

中国科学院大连化学物理研究所
优秀博士后支持计划申请表

申请人： 王 康

研究组： DNL1606 组

学科专业： 物理化学

合作导师： 刘生忠 教授

填表日期： 2022 年 5 月 1 日

中国科学院大连化学物理研究所制

姓 名	王康	性 别	男
出生日期	1990 年 4 月 25 日	民 族	汉
学历/学位	博士/工学	授予博士学位时间	2020 年 6 月
博士毕业院校	陕西师范大学	专 业	材料学
(拟) 进站时间	2021 年 11 月 9 日	进站性质	<input type="checkbox"/> 统招统分 <input checked="" type="checkbox"/> 在职人员
E-Mail		联系电话	
学习经历	起止年月	所在单位/专业	所获学位
	2010. 09-2014. 06	宁夏大学/化学工程与工艺	本科
	2014. 09-2016. 06	宁夏大学/绿色化学工程	硕士
	2017. 09-2020. 06	陕西师范大学/材料学	博士
工作经历	起止年月	所在单位	职务
	2020. 08-至今	北方民族大学	讲师
博士学位论文摘要	博士论文题目	高稳定 CsPbI ₃ 钙钛矿材料的制备及其太阳能电池的研究	
	指导教师姓名	刘生忠 教授	
	(限 800 字)	<p>1) 研究发展了亚稳相 CsPbI₃ 薄膜的制备方法及其在太阳能电池中的应用。结果表明, 前驱体对高质量亚稳态 CsPbI₃ 薄膜具有很大影响。以 PbI₂ 的中间体 “HPbI_{3+x}” 粉末和 CsI 为前驱体, 通过一步溶液法制备出 β-CsPbI₃ 和 γ-CsPbI₃, 禁带宽度为 1.69 eV, 低于 α-CsPbI₃ 材料的 1.73 eV。利用亚稳相制备出 CsPbI₃ 太阳能电池, 并且得到了 11.5% 的光电转换效率, 且在常温短时期内可稳定存在。为了提高电池的环境稳定性, 在 CsPbI₃ 前驱溶液中加入少量的苯乙胺碘 (PEAI), 发现 PEA I 不仅能够减缓 γ-CsPbI₃ 的结晶速率, 而且空间位阻效应有利于晶体的取向性生长和稳定性的提高。最终设计出能级匹配的太阳能电池, 得到了 15.07% 的光电转换效率且迟滞较小, 该效率为当时 CsPbI₃ 太阳能电池的最高效率之一。环境稳定性也大幅提升, 在空气中放置 60 天后, 仍然能保持初始效率的 92%, 且光照稳定性和热稳定性也明显提高。</p> <p>2) 离子掺杂改善 γ-CsPbI₃ 薄膜的结晶质量及其光电性能的提高。研究表明, Cl⁻ 能够有效促进 γ-CsPbI₃ 晶体的成核与生长。随着掺杂量的增加, γ-CsPbI₃ 的晶体取向生长且晶粒尺寸增加。当最佳掺杂浓度为 3% 时, γ-CsPbI₃ 薄膜表现出高导电性、低陷阱密度和长载流子迁移率, 且极大地降低了界面复合。最后, 制备出 γ-CsPbI₃ 太阳能电池得到了 16.07% 的光电转换效率。同时, 器件在低湿度的空气中放置 60 天后仍能保持初始效率的 94%。经过光照 200 h 后, 效率也基本没有衰减。显然, 利用 Cl⁻ 作为钝化剂能够有效改善 γ-CsPbI₃ 薄膜的光电性能。</p> <p>3) 探究 Ruddlesden-Popper (RP) 型 2D 成分对 γ-CsPbI₃ 薄膜结晶以及光电性能的影响。研究发现, 通过调节 PEA⁺ 与 Cs⁺ 的化学计量比, 制备出 2D、2D/3D 以及 3D CsPbI₃ 微晶薄膜。发现, PEA I 使 γ-CsPbI₃ 的晶体取向、表面形貌和环境稳定性明显改善。然而, 2D 结构 (n=4) 的薄膜存在明显的相分离, 导致薄膜的导电率降低、载流子复合严重及光电性能变差, 这与晶</p>	

