

2025 年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

一、项目名称

纳米晶激光植入低碳能源器件及载流子动力学调控机制研究

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

提名意见：

高性能低碳能源器件的构筑是实现“双碳”战略的关键途径，而其性能及稳定性在根本上受制于器件内部电子、空穴、离子等载流子的动力学调控。该项目面向“双碳”战略对低碳能源器件关键性能指标的提升需求，在国家重点研发计划、国家自然科学基金（优青/面上/青年）、国家海外高层次人才计划等 15 项国家级项目的资助下，在国际上率先开展了纳米晶激光植入低碳能源器件创新研究，在 *Sci. Adv.*、*Nat. Commun.*、*Adv. Mater.*、*Angew. Chem. Int. Ed.*、*JACS* 等重要期刊发表论文 73 篇（领域顶刊 27 篇），授权中国发明专利 12 件（转让 3 件），部分成果在陕西华秦、陕西瑞智源、华智雄材等陕西省高新能源技术企业实现应用，为低碳能源器件研发与产业化提供了“纳米晶激光植入”独特思路、原理及技术创新体系。

该项目突破了纳米晶在单一/混合溶剂的可控激光制造难题，澄清了纳米晶-母体材料异质界面调控的载流子动力学演变规律，实现了钙钛矿光伏环境稳定性、钒酸铋双阳极光电流密度、快充钠金属电池高容量-超长稳定循环等低碳能源器件关键性能指标的引领性突破，被染料敏化太阳能电池之父 Mickel Gratzel 教授、钙钛矿太阳电池三大奠基人 Mickel Gratzel/Henry J. Snaith/Nam-Gyu Park 教授、MOF 材料开创者 Susumu Kitagawa 教授、原子转移自由基聚合奠基人 Krzysztof Matyjaszewski 教授等国际学术大师正面评价，发展的反胶体溶液技术被美国普渡大学等 10 余所国际知名科研机构用作基础工艺，产生了重要国际影响。

提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

三、项目简介

我国“双碳”战略对第三代光伏、绿氢制备等低碳能源技术的光电转化效率、光氢转换效率等关键性能指标提升提出了迫切需求。纳米晶作为低碳能源器件中独特的电子结构调控单元/功能单元，在器件功能层的载流子动力学调控、体相/界面缺陷调制、界面物质及能量转移等关键环节具有广泛应用，是低碳能源器件能量转换效率及工作稳定性提升的重要支撑材料，但极大受限于其在特定溶剂体系的定制化制备及其在母体功能层的精准植入及可控锚定。

该项目在国家重点研发计划、国家自然科学基金（优青/面上/青年）、国家海外高层次人才计划等 15 项国家级项目的资助下，围绕纳米晶植入复合材料及器件中载流子动力学调控难题，发展了一系列传统湿化学方法难以制备的亚稳纳米晶调控单元的液相激光制造技术，形成了基于纳米晶激光植入复合材料的普适构筑技术体系，构筑了纳米晶植入钙钛矿太阳能电池、光电化学制氢及电化学储能器件等一系列高性能低碳能源器件，为低碳能源关键材料与器件研发提出了“纳米晶激光植入”独特思路、技术及原理创新体系。主要研究内容包括：

（1）纳米晶调控单元的液相激光制造：针对多元素化合物难以纳米化难题，提出了从传统湿化学方法的“自下而上”到基于光热蒸发的“自上而下”创新思路，实现了单一溶剂及混合溶剂体系中多元金属氧化物（如高熵陶瓷）、多元合金（如高熵合金）等多元胶体纳米晶的普适液相激光制造，获得的多元纳米液态金属在国际上首次突破 10 纳米尺寸极限并被 7 名液态金属领域国际知名学者联合撰文用“令人瞩目的降低至 10 nm 以下”高度评价。

（2）纳米晶调控单元的普适激光植入：针对长期困扰胶体纳米晶半导体器件因纳米晶配体保护而导致表面失活技术难题，提出了从传统湿化学方法的“配体保护”到激光辐照衍生的“母体保护”创新思路，普适构建了母体晶内、晶界可控植入的主客体复合材料体系，发展的反胶体溶液技术因其操作的简便性及普适性已被美国普渡大学等 10 余所国际知名科研机构的同行用作基础工艺用于太阳能电池的技术升级。

