

# 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: 刘小涛

研究组: DNL1607 组

学科专业: 化学

合作导师: 郭鑫、李灿

填表日期: 2025 年 7 月 18 日

中国科学院大连化学物理研究所制

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |          |                                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| 姓 名      | 刘小涛                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     | 性 别      | 男                                                                       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     | 民 族      | 汉族                                                                      |
| 学历/学位    | 研究生/博士                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                     | 授予博士学位时间 | 2024. 12. 19                                                            |
| 博士毕业院校   | 南开大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     | 专 业      | 材料物理与化学                                                                 |
| (拟)入站时间  | 2025. 01. 08                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     | 入站性质     | <input checked="" type="checkbox"/> 统招招统分 <input type="checkbox"/> 在职人员 |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |          |                                                                         |
| 学习经历从本科起 | 起止年月                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 所在单位/专业             |          | 所获学位                                                                    |
|          | 2012. 09-2016. 06                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 厦门理工学院/电子封装技术       |          | 学士                                                                      |
|          | 2016. 09-2019. 06                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 郑州大学/材料加工工程         |          | 硕士                                                                      |
|          | 2020. 09-2024. 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 南开大学/材料物理与化学        |          | 博士                                                                      |
| 工作经历     | 起止年月                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 所在单位                |          | 职务                                                                      |
|          | 2025. 01-至今                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 中国科学院大连化学物理研究所      |          | 博士后                                                                     |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |          |                                                                         |
| 博士学位论文摘要 | 博士论文题目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 有机-无机杂化钙钛矿薄膜的晶面取向调控 |          |                                                                         |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                     |          |                                                                         |
|          | <p>有机-无机杂化钙钛矿薄膜的晶面取向包括晶面的择优生长和择优晶面的堆积取向两个方面。关于晶面择优生长的报道较多，但对于表面能较高的高指数晶面（如（111））的取向调控难度较大，其择优生长鲜有报道。此外，在晶面取向生长过程中，晶格应力的影响却未得到关注。关于择优晶面的堆积取向研究则相对更少，目前的一些方法仍不能获得高度有序的堆积。针对上述问题，本论文围绕两步法制备的钙钛矿薄膜开展晶面取向调控研究，通过（100）晶面抑制策略制备（111）晶面择优生长的钙钛矿薄膜，阐述其择优生长机制；采用晶格应力抑制方法制备（100）晶面择优生长的钙钛矿薄膜，探究其择优生长的影响因素；开发 2D 钙钛矿模板层诱导钙钛矿晶体定向生长技术，实现（100）择优晶面的高度有序堆积。这些研究改善了钙钛矿薄膜的晶面取向和堆积取向，进而提升钙钛矿薄膜和器件的性能。论文取得的具体结果如下：</p> <p>1）本章中，在第一步的 PbI<sub>2</sub> 前驱体溶液中，有机胺盐阳离子插层到 PbI<sub>2</sub> 层间，与 I<sup>-</sup>发生键合作用。在随后旋涂 FAI 的过程中（第二步），与（100）晶面上 I<sup>-</sup>预键合的阳离子抑制了（100）晶面的生长。而在（111）晶面暴露的情况下，旋涂 FAI 时 FA<sup>+</sup>可顺利进入钙钛矿晶格，促进（111）晶面的生长。此外，有机胺盐阴离子通过延缓钙钛矿结晶，延长了阳离子对（100）晶面生长抑制的时间，进一步增加（111）晶面的比例。</p> |                     |          |                                                                         |

二者协同作用使得（111）晶面的比例达到 85%。基于（111）晶面主导钙钛矿薄膜制备的器件效率达到 25.23%，并表现出更高的稳定性。

2）本工作沉积含硼酸分子在中间态钙钛矿薄膜表面，硼酸基团可与 Pb<sup>2+</sup>, I<sup>-</sup>, FA<sup>+</sup>/MA<sup>+</sup>相互作用。在钙钛矿晶体中，硼酸基团与（100）晶面强的相互作用降低该晶面缺陷态密度，提高晶格结构一致性，从而形成低应力的（100）晶面暴露的中间态钙钛矿。在进一步高温退火过程中，钙钛矿晶体沿着低应力的（100）晶面自上而下生长，形成（100）晶面取向的钙钛矿薄膜。基于取向钙钛矿薄膜的太阳电池效率提升到 25.57%。

3）本工作在 PbI<sub>2</sub> 薄膜表面沉积有机胺盐，生成一层连续的 2D 钙钛矿，其（100）晶面沿面外方向形成高度一致的堆积取向。同时，2D 钙钛矿（00k）晶面和 3D 钙钛矿（100）晶面具有高度匹配的晶格参数，使得 2D 钙钛矿可以作为 3D 钙钛矿的生长模版。旋涂 FAI 后，3D 钙钛矿晶体基于取向的模版自上而下生长，形成沿面外方向有序堆积的 3D 钙钛矿薄膜。所制备 3D 钙钛矿薄膜的取向差为 3°，这是目前多晶钙钛矿薄膜中取向差的最低值。相应的钙钛矿电池效率提升至 25.81%，且表现出更好的器件稳定性。

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  | 基于 2D 钙钛矿相有序性调控制备高效稳定 2D/3D 钙钛矿太阳能电池 | 国家资助博士后研究人员计划 (C 档)  | 24 万     | 2025-2026 | 主持 |
| 2  | 高效低成本大面积钙钛矿光伏电池研究                    | 中国科学院战略性先导科技专项 (B 类) | 1249.1 万 | 2024-2029 | 参与 |
| 3  | 高稳定性 Dion-Jacobson 型二维钙钛矿材料及其光伏性能研究  | 国家自然科学基金面上项目         | 59 万     | 2020-2023 | 参与 |
|    |                                      |                      |          |           |    |
|    |                                      |                      |          |           |    |
|    |                                      |                      |          |           |    |

