

自然科学奖公示：

| | |
|------|---|
| 项目名称 | 若干新型二维材料的制备、物性与应用研究 |
| 提名者 | 中国科学院沈阳分院 |
| 提名意见 | <p>我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目符合填写要求。按照要求，我单位和完成人所在单位都已对该项目进行了公示，目前无异议。</p> <p>该项目针对二维材料的高质量制备这一制约二维材料物性和应用研究的国际难题，深入系统地开展了四类最具代表性的新型二维材料的制备方法研究，并探索了其超导特性及在柔性电子器件等方面的应用，主要科学发现包括：（1）发明了双金属基底化学气相沉积（CVD）方法，制备出系列高质量二维过渡金属碳化物晶体，开拓了无官能化二维过渡金属碳化物研究领域，发现超薄 Mo_2C 为二维超导体，阐明了其超导特性的厚度依赖关系，并外延生长出二维 Mo_2C 与石墨烯的叠层异质结构，获得了高性能约瑟芬结器件。（2）提出了以金箔为基底的常压、自限制表面催化 CVD 方法，制备出均一单层的高质量 WS_2 和 WSe_2 单晶和薄膜，研制出大面积柔性薄膜晶体管器件；实现了单层、双层和多层 $h\text{-BN}$ 的控制制备；制备出高质量黑磷烯，并率先用于高性能柔性锂离子电池薄膜电极。</p> <p>该项目成果创新性突出，在国际上产生了重要影响，得到了诺贝尔奖获得者 KS Novoselov、JB Goodenough 等国内外同行的高度评价，推动了二维材料制备科学和应用技术的发展。</p> <p>对照省自然科学奖授奖条件，提名该项目为 2020 年度辽宁省自然科学奖一等奖。</p> |
| 项目简介 | <p>二维材料是一新兴研究领域，除石墨烯之外，二维材料的种类繁多、性能独特，特别是金属性的过渡金属碳化物（MXene）、半导体性过渡金属硫族化合物（TMDC）、绝缘性六方氮化硼（$h\text{-BN}$）以及小带隙黑磷烯是四类最具代表性的新型二维材料，在电子、光电子、信息、能源等领域具有广阔的应用前景，是目前材料科学领域最为活跃的研究前沿之一。然而这些二维材料的制备远比石墨烯的制备困难，制约了对其物性和应用的研究。</p> <p>该项目深入系统地开展了这四类二维材料的制备研究，并探索了其超导特性及在柔性电子器件等方面的应用。重要科学发现和科学价值包括：</p> <p>（1）开拓了无官能化二维过渡金属碳化物研究领域：打破了化学刻蚀法制备 MXene 的传统思路，发明了双金属基底化学气相沉积（CVD）方法，制备出系列无官能化的高质量二维过渡金属碳化物晶体，发现超薄 Mo_2C 为二维超导体，阐明了其超导特性的厚度依赖关系（<i>Nat Mater</i>, 2015）；外延生长出二维 Mo_2C 超导体与石墨烯的叠层异质结构，发现界面强耦合导致的</p> |

独特超导相图，获得了高性能约瑟芬结器件 (*ACS Nano*, 2017)。

相关工作被 **MXene 研究先驱 Y Gogotsi 教授** 在 *Nat Mater* 的 News & Views 中专文介绍，评价其为“**二维材料领域的重大进展**”。无官能化二维过渡金属碳化物已成为一个新的二维材料研究领域，拓展了二维材料的物性和应用。双金属基底 CVD 方法作为“**一种通用的制备策略**”被国内外同行广为应用于制备碳化物、氮化物、硼化物、TMDC 等新型二维材料。

(2) 实现了三类典型二维材料及其柔性器件的高质量制备：针对 SiO₂ 等惰性基底上生长的二维 TMDC 晶粒尺寸小、层数难控制、质量差等问题，提出了以金箔为基底的常压、自限制表面催化 CVD 方法，制备出均一单层的高质量 WS₂ 毫米级单晶和厘米级薄膜，实现了卷对卷转移，研制出大面积柔性薄膜晶体管器件 (*Nat Commun*, 2015)，并将该方法拓展到高质量单层 WSe₂ 的超快生长，其生长速率较惰性基底上的生长速率提高了 2 个数量级 (*Adv Mater*, 2017)；发展出铂基底常压 CVD 方法，实现了单层、双层和多层 *h*-BN 的控制制备，揭示了其光学带隙的层数依赖关系 (*ACS Nano*, 2013)；发展了气相输运方法和水相剥离技术，制备出高质量黑磷烯，并率先用于高性能柔性锂离子电池薄膜电极 (*Adv Mater*, 2016)。

