

## D09.纤维材料改性与复合技术

分会主席：朱美芳

### D09-01

#### 基于丝蛋白基元的组装调控和性能设计

吕强

苏州大学

丝蛋白作为普适性的生物材料，在不同组织修复，药物控释以及医学检测领域引起人们普遍关注，但如何根据不同应用的具体要求，对丝蛋白材料进行主动设计以实现更好的功能一直缺乏可靠的手段。本研究依照 bottom-up 的基本策略，首先制备出不同构象组成和尺寸的丝蛋白纳米结构基元，并根据基元材料的特性，结合丝蛋白自组装过程，进行材料复杂结构和性能的主动设计，实现对丝蛋白生物材料微纳结构、取向形态、力学性能、活性因子加载和控释行为、以及其他生物医用纳米材料的有效调控，从而对细胞分化、迁移、聚集等行为进行主动诱导，为不同组织的功能性修复提供具有持续性优化的生物活性材料。本研究为丝蛋白生物材料的未来发展提供了可靠的研究思路和基本策略。

关键词：丝蛋白，自组装，性能设计，生物活性，组织工程

### D09-02

#### 热塑性高聚物纳米纤维集合体的构筑与应用研究

晏珊，陆建伟，宋炜，肖茹

东华大学

为了缓解环境污染和资源匮乏等系列问题，以环保及资源合理分配为着力点进行新型功能材料的开发备受关注，其中纳米纤维材料由于其比表面积及长径比大、孔隙率高、与其他物质相互渗透力强的特性脱颖而出，其集合体已经被广泛应用于吸附过滤、阻燃隔热、导电储能和传感催化等领域。本文采用经济环保熔融共混挤出法所制备的热塑性高聚物纳米纤维为原料，在溶剂中均匀分散后利用高速气流沉积等方法制备二维纳米纤维膜。纳米纤维膜所具有的高比表面积可让其自身带有的功能基团暴露在纤维表面，为污水中重金属离子、染料等的吸附提供大量的吸附位点，且经氨基、亚氨基等活性基团表面修饰后，显著提升其对溶液中 Cr(VI) 离子及染料吸附性能，并能够实现特异性吸附。同时二维集合体还可以用以构筑摩擦纳米发电机 (TENG)，利用热塑性高聚物与传统织物材料的相容性来收集人体不同部位运动所产生的不规则生物机械能，并将其转化为电能，应用于可穿戴设备。通过物理或化学的方法对其表面进行修饰能有效地提高能量转换效率，增大表面电荷密度，提高器件的电输出性能。对其疏水化处理后可降低环境湿度对器件电输出性能的影响，从而使器件能在多种复杂条件使用，减少环境对其性能的影响。另外，将二维纳米纤维膜均匀分散后经冷冻干燥和原位交联构筑三维纳米纤维气凝胶集合体，在没有疏水化处理时即可展现疏水性和超强吸附性，并具备优异的柔韧性、弹性、高吸附量以及出色的重复使用性。进一步在气凝胶体系中引入不同种类和含量的添加物，制备基于热塑性高聚物纳米纤维的复合气凝胶，添加物的引入会明显提升气凝胶的力学性能、热性能和吸附性能，在光催化、隔热耐火和吸附过滤等领域有潜在应用。

### D09-03

#### 丝素蛋白/石墨烯材料仿生复合体系的结构设计与性能

张耀鹏，张超，范苏娜，庄奥，邵惠丽，胡学超

东华大学

神经组织修复支架不仅需要具有良好的生物相容性，还需有一定的电学和力学性能。再生丝素蛋白 (Regenerated Silk Fibroin, RSF) 静电纺纤维毡生物相容性良好，但不具备导电性，对神经细胞的分化没有明显促进作用。本研究以石墨烯纳米材料为 RSF 的改性添加剂，制备了 RSF/石墨烯材料仿生复合体系。氧化石墨烯 (GO) 的加入提高了 RSF 溶液的粘度和抗剪切能力，但不利于高浓度 RSF 溶液形成有序液晶态结构。通过模拟蚕和蜘蛛的成丝方式，采用干法纺丝制备出力学性能优异的 RSF/GO 杂化纤维。当 GO 与 RSF 质量之比为 1/1000 时，杂化纤维的断裂强度为  $(435.5 \pm 71.6)$  MPa，相比脱胶丝和 RSF 纤维，分别提高了 23% 和 72%。在此基础上，分别制备了 RSF/GO、RSF/还原氧化石墨烯 (RGO)、RSF/石墨烯 (Gr) 共混复合支架。RGO 和 Gr 都可赋予复合纤维一定的导电性，RSF/GO、RSF/RGO 和 RSF/Gr 三种复合支架促进了雪旺细胞 (SCs) 的增殖，且 SCs 在 RSF/RGO 支架上的生长和铺展状态最好。RSF/Gr 嵌入式复合支架具有互相贯通的稳定导电网络，

其表面电阻最小达到  $0.3 \times 10^3 \Omega/\text{sq}$ 。施加电刺激时，在 RSF/Gr-X 嵌入式支架上长有轴突的 PC12 细胞数量增加，且轴突长度增加。上述 RSF 复合导电体系的研究为拓展其在神经修复方面的应用奠定了基础。

关键词：丝素蛋白，石墨烯，复合支架，导电支架，结构，性能

#### D09-04

##### 多材料中红外光学纤维

陶光明

华中科技大学

一个长久以来制约着中红外光导纤维在实际领域中广泛应用的因素是缺乏良好的力学强韧性。在中红外光谱范围内（2-25  $\mu\text{m}$ ）实现光导纤维优秀的传输性能、与其它标准光学器件的良好兼容以及优异的使用操控性等技术问题具有迫切的需求。本报告将借助于“复合材料纤维”的概念以解决制约该领域广泛发展和应用的瓶颈问题。该特种光导纤维可在非线性光通讯器件以及激光手术、激光精密加工等方面发挥重大作用。

关键词：中红外，多材料，光学纤维

#### D09-05

##### 丝素蛋白基腔内隔绝机织人工血管织物的研制

刘泽堃<sup>1,2</sup>，李刚<sup>1</sup>，李毓陵<sup>3</sup>，李翼<sup>2</sup>，王晓沁<sup>1</sup>

1.苏州大学

2.英国曼切斯特大学

3.东华大学

采用三维纺织成型技术制备的腔内隔绝术用人造血管可以用来治疗如腹主动脉肿瘤等人体血管疾病。传统的制备方法是采用传统手织机制备超薄织物经过缝合而成，或者采用经编织机制成。所得到的人造血管存在机械强力、疲劳性、渗透性、孔隙率和厚度方面的问题。利用改造过的两梭箱剑杆织机，选择已经被广泛应用于人造血管制备的涤纶和真丝为材料，设计了纱线线密度为（经×纬）（tex/纱线支数）：2.4/12 生丝×2.4/12 熟丝；2.4/12 生丝×2.4/12 涤纶，经纬密为：1100 根/10 cm×800 根/10 cm，1100 根/10 cm×1400 根/10 cm，1100 根/10 cm×2000 根/10 cm，基础组织为平纹的六种一次成型的分叉机织人造血管。试样后处理以后按照人造血管的国际测试标准 ISO7198:1988 规定对其进行了力学、渗透性、微观形貌、厚度等测试，并利用统计学的方法对上机参数进行了相关性分析。实验结果表明：真丝人造血管性能相对优越，更容易满足人体的移植需要。

关键词：人工血管，腔内隔绝术，丝素蛋白，机织，研制

#### D09-06

##### 天然功能纤维的仿生设计与应用开发

凌盛杰

上海科技大学

天然蚕丝蛋白纤维，与其他天然材料一样，具有精细的微、纳结构（简称为介观结构；定义为丝蛋白分子链尺度以上，丝整体结构以下的丝蛋白结构单元）。以天蚕丝为例，丝蛋白分子在天然纺丝过程中组装形成半晶体的丝原纤（直径为 10-20 nm 左右），然后再进一步组装成纳米微纤（简称为纳纤，直径为 20-200 nm 左右）及微纤束（简称为微纤，直径为在数百纳米至微米的尺度），最后才形成丝纤维。这些介观结构对于丝性能的影响却被长期忽视。在各种经典的丝“结构-力学性能”模型中，如类橡胶网络模型、基于平均场理论的有序参数模型和 Maxwell 模型等，丝均都简化为均质的半结晶合成纤维，其力学性能也被简化为只与丝蛋白的二级结构相关。如类橡胶网络模型将丝简化成晶区和非晶区组成的两相交联网络。其中，纳米晶体（即  $\beta$ -sheet 结构）作为交联点将非晶区（无规线团和/或螺旋构象）连接在一起，形成一个均质的类似于橡胶交联网络的结构。

这些模型一个很重要的缺陷是只适用于评估合成高分子纤维（简称为合成纤维）也具有的性能，如粘弹性和热力学性能等。但事实上，丝具有一系列远优于合成纤维的力学性能，例如，优异的耐裂纹扩展能力（即裂纹阻止）。丝通常含有缺陷（如微裂纹和空洞），其大小从几纳米到数百纳米不等。对于工程材料而言，缺陷通常会引起应力集中，从而导致材料失效或断裂。但是基于粗粒化的分子动力学模拟表明，对于丝而言，如果它的缺陷的尺度小于其直径一半的情况下，裂纹并不会

对丝的力学行为产生实质性影响。因此，深入研究丝中的介观结构，不仅能以多尺度的视角来重新理解丝的“结构-性能”关系，而且可以知道功能性纤维的仿生设计。在该报告中，作者将详细介绍天蚕丝的精细介观结构及其相应的灵感材料设计。  
关键词：天然纤维，介观结构，仿生设计，功能化

#### D09-07

##### 添食育蚕法制备绿色荧光蚕丝

范苏娜，郑小婷，张慧慧，邵惠丽，胡学超，张耀鹏  
东华大学

荧光蚕丝是一种兼具良好生物相容性、可降解性、机械性能及特殊标记追踪特性的功能材料，在生物应用领域具有广阔的应用前景。选用绿色环保的方法制备荧光性能稳定的蚕丝是获得实际应用的关键。稀土红外上转换荧光粉（UCPs）毒性小、光穿透能力强、光化学性能稳定，为新一代生物荧光标记物。本研究选用 UCPs 改性家蚕饲料，以蚕腺体为生物反应器，采用添食育蚕法制备荧光蚕丝。研究表明：所得脱胶丝可在 980 nm 激光激发下发绿色荧光，且在添食浓度为 0.12% 时荧光效果最佳，有力地证明了添食育蚕法是制备荧光蚕丝的有效途径。UCPs 的引入对蚕的生长及蚕茧外观无明显影响，但会对脱胶丝的表面形貌产生影响。同时，UCPs 的摄入限制了丝素蛋白由无规卷曲/ $\alpha$ -螺旋构象向  $\beta$ -折叠构象转变；降低了脱胶丝的结晶度和晶区取向度，提高了中间相的含量；使蚕丝的力学性能有所下降。添食育蚕法制备荧光蚕丝操作简便、绿色环保、效果显著、可行性强，有望应用于大规模制备荧光蚕丝。

关键词：荧光蚕丝，添食育蚕法，红外上转换荧光粉，生物反应器

#### D09-08

##### 静电纺导电聚合物纳米纤维改性纱线用于超柔性储能

杨升元  
东华大学

纺织纱线经过改性，可用于各种智能应用，如储能、传感等。在线型柔性超级电容器中，最常用的纱线改性技术之一是将导电活性物质涂覆在纺织纱线上。涂层工艺包括气相聚合、浸渍涂层、层层自组装的薄膜包覆和电化学沉积等方法。然而，这些方法并不简便，且不可控，难以拓展。基于此我们提出了通过改进的静电纺丝工艺在纱线上涂覆纳米纤维，以制备超柔性储能电极：涂覆在纺织纱线集流体表面的纳米纤维具有良好的电活性、多孔性和包裹性，有助于离子更快地扩散，从而使纺织纱线保留原本的柔韧性和耐用性的同时，获得优异的电化学性能。将该线型电极编织或针织进织物后发现其比电容并无显著变化，且其电化学性能可通过与碳纳米管、石墨烯以及 MXene 等复合而进一步提升。该方法开辟了一种新的可拓展的策略用于可穿戴柔性器件的先进制造。

关键词：静电纺丝，纳米纤维，纱线，可穿戴，柔性器件

#### D09-09

##### 纳米功能化柔性电子织物的印刷制备

鲁志松，张慧慧，毛翠萍，周梦瑶，李彬天  
西南大学

当今社会，人们对于衣物的要求已不仅仅局限于舒适、美观，对其功能的需求日益迫切，在这一背景下“可穿戴智能服装”应运而生。织物是用于生产各类服饰的传统原料，完全可满足可穿戴器件对于柔性、舒适性的要求。然而，织物表面粗糙的纤维交织结构极大限制了传统电子线路制备方法的应用。因此，如何将电子器件与传统织物的结合，实现织物基柔性电子器件的制备，对器件结构设计和功能材料组装提出了新的挑战。印刷技术因其成本低廉、设备灵活，在柔性包装、图案设计和电子显示等方面具有广泛的应用。在过去十年中，越来越多的电子产品通过印刷技术制备并进入市场。由于该技术对于印刷基底没有严格限制，油墨成分可选择面广，极为适合用于织物基柔性电子元件的构建。在研究中，我们瞄准可穿戴应用领域，选取适合的纳米功能材料如氧化石墨烯、银纳米线、活性炭、二氧化锰纳米片等，通过涂布印刷、转移印刷、丝网印刷等方法，构建了以蚕丝织物或棉织物为基底的柔性传感、能源和开关器件，并对器件的性能和潜在应用进行了探索。通过研究，我们发展了多种基于织物的可穿戴器件原型，可望为织物基印刷可穿戴器件制备提供有益的信息，具有重要的理论意义和实际应用潜力。

关键词：织物，纳米材料，柔性电子，印刷

## D09-10

### 共轭微孔聚合物及其功能炭材料

廖耀祖, 程中桦, 李佳欢, 王海鸽

东华大学

共轭微孔聚合物是利用分子设计方法将具有几何形状 of 特定共轭基元通过共价键链接形成的非晶态有机多孔材料, 具有结构可灵活设计、孔道可自由调节和孔表面可丰富修饰等特点。该类聚合物作为光电材料或炭前驱体在环境修复、催化和洁净能源等领域具有重要的发展潜力。主链含氮共轭微孔聚合物因其独特的极化和氧化还原特性尤为被关注。Buchwald-Hartwig 反应是一种低含量钯催化芳溴与伯胺偶联形成 C-N 键的反应。我们首次提出利用该反应合成主链含氮共轭微孔聚合物, 调节构筑单元和功能基团, 优化比表面积、多孔性及气体选择性吸附。利用其独特的氧化还原活性和多孔结构, 构建超级电容器, 具有高容量、高功率密度、高循环稳定性以及可快速充电等优点。将其炭化或与钴、镍、铜等非贵金属螯合再炭化, 获得显著的电催化活性, 特别是析氢效率优于多数非贵金属负载电极材料。主要汇报课题组近三年在共轭微孔聚合物分子设计、气体吸附、能源存储与转换应用方面取得的最新研究成果。

关键词: 共轭聚合物, 有机多孔聚合物, 功能炭材料, 能源存储与转换

## D09-11

### PEDOT-OH 原位氧化聚合改性再生丝素蛋白薄膜的研究

庄奥<sup>1</sup>, 卞永俊<sup>1,2</sup>, 周健伟<sup>1</sup>, 范苏娜<sup>1</sup>, 邵惠丽<sup>1</sup>, 胡学超<sup>1</sup>, 朱波<sup>2</sup>, 张耀鹏<sup>1</sup>

1. 东华大学

2. 上海大学

丝素蛋白是一种兼具良好力学性能和生物相容性的天然生物质材料, 采用导电高聚物对其进行改性, 有望制备导电丝素蛋白材料, 扩展在生物电子及神经组织工程等领域的应用。本研究采用羟甲基化的 3, 4-乙烯二氧噻吩为单体, 十二水烷基硫酸钠 (SDS) 为表面活性剂, 过硫酸铵 (APS) 为氧化剂, 水为介质, 在再生丝素蛋白薄膜表面进行原位氧化聚合, 制备了再生丝素蛋白/聚(羟甲基-3, 4-乙烯二氧噻吩) (RSF/PEDOT-OH) 导电薄膜。结果表明: 酸性环境利于 PEDOT-OH 在 RSF 薄膜表面的沉积; SDS 的加入可促使 PEDOT-OH 在材料表面形成均匀的导电网络结构, 加强基体材料和导电层的结合作用, 提高材料的导电性。RSF/PEDOT-OH 薄膜的表现出良好的电化学稳定性及电信号响应性; PC12 细胞在薄膜表面生长形态良好, 且具有较好的活性。本研究制备的 RSF/PEDOT-OH 导电薄膜为进一步改善再生丝素蛋白材料的导电功能及构筑新型的生物功能材料提供了参考和启发。

关键词: 再生丝素蛋白, 导电高聚物, 原位氧化聚合, 聚(羟甲基-3, 4-乙烯二氧噻吩)

## D09-12

### 海藻多糖超分子纳米纤维的制备及其应用

隋坤艳

青岛大学

海藻多糖高分子是一种聚电解质高分子, 其原料系海洋中取之不尽的藻类植物, 由其制得的海藻纤维产品具有一系列独特的优异性能, 如本质自阻燃、生物相容性、抗菌、可降解等性能, 作为生物基纤维新材料领域中的一个新兴研究领域受到了越来越多的关注。然而相比较于其他刚性多糖, 如纤维素、壳聚糖等, 海藻酸钠由于其无规嵌段共聚物的结构不规整性以及分子链刚性较弱的特性, 其超分子纳米纤维的研究一直未见相关报道。本文主要研究了海藻酸钠在不同溶剂环境下的纳米纤维自组装行为及其动力学, 对形成的纳米纤维性水凝胶的力学性能、响应性、注射性和回复性等进行了研究; 进一步将其应用到双网络水凝胶, 制备得到高强度、高拉伸、高弹性以及高灵敏性的离子水凝胶应变传感器。

## D09-13

### 具有光致变色功能的 PMMA 纳米纤维的制备与性能研究

李葱葱<sup>1,2</sup>, 西鹏<sup>1,2,3</sup>, 赵天祥<sup>1</sup>

1. 天津工业大学

2. 先进纤维与储能材料天津市重点实验室

3. 中空纤维膜省部共建国家重点实验室

本文通过原子转移自由基聚合 (ATRP) 技术合成了一种含有螺吡喃光致变色单元的接枝共聚物 (SP-g-PMMA)。通过该接枝共聚物和有机稀土配合物的分子结构设计及协同配合,利用静电纺丝技术成功制备了具有多基色光致变色和光致发光功能的纳米纤维。通过  $^1\text{H NMR}$ , FT-IR, GPC, TGA 等测试方法对其组成结构和性能进行了表征。结果表明所制备的光致变色接枝共聚物具有分子量可控、分子量分布窄且热稳定性优异等特点。纤维样品的电子扫描电镜照片表明所制备纤维表面光滑,直径在 600 nm 左右;荧光光谱表明所制备的纳米纤维样品在 295 nm、367 nm 的紫外光和远红外光的激发下可实现白色、红色、绿色、黄色和蓝紫色的转换,展现出多基色发光特性。其研究成果对于推动多功能光致色纤维的研发具有重要意义。

