**项目公示信息（自然科学奖）**

**一、项目名称**

大尺寸钙钛矿单晶生长机制及其光电应用研究

**二、提名者及提名意见**

提名者：陕西省物理学会

提名意见：该项目围绕制约大尺寸钙钛矿单晶生长及其在集成光电子器件应用中的关键问题，开展了钙钛矿的成核和生长机理研究，建立了团簇解离调控和低温梯度钙钛矿单晶生长理论；发展了阶段接力、边缘诱导结晶生长调控策略，获得了世界最大尺寸钙钛矿单晶及厚度、形状和柔韧性可控可调的钙钛矿单晶薄膜，建立了光电性质、器件设计集成及性能优化方法，获得了性能优异的大尺寸钙钛矿单晶集成光电子器件，开创了钙钛矿单晶太阳能电池和单晶薄片探测器的热点研究方向，取得了多项原创性成果。系列研究成果先后在《Advanced Materials》、《Nature Communications》、《Physical Review X》等半导体材料和光电器件领域顶级学术期刊发表论文40余篇，授权国家发明专利9件。研究的单晶生长方法和器件制备策略得到了同行专家的高度认可，并被多次采用。其中5篇代表性论文总他引1345次，单篇最多他引715次，产生了广泛的学术影响。代表性论文1入选高被引论文，代表性论文3被《中国科学•化学》评选为“2017年度优秀论文”。同时，依托多项原创性研究成果，正与陕西省秦创原、中国核能电力股份有限公司、阿联酋大学、西安宝莱特光电科技有限公司等进行成果转化。

提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

**三、项目简介**

大尺寸优质半导体单晶材料是实现高性能集成光电器件的重要基础。钙钛矿材料在太阳能电池、发光、光电探测和高能射线成像等领域均展示出杰出的性能，受到科研和产业界的高度关注。然而，由于大尺寸单晶材料研究的滞后，限制了领域的发展。为此，本项目围绕制约大尺寸钙钛矿单晶生长及其在集成光电子器件应用中的关键问题，开展了钙钛矿的成核和生长机理研究，建立了团簇解离调控和低温梯度钙钛矿单晶生长理论；发展了阶段接力、边缘诱导结晶生长调控策略，获得了世界最大尺寸钙钛矿单晶及厚度、形状和柔韧性可控可调的钙钛矿单晶薄膜，建立了光电性质、器件设计集成及性能优化方法，获得了性能优异的大尺寸钙钛矿单晶集成光电子器件，开创了钙钛矿单晶太阳能电池和单晶薄片探测器的热点研究方向，取得了多项原创性成果。

**四、客观评价**

本项目实现了大尺寸钙钛矿单晶生长及大面积单晶探测器成像，系列研究成果先后在《Advanced Materials》、《Nature Communications》、《Science China Chemistry》、《Physical Review X》等半导体材料和光电器件领域顶级学术期刊发表论文40余篇，授权国家发明专利9件。研究的单晶生长方法和器件制备策略得到了同行专家的高度认可，并被多次采用，其中5篇代表作总他引1345次，单篇最多他引715次，产生了广泛的学术影响。应邀在《Advanced Energy Materials》、《Advanced Science》等杂志撰写单晶钙钛矿综述论文。代表作1“两英寸钙钛矿单晶MAPbX3 (X=Cl、Br、I)的生长及应用”成为高被引论文。代表作3“面向大规模应用的大尺寸钙钛矿晶体及单晶薄片”论文被《中国科学•化学》评选为“2017年度优秀论文”。同时，有大量国内外媒体对团队工作进行了跟踪报道。Discovery（美国探索频道）、China International Communication Center (CICC，五洲传播中心)和Bilibili三家公司联合在团队拍摄了纪录片，已在国内外发行。

