2025年度聊城市科技创新成果提名公示

一、成果名称

功能聚合物储运体系结构设计及其性能提升

二、成果简介

进入信息大数据时代，人工智能、信息安全、物联网、5G蓬勃发展，各类电子产品朝着小型化、柔性化、轻量化特征不断迭代更新，获得更高储能、更好稳定性和安全柔韧的聚合物储运体系一直近年来富有挑战性的课题之一。项目从功能填料界面改性和复合材料结构设计角度出发，利用多维度多元杂化、核壳结构、3D网络结构、涡环结构等不同策略，实现了不同聚合物储运体系储能特性的协同提升，取得一系列创新性研究成果：

（1）建立了新型核壳结构石墨烯表面刷新技术，揭示了石墨烯增强高介电低损耗聚合物电介质材料内在机制。针对石墨烯增强聚合物电介质材料损耗大能耗高的瓶颈，首次将无机粒子负载石墨烯的新型核壳结构功能填料引入到聚合物中，实现了石墨烯在聚合物基体中有效分散和阻碍石墨烯载流子传输的双重功效，在提高材料介电常数的同时，有效抑制了其介质损耗；此外，利用氧化石墨烯表面丰富功能基团，共价/非共价修饰获得了一系列核壳结构石墨烯表面刷材料，取得了异曲同工之妙，实现了很少石墨烯用量下聚合物材料介电性能的提升，同时保持了材料良好的柔性。探索了不同维度，不同性质填料对聚合物电介质材料介电性能的影响规律，阐述了无机粒子-石墨烯协同增强的内在机制，揭示了基于石墨烯表面刷结构降低损耗的机理，弄清了新型核壳结构石墨烯/聚合物体系抑制漏导电流的根本原因，在此基础上实现了高介电常数低损耗PVDF等电介质材料的研制。提升了石墨烯在介质电容器中的功能特性，表现出潜在的应用价值，为引领柔性电介质材料发展提供了新思路。

（2）构筑了3D陶瓷网络结构聚合物电解质材料新途径，阐明了锂离子快速传输机理。首次以廉价无尘纸为模板，一步法构建了具有3D结构的锂镧锆铝氧（LLZAO）陶瓷网络，反向引入PEO实现对陶瓷网络的连续包埋，制备了PEO/LLZAO/LiClO4柔性固态电解质材料，实现了锂离子的快速传输，电化学窗户和循环稳定性的显著提高。探索了3D LLZAO结构的连续性、复合电解质材料的结晶性、微观结构对其电化学性能的影响规律，阐明了离子传导效应及电化学反应机理，揭示了基于3D陶瓷网络/PEO全固态电解质的储能机制，实现了对全固态PEO电解质离子传导的有效调控，进一步促进了PEO电解质材料的商业化应用。

（3）设计了涡环结构多孔碳材料合成新工艺，阐明了其吸附储能协同关系和影响机制。双碳目标下，创造性利用溶剂亲疏平衡，辅助以冷冻干燥，实现了大比表面积涡环结构石墨烯多孔碳材料的制备，获得了具有高效双向吸附结构的石墨烯多孔碳新材料；探究了合成条件对多孔碳材料吸附与循环伏安特性的构效关系，阐明了涡环结构多孔碳材料的吸附机理和对提高超级电容器材料储能密度的重要意义。此外，通过简单热解工艺从共轭微孔聚氨基蒽醌网络中直接获得的富含N，O等杂原子的多孔碳材料，表现出优异的CO2吸附能力和较大的储能密度。通过涡环结构的构筑和共轭微孔聚合物的精心选择，为控制多孔碳材料的孔隙率、气体吸收和储能特性提供了全新的简易方案，在促进节能减排、实现双碳目标具有重要意义。

