

科学家报道二维九元高熵合金稳健合成策略

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31649.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

科学家报道二维九元高熵合金稳健合成策略。

北京时间2025年2月10日，北京航空航天大学材料学院宫勇吉教授团队在Nature Synthesis期刊上发表了一篇题为Synthesis of two-dimensional transition metal phosphorous chalcogenides and their high-entropy alloys的研究成果，实现了九元高熵合金二维材料的合成，攻克了传统方法合成多组分二维材料成分不均、相分离等难题。

该研究成功开发了一种基于受限空间化学气相传输（SCCVT）的新策略，实现了多组分二维材料的高质量合成。研究团队利用该策略直接合成了12种二维过渡金属磷硫族化合物（TMPCs）及其高熵合金（最多包含9种元素），为复杂二维材料体系的可控合成及相关研究开辟了新路径。

论文通讯作者为宫勇吉教授，共同第一作者为阚海峰博士和李泌轩博士后。

近年来，二维多元材料因其独特的物理现象持续引领凝聚态物理研究前沿，诸如从二维MnBi₂Te₄中的量子反常霍尔效应到二维Co₃Sn₂S₂中观察到的大量子霍尔角，不断拓展着人类对量子材料的认知边界。在这些前沿材料中，过渡金属磷硫族化合物（TMPCs）因其独特的磁性和激子效应一直受到学界关注。

特别值得注意的是，通过合金化策略构筑高熵化合物时，这类材料不仅性能可能进一步增强，更可能孕育出超越传统理论框架的新奇量子态。为了深入研究这些复杂体系中的基础物理机制，发展制备高质量、组分精确可控的多元二维晶体生长策略已成为当前研究的核心挑战。为攻克这一关键难题，过去几年里研究人员已经探索了各种途径。机械剥离法（ME）因其操作简便，仍是获取二维TMPCs样品的重要手段；最近发展的化学气相沉积法（CVD）通过引入复杂的化学反应竞争机制，在原子级精度调控晶格成核动力学方面展现出独特优势，为构建复杂多元体系提供了新思路。

然而，这些传统制备策略的技术瓶颈制约着复杂二维TMPCs的深入研究。ME制备的样品虽能保留本征物性，但其制备的薄片通常形状不规则且厚度难以控制，难以满足精密研究需求。CVD法虽在合成TMPCs方面有所突破，但其苛刻的高精度生长条件（如生长温度、前驱体间距以及气体流速等精确控制），使其在探索更复杂的TMPCs，尤其是四元及以上合金时显得复杂且不稳定。此外，传统CVD反应空间中前驱体输运过程存在显著浓度梯度，导致合成的晶体容易出现元素偏差甚至相分离。随着合金组元数量增加，控制其相和组分均匀性的难度就越大，这一根本性障碍严重阻碍了研究者对复杂二维材料本征物性的探索。

针对上述技术难题，宫勇吉教授团队创新性提出一种空间限域化学气相传输（SCCVT）策略，

成功实现了低元素偏差的二维TMPCs及其高熵合金的精准合成。该策略植根于经典的化学气相传输法（CVT）的热力学优势——密闭反应腔体严格隔绝物质交换，使所有反应物始终维持初始化学计量比，在微观尺度实现元素高度均匀分布，保障单相晶体的稳定生长。然而，传统CVT技术虽在块体单晶材料制备中非常成熟，但在超薄二维材料合成领域长期面临维度困境，难以抑制二维材料的垂直生长。研究团队通过引入限域空间，有效调控晶体生长的自由能垒，巧妙破解了这一关键难题。