关键词: 螺吡喃, 光致变色, ATRP, 纳米纤维

#### D09-14

##### 沥青基超交联微孔材料的制备及性能研究

李磊

厦门大学

超交联微孔聚合物是一类通过分子间以及分子内交联反应制备得到的具有高孔隙率和低骨架密度的三维网状聚合物。与其他微孔有机聚合物相比,超交联微孔聚合物因制备方法简单(如,傅克烷基化反应),单体和催化剂相对廉价而获得了广泛的关注。沥青和煤焦油是石化行业的大宗工业副产品,价格便宜,同时,它们含有大量芳环化合物及各类致癌稠环芳烃(例如,苯并芘)。因此,将其作为单体,通过傅克烷基化反应制备成超交联微孔聚合物具有重大的经济意义和生态意义。为了证明使用该工业副产品大规模生产制备超交联微孔聚合物的可行性。本研究通过二甲氧基甲烷(FDA)编织法和氯仿溶剂交联法,制备得到比表面积分别高达  $758\text{ m}^2/\text{g}$  和  $1337\text{ m}^2/\text{g}$  的沥青和煤焦油基微孔有机聚合物。其对  $\text{CO}_2$  的吸附(273 K/1.0 bar) 高达 9.95 wt% 和 17.74 wt%, 对  $\text{H}_2$  的吸附(77 K/1.13 bar) 高达 0.95 wt% 和 1.83 wt%。低廉的原材料和生产成本以及优秀的产物性能赋予了此类材料巨大的工业化生产前景。

#### D09-15

##### 高分子基相变材料的分子设计与构效关系研究

郭静

大连工业大学

环境污染和能源短缺成为限制发展的关键。开发绿色环保的新能源和提高能源的利用率已成为当前迫切问题。相变储能技术能够有效地提高能源利用率,属于绿色环保技术,其中高分子基相变材料因具有体积变化小、无腐蚀、无泄漏和使用寿命长等优点而备受关注。本研究从分子设计出发,通过大分子单体的设计、大分子单体接枝共聚、大分子单体交联结构设计等获得系列相变材料,表征了相变材料的分子结构、结晶性能、相变性能、微观结构和热性能的相关性。探讨了相变材料在纤维材料中的应用,结果对突进相变材料研究与应用有一定指导意义。

#### D09-16

##### 基于电解等离子喷涂在碳纤维编织物表面制备涂层的研究

卜爱明, 陈为, 程焕武, 王鲁

北京理工大学

碳纤维编织物以其高的比强度、稳定的化学性质和良好的力学性能在航空航天、汽车等领域中具有广泛的应用前景。然而,碳纤维编织物在有氧环境下温度高于  $400\text{ }^\circ\text{C}$  时就出现了明显的氧化失重和强度下降的现象,这极大地限制了其广泛使用。目前,我们一直在研究如何提高碳纤维编织物的表面抗氧化性和耐磨性。传统的等离子体电解方法以基体作为阴极,等离子体产生的高温和强烈的冲击波会对其表面造成损失。为了避免材料损耗,我们对非电极式等离子体电解进行了研究,将导电丝作为阴极产生等离子弧,然后作用在基体上在表面形成陶瓷涂层。

本文中提出了一种新型的电解等离子喷涂技术,它是等离子电解和等离子喷涂技术的一种混合体,它是通过液压将等离子弧喷涂到基体表面,然后在基体表面形成均匀、连续、致密的陶瓷薄膜的方法。本研究以铜棒为阴极,高纯石墨为阳极。通过这样的方法可以实现对三维编织纤维的表面进行处理,从电化学机理出发,详细讨论了  $\text{SiO}_2$  薄膜的形成和高温抗氧化性能,系统地研究了对涂层抗氧化性能的影响因素。

从分析中可以看出,我们的微观结构和抗氧化性能都有了很大的提高,在每根纤维上沉积了高质量的陶瓷涂层。上述新

的等离子体电解涂层和处理工艺的潜力是显而易见的,为实现大规模工业化的碳纤维编织物表面抗氧化涂层的制备提供了可能。

关键词: 等离子电解喷涂, 陶瓷膜, 耐高温氧化

#### D09-17

##### 柔性导电聚合物纤维的制备及其可穿戴热电器件构筑

刘京<sup>1,2</sup>, 蒋丰兴<sup>1,2</sup>, 徐景坤<sup>1,2</sup>

1.江西科技师范大学

2.江西省有机功能分子研究所

通过凝胶析出的方法制备导电聚合物 PEDOT:PSS 纤维。我们探究了凝胶原液配方和后处理条件对于纤维热电性能的影响以及纤维热电器件的输出性能。实验结果表明, PEDOT:PSS 纤维可以在乙醇中凝固形成更为连续的导电网络结构,并且在 PEDOT:PSS 纤维使用乙二醇作为后处理溶剂在提升纤维热电性能方面更加有效。进而在使用乙二醇后处理的纤维的基础上,用纤维组装了完全基于纤维的热电器件。通过优化所得的纤维,其功率因子增加了 165%。同时当温差为 60 K 时,纤维热电器件的功率密度  $481.17 \mu\text{W cm}^{-2}$ , 输出电压为 20.69 mV。该方法系统地探究利用凝胶析出制备导电聚合物纤维的方法及构筑纤维热电器件一种新的借鉴。

关键词: PEDOT:PSS, 纤维, 后处理, 热电性能, 热电器件

#### D09-18

##### 高分子复合物纤维

李皆富, 刘德中, 黄文弢, 朱丽萍, 杨曙光

东华大学

功能化和智能化是纤维发展的趋势。单一组分纤维难以满足日益发展的需求,而多组分纤维能够集中不同组分的特点,实现性能的集成与优化。传统制备多组分纤维的方法是复合纺丝 (composite spinning) 和共混纺丝 (blend spinning),在这两种纺丝方法中存在明显的分相过程。通过非共价相互作用,高分子聚集而形成多组分均相体系,称为高分子复合物。利用高分子复合物的形成过程使纤维成型;或者直接利用高分子复合物进行纺丝而得到的纤维称为高分子复合物纤维。高分子复合物纤维,各组分可以达到分子层面上的相容性,给我们提供了一个功能纤维和智能纤维设计开发的平台。例如,聚氧化乙烯-聚丙烯酸氢键复合物纤维表现出高弹性和自修复性能。聚氧化乙烯高分子链非常柔顺,但是结晶性强,其材料不表现出高弹性。聚丙烯酸是无定型高分子,玻璃化温度高于  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,在室温下也不呈现高弹性。但二者氢键复合后,聚氧化乙烯的结晶被抑制,高分子链的柔顺性得以体现,同时又具有氢键的动态交联,纤维表现出高弹性。通过对聚氧化乙烯-聚丙烯酸氢键复合物纤维进一步改性,制备了同时具有高弹性和导电性的纤维,这一纤维在柔性电子和智能穿戴领域具有应用价值。

#### D09-19

##### 高导热碳基复合材料

冯奕钰, 张飞, 纪腾霄, 封伟

天津大学

柔性电子器件中的界面热阻是影响其传热的关键因素。碳基复合材料因具有突出的导热性和高力学强度而成为构建界面导热层的理想材料。但是以一维碳纤维、碳纳米管和二维石墨烯为代表的碳基复合材料由于结构的特殊性导致其呈现明显的导热各向异性,降低了其在垂直于晶面取向方向上的热疏导能力。近年来,构建三维有序或网络微观结构的碳材料作为复合体的骨架是提高复合材料导热性能的重要途径,但是较差的界面相容性和较高的节点热阻限制了其应用。针对该问题,本文采用化学气相沉积法分别在高度石墨化的碳纤维 (CF)、膨胀石墨与剥离石墨表面与内部生长不同长度和密度的定向碳纳米管阵列 (VACNT),形成具有不同微观有序结构的碳基复合材料,并结合高温热压和原位复合等多种方法,构建基于不同碳基复合材料 (CF-VACNT, GT-VACNT) 的界面导热层。并通过与电场作用,实现多级取向的碳结构导热整列框架 (CF-VACNT 阵列) 的取向。利用通过有限元分析法研究了生长不同阵列的碳纤维/硅橡胶 (SI) 复合材料的热传导性能和温度场分布,发现复合材料的沿垂直方向 ( $\kappa_{\perp}$ ) 和水平方向 ( $\kappa_{\parallel}$ ) 的导热率主要由 CF 路径和 VACNT 阵列网络进行调控,后者主要通过阵列的长度和分布、取向度以及碳含量综合调节。然后分别测试了多种复合材料在不同填料含量、生长时间、热压温度下的厚度方向 (径向) 导热性能和力学强度。分别获得了厚度方向导热系数可达  $38 \text{ W/mK}$  的 GT-VACNT 和其沿垂直方向和沿

水平方向的导热系数分别为 7.51 W/mK 及 3.72 W/mK 的 CF-VACNT/SI。通过导热可视化热致变色装置证明 ACF-VACNT/SI 复合材料在柔性智能可穿戴电子设备内热界面材料领域内具有潜在应用价值。

关键词：碳纤维，有序结构，定向导热

## D09-20

### Highly deformable and rough SnO<sub>2</sub> layer for robust n-i-p perovskite solar cell

Fatemeh Zabihi<sup>1\*</sup>, Shengyuan Yang<sup>1</sup>, Mike Tebyetekerwa<sup>2</sup>, Qinghong Zhang<sup>1</sup>, Morteza Eslamian<sup>3,4</sup>, Meifang Zhu<sup>1</sup>

1.State Key Laboratory for Modification of Chemical Fibers and Polymer Materials & Center for Advanced Low-dimension Materials, Donghua University, Shanghai 201620, China

2.Research School of Engineering, College of Engineering and Computer science, Australian National University, Canberra 2601, Australia.

3.University of Michigan-Shanghai Jiao Tong University Joint Institute, Shanghai 200240, China

4.State Key Laboratory for Composite Materials, School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China.

\* Corresponding author: fzabihi@dhu.edu.cn

Perovskite solar cells (PSCs) are today front runners in thin film technology, due to delivering over 22% certified photon-to-current efficiency. Aside their convincing performance PSCs can offer numerous sophisticated features, which crystalline Si solar cells cannot, such as transparency, tailorable color/shape and geometry, high performance under indoor light, and feasible integration onto plastic substrates e.g. poly ethylene terephthalate (PET) and poly ethylene 2, 6-naphthalate (PEN). In a typical perovskite solar cell, active layer is sandwiched between n- and p-type carrier selective layers (ETL and HTL). A high performance ETL should provide a proper conduction band to shuttle the negative carriers with minimum recombination rate. Besides, in a typical n-i-p model perovskite thin film grows atop the ETL. In this case the ETL should be rough and share sufficient nucleation sites for perovskite crystallization. Mesoporous or compact metal oxides, such as TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub> and ZnO fulfill these requirements, but they are traditionally processed in sever thermal conditions, making the technology incompatible with the flexible structures assembled on polymers and papers. In other hand, in flexible PSCs the metal-oxide ETL is prone to failure by mechanical stress, degrading device performance, during testing and operation. Here, we suggest a fibrous metal oxide thin film as ETL for a n-i-p flexible PSC. Thin oxide (SnO<sub>2</sub>) nanofibers were first made by electrospinning and then deposited on PET/ITO using a mild temperature and reproducible solution processing, co-called ultrasonic assisted spin coating (SVASC). Figure 1(A-C) illustrates the schematic of issuing device, cross-section SEM image and UV-vis transmission spectra of fibrous SnO<sub>2</sub> thin film. SnO<sub>2</sub> fibrous thin film offers a compelling combination of chemical and mechanical resistivity, together with transparency, conductivity, due to it's one dimensional geometry, and deformability. It also provides a mesoporous scaffold and a rough surface for growing the large and uniform perovskite grains, with low density of grain boundaries and trapping sites. This approach offers promise for manufacturing efficient and mechanically durable perovskite solar cells on polymer substrates, at mild operating condition.

## D09-21

### 面向智能服装的传感纤维

侯成义

东华大学

以智能服装为代表的可穿戴装备能够对环境刺激与人体信号产生感知与反馈,因此也被誉为“第二皮肤”。通过功能仿生,智能服装不仅可以对身体起到保护与辅助作用,如应力传感、储热调温、驱动以及生理信号检测等,而且还能在节能环保、能源替代等方面有所应用。面向本领域,本报告将介绍一系列通过对环境响应型有机/无机杂化材料进行宏观构筑,从而制备功能仿生的柔性传感纤维的工作。它们分别具有电学传感、变色、变形等功能,有可能在电子血管、电子皮肤、人造肌肉等方向实现应用价值。

## D09-22

### 超高分子量聚乙烯纤维在热拉伸过程中的晶体结构演变研究

王宗宝\*, 安敏芳

超高分子量聚乙烯 (UHMWPE) 纤维具有质轻、高比强度、高比模量、优越的能量吸收性等多重优异性能, 与碳纤维和芳纶纤维一起并称为三大高性能纤维, 已经在航空航天、国防军事和安全防护等领域得到了广泛的应用, 成为关系到国家安全和经济发展的重要高技术材料。UHMWPE 纤维获得高性能的关键是大部分高分子量分子参与形成伸直链晶体, 构成结晶均匀、连续的基质。因此, UHMWPE 纤维在热拉伸过程中晶体结构的演变过程对纤维性能的提高具有非常重要的作用。

本工作对 UHMWPE 纤维中试生产线不同工序的样品进行离线结构研究, 分析了温度和拉伸比等工艺条件对 Shish-Kebab 晶体形成和演化的影响, 确定了 Shish-Kebab 结构与纤维力学性能的关系; 通过改变 UHMWPE 树脂的纺丝液浓度来调节纤维的缠结程度, 形成系列不同缠结程度的各工序阶段纤维, 利用上海光源的小角 X 射线散射和广角 X 射线衍射技术, 原位研究了不同缠结程度的 UHMWPE 原纤维在拉伸流场下 Shish-Kebab 晶体的形成与演化, 并结合纤维刻蚀后的场发射扫描电镜形态观察, 形成了低缠结和高缠结两种条件下 Shish-Kebab 晶体的形成与演化机理; 通过研究 UHMWPE/甲壳素纳米晶复合纤维中 Shish-Kebab 晶体的演化, 发现纤维中的 Shish-Kebab 晶体的同步演化对提高原纤维可拉伸性和成品纤维力学性能有很大帮助。以上结果既能发展和完善 Shish-Kebab 晶体形成与演化的机理及影响材料性能的本质认识, 也对探索低成本化的新型 UHMWPE 冻胶纺丝工艺提供了理论和实验基础。

关键词: 超高分子量聚乙烯纤维, 热拉伸, shish-kebab 晶体, 结构演变

## D09-23

### 空间限域纳米复合材料的设计及其环境修复

杨建平

东华大学

纳米复合材料将不同组分在不同空间分布, 具有优异的物理、化学性质, 在材料设计、功能集成、电化学催化和环境修复等领域具有巨大的应用前景。然而高质量、不同组分的纳米复合材料的制备, 以及实现组分可变, 空间分布可控, 仍是当前面临的一个极大挑战。而空间限域策略通过构筑小的纳米级空间, 创建一个相对稳定的生长环境, 实现了反应物和产物的有效传输和控制, 使得材料合成过程由反应控制机制向扩散控制机制转变, 而多孔结构的引入更有利这种扩散控制机制的进行。因此, 空间限域思路被认为是一种新型的纳米复合材料构建的有效策略。

我们课题组基于前期在表面活性剂模板法构筑有序多孔结构和核壳纳米材料的基础上, 进一步发现这种有序的多孔孔道和核内部的空腔可以作为物质传输的通道, 并可以在限域的空间实现复合结构的引入。主要包括三个方面的研究:

1) 表面活性剂自组装限域无机材料的引入及其在电催化脱氮中的应用;

设计了一种通过引入双氰胺螯合金属物质和结合活性模板剂的自组装过程的直接合成方法, 来合成掺氮介孔碳(NOMC) 高度分散并固定催化粒子的材料。所得的 PdCu NCs-NOMC 样品具有 8-16 nm PdCu 纳米晶粒颗粒, 且均匀的嵌入在氮掺杂的有序介孔碳中, 高的比表面积  $743 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , 在中性氛围含 100 ppm 硝态氮的溶液中显示出优异的催化性能: 在 10 次重复电解中基本去除超过 90 % 的硝酸根, 同时能保持 60 % 的氮气选择性。

2) 多孔空间限域构筑金属氧化物复合材料及在低温脱硝中的应用;

以二氧化硅小球排列的光子晶体为牺牲模板, 在密堆积排列的孔中引入钛的前驱体, 并负载氧化锡颗粒, 制备了氧化锡颗粒沉积的氧化钛互穿网络结构。这种金属氧化物复合的互穿网络结构具有非常优异的低温选择性催化还原 NO 性能, 实现高达 90 % 的 NO 转化率, 近~100 % 的氮气选择性和抗水、抗  $\text{SO}_2$  性能。

3) 纳米孔道限域研究构建骨架可控复合结构及其污染物的去除;

结合油水两相分层体系和孔道中表面活性剂模板直接碳化的方式制备树枝状介孔氧化硅-碳纳米球。并具有均一的尺寸分布 (~ 100 nm), 高的比表面积 ( $\sim 646 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), 大的孔容 ( $1.4 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ), 开放的孔径 (7.3 nm), 可控的碳含量 (6 wt%)。优异的持久性有机污染物吸附性能 ( $41.19 \text{ mg/g}$ ) 和快速的动力学平衡 (2 小时)。

关键词: 纳米复合材料, 空间限域, 多孔结构, 环境修复

## D09-24

### 超分子调控的光适应仿生纳米复合材料

朱苞蕾, 刘宗旭, 刘锦, 张秋禹

西北工业大学

材料科学家们希望合成的结构材料可以具有高强度, 高模量, 轻质以及高韧性, 以满足各个尖端科技领域的需求。在传

统的合成复合材料中,材料的强度和韧性是一对此消彼长的矛盾。然而大自然经过百亿年演化,发展出的生物材料可以提供模版供我们学习,以解决这一矛盾。贝壳结合了轻质,高韧性,高强度,高硬度等。它优良的力学性能,来自于贝壳中“砖墙结构”(Brick and Mortar Structure)存在的10余种相互协同作用的增强增韧机理。在本工作中,我们设计和制备了一种仿贝壳纳米复合材料。它具有多级高度有序的微纳结构,同时具有超高模量和强度。我们可以通过超分子作用对仿贝壳纳米复合材料的力学性能进行有效的调控。同时,我们通过组装少量热还原氧化石墨烯,将仿贝壳纳米复合材料转变成一种光适应的仿生纳米复合材料。在光照射下,仿生纳米复合材料可以迅速完成从强/刚迅速至柔/韧的转化。

