各向异性形貌减少了手性液晶缺陷、实现了高度有序的手性结构。此外，尽管铁磁性纳米片浓度低，单畴结构在磁场移除后仍保持稳定。体系的磁响应性和可调的磁光性质使其成为制备自适应光子器件的多功能活性材料。我们利用场响应性纳米片来指导软物质组装，它也可以推广到其他体系、为软物质中的有序相工程制备提供了一个很好的范例。

全生物质基光学标签

王瑜*

南京大学

开发兼具绿色/生物相容/可降解、功能复用、安全智能的光学标签，不仅对实现光学标签技术与生态环境及生物系统的兼容和交互具有重要价值，还将提升其在多维光学成像、高容量信息存储、高安全信息防伪/加密等领域的应用潜力。生物质材料因具备“可持续性”、“可降解性”、“结构性”、以及“技术性”等特性，已然成为发展新型光学标签技术的“明星”材料来源。本报告将重点介绍基于生物蛋白的动态响应余辉

材料，功能复用成像平台以及多模态 PUF 标签，并系统阐述通过跨尺度精细调控光-物质相互作用实现多重光学效应/功能协同输出的创新策略。

自恢复应力发光智能材料及应用研究探索

彭登峰*

深圳大学

应力发光（Mechanoluminescence）是指发光体在机械力作用下产生的发光现象，亦称为力致发光。应力发光材料与普通发光材料存在激励方式不同，具备“力”激励发光的独特特性。由于其无需光照和通电即可发光，部分应力发光材料在清洁光源和可视化应力探测方面展现出独特优势。具有自恢复性（Self-recovery）的应力发光特性半导体材料，如 ZnS:Cu 与有机硅胶弹性体复合后，在数十万次反复动态压强下仍能保持可重复的发光性能，在可视化应力传感和智能无源显示器件领域展现出极为重要的应用前景。本报告主要介绍通过材料结构组合设计和制备工艺条件优化，在 CaZnOS、ZnS 和 ZnS/CaZnOS 等半导体基质单体与异质结材料中，成功实现了数十种稀土离子、过渡金属离子的有效掺杂和高亮度应力发光，获得了单一基质从紫外到近红外全光谱的力致光子发射。同时，通过工艺条件优化，不仅提高了发光强度，还降低了合成成本。基于所合成的应力发光材料，我们在阐明其机理的同时，展示了其作为自驱动微光源，在工程应力/应变分布可视化成像、体育运动力监测、电子签名笔、节能显示、机械力信息加密等领域的广泛应用前景。

电致变色纳米材料与大尺寸多功能器件

蔡国发*

河南大学

电致变色器件在节能建筑、信息显示、国防工业等诸多重要领域具有广泛应用前景。但目前还存在光学调制范围小、循环稳定性差、器件尺寸小和功能相对单一的关键问题。基于此，我们通过解析变色层-电解质层耦合机制，提出了可控制备金属氧化物基纳米材料的新方法及改性新策略，研制了用于构筑大尺寸电致变色器件的系列金属氧化物基变色材料，大幅提升了离子和电子传输速率的适配度，获得了光学调制范围高达 97.7%的多孔 WO_3 薄膜材料。在电致变色材料成膜及器件构建方面，通过调控油墨各组分以及与基底间的相互作用，克服了变色材料与透明电极界面兼容性差的难题，实现了高性能电致变色纳米材料的大面积可控组装，研发出了制备大面积均匀变色薄膜的关键新技术，构建了大尺寸（50×50 cm^2）高性能的电致变色器件。在器件功能研发方面，通过精确设计各功能层的匹配关系，构筑了大尺寸柔性变色器件，并建立了集显示、储能、变色和传感等功能于一体的多功能器件新体系。

MXene 基低电压软体致动器

陈少华*

中山大学

电化学致动器（ECA）通常由两电极夹层聚合物电解质构成，能够在低电压下产生变形并输出力。ECA 具有轻质、柔软、节能、安全、常温工作等优势，在触觉交互、生物医疗、软体机器人等领域有诱人的应用前景。$Ti_3C_2T_x$ MXene 具有优异的电导率、体积比电容、力学性能和表面极性，很有潜力作为 ECA 的活性电极材料。然而原始 MXene 宏观膜沿平面方向的电化学应变非常低，且在潮湿环境和水系电解液中的存储稳定性较差，大大限制了其 ECA 的宏观变形、输出力和使用寿命。为此，我们使用两亲性高分子吸附和有机碱中和对 MXene 表面进行改性，通过引入疏水基团增加片层间距、缩短层间结合力并降低薄膜的吸湿性，从而大幅提高了薄膜的平面电化学应变以及在空气和水中的稳定性。采用多种原位表征手段（液体池 TEM、XRD、AFM、FTIR），观测到了 MXene 片的各向异性电化学应变行为以及改性 MXene 片的平面滑移现象，提出了片层滑移致动新机理。基于此，设计了 1 V 驱动的弯曲型半固态软体致动器，输出力可达自重 100 倍以上；组装的“机器镊子”可夹持自重 20 倍的物体，并在 0 V 下维持稳定夹持状态。

刺激响应液晶复合材料的编程与动态锁定

胡威*

北京科技大学

液晶具有独特的光学各向异性和介电各向异性，使其对电、光、热、磁和力等外场刺激具有响应特性。刺激响应功能分子是一类受到外场刺激后，分子结构或构型能够发生可逆或不可逆变化的功能分子。将这类刺激响应功能分子引入到液晶复合体系之中，可得到智能响应超分子或高分子复合材料。该类材料在温度、pH 值、光照、电场、磁场等外场刺激下，微结构或凝聚态结构发生可逆或不可逆的变化，从而改变液晶复合材料的宏观性质实现对其编程。此外，液晶复合材料中刺激响应功能分子的异构化行为受到自由体积的制约，通过动态交联网络的重构可以对体系的自由体积进行调节，进而实现刺激响应行为的动态锁定。这类智能响应功能材料除了具有响应速度快、响应灵敏、响应范围广等特点，还可实现更复杂的编程和响应行为，因此在生物医学、传感器、智能材料、信息存储与加密防伪等领域具有广泛的应用前景。

