

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

D09-纤维材料改性与复合技术
D09-Fiber Materials and Composite
Technology

Organized by

Chinese Materials Research Society

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

D09-纤维材料改性与复合技术**分会主席：朱美芳、彭慧胜、高超、廖耀祖、王栋****报告****D09-01****聚酰亚胺纤维：从基础研究到产业化应用**

张清华*

东华大学

聚酰亚胺纤维具有优异的耐热性、抗空间辐射特性和优良的力学性能等，在譬如高温、放射性环境中具有更大的应用优势。为此，我们自 1999 年始开展聚酰亚胺纤维的研究工作，在聚合物的结构设计与合成、纤维成形动力学和凝聚态结构调控等开展了系统基础研究，提出并建立了“反应纺丝”新原理和新方法，在此基础上，突破了高粘度纺丝液的合成与输送、纤维干法纺丝成形工艺、环化-拉伸一体化以及装备成套化等纤维制备关键技术，建成了国际上首条干法纺聚酰亚胺纤维千吨级生产线，实现了纤维的差别化和系列化，并成功应用于航空航天、特种防护等领域。成果“干法纺聚酰亚胺纤维制备关键技术及产业化”获 2016 年国家科技进步二等奖。

D09-02**醋酸纤维素和改性醋酸纤维素纤维调控的结晶拆分**宛新华*¹、王兆旭¹、李婧¹、叶曦翀²

1. 北京大学化学学院

2. 西安交通大学材料科学与工程学院

获得光学纯药物在新药研发中具有重要的意义。因操作简单、成本低、易于大规模生产，重结晶仍然是目前市场上大多数手性药物或其中间体生产的首选方法。在前期工作中，我们基于新型“量身定制”结晶拆分添加剂的设计、合成，建立了“自警报”和“模拟磁选矿”对映体分离新方法，通过一次结晶操作，高产率地获得两种光学纯对映体[1,2]。利用非共价相互作用，将手性小分子锚定在市售非手性聚合物主链上，制备了一系列超分子聚合物抑制剂[3]。仅需改变客体小分子结构就能适用于不同底物的选择性结晶，简化了制备工艺、降低了成本，便于快速结构筛选。

由 D-葡萄糖通过 1,4-β-糖苷键连接而成的纤维素是地球上分布最广、产量最大的一种天然高分子。利用纤维素的手性识别、拆分一对对映体具有悠久的历史，特别是基于纤维素和淀粉等多糖衍生物的高效液相色谱（HPLC）手性柱的出现大大推动了立体选择性分析技术和不对称合成化学的发展。然而，当将基于手性色谱柱的 HPLC 技术用于手性化合物的制备时存在效率低下的问题。尽管模拟流动床技术和手性色谱柱结合可以提高制备效率，但设备昂贵，且生产规模仍然受限。源于一次不太合规的实验操作，我们发现醋酸纤维素可以调控手性药物尼莫地平、愈创甘油醚和苯基乳酸的立体选择性结晶。最近，通过光诱导接枝聚合，在醋酸纤维素纤维表面引入聚(N-α-叔丁氧羰基-N-ε-甲基丙烯酰-L-赖氨酸)。脱去保护基后，将纤维悬挂于外消旋天冬酰胺过饱和溶液中，使得 L 对映体在纤维表面结晶、D 对映体在瓶底结晶。在优化条件，总产率超过 30%，两种晶体的光学纯度均超过 95 ee%。将纤维洗涤烘干后重复使用，依然保持拆分能力。感谢国家自然科学基金的资助（52333008）。

参考文献：

1. Ye, X. C.; Cui, J. X.; Li, B. W.; Li, N.; Zhang, J.; Wan, X. H. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2018, 57: 8120.
2. Ye, X. C.; Cui, J. X.; Li, B. W.; Li, N.; Wang, R.; Yan, Z. J.; Tan, J. Y.; Zhang, J.; Wan, X. H. *Nat. Commun.* 2019, 10: 1964

3. Ye, X. C.; Wang, Z. X.; Zhang, J.; Wan, X. H. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2021, 60: 20243.

D09-03

高强高导电碳纳米管纤维技术与应用

李清文*

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所

与传统纤维相比，碳纳米管纤维具有超高的机械强度、优异的结构柔韧性、高导热性和导电性、优异的耐腐蚀性和抗氧化性等优点，有望成为下一代碳纤维。目前，碳纳米管纤维的制备方法主要包括采用碳纳米管液晶溶液湿纺，以及通过碳纳米管阵列和碳纳米管气凝胶干法纺丝。然而，考虑到合成效率、环境污染、可批量化制备、纤维性能和可加工性等因素，干法纺丝连续制备碳纳米管纤维是一种更有潜力的策略。在本报告中，我将展示我们团队在连续制备碳纳米管纤维方面的最新进展，制备的纤维具有理想的直径、聚集态形貌、强度和导电性。最后，提出并展望了碳纳米管纤维在可穿戴设备和智能纺织品中的潜在应用。

D09-04

湿电柔性结构与电学整流

曲良体*

清华大学

自然界中的水汽无处不在，基本不受环境因素的限制，水汽的自发扩散行为蕴含着巨大的能量，但其能量的有效转化与利用仍缺少系统研究。近年来，我们团队通过对可电离的高分子及氧化石墨烯等进行系统的调控改性，开发了大气环境直接离子迁移产生电能的湿气产电纤维状、薄膜状及可折叠叠层器件结构；目前利用水汽诱导产电器件可产生高达数十伏、甚至上千伏的可输出电压，能够为商用电子元器件进行供电。相关“空气发电”的研究成果为深入认识水汽能量转化过程，进而有效利用水汽诱导能量产生，作为清洁能源开辟了新的路径。

环境的不稳定性往往诱使产电信号的波动，电能的储存与调制是其有效利用的关键环节。电化学电容器是一种具备高功率密度和长期循环稳定性的储能器件并兼具耦合、调谐等多种功能。我们通过电极材料微结构控制、器件结构设计，实现了快速的离子、电子迁移能力，表现出极其出色的电信号稳定与滤波能力，可以将任意的线性波、图形波、噪声波转化为直流信号，在宽频率范围内（1-10000Hz）及高电压下展现出巨大应用前景。

D09-05

多孔材料仿生设计与制备 ——以仿北极熊毛核壳结构封装气凝胶纤维为例

柏浩*

浙江大学

北极熊毛、动物骨骼、木材等典型天然多孔材料，通过构筑多级复杂有序、结构功能耦合的多孔结构，实现了高效隔热、轻质高强、减震吸能、长程液体输运等优异特性。从物质与能量利用经济性角度，既利用尽量少的物质实现了生物学功能，又通过降低密度、高效隔热等减少了材料使用过程的能耗。通过对天然材料的仿生研究，设计制备具有显著物质与能量利用经济性的新材料对未来社会可持续发展、节能降碳等都具有十分重要的意义。针对这一目标，本团队在北极熊毛、墨鱼骨等典型天然多孔材料结构功能关系解析、基于冰模板技术的多孔材料制备方法学、多孔纤维/块体材料仿生设计与功能耦合等方面开展了系统研究。本次报告将以仿北极熊毛核壳气凝胶纤维为例，对上述研究思路进行系统介绍，并尝试展望这一方向的未来发展趋势。

参考文献

Wu, M.; Shao, Z.; Zhao, N.; Zhang, R.; Yuan, G.; Tian, L.; Zhang, Z.; Gao, W.; Bai, H.; Science, 2023, 382,

1379

Li, M.; Zhao, N.; Mao, A.; Wang, M.; Shao, Z.; Gao, W.; Bai, H., Nature Communications 2023, 14, 7855

Xu, Z.; Wu, M.; Gao, W.; Bai, H., Science Advances 2022, 8, eabo0946

Mao, A.; Zhao, N.; Liang Y.; Bai H., Advanced Materials 2021, 33, 2007348

Zhao, N.; Li, M., Gong, H.; Bai, H., Science Advances 2020, 6: eabb4712

Cui, Y.; Gong, H.; Wang, Y.; Li, D.; Bai, H., Advanced Materials 2018, 30, 1706807

D09-06**高性能纤维针织结构材料可控成形制备、性能与应用**

马丕波*

江南大学

本报告系统阐述了高性能纤维针织结构材料的可控成形制备技术、性能特点及其在多领域的应用前景。首先, 报告对纺织结构进行了简要介绍, 强调了其在现代工程中的重要性。随后, 报告详细分析了轴向结构、网状结构、间隔结构、绒类结构及异形结构织物的制备工艺、力学性能和功能性特点。此外, 报告还介绍了高性能纤维针织结构材料在航空航天、高端装备、智能纺织品等领域的创新应用, 以及其在提高产品性能、降低成本方面的巨大潜力。这些研究成果不仅丰富了纺织材料领域的理论基础, 也为未来高性能材料的开发与应用提供了重要参考。

D09-07**液晶弹性体纤维**

杨忠强*

清华大学化学系

液晶弹性体 (LCE) 是液晶基元与高分子链耦合而成的交联网络, 由于液晶在外界如光、电、磁、热等刺激下发生相转变, 使得材料表现出各向异性的光学力学性质。因其大幅度、可逆响应性以及固有的柔性, 近年来成为构筑柔性驱动器的优异材料。本报告将介绍课题组所发展的制备液晶弹性体纤维工艺, 包括干法纺丝、熔融纺丝以及旋转 3D 打印, 详细讲述如何获得实心 and 空心纤维, 及其尺寸、结构和液晶取向的调控。最后基于液晶弹性体纤维构筑柔性驱动器并展示多种功能, 例如, 仿心肌行使泵送功能、仿肱三头肌实现快速投球; 丰富驱动器的响应模式, 实现除了常见的收缩、弯曲形变, 还发展了伸长和扭转等形变; 将液态金属与纤维复合, 实现传感和驱动一体化; 基于针织技术增材制造具有织物结构的柔性驱动器。以上工作为构建新型简易、智能、小型化的柔性驱动传感器提供新的设计理念。基于纤维结构所构筑的 LCE 驱动器有望应用于智能穿戴、运动辅助和人机交互等领域。

D09-08**高导热高模量石墨烯纤维**

高超*、李鹏

浙江大学

石墨烯纤维是由石墨烯基元有序组装而成的新型碳基纤维, 在未来航空航天重要装备等方面应用潜力巨大。2011 年, 团队首次提出氧化石墨烯液晶湿法纺丝策略, 发明了石墨烯纤维, 首创石墨制纤的全新路径, 跳出了石油制备碳纤维的传统路线。近期, 团队提出“复合流场湿法纺丝”方法, 纺丝的同时, 引入径向的旋转流场, 使原本径向无序分布的氧化石墨烯基元有序化排列, 形成了同心圆的液晶织构。经过干燥和热处理, 纤维中有序晶区的三维尺寸均大幅增加, 使石墨烯纤维同时实现了超高导热和超高模量的优异性质。该进展进一步加深了对石墨烯纤维多尺度结构的认识和控制水平, 向结构功能一体化石墨烯基碳纤维目标迈进了一步。

D09-09**蚕丝电子纤维材料**

张莹莹*

清华大学

柔性可穿戴智能器件与系统因其在生命健康、人机交互等领域的巨大潜力而受到广泛关注。探索高性能柔性可穿戴电子器件的可持续、低成本、规模化制备方法具有重要意义。新型柔性可穿戴材料的开发是发展柔性可穿戴器件的重要基础。桑蚕丝是一种具有五千年使用历史的天然蛋白材料，广泛用于传统服饰和特种功能材料，且在我国具有丰富的天然资源，是一类很有潜力的柔性可穿戴功能材料。该报告将介绍蚕丝材料的基本性质，并基于本团队的研究实例介绍蚕丝材料在柔性可穿戴领域的应用。例如，蚕丝基导电纤维、蚕丝电子皮肤、蚕丝-纳米碳导电油墨、丝蛋白-石墨烯自供能柔性传感器、碳化丝绸基柔性传感器等，以及在此基础上创制的纤维与织物基柔性可穿戴式传感器件和感知-反馈一体化智能系统，展示其在运动监测、呼吸监测、人机交互、早期医疗诊断方面的应用前景。

D09-10**从“灯芯”到“电子纱线”——基于毛细作用的可穿戴纱线基微流控器件**

鲁志松*、肖刚、巨俊、伍亮

西南大学

人类很早就认识到灯芯可以将灯油送到火焰处支持燃烧，这为古代人类漫长的黑夜带来了些许光亮。最早的灯芯由植物纤维通过加捻获得，纤维与纤维之间微小的间隙通过毛细作用完成了灯油的自发运输。纱线在纺织行业中历史悠久，它由多根纤维复合加捻而成，进一步通过缝纫、编织、打结和缝合等方式融入到服装中。在高温、运动或焦虑情况下衣物被汗液润湿是常见的现象，这一过程高度依赖于纱线对汗液的吸收和转运，而汗液富含多种离子和人体代谢产物。因此，如能将纱线基的微流控机制与汗液相结合，则可能发展出基于纱线微流控机制的可穿戴织物电子器件。在本报告中，我将首先介绍液体沿纱线流动的基本原理。在该原理的指导下，我们可通过纱线表面等离子体处理、聚合物修饰、捻度调控等方式改变液体在纱线上的吸收和运输行为。通过智能响应聚合物刷的修饰，甚至可以实现物质的富集和油水分离。随后，我们将汇报我们把纱线基微流控系统用于人体汗液分析方面的工作。我们先后构建了单通道和多通道的纱线—纸芯片汗液分析系统，并将其整合于护臂或头带上获得基于纱线微流控的可穿戴汗液分析系统。在该报告中，我们还将汇报基于纱线微流控机制的可编织纱线状汗液激发电池。第一代器件以棉纱为基材，采用分段式设计构建了以铝箔包裹段为阳极、未修饰段为盐桥、碳黑修饰段为阴极的首个纱线状汗液激发电池。该电池生物相容性好、具有极好的柔性，可通过传统纺织技术整合为发电织物。通过将其与汗液激发纱线状超级电容器联用，可解决分段式电池输出性能不足的问题，可间断式驱动小型电化学分析仪。通过进一步优化设计，我们开发了隔膜层更薄、内阻更小的第二代同轴结构汗液激发纱线电池，其最大功率密度是分段式汗液激发纱线电池的 50 倍。该器件可编织整合到织物中，经裁剪和合理串并联形成汗液激发供能 T 恤，为柔性拉伸运动监测系统供电，实现了对人体运动过程中手臂摆动、呼吸频率等信号的无线传输监测。最后，我们还将汇报近期纱线状汗液激发电池以多功能敷料形态在促进伤口方面的应用。

D09-11**高性能纤维锂离子电池的设计与连续化构建**

王兵杰*、江海波、彭慧胜

复旦大学

基于柔性电子的可穿戴电子设备是目前学术界和产业界共同关注的前沿领域，其面向微型化、轻量化、柔性化和集成化的发展趋势对储能部件提出了更高的要求，发展柔性、轻质、易集成的储能部件成为该领域的热点方向。将储能部件与纤维结合产生的纤维电池具有独特的优势，可以实现弯曲、拉伸甚至三维扭曲等较大变形，并能通过成熟的纺织技术，形成具有良好柔性和高透气性的电池织物，为下一代可穿戴电

子设备的设计和应用提供了更多可能。已报道的纤维电池大多采用基于传统有机溶剂的液态电解液，这类电解液在弯折使用过程中易出现胀气、漏液等现象，导致纤维电池的性能衰减；同时有机电解液具有较强的可燃性，在可穿戴应用场景下，一旦电解液发生泄漏就有可能引发燃烧、爆炸等严重的安全问题，成为限制纤维电池生产与应用的瓶颈难题。

以固态电解质或凝胶电解质替代有机电解液被认为是解决锂离子电池安全问题的有效途径。但这两类电解质流动性差，很难在高曲率、多孔道的纤维电极表面充分铺展并有效浸润电极材料，存在界面电阻高、离子电导率低等问题。同时此类电解质与电极的结合力差，使得纤维电池在充放电或剧烈形变后容易发生电极/电解质界面剥离，性能衰减严重。针对上述瓶颈，本团队提出通过原位聚合在多孔道纤维电极表面制备高粘附力凝胶电解质的方法，构建高稳定性的纤维电极/凝胶电解质界面，提升纤维电池的电化学性能和安全性。首先，低粘度的聚合前驱体溶液可以在高曲率、多孔道纤维电极表面充分铺展并浸润活性材料，进一步原位聚合后可形成广泛的电极/电解质接触界面，提高离子传输效率，改善纤维电池的电化学性能；其次，高粘附力的凝胶可以与纤维电极形成牢固的界面结构，在充放电或剧烈形变时保持界面稳定，从而提高纤维电池的柔性和结构稳定性。通过本课题的研究，建立起材料设计-界面工程-宏观性能之间的关联规律，为兼具高电性能、高柔性、高安全性的纤维锂离子电池的产业化研究提供理论和实验支持。

D09-12

高导电有机柔性纤维的制备及其热电性能

蒋丰兴^{*1}、刘京^{1,2}、王德平²

1. 江西科技师范大学

2. 同济大学

近年来柔性电子领域的迅猛发展和集成化微型化的趋势，为可穿戴能源供给器件提出了更高的要求。随着人们对于可穿戴设备功能的多样化需求，如何高效、稳定地供给能源成为了研究的热点。热电效应作为一种能够通过温差产生电能的技术，因其结构简单紧凑在柔性可穿戴器件中的潜在应用而备受关注。本项目立足于当前室温下性能卓越的有机热电材料 PEDOT:PSS，通过优化一维限域凝胶法结合有效的溶剂置换和极性溶剂后处理制备出了柔性高导电的纤维材料[1]。在此基础上，我们引入了包括碳纳米管和石墨烯在内的高导电性低维碳材料，旨在通过复合材料界面处潜在的能量过滤效应实现 Seebeck 系数和电导率的解耦，以期进一步提高材料的热电性能[2-4]。最后，我们对基于 PEDOT:PSS 的混合纤维在可穿戴热电转换器件中的潜在应用进行了初步的探究和评估。结果表明，基于 PEDOT:PSS 的混合纤维在可穿戴热电转换器件中具有潜在应用转化前景，本项目推动了柔性可穿戴能源器件的进一步发展。

D09-13

柔性光电功能纤维材料与器件技术研究

陶光明*

华中科技大学

柔性光电功能纤维材料与器件为智能可穿戴设备带来新的生机，通过将多种光电功能材料以跨尺度结构集成在柔性纤维与织物中，可以精准、快速且持续性感知和调控人与物质交互过程中光、热、电、力等多物理参量的变化。通过本次报告，我将介绍本团队在光电功能纤维材料与器件领域方面的最新研究进展：1) 研制了一种基于纤维内纳米颗粒和纤维间微米结构的跨尺度宽光谱光热精准调控织物器件，实现汽车模型内部降温超 30 °C、人体皮肤表面有效降温约 5 °C；2) 研制了一种高精度无感化人机交互电子织物器件，获得了高达 96% 的交互精度；开发了一种无感化生命体征监测装备，通过“无感化交互传感-全覆盖实时传输-云边端协同处理”三位一体技术，形成疾病症状可量化的智能评估体系，对人体进行长期、实时、无感化的监测心率、呼吸、体温、动作模态等体征信息；3) 研制了一种微创医疗纤维机器人“Fiberbots”，通过精确导航和能量传输的协同设计，实现了一种新型的体内导航-任务-循环的介入平台。

D09-14

离子纤维器件

凌盛杰*

上海科技大学

丝蛋白纤维及其衍生材料具有独特复杂的多层级结构及良好的生物相容性,使其在可穿戴及智能传感材料领域表现出良好的应用前景。本研究以天然动物丝纤维的高性能离子导体为原材料,深入探究了这些材料的“结构-性能”关系。通过可控的纳米晶交联点的引入,制备了丝素蛋白弹性膜,通过机械训练和溶剂诱导实现了丝素蛋白弹性体的力学增强,通过干法向列纺丝,可在最小的外力作用下使用液晶质地的丝蛋白微纤溶液形成了纤维。在不同的应用场景下,这类材料有效平衡了拉伸性、韧性和杨氏模量,并具备优秀的离子导电性。此外,深入探究了丝蛋白基水凝胶离子导体材料在反复力学刺激下产生的“安定效应”机制,以及力学拉伸和高环境湿度条件下丝素蛋白缓慢受控结晶的机制。进一步通过个性化功能改性及材料结构设计,构建了一系列结构稳定、性能优良的传感器件:如基于强拉柞蚕丝的人工肌肉、基于功能化丝蛋白离子导体纤维的电子皮肤、基于导电丝蛋白弹性体的可交互的发光器件人工运动和触觉感受系统、基于丝蛋白-细菌纤维素离子弹性体的智能分拣、自动组装、垃圾和有害物质的分类器等。这些前期的研究探索充分展示了丝蛋白纤维及其衍生材料在功能化器件领域的应用前景,为环境友好可降解器件的设计提供了一定的参考。特别是结合机器学习和物联网技术,拓展了其在环境监测、智能识别、生物医疗和柔性显示等多个领域的广泛应用潜力,为离子导体材料的设计和应用开辟了新的前景。

