

项目公示信息（科技进步奖）

一、项目名称

基于近场热辐射的非接触式能量转换系统机理与调控研究

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省教育厅

提名意见：

该研究聚焦于纳米尺度下突破黑体辐射极限的热能传递机制研究，为非接触式能量转换系统，包括热光伏器件、真空热离子器件以及热光子器件等带来了新的契机。该项目致力于深入挖掘微纳尺度下非接触式能量转换系统内部多效应耦合机理，探索多种光谱调控手段并建立优化理论。提出的纳米尺度真空间隙的光子增强热离子器件理论，成功实现了较低阴极温度下达成超越单结硅太阳能电池极限效率的卓越成效，明确了间隙距离存在阈值，当大于该阈值时电子隧穿对电流和效率影响可忽略；提出的多层石墨烯发射极的热离子器件模型，为热离子器件的性能优化开辟新路径；精准揭示了石墨烯肖特基结近场热光伏系统中半导体侧光生电流在总光生电流中占据主导地位且石墨烯层内量子效

率低于 40 %的特性；成功构建了多物理效应耦合的全局优化理论，丰富了非接触能量转换器件模型，提出了全局优化策略，确保系统处于理想匹配状态。

经审核，该成果申报材料齐全、规范。经公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合 2025 年度陕西省科学技术自然科学奖提名条件，特提名为科技进步三等奖。

三、项目简介

近场热辐射是一种在纳米尺度上发生的热辐射现象，其热通量可显著超越黑体辐射极限。这一特性为非接触式能量转换器件（如热光伏、真空热离子和热光子器件）带来了新的机遇。相比半导体温差发电技术，非接触式结构破坏了高低温热源间的传热连续性，具备维持更大温差的内在优势和发展潜力。本项目致力于深入探究微纳尺度下非接触式能量转换系统内部的多物理场耦合机理，发展多种光谱调控方法并建立相应的优化理论。获得诸多创新成果包括：（1）提出低温非接触式能量转换理论，成功在相对低温条件下实现了卓越的热电转换效率，突破传统限制，为低温环境下高效能量转换开辟新路径。（2）构建多效应耦合理论，提出热电子-热辐射耦合器件模型及近场热辐射器件模型等一系列全新非接触式能量转换器件模型，通过多效应协同作用，显著提升能量转换效率，为非接触式能量

转换系统的多元化设计与高效运行提供坚实理论支撑。(3) 明确了不同光伏电池材料和发射器结构对发射光谱的调控作用, 确定了肖特基热光伏电池中光生电流的主要来源, 为精准设计与优化光伏电池结构提供了明确方向与科学依据。(4) 建立了优化理论, 确定系统的最佳构型以及各个重要参数取值范围, 实现性能最大化。研究成果将有助于深入理解近场热辐射在能量转换中的应用潜力, 并为未来的技术创新提供新的思路 and 方向。

四、客观评价

该成果来源于国家自然科学基金面上项目(No.11675132)、青年项目(No.12004327)和理论物理专项(No.11747036)以及西部地区人才培养特别项目(国家公派留学项目, No.202008615036)所提供的 8 篇代表论文, 总引 57 次, 他引 41 次, 被国内外权威期刊引用并评价, 如《International Journal of Extreme Manufacturing》、《Advance Science》和《中国科学》。

五、应用情况

该研究属于基础、应用基础类研究，展现出卓越的创新性和巨大的研究潜力，展现出三大核心应用潜力：（1）低温废热高效回收：提出的低温非接触式能量转换理论突破传统热电转换温度限制，有助于使工业中低温废热（如冶金、化工余热）发电效率显著提升，为工业节能降碳提供新路径。（2）新一代能量转换器件开发：构建的热电子-热辐射耦合器件等创新模型通过多物理场协同机制，为航空航天电源、微型传感器供能等场景的高效非接触式发电装置设计奠定基础。（3）热光伏系统精准优化：揭示的光谱调控机制与电池结构设计准则结合系统构型优化理论，可大幅提升热光伏电池在太阳能转化、深空探测器供电等领域的实用化性能。

六、主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）

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	权利人	发明人
1	实用新型	一种黑体辐射单色辐射度最大值对应波长的测量装置	中国	ZL 2023 2 2023108.X	2023.12.22	第 20217221 号	延安大学	杨智敏； 许巧平； 史萌萌； 王嘉瑶； 郝雨； 马佳乐；