（3）纳米晶激光植入低碳能源器件：针对纳米晶半导体器件用关键活性材料及器件表界面的载流子调控共性瓶颈问题，提出了将纳米晶的“母体保护表面”用于构筑“有效异质界面”的创新思路，揭示了“电子桥”、“电子水库”、“体相异/同质结”等纳米晶-植入母体主客体相互作用的电子结构调控新机制，纳米晶激光植入光电化学储能器件被液相脉冲激光烧蚀领域 8 位国际知名学者联合撰文高度评价为“性能突破至该材料理论极限的 80%以上”。

该项目发表论文 73 篇，其中本领域顶级期刊 27 篇（见表 1）。5 篇代表性论文分别发表在 Nature Communications、Science Advances、Advanced Materials 等国际著名期刊。研究成果得到了染料敏化太阳能电池之父 Mickel Gratzel 教授、钙钛矿太阳能电池三大奠基人之一 Nam-Gyu Park 教授、可控自由基聚合奠基人 Krzysztof Matyjaszewski 教授等顶级学者的正面评价。纳米晶激光植入钙钛矿太阳能电池稳定性结果被钙钛矿太阳能电池三大奠基人之一 Henry J. Snaith 教授领衔

的 33 位光伏领域国际知名学者联合撰文并评价为达到了“同带隙钙钛矿材料稳定性的国际最高水平”。

表 1 本项目发表的领域内代表性第一/通讯作者论文

| | 期刊名称 | 影响因子 | 通讯作者论文数 |
|----|---|------|---------|
| 1 | Science Advances (Science 子刊) | 12.5 | 1 |
| 2 | Nature Communications (Nature 子刊) | 15.7 | 1 |
| 3 | Matter (Cell 子刊) | 17.5 | 1 |
| 4 | Advanced Materials | 26.8 | 5 |
| 5 | Angewandte Chemie International Edition | 16.6 | 1 |
| 6 | Advanced Energy Materials | 26.0 | 3 |
| 7 | Journal of the American Chemical Society | 15.6 | 1 |
| 8 | Advanced Functional Materials | 19.0 | 6 |
| 9 | Nano Energy | 17.1 | 1 |
| 10 | Applied Catalysis B-Environmental | 21.1 | 1 |
| 11 | Materials Today | 22 | 1 |
| 12 | Chemical Science | 7.4 | 1 |
| 13 | Nano-Micro Letters | 36.3 | 1 |
| 14 | Journal of Materials Science & Technology | 14.3 | 2 |
| 15 | Nano Research | 9.0 | 1 |

项目取得成果支撑获批国家“一带一路”国际联合实验室、教育部国际联合实验室、陕西省国际联合研究中心、陕西省学科创新引智基地、陕西省液相激光制造与低碳能源器件创新团队、陕西省高等学校科学技术研究成果一等奖。项目第一完成人入选国家科技创新领军人才、英国皇家化学学会会士、国际先进材料学会会士、中国体视学学会材料分会副主任委员及陕西省科技重点创新团队负责人。项目组成员先后荣获国家海外高层次青年人才、国家自然科学基金委“优秀青年科学基金”、德国“洪堡学者”、陕西高校“青年杰出人才支持计划”等计划支持。部分成果在陕西华秦新能源、华智雄材能源等多家高新技术企业的产品开发中实现应用，取得了显著的经济和社会效益。

四、客观评价

本项目执行期内在 Sci. Adv.、Nat. Commun.、Adv. Mater.、JACS、Angew 等材料领域国际重要期刊发表通讯作者论文 73 篇（领域顶刊 27 篇），研究成果被 Nat. Energy、Nat. Sustain.、Chem. Rev. 等国际著名期刊引用，并得到了染料敏化太阳能电池之父 Mickel Gratzel 教授、钙钛矿太阳能电池三大奠基人之一 Nam-Gyu Park 教授、可控自由基聚合奠基人 Krzysztof Matyjaszewski 教授等顶级学者的正面评价。