依托多项原创性研究成果，正与陕西省秦创原、中国人民解放军63672部队、中国核能电力股份有限公司、阿联酋大学、西安宝莱特光电科技有限公司等共同进行成果转化。

**五、代表性论文专著目录**（**不**超过8篇，其中代表作论文不超过5篇）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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（年月 日） | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 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 | Two-Inch-Sized Perovskite  CH3NH3PbX3 (X = Cl, Br, I) Crystals: Growth and Characterization | Advanced Materials | Yucheng Liu, Zhou Yang, Dong Cui, Xiaodong Ren, Jiankun Sun, Xiaojing Liu, Jingru Zhang, Qingbo Wei, Haibo Fan, Fengyang Yu, Xu Zhang, Changming Zhao, Shengzhong (Frank) Liu | 2015年27卷5176-5183页 | 2015-08-06 | 刘生忠，杨周 | 刘渝城 | 刘渝城，杨周，崔东，任小东，孙健焜，刘晓静，张静茹，魏清渤，范海波，于凤阳，张旭，赵长明 | 715 | SCI科学引文索引 | 是 |
| 2 | A 1300 mm2 Ultrahigh-Performance Digital Imaging Assembly using High-Quality Perovskite SingleCrystals | Advanced Materials | Yucheng Liu, Yunxia Zhang, Kui Zhao, Zhou Yang, Jiangshan Feng, Xu Zhang, Kang Wang, Lina Meng, Haochen Ye, Ming Liu, Shengzhong (Frank) Liu | 2018年30卷  1707314页 | 2018-05-29 | 刘生忠，杨周 | 刘渝城，张云霞 | 刘渝城，张云霞，赵奎，杨周，冯江山，张旭，王康，孟丽娜，叶皓晨，刘明 | 194 | SCI科学引文索引 | 是 |
| 3 | 120 mm Single-crystalline  perovskite and wafers: towards  viable applications | Science China Chemistry | Yucheng Liu, Xiaodong  Ren, Jing Zhang, Zhou Yang Jiankun Sun, Changming Zhao, Zhun Yao, Bo Wang, Dong Yang, Qingbo Wei,  Fengyang Yu, Fengwei Xiao, Haibo Fan, Hao Deng, Liangping Deng, Shengzhong (Frank) Liu | 2017年60卷  1367-1376页 | 2017-07-14 | 刘生忠，杨周 | 刘渝城，任  小东，张静 | 刘渝城，任小东，张静，杨周，杨栋，于凤阳，孙健焜，赵长  明，姚准，王渤，魏清渤，肖锋伟，范海波，邓浩，邓良平 | 75 | SCI科学引文索引 | 是 |
| 4 | Thinness- and Shape-Controlled Growth for Ultrathin Single- Crystalline Perovskite Wafers for Mass Production of Superior Photoelectronic | Advanced Materials | Yucheng Liu, Yunxia Zhang, Zhou Yang, Dong Yang, Xiaodong Ren, Liuqing Pang, Shengzhong (Frank) Liu | 2016年28卷  9204-9209页 | 2016-08-29 | 刘生忠，杨周 | 刘渝城 | 刘渝城，张云霞，杨周，杨栋，任小东，庞柳青 | 220 | SCI科学引文索引 | 是 |
| 5 | Multi-inch single-crystalline perovskite membrane for high- detectivity flexible photosensors | Nature Communications | Yucheng Liu, Yunxia Zhang, Zhou Yang, Haochen Ye, Jiangshan Feng, Zhuo Xu, Xu Zhang, Rahim Munir, Jia Liu, Ping Zuo, Qingxian Li, Mingxin Hu, Lina Meng, Kang Wang, Detlef-M. Smilgies, Guangtao Zhao, Hua Xu, Zupei Yang, Aram Amassian, Jiawei Li, Kui Zhao, Shengzhong(Frank) Liu | 2018年9卷  5302页 | 2018-12-13 | 刘生忠，赵奎 | 刘渝城，张云霞 | 刘渝城，张云霞，杨周，叶皓晨，冯江山，徐卓，张旭，刘嘉，左萍，李卿娴，胡明昕，孟丽娜，王康，赵光涛，徐华，杨祖培，李佳伟，赵奎 | 141 | SCI科学引文索引 | 是 |
| 合 计 | | | | | | | | |  |  |  |
| **补充说明（视情填写）：**  代表性论文中署名“Shengzhong (Frank) Liu”的为我校外籍专家，中文名为“刘生忠”，护照名为“LIU/SHENGZHONG。三者为同一人，特此说明。 | | | | | | | | | | | |