								陈旭
2								

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（某 年某月）	通讯作者 （含共同）	第一作者 （含共同）	国内作者	他引总次 数	知识产权是 否归国内所 有
1	Performance comparison of near-and far-field temperature-dependent thermophotovoltaic systems with tungsten emitter and GaxIn1-xAs cell	Energy Conversion and Management	Zhimin Yang, Haidong Li, Yuan Wang, Xiaohang Chen , Jincan Chen.	2022 年 257 卷 115416 页.	2022 年 3 月	Xiaohang Chen	Zhimin Yang	Zhimin Yang, Haidong Li, Yuan Wang, Xiaohang Chen , Jincan Chen.	3	是
2	Analysis of Near-Field Thermophotovoltaic Devices Using Graphene–Germanium Schottky Cell	IEEE Transactions on Electron Devices	Zhimin Yang , Jaeman Song, Bong Jae Lee.	2023 年 70 卷 3269-3274 页	2023 年 6 月	Zhimin Yang	Zhimin Yang, Jaeman Song	Zhimin Yang	0	是
3	Parametric characteristics and optimum criteria of a	Energy Conversion and	Tianjun Liao, Zhimin	2017 年 152 卷 214-220 页	2017 年 11 月	Xiaohang Chen, Jincan Chen	Tianjun Liao	Tianjun Liao, Zhimin	13	是

	near-field solar thermophotovoltaic system at the maximum efficiency	Management	Yang, Wanli Peng, Xiaohang Chen, Jincan Chen					Yang, Wanli Peng, Xiaohang Chen, Jincan Chen		
4	Parametric Optimum Design and Performance Improvement of a Thermophotonic Cell	IEEE Transactions on Electron Devices	Zhimin Yang, Junyi Wang, Juncheng Guo, Guoxing Lin, Jincan Chen	2020 年 67 卷 2376-2380 页	2020 年 5 月	Junyi Wang; Jincan Chen	Zhimin Yang	Zhimin Yang, Junyi Wang, Juncheng Guo, Guoxing Lin, Jincan Chen	8	是
5	Using a multi-layer graphene-based emitter to improve the performance of a concentrated solar thermionic converter	Journal of Applied Physics	Zhimin Yang, Wanli Peng, Wangyang Li, Shanhe Su, Guoxing Lin, Jincan Chen	2018 年 124 卷 154501 页	2018 年 10 月	Jincan Chen	Zhimin Yang	Zhimin Yang, Wanli Peng, Wangyang Li, Shanhe Su, Guoxing Lin, Jincan Chen	5	是

6	Performance analysis of photon-enhanced thermionic emission systems mediated by quantum tunneling	Journal of Applied Physics	Yuan Wang;Aoao Ding, Haidong Li, Shaohui Liu, Qianhui Mao, Zhimin Yang, Shanhe Su	2023 年 134 卷 035002 页	2023 年 7 月	Shanhe Su	Yuan Wang	Yuan Wang;Aoao Ding, Haidong Li, Shaohui Liu, Qianhui Mao, Zhimin Yang, Shanhe Su	0	是
7	基于电荷和热输运的石墨烯热电子器件性能优化	物理学报	廖天军, 杨智敏, 林比宏	2021 年 70 卷 227901 卷	2021 年 11 月	杨智敏, 林比宏	廖天军	廖天军, 杨智敏, 林比宏	5	是
8	太阳能驱动热电子-热辐射耦合器件的优化性能	中国科学: 技术科学	廖天军, 陈渝, 杨智敏	2021 年 51 卷 46-54 页	2021 年 1 月	杨智敏	廖天军	廖天军, 陈渝, 杨智敏	7	是

七、主要完成人情况

1. 杨智敏, 本项目的第一完成人, 是本项目的组织、设计与直接参与者, 是代表性论文 1, 2, 4, 5 的第一作者, 和代表性论文 7, 8 的通讯作者。对发现点 1, 2, 3, 4 做出了创新性贡献。

2. 廖天军, 本项目的第二完成人, 是代表性论文 3, 7, 8 的第一作者。对发现点 2, 4 做出了创新性贡献。

3. 苏山河, 本项目的第三完成人, 对发现点 1 做出了创新性贡献。

4. 王远, 本项目的第四完成人, 对发现点 1 做出了创新性贡献。

5. 陈金灿, 本项目的第五完成人, 对发现点 2, 4 做出了创新性贡献。

八、主要完成单位情况

1. 延安大学,

2. 重庆理工大学,

3. 厦门大学,

4. 河南工程学院

九、完成人合作关系说明

第一完成人杨智敏与廖天军合作发表代表性论文 3, 7, 8. 第一完成人与苏山河合作发表代表性论文 5, 6 并于联合申报研究课题。第一完成人与王远合作发表代表性论文 1, 6. 第一完成人与陈金

灿合作代表性论文 1, 3, 4, 5.