（1）对科学发现一的客观评价：

- 液态金属领域国际知名学者 ACS Applied Nano Materials 副主编、澳大利亚 ARC Laureate Fellow、新南威尔士大学 Kourosh Kalantar-Zadeh 教授等 7 名液态金属领域国际知名学者共同撰写的综述中【Nanoscale Horiz. 2022, 7, 141】，用“令人瞩目的降低至 10 nm 以下”（remarkable size reduction of droplet below 10 nm）高度评价了该成果在液态金属尺寸上的突破；
- 世界最具影响力科学思想的十九位学者之一（汤森路透）、欧洲科学院院士、英国皇家化学会会士、瑞士洛桑连邦理工学院 Mohammad Khaja Nazeeruddin 教授在其综述中【Adv. Energy Mater. 2021, 11, 2101149】图文并茂大幅引用并高度肯定了本项目将激光制造亚 10 纳米液态金属独特的电子调控作用应用于构筑“显著的稳定性”（with pronounced stability）钙钛矿太阳能电池。
- 液态金属领域国际知名学者俄罗斯圣彼得堡大学 Vladimir V. Vinogradov 教授明确指出了超声等传统方法在获得亚 10 纳米液态金属的技术瓶颈（Under the action of ultrasonic waves, the resulting particles are large enough and have a wide distribution），而本项目发展的液液体系的激光辐照恰好“可以解决这个问题”（can solve this issue）；

（2）对科学发现二的客观评价：

- 美国科学院和工程院院士 Krzysztof Matyjaszewski 教授指出在超细颗粒的孔内强锚定（the well-immobilized）可协同缓解（synergistically alleviated）穿梭效应，加快传质（accelerated the mass transport）【Adv. Funct. Mater. 2019, 30, 1907006】。
- Science 子刊（Sci. Adv.）副主编、美国肯特州立大学 Mietek Jaroniec 教授在其综述中图文并茂正面评价了多米诺骨牌反应驱动实现高分散超细氮化物在空心球内封装工作【Energy Environ. Sci. 2019, 30, 1907006】。
- MOF 开创者、数次获诺贝尔奖提名人、京都大学 Susumu Kitagawa 教授课题组在顶级综述【Chem. Rev. 2022, 122, 4163】里指出该工作证实非晶态多孔 MOF 具有金属离子传导功能，且非晶化赋予了新功能（Research on conductive CP glasses has been dominated by H^+ conductivity, but interest in other metal ions is emerging... Vitrification enables the exploration of unique features in ZIFs.）
- 世界最具影响力科学思想的十九位学者之一（汤森路透）、欧洲科学院院士、

英国皇家化学会会士、瑞士洛桑连邦理工学院 Mohammad Khaja Nazeeruddin 教授在其综述中【Adv. Energy Mater. 2021, 11, 2101149】图文并茂大幅引用并高度肯定了本项目将激光制造亚 10 纳米液态金属独特的电子调控作用应用于构筑“显著的稳定性”（with pronounced stability）钙钛矿太阳能电池。

➤ 欧洲科学院院士 Mohammad Khaja Nazeeruddin 教授认为该成果基于疏水碳氟分子的钙钛矿表界面工程对钙钛矿太阳能电池“具有卓越的表面晶界钝化能力”（with excellent surface and GBs co-passivation capability）【Energy Environ. Sci. 2021, 14, 2906】。

➤ 钙钛矿太阳能电池三大奠基人之一韩国成均馆大学 Nam-Gyu Park 教授在其撰写综述中【Sol. RRL 2022, 6, 2100767】肯定了该成果纳米晶植入钙钛矿薄膜的有效性，认为纳米晶的植入“降低了界面载流子转移势垒”（reduce an interfacial carrier transfer barrier）、“改善了载流子的抽取”（improve charge extraction）以及“改善了钙钛矿薄膜的稳定性”（moisture stability was also improved）。

（3）对科学发现三的客观评价：

➤ Bionanomaterials 主编德国杜伊斯堡-埃森大学 Stephan Barcikowski 教授等 8 名液相激光烧蚀领域国际知名学者共同撰写的综述文章【Chem. Eur. J. 2020, 26, 9206】中高度肯定了本项目将激光制造 La:BaSnO₃ 嵌入到 BiVO₄ 母体的有效性，认为“La:BaSnO₃ 纳米晶的激光植入将 BiVO₄ 光阳极薄膜的光电化学性能提升到了该材料理论极限的 80%以上”（up to a level that is more than 80% of the theoretically possible value）。

➤ 欧洲科学院院士、英国皇家化学会会士、澳洲基金委桂冠学者、澳大利亚昆士兰大学王连洲教授在其综述文章【Mater. Today Chem. 2022, 26, 101060】大篇幅引用评述了本项目利用羟基化碳点构筑 BiVO₄ 表层双功能层的工作，认为该功能层极大的提升了载流子浓度（significantly increased the charge carrier density）、极大的改善了载流子转移动力学并抑制了光腐蚀（dramatically improved the charge transfer dynamics and inhibited the photocorrosion），将 BiVO₄ 光阳极薄膜的载流子分离效率提升到 95%以上（leading to a high η_{sep} over 95%），所得光电极表现出卓越的光电流密度和工作稳定性（exhibited a remarkable photocurrent density of 6.08 mA/cm² and long-term stability over 120 h）。