**六、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |
| 刘生忠 | 1 | 无 | 教授 | 陕西师范大学/中国科学院大连化学物理研究所 | 陕西师范大学/中国科学院大连化学物理研究所 | （1）工作内容：总体规划、提出设想。具体为提出了升温反应析晶单晶生长策略；提出了混合溶剂调控双卤素钙钛矿单晶生长的策略；提出了低温梯度结晶英寸级高质量钙钛矿单晶生长策略；提出了具有保护和钝化钙钛矿单晶的晶体切割方案；构建了生长液流动辅助的限域空间单晶薄片生长的策略；提出了协同空间限域和外围溶剂挥发大面积柔性钙钛矿单晶薄膜制备方案。  （2）对科学发现1，2，3均有贡献。  （3）支撑材料见代表性论文1，2，3，4，5。 |
| 刘渝城 | 2 | 无 | 研究员 | 陕西师范大学 | 陕西师范大学 | （1）工作内容：实验设计，验证项目设想。具体为实施了升温反应析晶单晶生长；实施了混合溶剂调控双卤素钙钛矿单晶生长；实施了低温梯度结晶英寸级高质量钙钛矿单晶生长；实施了具有保护和钝化钙钛矿单晶的晶体切割方案；实施了液流动辅助的限域空间单晶薄片生长；实施了大面积柔性钙钛矿单晶薄膜及柔性钙钛矿单晶探测器制备方案。  （2）对科学发现1，2，3均有贡献。  （3）支撑材料见代表性论文1，2，3，4，5。 |
| 杨周 | 3 | 无 | 副教授 | 陕西师范大学 | 陕西师范大学 | （1）工作内容：提出设想，参与项目实施。具体为参与实施了升温反应析晶单晶生长；参与实施了低温梯度结晶英寸级高质量钙钛矿单晶生长；参与实施了混合溶剂调控双卤素钙钛矿单晶生长；参与实施了具有保护和钝化钙钛矿单晶的晶体切割方案；参与实施了液流动辅助的限域空间单晶薄片生长；参与实施了大面积柔性钙钛矿单晶薄膜及柔性钙钛矿单晶探测器制备方案。  （2）对科学发现1，2，3均有贡献。  （3）支撑材料见代表性论文1，2，3，4，5。 |
| 张云霞 | 4 | 无 | 副教授 | 西安邮电大学 | 陕西师范大学 | （1）工作内容：实验设计，参与验证项目设想。具体为参与实施了低温梯度结晶英寸级高质量钙钛矿单晶生长；参与实施了液流动辅助的限域空间单晶薄片生长；参与实施了大面积柔性钙钛矿单晶薄膜及柔性钙钛矿单晶探测器制备方案。  （2）对科学发现1，2，3均有贡献。  （3）支撑材料见代表性论文2，4，5。 |
| 杨祖培 | 5 | 副校长 | 教授 | 陕西师范大学 | 陕西师范大学 | （1）工作内容：参与项目实施。具体为参与实施了大面积柔性钙钛矿单晶薄膜及柔性钙钛矿单晶探测器制备方案。  （2）对科学发现3有贡献。  （3）支撑材料见代表性论文5。 |