D09-15

氟化改性固态聚合物电解质的制备及在锂电中的性能研究

朱申敏^{*1}、沈洁清¹、刘朔含¹、权恒道²

1. 上海交通大学 材料学院金属基复合材料国家重点实验室, 上海闵行东川路 800 号, 200240
2. 北京理工大学 化学化工学院, 北京市海淀区中关村南大街 5 号, 北京, 10008

固态聚合物电解质 (SPE) 因其柔韧性、界面相容性及可加工性,在解决锂金属电池的安全问题方面具有特殊的潜力。基于聚环氧乙烷 (PEO) 的固态电解质的优异锂盐溶剂化能力尤其引人关注。遗憾的是,PEO 本身的低离子导电性和有限的电化学稳定性极大地阻碍了其应用。在此,我们提出了一种基于调节高压固体锂金属电池的 Li-O 配位的策略,通过在半离子状态下产生具有 C-F 键的氟化 PEO (SIF-PEO) 作为电解质。SIF 键可以调节 SIF-PEO/LiTFSI 电解质中的 Li⁺溶剂化结构,削弱了 Li-O 配位,有效地提高了 Li⁺离子的传输能力。密度泛函理论(DFT)计算表明,在 PEO 中引入 SIF 键会降低最高占据分子轨道(HOMO)能级,这有助于提高电解质的氧化分解电势。因此,与原始 PEO 相比, SIF-PEO 的离子电导率和阴极氧化电位显著提高。SIF-PEO 电解质在 0.1 mA cm⁻² (长达 550 小时) 的电流密度和 136 mV 的低过电位下显示出锂对称电池的高循环稳定性。特别是,与高压正极组装的锂金属电池在 40°C 下,表现出出色的容量保持和循环稳定性 (库仑效率, 99.79%, 在 0.5 C 下使用 LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O₂ 进行 500 次循环)。有望为高压全固态锂金属电池用聚合物电解质设计提供一条工程化途径。

D09-16

高倍牵伸诱导的生物聚酯新晶的形成与结构演变

马丕明*

江南大学

拉伸诱导结晶及取向等凝聚态结构对调控聚合物宏观性能,尤其是纤维与拉伸薄膜的力学性能至关重要。聚乙醇酸 (PGA) 是一种力学强度高、耐热性好、可家庭堆肥的煤基生物可降解材料,但其应用却受限于密度高、熔点高和脆性大等性能短板[1]。PGA 独特的物理机械性能与晶体结构密切相关,但自 Chatani 等人 1968 年报道 α 晶型结构以来尚无其他晶型结构的相关研究。本工作首次在 PGA 牵伸过程中发现一种新的 β 晶型。基于 β 晶的广角 X 射线衍射数据对其晶胞参数进行指标化,依据 M/N 螺旋链层衍射强度规则以及能量最小化和分子链构象修正,引入域平移解释链结构的无序性,建立了 PGA- β 晶的晶体结构模型,

明确了 β 晶的晶胞参数为 $a = 8.72 \text{ \AA}$, $b = 5.02 \text{ \AA}$, $c = 20.5 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 88^\circ$, 每个晶胞中两条分子链具有 $7/2$ 螺旋构象, 形成三斜 P-1 空间对称[2]。 β 晶可通过对无定形 PGA 进行高倍牵伸并在特定温度域等温结晶形成, 所得 β 晶在室温下可稳定存在, 高温下可转变为热力学更为稳定的 α 晶[3]。相比于 α 晶的全反式 (TT) 构象, β 晶为反式旁氏交替 (TTG) 构象。当温度升高时, β 晶中旁氏 (G) 构象将转变为总能量更低的反式 (T) 构象, 同时分子链发生平移以保持相邻链间的位置关系, 从而转变为 α 晶。此外, 通过调控热牵伸场参数还可一步获得高取向 β 晶, 相比于 α 晶制品具有更低的表观密度 (1.50 g/cm^3) 和更优异的延展性, 拉伸膜的断裂伸长率可提高 200%, 拉伸强度达到 300 MPa。上述研究对我们理解 PGA 结构与性能的关系、挖掘新功能具有重要意义, 也为 PGA 宏观性能调控及其应用拓展提供了新思路。

D09-17

Thermally Drawn Semiconductor Fibers

Lei Wei*

Nanyang Technological University

Thermally drawn semiconductor fibers have emerged as a new yet promising route to enable unprecedented development in information technology. By adopting the well-developed preform-to-fiber manufacturing technique, a broad range of functional materials can be seamlessly integrated into a single fiber at kilometer length to deliver sophisticated functions. Here, we present the recent development of thermally drawn advanced functional fibers, from the fundamentals to in-fiber device demonstration. Especially, the integration of semiconductor materials into fiber geometries provides a unique route to introduce new functionalities into the existing fiber technologies. Main fabrication approaches to produce these fibers are summarized. Also, prospects and applications of this new class of fibers are discussed.

D09-18

形状记忆聚合物复合材料及其应用

张风华*

哈尔滨工业大学

形状记忆聚合物及其复合材料是一种激励响应的智能材料, 它具有保持临时形状, 在特定的外界环境激励 (热、电、光、磁或射频等) 下回复至其初始形状的能力。基于形状记忆材料制备的智能结构兼具了独特的形状记忆特性和轻质高强的特点, 具有主动变形、自感知、自驱动、自修复等功能。在形状记忆聚合物复合材料及其智能结构设计和应用方面开展系列研究, 设计多种形状记忆智能结构, 在航天、生物医学、4D 打印等领域得到初步应用。

D09-19

烯碳复合纤维可控制备及功能化应用

邵元龙^{1, 2}

作者所在单位:

1 北京大学材料科学与工程学院, 北京大学前沿交叉学科研究院

2 北京石墨烯研究院

纤维在人类社会中扮演着重要的角色, 从国防科技到航空航天, 从城市基建到休闲用品都有纤维的身影。随着社会不断的进步发展, 人们对高性能、多功能纤维的需求与日俱增。作为碳纤维领域的最新成员, 石墨烯纤维在初次制备至今一直广受关注, 并已在能量转换、能量存储、传感响应等多功能领域开发相关应用。本报告将结合石墨烯优异的本征特性, 详细介绍本研究团队借助湿法纺丝基础, 探索石墨烯在复合纤维体系内增强机制。通过对石墨烯片层表面化学结构修饰, 形成共价接枝结构, 亦或调控复合纤维体系的流变学行为, 形成高度取向且结构致密纤维, 增强复合纤维力学、导电及电化学特性, 简要分析石

墨烯复合纤维体系的前沿策略以及关键挑战。

D09-20

高分子氢键复合物纤维的“时湿等效”行为

杨曙光*

东华大学

“时温等效”是高分子材料动力学行为的基本规律。[1] 湿度是环境基本参数之一，许多极性高分子材料的力学松弛行为对湿度表现出显著依赖性。[2] 高分子复合物是不同高分子客居自身与溶剂作用聚集组装所形成的软物质。[3] 实验表明，许多高分子复合物的性能对湿度敏感。[4] 本工作以聚丙烯酸(PAA)与聚氧化乙烯(PEO)为基础高分子，制备氢键复合物纤维，以海藻酸(ALG)/壳聚糖(CHI)制备静电复合物纤维。[5, 6] 研究不同湿度环境下，高分子复合物纤维的玻璃化转变和力学拉伸行为。通过不同湿度下动态力学分析的频率扫描测试，利用“时间-湿度叠加”构筑长时间尺度下的力学松弛主曲线。并在不含水的情况下，研究高分子复合物纤维的时间-温度等效性，利用“时温叠加”构筑主曲线。在“时温叠加”和“时湿叠加”主曲线的基础上，尝试时间-湿度-温度叠加构筑力学松弛主曲线，深入理解湿度和温度耦合场下高分子复合物体系的动力学行为，从而指导其实际服役使用。

参考文献：

- [1] Pilar C. Suarez-Martinez, Piotr Batys, Maria Sammakorpi, Jodie L. Lutkenhaus. *Macromolecules* 2019, 52: 3066.
- [2] Wentao Huang, Jiefu Li, Dezhong Liu, Shuaixia Tan, Pengfei Zhang, Liping Zhu, Shuguang Yang, *ACS Appl. Polym. Mater.* 2020, 2, 2119.
- [3] Hao Huang, Miranda Trentle, Zexin Liu, Kehui Xiang, William Higgins, Yunbing Wang, Bing Xue, Shuguang Yang, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2023, 15, 6, 7639.
- [4] 张彩虹, 王伟杰, 黄浩, 刘泽新, 杨曙光. *高分子学报* 2023, 54: 1772.
- [5] Hao Huang, Zexin Liu, Hanxin Jian, Yuan Yao, Bing Xue, and Shuguang Yang, *Humidity-ACS Appl. Polym. Mater.* 2024, 6, 4634.
- [6] Hao Huang, Weijie Wang, Zexin Liu, Hanxin Jian, Bing Xue, Liping Zhu, Kan Yue, and Shuguang Yang, *Small* 2024, 2308063.

D09-21

多功能纤维与智能织物

梁嘉杰*

南开大学

可穿戴电子织物在智慧医疗、运动监测、智能防护、增强现实/虚拟现实等智能应用领域具有广阔的应用前景。如何兼顾电子器件功能性和可穿戴织物特性是电子织物发展中面临的最大挑战。二维过渡金属碳化物(MXene)纳米片，由于其优异的力学，导电性及多功能特性，作为新一代纤维功能材料，在电子织物应用中展现出巨大的应用潜力和科研价值。但由于MXene层间作用力主要为弱范德华力和氢键作用，MXene纤维的力学强度和韧性受到极大限制，远低于碳纳米管和石墨烯纤维，严重制约其应用发展。本报告提出了一种基于多相分子界面和多级微纳结构协同的新策略，设计制备了高强、高韧、高柔、功能一体化MXene纳米复合纤维，并探索其智能电子织物中的应用。

References:

1. Jiajie Liang* et al, “Extremely Robust and Multifunctional Nanocomposite Fibers for Strain-Unperturbed Textile Electronics”, *Advanced Materials*, 2023, 35, 2209527.
2. Jiajie Liang* et al, “Biomimetic Super tough, Strong and Ductile Artificial Polymer Fiber based on

Immovable and Slidable Crosslinks”, Nano Letters, 2023, 23, 6216.

3. Jiajie Liang* et al, “A Microphase-Separated Design Toward an All-Round Ionic Hydrogel with Discriminable and Anti-Disturbance Multisensory Functions”, Advanced Materials, 2024, 36, 2309508.

4. Jiajie Liang* et al, “Pushing Detectability and Sensitivity for Subtle Force to New Limits with Shrinkable Nanochannel Structured Aerogel”, Nature Communications, 2022, 13, 1119.

5. Jiajie Liang* et al, “An Auxetic Cellular Structure as A Universal Design for Enhanced Piezoresistive Sensitivity”, Matter, 2022, 5, 1547.

D09-22

原液着色阻燃尼龙航空地毯的研究和全回收回用

古哈尔娅·伊孜丁*¹、付常俊¹、杨威²、胡琳³

1. 上海安凸阻燃纤维有限公司

2. 中航材北京航空工艺地毯厂

3. 中国商飞材料部

原液着色阻燃尼龙航空地毯，可以减轻地毯的重量、降低飞机飞行过程中的碳排放并且耐磨性高、使用寿命长，综合性能更加优异。由于绒头纱、经纬纱、背胶均为聚酰胺和聚酰胺相容性材料，因此使用后可以全回收，这也解决了目前羊毛地毯存在的不能回收的问题。原液着色阻燃尼龙航空地毯回收后先进行破碎、再改性造粒，可以得到 30%玻纤增强的黑色阻燃无卤 V0 级的尼龙 6 或尼龙 66 改性工程塑料，可以用于电器插件壳体，家具座椅、万向轮等领域。这对于航空内饰材料的绿色可持续发展与技术革新具有积极的意义和推广价值。

D09-23

面向人体个性化管理的自驱动电子纺织品

龚维*

安徽农业大学

纺织品是各种新兴可穿戴设备的常见载体，通过纺织品的湿热管理可以调节人体的生理舒适度、预防疾病并降低由负面情绪引起的决策错误。尤其是在闷热潮湿的环境中，人体表面的服装限制了汗液的传输和蒸发，进一步加剧了上述问题。近年来，虽然研究人员为改善纺织品的汗液传输开展了一系列工作，但仍有一些核心问题尚未解决。为了保证衣物的干爽性和人体的舒适感，提高纺织品的水分蒸发速率是非常有意义的。本文探索了铁电纳米纤维在金属和聚合物接触起电过程中的增强机制，并根据润湿性梯度和孔径差异设计了一种定向吸湿排汗织物，该织物可以让汗液快速渗透，然后在亲水层中迅速扩散蒸发。在整个吸湿排汗过程中，疏水层与皮肤接触的一侧水分含量始终为 0（从测试的第一秒开始），从而保持体表绝对干燥。这种新型的自驱动纺织品在速干运动服、凉爽面料、无线运动监测鞋垫等领域显示出广阔的应用前景。

D09-24

润湿功能与智能纤维材料

王元丰*

深圳大学

本研究探讨了润湿功能在智能纤维领域的应用，内容涵盖润湿现象解析、润湿材料构建方法以及润湿界面的能量与信息传递机制。通过对润湿现象解析揭示润湿过程的基本规律，为智能纤维的设计提供了理论基础。在润湿材料构建方面，研究多种先进方法，实现了润湿性能的精确调控。进一步地探讨润湿界面在能量与信息传递中的关键作用，揭示了其在智能纤维感知和响应外部环境中的潜在应用价值。本研究不仅为智能纤维的研发提供了新的思路，也为润湿功能与智能纤维在更多领域的应用开辟了新道路。

D09-25

具有高灵敏度的抗拉伸纤维基温度传感材料

陆莹*、王栋
武汉纺织大学

具有实时监测人体体温的柔性可穿戴材料对于提升家庭健康管理及疾病医疗诊断具有重要意义，因此迫切需要开发灵敏度高、响应速度快、稳定性好的纤维基温度传感材料。本研究开发了一种表面化学修饰的银纳米线的可拉伸、应变不敏感温度传感材料。采用聚苯胺-L-半胱氨酸乙酯盐酸盐（PANI-LCO）导电配体对银纳米线（AgNWs）的表面聚合物进行调节，获得高温敏系数的银纳米材料，并和应力不敏感的螺旋结构复合纱线协同，构筑纤维基复合温度传感材料。其电阻温度系数(TCR)高达 47.4% /°C，且具有抗拉伸干扰性能，以及优异的机械和温度稳定性，能实时监测人体温度变化。基于纤维的温度传感材料具备出色的适应性，可便捷地编织或缝制于纺织品中，具有广泛的应用前景。

D09-26

高选择性吸附分离多孔高分子

张卫懿*
东华大学

吸附与分离用多孔高分子是我国现阶段发展所需的关键性战略材料，由于其低能耗与高选择性的特点，被广泛应用于各类元素与化合物的分离、回收、捕获、去除，如海水淡化、药物分离、防污净化、金属富集等等。随着国家对不可再生战略资源富集/回收的日益重视，吸附与分离用多孔高分子被更多应用于以上战略领域，因而对此类材料提出了更高的要求。然而，实际应用场景需要多孔高分子本身兼具高通量物质输运与高选择性吸附/分离，以实现最高效的分离/回收/捕获；然而，现实应用中两者难以同时达成；吸附多会迟滞流体流动导致输运慢，输运快则作用时间短而导致吸附少，极大限制了此类材料的功能发挥。

针对以上难题，从流体输运原理出发，报告人通过研究传质速率方程和流体控制方程(图 1)，调控扩散、压降等参数，增加传质动力、降低传质阻力，可以实现吸附/分离与输运功能的同时提升。根据以上原理与规律，申请人探索了如何设计兼具高选择吸附/识别与高通量分离的多孔高分子，开展了以下系统研究工作：(1)引入专一性吸附/识别位点：发现并提出了“卡宾”基团的选择性吸附与识别的新方法，构建了对金离子、质子具有专一性吸附/识别作用的有机多孔聚卡宾块材/膜；(2)构建特异型孔道结构：提出了模板介导法构筑仿生梯度孔道结构新路线，制备了具有连续梯度结构的膜材料，阐明了特异型孔道结构对流体输运与分子筛分的作用机制。以第一/通讯作者发表了 Nat. Commun. (2 篇)、Adv. Mater. (2 篇)、Angew. Chem. Int. Ed. (1 篇)、ACS Nano (2 篇)和 Prog. Polym. Sci. (1 篇)等 SCI 论文，2 篇论文入选 ESI 高被引论文；相关研究成果被国家工信部、英国 Nature Research Chemistry Community、Nature Materials Community，德国 Wiley Chemistry Views 杂志等媒体重点报道。

参考文献

- [1] Zuo, H.; Lyu, B.; Yao, J.; Long, W.; Shi, Y.; Li, X.; Hu, H.; Thomas, A.; Yuan, J.; Zhang, W.*; Liao, Y. * Adv. Mater. 2024, 202305755.
- [2] Li, X.; Wang, Y.-L.; Wen, J.; Zheng, L.; Qian, C.; Cheng, Z.; Zuo, H.; Yu, M.; Yuan, J. Li, R.; Zhang, W.*; Liao, Y.* Nat. Commun. 2023, 14, 263.

D09-27

柔性光热纤维器件制备及功能集成织物应用研究

杨玉欣*、李露欣、王代谊
成都大学

柔性织物型功能器件可为新能源和可穿戴电子领域提供更加高效、智能化和便捷化的新途径。纤维器件作为其基本单元，是实现功能转换和应用的核心元素。为了控制微纳功能材料在纤维表面生长过程中高

效构筑，我们开发出基于高曲率界面的强化新方法用以研发纤维基电极材料，并扩展了纤维器件在能源转化中的新应用。首先，基于引入多场的强化方法，在纤维基底界面上生长有序的三维微金属枝晶，并用其作为基底，有效组装氧化铜、氧化镍和氧化锰等功能材料，制备出基于分形结构纤维的高效光热器件和超级电容器。构建出的分形结构光热器件，在一个太阳光下的水蒸发率为 $1.40 \text{ kg m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ，光热效率为 87.8%，并具有出非凡的抗菌能力。其次，进一步提出了一种新型的可扩展和可回收的高效拱桥光热织物。通过传统飞梭织造技术，构建出高效的经向水通道，调节编织工艺实现水通道和光热纤维界面接触新方式，大大提高了光热转换效率和蒸发率。结果表明，在 $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 的太阳光照下，光热织物的温度、蒸发率和光转换效率分别可达 123°C 、 $2.31 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 99.93%。最后，进一步针对高曲率纤维电极界面及纤维交织界面节点，通过微纳功能材料的跨尺度组装，制备出了新型纤维结构晶体管，纤维基场效应晶体管开关比达到 $\sim 1\text{e}3$ 数量级，将多个纤维晶体管用传统编织进行电气连接，成功构建了正确的与门、或门等简单逻辑门电路；同时利用纤维结构器件可编织的优势，结合飞梭织布技术，探索织物化的集成电路布线和连接新工艺；将制备出纤维传感器件、纤维能源器件、纤维晶体管等电子元件，编织集成成为一种可实时监测人体运动、汗液和环境光的可穿戴功能电子集成织物，拓展其在健康监测、医疗预警等领域的新应用。

Reference:

- [1] Y.X. Yang, D.Y. Wang, X. Fan et al. Advanced Fiber Materials, 2024, DOI:10.1007/s42765-024-00392-x.
- [2] H. Zhou, Y.X. Yang *, J. Liu*, Desalination, 2023, 572: 117114.
- [3] Y.X. Yang, H.Y. Zeng, W. Feng, Langmuir, 2023, 39, 3045–3051.
- [4] Y.X. Yang, W. Feng, Y.Y. Huang, Advanced Engineering Materials, 2023, 25(20): 2300386.
- [5] Y.X. Yang, X.F. Wei, X. Fan, et al. Nature Communications, 2021, 12:4876.

