

2024 年度山东省自然科学奖提名公示信息

项目名称	高效量子点材料的精准结构与性能调控
提名单位	山东省教育厅
提名意见	<p>我单位认真审阅了提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，并按照规定在各完成单位进行公示。</p> <p>量子点作为 20 世纪 80 年代重大科学发现，推动了整个纳米科技的高速发展，荣获 2023 年诺贝尔化学奖。量子点具有尺寸和结构依赖的宽吸收光谱、窄发射光谱、多重激子产生、高荧光量子效率、优异光学稳定性和化学稳定性等特性，在光电化学器件和生物传感等众多领域显示出巨大的应用潜力。量子点的尺寸较小，大量原子位于量子点的表面，导致量子点的能带结构和光电化学性能强烈依赖表面原子/基团的化学结构和电子状态。而且量子点表面容易诱导产生表面缺陷、陷阱态，使量子点发光效率和稳定性降低；同时大部分高质量量子点含有铅、镉、汞等毒性元素，存在潜在的环境和健康问题，不利于其在光电化学器件的商业化。此外，量子点的结构和成分较复杂，至今缺乏对其光电特性结构依赖关系的深入研究，导致难以精准设计并制备具有特定光电化学性能的高效量子点材料体系。上述科学问题是现阶段该领域突破发展瓶颈的关键，具有重要的科学研究意义。本项目设计制备了具有精准结构的环保型高效量子点，通过对量子点核结构和表面结构调控，实现对量子点表面原子的保护，阐明了量子点微观结构与光电性能之间的构效关系，揭示了量子点精细结构对其能带结构和光电性能的影响机制，构筑了高效光电化学器件。项目执行期间共发表相关高水平论文 86 篇，获授权发明专利 3 项。5 篇代表性高水平论文发表在 Energy Environ. Sci. (2 篇)、Adv. Energy Mater.、Nano Energy 和 J. Mater. Chem. B 等国际重要科技期刊上，其中 2 篇以封面卷首进行报道，1 篇入选 ESI 高被引论文，受到国内外同行专家的广泛关注和认可。主要完成人中 1 人为国家领军人才，1 人获得山东省杰出青年基金资助，1 人为山东省重大科技创新工程项目首席科学家，1 人获得山东省优秀博士学位论文。</p> <p>基于本项目主要成果的优秀创新性和学术水平，推荐提名该项目申报 2024 年度山东省自然科学奖二等奖。</p>
项目简介	<p>该项目属于材料科学和纳米科学交叉领域。量子点材料具有宽吸收光谱、窄发射光谱、高量子效率、多光子辐射、优异的光/化学稳定性等特性，在光电器件、显示、催化和生物传感等领域展现出巨大的研究价值。量子点结构复杂，其微观结构对其能带结构具有决定性作用，进而影响其光电化学性能，因此解析量子点微观结构与其能带结构和光电性能之间的构效关系是目前亟需解决的关键科学问题。该项目构建了系列高效量子点，实现了其微观结构的精准调控，阐明了量子点微观结构与光电性能之间的构效关系，构筑了高效光电化学器件。项目执行期间共发表高水平论文 86 篇，获授权发明专利 3 项。科学创新发现如下：</p> <ol style="list-style-type: none">揭示了高晶化碳核/金属离子修饰羰基化基团的碳量子点优异光学性能的结构依赖性机制。实现了碳量子点高晶化碳核和金属离子修饰羰基化基团结构精准调控；解析了碳量子点激子动力学结构依赖性；发现了碳量子点高晶化碳核-表面结构的电子构型是影响其光电特性的核心因素，解决了宏量制备大斯托克斯位移、高量子效率和高稳定性碳量子点的难题，突破了量子点基荧光聚光器的光学效率，为构建高效率、环境友好和价格低廉的荧光聚光器提供了科学指导和技术手段。揭示了近红外环保型量子点的超厚壳层结构对其光电特性的影响机制。通过精准调控量子点的壳层厚度，实现了电子-空穴波函数空间上的非对称分布；明晰了量子点能带排列的结构影响机制，实现了量子点电子-空穴在空间上的高效分离和