关键词: 仿生纳米复合材料, 韧性, 光适应, 超分子

## D09-25

### 纤维素纳米晶增强聚丁二酸丁二醇酯界面增容研究

张须臻, 吴灿清, 李新安, 温馨, 王秀华

浙江理工大学

聚丁二酸丁二醇酯(Polybutylene Succinate, 简称PBS)是一种新型的生物基全降解热塑性树脂,具有柔韧性好、电性能优良,熔融加工性优异等特点。在传统高分子导致污染问题的日益突出,可降解树脂中代表性产品聚乳酸降解速率过快、脆性过大而难以适应诸多塑料、纤维应用领域的背景下,PBS作为一种在包装膜、民用纤维领域有巨大潜力的材料,一直受到研究和应用领域的双重关注。高性能PBS的开发,将为推动生物可降解材料取代PP、PE、PET等传统材料的进展,摆脱高分子材料对石油资源高度依赖的现状,实现我国经济的可持续发展具有重要的科学意义和现实意义。

目前国内外针对PBS的研究主要围绕其模量、强度低的缺点而展开,通过纳米复合的方式在PBS中加入增强剂是该领域研究的主要思路。无机纳米颗粒如碳酸钙、二氧化硅、玻纤等加入PBS后容易降低其生物降解性能,而生物质的填料如粘胶纤维、蚕丝等本身强度偏低,难以达到有效增强的效果,因此源自天然纤维素的纤维素纳米晶(CNC)由于具有可降解性、纳米棒状形态、高强度高模量而成为PBS理想的有机增强材料。然而,由于表面含有大量的羟基基团引发的氢键作用,CNC在复合材料中极易发生团聚现象,同时,羟基的强极性也导致CNC与PBS基体间相容性不佳。

课题组针对上述问题,以改善PBS与CNC间相容性,提高复合材料力学性能为主要目的,尝试“两步法”、“一步法”用酸酐对复合材料相界面展开了系统研究。以邻苯二甲酸酐(PA)为增容剂,通过“一步法”熔融共混制备了CNC均匀分散、力学性能改善的PBS/PA/CNC复合材料。PBS/PA/CNC(100/1/3)的分离产物的分析结果表明,PA与CNC在共混过程中发生了酯化反应,形成了PA改性CNC产物,进而改善了CNC的分散。PBS/CNC(100/3)的结晶度和力学强度(拉伸强度、弯曲强度和冲击强度)均随PA含量的增加先升高后降低,当PA含量为1 phr时达到最大值。而挤压延展后处理能够提高PBS/PA/CNC复合材料的结晶度,当延展倍率为8时,PBS/PA/CNC(100/2/3)的拉伸强度从33.4 MPa提高至136 MPa。加入PA后,PBS/CNC的亲水性下降,60~66 °C内的结晶速率、熔点、杨氏模量和拉伸强度明显提高。这种亲水性下降的改善可望降低PBS制品的降解速率,而力学和热性能的改善则使得材料的实用性提高。类似的,利用乙酸酐、丁二酸酐、酰氯改性剂采取“两步法”对CNC改性后加入PBS基体,也取得了类似的增强效果。

以CNC、丁二酸和丁二醇为合成单体进行酯化-缩聚原位聚合反应,通过原位聚合法制备了PBS接枝CNC(PBS-g-CNC),并与PBS进行二次复合制备了拉伸强度显著提高的PBS/PBS-g-CNC复合材料,具有很强的实用性。制备的PBS-g-CNC产物中PBS组分的含量为85.9 wt%,而PBS-g-CNC中PBS组分的数均分子量为 $2.37 \times 10^4$  g/mol。PBS-g-CNC的结晶度随着CNC含量的增加而增大。因为PBS组分的分子量低,而且PBS-g-CNC的力学性能偏差,所以将PBS-g-CNC和PBS通过熔融共混和低压高温缩聚(原位聚合)两种方式进行二次复合。原位聚合产物中PBS-g-CNC与PBS相容性良好,其储能模量、损耗模量、拉伸强度和热稳定性均高于熔融共混产物。原位聚合法制备PBS-g-CNC的研究具有开创性,其中制备工艺和产物的结构分析对同类工作有着理论参考价值。

## D09-26

### 纤维素纳米纤维增强再生丝素蛋白纤维的仿生制备

鲁丽, 吴蕙廷, 范苏娜, 张慧慧, 邵惠丽, 胡学超, 张耀鹏

东华大学

蜘蛛丝是最强韧的蛋白质纤维之一,但却无法通过人工饲养蜘蛛而大量获得。以丝素蛋白为模型制备强韧人造动物丝是仿生纺丝领域的研究热点之一。基于微流体技术,可实现蛋白的剪切、拉伸、浓缩、离子调控和纺丝,从而模仿蜘蛛和蚕的纺丝过程。纤维素纳米纤维(CNF)具有长径比大、高强、高模等特性,是优良纳米增强材料。本研究以添加了CNF的再

生丝素蛋白 (RSF) 水溶液为纺丝液, 以模拟蜘蛛大囊状腺体形状设计的微流体芯片为纺丝器, 基于微流体干法纺丝技术制备了 CNF 增强的 RSF 纤维。研究表明: 微流体仿生通道促进了 RSF 分子链的聚集与取向; CNF 的添加有利于 RSF 构象转变, 提高纤维的结晶度、取向度和中间相含量, 减小晶粒尺寸。无 CNF 添加时, RSF 纤维的断裂强度为 307 MPa; CNF 添加量仅为 1 wt % 时, RSF 纤维的断裂强度就可提高 58%, 最高可达 686 MPa, 纤维断裂能、模量也有显著提高。

关键词: 干法纺丝, 微流体技术, 丝素蛋白, 纤维素纳米纤维, 力学性能

#### D09-27

##### 反向界面聚合法制备高通量 PA/GE/PAN 纳米纤维基复合纳滤膜

沈克, 王雪芬

东华大学

纳滤膜由于操作压力低、通量高、节能等优点, 广泛用于废水处理、食品加工、纺织印染、生物制药、石油化工等领域。其筛分机理包括孔径筛分和静电筛分, 对分子量范围在 200~1,000 Da 之间的物质进行截留。通常纳滤膜由多孔支撑层和薄且致密的功能皮层组成。其中界面聚合法 (IP) 在功能皮层的制备领域应用最为广泛。目前对界面聚合法制备纳滤膜的研究主要集中在调控基膜表面的结构与性质、对过渡层种类的选择以及探究不同水相添加物的影响, 但是对界面聚合过程中水相与油相添加顺序的研究较少。本文以聚丙烯腈 (PAN) 纳米纤维 (250-300 nm) 膜为多孔基膜, 在其表面静电纺丝沉积一层明胶 (GE) 超细纳米纤维 (80-100 nm) 作为过渡层, 通过反向界面聚合法 (即基膜先浸入油相单体溶液再浸泡水相单体溶液) 形成致密的聚酰胺 (PA) 皮层来制备纳米纤维基复合纳滤膜。一方面超细的明胶纳米纤维过渡层可吸附油相中的均苯三甲酰氯 (TMC), 抑制因有机溶剂快速挥发而导致的皮层缺陷与下渗现象, 另一方面可通过明胶过渡层存储并调控油相的扩散, 调控制备出了具有特定褶皱皮层结构的复合纳滤膜, 在保持高截留下显著提高渗透通量。通过 SEM、FT-IR、XPS、AFM 等对复合纳滤膜形貌结构进行分析表征并通过膜过滤系统表征优化膜性能。实验结果表面, 与正向界面聚合法制备的 PA/PAN 复合纳滤膜相比, 反向聚合法制备得 PA/GE/PAN 复合纳滤膜渗透通量提高近 1.4 倍, PA/GE/PAN 复合纳滤膜通过实验室自制交错流装置在 0.5 MPa 下对 2000 ppm MgSO<sub>4</sub> 的水通量和截留率分别达 121.3 L·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>, 97.5%。

关键词: 纳滤, 反向界面聚合, 明胶, 过渡层

#### D09-28

##### 表面功能化纳米纤维复合材料的制备及其应用

王栋

武汉纺织大学

本文将多羟基的纤维素纳米晶 (CNCs) 与聚乙烯醇乙烯共聚物 (PVA-co-PE) 纳米纤维混合, 制备了高亲水性的纳米纤维复合材料。不仅改变了纤维材料表面的物理、化学结构, 而且能够调控材料表面活性反应位点的分布, 改善了化学活性, 并赋予一些独特的性能。经表面功能化后, 该纳米纤维复合材料可以广泛应用于不同领域。由于 CNCs 可吸附空气中少量水蒸汽发生膨胀, 因此混合了 CNCs 的 PVA-co-PE 纳米纤维膜可以作为对湿度高度敏感的促动器, 详细研究了不同因素如 CNCs 含量、环境的温湿度等对响应性能的影响以及其快速响应机理。其次, 经表面功能化后的纳米纤维复合膜可以吸附重金属离子和染料以及光催化自清洁, 可应用于污水处理以及防护服等领域。

#### D09-29

##### Soft functionalization of silk fibroin materials and bio-flexible devices

刘向阳

厦门大学

As an excellent flexible biomaterial, *Bombyx mori* silk fibroin materials offer exquisite mechanical, optical, and electrical properties which are advantageous toward the development of next-generation biocompatible electronic devices. In this concern, to re-engineer the hierarchical structure of soft materials and to functionalize the materials are the two common approaches to achieve the functions. This requires the synergy of structures among different levels, which include the re-construction of the hierarchical structure of soft/SF materials at the mesoscale and or Mesoscopic Material Assembly (MMA), which is to add and bind some specific nanomaterials or molecule to the networks so as to acquire some additional functions without jeopardizing the original performance. In this talk, I will cover the principles and strategies of mesoscopic structural re-engineering and functionalization of SF materials, which allows in the design and integration of high-performance bio-integrated devices for future applications in consumer,

biomedical diagnosis, and human-machine interfaces.

### D09-30

#### Polysaccharide membranes for oil/water separation

Hajo Yagoub<sup>1</sup>, Mahmoud H. M. A. Shibraen<sup>1,2</sup>, Xiaowei Xu<sup>1</sup>, Ali A. Altam<sup>1</sup>, Kiran Rehan<sup>1</sup>, Vincent Mukwaya<sup>1</sup>, Jian Xu<sup>1,4</sup>, Liping Zhu<sup>1</sup>, Shuguang Yang<sup>1\*</sup>

1. Donghua University

2. University of Gezira

3. Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences,

The frequent reported oil spill accidents and an increasing amount of oily waste water discharged from our daily life and industries have become a worldwide concern due to their ruinous impact on the ecology environment and a great waste of nature resources. Oil/water separation techniques, as an effective method to treat oily wastewater, have drawn a considerable attention in research community. In this research, we fabricate oil/water separation nanoporous membranes by simply depositing different polysaccharide derivatives on the top of poly (ethylene terephthalate) (PET) nonwoven fabric via vacuum-assisted filtration. The complex solution of cellulose nanocrystals (CNC), chitin nanocrystals (ChiNC) and chitosan (CH) are used to prepare a nanoporous structure which shows superoleophilic and underoils superhydrophobic properties, while CNC, ChiNC and cationic guar gum (CGG) are used to form a hydrophilic and underwater superoleophobic membrane on the top of non-woven fabric. The interactions between different polysaccharide derivatives and the effects of different amounts of each derivative on the properties of as prepared membranes are studied. The surface morphology and charges, mechanical properties, thickness, pore size, and wettabilities of membranes are also studied and characterized via several methods, such as SEM, DLS, BET, TGA, UV-vis and optical contact angle meter. This low-cost and facile process can easily be scaled up to fabricate composite membranes for oil water separation.

### D09-31

#### 基于织物纤维的柔性储能器件及自充电供能系统

梁晓婧<sup>1,2</sup>, 蒲雄<sup>1,2</sup>

1. 中科院北京纳米能源与系统研究所

2. 中国科学院大学纳米科学与技术学院

近年来,可穿戴、可拉伸智能电子发展迅猛,但其市场应用同时也受限于所用电池的频繁充电和更换。此外,目前使用的电池体积大、质量重、不可变形,不利于与柔性电子产品相结合。因而,亟需开发适用于穿戴电子的柔性能源存储器件。同时,探索多种形式的能量收集技术,把人体或者工作环境的能量转换为电能,为储能设备提供能量补充,开发集成能量收集与能量存储为一体的自充电供能系统,是解决穿戴电子能源瓶颈的另一可行思路。我们在这里简要总结近年来课题组在可穿戴能源存储器件、能源收集器件等方面的研究进展,特别是面向智能服装和仿生皮肤应用的柔性能源器件。开发了基于穿戴纺织物纤维的图形化金属涂层加工工艺,并在此基础上制备了纤维固态超级电容器、柔性锂离子电池、纤维基平面微型超级电容器、以及纤维基平面式锌离子电池等柔性储能器件。开发了基于织物纤维的纳米发电机,收集人体运动能量,并同时转换的电能存储到纤维基储能器件中,形成全织物的自充电能源系统。此外,基于离子水凝胶电极和弹性体高分子薄膜静电起电层,开发了一种兼具高透明度和高延展性的纳米发电机,其可见光透光度达 96%,且拉伸应变可达 1160%,可应用于收集运动能量的仿生皮肤。通过水凝胶/弹性体界面的化学改性,增强其界面结合强度,及机械稳定性能。这些工作对柔性能源器件和穿戴电子的最终应用提供了有益新思路。

关键词: 纤维, 能源存储, 纳米发电机, 自充电系统, 柔性

### D09-32

#### 荷正电 SiO<sub>2</sub> @ ZrO<sub>2</sub> 柔性纳米纤维膜的制备及其在吸附分离中的应用

汤玉斐, 刘照伟, 赵康, 付松

西安理工大学

无机荷正电纳米纤维膜具有物理分离和独特的静电吸附作用,可以有效去除带有负电荷的微小颗粒,在病毒分离、污水处理、选择性透过等方面具有中性膜所不具备的优势和用途。为了满足高效过滤病毒的需求,荷正电纳米纤维表面的正电荷

点和等电点需要进一步提高（在 pH=5-9 的溶液中具有优异的吸附和分离性能）。通过静电纺丝技术与浸渍方法结合并在无氧气氛中煅烧制备了带正电的 SiO<sub>2</sub>@ZrO<sub>2</sub> 纳米纤维膜，研究了浸渍溶液浓度和离心速度对复合纳米纤维膜的形貌、直径和孔径的影响，并表征了纤维的相组成，元素价态，表面电荷和吸附分离性能。结果表明：SiO<sub>2</sub>@ZrO<sub>2</sub> 纳米纤维膜具有高柔性、高比表面积和高的水通量。复合纤维膜经 N<sub>2</sub> (96%) / H<sub>2</sub> (4%) 混合气氛煅烧后表面电荷点高于在空气或真空中煅烧，表面等电点达到 7.3。复合纤维膜在室温下存在四方相氧化锆，氧空位存在于 ZrOX (0 < x < 2) 的表面上，对 10 mg/L 达旦黄溶液的截留率达到 99.996%。当过滤 1L 达旦黄溶液时，最大吸附容量达到 63.27 mg cm<sup>-3</sup>。因此，复合纤维膜具有高效过滤和分离细菌病毒的潜在应用。

关键词：纳米纤维，荷正电，氧化锆，病毒分离，氧空位

### D09-33

#### 表面负载银颗粒的纳米纤维复合膜材料在环境治理中的多功能应用

刘轲，程盼，刘迎，王栋

武汉纺织大学

通过构建宏观材料的表面结构，固定银等金属纳米颗粒，最大限度地发挥纳米颗粒的多功能性，而不仅仅表现出抗菌或催化等单一功能，仍然是一个巨大的挑战。本研究采用层层改性的方法构筑了基于纳米纤维的三维材料体系，具体而言是在 PVA-co-PE 纳米纤维膜 (NFM) 支架表面采用原位聚合的方法获得聚多巴胺 (PDA) 高分子层，然后在 PDA 表面进行聚乙烯胺 (PEI) 的接枝改性，从而获得了具有多层结构的 PEI/PDA/NFM 纳米纤维膜材料。结果显示 PEI/PDA/NFM 对银纳米颗粒胶体具有超高的吸附能力 (727.8 毫克/克)，远远高于文献中所报道的值。此外，探索了表面负载有银纳米颗粒的纳米纤维膜材料 (Ag-PEI/PDA/NFM) 在的综合水处理性能。结果显示，Ag-PEI/PDA/NFM 对 E. coli 及 S. aureus 两种细菌不仅具有 100% 的拦截率，而且表现出了 99.99% 的灭活率，这主要归功于 Ag-PEI/PDA/NFM 超小的过滤孔径 (~100nm) 及 Ag 纳米颗粒的高密度负载；对牛血清蛋白 (BSA) 及细菌污染物表现出了优异的抗污性能，经过多次反洗，其纯水通量依然可保持接近于膜结构压实时的初始通量。进一步地，本研究采用离子体表面处理的方法提高了 Ag-PEI/PDA/NFM 的催化性能，其 TOF 值可达  $6.65 \times 10^{-1}$  mol/mol/min，从而保证了在连续过滤过程中对对硝基酚 (p-NP) 的快速同步降解。以上优异性能主要得益于多孔纳米纤维支架空间物理结构和聚多巴胺的化学活性的协同作用。本文的研究为快速高效废水处理提供了一种有效的策略和材料结构，并拓宽了纳米纤维基复合材料的应用范畴。

关键词：纳米纤维膜，银纳米颗粒，聚多巴胺，催化降解，抗菌过滤

## 墙展

### D09-P01

#### 聚甲基硅氧烷改性静电纺聚偏氟乙烯基摩擦纳米发电机

俞彬，吕莎莎，俞昊，黄涛，王宏志，朱美芳

东华大学

本实验研究制备了一种基于静电纺聚偏氟乙烯 (PVDF) 纳米纤维的摩擦纳米发电机 (TENG)，并通过聚甲基硅氧烷 (PDMS) 对 PVDF 纳米纤维进行电负性和耐磨性的优化，达到提高 TENG 电能输出和长期稳定性的目的，该设计具有电能输出高、制备简单和成本低廉等优点。首先，通过静电纺丝技术制备 PVDF 纳米纤维，同时利用电喷技术将 PDMS 溶液微粒附着于 PVDF 纳米纤维表面。由于毛细管效应，使 PDMS 液滴自组装于 PVDF 纳米纤维的间隙，并通过加热固化作用，达到提高其电负性和耐磨性的目的。然后，以 PDMS 改性的 PVDF 纳米纤维毡为负极，以聚 (3-羟基丁酸酯-co-3-羟基戊酸酯) (PHBV) 纳米纤维为正极，组装得到“书型”结构的接触-分离式 TENG，由于两种摩擦材料较大的电负性差距，使 TENG 具有较高的电能输出和能量转化效率。本课题通过改变 PDMS 溶液的浓度以调控静电纺 PVDF 纳米纤维毡的微观形貌，并对组装的 TENG 电能输出，包括负载 100 MΩ 下的电压、短路电流、输出功率密度和长期稳定性测试等，进行了系统分析和优化。