D09-28

全生物基聚酰胺 510 的绿色合成与 FDY 纺丝成形

宫玉梅*

大连工业大学

以生物基戊二胺和生物基癸二酸替代石油基单体，选用除氧水为成盐溶剂，制备全生物基聚酰胺 510 (PA510) 盐，对其进行红外和核磁共振氢谱表征，通过差示扫描量热、热失重分析和偏光显微镜测试分析 PA510 盐的熔融温度及热分解行为，确定 PA510 盐的预聚合和终聚合温度。经成盐-缩聚“一锅法”聚合，切片相对粘度 2.44 ± 0.03 ，实现 PA510 分子量可控聚合，并且产物端基分布合理。PA510 熔体具有良好的流变性能和均匀性，可以通过熔融纺丝稳定制得 POY，其线密度为 95.2 dtex，初始模量为 24.0 cN/dtex，断裂强度为 3.32 cN/dtex，断裂伸长率为 63.3%。经过拉伸后制得的 FDY 纤维，断裂强度可达 6.00 cN/dtex，断裂伸长率仍可保留为 17.4%，此时 10% 定伸长下弹性回复为 97.0%。

D09-29

高力学性能水凝胶及其纤维基生物电子传感器应用

汪晓巧*

苏州大学

水凝胶材料柔软、湿润，且具有刺激响应性和高生物相容性，因此在与生物体有密切接触的穿戴式、植入式设备领域具有广泛的应用前景。然而，传统水凝胶通常软而脆，且微结构调控性受限。为了提高水凝胶器件的持久耐用性、功能稳定性，必须实现作为柔软基底或活性组分载体的水凝胶与生物组织的力学性能适配和形状、微结构可适配性。在这里，我们创新提出了分子构象调控、应变诱导取向性结晶等分子机制实现高韧性、高弹性的水凝胶制备；同时，相关分子机制能够与纺丝加工技术耦合，实现可伸缩、多材料集成、多结构的功能软物质纤维电子器件的连续制备。因此，在水凝胶力学性能调控方面，我们可实现跨越四个数量级可控的弹性模量 ($240 \pm 30 \text{ kPa}$ 到 $2050 \pm 370 \text{ MPa}$)、可控拉伸性 (拉伸率 $105\% \pm 2\%$ 到 $2630\% \pm 120\%$) 以及可控粘弹性 (高弹性、滞弹性和塑形)；在可拉伸纤维电子器件制备方面，我们可实现基于单纤维的电阻式超高应变传感、基于三相异质弹性纤维的电容式应变、压力传感和生物电传感，

以及 p/n 交替螺旋热电纤维的人体热能收集和应变不敏感的温度传感。

D09-30

水凝胶纤维成形及性能调控

严玉蓉^{*1}、伍绍吉¹、龚彩红¹、王子超¹、许斯佳¹、冯文²、邱志明¹

1. 华南理工大学

2. 广州市检验检测认证集团

水凝胶纤维由于其离子导电性、高比表面积和易于构建多维结构，在柔性电子领域的应用引起了人们的极大兴趣。然而，目前还缺乏通用的水凝胶纤维连续纺丝方法。基于低表面能界面诱导的区域非均相聚合，提出了一种由单体连续制备水凝胶纤维的通用自润滑纺丝（SLS）策略，并以此为基础研制适应不同应用领域的高强水凝胶纤维。这种基于应用导向自下而上构建微观结构的纤维，可用于一维（1D）应变传感器、二维（2D）方向传感器、三维（3D）压力传感器和水下通信传感器，展示水凝胶纤维在柔性电子中的巨大潜力。

D09-31

纳米纤维液体过滤分离材料的创新与应用

刘轲、程盼、程芹、徐佳、李沐芳、王栋*

武汉纺织大学

高性能液体过滤分离材料是获取高纯度制品，确保产品品质的核心关键，对我国食品与生物医药、电子制造等战略性新兴产业的高质量发展至关重要。聚合物平板多孔膜垄断了全球高效过滤市场，国内技术严重落后，极大制约了我国产业的高质量发展。同时，过滤精度-通量-寿命间的矛盾依然是世界性难题。纳米纤维材料孔隙结构可调、易于加工和功能性，为高性能液体过滤分离材料的构筑提供了新的途径。团队提出了“短程逐级过滤-流体自加速”多层梯度纤维材料高效传质新机制，发明了多相熔融共混相分离制备聚合物纳米纤维的方法，通过纳米纤维浆料涂覆，制备出平均孔径在 20~1000 nm 之间的纤维基液体过滤分离材料。首创了纤维基除菌及除病毒膜、层析膜等生物制药过滤分离新材料，并开发出具有抗菌、抗污、催化或纳滤功能的纳米纤维基过滤分离材料及系列过滤元件，在百威啤酒、人福医药、天马微电子等企业实现工程化应用，满足了多样的过滤分离需求。

D09-32

动态共价交联纤维

游正伟^{*1}、谭回²、张璐之^{1,2}、孙利杰^{1,2}

1. 东华大学(Donghua University)

2. 深圳市儿童医院

共价交联聚合物由于其稳定的化学结构，表现出优异的热学、力学性能和尺寸稳定性等。但是传统的共价交联聚合物，由于其永久的三维共价网络结构，不溶不熔，难以加工为纤维。针对这一挑战，本工作提出了通过共价适应性网络（covalent adaptable networks, CANs）熔融纺丝制备适应性共价交联纤维

（adaptable covalently cross-linked fibers）的新策略。在加工温度下，动态共价键的可逆解离/重组加速，聚合物粘度迅速降低，从而便于熔融纺丝；在使用温度下，动态共价键被冻结，适应性共价交联纤维表现出的优异的力学性能和结构稳定性。我们通过团队近年来聚焦研究的动态聚脲氨酯证明了该策略的有效性，并成功制备了力学性能优异（拉伸强度 87 MPa，最大伸长率 2639%，拉伸 800%后几乎完全恢复）和耐溶剂的聚氨酯适应性共价交联纤维[1]。进而将其拓展到凝胶纤维领域，研制了集传感、摩擦纳米发电、电致发光于一体的高弹性多功能离子凝胶聚脲氨酯纤维[2]。该工作提出的策略具有一定的通用性，有望适用于已被广泛研究的多种动态共价键体系（例如，二硫键、亚胺键、Diels-Alder 加合物）的 CANs，以开发具有独特性能的各种适应性共价交联纤维。

参考文献:

[1] H. Tan, L. Zhang, Z. You* et. al. Adaptable covalently cross-linked fibers. Nat Commun 2023, 14, 2218.

[2] H. Tan, L. Sun, Z. You* et. al. Continuous melt spinning of adaptable covalently cross-linked self-healing ionogel fibers for multi-functional ionotronics. Adv. Mater. 2023, 35, 2310020.

D09-33**微流体纺丝化学与微流控 3D 打印**

陈苏*

Nanjing Tech University

微流控纺丝技术是生产各向异性有序微纤维的理想微反应器平台。借助微流体纺丝技术构筑的微纤维具有形状、尺寸及组成精准可控，传质传热性能高效和反应过程绿色等特点而受到广泛关注。基此，本报告系统介绍了一系列微流控纺丝技术构筑的荧光杂化异质纤维应用研究进展；提出了一种简便快速的微流控纤维纺丝化学(FSC)的方法，宏量制备了多种形貌可控的一维有序纳米微纤维（阵列型，Janus 型，竹节型）、二维有序光子晶体膜、三维有序 Janus 微珠。通过微流控技术与微流体芯片相结合的方式构筑了多功能纳米材料并实现了其在人造皮肤、微反应器、超级电容器和可穿戴器件方面的应用，为微流体纺丝技术构筑的多功能微纳纤维奠定了基础。此外，借助微流控 3D 打印技术制备了一系列具有生物催化功能的活体材料，这种微流控 3D 打印技术不仅提高了活体材料更高的比表面积，提高了传质效率，从而增强了整个活体材料的生物催化效果。而且，微流控 3D 打印技术可以在空间上调控细胞的分布，为研究微生物共生提供了有力的手段。

D09-34**纳米纤维骨架多孔材料的结构构筑与生物分离**

刘轲*、程盼、程芹、徐佳、王栋

武汉纺织大学

纳米纤维材料的功能性孔隙结构为多样化过滤分离应用提供了新的实现途径。针对生物组份的分离效率及通量难以协同的问题，本工作基于纳米纤维及其分散液，开展分散液功能化、可控干燥构筑纳米纤维集合体材料的研究。采用纳米纤维浆料化、涂覆干燥及功能化的方法，制备结构可控的纳米纤维多孔材料，用于生物大分子及微生物的分离研究。研究结果显示，湿法涂覆的纳米纤维浆料，在常温干燥及冷冻干燥条件下，能够实现致密小孔的过滤膜材料及高比表面积大孔层析整体分离材料的制备，可胜任高密度细菌绝对拦截分离及高容量生物大分子的快速分离提取，相比现有除菌膜的通量提升 30%，层析填料的吸附容量提升 3 倍以上，表现出优异的生物分离性能。通过改变浆料中纳米纤维及其聚集态的形态尺寸，可实现对纤维膜材料的梯度孔道结构，以及对纤维基整体分离材料的多级孔道结构的精细调控；通过结合结构、性能表征手段，揭示了料液在纤维集合体孔道内部的传输机制，为解决拦截效率-通量矛盾，吸附效率-通量矛盾提供了一种新的思路和方法。

D09-35**功能高分子材料的制备、成形及应用研究**

江一*

东华大学

功能高分子材料，尤其是二维高分子材料，具有结构和功能可调等特点。该类材料凭借其所具有的电子/质子导电性、易产生光致载流子等性能，在能源、催化和电子器件等领域获得了越来越多的关注。然而，该类材料的结构功能一体化和精准合成仍然具有挑战性，尤其是其加工成形困难的现状限制了该类材料的进一步应用。本报告聚焦结构功能一体化的二维高分子材料的精准合成、加工成形和应用研究，将分别汇报几类二维高分子材料的设计、合成，着重汇报一类材料的纤维成形及其在浓差能捕获方面的应用进展。

D09-36

二维功能高分子材料

徐宇曦*

西湖大学

石墨烯是具有单原子厚度的二维碳原子晶体，也是一种独特的二维天然共轭高分子。受石墨烯二维大分子结构和特性的启发，研究人员希望从原子和分子水平理性设计合成具有新的骨架联接方式和多样化分子结构的二维晶态高分子，拓展二维功能高分子的研究范围，获得更多具有优异性能的新型二维材料，这一研究领域已成为高分子学科新的生长点，充满巨大机遇和挑战。本报告将介绍我们在二维功能高分子尤其是二维三嗪高分子方面取得的一些研究进展，通过发展材料的精准可控制备和有序组装加工方法，理解二维高分子独特的构效关系，探索二维功能高分子材料在能源存储和转化方面的实际高效应用，为解决当前能源、催化和环境的重要问题提供新思路。

D09-37

聚氨酯纳米复材在仿生强韧纤维、传感及湿气发电等方面的研究

姜义军¹，郝盼毅²，赵双³，张玉莹⁴

青岛大学

基于绿色高效自愈合材料的设计理念，以及对于仿生强韧材料多级跨尺度构筑（宏观-微观-纳米-亚纳米-原子尺度）的理解，利用水性聚氨酯（WPU）与纳米材料（CaP 寡聚物、TOCNF、纳米银线）之间的相互作用制备了具有水汽诱导自愈合性能及优异力学性能、传感和湿气发电性能的杂化复合材料。与传统的材料加工成型方法相比，这一材料组装制备策略不需要昂贵、复杂的机器以及能量消耗，只以水为介质，工艺简单、环保。具体内容如下：

（1）通过分子和纳米跨尺度工程以及新型的湿牵伸（加捻）和离子交联策略，制备得到了超强韧的 WPU-TOCNF 纳米复合材料（膜、纤维）。最终优化得到的 WPU-TOCNF-15%薄膜的强度和韧性可达到 323 MPa 和 110 MJ m⁻³，纤维的强度和韧性可达到 715 MPa 和 186 MJ m⁻³。强度与韧性均是目前报道的含纤维素的纳米复合材料中较高的。

（2）利用亚纳米级（<1nm）的 CaP 寡聚物与 WPU 进行了分子级别的杂化材料组装，通过传统的绳纸制备工艺技术，成功制备了高强度（167-442 MPa）和超高韧性（362-640 MJ m⁻³）的有机-无机仿生杂化纤维。其强度与钢相当，其韧性是蜘蛛的三倍多。此外，CaP-WPU 杂化材料还具有优异的自愈合性能，在室温下，一定压力下（1 Kg），可在较短时间（30 s）内实现自愈合。

（3）通过沉降自组装一步形成了银纳米线/水性聚氨酯非对称结构可拉伸导电纳米复合膜。该膜具有高强度（≈49.2 MPa）、高应变（≈910%）、低初始电阻（99.9 mΩ/sq）、高导电性（9968.1 S/cm）。基于 AgNW/WPU 非对称结构可拉伸导电薄膜优异的水汽诱导自愈合性能，通过加捻工艺制备了 AgNW/WPU 非对称结构可拉伸导电纤维。纤维具有优异的可拉伸性（≈900%）和电学性能（初始电阻≈190 mΩ/cm）。不同厚度或宽度的薄膜可以制备成不同粗细的纤维，同时利用薄膜的自愈合性能可以制备出超长的薄膜和纤维。通过将纤维整合到织物中或者直接编织成织物，展现了其在智能可穿戴方面的应用潜力。该制备技术绿色、简单易于放大。

（4）对所制备的 AgNW/WPU 非对称结构的可拉伸导电复合材料在智能可穿戴方面进行了应用探索。在传感方面，材料具有超高的灵敏度（在 ε=125-175%范围内 GF ≈ 1.78×10⁵），可以作为应变传感器区分人体不同部位的运动以及同一部位不同程度的应变，还可以检测人类呼吸频率，此外还可以作为压力传感器，区分不同程度的压力。在作为电极方面，具有较高的变形能力，拉伸应变可达到 500%以上，还表现出非常温和的 GF 和高达 200%应变的线性行为（当拉伸 200%时，相对电阻变化为 23.06）。在湿气发电应用方面，可以产生约 200 mV 的电压，同时还可以制备成检测人类呼吸频率的智能传感器，通过电压反应人类的呼吸特性（如频率、深度和强度）。

D09-38

X 射线激活的治疗材料及辐射防护纤维复合物

余诺*

东华大学

X 射线广泛用于质检、医疗成像以及介入手术治疗等领域。2021 年联合国原子辐射效应科学委员会的报告中指出全球平均每年约进行 42 亿人次 X 射线诊断，620 万例放射治疗。因此，有效利用 X 射线同时降低辐射损伤具有重要意义。在 X 射线治疗方面，我们利用癌症细胞膜纳米载体来伪装由光敏剂和 Hf 簇组成的多个超小颗粒 (<5nm)，从而构建了仿生和可生物降解的超小颗粒。一方面，X 射线吸收可以增强水解，从而增加羟自由基的产生。另一方面，通过光电效应 Hf⁴⁺ 离子的外壳电子能将能量转移到光敏剂，将其激发到激发态，将氧转化为单线态氧。带来高效益的同时，X 射线对医学人员产生的危害也不可忽视，长期暴露会极大增加皮肤损伤、白血病、和癌症等风险。在辐射防护领域，我们构建了无铅多层织物/涂层来阻挡 X 射线。制备了 X 射线衰减无机颗粒，并与聚氯乙烯、聚氨酯混合形成原液，用于通过湿法纺丝/静电纺丝制备纤维或纤维膜，无机含量可调为 0-60%，纤维直径为 0.1-500 μm 。多层 X 射线防护织物/涂层在 0.2~0.5mmPb 处表现出 X 射线衰减性能，与橡胶涂层相比，质量减少了 10% 以上。通过利用有机-无机杂化纤维和涂层在机械性能和 X 射线防护方面的协同作用，制备了无铅、轻质和高效的 X 射线防护服

D09-39**高强高韧碳纳米管/杂环芳纶复合纤维的控制制备及其冲击防护性能研究**

罗家俊、张锦*

北京大学

随着现代科技的飞速发展，武器的快速更新迭代使其带来的破坏力日益增强，开发具有高防护性能的冲击防护装备成为一项紧迫的任务。在冲击防护领域中，高强高韧的纤维扮演着至关重要的角色。作为世界三大高性能纤维之一，杂环芳纶纤维具有高强、高模、耐高动态载荷、耐高速冲击以及低“背凸”等优异特性，在冲击防护领域具有巨大的应用前景。然而，国产杂环芳纶纤维的力学性能明显低于世界先进水平，同时也远低于其理论预测值。此外，由于强度和韧性之间的内在矛盾，实现杂环芳纶纤维强度和韧性的同时提升是一个巨大的挑战。碳纳米管具有与聚合物链类似的一维线性结构和优异的本征力学性能，是聚合物纤维理想的力学性能增强材料。然而，通过复合碳纳米管来增强杂环芳纶纤维的力学性能仍受到诸多因素限制，包括碳纳米管在杂环芳纶纤维中的均匀分散难以实现、碳纳米管对杂环芳纶纤维的增强机理仍不清晰等。针对以上问题，笔者提出了碳纳米管的高效分散与反应单体的定向选择相匹配策略，并根据此策略，改性长碳纳米管，并引入柔性含醚单体。在少量碳纳米管 (0.075 wt%) 的复合下，实现了长碳纳米管/含醚杂环芳纶复合纤维的控制制备以及单丝拉伸强度 (7.12 GPa) 和韧性 (200.10 MJ m⁻³)，束丝比拉伸强度 (38.51 cN dtex⁻¹) 和比韧性 (96.66 J g⁻¹) 的同时大幅度提升。通过对纤维的结构表征，证实了柔性含醚单体的引入能够提升二级凝固浴牵伸倍率，促使改性后的长碳纳米管在纤维内部单分散，并沿纤维轴向排列，从而更高效地诱导周围高分子链的有序排列。通过分解纤维成型过程发现，只有热处理温度在纤维玻璃化转变温度以上时，碳纳米管才能实现对纤维结构的优化和性能的增强。通过原位拉伸表征发现，碳纳米管在拉伸前期能够快速优化纤维结构，拉伸后期能够稳定纤维结构，提升纤维的断裂伸长率，从而实现了含醚杂环芳纶纤维的增强和增韧。通过对复合纤维进行高速轴向拉伸和高速横向冲击测试来探究其冲击防护性能，该复合纤维不仅在高应变率下具有出色的单丝动态拉伸强度 (8.05 GPa) 和束丝动态比拉伸强度 (50.22 cN dtex⁻¹)，还具有极高的单丝 (7.14×10¹³ m kg⁻¹ s⁻¹) 和束丝 (5.78×10¹³ m kg⁻¹ s⁻¹) 比能量耗散功率，展示出优异的冲击防护性能。

D09-40**先驱体转化连续纤维表面氮化硼界面涂层的高效制备**

王兵*

国防科技大学空天科学学院新型陶瓷纤维及其复合材料重点实验室

高质量的氮化硼界面涂层对于高性能陶瓷基复合材料性能提升具有重要意义。目前主要采用化学气相沉积 (CVD) 法在连续纤维表面沉积氮化硼界面涂层, 但存在制备成本高和沉积速率低等问题, 限制了大规模的应用。探寻高效低成本的高质量氮化硼界面涂层制备方法是当前陶瓷基复合材料研制的关键技术瓶颈之一。先驱体浸渍涂覆法作为一种低成本高效率的涂层制备方法已有较多研究, 但制备的涂层在连续性、均匀性及其与纤维的结合方面距实际应用仍有较大差距。我们合成了一种新型无碳水溶性聚硼氮烷先驱体 PABB, 可用于在陶瓷纤维上高效连续制备高质量氮化硼涂层。先驱体 PABB 的化学稳定性确保了制备过程的安全性; 无碳特性确保了陶瓷化过程的高陶瓷产率, 以制备致密完整的氮化硼涂层; 水溶特性保证先驱体可均匀的涂覆以及涂层形貌的可控。基于这种先驱体, 创新地设计了一种在线氮化硼涂层制备技术, 与传统 CVD 方法相比, 可以更低成本和更高效率制备氮化硼涂层, 氮化硼界面涂层厚度可以在从 0.1 μm 到 1.2 μm 调控。通过热处理过程中的原位反应还改善了涂层的均匀性及其与纤维的结合。

这种浸渍涂覆法制备的高质量氮化硼涂层技术不仅可以用于连续纤维 (包括 SiC、Si₃N₄、SiBN 和碳纤维) 的制备, 还可以直接用于纤维织物上界面涂层的制备。以 SiC 纤维为例, SiC 纤维的高温性能得到显著改善, 耐温性提高至 1600°C, 同时抗拉强度提高了 36%, 断裂韧性提高了 133%。这种高质量连续氮化硼界面涂层的快速制备有助于陶瓷基复合材料机械性能、断裂韧性和抗高温、氧化等性能提升, 对 CMCs 材料的进一步开发具有重要意义

D09-41

聚芳酯纤维成型过程中的流动与传热特性

王会*

东华大学

本报告对熔融法制备纤维过程的固态高聚物原料熔融过程、熔融态聚合物挤出过程和熔融态高聚物冷却过程中的能量和物质的传递和转化规律进行详细的介绍, 综述各过程国内外的最新研究进展。进而介绍课题组在熔融纺丝在线测量实验平台的建设上的进展, 并针对课题组在聚芳酯纤维成型过程中的流动与传热特性方向已有的研究工作进行具体介绍。

D09-42

Research on the Development of Structural-Functional Integrated Carbon Fiber Composites and Their Functional Characteristics

Mengyuan Hao, Xin Qian, Yonggang Zhang*, Zhenjiang Zhang, Anqi Lin, Xiaoxiao Zhang, Xue Zhu
Ningbo Institute of Material Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences

Carbon fiber (CF), with its remarkable characteristics of high specific strength and stiffness, has become a crucial material in several key fields including aerospace, astronautics and defense technology, fulfilling the need for lightweight yet high-performance structural materials. However, there are some extreme conditions and specialized requirements in these applications, such as the risk of "thermal failure" due to heat accumulation during high-speed flight of aircraft and the need for stealth capabilities of aircraft. Consequently, it is imperative for the development of structurally integrated carbon fiber composites with additional functional properties. This research focuses on the functional modification of CF without compromising its superior mechanical properties. In detail, this research employs several intricate methods to achieve this objective, including the spinning of coaxial composite CFs and the construction of their surface structures, in-situ growth/deposition of functional materials on the fiber surface, as well as the design and fabrication of sandwich-structured composites. Using polyacrylonitrile (PAN)-based carbon fiber as the core substrate, various polymer-based composite carbon fibers were prepared by selecting highly crystalline and oriented poly(p-phenylene benzobisoxazole) (PBO) and polyimide (PI), as the precursor of shell parts. The modified CF composites exhibited significant improvements in both the in-plane and through-thickness thermal conductivities. Furthermore, further improvements in the thermal

conductivity and electromagnetic wave absorption could be attributed to the design and construction of the three-dimensional structures onto CFs, as well as exploring more continuous processing techniques such as continuous hydrothermal deposition and electro-deposition. In summary, the above researches provide multiple strategies for the functional modification of CFs and the integration of structural and functional designs.

