

# 陕西省自然科学奖公示信息

(2025年度)

## 一、项目基本情况

项目名称	微纳传感结构的多场耦合协同增敏机制与调控方法
主要完成人	陈小明、陈小亮、张洁、李宝童、王春慧、郭美玲
主要完成单位	西安交通大学、西安理工大学

## 二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
<p>提名意见：</p> <p>该项目针对柔性传感器敏感性能强化机制不清、调控方法内在规律不明的系列瓶颈，系统开展了柔性功能敏感材料强化机制与调控方法研究，重点围绕柔性压电传感器敏感性能强化的共性基础科学问题，构建了跨尺度力电耦合电荷传导模型，揭示了柔性压电敏感材料的电荷传输机理，创建了敏感性能强化的核心理论和技术方法，并取得了系统性创新成果：（1）揭示了压电功能组分的电荷传输与损耗机制；（2）阐明了压电材料敏感性能的几何应变约束强化机理。（3）揭示了柔性敏感材料力-电协同增强机制。该项目 5 篇代表性论文均发表于柔性电子、微纳制造等领域的 TOP 期刊，1 篇代表性论文入选期刊封面论文。代表作得到了国内外学者的广泛关注。项目的理论研究成果形成了面向柔性功能材料的微纳制造技术，开发了多种类型高性能柔性功能器件，产生了显著的社会经济效益。特此推荐。</p> <p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

## 二、提名意见（适用于专家提名）

姓    名			
专家类型	<input type="checkbox"/> 国家最高科学技术奖获得者 <input type="checkbox"/> 中国科学院院士 <input type="checkbox"/> 中国工程院院士 <input type="checkbox"/> 国家科学技术奖获奖项目第一完成人（需注明获奖等次） <input type="checkbox"/> 省最高科学技术奖获奖人（或 xxxx 年省科学技术最高成就奖、xxxx 年基础研究重大贡献奖获奖人） <input type="checkbox"/> Xxxx 年省科学技术奖第一完成人（需注明获奖等次）	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
责任专家	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
提名意见：			
<p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

### 三、项目简介

该项目属微纳制造、柔性传感器科学领域。

高灵敏度柔性传感器是发展柔性可穿戴电子及智能电子皮肤的关键支撑，在医疗健康监测、重大装备运维、智能机器人及消费电子等领域有重要应用前景。柔性传感器敏感性能是衡量传感器的关键指标，深入理解内在敏感机制及影响规律是提升敏感性能的核心要素。为此，该项目在国家自然科学基金重大研究计划等项目的持续支持下，重点围绕柔性压电传感器敏感性能强化的共性基础科学问题，构建了跨尺度力电耦合电荷传导模型，揭示了柔性压电敏感材料的电荷传输与损耗机理，创建了敏感性能强化的核心理论和技术方法。主要开展了以下三方面工作：（1）揭示了压电功能组分及其网络的电荷传输与损耗机理；（2）发现了压电材料敏感性能的几何应变约束强化效应；（3）揭示了柔性压电材料电场-结构协同增强机制。本项目在柔性压电传感器敏感材料强化机制的科学发现，形成了柔性压电传感器敏感性能强化和调控的理论体系，产生了广泛的学术影响。

## 四、客观评价

### 发现点 1：在电荷传输与损耗机制、电场调控方法的突破

被多位专家评价：“微结构对电介质材料电荷转移起到了调控的作用”；“绝缘层包覆能抑制电荷的转移”；“是创新的压电传感器，展现出惊人的输出增强效果”。

### 发现点 2：在结构约束敏感性能强化机制的突破

被多位专家评价：“独特的传感构型实现了高效率力-电转化”，“建造微结构的拓扑结构可以进一步优化以增大电-机械响应”；“具有更高精度感知力分布的能力，制造方法具有大面积、高精度、高效率的优点”；“大规模制造的压电传感阵列对未来可穿戴电子的发展至关重要”。