关键词：摩擦纳米发电机，静电纺，聚偏氟乙烯，聚甲基硅氧烷

### D09-P02

#### 原位生长超长 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 纳米线增强碳/碳接头抗热震性能的研究

何松, 李克智, 宋强

西北工业大学

以聚硅氮烷为硅源、二甲苯为溶剂、二茂铁为催化剂, 利用 CVD 在炭/炭复合材料(以碳纤维为增强体, 热解碳为基体的复合材料)连接面原位制备出一种超长均匀厚度的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  纳米线。然后采用 CVI 工艺以甲烷为前驱体, 沉积热解碳致密中间层达到连接效果。纳米线层的引入, 通过改变热解碳的织构以及强化界面结合, 使接头强度显著提高, 所得到的接头室温剪切强度从 9.6 MPa 提高到了 19.2 MPa。对样品进行室温至 800 °C Ar 保护气氛下热震实验后, 在室温进行剪切测试。发现纳米线薄膜的引入能显著提高接头的抗热震性能, 接头强度在实验范围内随热震次数的增加持续增强。在经过 45 次热震循环后达到最大值 34 MPa, 远高于初始值, 且显著高于对应未引入纳米线薄膜接头强度 2.93 MPa。

关键词: C/C 复合材料,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  纳米线, 连接, 抗热震性能

#### D09-P03

##### 热处理前后弯曲状 CNT 对 C/C 复合材料拉伸性能的强韧化作用

韩丽媛, 李克智, 宋强

西北工业大学

用注射 CVD 法在包覆有一层热解碳(PyC)涂层的碳纤维束表面生长不同含量的卷曲状碳纳米管(CNT), 用 CVI 法将其致密化, 并将其中一部分样品进行 2100 °C 的热处理。CNT 的存在使复合材料中 PyC 结构得到细化, PyC 的石墨微晶结构中缺陷变少但  $L_a$  变大。当 CNT 含量为 1.5 wt% 时, 复合材料的拉伸强度、杨氏模量及断裂功较纯碳/碳(C/C)复合材料分别提升了 30.5%, 23.6% 和 190.3%。CNT 对 C/C 复合材料的强韧化从两个方面发挥作用, 一方面, CNT 的存在减弱了纤维与基体的界面, 使材料从脆性断裂变为假塑性断裂并导致大量的纤维拔出, 这使得纤维及界面的利用率大大提高。另一方面, 拉伸过程中 CNT 直接承受载荷然后再将其传递到基体中, 并在材料断裂中自身也断裂拔出, 吸收大量能量。经过 2100 °C 热处理后, 纯 C/C 复合材料的拉伸强度提高了 4.4%, 而 CNT-C/C 则提高了 25.7%, 这是因为 CNT 在热处理中不仅保持了材料结构的完整性、提升了石墨微晶的面内抗拉能力, 而且同时地降低了纤维和基体界面及 CNT 和 PyC 界面的结合力, 使材料出现了阶梯状断裂和更长的 CNT 拔出, 有效地增加了断裂过程中能量吸收的途径, 从而提升了 C/C 复合材料的拉伸性能。

关键词: C/C 复合材料, 弯曲状 CNT, 热处理, 拉伸性能

#### D09-P04

##### 超疏水耐高温柔性二氧化硅纳米纤维膜

朱悦, 俞昊, 黄涛, 朱美芳

东华大学

本实验研究制备了一种基于静电纺二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )纳米纤维膜, 再经三甲基氯硅烷(TMCS)的表面修饰, 得到一种超柔性、超疏水、耐高温的  $\text{SiO}_2$  纳米纤维膜。首先, 将聚乙烯醇(PVA)和正硅酸乙酯(TEOS)的混合溶液通过静电纺丝得到复合纳米纤维膜; 然后, 经高温煅烧除去有机组成部分制得  $\text{SiO}_2$  纳米纤维膜; 最后, 通过 TMCS 的表面修饰,  $\text{SiO}_2$  纳米纤维膜的润湿性由超亲水性转化为超疏水。本课题获得的  $\text{SiO}_2$  纳米纤维膜具有轻质、柔性、抗震、超疏水、耐高温等特点。经测试, 表面修饰之后的纳米纤维膜与水的最大静态接触角达到了 150°, 即使经过 400 °C 的热处理, 仍具有疏水性能; 经力学性能测试发现,  $\text{SiO}_2$  纳米纤维膜具有较好的柔韧性, 经弯曲试验后, 该膜仍可保持良好的疏水特征; 对其进行隔热测试表明,  $\text{SiO}_2$  纳米纤维膜在常温下具有超低的导热系数, 可低至 0.026 W/(m·K), 在实际应用中也表现出优异的隔热效果。

关键词: 纳米纤维膜, 静电纺, 二氧化硅, 超疏水, 耐高温, 柔性

#### D09-P05

##### 静电纺皮芯聚偏氟乙烯基压电纳米发电机

吕莎莎, 俞昊, 黄涛, 朱美芳

东华大学

本实验采用静电纺丝技术制备了皮层为聚偏氟乙烯(PVDF), 芯层为铜丝的复合纤维, 并组装成为压电纳米发电机(PENG)。通过添加对称电极, 控制静电纺丝束的喷射方向, 改变喷丝孔位置, 调节喷丝孔与接收漏斗之间的距离, 使得丝束在铜丝与接收漏斗之间形成三角锥的同时减少分叉生成, 利用静电纺技术稳定地制备了皮芯结构纤维。通过对比一定

PVDF 浓度下的牵伸速度和不同浓度的 PVDF 下复合纳米纤维的微观形貌，并通过比较 PENG 的输出性能，可知当 PVDF 浓度一定时，牵伸速度越慢，PVDF 溶液在铜丝上包覆得越厚，压电性能越好；随着 PVDF 浓度的增加，铜丝表面包覆的 PVDF 的厚度增加，进一步增强了所制备复合纤维的压电性能。

关键词：皮芯结构纤维，PVDF，静电纺丝，压电发电机

#### D09-P06

##### 具有光热转换效应的纳米纤维疏水多孔膜及膜蒸馏应用

叶浩辉，王雪芬

东华大学

目前膜蒸馏热端大多采用对水体集中加热，普遍存在膜两侧的温度极化现象问题，同时能量利用效率有待提高。某些特定的纳米颗粒，如利用贵金属纳米颗粒的光响应性等离子体激振产生焦耳热的原理，对膜蒸馏用膜温度极化现象进行改善，同时利用静电纺丝技术制备疏水光热转化纳米纤维多孔膜，以达到高渗透和高通量。主要策略有直接静电混纺聚合物和纳米金属颗粒（比如贵金属纳米颗粒，炭黑等）复合纳米纤维，实现对光源的有效利用同时减弱温度极化带来的负面影响。本研究采用静电纺丝含有银离子的 PVDF 溶液，经还原成银纳米颗粒，并通过长链硫醇进行表面疏水改性，制备具有光热转化效应的超疏水纳米纤维膜，用于光热转化型直接接触膜蒸馏脱盐。采用 SEM、TEM、XPS、水接触角、IR 图像等对其形貌结构进行分析表征并通过光热转化直接接触式膜蒸馏实验测试其膜蒸馏性能。TEM 观察发现，纤维上的银纳米颗粒呈均匀分布，载银 PVDF 纳米纤维疏水改性前后均呈现多级粗糙结构；XPS 表明纳米纤维中的 Ag 颗粒以单质形式存在从而实现光热转化；光热转化型直接接触膜蒸馏测试中，进料液为 3.5% 的 NaCl 水溶液，在 50 W、400 nm 紫外光照射下，通量达到 2.5~3 kg/m<sup>2</sup>·h，且能连续工作 60 小时。

关键词：膜蒸馏，静电纺丝，纳米纤维多孔膜，光热转化

#### D09-P07

##### 预聚合辅助制备半嵌入式褶皱 AgNWs/PDMS 可拉伸薄膜

范宏伟，李克睿，李强，侯成义，张青红，李耀刚，金武松，王宏志

东华大学

银纳米线/聚二甲基硅氧烷 (AgNWS/PDMS) 可拉伸导电薄膜因其优异的综合性能而得到了广泛的研究，其主要来源于 AgNWS 的高导电性以及 PDMS 优异的机械和光学性能。然而，它们的进一步应用受到两个致命缺点的限制：PDMS 表面能低，AgNWS 断裂伸长率差。在这里，通过旋涂预聚合的 PDMS 溶液制备超薄 PDMS 固定化层以构建半嵌入式褶皱 AgNW 网络，从而克服上述限制。结果表明，制备的具有不同 AgNW 负载量的透明可拉伸 AgNW/PDMS 复合薄膜表现出良好的透射率、导电性，40% 和 60% 应变下具有良好的拉伸稳定性，并且 AgNWS 在 PDMS 基底上的粘附性较好。随着 AgNW 负载量的进一步增加，得到了可拉伸的导电薄膜，在 70% 应变下具有较低的方阻 ( $\sim 0.2 \Omega \text{ sq}^{-1}$ ) 和良好的拉伸稳定性。基于这些可拉伸导电膜，制作了可拉伸电热变色膜和电热致动器，以展示其多功能应用。

关键词：可拉伸导电薄膜，褶皱 AgNWS 网络，超薄 PDMS 固定化层，多功能应用

#### D09-P08

##### 基于可拉伸摩擦电纤维的自供能运动传感器

龚维，侯成义，郭隐彝，穆九柯，李耀刚，王宏志，张青红

东华大学

随着可穿戴技术的迅速发展，运动传感系统在实际应用中展现出了巨大的潜力，然而人体运动监测中仍存在的一个挑战是运动中人体的大幅度变形可能会降低或破坏传感材料的结构和功能，而传统的基于半导体和金属箔的应变传感器由于其刚性好、灵敏度低、传感范围小等缺点，不能满足耐磨运动传感器的要求。因此，可穿戴式运动传感器要求下一代电子设备必须具有优异的可拉伸性和可弯曲性。为此我们设计了一种基于皮-芯结构的纤维状运动传感器，纤维中的鞘层是用聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 为原材料制备得到的，其本身具有极为优异的拉伸性能，应变高达 600%；而针对纤维的芯层，我们进行了独特的内置波浪式设计，进而使得整根纤维具有极大的拉伸性能，并且芯纤维与鞘纤维管具有可控的摩擦接触。这种独特的结构导致整个装置具有高达 100% 的工作应变，以及 300% 的超高拉伸性。此外，内置波浪不仅可以提供高灵敏度，还可以进行弯曲和压缩。该传感器能够检测和辨别人体的关节运动。通过进一步的编织和构造，它还显示出检测二维区域变形的

潜力。这项工作作为可穿戴和自供能传感器在人体运动监测领域提供了全新的设计思路。

关键词：纤维状，自供能，运动传感器，可拉伸

#### D09-P09

##### 基于商业薄膜的具有双重驱动机理和多种响应形式的软体致动器

李林鹏，王宏志

东华大学

软体致动器是一种新兴的环境响应型装置，与传统的机械致动器相比，它可以提供更安全、更有利于生物的软体机器人系统。在日常生活中，弯曲是最常见的三维（3D）驱动模式，它已经在水凝胶、碳材料等的各种驱动系统中实现，然而，作为更复杂的三维运动，扭转和卷曲的实现难度更大，且在日常生活中非常常见，对于功能性仿生来说是很重要的。并且，现存的致动器主要都是根据一种机理来实现驱动的，包括光、热、溶剂、电等，这也就限制了它们的应用。本工作制备了多种响应形式（弯曲、扭转）和多种驱动方式（光、电、热、溶剂）的聚乙烯基软体致动器，廉价并且可加工性好。高分子薄膜的取向结构使致动器具有各向异性，在宏观表现上实现多种致动行为。另外，它可以在低温下驱动（大于  $2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），因此，身体的体表温度即可明显的驱动软体致动器，大大拓宽了它的应用场景。另外，它可以实现曲率  $7.8\text{ cm}^{-1}$  的致动行为，并伴有强有力的输出（举起 27 倍于自身重量的物体）。在实际应用方面，它可以实现爬行，抓举等。

关键词：软体致动器，各向异性，多重行为

#### D09-P10

##### 六边形倒钉状 SiC 纳米线增强碳/碳复合材料

郭瑶，张磊磊，宋强，何松

西北工业大学

目的：碳/碳复合材料（C/C）由于具有高强度、高模量、抗烧蚀性能良好、耐摩擦磨损性能优异和高温下良好的力学性能，近年来在航天、航空等领域引起了广泛关注。然而，纤维-基体界面结合和固有的碳基体强度差导致 C/C 在实际应用过程中的失效。因此，可以在现有微径碳纤维中的碳基体区域引入纳米材料作为第二增强材料，如碳纳米管和 SiC 纳米线，以增强 C/C 的力学性能。SiC 纳米线的强度高、模量高，是陶瓷基复合材料的良好增强材料，具有很好的形貌设计能力，因而原位生长 SiC 纳米线增强 C/C 备受关注。

溶胶-凝胶法制备 SiC 纳米线，其工艺简单，制备周期短，无需引入催化剂，干凝胶具有多孔的微观结构，较大程度上增加了反应接触面积，而且  $\text{SiO}_2$  凝胶在基体中分散均匀，因而制备的六边形倒钉状 SiC 纳米线分布均匀。综述，本文提出利用溶胶-凝胶法原位生长六边形倒钉状 SiC 纳米线，且其生长位置不同，既能优化纤维/基体的界面结合，又能与碳基体形成钉扎作用，发挥 SiC 纳米线本身纳米尺度的增强作用，从而提高 C/C 的力学性能。

方法：首先，将碳毡在  $\text{SiO}_2$  溶胶浸渍，取出之后放在  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干。然后，沉积热解碳，随后进行高温热处理，原位生长六边形倒钉状 SiC 纳米线。最后，通过化学气相渗透（CVI）进行预制体的致密化，获得六边形倒钉状 SiC 纳米线增强的 C/C 复合材料。

结果：通过 SEM 表征发现，在碳纤维表面制备出不同生长位置的六边形倒钉状 SiC 纳米线。此外，对其进行剪切性能测试，结果表明：不同生长位置的 SiC 纳米线提高了 C/C 的剪切强度。

结论：利用溶胶-凝胶法在碳纤维预制体中制备不同生长位置的六边形倒钉状 SiC 纳米线，不仅改善了纤维与基体之间的界面结合，更进一步提高了 C/C 的力学性能。

关键词：六边形倒钉状 SiC 纳米线，碳/碳复合材料，微观结构，力学性能

#### D09-P11

##### DNA 对单壁碳纳米管手性特异性识别机理的研究

陈娇利，柯福佑

东华大学

特定序列的单链 DNA 可用于单壁碳纳米管(SWCNT)的手性分离，但其识别机理尚不清楚。在这里，我们选择了 5 种不同序列的 DNA 对手性为(6, 5)的 SWCNT 进行超声分散，制备了一系列的 DNA-SWCNT 分散液。采用紫外吸收光谱、荧光光谱、原子力显微镜、粒度和 zeta 电位分析仪等方法对其结构及物化性质进行了表征。数据分析表明，对 (6, 5) 具有特异

性识别作用的 DNA 序列 (TAT)<sub>4</sub>对 SWCNT 的分散质量更好, 分散液更稳定。这主要源于((TAT)<sub>4</sub>)与 SWCNT 的吸附作用更强, 对 SWCNT 的覆盖程度更高。这些结果有助于我们进一步理解 DNA 和 SWCNT 的特异性相互作用。

关键词: DNA 序列, SWCNT 手性, 特异性识别

#### D09-P12

##### 肿瘤微环境响应型钙磷复合脂质体纳米粒用于增强 siRNA 体内肿瘤靶向

武志华, 李耀刚

东华大学

基于小干扰 RNA (siRNA) 的疗法在基因治疗中具有广阔的前景。然而, siRNA 的递送受阻于血清中核糖核酸酶的降解, 脱靶效应, 无效细胞摄取等障碍。基于此, 本项工作构建了酶应答及 pH 敏感型长循环 siRNA 递送系统。首先合成了二棕榈酰基磷脂酰乙醇胺-金属基质蛋白酶 2 (MMP2) 裂解肽-聚乙二醇, 然后采用复乳法成功制备了粒径为 140 nm, 电位接近中性的复合纳米粒。该纳米粒能有效保护 RNA 不被降解, 同时保持其活性。

选用了 SMMC-7721 细胞系及其肿瘤模型, 与不含 MMP2 裂解肽的纳米粒相比, 含有 MMP2 裂解肽的纳米粒具有更高的靶向递送效率, 同时在 Western Blot 实验中表现出更强的基因沉默效果。此外在纳米粒安全性评价环节, 体内及体外均为观察到明显的毒性, 表明其为生物相容性良好的基因递送系统, 是非常有前景的体内 siRNA 基因治疗方案。

关键词: 递送系统, 基因治疗, 靶向, 肿瘤微环境

#### D09-P13

##### 基于激光还原石墨烯衬底的灵活且高度灵敏的非酶葡萄糖传感器

汪李超, 侯成义, 王宏志, 俞昊

东华大学

灵活和可植入的葡萄糖生物传感器是连续监测糖尿病血糖的新兴技术。开发具有高活性表面积的柔性导电基底对于推进该技术至关重要。在这里, 我们通过使用激光还原石墨烯 (LSG) 作为柔性导电衬底, 成功制造出灵活且高度灵敏的非酶葡萄糖。铜纳米粒子 (Cu-NP) 作为催化剂电沉积。LSG/Cu-NPs 传感器对葡萄糖氧化具有良好的催化活性, 其线性葡萄糖检测范围从 1  $\mu$ M 到 5.35 mM, 灵敏度高。此外, LSG/Cu-NPs 传感器具有出色的重现性和长期稳定性。在各种干扰物质存在下, 它对葡萄糖氧化也是高度选择性的。LSG/Cu-NPs 传感器也表现出优异的弯曲稳定性, LSG/Cu-NPs 传感器在对直径为 4 mm 的棒弯曲 100 次后, 能够保持其初始电流的 83.9%。LSG/Cu-NPs 传感器作为非酶葡萄糖生物传感器显示出实际应用的巨大潜力。同时, LSG 导电基底为开发下一代柔性和可能植入的生物电子学和生物传感器提供了一个平台。

关键词: 激光划片石墨烯, 铜纳米颗粒, 电沉积, 柔性导电基底, 葡萄糖传感器

#### D09-P14

##### 图案化细菌纤维素的制备及其抗瘢痕性能

陈仕艳

东华大学

增生性瘢痕是一种纤维增生性疾病, 常在深部皮肤损伤后发生。本文通过静态培养方法制备了具有不同宽度条纹的图案化细菌纤维素 (PBC), 用光学显微镜和场发射扫描电子显微镜 (FE-SEM) 对其形貌进行了表征, 结果表明在凸起和凹陷中细菌纤维纳米纤维分布具有明显差异, 细胞培养实验证明, L929 细胞在 PBC 上具有明显的条带分布, 并且对 L929 细胞增殖具有明显的抑制作用, 尤其是 10  $\mu$ m 条纹宽度 PBC。进一步的体内实验结果表明, PBC 能有效控制感染, 减少成纤维细胞的蓄积, 与其表面无覆盖、覆盖纱布及无图案化的 BC 相比, 收缩不明显, 表明对瘢痕具有良好的抑制作用。与标准对照组和空白对照组相比, 瘢痕厚度从 428.7 $\pm$ 61.9  $\mu$ m 下降到 261.5 $\pm$ 89.6  $\mu$ m, 减少 2 倍以上。这说明条带的宽度与细胞的大小相匹配时 PBC 具有更好的抗瘢痕效应, 此结果也可能适用于其他类型的水凝胶敷料。

