**项目名称：**基于电荷输运增强及能级调控的光电材料及器件应用

**推荐单位：**海南省教育厅

**项目简介：**

一、主要研究内容：

1、设计并实现了将太阳能电池，太阳能选择性吸收层，热电发生器三者串联组成新颖的光伏—热电混合器件。在光伏效应和热电塞贝克效应的协同促进下，实现了高效率光电/热电复合界面新能源器件。

2、系统对比空间蒸镀法和溶液法合成有机无机杂化钙钛矿薄膜的晶化行为，分析了两种方法对薄膜表面形貌，光吸收性能及电荷输运性能的影响，提出了获得高质量钙钛矿薄膜的有效方法。

3、开发了新型SrRuO3单晶薄膜对电极材料，并从全新视角阐释晶格畸变同氧化还原催化活性的内在关联性。

4、开发了将热电纳米纤维引入到光伏电池内部，证实了纤维两端产生的温差电动势可有效改善空穴传输层和光阳极电子传输层载流子传递能力，提高了光生电荷收集效率。

5、设计并制备了碳纳米管气凝胶对电极体系，结合其高比表面积，高导电性和高催化点位等优势，显著提升了氧化还原催化能力。

6、发明了TiO2/MoS2复合光阳极结构。即通过化学浴法在介孔TiO2层沉积MoS2“无机染料”，二维层状MoS2，具有高的载流子迁移率以及带隙宽度随层数可调的独特性质，带隙可从体材料的1.2eV间接带隙，调到单层的1.9eV直接带隙。从而确保高的光吸收能力和载流子迁移能力。

二、重要科学发现点及科学价值：

1、国际上首次设计并实现了光电/热电复合界面新能源器件，并通过优化提升效率40%，为低成本太阳能综合利用提供了新的研究思路。

2、对比研究了空间蒸镀法和溶液法制备钙钛矿薄膜的晶化行为，提出了空间蒸镀法可有效改善钙钛矿薄膜晶体质量和光电性能。组装成钙钛矿太阳能电池后，比常用的溶液法制备的钙钛矿薄膜光电性能提升了约40%。

3、率先提出基于薄膜晶格畸变调控氧化还原催化活性的内在机制，为高催化活性对电极设计提供新的研究思路。

4、设计并制备了基于热电纳米纤维的新型复合光伏器件，系统研究了温差电动势对电荷动力学输运性能的影响。该研究为改善光生电荷分离和输运能力提供了新的设计思路。

5、开发了新型高催化活性的碳纳米管气凝胶对电极，扩充了对电极材料的研究体系。

6、率先以二维半导体材料MoS2作为“无机染料”，采用化学浴法控制沉积层数来调节能带间隙，获得能带匹配，光吸收能力强，电荷分离及注入效率高的高性能光吸收层，初步实现了二维硫化物无机敏化氧化钛太阳能电池的原型验证。

三、同行引用及评价：

1. 代表性论文[*Energy & Environmental Science,* 2011, 4(9): 3676-3679.]被引用132次。2013年全球十大科技人物（Nature 杂志评选）、牛津大学教授H. Snaith将该论文选为*Energy & Environmental Science*期刊光电领域优秀论文之一。在论文[*Journal of the American Ceramic Society*, 2012，95：1372-1377]评论说“……发明的新型复合能源器件转换效率大于13%，是纳米晶薄膜太阳能电池领域取得的重要进展……”。美国物理学会Fellow、著名的能量转换器件专家、佐治亚理工大学终身教授Z.L. Wang 在论文[*Angewandte Chemie International Edition*, 2012，51：11700-11721.]中评价该工作是“…该器件为新型器件，可以明显提高光电转换效率…”。该成果引起日本工业界关注，日本工业制品协会将此论文翻译成日文，并收录在Ceramic Data Book 里，向日本产业界宣传。