D09-43

纳米复合浸润剂改性玄武岩纤维的耐腐蚀性能

李蒙*、马鹏程

中国科学院新疆理化技术研究所

玄武岩纤维被称为中国四大高性能纤维之一。由于生产过程中纤维表面产生缺陷，将玄武岩纤维从熔体中拉出后立即涂覆浸润剂，能有效地提升玄武岩纤维的力学性能。但在实际使用过程中，玄武岩纤维表面的环氧涂层容易被腐蚀介质渗透，将纳米填料引入浸润剂能够减缓离子渗透到纤维表面的速度。因此，本研究将纳米 SiO_2 、氨基纳米 SiO_2 、纳米黏土、氨基纳米黏土引入浸润剂，研究纳米填料的结构和官能团对复合浸润剂性质的影响，并将纳米复合浸润剂涂覆到玄武岩纤维表面，探究酸碱腐蚀前后玄武岩纤维拉伸强度的变化规律。结果表明，涂覆纳米 SiO_2 、氨基纳米 SiO_2 、纳米黏土、氨基纳米黏土复合浸润剂玄武岩纤维的拉伸强度分别提高了 79.44%、108.80%、77.44%、58.49%，而酸碱腐蚀后涂覆不同纳米复合浸润剂玄武岩纤维的强度呈现不同程度的降低。

D09-44

CNT 纤维水系湿法纺丝策略及其结构和储能应用

曲抒旋、吕卫帮*

中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所

将功能性纳米材料组装成结构-功能一体化材料，如结构储能材料，对于轻质、高性能的可穿戴电子产品、汽车和航空/航天应用来说是非常理想的。但是，纳米材料宏观组装体的功能特性和机械特性之间通常存在矛盾，例如，多孔材料机械性能较差，因此开发结构-功能一体化材料是极具挑战的。本工作受麦秆结构的启发，报道了一种无聚合物粘合剂的水系纺丝策略来制备中空碳纳米管纤维（H-CNTF）。作为聚合物粘合剂的替代品，二维氧化石墨烯（GO）纳米片作为取向剂、絮凝剂、及造孔剂辅助中空纤维结构的形成。首先，GO 可以调节纺丝原液的流变性能，在剪切作用下提升 CNT 的取向程度。其次，GO 通过在凝固过程中与阳离子快速相互作用来辅助形成中空管状结构。最后，GO 与 CNT 作用在纤维壁中形成多级孔结构。因此，由微米级中空管状空间和多孔壁组成的多级中空结构赋予 H-CNTF 大的表面积和丰富的客体材料负载位点，良好的 CNT 取向和无聚合物粘合剂使 H-CNTF 具有优异的电学和机械性能。作为应用验证，我们利用所得到的 H-CNTF 制备了超级电容器和复合材料。超级电容器电极表现出高电化学储能性能，比容量为 163 F/cm³，拉伸强度为 0.35 N/tex。此外，由于更均匀的复合结构，基于 H-CNTF 的聚合物复合材料拉伸强度比实心纤维复合物强约 100%，优异的电化学和机械性能相结合使这种中空纤维成为未来结构和储能应用理想的载体。

D09-45

芳纶纤维基复合薄膜的电-热-力协同提升研究

樊思迪、崔雅萍*

华北电力大学

间位芳纶因其优异的绝缘、机械和热稳定性而被广泛应用于电力系统绝缘防护领域，被视为制备新一代先进电工材料的良好基材，然而其较低的热导率不利于及时散出设备运行时积聚的热量，严重时易诱发热击穿故障。究其原因，一方面归结于高分子聚合物固有的低导热系数，另一方面溶胶凝胶法制备工艺在质子化阶段将不可避免地使芳纶基体形成蜂窝网孔结构，其中包裹的空气微腔严重影响着体系的致密性，也制约了热导率和介电强度的提升。

课题组前期开展了一系列基于芳纶材料的高导热、高机械性能、高绝缘复合薄膜[1-5]。提出了一种基于蜂窝微腔填充的改性策略,通过在芳纶的微腔结构中填充纳米金刚石微粒,实现了对绝缘和导热性能的同步调控。当纳米金刚石填充浓度为 15 wt%时,复合薄膜的油中击穿强度达到 334 kV/mm,面外热导率达到 1.12 W/m·K,较改性前分别提升 42.3%和 833%。同时,材料还展现出了优异的柔韧性、机械强度以及阻燃能力。

参考文献:

[1] X Yu, Q Wang, L Fu, G Shen, W Zhang, R Yang, K Sun, F Lv, S Fan*, Superhydrophobic meta-aramid papers prepared by the surface-embedded spray coating strategy. (2023) Applied Surface Science

[2] H Ruan, X Yu*, Y Liu, Y Zhang, S Fan*, F Lv, Fluorinated interface engineering targeting high-performance multifunctional composites of BN/aramid nanofibers. (2023) Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.

[3] W Zhang, X Qi, K Sun, R Yang, S Fan*, F Lv, X Yu*, Synergistic enhancement of dielectric strength and thermal conductivity in meta-aramid-based composite films via honeycomb cavities filling strategy. (2024) Applied Materials Today

[4] X Yu, R Yang, G Shen, K Sun, F Lü, S Fan*, Tailoring anisotropic thermal conductivity of 2D aramid nanoribbon-based dielectrics with potential high-temperature capacitive energy storage. (2024) Journal of Materials Chemistry C

[5] X Fan, W Zhang, H Wang, C Li, X Yu, S Fan*, F Lv. Enhanced Thermal and Mechanical Performance in Insulated Aramid/Functionalized Graphene Composite. (2024) IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation

D09-46

彩色碳纤维的颜色构建

夏良君、周思婕、徐卫林*

武汉纺织大学省部共建纺织新材料与先进加工技术国家重点实验室

碳纤维因其优异的力学性质,在航空军工等领域应用广泛。然而,由于其表面化学惰性,碳纤维通常难以进行染色。为了解决上述问题,受孔雀背部羽毛自然生长纳米结构的启发,我们报道了一种以碳源为原料,在碳纤维表面原位自生长碳球的方法,并通过改变碳源浓度调控碳球在碳纤维表面的生长,从而实现了对蓝色、黄色、橙红色、紫色和绿色五种颜色的调节。在碳纤维结构色构建的过程中,由于碳球和碳纤维之间的相互作用使得其具有稳定的界面牢度。该碳纤维颜色构建方法,赋予了其优异的牢固性,耐酸碱性和耐光性。由于其具有低成本和短流程制备工艺等特点,因此在碳纤维颜色构建的产业化推广中具有巨大潜力。

D09-47

刺激响应性智能变色纤维的构筑及结构-性能研究

王雯雯*、程伟杰、刘飞霞、欧双铭、张浩、王栋

武汉纺织大学

智能纤维及智能纺织品是一种能够感知来自环境(温度、光、化学物质和水分)或相互作用(机械力和电磁场等)的刺激,对此做出反应而转化为美学(颜色、光强度、荧光或形状)或物理(机械、电、热、化学、润湿或水分运输)特性的材料,在康复理疗、体育运动、损伤预警等新兴领域有着巨大的用途。在审美多样化的背景下,纺织品色彩的重要性不容忽视,能够根据外界刺激而变换颜色的智能纺织品,不仅体现科技感、时尚性和趣味性,也是影响消费者购买决策和市场流行趋势的核心要点。因此,开发出可根据外界环境而实现颜色转变的智能纤维及智能纺织品具有重要的实际意义。

根据纺织品的使用环境,其外界环境刺激可分为热、湿、光、力等。本研究着重于构筑能够对光线

及机械力刺激进行响应从而变换颜色的刺激响应变色纤维,摒弃了传统的刺激响应变色纤维的制备方法,如共混纺丝、涂覆法等。首先,本项目通过对光致变色共聚单体及成纤聚合物的化学结构设计,并通过纺丝方法制备了光致变色聚对苯二甲酸丁二醇酯纤维,并对其结构-性能关系进行了研究,克服了常规光致变色物质不耐高温的难题,打破了光致变色聚酯纤维的制备困境。此外,本项目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,探究了其在智能纺织品领域的应用。

本研究揭示了刺激响应变色纤维力学性能、变色灵敏度、颜色饱和度协同提高的机制,为刺激响应变色纤维及其纺织品的发展奠定了坚实的理论基础。

D09-48

微圆周面高精细电流体喷印原理及传感器制造应用

叶冬*

华中科技大学

微圆周类电子器件因其高柔性、微型化、可集成等特点,在可植入、可穿戴领域已显现出巨大的发展空间和应用需求,但是微圆周表面的高密度传感结构曲面共形制造技术较为匮乏。为此,我们创新性地提出了一种由电荷驱动的三维共形微喷印方法——等离子体诱导电流体喷印技术,可实现在微圆周等三维表面进行微米/亚微米级分辨率的喷印制造。该技术通过大气压冷等离子体射流在介电表面上形成瞬态局域正电荷区域,构建可编程的虚拟电极产生局域电场,且无需担心残余电荷积累。功能墨水经由电流体动力喷射原理从喷嘴射出,通过局域静电力吸引沉积于 2D 平面或 3D 曲面,其喷印分辨率可达~450 nm,并具有广泛范围的墨水粘度兼容性。该方法可以实现超细纤维壁阵列的逐层堆叠或图案的自对准 3D 打印,通过对表面沉积电荷的可编程操作,还实现了液滴的反重力分配以及狭窄内腔打印。等离子体诱导电流体喷印技术为在微圆周基板等 3D 介质层上实现高分辨率、多种材料兼容性和表面共形印刷制造提供了前景广阔的途径。

D09-49

可控构筑 CNT 复合纤维网络及其吸波性能研究

吴悠、巨文博*

华南理工大学

为了解决日益严重的电磁污染问题和提高军事平台的战场突防能力,开发薄、轻、宽、强的新型微波吸收材料(MAMs)迫在眉睫^[1]。碳纳米管(CNT)是一种结构特殊的一维碳基材料,具有优异的机械性能和导电能力^[2]。以 CNT 为填料的复合材料能够在低载量范围内大幅调节介电参数,在电磁吸波材料领域受到高度关注。纤维型吸波材料具有较低的渗透阈值和较长的能量耗散路径,且磁性纤维可以打破 Snoek 极限,使其在 GHz 下产生较强的自然共振,作为强衰减的 MAMs 具有显著优势^[3,4]。本文以间位芳纶纤维,浆粕以及 FeCo 基磁性纤维为基底,通过静电层层自组装技术将单壁碳纳米管(SWCNT)保形性包覆到其表面形成膜层。通过调节 CNT 包覆纤维/浆粕在原料中的比例,进而制备出不同 CNT 载量的 CNT/芳纶纸,纸张中多层级 CNT 网络的构造避免了 CNT 在高载荷下的团聚,有效提高了纸张的抗拉强度和微波吸收^[5]。CNT/FeCo 基磁纤维则与石蜡混合作为吸波涂料,通过外加磁场使 CNT/FeCo 基磁纤维在石蜡中集体定向排布,构建了取向的纤维网络结构,进而产生电磁各向异性^[6]。

约 1 wt.%CNT 载量的 CNT/芳纶纸能在 2.1 mm 厚度处实现全 X 波段电磁波吸收率超过 90%。对于取向的 CNT/FeCo 基磁纤维网络,当入射电磁波电场方向与纤维平行时,5 mm 厚的 MAM 有效吸收带宽(EAB)在 S 波段可达 0.6 GHz (2.3 ~ 2.9 GHz),且在 2.6 GHz 处从垂直方向到掠入射方向的雷达散射截面(RCS)均小于 -15.9 dB·m²。当磁场方向平行于纤维时,MAM 吸附 C 波段微波的 EAB 为 1.5 GHz (4.0 ~ 5.5 GHz),RCS 在全角度范围均小于 -20 dB·m²。CNT 静电自组装纤维可构筑多层级导电网络,而通过外场诱导取向调控纤维排布,可以大范围调节纤维网络的电磁响应特性,从而实现多波段可调谐微波吸收。

参考文献:

- [1] Pang, H.; Duan, Y.; Huang, L. et al. *Composites Part B: Engineering*, **2021**, **224**: 109173.
- [2] Lijima, S. *Nature*, **1991**, **354**: 56-58.
- [3] Yang, B.; Fang, J.; Xu, C. et al. *Nano-Micro Letters*, **2022**, **14**: 170.
- [4] Wu, Z.; Cheng, H.; Jin, C. et al. *Advanced Materials*, **2022**, **34**: 2107538.
- [5] Wu, Y.; Chen, L.; Han, Y. et al. *Nano Research*, **2023**, **16**: 7801-7809.
- [6] Wu, Y.; Han, Y.; Hu, J. et al. *Journal of Materials Science & Technology*. **2024**, **196**: 215-223.

D09-50

规模化静电纺丝及其应用研究

覃小红

东华大学纺织学院

微纳米纤维具有高比表面积带来的特殊物理吸附和超强表面功能效应,是安全防护、精细过滤、航天军工等领域亟需的关键基础材料。静电纺丝技术是制备微纳米纤维最有效的方法,虽历经几十年发展,仍面临产量低成本高、产品品质差的瓶颈问题,严重制约了纳微纤维集合体及其高端制品产业化发展。本次报告将重点介绍团队近二十年围绕纳微纤维介质诱导成形控制理论体系、系列自由液面喷头及静电纺丝产业化装备、并将其与传统纺织产业结合进行产品开发等方面的研究进展。

闪报

D09-01

全纳米纤维离电式柔性压力传感器的制备及性能研究

赵晰蒙、杨梦娟、金旭、马佳瑜、张慧杰、郭梦婷、张秀芹、汪滨*

北京服装学院

柔性压力传感器广泛应用于电子皮肤和智能可穿戴设备中。因此,开发出兼具高灵敏度和宽响应范围的柔性压力传感器是必不可少的。在传感器中引入微结构,是提高传感器电容的有效途径,可以大幅度提高传感器的灵敏度。然而大多微结构在受压期间明显变形并达到极限,导致器件工作范围狭窄。本研究提出了一种基于 EDL 电容传感的高灵敏度离电式压力传感器(NIPS),在掺杂离子液体的聚丁二酸丁二醇酯对苯二甲酸丁二醇酯(PBST)纳米纤维膜基础上制备了一种离电式压力传感器。此外,通过引入具有模量差异的刚性微球,采用“刚柔并济”的方式,显著减小了变形饱和的过程,进一步提升了传感器的传感性能,该传感器具有超高灵敏度(546.58 kPa^{-1})和超宽响应范围(1200 kPa)。能够快速稳定地监测多种人体运动及生理信号。此外,三维多孔纳米纤维网络赋予其良好的透气性,确保了其长期佩戴舒适性。

D09-02

功能性细胞球体的培养与应用

刘红梅*

东华大学

自 20 世纪 70 年代以来,科研工作者们已经认识到了细胞在二维(2D)培养条件下的局限性。因此,学术界对三维(3D)细胞培养技术的研究兴趣日益增长,尤其是对于细胞球体的研究。尽管如此,3D 培养技术因其高昂的成本以及细胞球体在实际应用中所展现的不尽如人意的效果,限制了其在再生医学、基础科学研究以及药物开发领域的广泛应用。在本研究中,我们成功制备了具有独特形态结构的无机羟基磷灰石和有机聚乳酸纳米纤维。通过与干细胞共培养,我们分别开发了可注射型和可植入型细胞球体,这些新型细胞球体有望显著提升细胞治疗的疗效。

D09-03

PEDOT:PSS 基柔性热电纤维材料与器件

刘京¹、王德平²、蒋丰兴^{*1}

1. 江西科技师范大学

2. 同济大学

近年来柔性电子领域的迅猛发展和集成化微型化的趋势，为可穿戴能源供给器件提出了更高的要求。随着人们对于可穿戴设备功能的多样化需求，如何高效、稳定地供给能源成为了研究的热点。热电效应作为一种能够通过温差产生电能的技术，因其结构简单紧凑在柔性可穿戴器件中的潜在应用而备受关注。本项目立足于当前室温下性能卓越的有机热电材料 PEDOT:PSS，通过优化一维限域凝胶法结合有效的溶剂置换和极性溶剂后处理制备出了柔性高导电的纤维材料[1]。在此基础上，我们引入了包括碳纳米管和石墨烯在内的高导电性低维碳材料，旨在通过复合材料界面处潜在的能量过滤效应实现 Seebeck 系数和电导率的解耦，以期进一步提高材料的热电性能[2-4]。最后，我们对基于 PEDOT:PSS 的混合纤维在可穿戴热电转换器件中的潜在应用进行了初步的探究和评估。结果表明，基于 PEDOT:PSS 的混合纤维在可穿戴热电转换器件中具有潜在应用转化前景，本项目推动了柔性可穿戴能源器件的进一步发展。

[1] J. Liu, Y. Jia, Q. Jiang, F. Jiang, C. Li, X. Wang, P. Liu, P. Liu, F. Hu, Y. Du, J. Xu, ACS Appl. Mater. Interfaces 2018, 10, 44033.

[2] Y. Lin, J. Liu, X. Wang, J. Xu, P. Liu, G. Nie, C. Liu, F. Jiang, Compos. Commun. 2019, 16, 79.

[3] J. Liu, Z. Zhu, W. Zhou, P. Liu, P. Liu, G. Liu, J. Xu, Q. Jiang, F. Jiang, J. Mater. Sci. 2020, 55, 8376.

[4] J. Liu, G. Liu, J. Xu, C. Liu, W. Zhou, P. Liu, G. Nie, X. Duan, F. Jiang, ACS Appl. Energy Mater. 2020, 3, 6165.