在本研究中，研究团队通过成功合成12种二维TMPCs及其高熵合金，充分验证了SCCVT策略的有效性和普适性优势。合成材料涵盖反铁磁体（NiPS₃、FePS₃和MnPS₃）、电介质（In₂P₃S₉）、铁电体（CuInP₂S₆）等功能二维材料，更突破性实现了从二元到九元的多级合金体系构筑，包括Ni_{0.5}Fe_{0.5}PS₃、Ni_xFe_yMn_(1-x-y)PS₃、Ni_aIn_bP₃S₉、Ni_xCu_yIn_zP₂S₆、Ni_xFe_yMn_zCr_(1-x-y-z)PS₃、Ni_aFe_bMn_cIn_(1-a-b-c)PS₃等多元体系，最终成功制备出包含九种金属元素的Ni_aFe_bMn_cIn_dCoeZ_nfPS_gSe_(3-g)高熵合金材料。对随机选取的样品成分分析表明原子级均匀的单相特性。相较于传统合成策略，SCCVT方法展现出显著的工艺稳定性优势，为物性研究和器件开发提供了理想的材料平台。这项突破不仅建立了二维多组分材料的可控合成新范式，更为研究这些高度复杂二维体系的性质-结构内在关系扫清了障碍。（来源：科学网）