➤ 氟化金簇植入获得的钙钛矿太阳能电池的稳定性数据被太阳能电池三大奠基人之一/英国皇家学会院士/英国皇家工程院院士 Henry J. Snaith 教授领衔的 33 位光伏领域国际知名学者联合撰文并评价为达到了“同带隙钙钛矿材料稳定性的国际最高水平”【Adv. Energy Mater. 2021, 11, 2102526】。

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）

（按照表格所示栏目填写支撑本项目重要科学发现的代表性论文专著详细情况，不超过 8 篇，按重要程度排序。所列论文专著应公开发表 2 年以上即 2023 年 8 月 1 日以前公开发表。所列代表作及论文应以省内单位或个人为主要完成单位，署名第一单位（标号为 1 的单位）应为国内单位。

“作者”、“通讯作者（含共同通讯作者）”、“第一作者（含共同第一作者）”和“国内作者”，均应基于论文的全部作者进行填写，不得只填写本项目完成人或少填漏填。

其中，“作者”、“通讯作者（含共同通讯作者）”和“第一作者（含共同第一作者）”的姓名表述应与论文原文的署名保持一致，“国内作者”填写作者的中文姓名。

该表所列论文专著的知识产权归国内所有且无争议，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖提名项目中作为支撑材料出现。用于提名陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的作者的同意，其中，未列入项目主要完成人的第一作者、通讯作者（含共同第一作者、共同通讯作者）已出具知情同意书面签字意见，与其他作者的有关知情证明材料均存档备查。）

| 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 | Embedding Laser Generated Nanocrystals in BiVO ₄ Photoanode for Efficient Photoelectrochemical Water Splitting | Nat. Commun. | Jie Jian, Youxun Xu, Xiaokun Yang, Wei Liu, Maosen Fu, Huiwu Yu, Fei Xu, Fan Feng, Lichao Jia, Dennis Friedrich, Roel van de Krol, Hongqiang Wang | 2019, 10, 2609 | 2019.06.13 | Hongqiang Wang | Jie Jian, Youxun Xu | 简洁、徐有勋、杨小昆、刘为、傅茂森、喻惠武、徐飞、冯帆、贾丽超、王洪强 | 172 | Web of Science | 是 |
| 2 | Ultrastable surface-dominated pseudocapacitive potassium storage enabled by edge-enriched N-doped porous carbon nanosheets | Angew. Chem. Int. Ed. | Fei Xu, Yixuan Zhai, En Zhang, Qianhui Liu, Guangshen Jiang, Xiaosa Xu, Yuqian Qiu, Xiaoming Liu, Hongqiang Wang, Stefan Kaskel | 2020, 59, 19460 | 2020.05.13 | Hongqiang Wang, Stefan Kaskel | Fei Xu | 徐飞、翟轶轩、刘千惠、姜广申、许潇洒、邱玉倩、刘晓明、王洪强 | 173 | Web of Science | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------|---|-------------------|------------|---|-------------------------|---|----|----------------|---|
| 3 | Interfacial Embedding of Laser-Manufactured Fluorinated Gold Clusters Enabling Stable Perovskite Solar Cells with Efficiency Over 24%/ | Adv. Mater. | Pengfei Guo, Hongfu Zhu, Wenhao Zhao, Chen Liu, Liguozhu, Qian Ye, Ning Jia, Hongyue Wang, Xiuhai Zhang, Wanxia Huang, Vladimir A. Vinokurov, Evgenii Ivanov, Dmitry Shchukin, Daniel Harvey, Jose María Ulloa, Adrian Hierro, Hongqiang Wang | 2021, 33, 2101590 | 2021.07.24 | Hongqiang Wang | Pengfei Guo, Hongfu Zhu | 郭鹏飞、朱洪富、赵文豪、刘晨、朱礼国、叶谦、贾宁、王红月、张秀海、黄万霞、王洪强 | 68 | Web of Science | 是 |
| 4 | Atomic Sn-Enabled High-Utilization, Large-Capacity, and Long-life Na Anodes | Sci. Adv. | Fei Xu, Changzhen Qu, Qiongqiong Lu, Jiashen Meng, Xiuhai Zhang, Xiaosa Xu, Yuqian Qiu, Baichuan Ding, Jiaying Yang, Fengren Cao, Penghui Yang, Guangshen Jiang, Stefan Kaskel, Jingyuan Ma, Liang Li, Xingcai Zhang, Hongqiang Wang | 2022, 8, eabm7489 | 2022.05.11 | Fei Xu, Liang Li, Xingcai Zhang, Hongqiang Wang | Fei Xu | 徐飞、曲昌镇、卢琼琼、张秀海、许潇洒、邱玉倩、丁百川、杨佳迎、曹凤人、杨鹏辉、姜广申、马竟源、李亮、张兴才、王洪强 | 86 | Web of Science | 是 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---|----------------------|--|----------------------|------------|-------------------------|-------------------------|---|----|----------------|---|
| 5 | Managing Secondary Phase Lead Iodide in Hybrid Perovskites via Surface Reconstruction for High-Performance Perovskite Solar Cells with Robust Environmental Stability | Angew. Chem. In. Ed. | Linfeng Ye, Pengfei Guo, Jie Su, Kaiyuan Zhang, Chen Liu, Penghui Yang, Wenhao Zhao, Pengzhen Zhao, Zhe Liu, Jingjing Chang, Qian Ye, Hongqiang Wang | 2023, 62, e202300678 | 2023.02.07 | Qian Ye, Hongqiang Wang | Linfeng Ye, Pengfei Guo | 叶林峰、郭鹏飞、苏杰、张凯源、刘晨、杨鹏辉、赵文豪、赵鹏振、刘哲、常晶晶、叶谦、王洪强 | 48 | Web of Science | 是 |
| 合 计 | | | | | | | | | | | |