关键词: PBC, 抗瘢痕, 水凝胶敷料

#### D09-P15

##### 金属合金/碳基复合材料的构筑及其电催化脱氮

陈苗, 杨建平

东华大学

水体中硝酸根由于其结构稳定而难以去除，尤其是饮用中低浓度的硝酸根对人体也具有潜在的危害。本项目以实现了对高低浓度硝酸根的快速、高效降解为目标，设计高活性的 PdCu 纳米合金颗粒均匀分布和嵌入在多孔碳骨架中，系统性考察不同种类的多孔碳基载体、调控介孔孔道和骨架结构、PdCu 合金催化剂的含量、分布、大小和合金组成比例，来提高其对水体中硝酸根污染物的电催化性能。从而优化合金/碳基复合材料的结构设计与电催化脱氮效果之间的关系。进一步为高效电催化脱氮的材料设计提供指导意义。

#### D09-P16

##### MOF 内离子传输孔道设计实现高性能钠离子电致变色

李然，王宏志

东华大学

电致变色器件以其独特的反射式显示模式、低能耗、及光学记忆性等优点，有望在智能可穿戴领域实现广泛的应用。由于钠资源相对丰富且成本低廉，基于钠离子(Na<sup>+</sup>)的电化学体系在能源存储领域受到了广泛关注。也正是基于钠离子的多方面优势，研究人员也希望将钠离子应用到同样基于氧化还原反应的电致变色器件中去。但是由于 Na<sup>+</sup>离子半径明显大于通用的 Li<sup>+</sup>离子，导致其在传统电致变色电极如氧化钨中传输变的缓慢，从而极大地降低了电致变色材料的性能和循环寿命，限制钠离子电化学体系在电致变色领域的应用。本文将含有变色基团的有机配体组装成 MOF 电极，利用该类 MOF 结构中具有较大尺寸的一维离子通道，实现了钠离子的快速脱嵌，从而使得电致变色电极在 Na<sup>+</sup>有机电解液中达到了极高的变色速度和变色效率。基于该类具有离子传输选择性的 MOF 材料，制备了快速变色，且具有高光调制范围与变色效率和良好的稳定性的钠离子电致变色电极。通过无模板的激光雕刻法刻蚀变色层和电极，成功制备了多彩电致变色显示器件与应用于共享单车的可隐藏智能二维码器件，证明了其在廉价电致变色和物联网电子器件邻域的发展潜力。

关键词：电致变色，金属有机框架化合物，钠离子，物联网器件

#### D09-P17

##### 介孔二氧化硅包覆普鲁士蓝纳米立方体粒子用于高效去除硒(IV)

王青青，杨建平

东华大学

用一步法将均一大小的纳米零价铁粒子良好分散在胶囊内用于污水的处理，同时能够将其从废水中回收也很重要，但是存在巨大的挑战。在本文中，我们采用一种空间限域还原法将纳米零价铁粒子包封在纳米立方体内。其中，均匀大小的纳米零价铁粒子良好的分布在碳基质内并且被介孔二氧化硅均匀包覆。主要是以普鲁士蓝为模板剂在其外面包覆一层介孔二氧化硅层，然后通过原位热还原法合成 Fe/C@mSiO<sub>2</sub> 纳米立方体。在我们所合成的材料中，纳米零价铁粒子具有强还原性能够高效的去除硒离子，碳基质能够良好的避免零价纳米铁粒子团聚，该纳米立方体中所含的空腔能够承载还原后的硒。此外，由于纳米零价铁本身具有磁性，因此可以把产物进行高效的回收。

#### D09-P18

##### 醛基化纤维素纳米晶对壳聚糖纳米纤维交联与增强的双重作用

刘嘉明，程淼，曾凡鑫，秦宗益

东华大学

壳聚糖是天然生物大分子甲壳素通过脱乙酰而得到的衍生物，具有抑菌、无毒和生物相容性好等优良性能，但未经过改性的壳聚糖纤维的强度不够高，这大大限制了壳聚糖纤维的应用范围，特别是在医用材料方面的应用。针对壳聚糖纳米纤维的力学性能不足，可采用戊二醛作为交联剂进行改性，但戊二醛有毒，严重影响了材料的安全使用。研究表明，纤维素纳米晶具备质轻、力学性能优异，可生物降解性和生物相容性高的优点，将纤维素纳米晶引入到壳聚糖基体，可以显著改善壳聚糖的力学性能和热学性能。

本工作拟在水热法高效制备纤维素纳米晶的基础上，采用高碘酸钠对纳米晶进行醛基化处理，保留纤维素纳米晶较大长径比和较高结晶度，以期这种纳米晶在壳聚糖纳米纤维中起到增强与交联的双重功能。在获得最大程度醛基化的纤维素纳米晶后，采用静电纺丝法成功制备不同纤维素纳米晶质量分数的静电纺壳聚糖复合纳米纤维，并通过扫描电镜、红外光谱、动态热机械分析、热失重分析和接触角测量等分析手段对复合纳米纤维的形貌、化学结构、力学性能、热学性能和亲水性进行了表征测试。

结果表明：静电纺壳聚糖复合纳米纤维直径随着纤维素纳米晶质量分数的增大而先变小后增大，在较高的纳米晶质量分数下，会出现蜘蛛网状的形貌结构。红外光谱表明，纤维素纳米晶与壳聚糖间不仅存在着氢键作用而且发生交联反应。纤维素纳米晶的引入，一方面使极性纤维素与壳聚糖之间相互作用形成一定数量的分子间氢键，彼此之间的相互作用增强，导致静电纺液黏度变大；另一方面高压静电使纤维素纳米晶与壳聚糖分子间存在一定的排斥力，使纤维直径增加。这两方面造成静电纺复合纳米纤维表面结构发生变化。随着纤维膜的表面变粗糙，亲水性逐渐提高。较低质量分数的纤维素纳米晶能够均匀分布在壳聚糖基体中，形成较强的氢键并与壳聚糖发生交联反应，使得复合纳米纤维的拉伸强度和拉伸模量得到显著提高，但断裂伸长率出现一定程度的下降。但随着纤维素纳米晶进一步增多，纤维素纳米晶在壳聚糖基材中分散性变差而发生团聚，导致复合纤维的拉伸性能和热稳定性变差。因此纤维的杨氏模量和抗拉强度以及热稳定性都随着纤维素纳米晶质量分数的增加表现出先增强后减弱的趋势。

关键词：壳聚糖，醛基化纤维素纳米晶，纳米复合材料，静电纺丝，增强机理

## D09-P19

### 三级结构 $\text{MoS}_2/\text{C}/\text{C}$ 纤维电极材料在锂离子电池中的应用

吴溟，侯成义，肖茹，王宏志

东华大学

二硫化钼 ( $\text{MoS}_2$ ) 由于具有类石墨烯的二维结构和高比容量，因而在锂离子电池中用作负极材料引起人们广泛的关注。然而， $\text{MoS}_2$  的电化学性能，例如倍率和循环性能等常常由于材料本身低电导率，充放电过程中体积膨胀较大和多硫化物的易溶解性从而导致低下。因此，我们通过二次水热和静电纺丝方法设计一种  $\text{MoS}_2/\text{C}/\text{C}$  三级结构的纳米纤维电极材料。具体合成步骤：先用水热法合成具有多级片层结构堆叠而成的  $\text{MoS}_2$  纳米小球；然后，采用二次水热的方法在纳米小球表面包裹一层碳保护层前驱体，并且在氮气中碳化得到具有单层保护层的  $\text{MoS}_2/\text{C}$  材料；最后把所得到的  $\text{MoS}_2/\text{C}$  小球溶于静电纺丝溶液(PAN)中，通过静电纺丝，预氧化，碳化等过程得到具有两层保护层的  $\text{MoS}_2/\text{C}/\text{C}$  纤维电极材料。制备得到的电极材料具备内外两层碳包覆层，内层为包覆在  $\text{MoS}_2$  表面的无定型碳层，外层为静电纺丝碳纤维保护层。这种三级结构的纳米纤维电极材料能够有效阻止电化学反应中  $\text{MoS}_2$  片层结构的团聚现象，长时间循环过程中的体积膨胀和多硫化物的溶解。通过这种方法制备得到的纤维电极材料在电流密度为  $0.2 \text{ A/g}$  时，可逆比容量高达  $1062 \text{ m Ah g}^{-1}$ ，具有良好的倍率性能和大电流长时间循环稳定性。这些结果表明了该种三级结构的电极材料在能量存储和能源领域具有良好的应用前景，也为以后制备高电性能和稳定性能的电极材料提供了一种新的方法，具有广泛的适用性。

关键词：二硫化钼，锂电池，静电纺丝，三级结构

## D09-P20

### 利用还原氧化石墨烯作为功能组分的柔性金属基致动器

孟俊行，王宏志

东华大学

致动器 (Actuators) 是指在电、光、化学气氛和热等外场刺激下，能产生机械响应，从而将电能、光能和热能等转化为机械能的执行装置。由于其在众多领域中有着广泛的应用，例如智能家居、医疗看护、仿生系统等，从而引起了越来越多的科技工作者的关注。根据所使用致动材料的不同，致动行为可以通过 ([i]不同 ([i]方式进行驱动，包括湿度、温度、光照、电场等。为了达到理想的形变和输出，弹性或者柔性的新型材料被开发出来并应用在柔性致动器领域，所使用的材料包括二维材料，多孔材料等。现有的致动材料各自有着独特的性能，同时也存在相应的不足。

利用铜的还原性和氧化石墨的氧化性，设计并制备出了一种具有高电导率、快速响应、操作简易的柔性金属基致动器。所制备得到的薄膜致动器具有非对称结构，一层为铜，另一层为氧化亚铜和石墨烯的复合层。自然氧化的铜表面形成的氧化层十分疏松并且极易脱落，而通过氧化石墨烯的包覆作用，铜会缓慢氧化成氧化亚铜并被粘连，形成稳定的多孔结构。通过高分辨电镜可以发现，石墨烯片层随着氧化深度的不断增加，逐步渗入并包裹在氧化亚铜颗粒的表面并形成稳定的粘结构。由于薄膜是一个非对称结构，铜的热膨胀系数要比氧化亚铜高，且氧化亚铜层较铜层更疏松，因此在温度的变化下，根据 Timoshenko 理论，会产生相应的形变。并且由于该致动行为仅依赖于温度的变化，因此其在真空和水中也能产生稳定的机械响应。薄膜存在未氧化的铜层，高电率也得以保留，这使得致动器能通过一个较低的电压进行电热驱动，同时结构中存在的石墨烯片层也提高了整体的导热性。为了形成一个电驱动环路，薄膜被裁剪成一个 U 字型结构，在两端施加电压后，其能在  $1 \text{ V}$  电压的驱动下发生可观的机械响应， $2 \text{ s}$  内的温度变化在  $170 \text{ K}$  左右。当撤去电压时，石墨烯的高发射率使得其

能迅速降至室温，形成一次快速的循环。

通过氧化石墨烯对铜箔的部分氧化和功能性复合，制备出了一种新型的金属基柔性致动器，该致动器具有非对称结构，能够通过电热进行驱动，产生  $2.4 \text{ cm}^{-1}$  的曲率变化只需要 2 s，所需电压只要 1 V，并能够稳定循环 50000 次。且该驱动器能够通过红外辐射和直接加热进行驱动，并能在空气、水和真空中稳定工作。

#### D09-P21

##### 通过改变水溶液浓度的方法调控 IZO 场效应晶体管电性能

陈彦平，何中媛，李耀刚，张青红，侯成义，王宏志

东华大学

在印刷电子领域，溶液法调控金属氧化物器件的电学性能具有重要意义。本次工作，通过简单的水溶液法制备出 IZO 透明薄膜晶体管。水溶液中无有机物做稳定剂，通过 XRD 测试发现，薄膜呈现非晶态。通过系统的 AFM、XPS 和半导体性能测试，揭露了 IZO 场效应晶体管器件与前驱液浓度之间的紧密联系。同时，得到了能够制备出最佳电学性能器件的工艺条件。并对这一现象进行了机理分析，这一结果有望为溶液法制备金属氧化物 TFTs 器件做出贡献。

#### D09-P22

##### 富氮共轭微孔聚合物的合成以及在气体吸附与异相催化中的应用

程中桦，廖耀祖

东华大学

由温室效应引发的全球气候变暖一直以来是科学家重点关注的问题之一，而二氧化碳作为引发温室效应的重要因素，如何控制二氧化碳在空气中的含量成为有效解决温室效应的关键。在限制二氧化碳排放的同时，科学家们也希望可以找到有效的二氧化碳吸附剂来调控空气中二氧化碳的含量。近年来，随着有机多孔材料 (POPs) 的研究发展，由于其具有高比表面积被广泛应用于气体吸附领域。然而，传统的有机多孔材料并不具有吸附选择性，导致大量的氮气被材料吸附，无法成为有效的二氧化碳吸附剂。

针对上述问题，本工作通过联用 Buchwald-Hartwig 金属偶联反应与金属氧化聚合反应，合成出三种高氮含量的共轭微孔聚合物 (NCMP1, NCMP2, NCMP3)，含氮量高达 7.39 wt%-11.84 wt%。其中 NCMP3 对于二氧化碳吸附量达到 11.0 wt% (273 K/1 bar)，对于氢气的吸附量达到 1.02 wt% (77 K/1 bar)。与此同时，由于氮原子的引入，使得三种聚合物都具有对二氧化碳吸附的高选择性。在 273 K 条件下，通过理想吸附溶液理论 (Ideal adsorbed solution theory, IAST) 计算得到在两种  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  混合气体比例 (15/85 和 25/75) 下，NCMP1 具有三种聚合物中最高选择性系数 (188 和 360)。而通过 NCMP1 在三种聚合物中具有最高含氮量 (11.84 wt%) 也证明了氮原子引入量的增加可以提高聚合物对二氧化碳吸附的选择性。

此外，由于富含氮原子，NCMPs 表现出具有一定的金属络合能力可作为催化剂载体。如表 2 所示，以 NCMP2 为例，当负载  $\text{PdCl}_2$  以后，使用 NCMP2- $\text{PdCl}_2$  作为催化剂催化 Suzuki-Miyaura 偶联反应。对于不同的溴代苯化合物，该催化剂均表现出极高的催化速率和催化转化率。同时，聚合物本身不溶于反应溶剂，在反应后通过简单的过滤操作即可回收催化剂重复使用。经过 6 次反应循环，催化剂的催化转化率仍可保持在 94% 以上。

关键词：共轭微孔聚合物，Buchwald-Hartwig 金属偶联反应，金属氧化聚合反应， $\text{CO}_2$  选择吸附，异相催化剂

#### D09-P23

##### 动态聚合纺丝方法连续构筑水凝胶纤维

陈国印，侯恺，成艳华，危培玲，陈涛，朱美芳

东华大学

近年来，纤维状水凝胶因其同时具有纤维的结构优势和水凝胶的软湿特点而在仿生材料、生物材料、传感器件等领域获得极大的关注和广泛的研究。然而当前仍然存在连续化制备过程中无法完成交联网络同步构建的缺点，从而使得以单体为原料连续均匀构筑水凝胶纤维成为该领域的一大难点。为建立连续化构筑水凝胶纤维的制备方法，本文以聚乙二醇双丙烯酸酯 (PEGDA) 齐聚物为模型单体，根据其流变行为合理设计纺丝设备，研究并建立动态聚合纺丝新方法，最终实现水凝胶纤维的连续化构筑。并将其拓展至纳米复合水凝胶纤维及皮芯结构水凝胶纤维制备领域，为实现水凝胶纤维在多个领域的应用提供了基础。

关键词：水凝胶纤维，动态聚合纺丝，PEGDA，流变行为

#### D09-P24

##### 纤维素丙烯酸酯-g-聚丙烯酸烷基酯固-固相变材料的制备及性能研究

钱勇强, 谭林立, 韩娜, 张兴祥

天津工业大学

以丙烯酸酯为中间体, 纤维素为骨架, 丙烯酸十四、十六、十八烷基酯为相变材料, 通过自由基聚合接枝制备纤维素丙烯酸酯-g-聚丙烯酸烷基酯(CA-g-PAn)固-固相变材料。利用傅里叶变换红外光谱(FT-IR)、核磁共振(NMR)、差示扫描量热仪(DSC)、和热重分析(TG)对 CA-g-PAn 相变材料的结构和热性能进行了表征。结果表明, 成功制备了 PAn 接枝含量在 52.7 wt. %~93.0 wt. % 的 CA-g-PAn 固-固相变材料。CA-g-PAn 接枝共聚物的相变温度和相变焓分别为 10.3 °C ~53.2 °C 和 15 J/g~95 J/g, 相转变温度和焓值均可通过 PAn 的种类和含量来调节, 从而呈现出可控性。CA-g-PAn 共聚物的耐热温度在 273 °C 以上, 与 CA 相比有所提高, 增加了纤维素基产物的热稳定性。所以 CA-g-PAn 接枝共聚物有望在光转热和储热调温材料领域得到应用。

关键词: 纤维素, 丙烯酸烷基酯, 自由基聚合, 固-固相变材料

#### D09-P25

##### 高面积能量密度的非对称织物状超级电容器

梁云霞, 翁巍, 杨俊杰, 张扬, 杨利军, 罗晓刚, 朱美芳

东华大学

可穿戴电子设备的快速兴起使得对柔性、轻质储能器件的需求日益增长。在大多数储能器件中, 超级电容器具有功率密度高、循环寿命长、环境稳定性好等优势, 引起了人们的广泛关注并为此展开一系列研究工作。织物具有柔性、轻质等特点, 若把超级电容器做成织物状, 就能够满足器件柔性和可穿戴的需求。但是在实际应用中, 织物状超级电容器的能量密度, 尤其是面积能量密度, 仍旧较低。一个重要原因可能在于制造具有高负载活性材料的柔性电极的同时保持多孔性具有一定难度。基于以上, 我们采用多孔的棉织物作为柔性基底, 然后分别通过浸渍-涂覆法和化学聚合法将 CNT/rGO 和 PPy 沉积在织物上作为负极材料和正极材料。采用 FTIR、Raman 和 SEM 表征了织物电极的结构和形貌。通过调节 CNT/rGO 和 PPy 在织物上的负载量, 制备出最佳匹配的 CNT/rGO-织物和 PPy-织物电极材料, 从而组装非对称织物状超级电容器。电化学测试结果表明该非对称织物状超级电容器的电压窗口可扩展到 1.8 V, 在电流密度为 1 mA cm<sup>-2</sup>时, 面积比电容为 569.6 mF cm<sup>-2</sup>, 面积能量密度为 0.26 mWh cm<sup>-2</sup>。此外, 该电容器还表现出良好的柔性和循环性能。