### 发现点 3：在电场-结构协同敏感机制调控方法的突破

被多位专家评价：“采用结构化压印方法实现了独特 3D 功能材料结构的制造”；“提出了复合材料微纳结构化的策略制备自驱动传感器”；“采用规模化的制造工艺实现了微纳复合结构的制造，获得了高鲁棒性、拉伸性”。

**五、代表性论文专著目录**  
(不超过 8 条, 其中代表性论文不超过 5 篇, 代表性专著不超过 3 部)

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	他引总次数	检索数据库	知识产权是否归国内所有
1	Improving actuation strain and breakdown strength of dielectric elastomers using core-shell structured CNT-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Composites Science and Technology	Jie Zhang, Fengwan Zhao, Yang-jian Zuo, Yijun Zhang, Xiaoming Chen, Bo Li, Nan Zhang, Gang Niu, Wei Ren, Zuoguang Ye	2020 年 200 卷 1083 93 页	2020-11-10	Xiao ming Chen , Zuoguang Ye	Jie Zhang	张洁, 赵枫婉, 左养建, 张易军, 陈小明, 李博, 张楠, 牛刚, 任巍	30	We b of scie n ce 核心合集	是
2	High-performance piezoelectric nanogenerator based on microstructured P(VDF-TrFE)/BNN Ts composite for energy harvesting and radiation protection in space	Nano Energy	Shibo Ye, Can Cheng, Xiaoming Chen, Xiaoliang Chen, Jinyou Shao, Jie Zhang, Hanwen Hu, Hongmiao Tian, Xiangming Li, Li Ma, Wenbao Jia	2019 年 60 卷 701-714 页	2019-06-01	Xiao ming Chen , Jinyou Shao, Wenbao Jia	Shibo Ye	叶世博, 程璨, 陈小明, 陈 小亮, 邵金友, 张洁, 田 洪淼, 李祥明, 马莉, 贾文宝	110	We b of scie n ce 核心合集	是

3	Scalable Imprinting of Flexible Multiplexed Sensor Arrays with Distributed Piezoelectricity-Enhanced Micropillars for Dynamic Tactile Sensing	Advanced Materials Technologies	Xiaoliang Chen, Jinyou Shao, Hongmiao Tian, Xiangming Li, Chunhui Wang, Yongsong Luo, Sheng Li	2020 年 5 卷 2000 046 页	2020-05-05	Jinyou Shao	Xiaoliang Chen	陈小亮, 邵金友, 田洪淼, 李祥明, 王春慧, 罗永松, 李胜	50	Web of science 核心合集	是
4	3D printed piezoelectric BNNTs nanocomposites with tunable interface and microarchitectures for self-powered conformal sensors	Nano Energy	Jie Zhang, Shibo Ye, Honglei Liu, Xiaoliang Chen, Xiaoming Chen, Baotong Li, Wanhong Tang, Qingcheng Meng, Peng Ding, Hongmiao Tian, Xiangming Li, Yanfeng Zhang, Peijun Xu, Jinyou Shao	2020 年 77 卷 1053 00 页	2020-11-01	Xiaoming Chen, Baotong Li, Jinyou Shao	Jie Zhang, Shibo Ye, Honglei Liu	张洁, 叶世博, 刘宏磊, 陈小亮, 陈小明, 李宝童, 唐万红, 孟庆成, 丁鹏, 田洪淼, 李祥明, 张彦峰, 许培俊, 邵金友	50	Web of science 核心合集	是

5	Transparent and stretchable bimodal triboelectric nanogenerators with hierarchical micro-nanostructures for mechanical and water energy harvesting	Nano Energy	Xiaoliang Chen, Jiaqing Xiong, Kaushik Parida, Meiling Guo, Cheng Wang, Chao Wang, Xiangming Li, Jinyou Shao, Pooi See Lee	2019年64卷1039-1044页	2019-10-01	Jinyou Shao, Pooi See Lee	Xiaoliang Chen	陈小亮, 郭美玲, 王成, 王超, 李祥明, 邵金友	42	Web of Science 核心合集	是
6											
7											
8											
合 计									282		
补充说明（视情填写）：											