离子型仿生肌肉纤维的精确控制与变形织物应用

任明、邸江涛*、李清文

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所

智能材料作为国家材料科学领域的布局重点，是下一代新材料的发展方向。作为智能材料的重要组成部分，仿生肌肉纤维在外界刺激下可产生类肌肉的可逆收缩，与传统机械驱动器相比，具有结构简单、驱动直接的特点。该领域的发展有望促进仿生肌肉在辅助医疗、人机交互和未来人形机器人等领域产生变革性的应用。离子型仿生肌肉具有低驱动电压、无明显热效应、易于控制的特点，近年来广受关注。然而，受限于离子迁移以及离子与纤维的相互作用弱且难以精确调控，目前发展的离子型仿生肌肉纤维存在驱动量低、响应速度慢，在停止电压刺激后驱动状态无法保持（无收缩锚定）等问题。弱的相互作用无法阻止离子在停止电刺激后的自发脱附导致驱动精度难以调控。我们通过静电纺丝技术制备了多孔纤维鞘层，在多孔纤维鞘层内填充电解液，制备了高性能和高稳定性的固态电化学仿生肌肉纤维。除了上述的固态组装技术之外，我们还发展了一种扭矩平衡编织技术，实现了仿生肌肉纤维的编织组装。通过仿生神经纤维控制，实现了仿生肌肉纤维的多种刺激触发驱动以及多通道协调控制驱动的运动模式，更近一步贴近生物肌肉。我们发展的高性能碳纳米管仿生肌肉纤维在智能可穿戴、软体机器人等领域展现出广泛应用前景。

基于二维材料刺激响应执行器的制备与驱动研究

马佳楠*

太原理工大学

执行器是一种可以将外界环境刺激转化成机械运动的智能器件，其在柔性机器人、航天航空、军事国防、生物医学等领域有着巨大的应用潜力。近些年来人们开发了基于各种智能材料的柔性执行器，但是依然存在响应性单一、形变简单、功能局限的问题。我们主要以氧化石墨烯和 MXene 这两种二维材料为主体材料，通过提出材料互补集成策略以及阈值控制激光直写技术实现了执行器的多重响应。通过构建执行器集群、调控薄膜内部褶皱的排布实现了执行器的复杂形变。另外，通过两种材料的异质集成实现传感-执行的功能集成。该工作大大提高了执行器的功能性，对拓展执行器的应用领域具有重要意义。

集成多模态与自供能传感的柔性驱动器

翁明岑*

福建理工大学

柔性机器人领域的趋势是研发集成传感功能的柔性驱动器，使其能够依据环境情境进行决策制定，并实施物理动作或执行特定功能。我们提出了普适性的“感知-驱动-供能”一体化智能驱动器件的设计方法，结合机器学习算法，构建了集成多模态自供能传感功能的柔性驱动器原型，在柔性软机器人、仿生器件等领域充分展示了应用潜力。首先，通过制备多种基于多维异质纳米材料的能量收集器件，如摩擦纳米发电机、热电发电机、湿气发电机等，为柔性驱动器集成自供能传感器提供了技术支撑。其次，聚焦于多功能复合材料在智能驱动器和自供能传感器领域的应用。基于石墨烯-聚合物薄膜、Nb4C3Tx-丝素纳米纤维复合材料和 Ti3C2Tx-甲壳素纳米纤维复合材料等，构筑了集成热电温度传感，摩擦电材质识别等功能的多模

态与自供能柔性驱动器，并通过神经网络辅助实现了高精度的智能交互。这些研究为下一代智能软体机器人和自供能电子设备的发展提供了新的思路和材料选择。

墙报

D04-P01

受头足类启发的 MXene 集成机械变色胆甾相液晶弹性体及其在可见光−红外−雷达多光谱伪装中的应用

刘源、王玲*

天津大学

能够在可见光至雷达频率的宽谱范围内提供自适应特性的多光谱伪装材料，在先进的多频段电磁应用中发挥着至关重要的作用，然而传统单波段隐身技术难以满足日益增长的多频段兼容与智能适应需求。本工作报道了一种受头足类动物启发的 MXene 集成胆甾相液晶弹性体（MXene-CLCEs）的设计与合成，该材料通过 CLCE 前驱体的原位硫醇-丙烯酸酯迈克尔加成/自由基光聚合反应，以及界面处异氰酸酯介导的 MXene 纳米涂层强共价化学键合制备而成。所得 MXene-CLCE 在机械拉伸作用下可实现动态结构色变化、可调红外辐射及宽范围可切换微波屏蔽——其红外隐身与微波屏蔽特性通过机械驱动诱导表面形貌从平面态到裂纹态的重构来实现。实验展示的可见光-红外伪装章鱼图案 MXene-CLCE，在机械拉伸作用下能实现跨可见-红外光谱的隐身效果。作为概念验证，研究还演示了气动驱动的仿章鱼软体模型，可在两种兼容状态间实现动态可见-红外伪装与微波屏蔽切换。本研究为开发仿生智能伪装材料及其在智能光学隐身、动态热管理和可切换电磁器件等新兴领域的应用提供了新思路。

基于灵敏响应和周期性快速释药的智能抗菌涂层，可长期抵御硫酸盐还原菌引起的腐蚀

邢国鑫、汤玉斐*

西安理工大学

硫酸盐还原菌（SRB）引起的点蚀会显著缩短金属油气管道的使用寿命。含有 S^{2-}响应型载药纳米容器的抗菌涂层是缓解 SRB 腐蚀的一种很有前景的方法。然而，如何在快速释放杀菌剂与持续抗菌效果之间取得平衡的难题限制了其实际应用。本研究基于铜-苯并三氮唑(Cu-BTA)纳米阀封堵的负载杀菌剂苯扎氯铵(BAC)的树莓状介孔二氧化硅(RMSNs)智能纳米容器(BAC-RMSNs@Cu-BTA)开发了一种 S^{2-}和 pH 双重响应的周期释药系统。当 S^{2-}浓度高于 0.5 mM 或 pH 低于 6.3 时，智能纳米容器显著加速药物释放。在 S^{2-}和 pH 双重刺激下，药物释放速率比单一 S^{2-}刺激提高了 91%。药物持续释放时间超过 384 小时，是现有 S^{2-}响应型纳米容器的两倍多。由于 Cu-BTA 纳米阀在 pH 下的可逆解离-络合转变和树莓结构的吸附效应，纳米容器在刺激消失后能抑制药物释放，进一步延长抗菌时间。添加 BAC-RMSNs@Cu-BTA 的环氧涂层在 SRB 环境中表现出优异的可重复性灭菌、长期抗细菌粘附以及腐蚀介质阻隔能力。基于主动智能灭菌和被动物理阻隔效应，该复合涂层在模拟管道内部环境中的抗 SRB 腐蚀能力是含 BAC-RMSNs 涂层的 14.6 倍。这项研究旨在为创新型长效抗菌涂层的设计提供有价值的见解。

多重态光谱调控智能节能窗的设计与应用研究

蒋腾耀*

浙江大学长三角智慧绿洲创新中心

据统计，我国建筑能源使用约占社会总能源的 21%，随着城市化进程的快速推进与产业结构深度调整，预计在未来 30 年内建筑能耗年均复合增长率为 2.9%。同时全国建筑业全过程碳排放总量为 50.1 亿 tCO2，占全国能源相关碳排放的比重为 47.1%，率先实现建筑领域的碳达峰将为我国实现“双碳”目标做出积极贡献。作为连接室内外环境的桥梁，玻璃窗热损失极高，是能效最低的部件。通过刺激-响应机制动态调节透光率的热致变色智能窗在节能领域引起了极大的关注。然而，传统热智能窗的发展往往受到功能单一和响应温度不合适的限制。本文将变色凝胶和相变储能复合材料结合，设计了一种新型全自主多级热响应智能

