**项目公示信息**

1. **申报的奖种及等级：陕西省科学技术进步奖 二等奖**
2. **项目名称：铁电纳米陶瓷阵列及其异质界面调控聚合物抗氧化关键技术及应用**
3. **项目完成人：胡登卫、王艳、赵卫星、顾洪溪、马蓉、王红英、张法明、杨化民、姜丽、罗天飞**
4. **项目完成单位：宝鸡文理学院、陕西长美科技有限责任公司、西安重装渭南橡胶制品有限公司、宝鸡市万合实业有限公司**

**五、项目简介**

本项目立足于异质外延界面构建高性能纳米复合电子陶瓷等前期工作基础，历经7年系统研发与应用验证，首创铁电纳米陶瓷阵列及其异质界面协同调控聚合物综合性能的核心技术体系。聚合物材料因低密度、高绝缘、优异柔韧性及可加工性，已成为工程领域不可或缺的基础材料，但其服役过程中面临的抗氧化失效、耐高温不足及机械性能衰减等问题，长期制约着高端应用拓展。铁电纳米陶瓷作为一类具有**自发极化特性**的信息功能材料，也具有**压电性能**，可实现机械能与电能的可逆转换，为解决上述瓶颈提供了全新思路。项目揭示了铁电纳米陶瓷与聚合物的界面作用机制：当铁电纳米颗粒均匀分散于聚合物基体时，其自发极化或外力诱导极化产生的局域电场，可通过捕获自由基、提高电子转移能垒实现抗氧化性能提升；颗粒构建的连续热传导网络与表面电荷对热解自由基的捕获作用协同，显著抑制热氧降解，增强材料热稳定性；极化场对聚合物分子链的束缚效应与异质界面增强作用叠加，有效限制链段滑移与取向，大幅提升机械强度。基于上述机制，项目开发了三项关键技术：一是水热法制备高纵横比二维钙钛矿铁电纳米陶瓷，优化了铁电性能；二是缓冲梯度层包覆技术，提升了陶瓷与聚合物的界面耦合效率；三是挤压/连续流延成型技术，实现了铁电纳米陶瓷在聚合物中的均匀分布与阵列化排布，成功制备铁电纳米陶瓷@聚合物均相复合材料。项目获授权发明专利15项（其中核心专利7项），涵盖铁电纳米陶瓷制备、界面调控及复合工艺等关键技术环节，形成完整知识产权体系。项目技术已成功应用于聚偏氟乙烯、聚氨酯、聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯等系列聚合物改性，显著提升了产品的抗氧化性、耐高温性及机械强度，助力企业形成核心竞争力，提高了产品附加值与产值，产生了显著的经济效益，为聚合物材料高端化应用提供了重要技术支撑。

