

物理所发展出制备单质非晶金属的普适策略

传统观念中，物质被划分为气体、液体和固体。如果所有物质均可在实验上通过“冷冻”过程转化为非晶态，将证明非晶态是常规物质的第四态即非晶态是物质的基本状态之一。在非晶态物质形成的研究中，有学者提出了“所有物质都能转化为非晶态？”这一关键问题，并预测当金属的过冷度足够大时可以通过快速冷却形成非晶态。如果能够将非晶形成能力最弱的单质金属转化为稳定的非晶态，将为非晶态是物质的基本属性提供证据。

此前，熵危机理论认为，液体形成非晶态是热力学的必然。然而，单质金属的非晶形成能力低弱。理论估算显示，需要每秒十亿度以上的冷却速率，才能实现单质金属的非晶化。而这样得到的非晶单质金属在室温下极不稳定，会在几分钟内晶化。一个世纪以来，为了获得单质非晶金属，科学家进行了尝试，却仅能够使个别单质金属实现非晶化。如何发展普适的制备技术，实现所有类型单质金属的非晶化并在室温下保持稳定，是非晶物质科学和材料领域的重要问题。

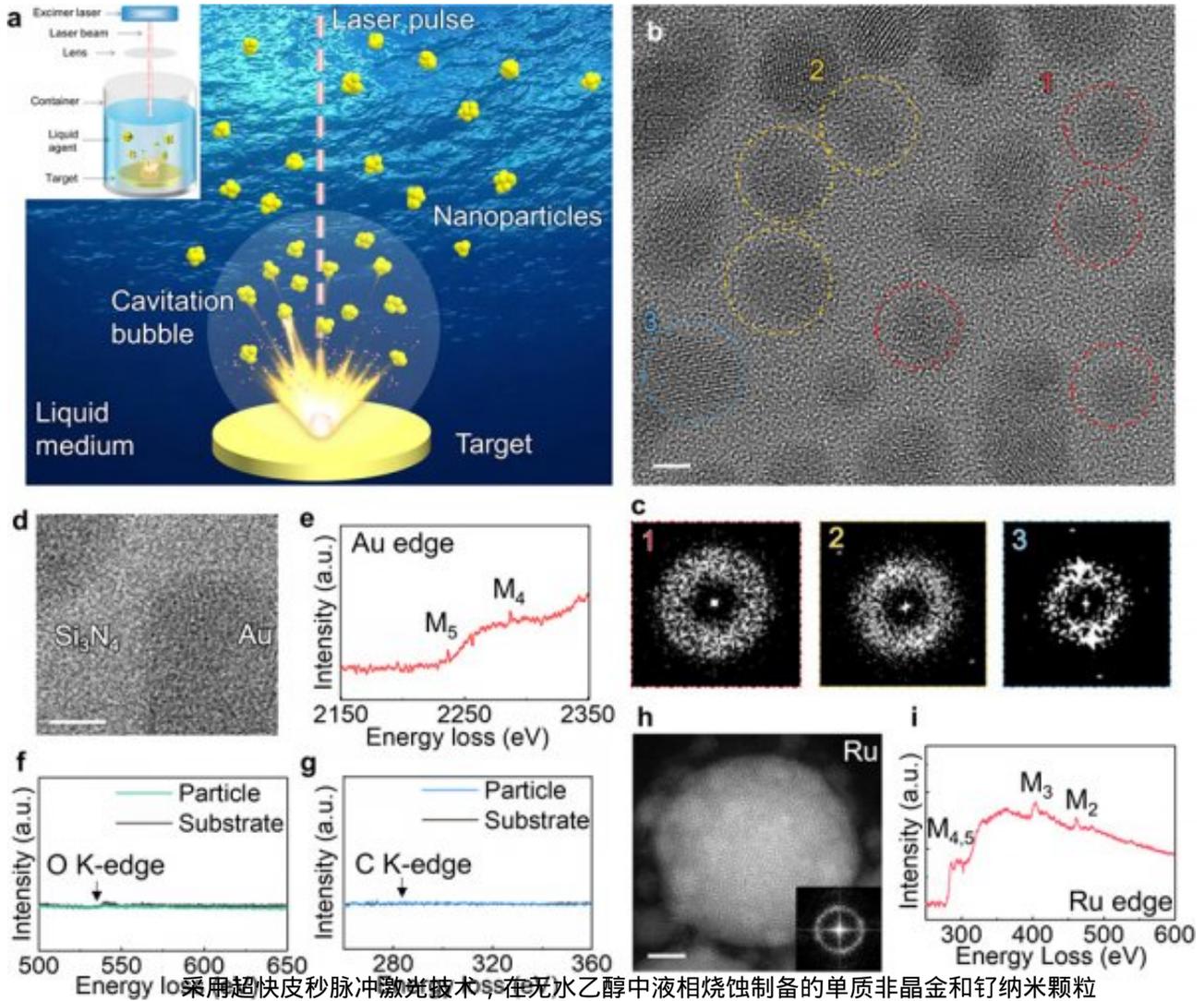
近期，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心汪卫华院士团队借助原子制造及材料基因工程高通量的思想，利用现代激光快冷与古老的制备玻璃的助熔剂相结合的工艺，将所有类型十多种单质金属包括最难以实现非晶化的面心立方单质金和银制备为室温稳定的非晶态。该成果在实验上证明所有类型的单质金属均可形成非晶态，且非晶态是常规物质的本征态和基本物质属性之一。