体内的量子阱有关。而 2D/3D CsPbI₃ 薄膜(n=40)表现出与 3D CsPbI₃ 薄膜相似的电荷抽取能力和载流子荧光寿命。同时, 2D/3D γ -CsPbI₃ 太阳能电池得到了 13.56%的光电转换效率, 环境稳定性和热稳定性相较 3D CsPbI₃ 薄膜明显改善。在低湿度的空气中储存 12 天后, 仍能保持初始效率的 88%, 而 3D γ -CsPbI₃ 电池只保持了 69%。可以看出, 2D/3D γ -CsPbI₃ 薄膜的稳定性显著提高。

4) 通过构筑椅式带隙(CSB)制备出高效率的 β -CsPbI₃ 太阳能电池。研究发现, 通过在 CsPbI₃ 微晶薄膜上下表面分别制作 CsPbI₃ 量子点和苯基三甲基溴化铵(PMABr)钝化层后获得椅式带隙的薄膜。相较于单一带隙的 CsPbI₃ 太阳能电池, 椅式带隙结构可以增加电池的内建电势(1.08 V), 有利于电子-空穴的分离和传输。此外, PMABr 还可以钝化 TiO₂ 层的缺陷, 提高电荷传输能力, 同时也改善 β -CsPbI₃ 薄膜的结晶质量。而且, CsPbI₃ 量子点可以作为空穴传输通道抑制载流子在界面的复合。最终, CSB 结构的 β -CsPbI₃ 电池得到了 17.12%的转换效率, V_{oc} 从 1.06V 增加到 1.15 V, 器件效率在低湿度空气中储存 30 天后衰减~10%。

1、主持或参与项目情况:

序号	项目名称	项目来源	项目金额	起止年度	角色
1	铅碘八面体扭曲调控及其对 CsPbI ₃ 钙钛矿相稳定性的影响机制	国家自然科学基金 青年基金	30 万	2022.01-2024.12	主持
2	维度调控与气氛钝化策略制备高光电性能无机 CsPbI ₃ 钙钛矿太阳能电池	宁夏重点研发计划引才专项	9 万	2022.01-2024.12	主持
3	类二甲胺分子和外来元素掺杂调控制备稳定高效的无机 CsPbI ₃ 钙钛矿太阳能电池	宁夏自然科学基金 优秀青年基金	20 万	2022.01-2024.12	主持

2、代表性论文 (5 篇以内)

注: “作者排序”中, 如为通讯作者请填写“C”。

入站前期及入站后

序号	论文题目	期刊名	影响因子	发表年度/卷期/页码	排序
1	All-inorganic cesium lead iodide perovskite solar cells with stabilized efficiency beyond 15%	Nature Communications	14.9	2018, 9(1): 1-8.	1
2	Chlorine doping for black γ -CsPbI ₃ solar cells with stabilized efficiency beyond 16%	Nano Energy	17.9	2019, 58: 175-182.	1

科研 情况 简介	3	Ruddlesden-Popper 2D Component to Stabilize γ -CsPbI ₃ Perovskite Phase for Stable and Efficient Photovoltaics	Advanced Energy Materials	29.4	2019, 9(42): 1902529.	1
	4	In-Situ Hot Oxygen Cleansing and Passivation for AllInorganic Perovskite Solar Cells Deposited in Ambient to Breakthrough 19% Efficiency	Advanced Functional Materials	18.8	2021, 31(25): 2101568.	1
	5	Highly Efficient and Stable CsPbTh ₃ (Th = I, Br, Cl) Perovskite Solar Cells by Combinational Passivation Strategy	Advanced Science	16.8	2022: 2105103.	1C
	其他论文发表情况					
	1	CO ₂ plasma-treated TiO ₂ film as an effective electron transport layer for high-performance planar perovskite solar cells.	ACS Applied Materials & Interfaces	9.2	2017,9.39, 3989-33996.	1
	2	Oxidation, reduction, and inert gases plasma-modified defects in TiO ₂ as electron transport layer for planar perovskite solar cells.	Journal of CO ₂ Utilization	7.1	2019, 32, 46-52.	1
	3	Beach-Chair-Shaped Energy Band Alignment for High-Performance β -CsPbI ₃ Solar Cells	Cell Reports Physical Science	0	2020, 1, 100180.	1
	4	Stoichiometry control of sputtered zinc oxide films by adjusting Ar/O ₂ gas ratios as electron transport layers for efficient planar perovskite solar cells	Solar Energy Materials and Solar Cells	7.3	2018, 178, 200-207.	2
	3、专利情况：					
	序号	专利名称	授权/申请	授权/申请号	起始日期	排序
1	一种导电电极和电子传输层的钙钛矿太阳电池及制备方法	授权	ZL201710557801.1	2020年3月	2	
2	一种高质量电子传输层的钙钛矿太阳电池及其制备方法	授权	ZL201710557229.9	2019年10月	2	
4、获奖情况：						
序号	奖励名称	奖励等级	授奖单位	奖励年度	排序	
1	优秀博士毕业论文	校级	陕西师范大学	2020年	1	