复合窗，能够对环境温度做出响应，从而达到节能和保护隐私的目的。随着温度从低温到中温再到高温的变化，智能复合窗实现了从不透明到透明再到不透明的多级可逆转换，从而实现了夜间的隐私保护和白天的保温隔热。在浙江地区盛夏的某一天，所获得的智能复合窗的温度峰值比普通玻璃降低了 7.9 ℃。

基于液态金属的无电子柔性致动器

陈刚胜*、马标、刘宏

东南大学生物科学与医学工程学院

随着机器人技术逐步拓展至医疗手术、灾难救援等非结构化的复杂应用场景，传统刚性机器人在环境适应性、人机交互安全性以及任务执行灵活性等方面的局限性日益凸显。液态金属作为一种新兴的智能材料，凭借其独特的流体特性、导电性及可变形能力，为柔性致动器的设计提供了全新的解决方案。通过材料和结构创新设计，实现不依赖传统硬件电子的物理智能如感知-驱动一体化、逻辑决策和行为编程等，将显著提升柔性致动器在复杂环境中的鲁棒性、动态适应性和多功能灵活性。本研究利用液态金属低温相变、倾斜流动以及电磁自收缩等特性，构建了可编程磁性软体机器人、重力感知柔性致动器以及多模柔性开关，并进一步展示其在仿生多模态运动、地形感知、可穿戴逻辑电路等方面的应用。本研究为开发具有环境和任务自适应能力的智能柔性系统提供了新的设计思路和技术路径。

光操控微纳米马达的运动和组装

陈曦*

成都理工大学

微纳米马达（又称胶体马达或游动微纳机器人）是一类通过消耗环境能量实现自主运动的微纳米颗粒，在药物递送、环境治理和微纳操控等领域具有重要的应用潜力。为提升其应用效率，精确控制马达的运动和组装至关重要。光作为一种非接触、可编程的外部刺激手段，在实现马达运动响应控制中展现出独特优势，已成为研究热点。在个体运动方面，尽管已实现利用光刺激控制马达的运动速度、方向和轨迹，但当前的策略仍存在控制方式单一、精度低等问题。在集群运动方面，马达的集群传递运动行为有望推动其协同工作，但该传递机制尚不清楚，且缺乏对传递行为的有效控制。在自组装方面，目前还缺乏原位实时调控微纳米马达组装体的手段。

本报告提出了系统性的光操控策略：在马达个体运动方面，通过光的开关（on-off）调节实现了马达在不同运动模式之间的可控切换，引入光电镊技术进一步提升了对马达轨迹的精确控制。在马达集群运动方面，借助结构光照明装置揭示了马达集群传递运动的基本机制，并实现了对其空间传递行为的可控调节。在马达自组装方面，本研究还展示了光驱动马达在操控惰性胶体颗粒自组装方面的能力，形成可控的组装结构。上述研究成果不仅丰富了光刺激响应驱动下微纳米马达个体行为的调控方式，也深化了对其集群运动和结构组装的理解与控制，为其在复杂环境中的智能响应应用奠定了基础。

High-throughput printing of customized structural-color graphics with circularly polarized refection and mechanochromic response

Ran Bi，Ling Wang*

Tianjin University

Arbitrary patterning of chiral structural-color materials on various substrate in a robust, scalable, and customized way is of paramount importance for smart camouflage, wearable displays, and flexible electronics. Here, we report a general strategy for high-throughput printing of chiral structural-color graphics with high brightness and color saturation on diverse target substrates. Importantly, evaporation-induced self-assembly dynamics of the CLC inks are facilely printed onto highly stretchable elastomeric films. Mechanochromic photonic patterns printed on stretchable electronic textiles provide an avenue for the development of interactively stretchable electronics that can adaptively visualize and sense mechanical stimuli via optical and electrical dual signal feedback.

自适应反馈的仿生人工神经肌肉纤维束

陈森胜、王玲*

天津大学

运动无处不在。比如说天上飞的老鹰，水里游的乌贼，陆地上奔跑的骏马，都表现出不俗的运动能力，而运动离不开肌肉的参与。受到肌肉的启发，开发了各式各样的人工肌肉。传统的人工肌肉难以兼顾优异的驱动和传感性能，并且难以自构成传感与驱动之间的互联自反馈。鉴于此，我们提出了以下的设计策略，采用高导电的液态金属、形变可逆的液晶弹性体以及具有硼氧动态共价的液晶弹性体制备具有驱动和感知功能的纤维，进一步通过动态共价键构建具有协同效应的纤维束，最后通过构筑简单电路实现该纤维束的感知与驱动一体化功能。

Free-Standing Bacterial Cellulose-Templated Radiative Cooling Liquid Crystal Films with Self-Adaptive Solar Transmittance Modulation

Zhilong Cao, Ling Wang*

Tianjin University

Passive radiative coolingmaterials can efficiently reflect solar radiation and spontaneously dissipate heat through the long-wave infrared (LWIR) transmission window to the coldouter space. They are highly attractive for application in walls and roofs of sustainable energy-efficient buildings, but it is a challenging task to develop switchable radiative coolers for transparent windows. Herein, we report free-standing bacterial cellulose-templated radiative cooling liquid crystal films with high LWIR emissivity and self-adaptive solar transmittance. Biosynthetic silanized bacterial cellulose with 3D interconnected porous nanostructure is harnessed asa robust template for confining novel liquid crystals with smectic A to chiral nematic phase transition, thereby endowing the film with high solar transmittance modulation ability. The resulting film is found to not only exhibit a remarkable LWIR emissivity, but also adaptively change its solar transmittance between a transparent state and an opaque state according to environmental temperature variation. Outdoor radiative cooling experiments were performed, and the energy-saving performance was evaluated through a simulation of a 12-story reference office building with the films applied as radiative cooling windows. This research can shine light on the development of advanced radiative cooling materials with switchable transmittance and their widespread applications in buildings, vehicles, and transparent photovoltaics.