相关方法被 **诺贝尔奖获得者、二维材料领域先驱 KS Novoselov 教授** 和锂离子电池领域先驱 **JB Goodenough 教授** 等作为制备高质量 TMDC、*h*-BN 和黑磷烯的代表性方法引用，被同行评价为“**有效制备途径**”、“**令人惊讶的突破**”，实现了“**晶圆级生长**”、具有“**优异电学性质**”和“**实际的器件应用前景**”，推动了高质量二维半导体材料的制备及其柔性器件的研究。

6 篇代表性论文发表在 *Nat Mater*、*Nat Commun*、*Adv Mater* (2 篇)、*ACS Nano* (2 篇)，被包括 *Science*、*Nat Mater*、*Nat Chem*、*Nat Rev Mater*、*Chem Rev* 等在内的论文他引 780 多次。第一完成人获国家杰出青年科学基金资助（结题被评为“**特优**”，被认为“**研究工作具有开创性、引领性、前沿性和系统性，对学科领域发展有重要贡献**”）和何梁何利基金科学与技术创新奖，任文才、成会明连续入选科睿唯安公布的“**全球高被引科学家**”。

代表性论文（专著）目录（不超过 8 篇）

| 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(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 | Large-area | 2015 年 14 卷 | 2015 年 8 月 17 | 任文才， 康宁 | 徐川，王 立彬 | 徐川，王 立彬，刘 | 268 | SCI、 CSCD | 否 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|-----------------|------------------|-----|----|---|-----|----------|---|
| | high-quality 2D ultrathin Mo ₂ C superconducting crystals/ Nature Materials/徐川, 王立彬, 刘志博, 陈龙, 郭景琨, 康宁, 马秀良, 成会明, 任文才 | 1135-1141 页 | 日 | | | 志博, 陈龙, 郭景琨, 康宁, 马秀良, 成会明, 任文才 | | | |
| 2 | Large-area synthesis of high-quality and uniform monolayer WS ₂ on reusable Au foils/ Nature Communications /高旻, 刘志博, 孙东明, 黄乐, 马来鹏, 尹利长, 马腾, 张志勇, 马秀良, 彭练矛, 成会明, 任文 | 2015 年 6 卷 8569 | 2015 年 10 月 09 日 | 任文才 | 高旻 | 高旻, 刘志博, 孙东明, 黄乐, 马来鹏, 尹利长, 马腾, 张志勇, 马秀良, 彭练矛, 成会明, 任文才 | 150 | SCI、CSCD | 否 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|-------------------------------|--------------------|-----------------|----------------|--|------------|-----------------|----------|
| | 才 | | | | | | | | |
| 3 | <p>Repeated and controlled growth of monolayer, bilayer and few-layer hexagonal boron nitride on Pt foils / ACS Nano/高旸, 任文才, 马腾, 刘志博, 张崧, 刘文彬, 马来鹏, 马秀良, 成会明</p> | <p>2013年7卷 5199-5206页</p> | <p>2013年5月10日</p> | <p>任文才, 成会明</p> | <p>高旸</p> | <p>高旸, 任文才, 马腾, 刘志博, 张崧, 刘文彬, 马来鹏, 马秀良, 成会明</p> | <p>139</p> | <p>SCI、CSCD</p> | <p>否</p> |
| 4 | <p>Ultrafast Growth of High-Quality Monolayer WSe₂ on Au /Advanced Materials/高旸, 洪艺伦, 尹利长, 吴章婷,</p> | <p>2017年29卷 1700990</p> | <p>2017年06月06日</p> | <p>任文才</p> | <p>高旸, 洪艺伦</p> | <p>高旸, 洪艺伦, 尹利长, 吴章婷, 杨志卿, 陈茂林, 刘志博, 马腾, 孙东明, 倪振华, 马秀良, 成会明, 任文才</p> | <p>24</p> | <p>SCI、CSCD</p> | <p>否</p> |