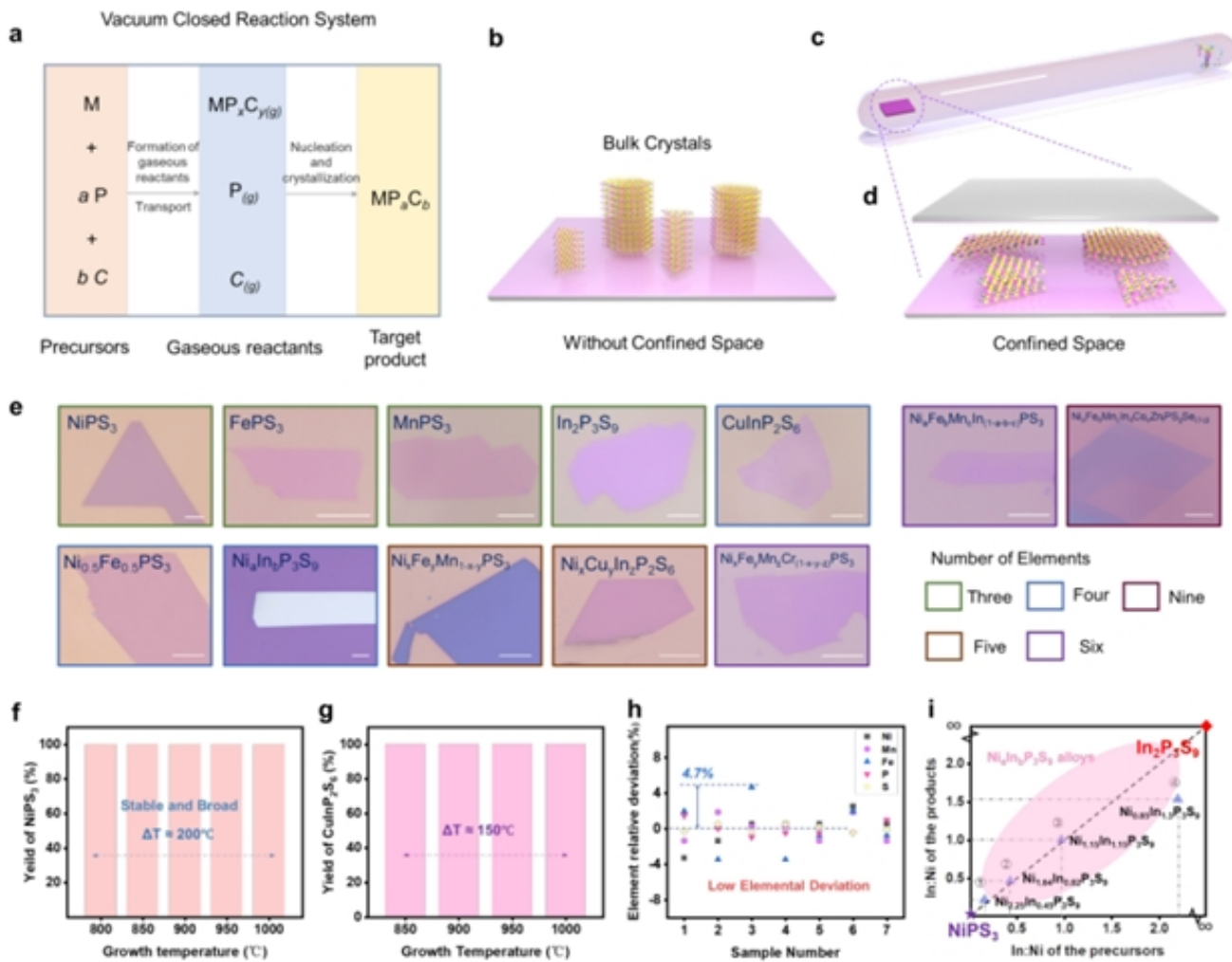


图1：SCCVT的合成原理和生长特征。

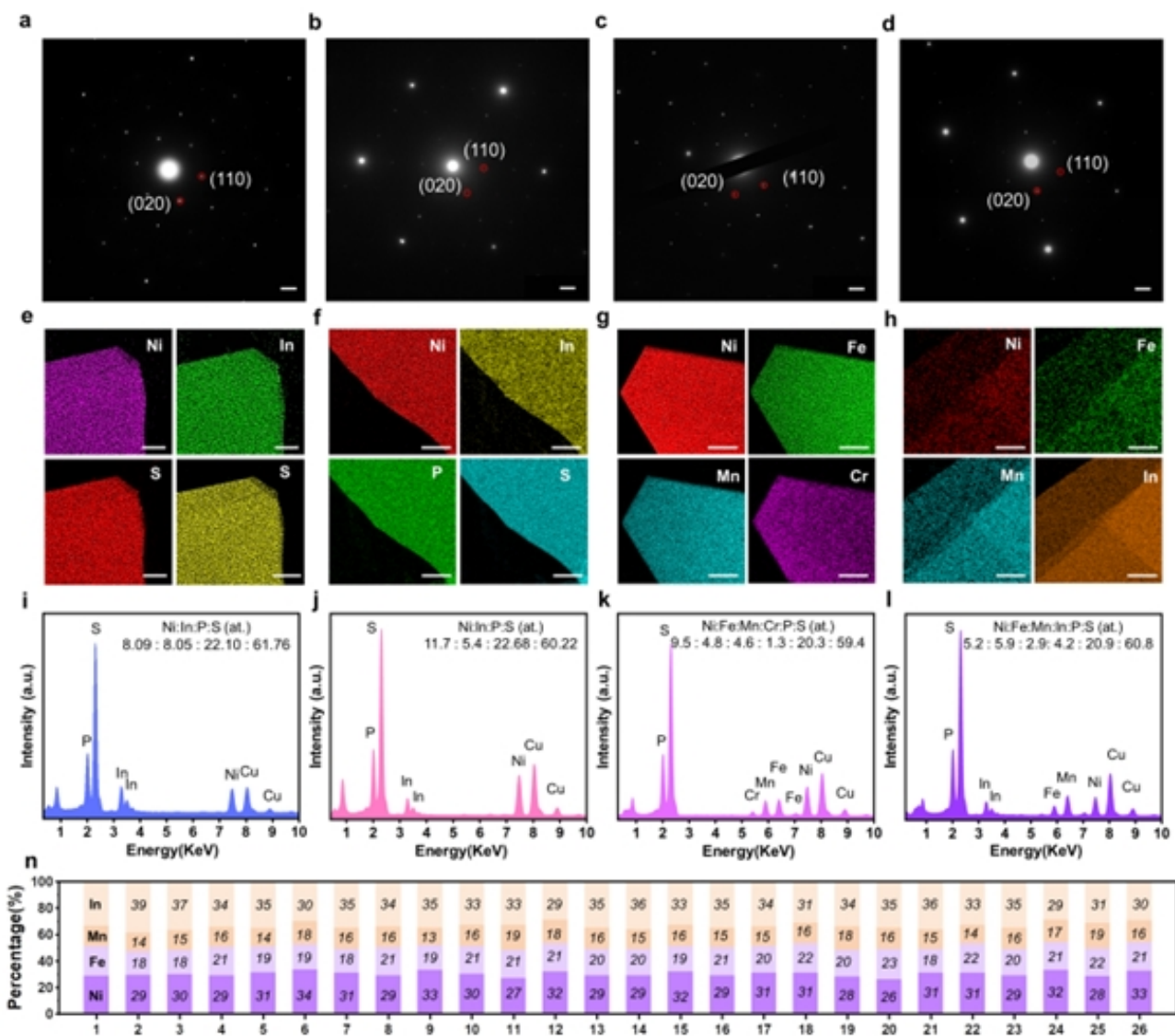


图2：二维TMPCs及其合金的成分和结构表征。