D09-04

抗静电碳纤维/硅橡胶复合材料的界面强化及其应用研究

刘似玉*

山东大学

本工作通过硅氧结构表面改性抗静电碳纤维强化短切抗静电碳纤维/硅橡胶复合材料的界面性能，改善复合材料在 350°C 极端条件下长时间使用的热稳定性，同时探究了复合材料的抗静电性能、热性能、透波性能等应用性能。一方面，采用偶联剂改性抗静电碳纤维，在纤维表面形成致密的偶联剂层。该方法使得复合材料的拉伸强度和断裂伸长率分别提升 45.32% 和 19.07%。但是该方法中改性层刚性较强，且改性层厚度不易控制，橡胶复合材料力学破坏时，容易在界面层形成缺陷从而加速力学破坏，因此断裂伸长率较低。其次，采用二氧化硅纳米粒子改性抗静电碳纤维，在纤维表面形成纳米球森林。该方法使得改性层厚度可控，显著提高纤维表面的粗糙度，改善基体浸润，使得复合材料的断裂伸长率提升 23.22%。但是该方法难以避免纳米球的团聚并在力学破坏时形成应力集中。另一方面，采用“柔刚”结构改性抗静电碳纤维，在高模量纤维与低模量硅橡胶之间构建“柔刚”结构模量过渡层。该方法使得复合材料的拉伸强度和断裂伸长率分别提升 37.16% 和 27.46%。通过热分析及红外热成像分析得知，硅氧结构界面层的构建显著提高短切抗静电碳纤维/硅橡胶复合材料的导热散热能力，从而减少复合材料的分解，提高复合材料在 350°C 极端条件下长时间使用的热稳定性。通过抗静电性能测试发现，改性之后的复合材料仍能满足抗静电性能的要求。

D09-05

高强高剪切烯碳/芳纶 III 复合纤维的制备及其在壳体构件中的应用研究

张子怡¹、焦琨^{*2}、张锦²

1. 北京石墨烯研究院

2. 北京大学

杂环芳纶纤维及其复合材料的轻质、高强特性使其成为航空航天、武器装备等国家重大战略需求的不可替代材料。其中，在芳纶纤维缠绕类构件实际应用中，纤维和基体之间常受到剪切作用力，其失效模式主要包括纤维本体结构损伤和纤维-基体脱粘。纤维本体结构损伤主要表现为纤维原纤化和部分皮芯层分离。芳纶纤维具有多层次结构，分子链间以氢键方式相连，其内聚力较弱，表面光滑且呈现惰性。因此，我们提出了同时提升纤维的浸胶丝拉伸性能（6.27 GPa）和界面性能（49.3 MPa）的改进策略。通过引入二维材料-氧化石墨烯优化纤维本征结构，促进纤维结晶取向，增强纤维分子链内聚力，有效防止裂纹扩展，实现高效的应力传递，最终实现了高强高剪切烯碳/杂环芳纶纤维的制备，并进行了工业产出。

D09-06

Dual-light responsive color transitioning systems for wearables

Macharia Daniel Kinyanjui

Donghua University

Smart fabrics with remote and rapid light-induced chromatic have a great potential to revolutionize specialized clothing in numerous applications including fashion/aesthetic and security fields, but the construction of such smart fabrics has been strained by underlying obstacles in realizing suitable light-induced color-switching systems (LCSs). To drive these LCS systems, suitable catalysts (as photoreduction agents) and color indicators (redox dyes) and polymer substrates are necessary. Semiconductor/redox LCS systems are highly appealing due to their simple preparation, cheap cost, versatility and stability. They are mainly a component mixture of oxygen-deficient/defective semiconductor nanomaterials (photocatalytic agents), commercial redox dyes (reversible color indicators) and polymers (matrix). Under UV/visible light irradiation, semiconductor nanophotocatalysts can produce electron-hole pairs, where holes are readily captured by surface-bound ligands (as electron donors) or by oxygen vacancies (sacrificial electron donors (SEDs)) while the photogenerated electrons reduce the dyes to their leuco form. On the contrary, the recoloration process is mainly triggered by oxidation in air but can be accelerated by heating or photooxidation in air. Our initial work on semiconductor-based color switching systems (TiO₂-x and CeO₂-x-based) to eliminate the need for impractical need oven heating to restore color. This was achieved though self-doping to induce oxygen vacancies that extended the absorption to the NIR regions and provided a high concentration of surface electrons. The LCS fabrics could respond to UV light for reduction and NIR light for LSPR-enhanced photothermal effect and accelerated oxygenation reactions. Since oxygen vacancies are prone to thermal oxidation, we prepared stable and defect-rich In-doped ZnO with strong UV and NIR photoabsorption. To separate the carriers, external SEDs were used and In-ZnO-based LCS system and showcased rapid single/multi-color color transitioning regimes in both inks and fabrics. To enhance the carrier separation efficiency of the semiconductor nanocatalysts, we proposed noble metal-semiconductor heterojunctions (Ag/CeO₂-x and MnO₂-Ag) where Schottky junctions are created, which accelerates the charge transfer through interfacial hot electrons and also hinders the recombination of carriers. Besides, the presence of noble metals on their surfaces shifts the photoabsorption to the visible light region, due to the surface plasmon resonance (SPR) effect of spatially confined electrons in the noble metals. Hence, these LCS systems can respond to visible light for the photoreduction of inks and NIR light for photothermal-induced recoloration. These LCS systems also exhibit multi-color features based on the pH of binary dye mixtures and the inks exhibit high photoresponse and resolution. We also demonstrated the irradiation of SnO₂:Sb nanocrystals by blue (450 nm) light could induce a photochromic effect and enhanced photoabsorption in the NIR region. These nanocrystals showcased 1.5 fold increase in photothermal heat under 980 nm light irradiation, implying that photochromic nanocatalysts in LCS systems could have an augmenting factor in NIR photoabsorption and photothermal heat production. We also demonstrated that N-doped carbon quantum dots in LCS systems are potent nanocatalysts that confer rapid decoloration of inks due to the efficient hole scavenging by amino and hydroxyl groups on the surface. These quantum-sized nanocatalysts in LSC show

high oxygen affinity due to charge transfer by the functional groups and altered the adsorption energy of O₂ molecules. These features enable the construction of a free-standing film which functions as an efficient rewritable paper and oxygen sensor. These research works have shed light on the defect engineering of semiconductor nanomaterials which allows dual-light response for, rapid color change and accelerated self-catalyzed oxygenation.

D09-07

Ginseng-Bioinspired 3D Photothermal Evaporator for Efficient Seawater Desalination Using Conjugated Microporous Polymer

Yuzhu Wang, Yaozu Liao*

Donghua University

Photothermal conversion technology presents a promising approach for harnessing solar energy to facilitate seawater desalination. However, salts will accumulate on the surface of the photothermal conversion structure during seawater desalination, which hinders solar energy absorption. Meanwhile, the photothermal conversion structure directly immersing in a large water body results in a large heat dissipation loss. Both factors impair solar energy conversion and water steam generation. To address the issues, inspired by a ginseng plant (with a trunk-to-branch water supply system), a 3D cotton-based photothermal evaporator with tunable water supply is facilely designed herein via simple cloak-weaving of a porphyrin-based conjugated microporous polymer (PPCMP) as the photothermal conversion material. The as-designed 3D cloak-like photothermal evaporator achieves an equilibrium between the water supply flux and evaporation rate via optimizing PPCMP weaving and the water path. As a result, a high evaporation rate of 2.81 kg m⁻² h⁻¹ and photothermal conversion efficiency of 155% are obtained under 1 sun illumination. The findings underline the importance of 3D porous organic polymer-based fabrics as effective media for harnessing solar energy and highlight their potential for seawater desalination.

D09-08

基于碳纳米纤维气凝胶焦耳加热效应的甲醇水蒸气快响应制氢

胡光凯^{1,2}, 俞彬^{1,2}, 黄涛^{1,2}, 朱美芳^{1,2}, 俞昊^{1,2*}

1 东华大学纤维材料改性国家重点实验室

2 东华大学材料科学与工程学院

以氢能为代表的清洁能源已然成为解决日益严峻的“能源危机”和“环境问题”最具潜力的候选方案之一。甲醇因其来源广、易储存/运输、催化温度低以及易实现原位产 H₂ 等优点被视为一种有效的氢载体。传统甲醇水蒸气重整(MSR)反应制氢催化剂多为粉末状态, 催化反应器多采用外加热模式, 存在催化剂传热/质效率低、催化启动慢以及能耗高等缺点。本文采用“先碳化聚合物纳米纤维, 后制备碳纳米纤维气凝胶(CNFA)”的工艺制备得到一种体积收缩率低、焦耳加热响应快、温度分布均匀的三维 CNFA 负载铜-锌催化剂(Cu-ZnO/CNFA), 并基于该催化剂的焦耳加热效应设计构建 MSR 反应用的加热-催化集成式反应器和制氢系统。研究表明, 该反应器只需施加 17 V 的低直流电压即能循环稳定且可控地升至 200 ~ 300°C 区间, 具有快响应(11.33 °C·W⁻¹)、快启动(2.75 min)以及低能耗(降低 90%)的特点。借助该制氢系统, 优化 Cu₁₀-ZnO₁₀/CNFA 催化剂的甲醇转化率为 83.1%、CO 选择性为 0.01%、H₂ 选择性高于 90%、催化稳定时间大于 300 min, 较 Cu₁₀/CNFA 催化剂性能得到明显提升。该研究证实 CNFA 负载催化剂焦耳加热供热催化 MSR 反应的可行性, 并为设计和制备高温催化反应应用多孔结构催化剂提供了新思路。

关键词: 碳纳米纤维气凝胶, 焦耳加热效应, 甲醇水蒸气重整, 催化剂

参考文献

[1] Wenning Lu, Shunqin Luo, Yibo Zhao, et al. Bifunctional Co active site on dilute CoCu plasmonic alloy for

light-driven H₂ production from methanol and water[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2024, 343: 123520.

[2] Qie Liu, Shiqian Du, Tianyang Liu, et al. Efficient low-temperature hydrogen production by electrochemical-assisted methanol steam reforming[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2023, 63(7): e202315157.

[3] Didi Li, Fang Xu, Xuan Tang, et al. Induced activation of the commercial Cu/ZnO/Al₂O₃ catalyst for the steam reforming of methanol[J]. Nature Catalysis, 2022, 5: 99-108.

D09-09

用于解耦多重生理信号的可编程自组装水凝胶光纤

郑佳豪*

东华大学

水凝胶光纤具有高含水量、类组织模量和低光衰减等优点，因此在深层组织下的光医学领域有着巨大的应用潜力。然而，其功能的多样化需要通过复杂的制造工艺和异质重构来实现。在此，我们报告了一种通过动态共价键赋予材料拼接组装能力的可编程水凝胶光纤（AHOF）。我们选用羧甲基壳聚糖（CMC）为原料，氧化海藻酸钠（OSA）为交联剂，引入聚乙二醇二丙稀酸酯（PEGDA）为半互穿网络单元，通过网络中的动态共价键亚胺键以及氢键赋予材料结构重构能力，使水凝胶纤维的功能模块够被重新编程。光衰减测试表明，AHOF的最佳光衰减可达 1.5 dB/cm，且在拼接后其光导性能依旧能恢复至起始的 90%。通过亚甲基蓝以及罗丹明 B 分别掺杂构建不同功能模块后进行组装拼接，实现了单根纤维对于不同区块的应力响应。通过光谱分析，AHOF 的两个功能模块分别在 640nm 处以及 720nm 处有对应的特征峰，并实现了特异性响应。基于动态共价键的可组装水凝胶光纤展示了它在解耦信号方面的能力，其在深层组织下的光医疗领域有广阔的应用前景。

墙报

D09-P01

On-line preparation and creep resistance of high orientation ultra-high molecular weight polyethylene fiber induced by modified nano-SiO₂

Dechang Tao, Zhiyao Li, Xin Wen, Chenguang Yang, Dong Wang*, Kun Yan

The Technical Research Institute of Wuhan Textile University

Abstract: This article prepared ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE)/inorganic particle (SiO₂) composite fibers using wet spinning method, successfully improving the creep resistance of UHMWPE fibers. The crystal structure, orientation, and creep resistance of UHMWPE fibers were analyzed using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM), polarizing fiber mirrors, etc. The relationship between the structural changes and properties of UHMWPE fibers was studied. The results of SEM and polarizing microscope showed that the orientation degree and grain size of UHMWPE/SiO₂ fibers with the same thermal stretching ratio significantly increased along the axial direction. At the same time, the introduction nano-SiO₂ particles were successfully enhanced the intermolecular forces of UHMWPE. Therefore, this work achieved synchronous improvement of the crystallinity, orientation degree, and intermolecular forces of the prepared UHMWPE fibers by modifying nano-SiO₂, greatly improving the creep resistance of UHMWPE fibers. When the modified SiO₂ content was 0.5%, the creep resistance of UHMWPE fibers was the best. Two characterization methods were used to characterize the creep resistance of fibers, and consistent results were obtained. The reliability of the improved anti creep ability was verified under higher temperature environmental

conditions. Meanwhile, research has found that the tensile properties of modified fibers have also been improved. Finally, by establishing an optimization model for process parameters, the optimal process parameters for this work were identified. This article aims to improve the creep resistance of UHMWPE fibers through the synergistic effect of online spinning to enhance their orientation and intermolecular forces. This work has developed a stable and high creep resistant UHMWPE fiber online production technology, and established a verification method combining multiple creep resistance performance testing methods. This further expands the application of UHMWPE fibers in fields such as ocean mooring ship cables, fishing nets, and military protective products.

D09-P02

Controllable surface twill structure endowing PVA-co-PE/MXene/CNT nanofiber composite film with excellent electromagnetic shielding performance

Dechang Tao, Dong Wang*, Chenguang Yang, Xin Wen, Kun Kun

The Technical Research Institute of Wuhan Textile University

Abstract: With the development of communication technology and mobile electronic devices, the issue of electromagnetic interference (EMI) becomes increasingly prominent, making the development of high-performance EMI shielding materials a crucial research direction. In this study, a nanofiber composite membrane with a twill structure was prepared and exhibited excellent EMI shielding effectiveness. Polyvinyl alcohol-co-polyethylene (PVA-co-PE) nanofibers and twill nylon fabric were utilized as the substrate and filtering medium, respectively. The PVA-co-PE-MXene/CNT nanofiber composite membrane was fabricated via vacuum-assisted filtration. Results showed that when the MXene/CNT content was 5.0 wt%, the EMI shielding effectiveness of the membrane reached 98.6 dB, attributed to the pre-interference effect of the surface twill structure, which enhanced the collision probability between electromagnetic waves and MXene nanosheets, as well as increased internal reflection, ohmic, and resonance losses of the membrane. Additionally, the construction of the twill structure addressed the challenges of low MXene/CNT filling content and achieving high EMI shielding performance. The PM5C composite membrane with a twill structure exhibited outstanding tensile strength (18.7 MPa) and EMI SE/t value (3656.9 dB/cm), attributed to the abundant hydrogen bonding among PVA-co-PE, MXene, and CNT. Furthermore, the PMxC nanofiber membrane demonstrated excellent performance in thermal management, hydrophobicity, flame retardancy, and electromagnetic shielding stability. This study represents the first instance of constructing a twill structure on a nanofiber composite membrane, offering a simple and efficient method for preparing high-performance, low-filler-content EMI shielding composite membranes with significant potential for practical applications.

D09-P03

Ginseng-Bioinspired 3D Photothermal Evaporator for Efficient Seawater Desalination Using Conjugated Microporous Polymer

Yuzhu Wang*

Donghua University

Photothermal conversion technology presents a promising approach for harnessing solar energy to facilitate seawater desalination. However, salts will accumulate on the surface of the photothermal conversion structure during seawater desalination, which hinders solar energy absorption. Meanwhile, the photothermal conversion structure directly immersing in a large water body results in a large heat dissipation loss. Both factors impair solar energy conversion and water steam generation. To address the issues, inspired by a ginseng plant (with a trunk-to-branch water supply system), a 3D cotton-based photothermal evaporator with tunable water supply is

facilely designed herein via simple cloak-weaving of a porphyrin-based conjugated microporous polymer (PPCMP) as the photothermal conversion material. The as-designed 3D cloak-like photothermal evaporator achieves an equilibrium between the water supply flux and evaporation rate via optimizing PPCMP weaving and the water path. As a result, a high evaporation rate of $2.81 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and photothermal conversion efficiency of 155% are obtained under 1 sun illumination. The findings underline the importance of 3D porous organic polymer-based fabrics as effective media for harnessing solar energy and highlight their potential for seawater desalination.

D09-P04

基于碳纳米纤维气凝胶焦耳加热效应的甲醇水蒸气重整反应制氢研究

胡光凯、俞彬、黄涛、朱美芳、俞昊*

东华大学

以氢能(H_2)为代表的清洁能源已然成为应对现有化石燃料储量急剧下降带来的“能源危机”及其燃烧造成日益凸显的“环境问题”最具潜力的候选方案之一。传统甲醇水蒸气重整(MSR)反应制氢催化剂多为粉末状态,催化反应器多采用外加热模式,存在催化剂更换困难、传热/质效率低、催化启动慢以及能耗高等缺点。本文以静电纺碳纳米纤维(CNF)为结构骨架,采用一锅法将铜(Cu)和锌(Zn)金属盐前驱体与添加的碳纳米管和凝胶化淀粉等助剂一起,经单向冷冻成型-冷冻干燥-低温热解工艺制备得到一种体积收缩率低、尺寸稳定、焦耳加热响应快、温度分布均匀的三维(3D)碳纳米纤维气凝胶负载铜-锌催化剂(Cu-Zn/CNFA)。同时,基于该 3D 结构催化剂焦耳加热效应设计并构建了用于 MSR 反应的加热-催化集成式反应器和测试平台。研究表明,该反应器只需施加 17 V 的直流电压,其瞬时温度可达 347°C ,能循环稳定且可控地升至 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 区间,具有快焦耳加热响应、快启动、低能耗等特点。借助该测试平台,在 Cu 和 Zn 添加量均为 10 wt%时,优化的反应条件下,Cu10-Zn10/CNFA 催化剂的甲醇转化率为 83.1%、CO 选择性为 0.01%、 H_2 和 CO_2 选择性均高于 90%、持续催化稳定时间大于 300 min 未见明显失活。该研究证实了利用焦耳加热的 CNFA 负载催化剂进行 MSR 反应的可行性,并为设计和制备与高温气相催化转化相关的 3D 多孔催化剂开辟了一条新途径。

D09-P05

调控二维共价有机框架的紧密堆积用于大气集水

黄启航*

东华大学

二维 COFs 的发展一直受到结晶度、稳定性和功能性的三重困境的限制。比较特殊的是,二维 COF 的合成既受有机单层通过共价键的横向延伸,也受共轭多层通过非共价力的垂直堆叠,赋予它们周期性的柱状 π 阵列和开放的一维通道。在此,我们报告了一种超分子合成子策略来解决这一挑战。利用骨架中超分子合成子的强相互作用,实现二维 COF 层间的紧密堆积,增强材料的结晶度和稳定性。此外,超分子合成子由于具有较强的极性基团,增加了孔道的极性和氢键受体位点,因此表现出极好的水合能力,可用于较低湿度下的大气集水。这项工作提供了一种普遍的策略来增强二维亚胺连接 COFs 的结晶度、稳定性和功能,拓宽了它们在传统亚胺连接之外的潜在应用。

D09-P06

基于表面织构化自润滑效应的高耐用性摩擦纳米发电机

张欣、黄涛、俞彬、朱美芳、俞昊*

东华大学材料学院

摩擦纳米发电机 (TENG) 是一种能将机械能有效转化为电能的能量收集装置。尽管滑动式独立层 TENG (SF-TENG) 能达到所有工作模式中的最大输出功率, 但长期剧烈摩擦带来的材料磨损失效问题亟待解决。添加液体润滑剂可以延缓材料磨损, 但也会显著抑制摩擦起电效应; 自润滑材料则可在干性工况下达到优异的减摩耐磨效果。因此, 本文以聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 为基体, 空心二氧化硅微球 (HSMs) 为功能粒子, 构筑出表面织构化 PDMS/HSMs 复合膜。得益于表面半球状微凸起结构带来的自润滑减摩效应, 该复合膜的摩擦系数仅为 0.186, 比纯 PDMS 膜的摩擦系数 (1.403) 降低了 87%。不仅如此, 以 PDMS/HSMs 复合膜作为摩擦层的 SF-TENG, 电输出性能大幅提高了一个数量级。搭配柔性转盘和双向往复传动机制, 该复合膜可进一步推广至转盘式 TENG 器件 (TAB-TENG); 相比于传统硬质转盘和单向加速传动机制的组合, 其峰值输出及累积充电效率均大幅提升。更重要的是, 历经 350000 次循环后, TAB-TENG 的输出几乎无衰减, 摩擦层的表面微结构也未出现明显磨损, 展现出卓越的耐用性。最后, 基于 TAB-TENG 的摩擦电鞋, 可充分收集人体足部运动能量, 以此成功驱动 49 盏 LED 灯和一块 8.5 英寸的液晶手写板。将其进一步与功能模块集成, 可在移动用户界面实现实时无线行走信息监测。本工作对 TENG 迈入实际应用具有重要的现实意义。

