

室温下非晶金属纳米颗粒的类液体行为研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/4998.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！

室温下非晶金属纳米颗粒的类液体行为研究获进展。作为目前已经被大量市场化的应用材料，低维材料表现出各种优异性能，在半导体、光学、医药、能源、信息技术等领域及人们日常生活用品中都扮演着重要的角色。同时凝聚态物理诸多前沿问题也都与低维材料及其制备工艺息息相关。然而，目前对于低维非晶材料的研究及相关报道还很少。2007年，Ediger利用薄膜沉积技术获得了超稳玻璃，2008年Forrest发现玻璃表面具有类液体性质(49)，此后非晶薄膜与表面的研究逐渐得到了研究者们的关注。由于对纳米非晶颗粒的动力学特征以及与其相似尺度的晶体材料的差异研究很少，因此，低维非晶材料动力学行为研究对认识非晶基本科学问题如玻璃转变、力学行为具有重要意义。

最近，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研究组在低维非晶颗粒动力学研究中取得进展，博士生曹乘榕等在研究员白海洋的指导下，和谷林研究组合作，通过PLD在非晶氮化硅衬底上沉积Pd₈₀Si₂₀超薄膜，形成不同尺寸的PdSi纳米颗粒(如图1所示)。在电子束辐照条件下，通过高分辨透射电镜和球差电镜原位观测，实时观测到这种纳米颗粒逐渐开始随机运动，并在颗粒间距小于1nm时发生颗粒之间的碰撞融合，整个过程仅在数秒至几十秒内完成，如图2所示。根据纳米颗粒合并过程的观察时间 t ，利用颗粒融合模型： $\tau = \eta d / \gamma$ ，估算出纳米颗粒的粘度值 η ， τ 为合并弛豫时间， γ 为颗粒表面能， d 为颗粒直径。研究发现纳米颗粒粘度与直径有幂律关系： $\eta \propto d^{4.2}$ 。图3和图4展示了非晶颗粒、晶体颗粒及非晶-晶体颗粒合并过程中动力学差异对比。可以看出相同尺寸的非晶颗粒在80秒内完成了整个合并过程，但晶态颗粒到100秒时仍未完全合并，从而观测到非晶颗粒具有比晶态颗粒更高的动力学活性。观测到非晶颗粒的粘度为109 Pa·s，比玻璃转变时的玻璃粘度(1013 Pa·s)低4个数量级，其粘滞系数和过冷液体类似，从而证明非晶纳米颗粒在室温下表现出类液体行为。为了进一步确认晶体与非晶颗粒动力学的差异，选取了一对晶体-非晶纳米颗粒的合并过程进行观察，如图4所示，非晶与晶体纳米颗粒的尺寸接近，在两个颗粒发生接触后，随观察时间可以看到非晶颗粒逐渐向晶体颗粒合并并被晶体晶格所外延晶化，最终完全融入了晶体颗粒，整个过程中晶体颗粒的位置基本不变，合并由非晶颗粒向晶体颗粒融合而完成，充分说明了非晶颗粒具有比晶体颗粒更高的动力学活性，同时也为晶体与非晶表面动力学差异的研究提供了直观的实验证据。

该项工作的意义：

- 1.该项工作用高分辨透射电镜和球差电镜在室温下量化观测了非晶金属纳米颗粒的类液行为，观测到非晶颗粒进入过冷液态临界尺寸为3nm，用实验展示了低维玻璃材料的内禀流动特性。
- 2.粘滞系数是液体的重要动力学参数，该工作提供了测量粘滞系数的新方法，量化给出了非晶纳米颗粒的粘滞系数为109 Pa.s，比玻璃转变温度下块体金属玻璃的粘滞系数(1013

Pa.s)低4个数量级，从而提供了金属玻璃颗粒快动力学的定量实验证据。

3.给出了粘滞系数和颗粒尺寸的密率关系 $\eta \propto d^{4.2}$ ，表明纳米颗粒的动力学对颗粒尺寸十分敏感。相对晶体颗粒，非晶颗粒的动力学对尺寸表现得更加敏感。

诸多现代科技应用，包括纳米力学、磁性、电子、光学、催化、纳米生物学都与尺寸效应密切相关，因此尺寸效应在现代纳米材料及器件中非常重要，上述研究除了展示纳米非晶金属颗粒的类液行为和快动力学，指明低维玻璃的内禀流动特性外，还对尺寸控制的纳米器件的设计开发提供了科学依据。

上述研究工作得到国家重点研发计划(2017YFB0701900)、“973”项目(2015CB856800)、国家自然科学基金项目(11790291, 61888102)、中科院前沿科学重点研究计划(QYZDY-SSW-JSC017)和先导B专项(XDB30000000)的支持。相关研究结果最近发表在《自然-通讯》上(Nat. Commun. 10, 1966 (2019))。