六、主要完成人情况（不超过 6 人）

（所列完成人应为在陕个人，或与在陕个人合作的我国其他地域的个人（第一完成人必须为全职在陕的个人），且是“代表性论文专著”主要学术思想的提出者，并在“代表性论文专著”中有署名。应按表格要求逐项填写。附件所列验收、鉴定的专家组成员不能作为完成人。同一人同一年度只能作为一个提名项目的完成人参加陕西省科技奖的评审。附件所列验收、鉴定的专家组成员不能作为完成人。

工作单位：根据人事关系填写完成人现工作的单位，已退休的填写退休前的工作单位。

完成单位：填写完成人参与本项目主要研究工作时所在单位，应为国内法人单位。如涉及多个单位，应根据贡献大小填写一个单位。完成单位与奖励证书关联，请根据实际情况审慎填写。

对本项目贡献：不超过 300 字。应具体写明完成人对本项目做出的实质性贡献，并注明代表性论文专著编号。

填报时括号部分内容删除。）

| 姓名 | 排名 | 行政职务 | 技术职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目贡献 |
|-----|----|------|------|--------|--------|--|
| 王洪强 | 1 | 副院长 | 教授 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 1. 项目负责人，制定项目整体规划，提出学术思想及技术路线（对应科学发现一、二、三）；2. 搭建了液相纳秒脉冲激光辐照系统以及项目中材料制备与性能表征、器件原型构筑与性能研究的硬件平台，为胶体纳米晶液相激光制造及纳米晶激光植入低碳能源器件研制提供了基础（对应科学发现一、二、三）；3. 发展了亚稳多元胶体纳米晶的光热瞬态极端制造技术，形成了基于胶体纳米晶激光植入复合材料的普适构筑技术体系，获得了系列高性能纳米晶植入钙钛矿光伏、光电化学水分解及电化学储能器件（对应科学发现一、二、三）；4. 代表性论文 1-5 的通讯作者。 |