关键词: 柔性超级电容器, 能量密度, 可穿戴电子, 棉织物

#### D09-P26

##### 原位聚合法制备抗菌 PET/Cu<sub>2</sub>O 纳米复合纤维

王成臣, 周家良, 胡泽旭, 相恒学, 周哲, 朱美芳

东华大学

选用纳米氧化亚铜(Cu<sub>2</sub>O)利用有机/无机杂化的机理, 在直接酯化合成聚酯过程中通过原位聚合法制备了 PET/Cu<sub>2</sub>O 纳米复合树脂, 再经干燥和熔融纺丝制得 PET/Cu<sub>2</sub>O 纳米复合纤维。用 SEM 对复合树脂断面及纤维进行形貌表征, 用纤维强度测试仪对纳米复合纤维的力学性能进行表征, 并用 XRD、DSC、TG 对 PET/Cu<sub>2</sub>O 纳米复合纤维的取向、结晶和热稳定性等进行表征, 并将纳米复合纤维制备成相同密度的袜筒, 进行抗菌性能测试。结果表明: 纳米氧化亚铜在原位聚合制备的复合树脂的断面和纤维中分布均匀且团聚现象不明显、分散效果较好; 纳米氧化亚铜含量为 0.2%时的纳米复合纤维的力学性能最优, 结晶度最高, 达到 37.64%。纳米氧化亚铜添加到 PET 树脂中制备的 PET/Cu<sub>2</sub>O 纳米复合纤维的耐热性基本没有影响, 玻璃化转变温度、结晶温度及熔点均没有太大变化; PET/Cu<sub>2</sub>O 纳米复合纤维具有良好的抗菌性, 当纳米氧化亚铜的含量在 0.2%时即具有 99%以上的抗菌率。

关键词: 氧化亚铜, PET, 原位聚合, 抗菌

#### D09-P27

##### 热致可逆变色聚丙烯纤维的制备与表征

张杨凯, 相恒学, 孙铭泽, 翟功勋, 朱美芳

东华大学

通过熔融纺丝法制备了一系列聚丙烯 (PP) /可逆变色组分 (thermochromic pigment) 复合纤维 (TCPPF)。利用示差扫描量热仪 (DSC)、场发射扫描电镜 (SEM)、广角射线衍射仪 (WXR D)、红外光谱仪 (FTIR) 和色差仪研究了可逆变色聚丙烯纤维的微观形貌, 化学结构以及热变色性能。研究发现变色组分与聚丙烯基体相容性很好, 可在其中均匀分散, 对聚丙烯基体的成纤性能影响较小; TCPPF 的化学结构稳定, 变色温度与其中变色组分相近, 变色速度快, 变色效果明显, 而且颜色恢复速率快, 这在制备感温指示器件领域具有潜在的运用。

关键词: 熔融纺丝, 聚丙烯, 可逆变色, 复合纤维, 感温器件

#### D09-P28

##### 一维-二维碳基杂化纤维用于线状锂离子电池

张杨, 翁巍\*, 梁云霞, 杨俊杰, 杨利军, 罗晓刚, 朱美芳\*

东华大学

石墨烯作为一种锂离子电池中常见的活性材料已被大量研究, 但是通过石墨烯组装而成的石墨烯纤维却很少被研究。以 Hummers 法制备得到的氧化石墨烯通过湿法纺丝后热还原得到石墨烯纤维, 加入一定量的 CNT 可防止湿法纺丝过程中氧化石墨烯之间的堆叠, 进而提升纤维的比表面, 同时将石墨烯表面更多的活性位点暴露与锂离子反应。在该杂化纤维中, 石墨烯作为砖, 碳管作为桥, 通过两者之间构建砖-桥结构, 得到更加多孔, 导电性更好的 rGO/CNT 杂化纤维, 该结构给予锂离子在内部快速扩散和电子在内部快速迁移提供了可能, 在  $50 \text{ mA g}^{-1}$  的电流密度下容量达到  $522 \text{ mAh g}^{-1}$ , 循环 600 次以后容量保持率为 125%, 电流密度从  $50 \text{ mA g}^{-1}$  提升至  $500 \text{ mA g}^{-1}$  时, 容量仍旧可以保持 74%。

关键词: 石墨烯纤维, 湿法纺丝, 锂离子电池, 碳纳米管

#### D09-P29

##### 碳酸钙含量对 MOFs/植物纤维纸基复合材料气体吸附性能的影响

解宏滨, 张美云, 宋顺喜, 杨强, 聂景怡, 杨斌

陕西科技大学

利用原位生长法制备了金属有机骨架化合物 (MOFs[Zn-PMA]) /植物纤维 (CF) 纸基复合材料, 并探讨了轻质碳酸钙 (PCC) 加填量对材料气体吸附性能的影响。采用 FTIR、XRD、SEM、TGA、BET 研究了 MOFs 与植物纤维的键合方式以及复合材料的表面形貌、比表面积、热稳定性和吸附行为。结果表明, MOFs 与植物纤维之间以酯键结合, PCC 加填量的提高可使纸张纤维网络体系暴露出更多的游离羟基, 有利于提高 MOF-5 在纸张表面的沉积率。此外, PCC 的位阻效应降低了 MOFs 在纸张表面的生长的空间, 导致 MOF-5 尺寸变小。氮气吸附实验数据表明, PCC 的加入可显著提高材料的吸附性能, 与未添加 PCC 的纸张相比, 材料的吸附量可提高。

#### D09-P30

##### Pluronic F127DA 胶束交联高强度高延展性水凝胶

严睿佳, 阎燕子, 彭利, 马敬红\*, 龚静华

东华大学

凝胶具有新颖的网络结构和优异的机械性能, 克服了传统水凝胶在力学行为方面的弱点。本文采用两端乙烯基改性的 Pluronic F127 (F127DA) 大分子胶束作为交联剂, 丙烯酰胺 (AM) 作为单体, 以过硫酸钾 (KPS) 为引发剂进行原位自由基共聚, 得到具有高强度、高延展性的新型水凝胶。通过制备不同浓度 F127DA 凝胶, 发现在单体含量为  $5 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  时, F127DA 含量为  $7 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  凝胶呈现出最优的力学性能。凝胶在单向拉伸下断裂伸长率可以达到 1320%, 拉伸强度为 528 kPa, 远远超过普通化学交联水凝胶。循环拉伸测试显示凝胶具有出色的抗疲劳性, 说明大分子胶束的变形和聚合物链的缠结能够有效地耗散能量。本工作证明以大分子胶束作为多价交联剂可以用于构筑力学性能优异的水凝胶, 从而拓宽凝胶的实际应用领域。

关键词: 水凝胶, 胶束交联, 高强度 F127DA

#### D09-P31

##### Methyl cellulose @ Poly(acrylic acid) complex thin film coated stainless steel mesh for oil/water separation

Dafaalla M. D. Babiker<sup>a</sup>, Hajo Yagoub<sup>a</sup>, Xiaowei Xu<sup>1</sup>, Ali A. Altam<sup>a</sup>, Mahmoud H. M. A. Shibraen<sup>1,2</sup>, Liping Zhu<sup>a</sup>, Shuguang Yang<sup>1\*</sup>

1. Donghua University

## 2.University of Gezira

Oil spills and organic pollutants mixed in water have become a global environmental challenge which requires urgent solutions. In this research, two recyclable polymers, methyl cellulose (MC) & poly(acrylic acid) (PAA), are used to form a stable coating on a stainless steel mesh (SSM) via chemical bath deposition method. It is anticipated that the strong hydrogen bonding interaction between the carboxyl group (-COOH) in PAA and the hydroxyl group (-OH) in MC will result into the formation of stable PAA/MC complex membranes on SSM. The MC/PAA coated SSM is then modified by trichloromethanesilane (TCMS) to obtain the hydrophobicity and oleophilicity of MC/PAA membrane. The water contact angle changes from approximately 80° to 150° before and after Si-modified for MC/PAA membrane. SEM, FT-IR and XPS are also used to characterize the surface morphology and chemical structures of the membranes. The as-prepared SSM can adequately repel water while let oil pass through the membrane freely, with a high flux of more than 1037 L/m<sup>2</sup>·h and an excellent separation efficiency of greater than 99.66%. This facile method provides an easy way to prepare oil-water separators and has potential to be widely used in oil fields and petroleum industry applications.

Keywords: cellulose derivatives, poly (acrylic acid), hydrogen bonding, surface modification, oil-water separation

### D09-P32

#### **The interaction between cationic cellulose and cellulose nanocrystals and their layer by layer assembly with antireflection, anti-fogging, and anti-frosting properties**

Hajo Yagoub<sup>1</sup>, Mahmoud H. M. A. Shibraen<sup>1</sup>, Songmei Ma<sup>1</sup>, Vincent Mukwaya<sup>2</sup>, Shuguang Yang<sup>1\*</sup>, Jian Xu<sup>1,2</sup>

1.Donghua University

2.Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences

In this research, multifunctional nanoporous thin films are prepared from cellulose derivatives, cellulose nanocrystals (CNC) as a nanofiller reinforcement and cationic cellulose (CC) as matrices, via layer by layer assembly. The effects of dipping time, number of bilayers, solution pH, ionic strength, temperature on the thickness of as prepared thin films are studied. The results show a continuous increase on the film thickness with increasing dipping time and number of bilayers, while more complex changes are observed with the changes of solution pH, ionic strength and temperature. Also, the transmittance and anti-reflective properties of the as prepared thin films are investigated by using UV-vis, as well as, the surface morphology and the wettability are studied by atomic force microscopy (AFM) and optical contact angle meter, respectively. Further, the resultant films can exhibit anti-fogging and anti-frosting behaviors during the practical use due to their relatively hydrophobic surface.

Key words: cellulose derivative, cellulose nanocrystals (CNC), cationic cellulose (CC), layer by layer (LbL), anti-reflective

### D09-P33

#### **同轴湿法纺丝技术制备 TPE/PANI 皮芯结构弹性导电纤维及可穿戴应力传感性能研究**

封其春, 郭和乐, 刘思良, 徐凯文, 张超\*, 刘天西\*

东华大学

可拉伸导体是可穿戴电子设备, 柔性显示器, 晶体管, 机械传感器和能量设备的重要组成部分。可拉伸纤维导体对于下一代可穿戴电子设备非常重要, 因为它们容易被大批量生产和编织成织物。最近, 可拉伸纤维向高伸展性和高灵敏度发展, 以适应诸如电子皮肤和健康监测系统应用。应力传感器性能的主要参数是灵敏度, 可拉伸性和线性度。灵敏度(由标准因子 GF 定义)由电阻相对于应力的相对变化表示。可拉伸性是传感器断裂前的最大单轴拉伸应变。线性度涵盖了 GF 在测量范围内的恒定变化。良好的线性度使得校准过程更容易, 并确保在整个应变范围内准确的测量。然而, 基于传统导电纤维的应变传感器不能兼具高灵敏度 (GF > 20), 高拉伸性 (应变 > 100%) 和高线性度。我们用同轴湿法纺丝的方法制备了苯乙烯与 2-甲基-1,3-丁二烯聚合物/聚苯胺 (TPE/PANI) 皮芯结构的高弹性导电纤维。利用光学显微镜, 扫描电子显微镜和红外傅里叶光谱对制备的纤维材料进行了表征。将万能材料试验机和数字源表 (kethley, 2612B) 联用, 测试制备好的纤维材料的力学性能和应变传感性能。拉伸实验结果表明, 聚苯胺作为芯结构对皮结构的 TPE 力学性能略有提高, 拉伸至 4100% 断裂, 优于纯 TPE 的 4000%。应变-电阻实验表明, 随着应变的增大, 电阻也随之呈现相应的线性变化。循环实验结果表明纤维可被拉伸至 200%, GF 达到 39, 在循环 3000 圈后, 应变-电阻工作曲线几乎没有变化。TPE 本身无毒, 我们还将合成的纤维制备成可穿戴器件, 研究发现它可以很好的对面部表情变化 (笑脸、悲伤); 手指弯曲变化; 腕部动脉跳动和膝盖弯曲响应,

并得出一系列相应的工作曲线。我们所制备的纤维具有很好的性质，可以归为几方面原因：1) TPE 本身具有良好的可拉伸性能；2) 聚苯胺本身导电性能优越；3) 在 TPE 管内壁上粘连了大量的聚苯胺，在拉伸过程中，可通过拉伸错位继续构成导电通路。因此；我们所制备的 TPE/PANI 皮芯结构弹性导电纤维应用在可穿戴应力传感上有很好的前景。

#### D09-P34

##### EHPET/NEDDP 海岛复合纤维的原料切片性能研究

高庆文，么丹阳，胡园超，张须臻，王秀华\*

浙江理工大学

聚酯复合纤维按照截面分类通常有海岛型、并列型、放射型、皮芯型等，而海岛复合纺丝法是制备聚酯超细纤维的主要方法之一。易水解聚酯（EHPET）容易被碱溶液溶解，而新型的分散染料常压可染聚酯（NEDDP）具有优异的耐碱性，因此可分别作为海、岛组分制备 EHPET/NEDDP 复合纤维。但由于两种聚酯的热性能、流体流变性能差异大，需进行系统研究为后续纺丝作理论支撑。本研究采用差示扫描量热(DSC)、热失重分析(TG)、熔融指数与毛细管流变等方法，对 EHPET 和 NEDDP 两种切片的热性能、高温稳定性和熔体流变性进行了表征。综合两种聚酯熔体的流动性与高温稳定性的交集范围，初步得出合适的复合纤维纺丝工艺。结果表明：EHPET 和 NEDDP 的熔点分别为 243、246 °C，失重 5% 时的温度分别为 379、394 °C。两种流体切力变稀现象明显，非牛顿指数  $n$  均小于 1，且随温度的升高而增大，同一温度下 EHPET 的  $n$  较大；黏流活化能  $E_{\eta}$  均随着剪切速率的增大而减小，同一剪切速率下，EHPET 的  $E_{\eta}$  更大。

结合熔融指数测试结果可知，二者在 270 ~ 280 °C 时具有良好的流动性能，且能够同时避免两种切片的热降解，可作为后续纺丝工艺的参考。

关键词：易水解聚酯，分散染料常压可染聚酯，热性能，流变性能，纺丝工艺

#### D09-P35

##### 壳聚糖/磷虾蛋白复合体系氢键的研究

宋敬星<sup>1</sup>，郭静<sup>1,2\*</sup>，谭倩<sup>1</sup>，刘元法<sup>1</sup>，张森<sup>1</sup>

1.大连工业大学

2.辽宁省功能纤维及其复合材料工程技术中心

通过 origin 辅助红外光谱对壳聚糖/磷虾蛋白复合材料的氢键进行分析。通过改变复合体系中磷虾蛋白的含量来确定复合体系的氢键类型，各种氢键的贡献作用大小  $\text{OH} \cdots \pi > \text{OH} \cdots \text{OH} > \text{Annular polymer} > \text{OH} \cdots \text{ether O} > \text{OH} \cdots \text{N}$ 。然后通过改变复合溶解过程中醋酸的含量来调控氢键，随着醋酸含量的增加  $\text{OH} \cdots \pi$  的含量增加， $\text{OH} \cdots \text{OH}$  减小，而  $\text{OH} \cdots \text{ether O}$ 、 $\text{Annular polymer}$  和  $\text{OH} \cdots \text{N}$  的含量基本不改变。壳聚糖/磷虾蛋白流体出现剪切变稀现象，醋酸与壳聚糖/AKP 分子间可能产生了氢键作用，使溶液更易趋于黏性。热稳定性表明，降解温度和复合体系的  $\text{OH} \cdots \text{OH}$  有关。 $\text{OH} \cdots \pi$  使得复合体系的规整度增加，导致结晶度增大。本研究中对 CS/AKP 复合体系中的氢键进行了分析，促进多糖在生物材料制备中的理论分析。

#### D09-P36

##### 高稳定性 PeQDs@SiO<sub>2</sub> 复合量子点的制备

卢秀瑾

东华大学

钙钛矿量子点 (PeQDs) 具有高的荧光量子产率与窄的半高峰宽，并且其荧光波长可以覆盖整个可见光区，因此在短时间内引起了广泛的关注。然而，目前大多数钙钛矿量子点的水氧及热稳定性较差，是亟待解决的一个问题。在这里，我们通过改进的 Stöber 法，直接在 CsPbBr<sub>3</sub> QDs 表面包覆了一层无定型 SiO<sub>2</sub> 层，成功地制备了 SiO<sub>2</sub> 包覆的 CsPbBr<sub>3</sub> QDs (PeQDs@SiO<sub>2</sub>)。本工作合成方法简单，包覆前无需洗涤提纯，提供了量产的可能性。最终得到的火龙果型 PeQDs@SiO<sub>2</sub> 复合量子点的量子产率高达 80%，暴露于空气 3000 小时后仍能表现出优异的光学性能和良好的光、热稳定性。该材料在 60°C 下加热 1 h 还能够保持 75% 的 PL 强度，在紫外灯下持续照射 55 h 后，甚至可以保持 92% 的 PL 强度。此外，PeQDs@SiO<sub>2</sub> 复合量子点在水和乙醇气氛下稳定，这有利于制造白光发光二极管器件。

关键词：钙钛矿量子点，CsPbBr<sub>3</sub>，SiO<sub>2</sub> 包覆，荧光量子产率

#### D09-P37

##### 粉煤灰玄武岩纤维的制备及性能探究

马倩, 汪庆卫  
东华大学

以天然玄武岩矿石及燃煤电厂产生的粉煤灰为原料, 不同配比下, 经高温熔化后在 1300 °C 进行高速拉制而成连续性纤维。通过 XRD 对纤维结晶情况进行表征, 以 SEM 对纤维表面形貌进行表征, 用纤维强度测试仪对纤维力学性能进行表征, 并用拉丝流量、密度、化学稳定性等测试来综合探究粉煤灰含量对纤维性能的影响。测试结果表明粉煤灰玄武岩纤维的制备工艺良好, 没有析晶现象产生。拉丝流量随着粉煤灰含量的升高而减少。粉煤灰的含量对纤维的密度影响较小, 不同样品密度均接近 2.25 g/cm<sup>3</sup>。而粉煤灰含量越高, 纤维的抗拉强度越高, 含量为 25% 时抗拉强度可达到 916 MPa。粉煤灰玄武岩纤维的耐酸性优于耐碱性, 且粉煤灰的含量越高, 其耐酸性越好, 耐碱性则越差。

关键词: 玄武岩, 粉煤灰, 抗拉强度, 化学稳定性

#### D09-P38

##### 热敏性可控瞬态溶解蚕丝电子器件的探究

元巧云<sup>1</sup>, 林乃波<sup>1\*</sup>, 刘向阳<sup>1,2\*</sup>

1. 生物仿生及软物质研究院
2. 新加坡国立大学

与传统电子设备不同, 瞬态电子设备可以在外部刺激或相关指令的控制下实现物理形态和设备功能的消失。瞬态电子设备已经推翻了人们对电子设备的理解。未来, 它们将在信息安全, 生物医学护理和环境传感器等领域具有非常广泛的应用前景。目前, 瞬态电子器件的自毁方法主要有以下几种: 水溶解破坏; 加热溶解损伤; 在光照下溶解和破坏; 强酸的破坏; 电动扩张; 磁性破坏。