**七、主要知识产权和标准规范目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 专权利人 | 发明人 |
| 1 | 发明  专利 | 一种先兆性 SrTiO3/CaTiO3复合储能陶瓷的制备方法 | 中国 | CN 108101532 B | 2021.2.23 | 4265967 | 宝鸡文理学院 | 胡登卫;康芳;牛小梅;张珍;苗磊;王艳;凡明锦;王晓玲  杨得锁 |
| 2 | 发明  专利 | 一维高性能BaTiO3/SrTiO3纳米复合介观晶体的可控制备方法 | 中国 | CN 109825872 B | 2020.9.25 | 4005880 | 宝鸡文理学院 | 胡登卫;苗磊;张珍;李立杰;姚明刚;刘杰;荆飞;张瑞晨;赵立芳;凡明锦 |
| 3 | 发明  专利 | 一种择优取向性BaTiO3/ SrTi O3纳米复合陶瓷的制备方法 | 中国 | CN 106478089 B | 2019.3.22 | 3302190 | 宝鸡文理学院 | 胡登卫;张杭燎;牛晓梅:翟乐;王艳:王冬梅;凡明锦  杨得锁:王宏社;赵立芳;郭进宝 |
| 4 | 发明  专利 | 一种适用于可穿戴设备的具有层状堆垛结构的纳米复合压电发生器制备方法 | 中国 | CN 106910819 B | 2019.2.19 | 3257884 | 宝鸡文理学院 | 胡登卫;姚方毅;徐振华;苗磊:张珍;杨水龙;吕宏强  温普红;赵立芳 |
| 5 | 发明  专利 | 一种细晶储能介电陶瓷材料及其制备方法 | 中国 | CN 109448991 B | 2020.9.8 | 3977830 | 宝鸡文理学院 | 马蓉;崔斌;胡登卫;赵微微;王艳 |
| 6 | SCI  论文 | Horizontally-oriented barium titanate@polydomine/polyimide  nanocomposite films for high-temperature energy storage | 中国 | 662:1052–1062 | 2024.2.16 | Journal of Colloid and Interface Science | 宝鸡文理学院；西北大学 | 袁沛梅;薛瑞璇;王妍;苏瑶;赵波;武琛理;赵卫星;马蓉;胡登卫 |
| 7 | SCI  论文 | Enhanced energy density for 3D BaTiO3/MF/PVDF nanocomposites in low  electric strength | 中国 | 37:102729 | 2023.2.11 | Surfaces and Interfaces | 宝鸡文理学院；陕西长美科技有限责任公司；东京大学 | 苏瑶;赵波;王艳;李文奕;袁沛梅;薛瑞璇;王红英;张法明;张文雄;赵卫星;马蓉;胡登卫 |
| 8 | SCI  论文 | Digital light processing 3D printing of barium titanate/1,6‑ethylene  glycol diacrylate/polyethylene glycol (400) diacrylate nanocomposites | 中国 | 6:41 | 2023.1.12 | Advanced Composites and Hybrid Materials | 宝鸡文理学院；东京大学；莫勒图沃大学；西安交通大学 | 陈诚;王玺;王艳;顾洪溪;赵卫星;Galhenage Asha Sewvandi;张文雄;王波;马春蕊;刘明;胡登卫 |
| 9 | 发明  专利 | 一种分体式宽频钢轨阻尼减振降噪器 | 中国 | CN 110106750 B | 2024.23.23 | 6737868 | 陕西长美科技有限责任公司 | 张法明;侯煜;李晓云;王红英;陈刚;杨铁梅;李强  郭俊峰 |
| 10 | 发明  专利 | 一种煤矿用整芯阻燃输送带覆盖胶及制备方法 | 中国 | CN 118496592 B | 2024.10.15 | 7440043 | 西安重装渭南橡胶制品有限公司 | 杨化民;姜丽;王军龙;张凡;李琳晓 |