| | | | | | | |
|-----|---|---|-----|--------|--------|---|
| 徐飞 | 2 | / | 教授 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 1. 提出了利用壳层微孔限域植入锚定单原子的理念，原子级分散、微孔限域以及导电碳、空腔可发挥形核层与三维载体双重作用，突破了大电流/高容量、深度放电与长循环三者博弈效应限制的无枝晶碱金属负极（对应科学发现二、三）。2. 代表性论文 2 的第一作者，代表性论文 4 的第一作者和通讯作者，代表性论文 1 的作者。 |
| 简洁 | 3 | / | 中级 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 1. 开发了基于纳米晶激光植入的光电催化制氢关键材料构筑技术，明晰了纳米晶调控单元在光电催化制氢关键材料中的载流子动力学调控机理，突破了光电催化制氢薄膜材料在光电流密度和工作稳定性的关键指标（对应科学发现一、二、三）；2. 代表性论文 1 的第一作者。 |
| 郭鹏飞 | 4 | / | 中级 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 1. 发展了纳米晶激光植入钙钛矿复合材料的可控构筑关键技术，明晰了纳/米晶植入钙钛矿复合材料的载流子动力学调控新机制，构筑了基于纳米晶激光植入钙钛矿复合材料的系列高性能光伏器件（对应科学发现二、三）。2. 代表性论文 3 的第一作者，代表性论文 5 的作者。 |
| 叶谦 | 5 | / | 副教授 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 1. 提出了分子钝化策略来提升钙钛矿太阳能电池的效率及稳定性，获得了分子的类型、官能团、及添加量与钙钛矿载流子传输能力的关系及规律（对应科学发现三）；2. 代表性论文 5 的通讯作者，代表性论文 3 的作者。 |
| 杨佳迎 | 6 | / | / | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 1. 探索了壳层微孔限域植入锚定单原子的合成机理（对应科学发现一）；2. 代表性论文 4 的作者。 |

七、主要完成单位情况（不超过 3 个）

| 完成单位 | 排名 | 对本项目主要贡献（限 600 字） |
|--------|----|---|
| 西北工业大学 | 1 | <p>本项目发展了亚稳多元胶体纳米晶的光热瞬态极端制造技术，形成了基于胶体纳米晶激光植入复合材料的普适构筑技术体系，探明了胶体纳米晶-植入母体主客体相互作用的电子结构调控新机制，获得了系列高性能纳米晶植入光电化学水分解、电化学储能及钙钛矿光伏器件。西北工业大学作为本项目的完成单位，为项目上述研究的总体规划、设计整体技术路线提供了良好的保障与科研平台，包括液相纳秒脉冲激光辐照系统搭建、材料制备与性能表征、器件原型构筑与性能研究。同时，本项目涉及的激光制造是西北工业大学凝固技术国家重点实验室、金属高性能增材制造与创新设计工业与信息化部重点实验室的重点研究方向，本项目所研究的胶体纳米晶的液相激光制造及应用为凝固技术国家重点实验室中处于国际前沿水平的重点支持新兴学科方向。</p> <p>西北工业大学为本项目的顺利完成提供了全面且有力的管理与资源支持。在项目实施过程中，学校优先为完成人及研究团队配备了优质的科研资源与机会，显著改善了科研环境，优化了实验平台，并依其学科方向需求配套了专用仪器设备。同时，学校根据完成人的研究方向定制了招生计划，全面开放共享校内资源，持续加大其学科建设经费投入，并在校内基础研究与创新研究项目中予以重点倾斜。通过强化过程管理、实施年度检查、及时提出建议并协调解决困难，学校有效保障了项目的稳步推进与最终成果的达成，为项目的成功完成奠定了坚实基础。</p> |

八、完成人合作关系说明

（应以第一完成人角度，介绍项目完成人之间的合作经历或合作关系，不局限于第一完成人与其他完成人的合作，也可以包括其他完成人之间的合作。）

1. 第一完成人王洪强同志在 2016 年-2022 年期间，与第二完成人徐飞同志合作开展研究，共同发表科研论文 3 篇，共同获批项目立项 1 项；在 2016 年-2022 年期间，与第三完成人简洁同志合作开展研究，共同发表科研论文 1 篇，共同获批项目立项 2 项；在 2016 年-2022 年期间，与第四完成人郭鹏飞同志合作开展研究，共同发表科研论文 2 篇，共同获批项目立项 2 项；在 2016 年-2022 年期间，与第五完成人叶谦同志合作开展研究，共同发表科研论文 2 篇；与第六完成人杨佳迎同志合作开展研究，共同发表科研论文 1 篇。

2. 第二完成人徐飞同志在 2016 年-2022 年期间，与第三完成人简洁同志合作开展研究，共同发表科研论文 1 篇，共同获批项目立项 1 项；与第四完成人郭鹏飞同志合作开展研究，共同获批项目立项 1 项；与第六完成人杨佳迎同志合作开展研究，共同发表科研论文 1 篇。

3. 第三完成人简洁同志在 2016 年-2022 年期间，与第四完成人郭鹏飞同志合作开展研究，共同获批项目立项 1 项。

4. 第四完成人郭鹏飞同志在 2016 年-2022 年期间，与第五完成人叶谦同志合作开展研究，共同发表科研论文 2 篇。