被称为“纤维皇后”的蚕丝在纺织工业中已有超过 7 千年的发展史。近年来, 由于其良好的体外(in-vitro)和体内(in vivo)生物相容性、优秀的力学性能和可控的生物降解速度, 蚕丝纤维在生物医学、组织工程应用领域, 已经受到广泛的重视。蚕丝蛋白制成的生物医内支架, 不仅可避免染上克雅二氏(人类形式的疯牛病)的风险, 同时也美国食品 and 药物管理局(FDA)批准的医用材料。蚕丝蛋白具有良好的力学性质和柔韧度, 可以完全贴合人体组织。此外, 蚕丝是可降解材料, 在体内一般需要 2-3 年降解。

因此我们以蚕丝材料作为电子器件的封装和基底材料, 采用生物仿生原理, 模拟蚕蛹吐出溶茧酶溶解蚕茧, 从而破茧成蝶, 保护自己, 首次提出了仿生可控瞬态溶出电子学。利用特定盐溶液与微流控技术相结合的方法合成热敏微球。将 9.3 mol/L 溴化锂溶液微球包埋在石蜡中, 然后掺入蚕丝电子器件制备热敏性可控瞬态蚕丝生物电子器件, 将实现人类仿生瞬态溶解电子技术。在暴露于足够的热量下时, 石蜡微球熔化释放封装的溴化锂溶液, 其随后通过破坏丝素蛋白氢键而使装置快速破坏。

#### D09-P39

##### Synthesis of up-converting luminescent NaYF<sub>4</sub>:Yb, Er-PET composite film for constructing 980-nm laser-driven biopower

Zhaojie Wang, Zhigang Chen

Donghua University

One of the prerequisites for the development of wireless nanobiodevices is to obtain in vivo energy source as biopower component that is continuously available in the operational biological environment. Three electric sources have been chiefly developed in our group, in 2009, our group reported the first design model and preparation of 980-nm laser driven photovoltaic cells (hereafter abbreviated as 980LD-PCs) by inserting Na(Y<sub>1.5</sub>Na<sub>0.5</sub>)F<sub>6</sub>:Yb,Er nanorod film in a conventional dye sensitized solar cell (DSSC) with liquid electrolyte and FTO glass. To improve the conversion efficiency and to avoid possible leaking of the liquid electrolyte, we further constructed 980LD-PC by inserting efficient NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er film in DSSC with gel electrolyte on FTO glass. However, the use of rigid FTO glass will greatly limit the miniaturization of 980LD-PC, resulting in the problem in the construction and biological applications of wireless self-powered nanodevices. To address this problem, we designed and developed a new model of 980LD-PCs by incorporating flexible up-converting luminescent film and flexible amorphous silicon thin film photovoltaic cell. These researches open up the possibility of preparing and/or developing novel electrical sources for wireless biological nanorobots and many other biodevices.

#### D09-P40

##### PET-co-PEA/纳米 SiO<sub>2</sub> 亲水性共聚酯的制备及性能研究

吴灿清, 毛雪峰, 李新安, 张须臻, 王秀华\*

浙江理工大学

对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 作为使用量最大的衣用纤维材料, 其亲水性能需要改善, 目前通常采用的亲水后处理工艺存在耐洗性差, 性能不持久的问题。本文利用长链段单体对 PET 进行共聚改性, 以改善材料的高弹性能, 利于水分子的扩散; 同时引入无机纳米 SiO<sub>2</sub> 颗粒改善 PET 的亲水性。将 KH560 改性后的 SiO<sub>2</sub> 与对苯二甲酸、乙二醇、聚己二酸乙二醇酯 (PEA) 等单体直接酯化-熔融缩聚, 合成了 PET-co-PEA/SiO<sub>2</sub>, 并对产物进行了形貌、结构、热性能、亲水性测试。结果表明: SiO<sub>2</sub> 在 PET-co-PEA/SiO<sub>2</sub> 切片中总体分散均匀; PET-co-PEA/SiO<sub>2</sub> 的红外图谱具有典型的 PET 特征吸收峰, 说明 SiO<sub>2</sub> 的添加未对其结构产生改变; PET/SiO<sub>2</sub> 热稳定性相比 PET 有所提高, 而无规共聚 PET-co-PEA 热稳定性相比 PET 有所下降, PET-co-PEA/SiO<sub>2</sub> 与 PET 热稳定性相近; 通过添加无机纳米 SiO<sub>2</sub> 颗粒和共聚大分子长链 PEA 均能改善切片亲水性, PET-co-PEA/SiO<sub>2</sub> 接触角与纯 PET 相比接触角从 108.5° 下降到 69.56°, 降低幅度达 36%。

关键词: 对苯二甲酸乙二醇酯, 共聚酯, 聚己二酸乙二醇酯, 纳米 SiO<sub>2</sub>, 亲水性

#### D09-P41

##### 微晶纤维素基水凝胶负载 Cu<sub>2</sub>O/MOF-5 抗菌性能的研究

赵梦雅

陕西科技大学

选取微晶纤维素 (MCC) 为基体材料, 制备微晶纤维素水凝胶, 再原位沉积负载 Cu<sub>2</sub>O 和 MOF-5, 制备三元复合材料, 针对 Cu<sub>2</sub>O 和 MOF-5 的添加合成顺序和比例不同, 对微晶纤维素基水凝胶复合材料的抗菌性能进行研究。采用 FTIR、XRD 测定复合材料的化学组成, 采用 SEM 观察复合材料的微观形貌; 以大肠杆菌 (Escherichia coli, E. Coli) 为测试菌种, 培养 24 h, 通过测定抑菌圈的直径检测复合材料抗菌性能的强弱。结果表明: 成功制备了三元复合材料, 在总添加量一定时, 当 Cu<sub>2</sub>O 与 MOF-5 比例为 7:3, 抗菌效果最佳。

#### D09-P42

##### 石墨烯/再生纤维素导电纤维的制备及性能研究

赵洪涛, 赵银桃, 朱士凤, 田明伟, 张宪胜, 曲丽君

青岛大学

采用表面改性方法制备出氧化石墨烯/再生纤维素纤维 (GO/Cellulose), 然后选用改性亚磺酸衍生物还原剂将纤维素表面的 GO 还原为还原氧化石墨烯 (rGO) 制得石墨烯/再生纤维素导电纤维 (G/Cellulose)。通过扫描电子显微镜、红外光谱仪、X 射线光电子能谱分析仪、拉曼光谱仪等对纤维改性前后的微观形态和内部结构进行了表征, 对纤维的导电性能、耐洗性能和机械性能进行了测试。结果表明, 氧化石墨烯均匀地附着在纤维素纤维表面, 并被有效还原为 rGO。电阻测试结果表明, 制得的石墨烯导电纤维电阻率可以降低至 1 Ω·m 以下, 导电效果优异, 耐洗牢度可达到 4 级。

关键词: 氧化石墨烯, 石墨烯, 导电, 耐洗

#### D09-P43

##### Surface modification of quartz fibers and its reinforced dental resin post

Jiahui Fan, Renlin Wang, Hongyan Chen, Ruili Wang, Shengyuan Yang, Meifang Zhu\*

Donghua University

A novel kind of bisphenol-A-glycidyl dimethacrylate (bis-GMA)/methyl methacrylate (MMA) resin based dental post reinforced by quartz fibers (QFs) was prepared in this paper. Different factors were investigated to observe their influences on the mechanical properties of quartz fibers reinforced dental resin post, including the silanisation grafting to QFs and the volume fraction of QFs. 3-methacryloxydecyltrimethoxysilane ( $\gamma$ -MPS) and 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES) were used to graft to QFs to enhance interface compatibility between quartz fibers and resins, and they were successfully grafted to QFs with different grafting ratios, which were confirmed by results of attenuated total reflection fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR), thermal gravimetric analysis (TGA) and contact angle (CA). The water sorption and solubility in artificial saliva (AS) of dental post was also

investigated by soaking in AS for 4 weeks to observe the changes of weight and mechanical properties (containing flexural strength and flexural modulus) of specimens. The results of mechanical testing suggested that dental posts with QFs grafted by APTES presented better properties and the optimal flexural strength and modulus were up to 620.3 MPa and 21.6 GPa respectively, which is outstanding in similar materials and has the potential for the clinical application.

Key words: quartz fibers, surface modification, dental post

#### D09-P44

##### Mechanical properties of dental resin/composite containing novel bimodal silica nanostructures

Hongyan Chen, Ruili Wang\*, Li Qian, Wei Li, Jiahui Fan, Meifang Zhu\*

Donghua University

The aim of this study was to investigate the influence of bimodal silica nanostructures comprising of SiO<sub>2</sub> nanoparticles and SiO<sub>2</sub> nanoclusters on physical-mechanical properties of resin-based composites (RBCs). SiO<sub>2</sub> NPs and SiO<sub>2</sub> NCs were prepared with the Stöber method and the coupling reaction, respectively, then silanized and employed as fillers to construct RBCs using a mixture of bisphenol A glycerolate dimethacrylate (Bis-GMA) and tri(ethylene glycol) dimethacrylate (TEGDMA) as the organic matrix. Results showed that the properties of RBCs were influenced by the filler ratios of bimodal silica nanostructures, and the appropriate amount of SiO<sub>2</sub> NPs could effectively increase the activating light efficiency and filler packing density of RBCs. Among all experimental RBCs, RBC 50-20 (SiO<sub>2</sub> NPs: SiO<sub>2</sub> NCs=50:20, wt/wt) presented the highest degree of conversion (71.6±1.1%), the lowest polymerization shrinkage (2.6±0.1%), and the enhanced flexural strength (104.8 ± 4.4 MPa), flexural modulus (6.2 ± 0.3 GPa), and compressive strength (205.8 ± 14.3 MPa), which were improved by 44%, 19%, 28%, 48%, and 42% in comparison with those of RBC 0-60 (SiO<sub>2</sub> NPs: SiO<sub>2</sub> NCs = 0:60, wt/wt), respectively. Besides, in vitro cytotoxicity evaluation of RBC 50-20 indicated its acceptable cytotoxicity. Although the best performance was achieved by commercial Z350 XT, the introduction of bimodal silica nanostructures might provide the enhanced physical-mechanical properties of RBCs, compared with those of RBC 0-60 reinforced with unimodal SiO<sub>2</sub> NCs.

Keywords: filler composites, resin composites, mechanical properties

#### D09-P45

##### 基于微流体技术制备具有热弯曲响应性的双层水凝胶纤维

周美龄, 胡丹梅, 彭利, 马敬红\*, 龚静华

东华大学

具有非均匀结构的响应性水凝胶纤维具有能够实现复杂响应行为的能力, 例如弯曲, 折叠, 扭转和流体汲取/挤出等。因此这种纤维材料在软驱动器、软机械和微流体泵等领域具有广阔的应用前景。通过自行设计组装的带有 Y 型连接器的微流体装置, 本文制备了具有双层结构的热响应水凝胶纤维。这种水凝胶纤维具有由线性 pNIPAM 和海藻酸钙组成的半互穿网络结构。当环境温度高于其相转变温度(VPTT)时, 能够发生弯曲响应。在本文中, 制备得到的 pNIPAM 通过 FTIR 和 GPC 进行了表征。通过扫描电镜、拉伸力学试验、热响应弯曲测试, 溶胀试验研究了 pNIPAM 含量对于双层结构水凝胶纤维的影响。结果表明: 制备的水凝胶纤维具有半互穿网络水凝胶所特有的微观结构, 而且, 随着 pNIPAM 含量的增加, 水凝胶中的孔洞尺寸逐渐变小。此外, 这种水凝胶纤维能够在 50 °C 的去离子水中发生弯曲响应而且具有较高的断裂强度。另外, 这种水凝胶纤维的直径能够通过改变纺丝流体的流量进行调控。基于其独特的热弯曲响应特性和较好的力学性能, 这种水凝胶纤维材料有望应用制备各种微尺寸的智能器件, 例如软驱动器, 药物负载系统等。

关键词: 非对称水凝胶, 微流体纺丝, 凝胶纤维, 聚(N-异丙基丙烯酰胺)

#### D09-P46

##### 具有改善机械性能和热稳定性能的多孔氮化硼纳米纤维/PVA 复合材料水凝胶

李睿

河北工业大学

聚乙烯醇 (PVA) 水凝胶是一种具有良好的化学稳定性、高吸水性、优异的生物相容性和抗生物老化性的材料, 但其力学性能较差, 限制了其应用。为了提高 PVA 水凝胶的力学性能, 我们通过无模板辅助的方法制备出了高长径比的多孔 BN

纳米纤维 (BNNFs), 并将其添加到 PVA 基体中通过循环冻融法制备复合水凝胶。对不同 BNNFs 添加量的复合水凝胶进行了表征。结果表明, 添加 BNNFs 可以提高水凝胶的机械性能和热稳定性。与纯 PVA 水凝胶相比, 0.16 wt% BNNFs 的 BNNFs/PVA 复合水凝胶的压缩强度达到了 1.62 MPa, 提高了 48.6%。添加量分别为 0.25、0.5、0.75 和 1 wt% 的 BNNFs/PVA 复合水凝胶的拉伸性能也得到增强。添加 1wt% 的 BNNFs 的拉伸强度增加 87.8%。复合水凝胶的力学性能得到增强归因于 BNNFs 和 PVA 之间的强氢键相互作用。BNNF 的加入形成的交联点可以转移水凝胶网络结构中机械力, 从而使机械性能增强。BNNFs/PVA 复合水凝胶的玻璃态转变温度  $T_g$  随着 BNNFs 的添加量的增加而增加, 由初始的 69 °C 增加到 82 °C

关键词: 氮化硼, 纳米纤维, 聚乙烯醇, 水凝胶, 机械性能、热稳定性, 氢键

#### D09-P47

##### 基于一维有机纳米线的热整流器

刘博海

同济大学

与电二极管相似, 理想的热二极管中存在热流正向导通反向截止的热整流效应。实现热整流效应理论上可以通过构造界面, 使界面两端的声子频带不匹配。利用这种方法得到的热整流率可达 2000。实验上可以通过构造不对称的结构, 或使用两种热导率随温度变化趋势不同的材料来实现热整流。热整流器的实验研究往往于宏观尺度下, 在微纳尺度下对热整流的实验研究尚属缺乏。本实验中, 我们选取肽菁铁有机纳米线作为我们的实验材料。已有研究表明肽菁铜纳米线在电子束沉积过程中将经历从晶体到非晶的转变(肽菁铁与肽菁铜有相同的晶格结构)。一方面作为有机纳米线, 肽菁铁具有化学性质稳定, 制备成本低的特点; 另一方面, 在电子束的作用下, 转变前后的热导率随温度的变化趋势不同, 因此我们可以基于肽菁铁纳米线构造热整流器。实验中, 我们利用原位测量和 SEM 电子束曝光技术, 测得了肽菁铁和肽菁铜从晶体到非晶转变所需电子束剂量。与电子束轰击之前的热导率随温度变化趋势相比, 转变之后的纳米线的热导率变化符合非晶行为。利用测得的转变所需的电子束剂量, 我们制备了非晶域占纳米线长度比不同的样品。利用悬空热桥法对样品热导进行双向测量, 得到了非晶组分不同的四组样品热整流率随温度变化的曲线, 其整流率最高可到 10%, 且体现了非晶区域组分不同对热整流率的调控作用。

#### D09-P48

##### 一维聚酰亚胺纳米纤维热运输的尺寸效应研究

董岚<sup>1,2</sup>, 席晴<sup>1,2</sup>, 徐象繁<sup>1,2\*</sup>, 李保文<sup>1</sup>

1. 同济大学

2. 美国科罗拉多大学

随着半导体领域的飞速发展, 芯片的微型化与晶体管集成度的提高已成为制约半导体行业发展的主要瓶颈。现阶段高密度集成晶体管在高速工作的情况下, 芯片的功耗越来越大最大可产生 100 W/cm<sup>2</sup> 的热量。这些高密度的热量如果没有有效的途径及时传导出去, 势必会在芯片上形成局部热点, 严重时直接导致整个集成器件烧毁。高分子聚合物因其具有电绝缘性、柔韧性好以及化学稳定性等优良的物理性质被认为是电学元器件中理想的热界面材料 (TIM)。但是大多数高分子聚合物在室温下的热导率仅有 0.1-0.3 Wm<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, 如此低的热导率将直接导致电学元器件工作时形成局部热点从而失效率大大提升, 这一缺陷使得高分子聚合物在热运输与热调控领域的应用受到了极大的限制。因此, 高热导率的高分子聚合物材料的合成及其传热机理的研究对于热界面材料的改进与发展具有极其重要的意义。

我们主要介绍一维非晶态聚酰亚胺纤维高热导率的传热机理的研究。在实验中, 我们首次在非晶态聚酰亚胺纳米纤维体系中观测到了传热机制从三维块材行为到一维纳米纤维行为的转变。实验采用静电纺丝技术制备了直径范围在 31 nm 至 167 nm 内的聚酰亚胺纳米纤维, 表征了单根纳米纤维热导率随温度变化的依赖关系以及热导率随直径变化的依赖关系。目前已有的扩散子传热、最小热导率模型以及声子辅助跃迁模型都是基于无机非晶材料建立起来的传热理论模型, 对于高分子聚合物体系并不完全适用。因此, 在此项研究中我们首次提出了一种基于随机行走理论的理论模型, 同时考虑了聚酰亚胺纳米纤维内部分子链内与链间的跳跃模式对声子传热的影响。该理论模型已证实能够很好的解释高分子聚合物纳米纤维热导率随直径变化的依赖关系。

#### D09-P49

##### PPS 纤维阻燃抗熔滴性能研究

王研, 胡泽旭, 周哲\*, 朱美芳\*

东华大学

PPS 纤维虽然具有较好的阻燃性能,但是由熔融纺丝制得的 PPS 纤维在高温下具有熔融滴落现象出现,因此本文采用添加球型石墨烯来改善其熔滴现象。通过 X 射线衍射、差式扫描量热法、纤维强力测试、热失重、及垂直燃烧等方法,研究了纤维处理过程中牵伸比及球型石墨烯对纤维结构和性能的影响。研究表明,随着牵伸比由 3.2 倍增加到 4.0 倍,纤维的结晶度和取向度都呈现先增加再降低的趋势,纤维的断裂强度也呈现先增加再降低的趋势。通过对球型石墨烯含量的研究发现,在同等牵伸倍率下,随着石墨烯含量由 0.5% 增加到 3%,纤维的力学性能逐渐降低趋势,垂直燃烧测试表明,随着石墨烯含量的增加,材料的损毁长度在减少,阻燃抗熔滴性能有所提升。