**八、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 技术  职务 | 行政  职称 | 工作  单位 | 完成  单位 | 对本项目贡献 |
| 胡登卫 | 1 | 教授 | 处长 | 宝鸡文理学院 | 宝鸡文理学院 | 负责项目整体研究方案的创新构想与实施，建立了铁电纳米陶瓷阵列及其异质界面形成模型及其应用系统，研究铁电纳米陶瓷与聚合物界面耦合机制。 |
| 王艳 | 2 | 教授 | 无 | 宝鸡文理学院 | 宝鸡文理学院 | 提出协同调控聚合物综合性能策略，验证策略实施效果。 |
| 赵卫星 | 3 | 副教授 | 无 | 宝鸡文理学院 | 宝鸡文理学院 | 研究铁电纳米陶瓷的制备方法，建立水热法制备高纵横比二维钙钛矿铁电纳米陶瓷新方法。 |
| 顾洪溪 | 4 | 副教授 | 无 | 宝鸡文理学院 | 宝鸡文理学院 | 提出了挤压/连续流延成型技术，实现了铁电纳米陶瓷在聚合物中的均匀分布与阵列化排布，建立了铁电纳米陶瓷@聚合物均相复合材料新方法。 |
| 马蓉 | 5 | 副教授 | 无 | 宝鸡文理学院 | 宝鸡文理学院 | 提出缓冲梯度层包覆技术，提升了陶瓷与聚合物的界面耦合效率。 |
| 王红英 | 6 | 高级工程师 | 新品研发经理 | 陕西长美科技有限责任公司 | 陕西长美科技有限责任公司 | 研究聚氨酯材料聚合制备及其纳米陶瓷填料综合改性，改善其力学性能和抗氧化性能，应用于阻尼减振降噪器。 |
| 张法明 | 7 | 高级工程师 | 总工程师 | 陕西长美科技有限责任公司 | 陕西长美科技有限责任公司 | 提出纳米陶瓷改性聚氨酯材料策略，改善阻尼减振降噪器性能，组织实施产业化。 |
| 杨化民 | 8 | 高级工程师 | 董事长 | 西安重装渭南橡胶制品有限公司 | 西安重装渭南橡胶制品有限公司 | 提出了聚氯乙烯糊树脂复合聚合物的阻燃拉伸性能改进策略，研究生产聚氯乙烯糊树脂复合聚合物阻燃输送带新工艺并产业化。 |
| 姜丽 | 9 | 高级工程师 | 总经理 | 西安重装渭南橡胶制品有限公司 | 西安重装渭南橡胶制品有限公司 | 研究非金属纳米陶瓷复合织物的制备及其对聚氯乙烯糊树脂复合聚合物的抗氧化阻燃拉伸影响。 |
| 罗天飞 | 10 | 高级工程师 | 董事长 | 宝鸡市万合实业有限公司 | 宝鸡市万合实业有限公司 | 研究铁电纳米陶瓷改性聚丙烯/聚乙烯料韧性、柔性、力学强度，实现了技术中试和产业化。 |

**九、完成人合作关系说明**

**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 | 合作起始时间 | 合作完成时间 | 合作成果名称 |
| 1 | 共同知识产权 | 胡登卫/1  王艳/2 |  | 2021.2.23 | 一种先兆性 SrTiO3/CaTiO3复合储能陶瓷的制备方法 |
| 2 | 共同知识产权 | 胡登卫/1 |  | 2020.7.24 | 一维高性能BaTiO3/SrTiO3纳米复合介观晶体的可控制备方法 |
| 3 | 共同知识产权 | 胡登卫/1  王艳/2 |  | 2019.3.22 | 一种择优取向性 BaTiO3/SrTiO3纳米复合陶瓷的制备方法 |
| 4 | 共同知识产权 | 胡登卫/1  王艳/2  马蓉/5 |  | 2020.9.8 | 一种细晶储能介电陶瓷材料及其制备方法 |
| 5 | 论文合著 | 胡登卫/1  赵卫星/3  马蓉/5 |  | 2024.2.16 | Horizontally-oriented barium titanate@polydomine/polyimide  nanocomposite films for high-temperature energy storage |
| 6 | 论文合著 | 胡登卫/1  赵卫星/3  马蓉/5  王红英/6张法明/7 |  | 2023.2.11 | Enhanced energy density for 3D BaTiO3/MF/PVDF nanocomposites in low  electric strength |
| 7 | 论文合著 | 胡登卫/1  王艳/2  赵卫星/3  顾洪溪/5 |  | 2023.1.12 | Digital light processing 3D printing of barium titanate/1,6‑ethylene  glycol diacrylate/polyethylene glycol (400) diacrylate nanocomposites |
| 8 | 共同知识产权 | 王红英/6张法明/7 |  | 2024.23.23 | 一种分体式宽频钢轨阻尼减振降噪器 |
| 9 | 共同知识产权 | 杨化民/8姜丽/9 |  | 2024.10.15 | 一种煤矿用整芯阻燃输送带覆盖胶及制备方法 |