2. 代表性论文[*ACS Applied Materials & Interfaces*, 2015, 7(5): 3382-3388.] 被顶级期刊*Chemistry Society Reviews*, *Advanced Materials*, *Advanced Science, Nano Letters*等引用51次。国际钙钛矿太阳电池权威、牛津大学教授H. Snaith在论文[*Advanced Materials*, 2015, 27, 7938-7944.]中高度认同“气相和液相等不同晶化条件对钙钛矿薄膜的形貌有直接影响，并进一步影响到电荷载流子寿命和扩散长度”等相关结论。[*Advanced Science*, 2016, 3, 1500201.] 积极认可我们的工作，充分说明“空间蒸镀方法制备钙钛矿薄膜的重要性”。

3. 代表性论文[*Journal of Materials Chemistry A*, 2016, 4(28): 10794-10800.]被顶级期刊[*Advanced Energy Materials,* 2018, 1800172]引用。详细介绍了我们的工作成果（结合近期我们相关研究成果[*Journal of Materials Chemistry A*, 2017, 5: 17848–17855.]），并进行了积极的评价，认可我们提出的新型高效金属氧化物基复合对电极材料等相关研究工作。

4. 代表性论文[*Small*, 2016, 12(37): 5146-5152.]被顶级期刊*Advanced Materials, Nano Energy*等引用并评价。[*Advanced Materials*, 2017, 29, 106608]认为我们的研究充分说明了“在介孔钙钛矿电池中钙钛矿在介孔光阳极中的附着量对器件性能起着至关重要的作用”。

5. 代表性论文[*Journal of Materials Chemistry A*, 2016, 4(9): 3238-3244.]，被顶级期刊论文[*Chemical Society Reviews*, 2017, 46, 5975-6023.]引用并评价。积极认可了“碳纳米管气凝胶/铂对电极体系有效改善电催化活性，降低电荷传输阻抗，提升扩散能力”的结论。

6. 代表性论文[*Journal of Materials Chemistry A*, 2016, 4(24): 9362-9369.] 在顶级期刊综述性论文 [*Advanced Materials*, 2018, 30, 1704765.]中介绍了我们新型热电-光电同轴纳米纤维复合材料并给予积极评价。

7. 代表性论文[*Journal of Power Sources*, 2015, 275: 943-949.] 被顶级期刊*Chemical Reviews*, *Advanced Materials*等引用并评价。在能源存储与转换用二维金属硫化物基纳米材料的综述论文中[*Advanced Materials*, 2016, 28, 6167-6196.]描述了我们的研究成果，认可以化学浴法沉积的二维半导体硫化物（MoS2）作为敏化剂的染料敏化太阳能电池的相关工作。[*Chemical Reviews*, 2017, 117, 6225-6331.] 在综述超薄二维纳米材料的最新进展中也对我们的工作进行了介绍。

8. 代表性论文[*Electrochimica Acta*, 2015, 174:871-874.] 被高水平期刊*Journal of Materials Chemistry A，Nanoscale, Electrochimica Acta*等引用并评价，一致认为碳纳米管气凝胶体系已成为对电极碳材料的一个新成员，并被多个课题组高度认可并采用。

