

2024 年度云南省科学技术奖公示

项目名称：能量转存材料与柔性传感器件的仿生构筑原理及方法

提名者：云南省教育厅

提名等级：2024 年度云南省自然科学一等奖

完成单位信息：吉林大学、哈尔滨工业大学、南京理工大学、云南开放大学

项目简介：

新材料与先进制造技术是世界科技的前沿，更是我国国民经济发展的重要战略支撑。构筑可与生命物质媲美的智能材料与功能器件一直是国内外科学界关注的热点。项目组针对上述领域的关键科学问题，运用工程仿生学思想，展开针对性的攻关，以细胞色素、电活性微生物、动物表皮和树木根系为仿生原型进行了深入的探索。形成了多尺度、多维度、多样性的系统化协同仿生思想，建立了跨尺度、跨维度、跨物种的抽象化融合仿生构筑策略，开创了跨越新材料、机械电子、物理化学、聚合物科学与工程仿生学等学科前沿交叉的创新方法，取得了以下四个方面的科学发现：

(1) 以电活性微生物——硫还原地杆菌 (*Geobacter sulfurreducens*) 作为仿生对象，开展对微尺度生物的仿生研究和纳米尺度生物大分子的仿生实践。设计开发了模仿细胞色素催化分子和细胞纳米线蛋白质丝导电分子的多维度分子仿生催化剂，并揭示了该类型催化剂的仿生机理；提出了“分子模块拓扑组装”的概念，推动了分子拓扑学在工程仿生学领域的发展，将“机械仿生”带入了纳米尺度和分子维度；创造性地把有机、无机相结合的前体制备方法与静电纺丝技术融合，跨尺度、跨维度地设计开发了一体化新型仿生催化基元与功能器件。

(2) 通过研究硫还原地杆菌胞外电子传递的构件与机理，利用多种构筑策略和创新方法设计开发了一系列功能仿生型微纳材料与器件，开创了多项“一步法”化学制备新方法，合成了石墨烯负载纳米银颗粒催化剂、高性能赝电容用单层二氧化锰纳米片、表面含氧基团和导电性可时空调控的光制石墨烯纳米片、耦合抗菌与膜蒸馏增强功能的银/聚吡咯等新材料。

(3) 从沙蚬表皮具有弹性模量、硬度呈连续变化以及自修复、可降解等特性获得仿生灵感，研发了功能型聚亚胺基智能仿生材料和电子皮肤。突破性的实现了聚亚胺在微尺度上的机械共混和分子尺度上的化学杂化，为仿生机械构件和柔性传感器件的开发及应用提供了研究策略与技术支撑。

(4) 从硫还原地杆菌纳米菌毛、树木根系和人类皮肤的结构和功能获得仿生启发, 运用跨尺度、跨物种的融合仿生策略, 构筑了多个柔性仿生混合系统, 实现了自然启发能源系统、脑机接口(神经信号传递)系统的拓展应用。

上述研究发现在世界范围内产生了广泛的学术影响, 被诺贝尔奖获得者 J. Fraser Stoddart 教授, 中国科学院院士张希教授、赵天寿教授, 著名科学家王中林院士、鲍哲南院士等数十位国内外顶尖学者在 Nature 系列、Science 系列、PNAS、Advanced Materials 系列、JACS 等 Nature Index 期刊和工程技术 TOP 期刊上正面引用和图文评述。

代表性论文专著目录:

- [1] Hongliang Sun, Kongliang Xu, Guolong Lu, Hongbin Lv, Zhenning Liu, Graphene-supported silver nanoparticles for ph-neutral electrocatalytic oxygen reduction, *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 2014, 13, 789-794.
- [2] Guolong Lu, Youlong Zhu, Kongliang Xu, Yinghua Jin, Zhiyong Jason Ren, Zhenning Liu, Wei Zhang, Metallated porphyrin based porous organic polymers as efficient electrocatalysts, *Nanoscale*, 2015, 7, 18271-18277.
- [3] Zhenning Liu, Kongliang Xu, Hang Sun, Shengyan Yin, One - Step Synthesis of Single - Layer MnO₂ Nanosheets with Multi - Role Sodium Dodecyl Sulfate for High - Performance Pseudocapacitors, *Small*, 2015, 11(18), 2182 - 2191.
- [4] Zhigao Zhu, Chenghan Ji, Lingling Zhong, Shuang Liu, Fuyi Cui, Hongliang Sun, Wei Wang, Magnetic Fe-Co crystal doped hierarchical porous carbon fibers for removal of organic pollutants, *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, 5, 18071-180801.
- [5] Jingjing Zhang, Wei Wang, Shijie You, Dianpeng Qi, Zhiyuan Liu, Dongmei Liu, Ming Ma, Fuyi Cui, Nanqi Ren, Xiaodong Chen. Photothermal janus anode with photosynthesis-shielding effect for activating low-temperature biological wastewater treatment, *Advanced Functional Materials*, 2020, 30(7), 1909432.1-1909432.10.
- [6] Xingfeng Lei, Yinghua Jin, Hongliang Sun, Wei Zhang. Rehealable imide-imine hybrid polymers with full recyclability, *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, 5, 21140-21145.
- [7] Ying Xu, Jiexiang Ma, Yu Han, Hongbo Xu, Yu Wang, Dianpeng Qi, Wei Wang, A simple and universal strategy to deposit ag/polypyrrole on various substrates for enhanced interfacial solar evaporation and antibacterial activity, *Chemical Engineering Journal*, 2020, 384, 123379.
- [8] Zhigao Zhu, Lingling Zhong, Xuemei Chen, Wei Zheng, Jinlong Zuo, Gao feng Zeng, Wei Wang. Monolithic and self-roughened Janus fibrous membrane with superhydrophilic/omniphobic surface for robust antifouling and antiwetting membrane distillation. *Journal of membrane science*, 2020, 615, 118499.

完成人信息：

序号	姓名	工作单位（完成单位）	职称	职务
1	孙洪亮	云南开放大学（吉林大学）	副教授	云南省仿生科学与工程 国际联合实验室主任
2	王威	哈尔滨工业大学（哈尔滨工业大学）	教授	-
3	刘镇宁	吉林大学（吉林大学）	教授	吉林大学仿生科学与工程 研究院院长
4	齐殿鹏	哈尔滨工业大学（哈尔滨工业大学）	教授	-
5	朱志高	南京理工大学（南京理工大学）	副教授	-
6	张敬敬	深圳市水务（集团）有限公司（哈尔 滨工业大学）	博士后	
7	吕洪斌	云南开放大学（云南开放大学）	副教授	云南乡村振兴教育学院 信息技术科科长