该项目基于柔性高分子材料在电子电气、新材料、新能源等领域的交叉融合，在柔性电子器件的集成、绿色能源革命、碳中和碳达峰等方面产生了创新性引领的科研成果，具有较好的科学价值和社会意义。该项目共发表SCI收录论文60 余篇，5篇代表性论文发表在Compos. Sci. & Technol., Compos. Part A, Chem. Eng. J.等国际知名期刊，在SCIE 中被引用175次，其中1篇论文单篇SCI 他引62次，1篇论文被ESI评为首月高被引论文。项目进行期间，立项国家自然科学基金4项，山东省自然科学基金4项，国家重点实验室开放课题1项。荣获聊城大学年度优秀成果一等奖3项，二等奖1项，三等奖2项。

三、全部完成人排序及贡献

李玉超，张冬梅，战艳虎，王双双

四、全部完成单位及排序

聊城大学材料科学与工程学院

五、推广应用情况

本项目围绕石墨烯改性聚合物电介质材料，系统开展了从结构设计、性能调控到应用基础研究的一系列创新工作，成功开发出多种具有高介电常数、低损耗、高柔性和优异储能特性的复合材料，适用于5G/6G通信、柔性电子、新能源储能和电磁屏蔽等多个前沿领域。项目成果具有显著的应用潜力。例如，开发的非共价和共价修饰石墨烯/环氧树脂复合材料，介电常数显著提高、损耗显著降低，可广泛应用于高频通信基板、柔性电路板和嵌入式电容等电子元器件中，提升器件集成度和信号传输效率。石墨烯-无机粒子协同增强体系在PVDF基柔性电容器中表现出优越的储能性能，适用于脉冲功率系统和新能源汽车电子。基于3D陶瓷网络结构的全固态聚合物电解质材料离子电导率大幅提升，为下一代高安全性能全固态锂电池提供了新材料解决方案，极具市场潜力。此外，涡环结构多孔石墨烯材料在CO₂捕获和超级电容器中的应用，也为“双碳”目标下环保与能源存储提供了新材料途径。

六、经济效益和社会效益

经济效益方面，本项目开发的材料制备工艺简便、成本可控，已可控开发出几种高介电、低损耗电介质薄膜材料体系，具备良好的规模化生产前景。相关高性能电介质材料可部分替代进口材料，降低国内5G通信设备、新能源汽车和储能模块的生产成本，预计在三年内可实现中试推广和初步产业化，带动相关产业链升级，创造显著的经济价值。在国内外知名期刊发表高水平论文10篇，授权国家发明专利2项，指导学生参加山东省科创比赛荣获三等奖2项，二等奖1项。

社会效益方面，项目成果推动高频通信、柔性电子和绿色储能等技术发展，符合国家新材料战略和“双碳”目标需求。高安全性能固态电解质有助于解决电池燃烧爆炸等安全隐患，电磁屏蔽材料可提升电子设备抗干扰能力和个人信息安全性，多孔碳材料应用于环境治理和能源存储，对实现绿色可持续发展具有积极意义。此外，项目成果得到了国内外学术界的广泛认可和多次引用，提升了我国在高端聚合物复合材料领域的国际影响力。