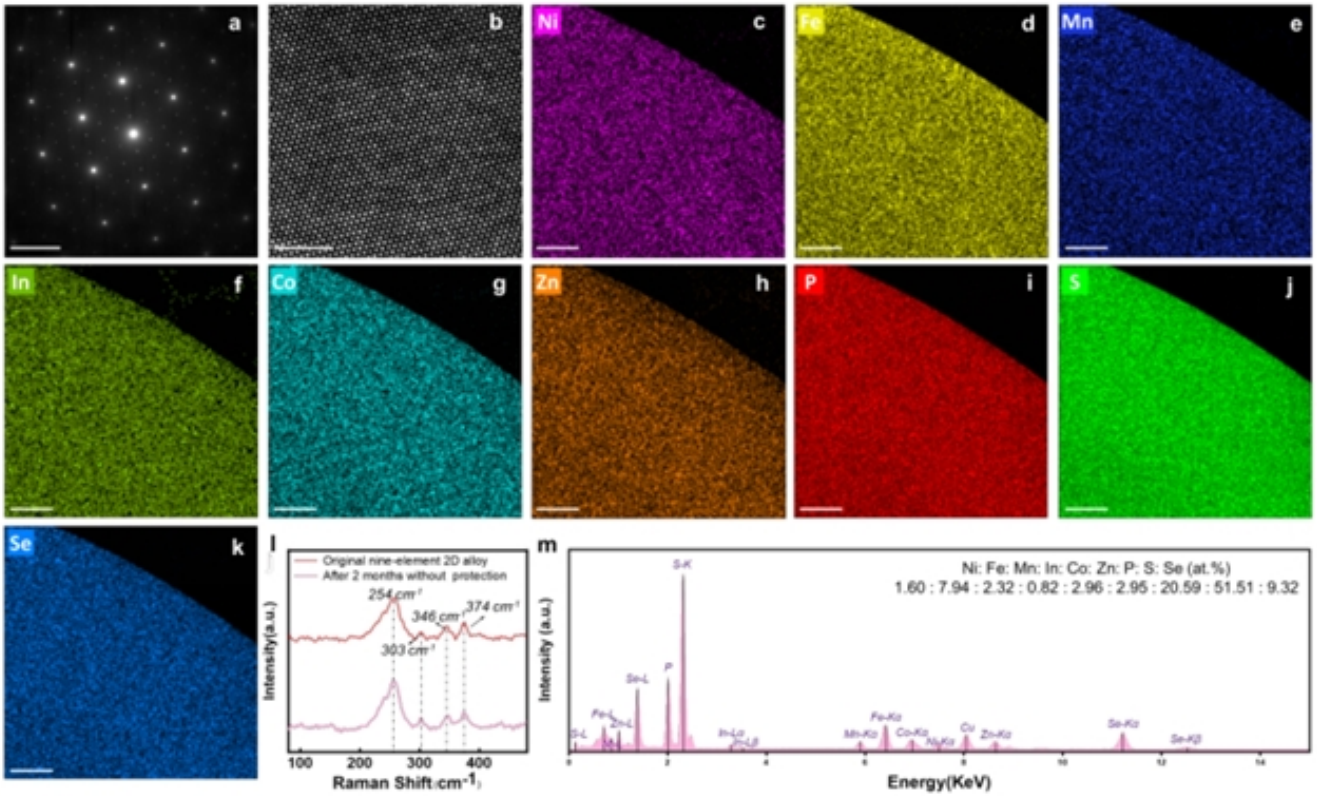


图3：二维九元高熵合金的成分，结构和均匀性。

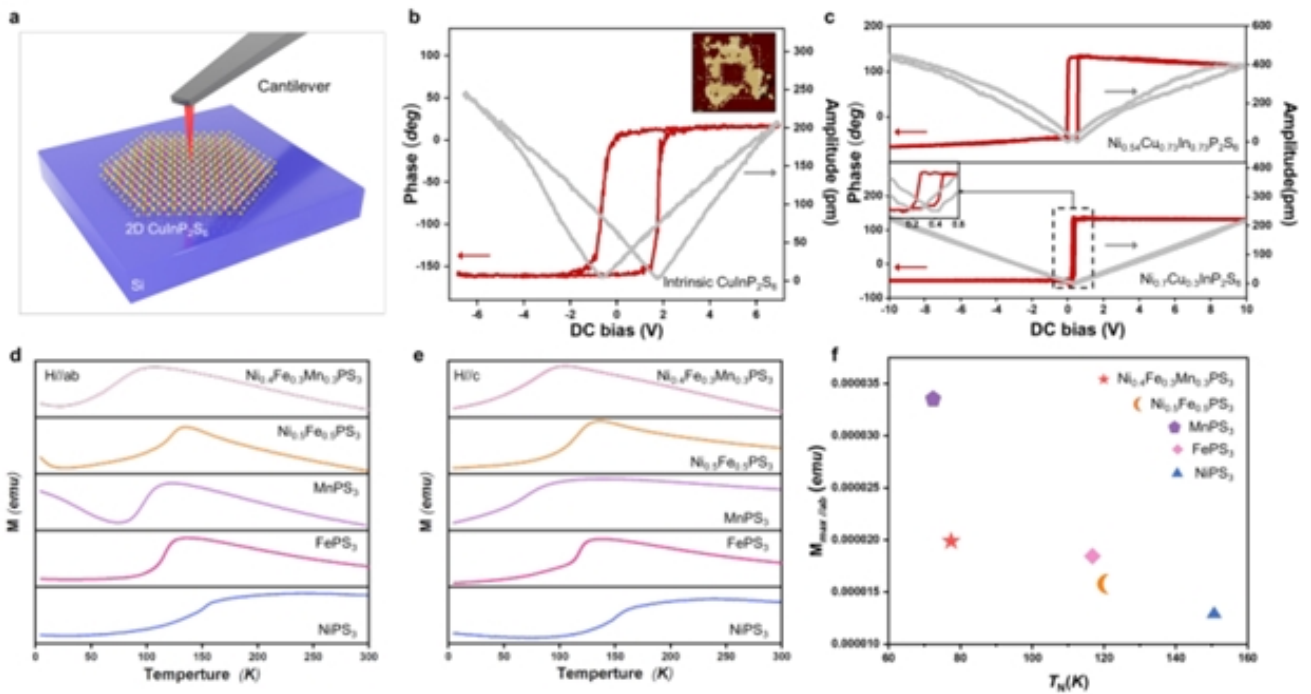


图4：二维TMPCs及其合金的铁电和反铁磁性。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s44160-025-00737-3>

作者：宫勇吉等 来源：《自然-合成》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发