		<p>传导，显著提升了光电化学制氢器件效率和稳定性，为构建高效光驱动制氢器件提供了关键研究思路。</p> <p>3. 揭示了高晶化碳核/羟基功能基团结构碳量子点对其带隙和能带结构的影响机制。通过精准调控碳量子点高晶化碳核和表面羟基基团结构，利用羟基间氢键作用，实现了碳量子点与二氧化钛的有效键合、宽光吸收和能级匹配，构筑了高效、高稳定性光电化学器件，为构建生态友好型光电化学制氢器件提供了新的设计思路和方法。</p> <p>4. 阐明了碳量子点碳核和表面功能基团主导的双荧光峰机制。通过精准调控碳量子点碳核和表面功能基团结构，构建了双荧光峰的碳量子点，明晰了带隙发射和表面发射的协同作用机制，实现了单细胞内温度的高灵敏度、自校准的比率式检测，克服了现有检测技术依赖校准的缺陷，为高灵敏热传感器光电子器件的研发提供了科学指导。</p> <p>该项目 5 篇代表性高水平论文发表在 Energy Environ. Sci. (2 篇)、Adv. Energy Mater.、Nano Energy 和 J. Mater. Chem. B 等国际重要科技期刊上，其中 2 篇以封面卷首进行报道，1 篇入选 ESI 高被引论文，SCI 正面他引 291 次。主要完成人中 1 人为国家领军人才，1 人获得山东省杰出青年基金资助，1 人为山东省重大科技创新工程项目首席科学家，1 人获得山东省优秀博士论文。</p>							
主要完成人 (完成单位)		赵海光 (青岛大学), 王晓涵 (青岛大学), 韩怡 (青岛大学), 童鑫 (电子科技大学), 龚晓 (武汉理工大学), 王志明 (电子科技大学)							
代表性论文 (专著) 目录									
序号	论文 (专著) 名称/刊名/作者	年卷页码	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	论文署名单位是否包含国外单位
1	Gram-scale synthesis of carbon quantum dots with a large Stokes shift for the fabrication of eco-friendly and high-efficiency luminescent solar concentrators/ Energy&Environmental Science/ Haiguang Zhao, Guiju Liu, Shujie You, Franco V. A. Camargo, Margherita Zavelani-Rossi, Xiaohan Wang, Changchun Sun, Bing Liu, Yuanming Zhang, Guangting Han, Alberto Vomiero, Xiao Gong	2021, 14, 396-406.	2020 年 9 月 4 日	Haiguang Zhao, Alberto Vomiero, Xiao Gong	Haiguang Zhao	Haiguang Zhao, Guiju Liu, Xiaohan Wang, Changchun Sun, Bing Liu, Yuanming Zhang, Guangting Han, Xiao Gong	117	Web of Science	是
2	Near-Infrared, Heavy Metal-Free Colloidal "Giant" Core/Shell Quantum Dots/ Advanced Energy Materials/ Xin Tong, Xiang-Tian Kong, Yufeng Zhou, Fabiola Navarro-Pardo, Gurpreet Singh Selopal, Shuhui Sun, Alexander O. Govorov, Haiguang Zhao, Zhiming M. Wang, Federico Rosei	2018, 8, 1701432.	2017 年 9 月 18 日	Haiguang Zhao, Zhiming M. Wang, Federico Rosei	Xin Tong	Xin Tong, Xiang-Tian Kong, Yufeng Zhou, Haiguang Zhao, Zhiming M. Wang,	55	Web of Science	是

3	Colloidal carbon quantum dots as light absorber for efficient and stable ecofriendly photoelectrochemical hydrogen generation/ Nano Energy/ Xiaohan Wang, Maorong Wang, Guiju Liu, Yuanming Zhang, Guangting Han, Alberto Vomiero, Haiguang Zhao	2021, 86, 106122.	2021年5月10日	Guangting Han, Alberto Vomiero, Haiguang Zhao	Xiaohan Wang	Xiaohan Wang, Maorong Wang, Guiju Liu, Yuanming Zhang, Guangting Han, Haiguang Zhao	50	Web of Science	是
4	Highly efficient ratiometric nanothermometers based on colloidal carbon quantum dots/ Journal of Materials Chemistry B/ Yi Han, Yanran Liu, Haiguang Zhao, Alberto Vomiero, Ronggui Li	2021, 9, 4111-4119.	2021年3月27日	Haiguang Zhao, Alberto Vomiero, Ronggui Li	Yi Han	Yi Han, Yanran Liu, Haiguang Zhao, Ronggui Li	19	Web of Science	是
5	Highly efficient tandem luminescent solar concentrators based on eco-friendly copper iodide based hybrid nanoparticles and carbon dots/ Energy&Environmental Science/ Jiancang Chen, Haiguang Zhao, Zhilin Li, Xiujian Zhao, Xiao Gong	2022, 15, 799-805.	2021年12月24日	Xiao Gong	Jiancang Chen, Haiguang Zhao	Jiancang Chen, Haiguang Zhao, Zhilin Li, Xiujian Zhao, Xiao Gong	50	Web of Science	否