七、提名中的主要知识产权、论文专著

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **知识产权名称** | **知识产权类别** | **发明人** | **知识产权人** | **知识产权号** | **授权日期** | **发明专利****有效状态** | **证明材料** | **第一完成人是否参与** | **第一完成单位是否参与** |
| **1** |  一种聚合物储能电介质材料及其制备方法 | 发明专利 | 李玉超；杨永志；张冬梅；邵强；许艳峰 | 李玉超 | ZL 2024 1 0119541.X | 2024.8.2 | 有效 | 附件11-1 | 是 | 是 |
| **2** | 一种具有低接触电阻的金属纳米线涂层/聚合物复合材料的制备方法 | 发明专利 | 战艳虎；郝雪卉；孟艳艳；王玉瑶；张微； | 战艳虎 | ZL 112608506 B | 2022.11.15 | 有效 | 附件11-2 | 否 | 否 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **论文专著名称** | **发表刊物（出版社）** | **发表（出版）时间** | **作者（按刊物发表顺序）** | **证明材料对应附件** |
| 1 | Facile preparation, characterization and performance of noncovalently functionalized graphene/epoxy nanocomposites with poly(sodium 4-styrenesulfonate) | Composites Part A: Applied Science and Manufacturing | 2014-09-28 | Yuchao Li, Jianguo Tang, Linjun Huang, Yao Wang, Jixian Liu, Xiangcai Ge, Sie Chin Tjong, Robert Kwok Yiu Li, Laurence A. Belﬁore, | 附件11-3 |
| 2 | Dielectric properties of binary polyvinylidene fluoride/barium titanate nanocomposites and their nanographite doped hybrids | eXPRESS Polymer Letters | 2010-12-26 | Yuchao Li, Sie Chin Tjong, Robert Kwok Yiu Li | 附件11-4 |
| 3 | Fe3O4 decorated graphene/ poly(vinylidene ﬂuoride) nanocomposites with high dielectric constant and low dielectric loss | Composites Science and Technology | 2018-12-20 | Yuchao Li, Dongmei Zhang, Shuangshuang Wang, Yanhu Zhan, Jie Yin, Xuquan Tao, Xiangcai Ge, Sie Chin Tjong, Hong-Yuan Liu, Yiu Wing Mai | 附件11-5 |
| 4 | Enhanced electrochemical performance of solid PEO/LiClO4 electrolytes with a 3D porous Li6.28La3Zr2Al0.24O12 network | Composites Science and Technology | 2019-10-8 | Xuelian Fu, Yuchao Li\*, Chengzhu Liao, Weiping Gong, Mingyang Yang, Robert Kwok Yiu Li, Sie Chin Tjong, Zhouguang Lu\* | 附件11-6 |
| 5 | Fabrication of graphene millimeter-vortex ring with excellent absorption via solution dripping and in-situ reduction method | Chemical Engineering Journal | 2017-06-10 | Yanhu Zhan, Ning Yan, Yuchao Li, Yanyan Meng, Jie Wang, Ning Zhang, Qiang Yu, Hesheng Xia | 附件11-7 |
| 6 | Enhanced Dielectric and Energy Storage Capacity of Polymer Dielectrics via Reverse Infiltration of Poly(vinylidene fluoride)−Boron Nitride into a Three-Dimensional Barium Titanate Network | ACS applied electronic materials | 2024-08-02 | Dongmei Zhang, Yongzhi Yang, Xiaoqian Liu, Yuchao Li,\* Zhonggui Sun, Chengzhu Liao,\* and Jun-Wei Zha\* | 附件11-8 |
| 7 | Synergistic enhancement in permittivity and energy storage capacity of epoxy dielectrics via constructing continuous 3D BaTiO3 network collaborated with graphene oxide | Composites Communications | 2023-03-31 | Bi Xueqing; Xue Wenqing; Yang Yongzhi;Wang Zhen; Wang Zi; Li Yuchao;Zhan Yanhu;Li Wei;Han Weifang;Bo Ge;Ren Junwen;Zha Junwei | 附件11-9 |
| 8 | PMMA brush-modified graphene for flexible energy storage PVDF dielectric films | Composites Communications | 2022-11-14 | Wang Zhen; Xue Wenqing; Yang Yongzhi; Li Yuchao; Wang Shuangshuang; Zhan Yanhu; Li Wei; Hao Jigong; Zha Junwei; Liu Chen; Cao Yulin; Lu Zhouguang | 附件11-10 |
| 9 | Core-shell structured polyethylene glycol functionalized graphene for energy-storage polymer dielectrics: Combined mechanical and dielectric performances | Composites Science and Technology | 2020-07-03 | Li Yuchao; Bi Xueqing; Wang Shuangshuang; Zhan Yanhu; Liu Hong-Yuan; Mai Yiu-Wing; Liao Chengzhu;Lu Zhouguang; Liao Yaozu | 附件11-11 |
| 10 | Fabrication of a Flexible Electromagnetic Interference Shielding Fe3O4@Reduced Graphene Oxide/Natural Rubber Composite with Segregated Network. | Chemical Engineering Journal | 2018-03-15 | Zhan Yanhu; Wang Jian; Zhang Kaiye; Li Yuchao;Meng Yanyan; Yan Ning; Wei Wenkang;Peng Fubin;Xia Hesheng | 附件11-12 |