液晶模板手性钙钛矿量子点的机械可调圆偏振发光

刘欢、张璇、王玲*

天津大学

Endowing perovskite quantum dots (PQDs) with circularly polarized luminescence (CPL) offers great promise for innovative chiroptical applications, but the existing strategies are inefficient in acquiring stimuli-responsive flexible chiral perovskite films with large, tunable dissymmetry factor (g_{lum}) and long-term stability. Here, we report a strategy for the design and synthesis of luminescent cholesteric liquid crystal elastomer (Lumin-CLCE) films with mechanically tunable CPL, which is enabled by liquid crystaltemplated chiral self-assembly and in situ covalent cross-linking of judiciously designed photopolymerizable $CsPbX_3$ (X = Cl, Br, I) PQD nanomonomers into the elastic polymer networks. The resulting Lumin-CLCE films showcase circularly polarized structural color in natural light and noticeable CPL with a maximum glum value up to 1.5 under UV light. The manipulation of CPL intensity and rotation direction is achieved by controlling the self-assembled helicoidal nanostructure and the handedness of soft helices. A significant breakthrough lies in the achievement of a reversible, mechanically tunable perovskite-based CPL switch activated by biaxial stretching, which enables flexible, dynamic anti-counterfeiting labels capable of decrypting preset information in specific polarization states. This work can provide new insights for the development of advanced chiral perovskite materials and their emerging applications in information encryption, flexible 3D displays and beyond.

4D 打印自适应可编程形状变化电池

冯昱璠、王玲*

天津大学

Shape-morphing batteries that can reconfigure their shape to adapt to different tasks are highly desirable for emerging soft electronics in diverse fields. However, it is a challenging task to develop advanced shape-morphing batteries with on-demand programmability and adaptive responsiveness. Here, 4D-printed programmable shape-morphing batteries by sequentially direct-ink-writing of shape-programmable liquid crystal elastomers (LCEs) and in-situ covalent crosslinked flexible zinc-ion microbatteries, where tough covalent bonding is built at the interface, are reported. The resulting shape-morphing batteries exhibit controllable, reversible, and programmable shape-morphing by controlling sophisticated molecular alignment of LCEs, which enables them to adaptively alter configurations to accommodate different functionalities. Importantly, diverse origami batteries with excellent spatiotemporal controllability are demonstrated by precisely designing active hinges to achieve adaptive transformations from folded to deployed configurations. The programmable shape-morphing mechanisms of the batteries are revealed by finite element analyses. As a proof-of-concept illustration, adaptive shape-morphing battery systems capable of interactive communication and controllable sensing are developed through the incorporation of an elaborate all-MXene-printed near-field-communication antenna, which can adaptively tune its deployment configuration according to variations in environmental humidity or dust content. This work brings new insights for the development of next-generation shape-morphing power sources, human-machine interactive electronics, and swarm intelligence.

4D printing of carbon-fiber-reinforced liquid crystal elastomers for self-deployable solar panels

Xing Li, Ling Wang*

Tianjin University

Deployable structures that can be switched from a folded state to a predetermined or desired configuration are of paramount significance for diverse technological applications, which require the development of advanced smart actuation materials with high mechanical strength and programmable shape-morphing ability. Herein, we present a short-carbon-fiber-reinforced liquid crystal elastomer (SCF-LCE) fabricated via 4D printing, which not only demonstrates enhanced tensile strength(13.5MPa)andhighactuation strain (27%) but also exhibits adaptive photoresponsive actuation. During the printing process, mesogens and SCF are oriented along the nozzle's moving direction by the extrusion shear force, enabling the formation of monodomain matrix materials. Importantly, the incorporation of passive layers onto the SCF-LCE enables programmable deformations and self-deployable structures. As a proof-ofthe-concept, the SCF-LCE bilayer actuator is integrated with solar panels for a demonstration of self-adaptive solar panel unfolding system. The combination of enhanced mechanical properties and large driving strain in this short-fiber reinforced LCE is an accessible and influential approach to designing and fabricating LCE composites that may find potential applications in space deployable structures, soft robotics, artificial muscles, and beyond.

用于暖白色 LED 的高量子产率多色 CD 的高效制备策略

白海燕*

西工大苗宗成老师团队

多色碳点（CD）具有巨大的潜在应用，特别是在光电器件中。然而，由于多色 CD 的量子产率（QY）极低，其在暖白色 LED 中的进一步应用受到了限制。在这项工作中，通过将 $MnSO_4$ 引入反应体系，在不改变荧光发射波长的情况下，成功实现了 QY 提高近 15%的荧光增强多色 CD（o-CD（cat.）（发射黄色，Em=550nm，QY=85.4%）、m-CD（cat.）（发射蓝色，Em=440nm，QY=35.7%）、p-CD（cat.]）（发射红色，Em=610nm，QY=73.8%）。相关机制可能是 $MnSO_4$ 的催化作用，导致 C=N 和吡啶 N 含量增加，进一步抑

制非辐射跃迁，导致 QY 增加。最后，将获得的高 QY 多色 CD 应用于暖白色 LED，其色坐标（CIE）为（0.33,0.36），显色指数（CRI）为 90，相关色温（CCT）为 3473K。为金属离子引起 CD 高 QY 的研究方法和机制奠定了基础。

Direct Ink Writing of 3D Chiral Soft Photonic Crystals

Menglu Xin, Ling Wang*

Tianjin University

Blue phase liquid crystals (BPLCs) are regarded as self-organized 3D chiral soft photonic crystals with iridescent, tunable, and circularly polarized structural colors. However, arbitrary patterning of BPLCs with satisfactory microscopic self-assembly remains challenging. Here, the direct ink writing of 3D chiral soft photonic crystals using BPLC precursor inks is reported. The dynamic evolution of a BPLC ink droplet cooling from an isotropic state to a blue phase state is studied to prepare mono-domain BPLCs with high reflectivity. The diverse macroscopic design of BPLC patterns can be obtained by printing the BPLC inks on different substrates, and controlled self-assembly enables high color brightness, circularly polarized reflection, and sufficient thermal stability after photo-polymerization. Interestingly, the angle-dependent optical properties of the printed lines and faces are found to be different due to the 3D photonic nanostructures of BPLCs. The research disclosed here provides unprecedented controllability in the fabrication of patterned 3D soft photonic crystals and extends their applications in displays, optical devices, 3D optics, and photonics.

Direct-Ink-Written Shape-Programmable Micro-Supercapacitors with Electrothermal Liquid Crystal Elastomers

Yaxin Li, Ling Wang*

Tianjin University

The growing demand for miniaturized energy storage devices in next generation renewable energy applications faces constraints from conventional micro-energy storage systems with fixed geometries, which limit their adaptability and functional integration in technological applications. Traditional fabrication methods, hinder by their complexity and insufficient structural precision, struggle to integrate shape-programmable functionality into compact energy storage devices for complex operating conditions. In this research, an innovative direct ink writing-based (DIW-based) strategy is proposed to co-fabricate liquid crystal elastomers (LCEs) and micro-supercapacitors (MSCs) into a unified electrically controlled, shape-programmable LCE-MSCs. The LCE-MSC integration achieves robust electrochemical performance with charge storage capacity, excellent rate and cycling stability performance. These LCE-MSCs demonstrate rapid, reversible deformation under low-voltage stimulation while retaining stable energy storage performance. By modulating the printing patterns of LCE filaments, diverse configurations of shape-programmable LCE-MSCs can be achieved. Furthermore, integration with sensors enables adaptive devices capable of static object recognition and real-time humidity monitoring. These results underscore the potential of shape-programmable MSCs with seamless power-actuation integration, which can open new opportunity for diverse applications in adaptive robotics, wearable electronics, and autonomous shape-programmable systems.