**七、主要完成单位情况表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位名称 | 陕西师范大学 | | | | |
| 排 名 | 1 | 法定代表人 | 游旭群 | 所 在 地 | 陕西 |
| 单位性质 | 大专院校 | 传 真 | 029-85310097 | 邮政编码 | 710119 |
| 通讯地址 | 西安市长安区西长安街620号 | | | | |
| 联 系 人 | 潘红 | 单位电话 | 029-85310337 | 移动电话 | 15691703998 |
| 电子邮箱 | panhong@snnu.edu.cn | | | | |
| 对本项目主要学术贡献：  作为本项目的依托单位，陕西师范大学为项目的顺利完成、并且取得具有显著创造性的成果，做出了重要贡献，主要体现在：  1）组织并完成了项目策划和实施工作；  2）为项目的顺利实施提供了人力资源与优质的工作环境和场所；  3）提供了本项目所需的设备、能源、图书资料和网络数据库等资源；  4）材料科学与工程学院的大型仪器测试分析平台，为本项目提供了研究所需要实验设备条件。 | | | | | |
| **声明**：本单位同意完成单位排名，遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。  法定代表人签名： 单位（盖章）  年 月 日 年 月 日 | | | | | |

**七、主要完成单位情况表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单位名称 | 中国科学院大连化学物理研究所 | | | | |
| 排 名 | 2 | 法定代表人 | 刘中民 | 所 在 地 | 辽宁 |
| 单位性质 | 科研院所 | 传 真 | 0411-84691570 | 邮政编码 | 116023 |
| 通讯地址 | 辽宁省大连市沙河口区中山路457号 | | | | |
| 联 系 人 | 曹恒 | 单位电话 | 0411-84379298 | 移动电话 | 13478730316 |
| 电子邮箱 | caoheng@dicp.ac.cn | | | | |
| 对本项目主要学术贡献：  作为本项目的合作完成单位，中国科学院大连化学物理研究所为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献，主要表现为：  1）组织并完成了项目策划和实施工作；  2）为项目的顺利实施提供了人力资源与优质的工作环境和场所；  3）提供了本项目所需的部分设备、能源、图书资料和数据库等资源。 | | | | | |
| **声明**：本单位同意完成单位排名，遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。  法定代表人签名： 单位（盖章）  年 月 日 年 月 日 | | | | | |

**八、完成人合作关系说明**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **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** | **证明材料** |
| 1 | 论文合著 | 刘生忠(1)；  刘渝城(2)；  杨周(3)； | 201410 | 201509 | Adv. Mater. 2015, 27, 5176-5183 | 代表性论文1 |
| 2 | 论文合著 | 刘生忠(1)；  刘渝城(2)；  杨周(3)；  张云霞(4)； | 201510 | 201609 | Adv. Mater. 2016, 28, 9204-9209 | 代表性论文2 |
| 3 | 论文合著 | 刘生忠(1)；  刘渝城(2)；  杨周(3)； | 201502 | 201710 | Sci. China Chem, 2017, 60: 1367-1376 | 代表性论文3 |
| 4 | 论文合著 | 刘生忠(1)；  刘渝城(2)；  杨周(3)；  张云霞(4)； | 201609 | 201806 | Adv. Mater. 2018, 30, 1707314 | 代表性论文4 |
| 5 | 论文合著 | 刘生忠(1)；  刘渝城(2)；  杨周(3)；  张云霞(4)；  杨祖培(5)； | 201605 | 201810 | Nat. Commun. 2018, 9, 5302 | 代表性论文5 |
| 6 | 项目合作 | 刘生忠(1)；  刘渝城(2)；  杨周(3)； | 2017.01 | 2020.12 | 单晶钙钛矿太阳能电池设计研究：单晶薄膜和掺杂 | 其他附件 |
| 7 | 项目合作 | 刘渝城(2)；  杨周(3)； | 2017.01 | 2019.12 | 基于前置透明电子/空穴传输层结构的单晶钙钛矿太阳能电池研究 | 其他附件 |