D09-P07

用于高性能柔性超级电容器的钌催化 Buchwald-Hartwig/Suzuki 偶联 (BHSC) 共轭微孔聚合物

张昕泽宇*、廖耀祖

东华大学

纤维状超级电容器 (FSCs) 是一种前景广阔的新型储能设备, 适用于智能可穿戴电子设备的小型化、轻量化和灵活性设计。然而, 该设备的实际应用却因能量密度低而受到限制。在此, 我们提出了一种新型菲醌基共轭微孔聚合物 (BHSM-CMPs) 网络, 通过 Buchwald-Hartwig 和 Suzuki 偶联反应的协同效应, 提高了材料的电子传导效率和循环稳定性。其中, 在电流密度为 1 A g^{-1} 时, BHSM-CMP-2 在 $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ 中显示出 774 F g^{-1} 的超高三电极比电容, 并在 6,000 次充放电循环后保持了 87% 的初始电容和接近 100% 的库仑效率。使用 $\text{PVA-H}_3\text{PO}_4$ 作为凝胶电解质组装的纤维状全固态对称超级电容器在 0.25 mA cm^{-2} 电流密度下显示出 448 mF cm^{-2} 的高面积比电容、 $63 \text{ } \mu\text{Wh cm}^{-2}$ 的超高能量密度和 1.03 mW cm^{-2} 的最大功率密度, 以及 -1.4 至 1.4 V 的宽工作电压窗口。这项研究提出了一种制备具有高电化学特性的 CMP 的新型合成方法, 拓展了其在柔性可穿戴电子设备领域的潜在应用。

D09-P08

碳纤维预浸料铺层方式对复合材料电磁屏蔽和导热性能的影响

李汝哲、郝梦圆*

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

随着科技发展, 电子元器件等设备产生的电磁辐射及热量都会影响其正常的工作。采用以国产高强高模碳纤维 M55J 为填料、环氧树脂为基体的碳纤维预浸料, 通过控制预浸料交叉铺层的角度来改变碳纤维在树脂基体中的排布方式来探究其对复合材料电磁屏蔽和导热性能的影响。设置了 0° 、 30° 、 45° 、 60° 、 90° 五种不同交叉角度预浸。纤维含量控制在 50% 时, 测试相关的电磁屏蔽和导热性能。结果来看, 90° 交叉铺层的预浸料层压板的电磁屏蔽效能达到了 38dB, 优于其他交叉角度的层压板。这是因为交叉角度的增大预浸料层之间的阻抗不匹配, 提高了其反射性能。交叉角度的增大使得部分纤维轴向接近平行于电场方向。这促进了碳纤维与电场的相互作用, 提高了层压板吸收电磁波的能力。 90° 交叉铺层的层压板改善了面内导热不均匀的问题。其面内导热系数为 $18.7 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 。五种层压板厚度方向导热系数均在 $1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 左右。这证明交叉角度不会影响层压板厚度方向的导热性能。碳纤维的各向异性是决定面内和厚度方向导热性能差异的主要因素。综合电磁屏蔽和导热性能两种因素, 90° 交叉铺层预浸料层压板更有优势且更易满足使用中所需的机械性能。

D09-P09

聚酰亚胺前驱体的设计其碳纳米纤维导热性能的研究

林安琪、郝梦圆*

中科院宁波材料所

为制备高石墨化度、高导热的聚酰亚胺基碳纤维,探究不同结构的聚酰亚胺前驱体对石墨化程度的影响以及石墨结构的演变,通过静电纺丝及亚胺化制备四种体系的聚酰亚胺纳米纤维(PINF)。将 PINF 通过碳化、石墨化处理得到碳纳米纤维(CNF)和石墨纳米纤维(GNF)。利用 X 射线广角散射(WAXS)、显微红外光谱(FTIR)等对 PINF 进行表征,利用 X 射线衍射(XRD)、拉曼光谱(Raman)和激光热导仪(LFA)等对 CNF 和 GNF 进行表征,利用透射电镜(TEM)和 X 射线光电子衍射仪(XPS)表征热处理过程中石墨结构演变及化学结构变化。结果表明:在四种体系中,M 体系的 PI 分子由于其强对称性分子结构、刚性强、含氧官能团少,所制备的 PINF-M 具有较好的结晶度及取向度。经过碳化处理后得到的 CNF-M-900、CNF-M-1400 石墨缺陷最小,碳原子结构的有序度最高。经过高温石墨化处理后,四种体系的 GNF-2500 的石墨有序度增加,具有更小的层间距,热导率相比 CNF 得到明显提升。但由于 M 体系具有刚性大的 PI 分子,分子链沿纤维轴向的侧向堆积密度大,更容易形成石墨微晶结构,因此 GNF-M-2500 的热导率最高,为 $76.372\text{ W/m}\cdot\text{K}$, 是 CNF-M-900 的 6.22 倍,是 CNF-M-1400 的 5.54 倍。

D09-P10

Ti₃C₂T_x MXene 改性上浆剂对碳纤维及复合材料的性能研究

崔美荣*

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

碳纤维(CF)是经热处理和高温氧化制得,则表面光滑且活性官能团较少,与基体间的润湿性差,需对 CF 表面改性提高与基体间的粘附性。上浆法是改性 CF 最简单而有效的方法,MXene 作为具有优异性质的二维材料,引入到上浆剂中并对 CF 改性,可以提高 CF 与基体间的机械连锁。本文采用机械共混法,将二维纳米材料 Ti₃C₂T_x MXene 引入聚酰亚胺(PI)上浆剂进行复合,制备了不同浓度梯度的 Ti₃C₂T_x MXene/PI 复合上浆剂,并通过上浆法在 CF 表面改性,系统研究了改性上浆剂对 CF 的表面形貌、表面化学状态及其性能的影响,探索了 Ti₃C₂T_x MXene 的最佳添加量。研究结果表明,Ti₃C₂T_x MXene 成功的引入到了 PI 上浆剂中并沉积在碳纤维表面,改性上浆剂显著提高了 CF 与基体的粘附性且增强了 CF 的导电性。

D09-P11

蜘蛛丝启发的环境适应性强韧水凝胶纤维

伍绍吉¹、刘钊¹、龚彩红¹、李万江¹、许斯佳¹、文睿¹、冯文²、邱志明¹、严玉蓉^{*1,3}

1. 华南理工大学

2. 广东省医用纺织品质量研究与评价重点实验室

3. 广东省高分子高性能材料重点实验室

理想的水凝胶纤维应具有高韧性和环境适应性以实现柔性电子应用。然而,目前的水凝胶纤维由于其固有的弱分子(链)相互作用,表现出机械性能差和环境不稳定性。受离子对蜘蛛丝网络结构进行多层次调整的启发,我们构建了具有离子交联和结晶域的仿生水凝胶纤维。仿生水凝胶纤维的韧性为 $162.25 \pm 21.99\text{ MJ/m}^3$,与蜘蛛丝的韧性相当。所展示的仿生结构工程策略可推广到其他聚合物和无机盐,用于制造具有广泛可调机械性能的水凝胶纤维。此外,在构建仿生结构时引入的无机盐/甘油/水三元溶剂,可使水凝胶纤维具有抗冻、保水和自再生特性。这项作为制造用于柔性电子器件的高机械性能和环境适应性水凝胶纤维提供了思路。

D09-P12**平衡弹性体的弹性模量和介电常数以提高压力传感性能**

李万江、伍绍吉、周秋曼、龚彩红、刘钊、严玉蓉*

华南理工大学

介电层的微结构设计可以提高电容式压力传感器性能，但这通常依赖复杂的制备工艺并且会影响设备的可靠性，而通过平衡介电层材料的本征特性可以有效解决这一问题。本文介绍了一种由无扩链剂的聚氨酯和液态金属（LM）制备的复合弹性体。无扩链剂和 LM 掺杂的协同策略有效地降低了复合弹性体的弹性模量（ 7.6 ± 0.2 至 2.1 ± 0.3 MPa），并提高了介电常数（5.12 至 8.17 @1 kHz）。此外，LM 复合弹性体还兼具可再加工性、可回收性和光热转换性。所制备的柔性压力传感器可用于检测手部和喉部肌肉运动，并利用深度学习中的卷积神经网络（CNN）实现了七个单词的高精度语音识别。这项工作为设计和制造可穿戴、可回收的智能控制压力传感器提供了思路。

D09-P13**用(Ni,Co)Se 粒子修饰的三维多孔生物质衍生碳复合材料用于高性能超级电容器**

刘嘉铨、丁梓桐、周秋曼、韦兰飞、严玉蓉*

华南理工大学

过渡金属改性是提高生物质衍生碳电容量的有效手段。采用两步炭化和后续水热反应法制备了具有三维多孔结构的高性能(Ni,Co)Se/香蕉叶衍生碳((Ni,Co)Se/BLC)复合材料。制备的(Ni,Co)Se/BLC 在电流密度为 1 A/g 时具有 840.6 F/g 的高比电容，是碳基体的 5 倍以上。以(Ni,Co)Se/BLC 复合材料为正极，BLC 为负极组装的非对称超级电容器具有 1.5 V 的宽电位窗，在 749.8 W/kg 的功率密度下可提供 34.3 Wh/kg 的高能量密度，在 19.4 Wh/kg 的能量密度下可达到 7500 W/kg 的功率密度。结果表明，金属硒化物的改性可以大大改善生物质衍生碳的电化学性能，这对生物废弃物在超级电容器电极材料中的应用具有重要意义。

D09-P14**基于甲氧基聚乙二醇-聚己内酯超细纤维重构三维高吸水性气凝胶**

贾济如*

华南理工大学

常熟理工学院

通过将制备基于两亲性甲氧基聚乙二醇-聚己内酯嵌段共聚物（mPEG-PCL）基超细纤维进行三维体型重构，使其在纤维搭接处产生了牢固的粘结点，大幅提升了纤维材料的结构稳定性，最后获得了具有高吸水性的聚合物超细纤维气凝胶（TNA）。该气凝胶具有连续多孔结构，其体积密度可低至 36 mg/cm³、比表面积高达 230 m²/g、孔隙率为 85%、平均孔径 1.12 μ m。此外，其在重复压缩后吸水性能仅发生微小变化，具有极佳的使用耐久性。TNA 经过 10 次压缩循环后，吸水率仍可达到约 25 g/g。平均脱水失重 3.1%，表明该材料几乎不溶于水，且吸水后结构特性不会发生改变。在抗菌性能测试中，TNA 对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌表现出良好的抗菌活性，证明其为抗菌剂的理想载体。细胞毒性测试结果表明，TNA 的毒性极低，适合在环境生物工程应用中应用。综上所述，由于其高吸水性和良好的生物相容性，TNA 是保健材料和生物医疗产品的优秀候选材料。

D09-P15**基于分子结构设计构建具有双峰微孔结构的聚酰亚胺气体分离膜**

刘钊、龚彩红、邱志明、严玉蓉*

华南理工大学

本文以对羟基苯甲醛和 1,3-二甲基苯胺为原料，通过 Friedel-Crafts 烷基化反应合成了一种含酚羟基官

能团的三苯甲烷二胺单体 (TPMOH)，并与多种商业化二酐通过一步法聚合得到一系列用于气体分离的三苯甲烷基聚酰亚胺 (PI-TPMOHs)。由于三苯甲烷基 (TPM) 和酰亚胺环的存在，该类薄膜具备较高的玻璃化转变温度 ($T_g > 355\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和良好的耐热性能 ($T_{d5\%} > 355\text{ }^{\circ}\text{C}$)。TPM 扭曲的空间结构有效增大了分子链间距，使得 PI-TPMOHs 在室温下能完全溶解在 DMF、DMAc 等常见非质子极性有机溶剂中。此外，二胺单体侧基苯环上的酚羟基有助于产生分子内和分子间的电荷转移络合物 (CTC)，这促进了侧基苯环之间形成有序的 π - π 堆叠域，使得该系列薄膜具备良好的气体分离性能。该研究为构建具有双峰微孔结构的气体分离膜提供了一种有效方法。

D09-P16

大豆素基聚酰亚胺的合成与应用

龚彩红、伍绍吉、房强、邱志明、严玉蓉*

华南理工大学材料科学与工程学院

利用生物质原料制备高性能聚酰亚胺一直是生物基材料的研究热点。本研究从大豆素基二胺、二酐的结构功能化设计入手，在二胺、二酐单体中引入模型化合物理念，分步对大豆素中的羟基、羰基、双键进行定向设计。针对大豆素基聚酰亚胺生物相容性较差的问题，采用定向设计的高纯大豆素基二胺、二酐，通过一步法制备生物基含量较高的聚合物。并对产物进行多次萃取，确保其不含低聚物等其他杂质。所合成的大豆基聚酰亚胺其生物基含量高达 53%，明显高于已报道的生物基含量（约 40%）。所获得生物基 PI 的机械稳定性和热稳定性与商用 PI 接近。其拉伸强度为 148.6 MPa，热稳定性为 148.6 MPa，玻璃化转变温度 (T_g) 为 318.2 $^{\circ}\text{C}$ 。此外，基于大豆基的 PIs 还显示出优异的荧光特性，最大荧光效率为 45.18 ns，绝对荧光量子产率为 14.1%。进一步，实验与密度泛函理论计算的结合揭示了分子间和分子内的有效共轭以及 "烯酮和醚" 对分子内电荷转移的抑制作用。这项工作为设计和合成具有高活性的高生物基含量的多功能 PIs 提供了可能的途径。

D09-P17

纺织材料全生命周期分析

文睿*

华南理工大学

牛仔生产过程的绿色化是纺织材料可持续发展的重要方面，本研究运用全生命周期评价方法 (Life cycle assessment) 对蓝色纯棉牛仔服从棉纱生产到运输出厂的过程进行评价，并将原洗水工艺替换为激光洗水工艺，比较原工艺与优化工艺的环境影响与成本。研究表明：在蓝色纯棉牛仔服的整个生产过程中，产生较大环境影响的是牛仔布生产阶段和牛仔服生产阶段，分别为 GWP 值贡献 57.90 %和 35.92 %，为 AP 值贡献 46.64 %和 51.85 %，为 POCP 值贡献 46.67 %和 53.04 %，为 TETP 贡献 52.75 %和 46.73 %，为 EC 值贡献 51.35 %和 45.54 %。采用激光洗水工艺使得经济成本降低 53%，需要处理的废水量减少 28.91%，耗电量降低 19.57%，耗水量减少 28.91%，GWP 值降低 19.76%，AP 值降低 13.24%，FAETP 值降低 5.96%，POCP 值降低 11.98%，TETP 值降低 30.75%，EC 值降低 14.68%。

D09-P18

减水剂的侧链端基改性及其阻泥性能的研究

郭熙桃*

华南理工大学

通过对聚羧酸减水剂大分子侧链端基改性，制备了一种具有空间位阻作用且带有亲水基团的减水剂。通过对减水剂支链结构上的聚醚大单体进行改性，以提供更高的空间位阻以及多亲水官能团来提高减水剂的阻泥性能。研究发现，减水剂经侧链端基改性后，当其添加量为 0.2%，水泥（含 1%粘土）净浆扩展度

由未改性前的 7mm 扩展到 28mm，展示出良好的抗泥效果。

D09-P19

咪唑溴盐离子液体调节 PA6 链间氢键作用的研究

胡栩连¹、王子超¹、龚彩红¹、贾济如¹、罗俊²、李细林³、严玉蓉*¹

1. 华南理工大学材料科学与工程学院, 510641
2. 广州纤维产品检测研究院, 510220
3. 广东新会美达锦纶股份有限公司, 529100

离子液体 (ILs) 是一种由无机或有机阴阳离子组成的特殊的盐, 阴、阳离子是非常好的氢键给体和受体, 能够和聚酰胺分子链间的酰胺基团形成更强的氢键, 从而起到调节分子链间氢键的作用。本研究通过将尼龙 6 (PA6) 与 1-辛基-3-甲基咪唑溴盐混合静电纺丝的方法, 制备一系列复合纤维膜。SEM 表征了纤维的尺寸。通过 FTIR 以及原位变温红外表征了 IL 的添加对 PA6 的分子间作用力的影响。DSC 和 XRD 表明了随接收转速的增加, 静电纺丝纤维的结晶度有所增加。IL 添加量为 2.0% 的静电纺丝纤维随接收转速的增加发生更为明显的晶型转变。本研究探索了 IL 的添加对 PA6 链间氢键作用的影响, 通过 IL 调节 PA6 的链间氢键作用为制备高强 PA6 纤维提供了一种有效方法。

D09-P20

废弃纺织物摩擦料的添加对再生涤纶纤维生产的环境影响分析

周文坚¹、马俊滨²、严玉蓉*¹

1. 华南理工大学
2. 广东秋盛资源股份有限公司

我国 2019 年废旧涤纶再生利用率却不足 20%, 将废弃涤纶织物制成摩擦料等再生原料按一定比例掺入高等级瓶片可制备出新纤维, 有利于减少废弃 PET 材料对环境的影响。全生命周期分析(Life Cycle Accessment, LCA) 可从原材料采购到生产和使用、废弃阶段量化评估其环境影响。本研究项目通过 LCA 方法研究使用废弃纺织品制备的摩擦料对再生涤纶 (rPET) 纤维生产造成的全球变暖潜值 (GWP)、酸化效应潜值 (AP)、淡水生态毒性潜值 (FAETP)、陆地生态毒性潜值 (TETP)、光化学臭氧合成 (POCP)、能耗 (EC) 等六个影响因子进行分析。研究发现摩擦料和瓶片比例为 1:1 时, GWP 降低了 6.0%, AP 降低了 5.8%, FAETP 降低了 31.5%, TETP 提高了 542.6%, EC 降低了 2.4%。

D09-P21

有机无机杂化协同增强的生物基微/纳米纤维膜的绿色制备

刘伊帆、周天煜、刘宇杰、毛晓卉、朱丽萍*、朱美芳

上海市东华大学

壳聚糖纤维因其良好的生物相容性、抗菌性、可降解性被广泛应用于生物医学领域。针对目前微/纳米级壳聚糖纤维力学强度弱、制备过程不绿色等问题, 受到海洋生物贻贝的启发, 我们以具有良好水溶性的改性壳聚糖 (CS-C) 为原料, 羟基磷灰石 (HAP) 为交联剂, 聚乙烯醇 (PEO) 为助纺剂, 水和乙醇为溶剂, 通过溶液吹制纺丝技术 (SBS) 制备了壳聚糖含量高达 70 % 的 HAP/CS-C/PEO 纳米纤维膜, 实现了生产过程的绿色化。羟基磷灰石可通过缓慢释放 Ca^{2+} 与儿茶酚形成金属配位键, 在纤维膜内部形成交联网络, 显著提升纤维膜的力学性能; 该纤维膜遇水后转变为凝胶状薄膜并可在人体模拟液中作为模板, 进一步诱导羟基磷灰石的沉积。此外, 所制得的纤维膜表现出良好的抗菌活性和生物相容性, 有望在骨损伤、骨修复等组织工程领域取得进展。