该研究采用超快皮秒脉冲激光技术，在无水乙醇液体介质中对各种单质高纯金属靶材进行液相烧蚀。研究通过调控制备参数，以无水乙醇作为液体保护冷却介质，避免非均匀形核，实现了接近 10^{13} K s^{-1} 的快速冷却速率，可抑制单质金属晶体的形核和生长过程。由于激光烧蚀这种原子制造方法能够产生大量具有不同能量和构型的颗粒，有可能捕获单质金属能量地貌图中各种不同稳定性的非晶构型，从而筛选到具有室温稳定性的单质非晶纳米颗粒。这一技术将各种金属单质纳米颗粒转变成单质非晶态颗粒。

为了验证所制备的纳米颗粒为非晶态单质金属，该团队采用双球差矫正透射电子显微镜、电子能量损失谱、X射线光电子能谱等先进表征技术，对多种晶体类型的单质金属的非晶样品进行了原子结构、成分和电子价态等分析，证实了样品的非晶单质特性。同时，原位电子辐照实验发现，单质非晶结构向晶体结构的转变过程，无序-有序转变后的晶格常数与该金属的晶体晶格常数相匹配。研究显示，不同单质非晶之间、同一单质非晶的不同样品之间在电子辐照下的稳定性存在差异，表明非晶态单质金属的稳定性与其构型相关，证实这种构型高通量的方法可以有助于筛选出不同构型和不同稳定性的单质非晶。这一技术实现了所有结构类型单质金属的非晶化，并验证了该方法的普适性。

科研人员揭示了这一方法形成单质非晶金属的机制。当激光照射靶材时，生成大量熔融态的纳米颗粒进入液体介质并即刻被包裹，液体介质提供高达 10^{13} K s^{-1} 的冷却速率，使纳米颗粒迅速冷却，同时液体介质的包裹为熔融金属纳米颗粒提供了无容器/无杂质的冷却环境，可抑制其非均匀形核。因此，在快速冷却和助熔剂效应的协同作用下，该工作实现了单质金属非晶形成能力的突破。分子动力学模拟发现，快速冷却和助熔剂协同作用能够降低非均匀形核的概率，推迟单质金属冷却的TTT曲线的鼻尖孕育时间，促进非晶结构的形成。单质金属纳米颗粒的构型高通量，为在能量地形图中捕获高稳定性的单质非晶纳米颗粒提供了机会。模拟结果揭示了单质非晶的稳定性与其原子构型之间的关系。高稳定单质非晶的原子结构包含更多类二十面体团簇。这些团簇展现出较高的五重对称性。而不稳定单质非晶中则包含更多类晶体团簇。这些团簇具有较高的四重或六重对称性。类二十面体团簇在原子结构中产生的强拓扑阻挫是稳定单质非晶结构的关键因素。

相关研究成果以Breaking the vitrification limitation of monatomic metals为题，发表在《自然-材料》(Nature Materials)上。研究工作得到国家自然科学基金、中国科学院战略性先导科技专项、广东省基础与应用基础重大项目等的支持。



原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/215222.html>