光电协同响应固态润滑界面设计及防覆冰研究

郭璞*

西京学院

受植物叶片蜡质层的启发，仿生固态润滑界面具有优异的稳定性、低黏附、自修复、响应性和耐受高压高湿等特性，在防覆冰领域有着巨大的应用前景。但现阶段的光/电热响应固态润滑界面仍存在界面温升有限、无法全天候使用和柔性差等问题。基于此，我们通过光热层和电热层的设计，添加固态润滑层后制备出具有高表面温度的光电协同固态润滑界面体系，探究了其在极端低温下和曲面上全天候防覆冰与冰水

净化中的应用，系统研究了基于光电协同热转化效应的稳定防覆冰及水净化机理。为推动响应型固态润滑界面在能源、交通、建筑等领域的实际防覆冰应用提供新的思路和科学依据。

Synergistic Multifunctionality: Actuation and Sensing Applications of Covalent Organic Framework-Liquid Crystal Composites

Ru Liu*

University of Science and Technology Beijing

Covalent organic frameworks (COFs) exhibit designable multifunctionality, while liquid crystals possess distinctive stimuli-responsive properties. This study pioneers the strategic integration of COFs with liquid crystal systems (polymers/LCs), leveraging their complementary functions to develop advanced composites with unprecedented actuation and sensing capabilities. These synergistic platforms demonstrate how molecular-level hybridization overcomes intrinsic limitations of single-component materials.

In Part I, a splayed thin film composed of porphyrin-based COF (POR-BHA COF) and LCP was designed to achieve dynamic deformation modulation through the synergistic effects of NIR photothermal conversion and solvent responsiveness. The POR-BHA COF acts as an efficient photothermal agent, enabling reversible bending motions under NIR irradiation by inducing differential thermal expansion in the LCP film, with stable performance maintained over 60 cycles. The Janus-structured film exhibits rapid curling in DCM vapor due to asymmetric swelling, demonstrating exceptional responsiveness to multiple volatile solvents. Based on this material, biomimetic flower devices (capable of light/solvent dual-triggered opening/closing with magenta fluorescence emission), NIR-controlled switches, and intelligent grippers were developed, offering a novel material platform for soft robotics.

In Part II, a crown ether-based liquid crystal composite COF (OBHT-BTA COF) was constructed, where LC-guided crystallization strategy significantly enhanced film crystallinity and humidity sensing performance. The material exhibited a three-order-of-magnitude resistance variation across 11%–95% RH, with ultra-fast response/recovery times of 1.95 s/4.45 s. Its solution processability enables cost-effective scalable fabrication, successfully applied in high-precision real-time respiratory monitoring and non-contact password input systems.

Through molecular engineering, this work elucidates the structure-function relationships of COF-LC composites, establishing new paradigms for intelligent actuators and ultrasensitive sensors. These advancements propel the practical utilization of COF-based composites in flexible electronics and biomimetic robotics.

柔性、抗溶胀的 MXene 水凝胶基表皮传感器

周宇辰、徐志善、张云飞、万鹏博*

北京化工大学

基于导电水凝胶的表皮传感器，因其良好的组织相似性、三维仿生网络结构以及可调的导电通路，在智能电子皮肤、人体健康监测、智慧医学诊疗等领域有广泛的应用前景。然而，传统水凝胶基传感器力学强度、传感灵敏度和抗溶胀性能欠佳。将 MXene 导电网络引入水凝胶网络中，实现了高灵敏度、宽检测范围（高达 350%）和良好稳定性的传感，可用于高性能智能人机交互感知和可穿戴智慧医学诊疗。此外，该水凝胶具有良好的抗溶胀能力，有利于减少伤口扩大，有助于后续可靠的伤口治疗和诊疗一体化发展。

单原子光催化 Janus 微型机器人的设计及其鼻窦细菌感染治疗应用

余海东[1]、张亚斌*[2]

1. 广西大学化学化工学院

2. 广西有色金属及特色材料加工重点实验室和广西大学资源环境与材料学院

人体器官微腔道内的生物膜感染会引起严重的炎症反应，生物膜分泌出的胞外聚合物进一步增强了结构稳定性，阻碍了抗生素的介入，导致传统治疗技术无法进入狭窄的微腔道内实现生物膜的精准去除。近年来，由于强穿透性和可操控性，基于磁驱动方式的微纳米机器人抗菌技术被广泛报道。特别是磁驱动微

型机器人在特定磁场下可以形成群落显著增强机械力，从而对生物膜的去除效果显著。但是生物膜感染往往伴随着严重的炎症反应如鼻窦炎等，死亡的免疫细胞和细菌原位生成的高粘性脓液形成了一层生物屏障，进一步保护了生物膜。此外，抗生素滥用带来的细菌耐药性问题日趋严重，传统的治疗技术效果较差。因此，亟需开发一种基于增强磁驱动微型机器人穿透炎症分泌物并治疗生物膜感染的治疗方案，用于解决微腔道细菌感染引发的炎症的反复发作。

基于磁驱动微型机器人集群，我们开发了一种 Cu 单原子结合光催化微型机器人，在磁性光纤的辅助下无创治疗微腔道生物膜感染的策略。具体来说，利用溶剂热自生长结合喷涂法制备出 Janus 结构的磁性 BiOI 微型机器人，然后通过湿化学还原法在 BiOI 表面负载 Cu 单原子得到光催化微型机器人（CBMRs）。这种微型机器人具有良好的结构稳定性，在可见光照射下表现出高效的抗菌活性。同时，在磁场控制下的 CBMRs 集群可以产生足够的机械力破坏生物膜的结构。此外，磁性光纤与 CBMRs 在磁场引导下可以在微腔道内实现光催化协同运动，诱导光热效应，降低炎症分泌物的黏度。这种光、热、磁结合的设计，实现了高效抗菌、生物膜清除和生物屏障穿透的高度协同，极大提高了表面生物膜的快速去除。更重要的是，利用 CT 和数字 DR 成像技术，我们成功地证明了通过磁光纤结合 CBMRs 进行可见光催化治疗兔鼻窦炎模型的可行性。这种方法有利于狭窄和复杂空间内的细菌感染治疗，为临床鼻窦炎治疗提供了一种有前途的微创治疗方案。