| | | | | | | | | | |
|---|---|--------------------|-------------|---------|---------|--|-----|----------|---|
| | 杨志卿, 陈茂林, 刘志博, 马腾, 孙东明, 倪振华, 马秀良, 成会明, 任文才 | | | | | | | | |
| 5 | Strongly coupled high-quality graphene /2D superconducting Mo ₂ C vertical heterostructures with aligned orientation/ACS Nano/徐川, 宋爽, 刘志博, 陈龙, 王立彬, 范定勋, 康宁, 马秀良, 成会明, 任文才 | 2017年11卷5906-5914页 | 2017年06月07日 | 任文才, 康宁 | 徐川, 宋爽 | 徐川, 宋爽, 刘志博, 陈龙, 王立彬, 范定勋, 康宁, 马秀良, 成会明, 任文才 | 26 | SCI、CSCD | 否 |
| 6 | Scalable clean exfoliation of high-quality few-layer black | 2016年28卷510-517页 | 2015-11-19 | 任文才 | 陈龙, 周光敏 | 陈龙, 周光敏, 刘志博, 马晓蒙, 陈静, 张志勇, 马秀良, 李峰, 成会 | 175 | SCI、CSCD | 否 |

| | | | | | | | | | |
|---------|--|---|--|--|--|--------|--|--|--|
| | phosphorus for a flexible lithium ion battery/ Advanced Materials/ 陈龙, 周光敏, 刘志博, 马晓蒙, 陈静, 张志勇, 马秀良, 李峰, 成会明, 任文才 | | | | | 明, 任文才 | | | |
| 主要完成人情况 | | <p>摘自辽宁省自然科学奖提名书中“主要完成人情况表”中姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目贡献。</p> <p>1. 姓名：任文才</p> <ul style="list-style-type: none"> • 排名：1 • 行政职务：无 • 技术职称：研究员 • 工作单位：中国科学院金属研究所 • 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所 • 对本项目贡献：项目负责人，提出了项目学术思想，组织了项目实施，全面参与了项目研究工作，对各项科学发现均做出了创造性贡献，是代表性论文 1、3、5 的共同通讯作者，是代表性论文 2、4、6 的通讯作者。 <p>2. 姓名：成会明</p> <ul style="list-style-type: none"> • 排名：2 • 行政职务：无 • 技术职称：研究员 • 工作单位：中国科学院金属研究所 • 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所 • 对本项目贡献：共同提出了项目学术思想，指导了项目实施，参与了项目研究工作，对各项科学发现均做出了创造性贡献，是代表性论文 3 的共同通讯作者，是代表性论文 1、2、4、5、6 的作者。 | | | | | | | |

| | |
|--|---|
| | <p>3. 姓名：徐川</p> <ul style="list-style-type: none">• 排名：3• 行政职务：无• 技术职称：副研究员• 工作单位：中国科学院金属研究所• 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所• 对本项目贡献：开展了双金属基体 CVD 方法的研究，制备出系列二维过渡金属碳化物晶体及石墨烯与二维 Mo₂C 的叠层异质结构，是代表性论文 1、5 的共同第一作者。 <p>4. 姓名：高旻</p> <ul style="list-style-type: none">• 排名：4• 行政职务：无• 技术职称：无• 工作单位：Nanyang Technological University• 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所• 对本项目贡献：开展了 WS₂、WSe₂、h-BN 的 CVD 制备方法研究，实现了均一单层高质量 WS₂、WSe₂ 的制备及 h-BN 的层数控制制备，研究了其性质和应用，是代表性论文 2、3 的第一作者，是代表性论文 4 的共同第一作者。 <p>5. 姓名：康宁</p> <ul style="list-style-type: none">• 排名：5• 行政职务：无• 技术职称：副研究员• 工作单位：北京大学• 完成项目时所在单位：北京大学• 对本项目贡献：开展了二维 Mo₂C 及石墨烯与二维 Mo₂C 叠层异质结构的电子输运性质研究，是代表性论文 1、5 的共同通讯作者。 |
|--|---|