D09-P22

不同共聚单体调节 PA6 链间氢键作用的研究王子超¹、马楚浩¹、贾济如¹、龚彩红¹、许斯佳¹、李细林²、严玉蓉*¹

1. 华南理工大学材料科学与工程学院, 510641

2. 广东新会美达锦纶股份有限公司, 529100

PA6 是一种最常使用的脂肪族聚酰胺成纤聚合物, 其具有良好的耐磨性、耐碱性溶剂等优点, 但同时, 韧性不足、易吸水的特点限制 PA6 在特种条件下的应用。本研究通过静电纺丝的方式对比共聚酰胺 6/11(CoPA 6/11)、共聚酰胺 6/12(CoPA 6/12)和共聚酰胺 6/66(CoPA 6/66)三种无规共聚酰胺对 PA6 的链间氢键的影响。通过对比 C=O 和 N-H 的断裂焓可得出: CoPA 6/11、CoPA 6/12 的断裂焓均低于含有改单体的均聚物, 证实了共聚可破坏聚酰胺分子链的规整性, 造成聚酰胺分子内氢键的稳定性降低。通过 CoPA 6/66 分别与 CoPA 6/11 和 CoPA 6/12 对比, 研究了共聚单体分子链长短和共聚单体烷基链的奇偶性对 PA6 分子链间氢键的影响。

D09-P23**石墨烯膜表面拓扑结构调控助力长循环电致变色柔性电极**

沈静、孙宾*、朱美芳

东华大学

将石墨烯片层组装成高性能的石墨烯薄膜可应用于柔性电子和航空航天等领域。但组装体表面不可控的拓扑结构导致表面一致性(平整形貌和均匀电导率)难以调控, 不仅难以满足长循环稳定的电化学器件应用需求, 也制约了其在光学器件中的应用。电致变反射率器件作为耦合光谱与电化学的功能器件, 可应用于反射型显示、自适应隐身和发射率调制等领域。基于此, 我们通过调控石墨烯二维组装膜的表面拓扑结构, 在还原过程中利用还原剂蒸汽压力与限域空间对膜的边缘施加各向同性应力, 提高了石墨烯膜的表面反射率和平整度, 改进效果已被量化, 结果表明表面粗糙度均方根从 23.8 nm 降低到 2.04 nm。负载 PANI 后 800 nm 下电致变反射率调制范围达到 60%, 经 1000 圈循环, 电流密度未发生明显变化, 显著提升了石墨烯薄膜的电化学稳定性和负载活性材料的稳定性, 拓展了石墨烯组装结构在光谱电化学器件中的应用潜力。

D09-P24**纤维素基忆阻器的制备及仿生突触功能**

刘雯雯、范苏娜*

东华大学

忆阻器是第四类电子元器件, 在仿生神经突触领域具有巨大的前景, 有望作为仿生神经网络的构筑基元。2,2,6,6-四甲基哌啶-1-氧基(2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl, TEMPO)氧化的纤维素纳米晶(TOCNC)具有可调控的忆阻性能, 且耐水耐溶剂, 可用于制备生物忆阻器。本研究选用 TOCNC 作为忆阻材料, 采用旋涂法制备忆阻功能层, 以 Ag 和 ITO 为顶电极和底电极, 构筑了 Ag/TOCNC/ITO 忆阻器。该忆阻器可稳定循环 80 次, 开关电压分别为 -1 V 和 1.5 V, 且分布较窄。该生物忆阻器可模拟神经突触的短程可塑性, 其易化值表现出对脉冲间隔时间和脉冲幅值的依赖性, 证实了 Ag/TOCNC/ITO 忆阻器具有仿生突触的能力, 为人工神经网络的构建提供了新的思路。

D09-P25**多级多孔正交碳骨架负载硒复合材料用于高性能钠硒电池**

李腾、续安鼎、郑佳梦、严玉蓉*、吴松平

华南理工大学材料科学与工程学院

目前社会面临着能源紧缺的困境,在众多储能设备中锂离子电池以其优异性能得以广泛应用,但锂离子电池的进一步应用受限于资源储量以及安全性。基于此背景,钠离子电池应运而生,其中衍生出的钠硒电池凭借稳定的电化学性质以及较高的理论容量和电导率受到广泛关注。本工作聚焦于构建独特的具有正交孔道的碳骨架来负载硒制备 Se/HPC 电极材料,实现纳米限域同时加速电荷转移,从而达到兼具电化学稳定性以及快速的反应动力学的目标。Se/HPC 在 50 A g⁻¹ 的大电流下依然能保持 465 mAh g⁻¹ 的高比容量,且具有优异的倍率性能。在 10 A g⁻¹ 的电流密度下循环 2000 圈以上仍能具有 96.9% 的高容量保持率以及 508 mAh g⁻¹ 的高比容量,证明其优异的电化学稳定性。

D09-P26

蚕吐丝机理的研究及仿生制备

朱怡然、王卉、张克勤*

苏州大学

蚕丝以其优异的力学性能,结合高模量、强度和伸长率而受到人们的广泛关注。自 20 世纪 50 年代以来,许多研究试图揭示蚕丝的结构,目的是在工程材料设计中利用其优化的结构力学关系。目前人们对动物丝的结构达成了一致意见,即它们可以被认为是一种半晶体蛋白,内含高度有序的反平行 β -片状纳米晶体及不规则的螺旋结构。然而,活蚕体内丝素蛋白从分泌到成丝过程的自组装机理仍未形成共识,其主要原因之一就是缺乏直接证明的佐证。

本研究主要利用高新先进设备,详细研究并阐明丝素蛋白大分子在蚕腺体内随时间及位置的结构变化规律,归纳天然蚕的成丝机制。并根据以上研究总结的天然蚕吐丝过程的分子动力学机理,利用微流控装置进行仿生纺丝,进一步提高人造蚕丝的力学性能及生物相容性,解决了现有再生蚕丝机械性能差、脆性大等缺点,优化了目前仿生系统对内部成丝机制尚不明确等问题,也为以后的仿生研究奠定了基础,更加贴合实际。

D09-P27

偶极诱导二维共价有机框架的紧密堆积用于大气集水

黄启航、廖耀祖*、钱成

东华大学

二维共价有机框架(2D COFs)的构筑是有机单层通过共价键的横向延伸,和共轭多层通过非共价相互作用的垂直堆叠共同作用的结果。这赋予了它们周期性的柱状 π 阵列和开放的一维通道。然而,2D COFs 结晶性、稳定性和功能性之间的相互冲突严重限制了其实际应用。在此,我们报告了一种超分子合成子策略来解决这一挑战。利用骨架中超分子合成子的强相互作用,实现二维 COF 层间的紧密堆积,增强材料的结晶度和稳定性。此外,超分子合成子由于具有较强的极性基团,增加了孔道的极性和氢键受体位点,因此表现出极好的水合能力,可用于较低湿度下的大气集水。这项工作提供了一种普遍的策略来增强二维亚胺连接 COFs 的结晶度、稳定性和功能,拓宽了它们在传统亚胺连接之外的潜在应用。

D09-P28

湿纺构筑芳纶气凝胶相变复合纤维及其热管理性能研究

肖刚^{1,2}、沈超^{1,2}、邵元龙^{*1,2}、张锦^{1,2}

1. 北京大学材料科学与工程学院,北京市海淀区颐和园路 5 号,100871

2. 北京石墨烯研究院,北京市苏家坨镇翠湖南环路 13 号院智谷中心 2 号楼,100095

气凝胶纤维具有高比表面积和高孔隙率,能够满足军工被装、航天服、消防服等特种服装领域中阻热性能需求。然而,气凝胶纤维存在纤维机械性能较弱或孔隙率不可控等问题。本研究创新地采用了湿纺纺丝工艺,结合酸辅助调控芳纶纳米纤维(ANFs)的组装策略,成功制备出了孔隙率达到 91%,机械强度

超过 50 MPa 的多级孔结构纤维。本研究深入理解 ANFs 质子化组装机制，重点解析纤维溶胶-凝胶转变与凝固分子-溶剂分子双扩散过程的作用机制，建立气凝胶纤维多级孔结构形成机制。为了显著增强隔热性能，我们基于多孔限域效应负载的相变热管理材料（PCMs），所制备的复合相变纤维不仅具有高达 87 wt% 的 PCMs 负载量，还展现出了 189 J/g 的超高潜热和出色的热循环稳定性。同时，将复合相变纤维与编织工艺相结合，展现出相变功能织物具有的较好温度调节能力。这种综合的高机械、高热焓值性能将有望提高气凝胶复合相变纤维材料在人体热管理方面的潜在应用。

D09-P29

一步法原位复合制备的高性能碳纳米管复合相变复合纤维及其热管理性能研究

黄雨菲^{1,3}、邵元龙^{2,3}、张锦^{*1,2,3}

1. 北京大学化学与分子工程学院
2. 北京大学材料科学与工程学院
3. 北京石墨烯研究院

随着工业快速发展、能源大量消耗和人口不断增长，高效储热和热管理技术越来越受到人们的关注。相变材料（PCMs）通过其相态转变过程中吸收与释放潜热进行热能存储与利用，具有储热密度高、工作温度稳定等特点，是解决热能供需不匹配和实现高效储能和热管理的极具前景的技术。在众多 PCMs 中，聚乙二醇（PEG）具有能量密度高、稳定性好、良好的生物相容性和成本低等优点备受关注。然而，与其它传统固-液相变材料类似，PEG 具有固-液相变易泄露、热导率低、易发生脆性断裂等问题，为解决以上问题，我们采用具有高比表面积和高导热、高力学特性的烯碳材料（由 sp^2 杂化的 C 原子组成的低维纳米碳材料，主要包括石墨烯和碳纳米管）对 PEG 进行封装来构建形状稳定的相变复合材料并同时显著提升其导热性能及赋予材料一定的功能性。为此，本研究开发了一种浮动催化原位复合法将 PEG 原位封装到碳纳米管纤维骨架中，并通过凝固浴组分调控结构优化策略改变碳纳米管表界面性质及相变材料聚集态实现高力学性能（平均抗拉强度为 450 MPa）、高相变焓值（145.2 J/g）和高导热（ $59.25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ）的烯碳复合相变纤维的制备，扩展了其在先进电子设备和人体热管理等方面的应用。

D09-P30

石墨烯复合高强高焓值芳纶相变纤维及其热管理性能研究

沈超^{1,2}、肖刚¹、邵元龙¹、张锦^{*1,2}

1. 北京大学
2. 宁夏大学

随着人们生活水平的提高，智能纤维在提升服装舒适性，满足消防、冶金等特种行业的需求方面发挥着越来越重要的作用。相变纤维，可以在特定温度范围内发生相变，释放或吸收大量的热能具有双向智能调温功能。然而，目前报道的相变纤维在实际应用中存在机械性能弱（力学强度小于 100 MPa）^[1-8]，相变焓值低（相变潜热小于 80 J/g）^[1-3,9]等问题。本研究通过引入氧化石墨烯来调控芳纶纳米纤维的去质子化形成过程和氢键相互作用，制备出氧化石墨烯增强的芳纶多孔纤维，表现出优异的机械性能，最终所得烯碳芳纶相变纤维具有较高的潜热（70 J/g）、良好的力学性能（抗拉强度为 342 MPa，拉伸应变为 22.5%）和良好的热循环稳定性（100 次循环质量损失 < 8%）。之后通过针织工艺将烯碳复合相变纤维制成相变消防服，在暖体假人测试中相较普通消防服温度显著下降 2.5°C，证实了相变消防服良好的热防护效果。

参考文献

- [1] C. Chen, L. Wang, Y. Huang, Appl. Energy 2011, 88, 3133.
- [2] Y. Qian, N. Han, X. Gao, X. Gao, W. Li, X. Zhang, Chem. Eng. J. 2021, 412.
- [3] Y.-H. Ahn, S. J. A. DeWitt, S. McGuire, R. P. Lively, Ind. Eng. Chem. Res. 2021, 60, 3374.
- [4] Y. Yan, W. Li, R. Zhu, C. Lin, R. Hufenus, Materials 2021, 14.
- [5] W. Li, L. Xu, X. Wang, R. Zhu, Y. Yan, Polymers 2021, 14.

- [6] Y. Bao, J. Lyu, Z. Liu, Y. Ding, X. Zhang, ACS Nano 2021, 15, 15180.
- [7] Z. Niu, S. Qi, S. S. A. Shuaib, W. Yuan, Composites, Part B 2022, 228.
- [8] G. Li, G. Hong, D. Dong, W. Song, X. Zhang, Adv. Mater. 2018, 30.
- [9] D. Bao, L. Liu, T. Sun, Y. Han, F. Meng, M. Zhao, Y. Yu, J. Guo, S. Zhang, Carbohydr. Polym. 2020, 240.

D09-P31

高性能聚酯聚酰胺纳滤膜的制备及性能研究

甘金萍、程芹*、刘轲、王栋

武汉纺织大学，技术研究院，纺织纤维及制品教育部重点实验室

随着航天、玻璃、汽车、电池、冶金和制药等领域的发展，对锂的需求也随之增长，纳滤膜因具有绿色、高效、环保等优势，在盐湖卤水中提取锂等领域具有重要研究意义和实际应用价值。传统聚酰胺膜易于调整孔径大小实现分离但耐氯性能较差，而聚酯纳滤膜抗污性和耐氯性能好，但对阳离子的截留性提升受限。针对以上问题，本研究以多孔 EVOH 纳米纤维膜为基膜，利用两种水相单体（3-二羟基-N,N,N-三甲基丙烷-1-氯化铵和 PIP）同时进行界面聚合反应的策略，制备出聚酯聚酰胺纳滤膜。通过调控单体浓度、pH、反应温度、反应时间以及固化温度等，调控纳滤膜理化结构、荷电性能、孔隙结构等，深入探究了制备条件与纳滤膜结构及分离性能的关系，制备出通量高、分离性能好，同时具备较好抗污性能和耐氯性能的纳滤膜。在水相溶液 pH 值为 13.5、温度 25℃、季铵盐：PIP 比例为 30：1 时，制备得到的超薄聚酯聚酰胺纳滤膜，聚酯聚酰胺层厚度约 20nm，对 MgCl_2 、 Na_2SO_4 、 LiCl 的截留率分别为 98.3%、97.4%和 22.5%，1000ppm MgCl_2 的通量达 $213.3 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (4bar)，与仅有 PIP 单体的纳滤膜相比，渗透通量提升了 3 倍，且对阴离子和阳离子都具有较好的截留作用。针对 $\text{Mg}^{2+}/\text{Li}^{+}$ 分离应用，当 $\text{Mg}^{2+}/\text{Li}^{+}=60:1$ 时，分离因子为 59.87，混合离子通量为 $195.5 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (4bar)，最终制备出的聚酯聚酰胺纳滤膜显示出优异的分选性能和渗透通量，具有较好的实际应用前景。

D09-P32

氧化石墨烯增强芳纶短纤维纸基复合材料的摩擦学性能研究

卢悦^{1,2,3}、王宏刚^{*1,2,3}、赵更锐¹、任俊芳¹、高贵¹

1. 中国科学院兰州化学物理研究所材料磨损与防护科技重点实验室
2. 中国科学院大学材料科学与光电技术学院
3. 中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑国家重点实验室

自润滑纸基复合材料可以为航空机体运动机械部件提供低摩擦和延寿等技术解决方案。为了提高芳纶纤维的摩擦学性能，本研究利用分子间力相互作用，将氧化石墨烯（GO）和芳纶纳米纤维（ANF）进行化学复合，通过简单的工艺方法制备了一种氧化石墨烯增强芳纶纤维的自润滑纸基复合材料（GO/ANF）。通过对复合材料的力学和摩擦学性能进行研究，以及利用扫描电子显微镜（SEM）、傅里叶变换红外光谱仪（FT-IR）和 X 射线光电子能谱仪（XPS）对 GO/ANF 的微观结构和化学组成进行表征。结果表明，GO 可以显著增强 ANF 的力学性能，纸基复合材料的断裂强度、杨氏模量和韧性都明显提高。与 ANF 相比，GO/ANF 纸基复合材料具有更低的摩擦系数和体积磨损率，当 GO 的添加量为 1 wt% 时，GO/ANF 纸基复合材料的摩擦系数和体积磨损率比纯 ANF 纸分别降低了 23%和 89%。此外，GO/ANF 纸基复合材料的摩擦学性能在高载和高滑动速度下能保持良好的稳定性，表现出优异的摩擦耐磨性能。分析表明，协同作用和摩擦转移膜的形成是纸基复合材料具有优异性能的重要因素。该材料作为高性能自润滑材料在自润滑滑动轴承衬套中具有很好的应用前景。

D09-P33

Crystalline Texture Reengineering of Zinc Powder-Based Fibrous Anode for Remarkable Mechano-Electrochemical Stability

Yanyan Shao, Zhou Xia, Yuanlong Shao*, 妍妍 邵
Peking University

The challenge of inadequate mechano-electrochemical stability in rechargeable fibrous Zn-ion batteries (FZIBs) has emerged as a critical challenge for their broad applications. Traditional rigid Zn wires struggle to maintain a stable electrochemical interface when subjected to external mechanical stress.¹⁻⁴ To address this issue, a wet-spinning technique has been developed to fabricate Zn powder based fibrous anode, while carbon nanotubes (CNTs) introduced to enhance the spinnability of Zn powder dispersion. The followed annealing treatment has been conducted to reengineer the Zn crystalline texture with CNTs assisted surface tension regulation to redirect (002) crystallographic textural formation. The thus-derived annealed Zn@CNTs fiber demonstrate great mechano-electrochemical stability after a long-term bending and electrochemical process. The fabricated FZIB demonstrates a remarkable durability, surpassing 800 hours at 1 mA cm⁻² and 1 mAh cm⁻², with a marginal voltage hysteresis increase of 21.7 mV even after 100 twisting cycles under 180 degree twisting angle. The assembled FZIB full cell displays an 88.6% capacity retention even after a long cycle of a series of bending, knotting, and straightening deformation. It has been also woven into a 200 cm² size textile to demonstrate its capability to integrate into smart textiles.

Reference:

- [1] Y. Shao et al., Oxygen Substituents with Optimized Redox Activity in Chemically Reduced Graphene Oxide for Aqueous Zn-ion Hybrid Capacitor, *Adv. Funct. Mater.*, 2021, 31, 2007843.
- [2] Y. Shao et al., Recent Advances in Aqueous Zinc-ion Hybrid Capacitors: A Mini, *Chem. Electro. Chem.*, 2021, 8, 484-491.
- [3] Y. Shao et al., Regulating Interfacial Ion Migration via Wool Keratin Mediated Biogel Electrolyte toward Robust Flexible Zn- Ion Batteries, *Small*, 2022, 18, 2107163.
- [4] Z. Xia, Y. Shao et al., Manipulating Hierarchical Orientation of Wet-Spun Hybrid Fibers via Rheological Engineering for Zn-Ion Fiber Batteries, *Adv. Mater.*, 2022, 34, 2203905.

D09-P34

Graphene-reinforced polyol solid-solid phase change materials and mechanism studies

Xinyu Zhang^{1,2}, YanYan Shao^{1,3}, YuanLong Shao^{*1,4}, Jin Zhang^{1,4}

- 1. School of Materials Science and Engineering, Peking University
- 2. Peking University
- 3. College of Energy, Soochow University
- 4. Beijing Graphene Institute

Phase change materials (PCMs) have the advantages of high energy storage density, stable storage/output energy, and controllable phase change temperature, which make them ideal materials for cutting-edge research in thermal management applications. Small-molecule polyols, as a solid-solid phase change material, are characterized by higher enthalpy of phase change, smaller volume change, and wide phase change temperature region, making them a hot spot for PCM research¹. However, the defects of small-molecule polyols, such as low intrinsic thermal conductivity, low phase change velocity, and obvious thermal hysteresis, lead to problems such as slow heat transfer, low heat utilizing efficiency, and mismatch of endothermal and exothermal processes, which seriously hinder the practical application of polyol phase change materials². The phase change materials of small-molecule polyols can be used in a variety of applications. The practical application of polyol phase change materials is seriously hindered².

To address the above problems, in this work, with the help of multistep of melt blending technology, small-size low-defect graphene powder was introduced into the polyol phase change material

tris(hydroxymethyl)aminomethane (TRIS), and a phase change composite with high enthalpy of phase change, high phase change rate, and low thermal hysteresis was obtained by adjusting the content of graphene. We carefully investigated the effect of graphene incorporation on the interfacial interactions within the hybrid materials and their phase transition behavior by a series of in situ characterization techniques. Graphene flakes acted as hotspots to transform the nucleation process of TRIS from the initial homogeneous to heterogeneous mechanism by introducing supplementary nucleation sites. In addition, graphene as a nucleation site led to grain refinement and the formation of a graphene-PCM interface within the material, which induced a deeper structural transition to the phase transition state; the additional interfacial energy increased the energy barrier of the solid-solid phase transition and boosted the enthalpy of the phase transition. In addition, graphene as a hotspot changes the phase transition process of phase change composites and improves the heat transfer efficiency within the composites while drastically weakening the thermal hysteresis effect of the phase change material itself by decreasing the domain size and the pinning effect, providing a new research idea for the preparation and mechanism study of high-performance phase change composites.

