

新研究突破合金材料强塑性倒置难题

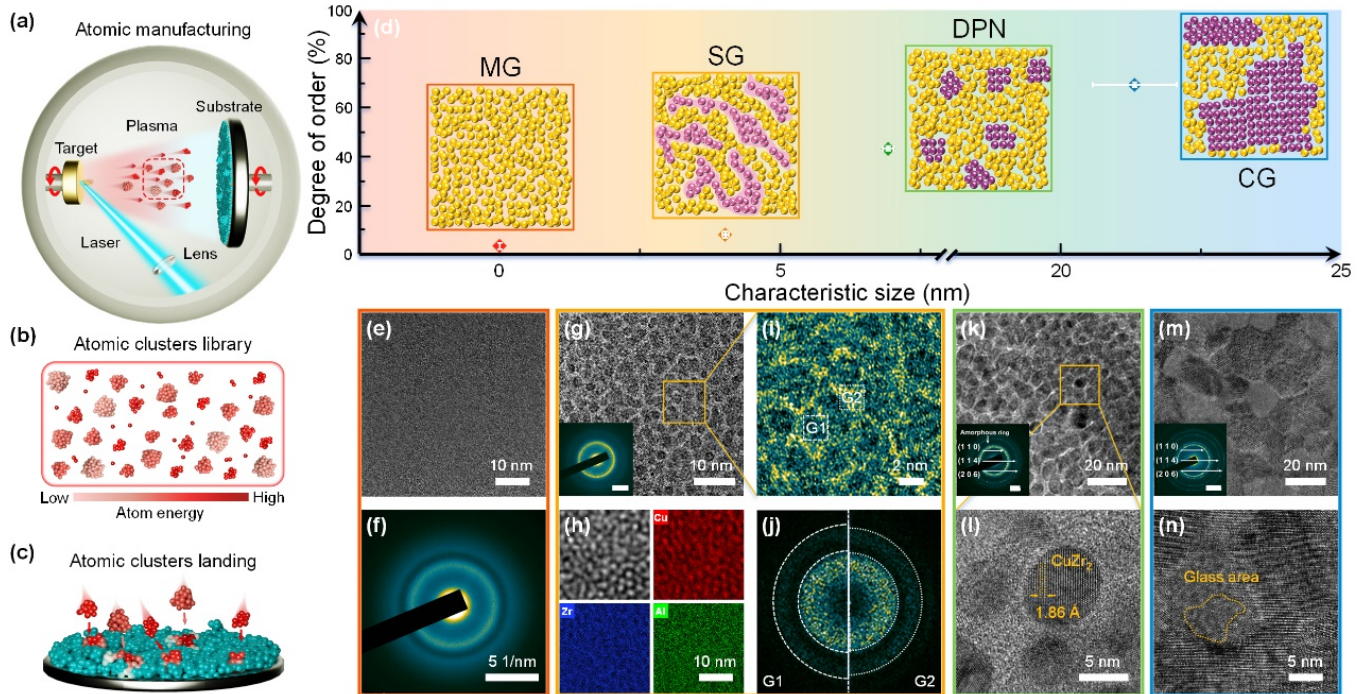
作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/38522.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！

新研究突破合金材料强塑性倒置难题。近日，松山湖材料实验室非晶材料团队创新性地提出原子制造策略，在固定成分的ZrCuAl合金中首次实现跨越多尺度与有序度程度的纳米结构精准定制，成功突破强塑性协同极限。相关研究成果发表于《科学通报》（Science Bulletin）。

在材料科学的发展进程中，成分调控（通过合金化调整元素种类与比例）与组织调控（通过热处理、形变等手段优化晶粒、析出相等微观组织）一直是优化材料性能的两大传统路径。然而，随着对材料本质认识的不断深入，原子尺度的序与熵正逐渐成为开发新材料、拓展性能边界的关键维度。材料的有序度与构型熵从根本上决定了电子结构、原子间相互作用以及宏观力学响应，是连接微观原子世界与宏观工程性能的核心纽带。如何在不改变成分的前提下，直接、高效地调控原子有序度，从而克服长期存在的强塑性倒置难题，一直是材料科学领域的重大挑战。



原子制造策略及通过调控参数获得的四种典型纳米结构：金属玻璃、Spinodal玻璃、双相纳米结构和晶态-玻璃复合材料。研究团队供图

在国家自然科学基金等项目的资助下，研究团队摒弃了传统的熔炼快淬模式，转而采用脉冲激光沉积技术。高能激光轰击靶材产生的等离子体羽辉，如同一个超高通量的原子团簇库。通过精准

调控脉冲功率、脉冲频率以及沉积温度等参数，研究团队实现了对原子团簇的有序度、生长尺寸和空间分布的精确控制，成功构建出包含14种微观构型的纳米结构图谱库，这些微观构型可归纳为四大类型：

一是，金属玻璃：原子尺度无序，屈服强度达2.42

GPa；二是，Spinodal玻璃：两种互相纠缠的非晶纳米畴共存，屈服强度高达3.89 GPa，压缩应变更是达到惊人的69%，实现了超高强度与大塑性变形能力的完美结合；三是，双相纳米结构：纳米晶均匀嵌入非晶基体，屈服强度为3.23 GPa，总应变达54%；四是，晶态-

玻璃复合材料：以大尺寸晶粒为主，非晶相分布于晶界，屈服强度为2.15 GPa，总应变为38%。

该成果有力地证明了原子制造能够在不依赖成分变化的前提下，通过非平衡沉积过程突破热力学限制，解锁传统方法难以企及的广阔性能空间。

不同纳米结构因其独特的原子排列和界面特征，展现出截然不同的变形机制，这也是原子制造策略能够实现宽域性能调控的内在根源。Spinodal结构之所以能实现超常均匀塑性，关键在于其密布的玻璃/玻璃界面在外力作用下成为剪切转变区形核和增殖的温床，这些转变区的随机激活有效避免了应力集中。随着变形进行，富铜和贫铜的非晶纳米畴之间发生动态原子混合，成分波动逐渐消失，从而实现超69%的均匀塑性流变。双相纳米结构则依靠纳米晶粒作为物理屏障，持续拦截并偏转剪切带传播路径，迫使主剪切带不断分叉形成大量胚胎剪切带，通过多重能量耗散机制延缓断裂、提升塑性。

该研究不仅为开发高性能合金薄膜材料开辟了全新路径，也为微机电系统、精密仪器、高性能涂层等对材料力学性能有严苛要求的应用领域提供了理想候选材料。更为深远的是，这种原子尺度的结构编程方法突破了传统合金设计依赖成分调控的根本局限，为多相非晶合金、纳米结构金属及其他亚稳态材料的微观组织设计与性能优化提供了全新的普适性思路。（来源：中国科学报 朱汉斌）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.scib.2026.02.029>

作者：柯海波等 来源：《科学通报》

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](https://www.iikx.com)转发