关键词: PPS 纤维, 球型石墨烯, 牵伸比, 抗熔滴

#### D09-P50

##### SiBNC 陶瓷纤维前驱体的结构及流变性能

张晨宇, 彭帅, 崔勇杰, 刘勇, 韩克清, 余木火\*

东华大学

以三氯硅烷 ( $\text{HSiCl}_3$ )、三氯化硼 ( $\text{BCl}_3$ ) 和正丙胺 ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$ ) 为初始原料,通过缩聚反应合成 SiBNC 陶瓷纤维的前驱体聚合物聚硼硅氮烷 PBSZ。通过 FTIR、NMR 等测试手法对 PBSZ 的结构进行分析,分析结果表明 PBSZ 主要以 Si-B-N 为骨架,另含有硼氮六元环、硅氮四元环以及局部交联结构。同时,也通过流变测试分析了 PBSZ 的可纺性,分析结果表明 PBSZ 熔体的流体类型为假塑性流体,具有良好的可纺性。且通过研究发现,当纺丝温度为  $80\text{ }^\circ\text{C}$  时,该体系具有良好的纺丝性能,当纺丝温度为  $100\text{ }^\circ\text{C}$  时,剪切频率需  $\geq 1\text{ rad/s}$  才能满足可纺,当温度高于  $120\text{ }^\circ\text{C}$  时,该体系会因粘度过小而不具备可纺性。制备的前驱体纤维表面光滑,结构致密,直径约  $24\text{ }\mu\text{m}$ 。

#### D09-P51

##### 不同厚度聚醚砜相转化膜对碳纤维/环氧树脂 I 型层间断裂韧性的影响

程超, 张辉, 余木火\*

东华大学

采用  $100\text{ }\mu\text{m}$ 、 $120\text{ }\mu\text{m}$ 、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 、 $200\text{ }\mu\text{m}$  的聚醚砜 (PES) 相转化膜,引入碳纤维/环氧树脂层合板,通过真空辅助树脂灌注 (VARI) 工艺,制备碳纤维/环氧树脂复合材料。采用热台偏光显微镜,扫描电子显微镜 (SEM) 和力学试验机分析了不同厚度的相转化膜在环氧树脂之中的溶解行为和复合 I 型层间断裂的影响。研究表明,随着膜厚度增加,膜在环氧树脂的溶解性能并未下降,复合材料的 I 型断裂韧性随着膜厚度的增加而增加,通过复合材料 I 型试样断面发现,随着膜的厚度增加,层间树脂含量提升, PES 微球分布未有明显差异,与碳纤维结合更为良好。

#### D09-P52

##### 聚乙烯醇/石墨烯杂化纤维导电网络结构的构建与成纤工艺研究

杨利军, 黄海燕, 朱美芳

东华大学

本文以聚乙烯醇为成纤高聚物基质石墨烯为导电纳米填料,通过高弹态分子链取向诱导技术结合湿法纺丝工艺成功的制备了具有高度取向导电网络结构的聚乙烯醇/石墨烯导电杂化纤维。利用 FT-IR、XPS、AFM、TEM、SEM 对所用石墨烯和导电复合纤维的结构进行了表征,分析了石墨烯的结构形貌及纳米片层在聚合物基质中的分散状态,并对纤维的导电性进行了测试和表征。实验结果表明,实验所用石墨烯为少层结构,经过取向后石墨烯片层能够在聚合物基质中形成高度取向的导电网络结构,从而显著提高了材料的电学性能。成形后的导电杂化纤维表面较光滑,石墨烯的加入能过缓和纤维成形过程使纤维内部致密度增加。纤维的导电性优良单丝电导率高达  $1.1\text{ S/m}$ ,可作为导线点亮 LED 灯。该复合纤维有望在发热织物,静电屏蔽材料和军工防电磁辐射材料、智能服装信号传输体等领域有广泛的应用。

关键词: 导电纤维, 石墨烯, 聚乙烯醇, 导电网络

仅发表论文

#### D09-PO-01

##### 二维或三维石英纤维的等离子改性及界面性能研究

向艳, 陈为为, 程焕武, 孟阳, 张永福  
北京理工大学

石英纤维是一种常见的高性能无机纤维, 凭借着介电常数低, 介电损耗小, 化学稳定性高, 力学性能优异等特点, 在航天、军工领域具有广泛应用。然而作为一种非晶态材料, 高温下的石英纤维易在表面产生裂纹、凸起等缺陷, 温度达 950 °C 时, 发生析晶行为引起力学性能的急剧下降, 大大限制了其工业应用。

针对这一问题, 本研究设计了一种液相非电极式等离子电解处理装置, 实现对石英纤维布连续式表面处理, 沉积氧化铝陶瓷涂层, 保护其高温下力学性能, 并探究了加工次数对涂层形貌及性能的影响。具体操作为配制浓度为 50 g/L 的  $\text{AlCl}_3$  溶液作为电解液, 引入阴阳两极并施加电压, 在阴极产生等离子弧, 石英纤维穿过等离子弧区时, 等离子体轰击纤维表面, 得到涂层。用 SEM、AFM 对涂层的形貌进行了观察; 用 EDS、FTIR、XPS 等测试分析了涂层化学成分; 将涂覆有涂层的石英纤维与原纤维一同进行热处理后测试其抗拉强度, 探究涂层对纤维力学性能的保护作用。

测试结果表明, 通过液相等离子电解技术成功在绝缘材料石英纤维布表面沉积了陶瓷涂层, 涂层成分为氧化铝, 该涂层能提高石英纤维的耐高温性能。随着加工次数的增加, 涂层沉积量增多, 保护性能反而下降, 加工次数为 1 次时, 纤维的力学性能最佳, 热处理后的抗拉强度为 49.04 MPa, 同原纤维相比提升了 62.95%, 效果明显。

关键词: 液相, 等离子电解, 石英纤维布,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  陶瓷涂层

#### D09-PO-02

##### 超拉伸 TOBCNF/AuNPs/PAM 水凝胶的制备及性能研究

张静雯, 陈仕艳, 张文颖  
东华大学

超弹、超拉伸水凝胶在电子皮肤、创伤敷料、组织支架、药物控制释放等方面有着广阔的应用前景, 因而近年来备受关注。本文通过简单的一锅自由基聚合的方法, 利用动态硫醇—金配位相互作用作为交联剂, 合成了新型氧化细菌纤维素纳米纤维 (TOBCNF) /金纳米粒子 (AuNPs) /聚丙烯酰胺 (PAM) 纳米复合材料 (NC)。研究了 TOBCNF 与 AuNPs 的含量对 TOBCNF / AuNPs / PAM 水凝胶的性能的影响。结果表明, 当 TOBCNF 量为 0.5 wt%, 金纳米粒子浓度为 1.0 mg / mL 时, TOBCNF / AuNPs / PAM 水凝胶的断裂伸长率为 4100%, 拉伸强度为 314 kPa。压缩试验结果表明, 在 80% 的压缩应力下, 压缩应力达到 4.1 MPa, 并且无断裂现象, 卸载 1 min 后几乎能够完全恢复原来的形状。这种具有超伸展性并在卸载后完全恢复的水凝胶可能在电子可穿戴设备, 电子皮肤等领域具有潜在应用。

#### D09-PO-03

##### $\text{TiO}_2/\text{TaO}_2\text{F}$ 复合光催化剂的制备及其光催化性能研究

安琳, 李耀刚, 王宏志, 张青红  
东华大学

随着环境和能源问题的日益严峻, 无污染可再生能源的研究迫在眉睫, 利用半导体光催化分解水制氢技术能够很好的解决这些问题, 具有广泛的应用前景。除了近年来研究最为广泛的二氧化钛半导体光催化材料, 钽基半导体也成为很有前途的光催化材料, 相关报道还验证了 F 离子的引入可以很好的提高光催化效率。

本工作以钛粉和钽粉为原料, 采用一步水热法合成  $\text{TiO}_2/\text{TaO}_2\text{F}$  复合光催化剂。通过 XRD、SEM、STEM、UV-vis、BET 等测试方法进行表征。研究表明, 180 °C -12h 条件下成功制得了结晶性良好的  $\text{TiO}_2/\text{TaO}_2\text{F}$  复合光催化剂, 粒径在 20-50 nm 之间, 比表面积为 136.7  $\text{m}^2/\text{g}$ 。在 300 W 氙灯光照下, 负载 2 wt% Pt 的光催化剂其产氢活性为 364.6  $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , 且具有良好的稳定性, 相比于纯的  $\text{TaO}_2\text{F}$  光催化剂, 性能具有很大的提升。

关键词: 光催化,  $\text{TaO}_2\text{F}$

#### D09-PO-04

##### 氧化细菌纤维素增强海藻酸钙水凝胶的制备及性能研究

钟黎  
东华大学

海藻酸钠是一种主要来自于藻类的天然多糖, 可在二价阳离子 (如  $\text{Ca}^{2+}$ ) 的存在下形成水凝胶。该水凝胶具有良好的生物相容性、吸水保湿性、止血性等优点, 是当前生物医用材料的热门之一。但较差的力学性能和缺乏细胞粘附的识别位点

限制了海藻酸钙水凝胶(CA)的应用。本文通过在海藻酸钠中加入 TEMPO 氧化纳米细菌纤维素(TOBC),并利用  $\text{CaCO}_3$ -GDL 体系进行交联,制备了纳米纤维增强的 TOBC/CA 水凝胶,对其进行了形貌、力学性能、溶胀性能、生物相容性等表征。结果表明,TOBC 中的羧基参与到了 TOBC/CA 水凝胶的离子交联中;其力学性能随 TOBC 含量的增多呈现先增强后减弱的趋势,当 TOBC 含量增加到 20%时,抗拉强度由 34.65 kPa 增加到 118.18 kPa,断裂伸长率由 55.32%增加到 88.37%。水凝胶的溶胀率随 TOBC 含量的增大而降低,提高了水凝胶的结构稳定性;体外细胞实验表明纳米纤维素的加入提高了细胞粘附和增殖,且细胞形态更好。制备的 TOBC/CA 水凝胶在创伤敷料、组织工程支架领域具有潜在应用前景。

关键词:海藻酸钠,氧化细菌纤维素,水凝胶

#### D09-PO-05

##### 大直径聚乳酸单丝的制备与工艺研究

陆健,刘悦苇,胡泽旭,相恒学,周哲,孙宾,吴琪琳,朱美芳  
东华大学

本文通过熔融纺丝和水浴冷却制备了不同结晶度的大直径( $340\pm 10\text{ }\mu\text{m}$ )聚乳酸(PLA)单丝;利用差示扫描量热仪、偏振拉曼光谱表征了初生丝的结晶性能,通过万能试验机对纤维进行了热牵伸模拟。选取初生丝在 80 °C、85 °C、90 °C 下分别进行 3、3.5、4 倍的热牵伸,110 °C 热定型后制备牵伸丝;利用转靶 X 射线衍射仪、差示扫描量热仪、偏振拉曼光谱、万能试验机表征了牵伸丝的结晶、取向和力学性能。研究表明:制备的大直径聚乳酸纤维,随着熔体冷却速率的加快,整体结晶度与径向结晶差异减小,可牵伸倍率减小;随着牵伸温度的升高,可牵伸倍率增大;相同牵伸倍率下,可牵伸倍率越大的纤维,其结晶度、取向度、断裂强度越小。

关键词:大直径,热牵伸,结晶,取向,径向

#### D09-PO-06

##### 热处理时间对高强度聚酰胺纤维力学性能的影响

翟功勋,相恒学,潘伟楠,朱美芳  
东华大学

高强度聚酰胺纤维用途广泛,应用环境复杂,本研究通过测试高强度聚酰胺纤维(PA)在 180 °C 受热 120 min 过程中的力学性能变化。结果表明热处理时长对不同牵伸倍率的 PA 纤维影响不大,纤维度值在 41~43 dtex 之间;断裂强度随受热时长先增加后降低,不同牵伸倍率的 PA 均在受热时长为 60 min 时达到峰值,在 6.78~9.56cN/dtex 之间,受热时长 120 min,断裂保持率在 85%以上,其中牵伸倍率越高,断裂强度越大,未完全牵伸 PA 断裂强度为 6.78 cN/dtex,牵伸倍率 4.71 的 PA 断裂强度为 9.66 cN/dtex;受热时长对低牵伸倍率 PA 的断裂伸长率影响较大,未完全牵伸 PA 断裂伸长率从受热 60 min 时的 37.0%降低到受热 120 min 时的 24.4%,牵伸倍率为 4.71 的 PA,其断裂伸长率从受热 60 min 时的 26.0%降低到受热 120 min 时的 21.8%。

关键词:高强度聚酰胺,热处理时间,力学性能

#### D09-PO-07

##### 牵伸温度和牵伸比与熔纺 PA666 纤维性能相关性的研究

潘伟楠,相恒学,朱美芳,胡泽旭,翟功勋  
东华大学

本文以共聚酰胺 6/66(PA666)为原料,通过熔融纺丝-牵伸两步法制得 PA666 纤维,通过二维广角 X 射线衍射(2D-WAXD)、示差扫描量热法(DSC)、纤维强力测试等表征方法,研究了纤维后处理过程中牵伸比、牵伸温度对纤维结构和性能的影响。研究表明,在牵伸作用下 PA666 纤维中的  $\gamma$  晶型完全转化为  $\alpha$  晶型;随着牵伸比由 3.0 增加到 4.5,PA666 的结晶度由增加,而取向度则呈现出先增加后降低的趋势,纤维的断裂强度由 2.98 cN/dtex 增加至 5.12 cN/dtex,而断裂伸长率由 41.3%降低到 13.8%。通过对牵伸温度的研究发现,当牵伸温度由 10 °C 上升到 50 °C,PA666 的结晶度和取向度都呈现低微的下降趋势,纤维的断裂强度由 4.57 cN/dtex 下降至 4.26 cN/dtex。

关键词:PA666,牵伸比,牵伸温度,性能

#### D09-PO-08

##### 具有光致变色功能的 PMMA 纳米纤维的制备与性能研究

李葱葱<sup>1,2</sup>, 西鹏<sup>1,2,3</sup>, 赵天祥<sup>1</sup>

- 1.天津工业大学
- 2.先进纤维与储能材料天津市重点实验室
- 3.中空纤维膜省部共建国家重点实验室

本文通过原子转移自由基聚合 (ATRP) 技术合成了一种含有螺吡喃光致变色单元的接枝共聚物 (SP-g-PMMA)。通过该接枝共聚物和有机稀土配合物的分子结构设计及协同配合, 利用静电纺丝技术成功制备了具有多基色光致变色和光致发光功能的纳米纤维。通过 <sup>1</sup>H NMR, FT-IR, GPC, TGA 等测试方法对其组成结构和性能进行了表征。结果表明所制备的光致变色接枝共聚物具有分子量可控、分子量分布窄且热稳定性优异等特点。纤维样品的电子扫描电镜照片表明所制备纤维表面光滑, 直径在 600 nm 左右; 荧光光谱表明所制备的纳米纤维样品在 295 nm、367 nm 的紫外光和远红外光的激发下可实现白色、红色、绿色、黄色和蓝紫色的转换, 展现出多基色发光特性。其研究成果对于推动多功能光致变色纤维的研发具有重要意义。

关键词: 螺吡喃, 光致变色, ATRP, 纳米纤维

## D09-PO-09

### 蚕丝蛋白基柔性导电膜的制备研究

孔令庆<sup>1,2,5</sup>, 徐川<sup>1,2,5</sup>, 林乃波<sup>1,2,5</sup>, 刘向阳<sup>3,2,4</sup>

- 1.厦门大学材料学院
- 2.厦门大学生物仿生及软物质研究院
- 3.厦门大学物理与技术学院
- 4.新加坡国立大学物理系
- 5.福建省柔性功能材料重点实验室

目前, 柔性可穿戴电子器件的研究主要是基于 ITO 透明导电玻璃或者 ITO-PET 柔性膜开展的。ITO, 中文名为氧化铟锡, 是一种 N 型氧化物半导体材料, 是目前最常用也是技术最成熟的透明电极材料, 在液晶显示器、等离子显示器、电致发光显示器、触摸屏、太阳能电池以及其他电子仪表上有着广泛的应用。

然而铟元素是稀有元素, 在地球地壳中仅含有 0.1 ppm 的铟元素, 同时 ITO 是具有陶瓷的脆性的金属氧化物, 在 2-3% 的低应变下, 就会发生开裂甚至是破碎, 严重限制了 ITO 导电薄膜的应用。

近年来, 为了找寻 ITO 的替代物, 碳纳米管、石墨烯、金属纳米线等新型电极材料被不断开发。目前, 银纳米线薄膜电极具有最高的光电性能, 同时耐弯折性能极佳, 有望在短期内替代 ITO 成为新一代导电材料。

在选择柔性基底材料的过程中, 我们注意到再生蚕丝素蛋白作为一种天然高分子材料, 易于获得, 透光性好, 机械性能优异, 具有无毒性、无刺激性、优异的生物相容性, 易于加工成各种形状, 制得的材料具备优秀的柔性, 近几年, 丝素蛋白膜已经成为柔性可穿戴电子领域研究的热点。

因此, 我们参照文献合成了直径为 100 nm, 长度为 100 μm 的纳米银线, 分散在乙醇溶剂中形成稳定的分散液, 通过研究旋涂工艺, 在玻璃基底上制备了致密的具有良好导电性的导电银线网络, 然后浇筑蚕丝蛋白溶液, 干燥成膜后利用类似“胶带”粘连的机理, 将银线网络完整的包覆在蚕丝蛋白膜上, 形成了在 550 nm 处透过率超过 70%, 方阻达到 65 Ω/sq 的柔性导电膜, 可应用于柔性电子器件的研制。

关键词: 再生丝素蛋白, 纳米银线, 浇筑法, 旋涂法, 柔性导电膜

## D09-PO-10

### Enhanced biocompatibility via adjusting the soft-to-hard segment ratios of Poly (ether-block-amide) medical hollow fiber tube for invasive medical devices

Z M Li<sup>1,2</sup>, Y Y Xue<sup>3</sup>, Z H Tang<sup>3</sup>, S Zhu<sup>1</sup>, M L Qin<sup>1,2</sup> and M H Yu<sup>1</sup>

- 1.Donghua University
- 2.AccuPath Medical (Jiaxing) Co., Ltd
- 3.University of Shanghai for Science and Technology

Poly (ether-block-amide) (Pebax) is a promising polymeric material for the application in biomedical area, which is significantly influenced by the property of biocompatibility. For segment copolymers like Pebax-family materials, the biocompatibility is closely

related to the soft-to-hard segment ratios. This study aims to explore the relationship between the biocompatibility property and soft-to-hard segment ratios of Pebax medical hollow fiber tube for invasive medical devices. Various analytical techniques including Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), atomic force microscope (AFM), scanning electron microscopy (SEM) and dynamic thermomechanical analysis (DMA) were used to observe the Pebax hollow fiber tube with various soft-to-hard segment ratios. The results indicated that the degree of microphase separation increased with the decrease of the soft segment ratios of Pebax hollow fiber tube. Similarly, we have clearly observed the effect of soft-to-hard segment ratios in the wettability of Pebax films with the contact angle method. The biocompatibility of Pebax hollow fiber tube was characterized by hemolysis tests and in vitro cytotoxicity test. It was found that the biocompatibility was greatly influenced by the content of soft segment ratios. The satisfactory biocompatibility property can be achieved via reducing the soft segment ratios of Pebax hollow fiber tube.