**主要完成人情况表：**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 王宁 | 排名 | 第一 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 海南大学 | | 完成单位及排名 | 海南大学，第一 | |
| 对本项目技术创造性贡献 | 设计并实现了光电/热电复合界面新能源器件，并通过优化提升效率40%，为低成本太阳能综合利用提供了新的研究思路。率先以二维半导体MoS2作为“无机染料”，通过优化层数调节能带间隙，获得高性能光吸收层。系统对比气相和液相晶化有机无机杂化钙钛矿薄膜的影响，提出了气相法是获得高质量钙钛矿薄膜的有效方法。 | | | | |
| 曾获科技奖励情况 | 2018年中国科技产业促进会科学技术奖—科技创新奖，一等，排名第一  2017年度海南省科学技术奖—科技进步奖，二等，排名第一 | | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 刘涛 | 排名 | 第二 | 技术职称 | 副教授 |
| 工作单位 | 海南大学 | | 完成单位及排名 | 海南大学，第一 | |
| 对本项目技术创造性贡献 | 开发了新型SrRuO3单晶薄膜对电极材料，从全新视角阐释晶格畸变同氧化还原催化活性的内在关联机制，为高催化活性对电极材料设计提供新的研究思路。设计并制备了碳纳米管气凝胶对电极体系，扩充了高催化活性对电极材料的研究体系。 | | | | |
| 曾获科技奖励情况 | 2017-2018年中国科技产业促进会科学技术奖—科技创新奖，一等，排名第二  2017年度海南省科学技术奖—科技进步奖，二等，排名第四 | | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 何泓材 | 排名 | 第三 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 电子科技大学 | | 完成单位及排名 | 电子科技大学，第二 | |
| 对本项目技术创造性贡献 | 设计并制备了基于热电纳米纤维的新型复合光伏器件，可有效改善光化学太阳能电池光阳极电子传输层和空穴传输层载流子传递能力，实现电子空穴的有效分离，提高了光电转换效率。 | | | | |
| 曾获科技奖励情况 | 2017年度海南省科学技术奖—科技进步奖，二等，排名第八 | | | | |

**代表性论文：**

1. **Ning Wang\***, Li Han, **Hongcai He**, Nam-Hee Park, Kunihito Koumoto\*, A novel high-performance photovoltaic-thermoelectric hybrid device, ***Energy & Environmental Science***, 2011, 4(9): 3676-3679.

2. Tian Du, **Ning Wang\***, Haijun Chen, Hong Lin, **Hongcai He**, Comparative study of vapor- and solution-crystallized perovskite for planar heterojunction solar cells, ***ACS Applied Materials & Interfaces***, 2015, 7(5): 3382-3388.

1. **Tao Liu**, Juan Hou, Bing Wang, Feiming Bai, Haijun Chen, Lei Gao, Yonghai Cao, **Hongcai He**, Jinshu Wang, **Ning Wang\***, Guozhong Cao\*, Zhanhu Guo\*, Correlation between the in-plain substrate strain and electrocatalytic activity of strontium ruthenate thin films in dye-sensitized solar cells, ***Journal of Materials Chemistry A***, 2016, 4(28): 10794-10800.
2. **Tao Liu**, Cheng Wang, Juan Hou, Chuanbo Zhang, Haijun Chen, **Hongcai He**, **Ning Wang\***, Hui Wu\*, Guozhong Cao\*, Enhanced electron collection in perovskite solar cells employing thermoelectric NaCo2O4/TiO2 coaxial nanofibers, ***Small***, 2016, 12(37): 5146-5152.
3. Haijun Chen, **Tao Liu**, Jing Ren, **Hongcai He**, Yonghai Cao, **Ning Wang\***, Zhanhu Guo\*, Synergistic carbon nanotube aerogel-Pt nanocomposites toward enhanced energy conversion in dye-sensitized solar cells, ***Journal of Materials Chemistry A***, 2016, 4(9): 3238-3244.
4. **Hongcai He**, Chuanbo Zhang, **Tao Liu**, Yonghai Cao, **Ning Wang\***, Zhanhu Guo\*, Thermoelectric-photoelectric composite nanocables induced a larger efficiency in dye-sensitized solar cells, ***Journal of Materials Chemistry A***, 2016, 4(24): 9362-9369.
5. Tian Du, **Ning Wang\***, Haijun Chen, **Hongcai He**, Hong Lin, Kai Liu, TiO2-based solar cells sensitized by chemical-bath-deposited few-layer MoS2, ***Journal of Power Sources***, 2015, 275: 943-949.
6. Haijun Chen, **Tao Liu**, **Ning Wang\***, Lijuan Zhao, Qinghong Zhao, Jing Ren, **Hongcai He**, Hong Lin, Enhanced dye-sensitized solar cells with catalytic carbon aerogel counter electrodes. ***Electrochimica Acta***, 2015, 174:871-874.