## 六、主要完成人情况表

姓 名	陈小明	排 名	1
行政职务	副院长		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 项目的提出者和总负责人，柔性传感电子的多场耦合敏感强化机制与调控方法的提出者。为代表作[1]、[2]、[4]的通讯作者/共同通讯作者，是所有代表作中核心概念（发现点 1-3）的提出者、研究方案的构思者、结果的主要分析者、研究进程的指导者、论文的主要撰稿人。			

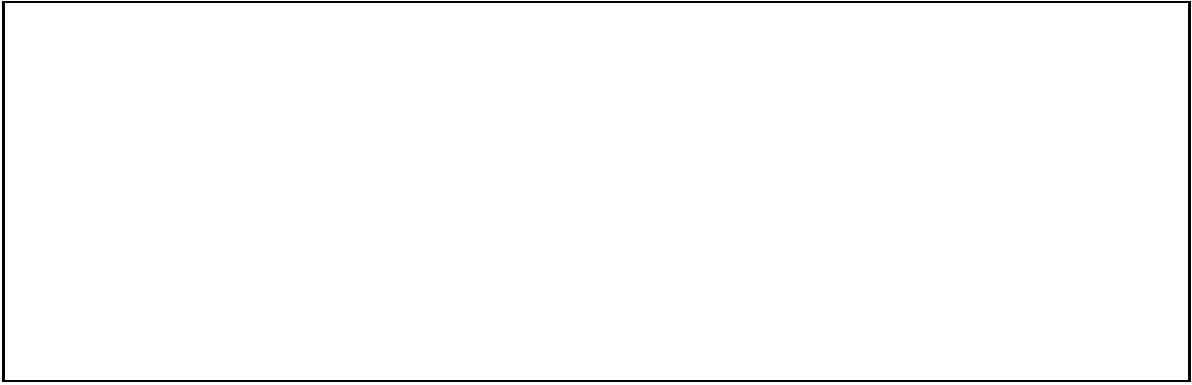
姓 名	陈小亮	排 名	2
行政职务	院长助理		
技术职称	副教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 提出了功能结构成形控性的电场调控方法，建立了压电材料电致流动/取向的流体动力学成形过程的通用数值耦合模型，揭示了电场作用下的剪切流变和分子极化对功能组分取向的交叉作用机制（科学发现点 3），是代表作[3]、[5]的第一作者。			

姓 名	张洁	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>提出了功能组分表面包覆式核-壳结构调控电荷的方法，阐明了压电功能组分的电荷传输与损耗机制（科学发现点 1），是代表作[1]、[4]的第一作者。</p>			

姓 名	李宝童	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>建立了压电材料拓扑优化模型，分析优化了结构参数对压电性能的增强机制科学发现点 2），是代表作[4]的共同通讯作者。</p>			

姓 名	王春慧	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 开发了压电增强纳米结构的大面积压印技术，分析测试了微纳结构化压电器件性能（科学发现点 2），是代表作[3]的共同作者。			

姓 名	郭美玲	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安理工大学		
完成单位	西安理工大学		
对本项目主要学术贡献： 分析了电场作用下复合微纳结构的成形机制，制造测试了微纳多级复合结构增强的高性能发电器件（科学发现点 3），是代表作[5]的共同作者。			



## 七、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>西安交通大学对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：西安交通大学承担了支撑本项目的纳米制造重大研究计划集成项目、优秀青年基金项目、青年基金项目等 3 项课题，在项目的申请、管理、具体实施过程中，西安交通大学财务处、科研院给予了积极的协助、检查、监督。项目依托于西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室，在“985”计划和“211”计划的支持下，重点实验室近 10 年来总投资 6000 余万元建立了“微纳制造研究中心”。项目完成人均为该中心的研究人员，该中心对本项目的基础科学现象的表征、测试、分析给与了全力支持，有力支撑了本项目的顺利开展。</p>	