	2	优秀毕业研究生	校级	陕西师范大学	2020年	1
	3	隆基奖学金	校级	陕西师范大学	2019年	1
博士 后 工 作 的 研 究 计 划	博士后研究题目： (简述研究计划的可行性、先进性和创新性，理论和现实意义)					
	<p>可行性： 申请人自 2017 年攻读博士学位至今，一直从事 CsPbI₃ 吸光层材料的制备、晶体生长优化、器件组装等工作，目前主要致力于解决限制 CsPbI₃ 电池器件中相稳定性和光电性能的瓶颈问题。在过去近五年中，申请人在 CsPbI₃ 预制膜制备、器件各层组装及优化方面积累了许多宝贵的研究经验。相关工作以第一作者发表在 <i>Nat. Commun.</i>, 2018, 9, 4544 (高被引论文)、<i>Nano Energy</i>, 2019, 58, 175-182、<i>Adv. Energy Mater.</i>, 2019, 1902529、<i>ACS Appl. Mater. Inter.</i>, 2017, 9,39,33989-33996、<i>Cell Rep. Phys. Sci.</i>, 2020, 1, 100180、<i>Adv. Funct. Mater.</i>, 2021, 2101568 等国际材料和化学期刊上。这些工作得到了大量的正面引用(约 400 次)和同行的广泛关注，也将为本项目的顺利开展提供理论和技术指导。</p> <p>从实验方案设计上讲，博士后器件将围绕 CsPbI₃ 相稳定性的提升开展系统性工作。通过对前驱体组分的设计，对制备成膜过程中添加剂变化以及结晶相转变进行原位探测和分析，深度揭示薄膜结晶动力学-晶格扭曲-相变行为-器件性能的关联规律，以期实现对 CsPbI₃ 薄膜高质量的制备，设计创制出整体性能同比提升的高稳定性与高光电转换效率兼备的 CsPbI₃ 钙钛矿太阳能电池。</p> <p>创新性： (1) 通过对前驱体组分的设计获得高结晶质量的 CsPbI₃ 微晶薄膜，该薄膜具有潜在的工业化价值。当前对本领域的研究主要集中在 CsPbI₃ 微晶薄膜的表界面钝化和维度调控等研究，很少有报道关注 CsPbI₃ 晶体结构的变化与薄膜性能之间的关系。因此，申请人拟通过 CsPbI₃ 前驱液中掺入不同类型的有机小分子和外来元素，深化组分调控对 CsPbI₃ 薄膜晶体结构演变所起作用的认识，揭示其与薄膜结晶性能的关联规律，为 CsPbI₃ 薄膜结晶质量的提升带来新思路。</p> <p>(2) 获得有机小分子和外来元素对 CsPbI₃ 晶体结构的调控及其对薄膜相稳定性和光电性能的影响规律。依据预实验现象，我们初步发现有机小分子在 CsPbI₃ 薄膜结晶过程中存在挥发现象，因此深刻揭示前驱体对 CsPbI₃ 晶格变化-相稳定性-光电性能三者的影响规律。最终，本项目为晶格应力调控相稳定性和光电性能提供可靠的工艺参数设计准则，制备出稳定高效的 CsPbI₃ 钙钛矿太阳能电池。</p> <p>研究意义： CsPbI₃ 钙钛矿相稳定性问题是阻碍 CsPbI₃ 钙钛矿材料在高效太阳能电池的应用，其本质问题是 CsPbI₃ 的相转变问题。目前，大部分课题组的研究主要集中在元素掺杂，表面改性及界面修饰提升了器件的性能，不能从本质上揭示外部因素对黑色相晶体的影响规律。本项目旨在获得有机小分子及外来元素对 CsPbI₃ 晶体结构的影响机制，并且发展出晶格应力调控相稳定性与光电性能的方法。</p>					

本人承诺	<p>本人承诺：申请表所填内容均真实可靠。对因虚报、伪造等行为引起的后果及法律责任均由本人承担。</p> <p>本人签字： 王康 2022 年 5 月 9 日</p>
------	---