超疏水和温度响应的含氟聚合物结构彩色薄膜

郭啸宇、韩镕辉、孔森、张淑芬、张宇昂、唐炳涛*

大连理工大学

世界充满了明亮多样的色彩。而具有刺激响应和超疏水特性的彩色薄膜为材料增加了应用潜力。本研究提出了一种具有反蛋白石结构的温度响应型超疏水自清洁结构色膜。即将丙烯酸 1H,1H,2H,2H-十七氟葵酯含氟单体的前驱液灌注蛋白石结构色模板，经紫外光固化后，HF 刻蚀模板制备得到疏水含氟聚合物反蛋白石结构色薄膜，经过超声波处理以增加粗糙度，从而产生超疏水性结构颜色，水接触角达到 155°，具有优异的自清洁性能，并且由于含氟聚合物的化学稳定性，该结构色薄膜表现出优异的耐酸碱腐蚀特性。该结构色薄膜柔韧性能和机械强度较好，可以 180°对折，拉伸断裂强度达到 10MPa。由于含氟聚合物的相变性质（通过改变单体比例可以控制相变温度，制备得相变温度在 45℃到 55℃间的超疏水温敏结构色薄膜），该体系在颜色和疏水性方面表现出双重热敏行为。即该结构色材料可以进行温敏图案化，实现信息显示，升温破坏薄膜反蛋白石结构实现图案擦除，同时升温破坏薄膜表面孔洞结构，使超疏水性能丧失，当应用于信息安全时，它允许对数据进行双重验证。

In-situ characterization of dynamic electromechanical properties for PVC gel actuators

Jianjian Huang[1], Haokun Xiao[1], Xianrong Liang[1], Mengmeng Wang[1], Maoyuan Li[2], Gang Jin*[1]

1. National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing, South China University of Technology

2. School of Aerospace Engineering, Xiamen University

PVC gel actuators offer significant advantages, including low driving voltage, large deformation, and high output force, demonstrating promising potential for applications in microlenses, assistive rehabilitation, and soft robotics. However, a critical gap exists in the in-situ characterization and quantitative analysis of plasticizer migration and charge transfer processes within PVC gels. This limitation hinders a fundamental understanding of the evolution mechanisms governing plasticizer concentration, mechanical properties, and electrical properties within the anode-enriched layer. This study systematically investigates the plasticizer migration and charge transfer dynamics in PVC gels using in-situ characterization techniques, quantitatively analyzing the variations in plasticizer content, mechanical properties, and electrical performance. In-situ Raman spectroscopy reveals that electrical stimulation drives the directional migration of plasticizer towards the anode. This migration process requires a finite time to reach equilibrium, ultimately forming a plasticizer-enriched layer near the anode. For PVC gel with an initial plasticizer content of 92 wt%, increasing the stimulation voltage from 200 V to 800 V prolongs the migration equilibrium time from 36 s to 94 s. Concurrently, the net increase in plasticizer

concentration within the anode-enriched layer rises from 0.08 wt% to 3.52 wt%, resulting in final localized concentrations of 92.08 wt% and 95.52 wt%, respectively. Raman mapping further indicates that the enriched layer has a thickness of approximately 100 μm and exhibits a gradient distribution of plasticizer concentration, with higher concentrations observed closer to the anode. Complementary in-situ broadband impedance analysis demonstrates that applied voltage induces substantial changes in the material's electrical properties. Specifically, the initially homogeneous electrical characteristics transform, developing a significant difference in electrical performance between the bulk gel and the enriched layer. This work not only provides deeper insights into the intrinsic mechanisms governing the coupled evolution of mechanical and electrical properties within PVC gels but also offers valuable guidance for optimizing their electroactive actuation performance.

基于铁磁纳米片的可多重编程各向异性软材料

陈明风[1,2]、陈俊良[1]、金东东[1]、马星*[1]

1. 哈尔滨工业大学(深圳)

2. 浙江大学

在自然界中，具有有序子结构的各向异性材料广泛存在于生物体，并且在智能材料、软体机器人、柔性显示以及生物医学等新兴技术领域中展现出日益重要的应用前景。然而，将多种特性集成并编程到各向异性材料中，以赋予其更广泛的功能和实用性，仍然是一个具有挑战性的课题。本研究通过将铁磁性二维纳米片填充到水凝胶框架材料，进行精细的内部结构设计，开发出可多重编程的各向异性材料。通过施加取向磁场，能够精确控制纳米片在水凝胶前驱液中的取向，并利用光聚合保持其中纳米片的有序结构，而制备出各向异性水凝胶。通过对纳米片的取向进行设计，可实现光学编程，将图案信息加密到水凝胶材料中，这些信息仅在偏振光下可见。此外，我们设计了具备光学、力学和磁学编程的软致动器。这些致动器能够编码多种变形和运动模式，设定致动形变部位，并监测子结构的各向异性。这一成果为各向异性软材料的设计开辟了新的研究和应用途径。

基于生物刺激素的智能纳米载体：通过多机制包封、协同增效与响应释放提升小麦赤霉病防治效果

何承依、钟廷珺*、杜凤沛

中国农业大学

小麦赤霉病（Fusarium Head Blight, FHB）严重威胁全球小麦生产，而杀菌剂抗药性的日益加剧进一步恶化了该病害的防控形势。协同双重杀菌剂组合虽具有应用潜力，但在靶标部位实现精准、环境响应式的释放仍面临挑战，且传统农药递送系统存在生物安全隐患。为突破上述局限，本研究构建了一种基于生物刺激素的智能纳米递送系统，旨在提升 FHB 的防治效果。该系统利用生物刺激素基聚谷氨酸的高分子与天然环糊精衍生物，通过多机制协同负载策略，将小麦赤霉病防治用药戊唑醇（TEB）与丙硫菌唑（PTC）按精确配比（M_{PTC}:M_{TEB}=4:3）共同封装，并实现 pH 响应性释放。通过精准调控氢键与主客体相互作用实现药物负载，并利用静电作用与疏水作用驱动纳米载体组装，该纳米结构实现了可预测、可定制的释放动力学，从而最大程度地发挥其对禾谷镰刀菌（Fusarium graminearum）的协同抗真菌活性。该系统生物相容性更佳，对非靶标生物的急性毒性显著降低，减小对人体 293t 细胞的毒性约 56.40%，对斑马鱼的 LC_{50} 提升约 287.4%。靶向表征结果显示，类膜纳米颗粒沉积可更高效地递送并持留杀菌剂。因此，本研究证实，基于多机制负载的生物刺激素纳米载体能够实现精准纳米递送，有效克服现有杀菌剂的局限性。该工作凸显了开发具有刺激响应特性的生物基农药纳米载体的重要性，为可持续、高效且环境友好的 FHB 防控策略奠定了基础。

双阶光编程策略实现胆甾相液晶弹性体三重正交动态图案化

吉波[1,2]、刘晓珺[1,2]、闵政[1,2]、程宇轩[1,2]、秦朗[1,2]、俞燕蕾*[1,2]