单位名称	西安理工大学
<p>西安理工大学对本项目的贡献：机械与精密仪器工程学院建有教育部数控机床和装备机床重点实验室、陕西省机械制造装备重点实验室等创新研究平台，具有良好的软硬件条件。项目完成人依托重点实验室的仪器设备，顺利开展了项目相关研究内容，完成了相关指标的表征和测试分析工作，为本项目相关成果提供了重要支撑。</p>	

## 完成人合作关系说明

第一完成人陈小明教授、第二完成人陈小亮以及第五完成人王春慧为西安交通大学机械工程学院微纳制造与智能感知研究团队成员；第三完成人张洁为西安交通大学电信学部教师，与微纳制造与智能感知研究团队属于研究合作关系，共同发表代表作[1]、[2]、[4]；第四完成人李宝童为西安交通大学机械工程学院教师，与微纳制造与智能感知研究团队属于研究合作关系，共同发表代表作[4]；第六完成人郭美玲为西安理工大学教师，与微纳制造与智能感知研究团队属于研究合作关系，共同发表代表作[5]。

陈小明，项目的提出者和总负责人，柔性传感电子的多场耦合敏感强化机制与调控方法的提出者。为代表作[1]、[2]、[4]的通讯作者/共同通讯作者，是所有代表作中核心概念（发现点 1-3）的提出者、研究方案的构思者、结果的主要分析者、研究进程的指导者、论文的主要撰稿人。

陈小亮，20011 至 2018 年在课题组硕博连读，2018 年在课题组留校任教，提出了功能结构成形控性的电场调控方法，建立了压电材料电致流动/取向的流体动力学成形过程的通用数值耦合模型，揭示了电场作用下的剪切流变和分子极化对功能组分取向的交叉作用机制（科学发现点 3），是代表作[3]、[5]的第一作者。

张洁，2012 年在西安交通大学任教，提出了功能组分表面包覆式核-壳结构调控电荷的方法，阐明了压电功能组分的电荷传输与损耗机制（科学发现点 1），是代表作[1]、[4]的第一作者。

李宝童，2007 至 2013 年在西安交通大学机械工程学院博士在读，2013 年留校任教，建立了压电材料拓扑优化模型，分析优化了结构参数对压电性能的增强机制（科学发现点 2），是代表作[4]的共同通讯作者。

王春慧，20011 至 2017 年在课题组博士在读，2017 年在课题组留校任教，开发了压电增强纳米结构的大面积压印技术，分析测试了微纳结构化压电器件性能、（科学发现点 2），是代表作[3]的共同作者。

郭美玲，2011 至 2016 年在在西安交通大学硕博连读，2018 年在西安理工大学任教，分析了电场作用下复合微纳结构的成形机制，制造测试了微纳多级复合结构增强的高性能发电器件（科学发现点 3），是代表作[5]的共同作者。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/ 项目排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	论文合著	陈小明/1、 张洁/3、	2020 年	Improving actuation strain and breakdown strength of dielectric elastomers using core-shell structured CNT-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	代表性论文 1
2	论文合著	陈小明/1、 陈小亮/2、 张洁/3	2019 年	High-performance piezoelectric nanogenerator based on microstructured P(VDF-TrFE)/BNNTs composite for energy harvesting and radiation protection in space	代表性论文 2
3	论文合著	陈小亮/2、 王春慧/5	2020 年	Scalable Imprinting of Flexible Multiplexed Sensor Arrays with Distributed Piezoelectricity-Enhanced Micropillars for Dynamic Tactile Sensing	代表性论文 3
4	论文合著	陈小明/1、 陈小亮/2、 张洁/3、李 宝童/4	2020 年	3D printed piezoelectric BNNTs nanocomposites with tunable interface and microarchitectures for self-powered conformal sensors	代表性论文 4
5	论文合著	陈小亮/2、 郭美玲/6	2019 年	Transparent and stretchable bimodal triboelectric nanogenerators with hierarchical micro-nanostructures for mechanical and water energy harvesting	代表性论文 5