2、代表性论文（5 篇以内）

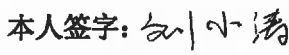
注：“作者排序”中，如为通讯作者请填写“C”。

| 序号 | 论文题目                                                              | 期刊名                            | 影响因子 | 发表年度/卷期/页码        | 排序 |
|----|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|----|
| 1  | Dominating (111) facets with ordered stacking in perovskite films | Energy & Environmental Science | 30.8 | 2024/17/6058-6067 | 1  |

入站前期及入站后科研

情况简介

|          |                                                                                                                                                          |                                         |             |                                 |              |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|---------------------------------|--------------|
| 2        | Ordered Stacking of (001) Facet-Oriented 3D Perovskite Crystals with an Ultralow Misorientation                                                          | Advanced Functional Materials           | 19          | 2025/DOI:10.1002/adfm.202513478 | 1            |
| 3        | Multiple-ion Management of Perovskites by Regulating Spatial Distribution of Hydroxyls in Oligosaccharides                                               | Small                                   | 12.1        | 2023/19/23014737                | 1            |
| 4        | High-efficiency perovskite solar cells based on self-assembly n-doped fullerene derivative with excellent thermal stability                              | Journal of Power Sources                | 7.9         | 2019/413/459-466                | 1            |
| 5        | Tailoring Component Interaction for Air-Processed Efficient and Stable All-Inorganic Perovskite Photovoltaic                                             | Angewandte Chemie International Edition | 16.9        | 2020/59/13354                   | 3(共同第一作者)    |
| 其他论文发表情况 |                                                                                                                                                          |                                         |             |                                 |              |
| 1        | Dopamine-crosslinked TiO <sub>2</sub> /perovskite layer for efficient and photostable perovskite solar cells under full spectral continuous illumination | Nano Energy                             | 17.1        | 2019/56/733-740                 | 2(与导师共同第一作者) |
| 2        | Roles that Organic Ammoniums Play on the Surface of the Perovskite Film: A Review                                                                        | Chemistry-A European Journal            | 3.7         | 2023/29/e202203001              | 1            |
|          |                                                                                                                                                          |                                         |             |                                 |              |
| 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           |
|          |                                                                                                                                                          |                                         |             |                                 |              |
| 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        | 学术创新奖                                                                                                                                                    | --                                      | 大连化物所 503 组 | 2024                            | 1            |
| 2        | 优秀报告人                                                                                                                                                    | --                                      | 大连化物所 503 组 | 2024                            | 1            |
| 3        | 研究生公能奖学金                                                                                                                                                 | 二等                                      | 南开大学        | 2023                            | 1            |
| 4        | 研究生学业奖学金                                                                                                                                                 | 一等                                      | 郑州大学        | 2017                            | 1            |
| 5        | 国家励志奖学金                                                                                                                                                  | --                                      | 厦门市教育局      | 2015                            | 1            |

|                                                |                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 博<br>士<br>后<br>工<br>作<br>的<br>研<br>究<br>计<br>划 | <p><b>博士后研究题目：</b>高稳定性 Dion-Jacobson 型 2D 钙钛矿薄膜的相有序性调控（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>                                                                                                                                        |
|                                                | <p><b>可行性：</b>Dion-Jacobson（DJ）型 2D 钙钛矿薄膜的制备方法（如溶液旋涂）较为成熟，前期探索已验证其可控制备。相有序性的表征手段（如 XRD、GIWAXS、TEM、原位光谱）是实验室常规技术，确保其制备和表征可行。同时，DJ 型 2D 钙钛矿的层间相互作用（如氢键/<math>\pi</math>-<math>\pi</math> 堆积调控）与相有序性的关联已进行充分的理论调研，保证其理论的可行性。</p> |
|                                                | <p><b>先进性：</b>本研究从 2D 钙钛矿相形成本质出发，基于分子层面揭示其生长机制及相有序性调控规律，突破传统研究中常规因素带来的一般性认知局限，直接指向器件性能瓶颈（效率和长期工作稳定性），构建高效超稳定的钙钛矿太阳电池。</p>                                                                                                     |
|                                                | <p><b>创新性：</b>揭示 DJ 2D 钙钛矿相性质的调控机制，补充现有理论体系。同时，设计新型有机胺配体，提升 DJ 2D 钙钛矿相有序性（相纯度和取向）和环境稳定性（光照和湿热），推动光电领域对新型高效材料的利用和研究。</p>                                                                                                       |
|                                                | <p><b>理论意义：</b>构建有机胺配体结构-DJ 2D 钙钛矿和其器件性能的构效关系，建立有机胺配体的精准科学筛选准则，确立目标导向性，规避传统试错法的低效性，提高研究效率，为开发高效稳定的钙钛矿光电器件提供实践指导。</p>                                                                                                          |
|                                                | <p><b>现实意义：</b>本研究有助解决钙钛矿光伏商业化核心痛点-器件长期稳定性，推动其满足产业化对器件可靠性的标准（如满足 IEC61215 标准）。此外，高稳定性薄膜可推动钙钛矿在 X 射线探测器、柔性电子等新兴领域的应用，为下一代新型光电器件提供材料基础。</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： 2015年7月22日</p>                                                               |