1. 复旦大学智能材料与未来能源创新学院

2. 聚合物分子工程全国重点实验室

力致变色胆甾相液晶弹性体（CLCE）凭借其螺旋超结构在拉伸时产生的可调谐结构色，在柔性光学

传感、自适应伪装和动态信息加密等领域展现出重要潜力。目前，在单一 CLCE 材料中实现高分辨率、多层级动态图案化的核心挑战在于对局部螺距（结构色）和交联网络（力学响应）进行精确且可编程的空间协同调控。然而，现有策略主要局限于单重图案化：仅能通过光/热异构化分子调控液晶凝聚态结构或利用动态共价键网络的局部应力松弛来固定图案。本工作提出一种创新的“双阶光编程”调控策略，首次同时精确调控液晶相凝聚态结构和聚合物网络拓扑结构，在单一 CLCE 基材内集成静态结构色、力致变色结构色与荧光信号三重正交光学通道。通过巯基迈克尔加成反应并引入链转移剂，构建了含光响应蒽基团的短链胆甾相液晶齐聚物，该设计显著降低了体系粘度、改善了取向能力并拓宽了液晶相变温度窗口，从而解决了传统长链齐聚物加工性差与响应慢的瓶颈。在此基础上，利用胆甾相-近晶相预转变效应，结合温度梯度编程与局部光聚合技术，实现了分辨率达 μm 级、覆盖可见光波段的静态结构色图案化，完成了凝聚态结构光编程。同时，利用蒽基团的可控光交联反应，在空间上精准构筑交联密度梯度网络，实现了交联网络光编程，该网络使拉伸时能触发局域化螺距偏移，动态显示预先隐藏的力致变色图案（在 0–80%应变范围内，反射波长蓝移差异>200 nm）。值得注意的是，该光交联过程伴随蒽基团荧光强度的显著淬灭，同步生成了独立的空间分辨荧光信号通道。最终，该体系在单一材料上实现了三重光学信息的正交解码与读取。这种“凝聚态结构光编程+交联网络光编程”的双重调控策略，突破了传统单次图案化的局限，实现了多通道信息的独立写入与集成显示，为高安全等级动态防伪、多级信息存储及柔性智能光子器件提供了单基材、可编程、高性能的新范式。

3D 打印多层次孔结构提升 PNIPAM 响应速率及其驱动行为

刘维仪*

西华大学

Karlsruhe Institute of Technology

为提升聚（N-异丙基丙烯酰胺）（PNIPAM）水凝胶的宏观响应性能，我们结合了聚合诱导相分离（PIPS）与数字光处理（DLP）3D 打印技术，引入了分级多孔结构。首先，通过 PIPS 在 PNIPAM 中构建亚微米级孔隙；随后，利用 DLP 3D 打印技术在水凝胶中进一步引入毫米级孔隙，形成具有多尺度孔隙的结构。在实验中，我们初步探究了不同溶剂对微孔结构的影响。结果表明，使用乙二醇（EG）可获得高孔隙率的结构，水则形成低孔隙率结构，而二甲基甲酰胺（DMF）则基本不形成孔隙。进一步分析发现，高孔隙率通常对应较薄的聚合物壁，而低孔隙率则与较厚的聚合物壁相关。我们系统表征了不同溶剂条件下形成的孔隙结构，并建立了水分扩散行为与孔隙结构之间的关系。接下来，通过 3D 打印构建可调的大孔结构，不仅进一步加快了响应速度，还实现了基于编程设计的可控驱动行为。基于这种分级多孔的结构设计，PNIPAM 水凝胶在 10 秒内可实现高达 45.5%的体积变化。最后，我们设计了一种“手指”带有阵列结构的“手”，实现了水凝胶在温度变化下不同手势的变化。

刺激响应性电致/光致变色纤维的制备及应用研究

王跃丹*、李梦杰、林云、王栋

武汉纺织大学

刺激响应性变色材料的光学特性可在外部刺激（如电压、光照）作用下发生可逆变化，展现出丰富的动态颜色调控能力。其中，电致变色与光致变色技术因其可控性强、节能环保及智能特性，在智能穿戴、柔性显示、自适应伪装、信息加密与可视化传感等领域展现出巨大的应用潜力和市场价值，对环境、经济和社会具有重要影响。本研究聚焦于电致/光致响应变色纤维及织物的开发，通过创新材料设计、精准制备工艺、微观结构调控以及器件集成策略，成功构筑了具有优异刺激响应变色性能的纤维基材料。采用扫描电子显微镜（SEM）、X 射线衍射（XRD）、电化学、光响应动力学等多种表征手段，系统研究了材料组成、结构与形貌对其电致/光致变色性能（包括光学对比度、响应速度、着色效率、光调制率等）的影响机制。基于所制备的纤维及织物，组装了固态柔性电致变色器件，并深入评估了其关键性能指标，如光学调制范围、刺激响应时间、循环稳定性及机械柔韧性。同时，顺应功能化与智能化发展趋势，本研究探索了基于单一刺激响应变色器件或集成系统实现多重功能（如显示、热屏蔽）的可行性，为下一代智能纺织品与自适应系统提供了重要的材料基础与技术支撑。

基于 pH 调控 $ZnFe_2O_4$ 纳米材料 n-p 型导电转换的低浓度丙酮高选择性传感研究

刘星妤、陈咏琳、王艺霏、黄爱萍*

五邑大学

本文针对低浓度丙酮气体检测需求，提出一种 pH 调控的 n-p 型导电转换策略，通过水热法合成铁酸锌（ZnFe2O4）纳米材料。研究系统探究了溶液的不同 pH 值对材料表面态、导电类型及气敏性能的影响机制。XRD 与 Raman 表征证实所有样品均形成高纯度立方尖晶石结构（Fd-3m），Zn2+和 Fe3+分别占据四面体与八面体位点。随 pH 升高，材料粒径减小（SEM/TEM），比表面积显著增大（S3:16.68 m2/g → S5:39.13 m2/g），孔结构优化利于气体扩散。气敏测试发现反常导电行为：S3（pH=7.5）对丙酮呈典型 n 型电阻变化（S=Ra/Rg），而 S4（pH=10.5）和 S5（pH=12）表现 p 型电阻变化（S=Rg/Ra）。XPS 分析揭示 pH 升高导致 Fe3+含量降低、Fe2+比例上升，氧空位浓度同步增加。Mott-Schottky 与霍尔效应测试证实体相均为 n 型导电，表明 S4/S5 的"p 型响应"实为伪 p 型现象——源于表面氧吸附形成的电荷反转层，通过 Fe2+/Fe3+氧化还原对调控载流子传输。该材料对丙酮表现出高选择性，在 250℃下对低浓度丙酮（<1.8 ppm）具备优异检测能力。本研究不仅为 ZnFe2O4 导电行为调控提供了新思路，更为开发高灵敏度、低功耗丙酮传感器奠定了理论基础，在职业健康防护、糖尿病无创筛查及环境安全监测领域具有应用潜力。