**十、主要完成单位及创新推广贡献**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 排 名 | 完成单位 | 创新推广贡献 |
| 1 | 宝鸡文理学院 | 构建了铁电纳米陶瓷阵列及其异质界面形成模型及应用系统；建立了铁电纳米陶瓷制备方法及其与聚合物的界面耦合机制；提出协同调控聚合物综合性能的策略，并验证了该策略的实施效果。创新研发缓冲梯度层包覆技术与挤压/连续流延成型技术，实现了铁电纳米陶瓷在聚合物中的均匀分布与阵列化排布，建立了铁电纳米陶瓷@聚合物均相复合材料的制备新方法。探究了基于局部电场捕获自由基机制，铁电纳米陶瓷的微观结构和空间分布对聚合物抗氧化性与柔性的影响。积极与企业合作，推进技术成果产业化应用。 |
| 2 | 陕西长美科技有限责任公司 | 开展了聚氨酯材料制备及纳米陶瓷填料综合改性研究，改善了材料力学性能与抗氧化性，制备出了尼减振降噪器，为轨道交通减震降噪领域做出贡献。 |
| 3 | 西安重装渭南橡胶制品有限公司 | 研究非金属纳米陶瓷复合织物的制备及其对聚氯乙烯糊树脂复合聚合物的抗氧化阻燃拉伸影响，开发出新型整芯阻燃输送带。 |
| 4 | 宝鸡市万合实业有限公司 | 研究了铁电纳米陶瓷改性聚丙烯/聚乙烯材料韧性、柔性、力学强度，实现了技术中试和产业化。 |

**完成人合作关系说明**

宝鸡文理学院胡登卫（第1完成人）、王艳（第2完成人）、赵卫星（第3完成人）、顾洪溪（第4完成人）、马蓉（第5完成人）

共同合作提出和验证了铁电纳米陶瓷阵列及其异质界面协同调控聚合物综合性能的核心技术体系，获得了铁电纳米陶瓷在改善聚合物抗氧化性、界面耦合、机械强度等方面的规律，其研究成果发表了多项发明专利与论文并获奖。

陕西长美科技有限责任公司王红英（第6完成人）、张法明（第7完成人），西安重装渭南橡胶制品有限公司杨化民（第8完成人）、姜丽（第9完成人），以及宝鸡市万合实业有限公司罗天飞（第10完成人），通过与宝鸡文理学院科研项目研究和技术开发的方式，进行了长期紧密合作，开展了铁电纳米陶瓷改性聚合物综合性能及其应用研究，建立了铁电纳米陶瓷@聚合物均相复合材料的制备新方法，揭示了局部电场捕获自由基对聚合物抗氧化性与柔性的影响机制，完成了新型聚氨酯材料、聚氯乙烯糊树脂材料、聚丙烯/聚乙烯材料开发与生产。

1. **应用情况**

聚合物材料因低密度、高绝缘、优异柔韧性及可加工性，已成为工程领域不可或缺的基础材料，但其服役过程中面临的抗氧化失效、耐高温不足及机械性能衰减等问题，长期制约着高端应用拓展。为此，项目开发了三项关键技术：一是水热法制备高纵横比二维钙钛矿铁电纳米陶瓷，优化了铁电性能；二是缓冲梯度层包覆技术，提升了陶瓷与聚合物的界面耦合效率；三是挤压/连续流延成型技术，实现了铁电纳米陶瓷在聚合物中的均匀分布与阵列化排布，成功制备铁电纳米陶瓷@聚合物均相复合材料。项目技术已成功应用于聚偏氟乙烯、聚氨酯、聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯等系列聚合物改性，显著提升了产品的抗氧化性、耐高温性及机械强度，助力企业形成核心竞争力，提高了产品附加值与产值，产生了显著的经济效益，为聚合物材料高端化应用提供了重要技术支撑。项目理论及技术成果先后应用于化工、材料领域多个企业，效益显著，项目研究成果具有广阔的推广和应用前景。

**十二、客观评价**

本项目在国家自然科学基金、陕西省自然科学基金、陕西省教育厅自然科学专项、校企合作课题等项目支撑下，累计发表学术论文30余篇，已获授权发明专利 15件，培养硕士研究生 20余名。相关研究成果发表在Advanced Functional Materials、Nano Energy、Chemistry of Materials、Journal of Materials Chemistry A等期刊，评审专家认为研究成果具有较强的创新性，获得了国内外学者大量引用，评审专家一致认为该研究成果具有较大的创新性和应用价值。