1 Chem. Rev., 2023, 123, 491

2 Nature, 2019, 567, 506

D09-P35

单宁酸/没食子酸-铁染色处理对竹单板表面颜色和耐光色牢度的影响

朱梦佳¹、刘诗琴¹、白会娟²、黄宇翔^{*1}、余养伦¹、于文吉¹

1. 中国林业科学研究院

2. 北京建筑大学

目前, 由于竹材在建筑、家具和装饰等方面具有广阔的应用前景, 对色彩丰富、高色牢度的环保竹材的需求正在迅速上升。然而, 由于酸性染料的染色废液处理困难, 活性染料生产工艺复杂, 寻找一种环保、易操作的竹材染料是一项必要的任务。本研究利用 5 种含金属多酚配合物的染液制备环保型染色竹材, 获得了以蓝黑、灰黑色为主的冷色调竹材, 并采用氙灯考察不同配方对染色竹材耐光老化性能的影响。结果表明, 仅含 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和单宁酸的溶液制备的染色竹单板的耐光色牢度达到 4 级, 比未染色竹单板高出 3 个等级。通过 XPS 分析, 阐明了染色竹单板增强耐光性的机理。多酚铁络合物具有吸收紫外线和消耗体系内自由基的双重作用, 能减少竹材中酚类物质氧化为深色的醌结构, 有效地提高材料的耐光老化性能。本研究提供了一种简单的竹材染色方法, 也为实际生产中竹材染料的选择提供了新的思路。

D09-P36

揭示单宁酸与木纤维之间的相互作用机制

刘诗琴、纪文检、吴珽、贺颖奇、黄宇翔*、余养伦、于文吉

中国林业科学研究院

木质纤维素生物质已确定是目前地球上最丰富的生物可再生生物质, 其主要由纤维素、半纤维素和木质素组成, 具有来源广、储量大、价格低廉、环保、可再生等特点。高效利用木质纤维素有助于减少对化石原料的依赖并促进当今社会的可持续发展, 是当前研究的热点。多酚是一种广泛分布在植物中的多酚类植物体内的具有多元酚结构的次生代谢物, 其优异的生物相容性和高反应活性使其广泛应用于鞣质、涂料、胶黏剂、食品和医疗等领域。目前, 利用多酚对木质纤维素生物质改性可以赋予其可调节的表面润湿性、抗氧化、阻燃、抗菌等功能, 但是多酚与木质纤维素生物质的相互作用机制尚不清楚。

针对上述问题, 中国林业科学研究院木材工业研究所于文吉研究员团队分别选取木纤维(WFs)和TA作为木质纤维素生物质和多酚的代表材料来研究它们的结合机制。通过利用木纤维提取的纤维素、半纤维素模型化合物木聚糖和磨木木质素(MWL)与TA结合的结合方式, 探明木纤维主成分各自与TA的相互作用机制。结果表明, TA与纤维素和木聚糖之间的吸附过程主要由氢键、静电相互作用和疏水相互作用

驱动。相比之下, TA 与磨木木质素的结合涉及的是氢键和范德华力。木纤维与 TA 的相互作用为氢键、静电相互作用和范德华力的共同作用结果, 其吸附能力取决于分离制备木纤维时表面暴露主成分的官能团。

D09-P37

用于小型电子设备供电的基于夹层结构织物的高性能湿发电机

王丽君、夏明*、王栋

武汉纺织大学阳光校区

为了应对化石能源日益消耗所带来的能源危机、全球变暖和实现碳中和, 我们开发了一种三明治结构的织物基湿气发电机 (SMEG)。将经过 MWCNT 和 PEDOT: PSS 溶液处理的导电棉织物作为上、下电极, 而经酸处理后的棉织物涂覆 PVA 和 HCl 电解质后作为中间层。单个 SMEG 可产生 0.44 V 的最大开路电压 (V_{oc}) 和 30.83 μ A 的最大短路电流 (I_{sc})。当在 SMEG 的一侧滴加 LiCl 溶液后, 最大 V_{oc} 和 I_{sc} 分别增加到 0.57 V 和 66 μ A。单个 SMEG 的最大功率密度为 0.29 μ W/cm² 当外接电阻为 1 k Ω 。通过精心设计串联和并联的有效组合, 可以显著提高输出电压和输出电流来放大输出功率。实验结果表明, 串联配置中开路电压 (V_{oc}) 几乎呈线性增加, 而短路电流 (I_{sc}) 在并联配置中呈线性增加。串联六个 SMEG 时, V_{oc} 达到 3.55 V, 而并联六个 SMEG 时, I_{sc} 达到 204 μ A。串联六个 SMEG 单元在环境湿度条件下成功点亮了 LED 和计算器, 显示了在为小型电子产品供电中的潜在应用。另外, 集成的 5 $\times$ 2 SMEGs 阵列无需额外的整流电路或额外的电容器即可驱动一个红色 LED 灯, 并为其持续供电 27.5h。SMEG 单元的大规模集成有望实现在环境湿度下的商业电子产品如手机等电子产品的供电。更重要的是, 柔性 SMEG 还可以应用于各种曲面, 将单个 SMEG 在 0 $^{\circ}$ 至 180 $^{\circ}$ 范围内弯曲时, V_{oc} 只表现出微弱的变化。因此, 该装置的高输出性能和柔性、高便携性、适合各种工作条件等特定优点使其成为实际环境中大面积集成和能量供应的理想选择。

D09-P38

梯度纳米纤维膜在空气过滤、传感和呼吸发电中的应用研究

李璐、夏明*、熊紫吟、王栋

武汉纺织大学

针对空气中超细颗粒物 (PM_{2.5}) 污染和新型冠状病毒 (COVID-19) 感染给人们的生命健康带来了严重的威胁与挑战。本项目利用熔融挤出相分离法和自组装法制备了一种 PVA-co-PE 纳米纤维 (0.71 $\pm$ 0.16 μ m) 和超细碳纳米蛛网 (25.25 $\pm$ 7.03 nm) 双网络梯度结构空气滤材 (NACT)。超细碳纳米蛛网形成的机理主要是利用单壁碳纳米管和银纳米粒子复合材料 (SWCNTs@AgNPs) 上的羧基或者羟基与 PVA-co-PE 纳米纤维上的羟基之间的氢键作用自组装作用。NACT-2 空气滤材显示出优异的过滤性能, 对 PM_{0.3} 过滤效率为 96.58 $\pm$ 0.49 %, 压降为 129.67 $\pm$ 2.52 Pa, 不依赖静电吸附作用。NACT 空气滤材表现出优异的抗菌性能对于 E. coli 和 S. aureus, 随着负载 AgNPs 含量的增加, 抗菌性能也在增强。SWCNT@AgNPs 形成的独特纳米蛛网所构成导电网络, 赋予了 NACT 空气滤材优异的导电性和传感性能, 可用于人体肢体运动和生理信号监测传感器。此外, NACT 空气滤材对湿度非常敏感, 可再利用作为呼吸诱导湿气发电机 (BMEGs) 来收集人体呼吸中水蒸气的化学能。单个 BMEG (2 $\times$ 2 cm²) 的输出电压和短路电流能达到 510 mV 和 23 μ A 左右。为了放大 BMEG 的输出性能, 可通过合理的串联和并联设计实现。6 个 BMEGs 串联可获得超过 2.5 V 的输出电压, 6 个并联可获得超过 60 μ A 的输出电流。最后, 我们利用 3 个串联的 BMEGs 对 3 个并联的法拉第电容器充电, 然后再将 3 个法拉第电容器进行串联可以点亮一个红色 LED。该工作为设计和开发可重复利用高性能、多功能的智能空气滤材提供了一个新的视角和思路, 有助于解决空气污染、COVID-19 感染和缓解能源危机。

D09-P39

梯度纳米纤维膜在纯生啤酒中的除菌过滤研究

李明月、王雨曦、刘轲*、程盼
武汉纺织大学

针对目前商业化纯生啤酒用除菌滤膜存在孔径分布宽、抗污性差、膜孔易堵塞、可重复使用性差等问题，利用熔融挤出相分离法制备了不同直径大小的乙烯-乙烯醇共聚物（EVOH），通过将粗、细纳米纤维在上、下层的先后排列构筑了一种梯度结构纳米纤维膜。通过对梯度纳米纤维膜过滤性能、抗污性及可重复使用性等进行研究，发现梯度纳米纤维膜对 10 g/L 的酵母浸膏发酵液重复过滤后，稳定后的通量为 22660 Lm-2h-1，远高于 Pall®商业膜（4840 Lm-2h-1）。经高温蒸汽灭菌处理后的梯度纳米纤维膜的稳定通量为 6600 Lm-2h-1，而商业膜仅为 1760 Lm-2h-1，表现出优异的耐高温水蒸气性能。此外，污染后的梯度纳米纤维膜经 80°C 水清洗后的通量恢复率可达 43%，而商业膜的通量恢复率仅为 32%，表明梯度纳米纤维膜显示了优异的可重复使用性。为纯生啤酒用除菌滤膜的国产化替代提供了一种新的途径。

D09-P40

用于解耦多重生理信号的可编程自组装水凝胶光纤

郑佳豪*
东华大学

水凝胶光纤具有高含水量、类组织模量和低光衰减等优点，因此在深层组织下的光医学领域有着巨大的应用潜力。然而，其功能的多样化需要通过复杂的制造工艺和异质重构来实现。在此，我们报告了一种通过动态共价键赋予材料拼接组装能力的可编程水凝胶光纤（AHOF）。我们选用羧甲基壳聚糖（CMC）为原料，氧化海藻酸钠（OSA）为交联剂，引入聚乙二醇二丙稀酸酯（PEGDA）为半互穿网络单元，通过网络中的动态共价键亚胺键以及氢键赋予材料结构重构能力，使水凝胶纤维的功能模块能够被重新编程。光衰减测试表明，AHOF 的最佳光衰减可达 1.5 dB/cm，且在拼接后其光导性能依旧能恢复至起始的 90%。通过亚甲基蓝以及罗丹明 B 分别掺杂构建不同功能模块后进行组装拼接，实现了单根纤维对于不同区块的应力响应。通过光谱分析，AHOF 的两个功能模块分别在 640nm 处以及 720nm 处有对应的特征峰，并实现了特异性响应。基于动态共价键的可组装水凝胶光纤展示了它在解耦信号方面的能力，其在深层组织下的光医疗领域有广阔的应用前景。

D09-P41

基于 3D Fe₃O₄/V-EVOH 纳米纤维的自漂浮复合气凝胶仿生设计用于提高太阳能蒸发性能

武艺、李珊珊、王栋*、王梦琦
武汉纺织大学

近年来，用于海水淡化的界面太阳能蒸发器吸引了人们的广泛关注。然而，相对较低的蒸发速率、不理想的能量转换效率以及蒸发器表面盐积累等挑战仍然存在。在此，我们仿生制备了一种由底部亲水垂直排列 EVOH 纳米纤维气凝胶和顶部疏水的锥形 Fe₃O₄ 阵列组成的双层复合气凝胶。得益于该结构设计的优势，在 1 个太阳光强度照射下，3D Fe₃O₄/V-EVOH 蒸发器具有 2.446 kg m⁻² h⁻¹ 的高蒸发速率和 165.5% 的太阳能转换效率，优于目前报道的主流太阳能蒸发器蒸发性能。同时，不对称润湿性的结构设计不仅使蒸发器具有自漂浮性，而且有利于盐离子在通道内扩散，即使盐浓度从 0 wt % 增加到 10.0 wt %，蒸发器表面也没有盐积累，总体蒸发性能仅下降 6%。

D09-P42

纳米纤维纳滤膜的制备及其在锂回收领域的应用研究

曹淑晴、王晶晶、赫彝珊*、王栋
武汉纺织大学

近年来,随着新能源动力汽车的发展,锂资源短缺的问题更为明显。从废旧磷酸铁锂电池中回收提取锂资源,不仅能实现新能源行业的可持续发展、缓解锂资源供需不平衡的现状,还能极大程度上降低未来电池退役潮带来的环境压力。膜技术因为具有能耗低、无污染等优势在锂原料的提取上有很大的发展潜力。本工作中,通过在聚醚砜(PES)超滤膜上构筑纳米纤维与聚乙烯亚胺(PEI)的修饰层,并通过界面聚合反应形成富含正电荷的选择层,修饰层的纳米纤维间丰富的孔道赋予了纳滤膜高水通量的同时,选择层的正电特性有利于金属离子的透过选择性。结果表明,纳米纤维对 PES 膜表面的修饰提高了亲水性和膜表面的粗糙程度;在 PEI 含量为 5.625 wt%, TMC 浓度为 0.3 wt%的条件下,在测试压力为 6 bar,纯水通量为 $36.73 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, 对的截留高达 99.36%, 锂铁离子的分离因子高达 115, 显示出在废旧磷酸铁锂电池中回收锂的巨大潜力。此外,本工作制备的纳滤膜,对重金属离子表现出很高的截留率。本工作也为膜技术提取锂资源的获取提供了新思路,在锂资源提取领域具有很大的潜力。

仅发表论文

D09-PO01

面向超高分子量聚乙烯的多巴胺仿生一步法改性研究

鹿超¹、岳航²、王俊胜^{*1}、王宏阳¹、商珂¹

1. 应急管理部天津消防研究所

2. 天津工业大学

为提升多巴胺对具有惰性表面纤维改性效率和效果,以 PDA 和 HDA 为原料,采用一步法对超高分子量聚乙烯纤维进行表面改性处理,并与常规二步法处理进行对比,采用 ATR-FTIR、XPS、SEM 对改性前后以及不同改性方案处理后的纤维进行化学结构和表面形貌分析,采用从织物中抽取单根纱以及单纤维树脂抽拔表征改性前后纤维与树脂之间界面结合强度的变化,采用单纤维强度测试表征改性对纤维性能的影响。研究结果表明:采用多巴胺仿生一步法改性后,超高分子量聚乙烯表面含 N 官能团均显著增加,改性后芳纶和超高分子量聚乙烯纤维的热稳定性提高并且残碳量增加,纤维与树脂之间的界面剪切强度提升 119.4%,相较于常规二步法处理,界面剪切强度提升 11.8%,一步法和二步法多巴胺仿生改性对超高分子量聚乙烯均未产生显著的负面影响,一步法有利于改性效率的提升。

D09-PO02

微米级可注射分形纳米纤维片对细胞球体的影响

刘红梅*

东华大学

细胞治疗作为一种创新的医疗策略,其核心在于利用活细胞的生物学特性以实现疾病的治疗或预防。在该领域内,三维(3D)细胞球体(spheroids)作为最简单的3D培养系统,显著提升了细胞治疗的疗效。此外,细胞球体与可注射生物材料的结合,进一步推动了个性化医疗和精准治疗的进展。尽管静电纺丝技术制备的纳米纤维在多个领域中得到了广泛的应用,但关于其在可注射生物材料方面的研究却相对匮乏。在本项研究中,我们采用了静电纺丝技术结合界面诱导结晶法,成功制备了具有分形结构的纳米纤维。通过高速均质技术,我们进一步加工得到了微米级的二维(2D)分形纳米纤维片。利用微孔阵列技术,我们将这些纳米纤维片与不同类型的细胞进行共培养,成功构建了可注射的复合细胞球体。本研究还对这些复合细胞球体的细胞增殖能力和细胞活性进行了验证,证实了它们在组织修复领域作为细胞治疗可注射剂的潜在应用价值。

D09-PO03

High performance carbon fiber reinforced DCPD composites via frontal polymerization

Langlang Ye, Qianqian Wei, Hongchao Zhao, Wenduo Chen*

Carbon fiber reinforced polymer matrix composites (CFRPs) have attracted wide attention due to their light weight and excellent mechanical properties. However, the traditional preparation process is complex, time-consuming and large energy input. Therefore, we need an energy efficient, environmentally friendly, fast curing strategy to produce these materials.

The frontal polymerization can transform monomer into polymer by the thermal wave generated by the self-reaction exothermic reaction, which is a fast and energy-saving polymerization method. Here, we developed a method for preparing carbon fiber reinforced polydicyclopentadiene (CF/pDCPD) laminate composites by frontal polymerization. The fiber volume fraction of CF/pDCPD can reach the level of hot-pressed composite material. The tensile strength, Young's modulus and flexural modulus increase with the increase of fiber volume content. The flexural strength first increased with the increase of fiber volume fraction and then decreased slightly. As the fiber content reaches $62.71 \pm 0.20\text{vol}\%$, the tensile strength reaches $938.27 \pm 41.2 \text{ MPa}$, the Young's modulus reaches $43471.12 \pm 456.53 \text{ MPa}$, the flexural strength reaches $242.77 \pm 4.18 \text{ MPa}$ and the flexural modulus reaches $426.88 \pm 25.09 \text{ MPa}$. By comparing the energy required by the frontal polymerization and the hot pressing, the energy consumed by the frontal polymerization is only 0.02% of the energy consumed by the hot pressing. Therefore, the frontal polymerization is an emerging and promising strategy to develop high-performance composites for industrial application with greatly reduced energy requirements.

D09-PO04

木棉纤维多孔材料的吸声性能及其结构的关系

周密、李光*

东华大学

多孔材料在吸声、隔音以及降噪应用领域发挥着重要作用，而其材料结构特性对吸声性能有着决定性的影响。本文以商业聚酯纤维多孔材料和木棉纤维多孔材料为试样，分别测试了其吸声系数，考察了材料厚度、表观密度以及孔隙率对纤维多孔材料吸声性能的影响。将木棉纤维多孔材料与商业纤维多孔材料以不同的排列方式复合，研究了木棉纤维多孔材料及其复合结构对商业纤维多孔材料吸声性能的提升效果。结果表明，材料的吸声性能随孔隙率的增加而提高，但当孔隙率过高或过低时都不利于吸收；厚度越大，材料的吸声性能越好，且吸收系数峰值随厚度增加向低频处移动；将木棉纤维多孔材料与孔隙率较大的商业纤维多孔材料复合，两者以致密层-蓬松层-致密层-蓬松层的结构排列时，木棉纤维多孔材料对商业纤维多孔材料的吸声性能提升作用明显，在高频和中低频处吸声系数峰值均可达到 0.8 左右，具有良好的宽频吸声性能。

D09-PO05

多孔纳米碳纤维与炭黑作为复合微孔层在质子交换膜燃料电池中的性能研究

黄歆榕、李光*

东华大学

微孔层(MPL)是质子交换膜燃料电池(PEMFC)气体扩散层(GDL)中用于提高水管理性能的关键部件。本文我们将多孔纳米碳纤维(PCNF)和炭黑(CB)混合浆料喷涂于大孔基底上制备了 GDL-PCNF-CB。GDL-PCNF-CB 中的 CB 填充于 PCNF 堆叠形成的三维网络结构中，改善了微孔层的孔结构。这种具有疏水结构的 GDL-PCNF-CB 制备而成的膜电极(MEA)在 60%相对湿度下的最大功率密度可达 1287.7 mW/cm^2 。从电化学阻抗谱验证了负载有 GDL-PCNF-CB 的 MEA 传质阻力明显降低，证明复合 MPL 的存在排水能力的提升与气体的提供的提升，并通过孔径分布的分析进一步分析验证 GDL-PCNF-CB 的网络结构能够促进排水与传质之间的平衡，提高 PEMFC 在不同湿度条件下的性能。

D09-PO06**高性能聚酰亚胺锂离子电池隔膜**

邱志明*

华南理工大学

锂离子电池隔膜对锂离子电池的安全、电化学性能有着极大地影响。聚酰亚胺锂离子电池隔膜具有良好的热尺寸稳定性和高温使用安全性。含氟聚酰亚胺分子结构中含有丰富的极性基团，电解液浸润性更好，有助于提高隔膜/电解液之间的界面性能和电池的综合性能。

D09-PO07**AlN 改性环氧-玻璃纤维复合材料的制备与性能研究**

张政*

南京工程学院

本文拟采用 AlN 为导热填料，环氧树脂为基体，玻璃纤维为增强材料，通过真空导流工艺及手糊成型工艺制备 AlN 改性环氧-玻璃纤维复合材料，通过改变 AlN 的用量来进行性能测试。结果表明，加入 6%AlN 制备的材料综合性能最佳。在加入等量的填料下，手糊成型制备的材料拥有更好的防火性和极限氧指数，但是力学性能方面不如真空导流制备的样品。