用于多向力感知的各向异性触觉传感器

张佳兴、成正东*

浙江大学化学工程与生物工程学院

柔性触觉传感器在健康监测、人机交互、物品识别和机械手等新兴领域的广泛应用，正引起极大关注。然而，常规传感器通常仅针对特定刺激（如温度、湿度和力）作出响应，或仅能探测单轴变形。真正实现对外部刺激（例如外力）的复杂分析，特别是其方向和大小的精确辨识，是柔性触觉传感器走向实际应用的关键瓶颈之一。为满足机械手识别物品和运动的重大需求，亟需开发能在多个方向上同时检测复杂姿态和运动的多维传感器。具有感知多向力能力的各向异性传感器，能够准确地区分不同方向上的刺激。得益于其独特的解耦机制，各向异性结构已被证明是实现多维传感的理想平台。基于此类结构开发的柔性触觉传感器，在不同方向上展现不同的变形程度和电信号变化，利用这种差异性即可有效识别外力的方向。

基于上述考虑，我们利用聚丙烯醇 (PVA)、聚丙烯酰胺 (PAAm)、聚吡咯包裹的纤维素 (PPy@CNF)、单宁酸 (TA) 和甘油 (Glycerol)，通过机械拉伸方法制备了一种基于水凝胶体系的防冻、各向异性水凝胶电阻式传感器。该传感器能在低温下正常工作，并表现出各向异性的导电性和信号输出能力：在平行于纤维素排列方向上，其抗拉强度远高于垂直方向，而其拉伸比则低于垂直方向。正是利用这种拉伸性与导电性的方向差异，该传感器能够检测并区分纵向和横向的外力信号。

An inorganic liquid crystalline dispersion with 2D ferroelectric moieties

Jiayu Chen[1], Ziyang Huang[1], Jiarong Liu[1], Shengkai Chang[1], Baofu Ding[2], Gaokuo Zhong[2], Chuanlai Ren[2], Menghao Wu[3], Teng Ma[4], Bilu Liu*[1]

1. Tsinghua University Shenzhen International Graduate School

2. Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences

3. School of Physics and Institute for Quantum Science and Engineering, School of Chemistry and Institute of Theoretical Chemistry, Huazhong University of Science and Technology

4. Department of Applied Physics, Hong Kong Polytechnic University

Electro-optical effect based liquid crystal devices have been extensively used in optical modulation techniques, in which the Kerr coefficient reflects the sensitivity of the liquid crystals and determines the strength of the device operational electric field. A giant Kerr coefficient could be obtained in a material with both a large geometrical anisotropy and an intrinsic polarization, but such a material is not yet found. Here we reveal a ferroelectric effect in a monolayer two-dimensional mineral vermiculite (VMT). A large geometrical anisotropy factor and a large inherent electric dipole together raise the record value of Kerr coefficient by an order of magnitude, till 3.0×10-4 m V-2. This finding enables an ultra-low operational electric field of 102~104V m-1 and

the fabrication of electro-optical devices with an inch-level electrode separation. Because of its high ultraviolet stability (decay <1% under ultraviolet exposure of 1000 hours), large-scale, and energy-efficiency, prototypical displayable billboards have been fabricated for outdoor interactive scenes.

电化学仿生肌肉纤维在变形织物中的应用

王晓波、任明、邸江涛*

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所

由电化学仿生肌肉纤维编织的变形织物具有结构灵活、工作电压低、运动模式可编程控制以及无明显热效应等特点。然而，这些仿生肌肉纤维尚未实现连续生产，并且需要进行适当的结构设计以解决其需要依赖大量电解质环境的问题。在此，我们通过分阶段调速工艺连续制备了一种数米长的具有皮-芯结构的碳纳米管（CNT）/尼龙（nylon）复合肌肉纤维。nylon 芯不仅减少了 CNT 纤维的用量，还扩大了 CNT 纤维与电解液之间的相互作用面积，从而提高了有效驱动体积。在电化学离子的驱动作用下，CNT@nylon 肌肉纤维的最大收缩驱动量为 26.4%，最大收缩速率为 15.8% s^{-1}，最大功率密度为 0.37 W g^{-1}，分别是纯 CNT 肌肉纤维的 1.59 倍、1.82 倍和 5.5 倍。将 CNT@nylon 电化学仿生肌肉纤维编织到柔性织物上，从而获得了一种主动变形织物，其中柔性织物同时充当柔性支架与电解质容器，这使得电化学变形织物可以直接在空气中运动。通过织物结构与布局的设计，变形织物能够实现多种可编程运动模式，如收缩和局部弯曲，在柔性机器人、智能助力织物等领域具有一定的应用前景。

偶氮苯光响应材料的制备及刺激响应性研究

常晓华*

杭州师范大学

刺激响应型高分子材料作为一类智能材料，能够依据外界环境中诸如温度、光、电场、磁场、pH、湿度、力等不同刺激，实时调整自身结构与性质，以响应外部环境变化，表现出形貌、透明度、电信号、亲疏水转变等特异性响应。其中，光刺激因其非接触远程操作、高时空分辨等优点，在光电器件、传感、药物控制释放等领域备受关注。偶氮苯，作为一种典型的光敏分子，在紫外光和可见光的交替作用下，能发生可逆的顺式（trans）-反式（cis）异构化转变，基于两种异构体在分子尺寸和偶极矩上的显著差异性，材料的宏观特性会发生可逆变化。将偶氮苯基团引入聚合物体系，利用偶氮苯基团的光致顺反异构特性，我们期望能够实现对聚合物性能实现光控调控和优化，以满足复杂多样化的应用需求。

高能量转化效率电化学人工肌肉纤维研究

杨彤彤*

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所

碳纳米管因其卓越的机械强度、高弹性模量和本征导电性，已成为人造肌肉纱线的理想材料。在前期研究中，我们提出了一种基于双离子协同调控系统的电化学人工纱线肌肉设计。该体系通过构建双反应通道缩短离子迁移路径，实现了更快速高效的驱动性能。然而，此类系统要产生大应变输出往往需承受高机械载荷，这导致一个根本性矛盾：过度嵌入会大幅增加能量输入，降低整体能量转换效率。当前研究重点是调控碳纳米管结构以及优化电压区间。我们在双离子协同调控的既有成果基础上进一步优化体系，同步实现了更高能量转换效率与优良的收缩保留状态。

液晶非线性光场调控

马玲玲*，陆延青*

南京大学

本报告将基于铁电向列相液晶体系，阐释了自旋锁定的非线性几何相位编码原理和级联的线性/非线性自旋-轨道相互作用物理过程，通过对铁电向列相液晶空间极化矢量的动/静操控，实现对入射光的频率、相位、振幅、自旋/轨道角动量等光场自由度的多维调控，为发展高效率、可重构非线性光子器件提供新方法。基于铁电液晶材料的非线性软物质光子学平台有望为在高阶涡旋光源、超分辨率成像、光信息处理等

领域取得重要应用。