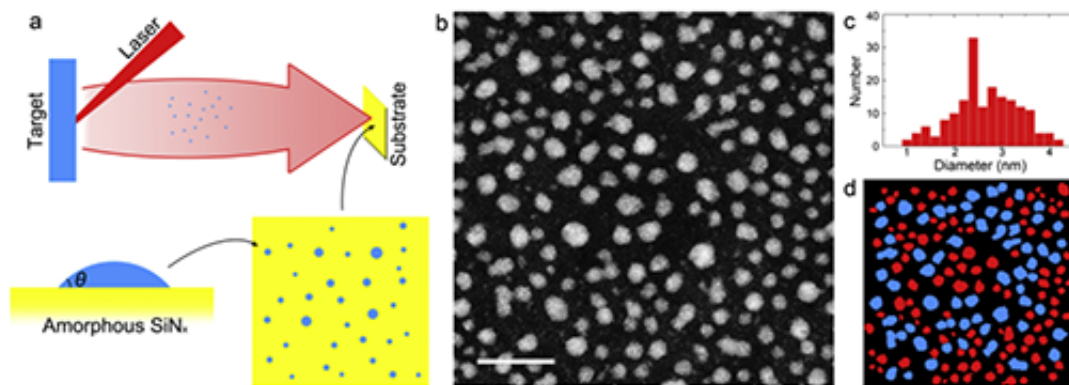


图1. PdSi纳米颗粒构成的超薄膜。(a)制样过程与样品形貌示意图，(b)为球差电镜下的颗粒状薄膜形貌，标尺为10nm，(c)纳米颗粒的尺寸分布，(d)非晶态与含有晶态结构颗粒的区分，红色为纯非晶颗粒，蓝色为含有晶态结构的颗粒。

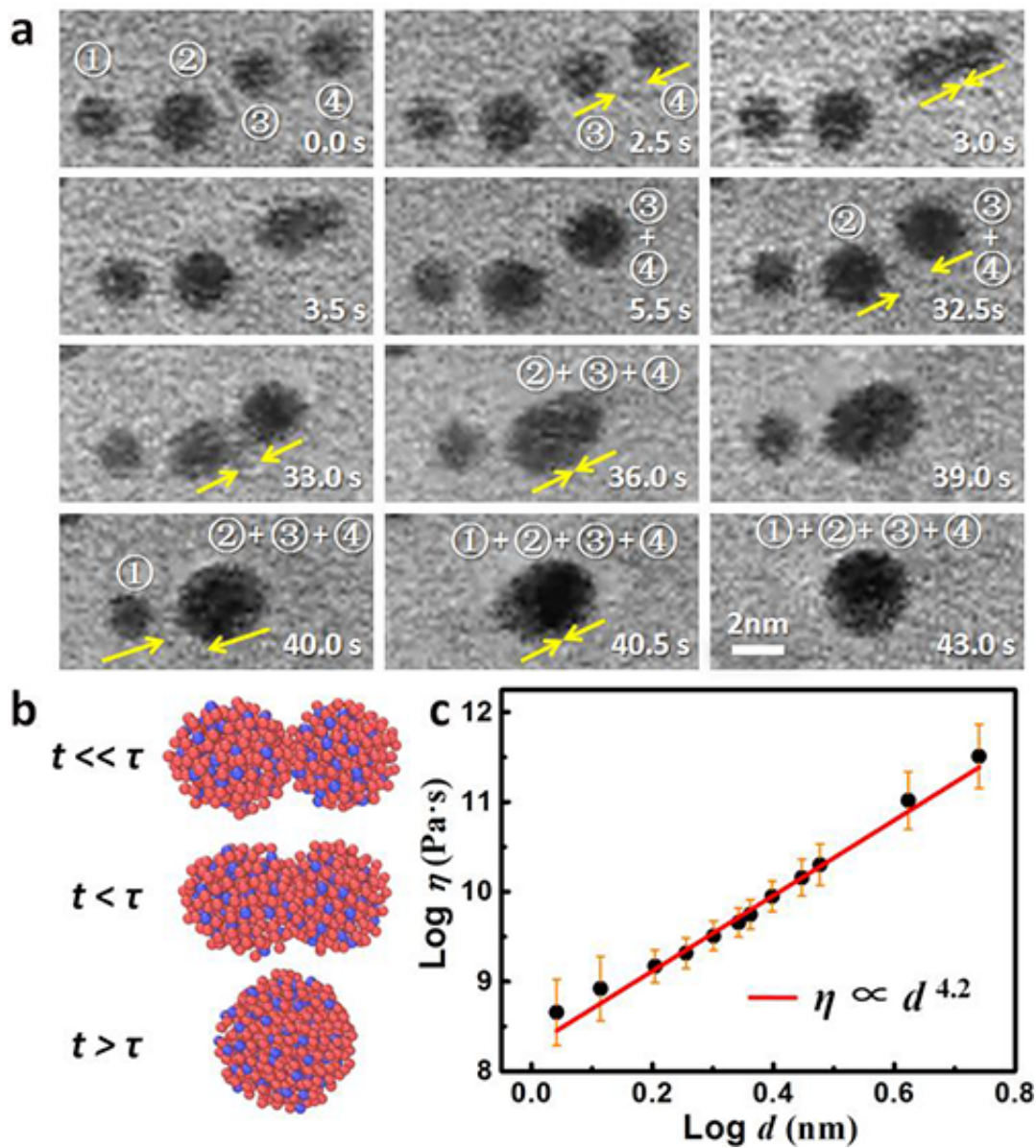


图2. 非晶纳米颗粒的类液体动力学行为。(a)在高分辨电镜连续拍照条件下拍摄的四个纳米颗粒的合并过程，(b)颗粒合并模型示意图，(c)为纳米颗粒粘度与尺寸呈现的幂律关系。

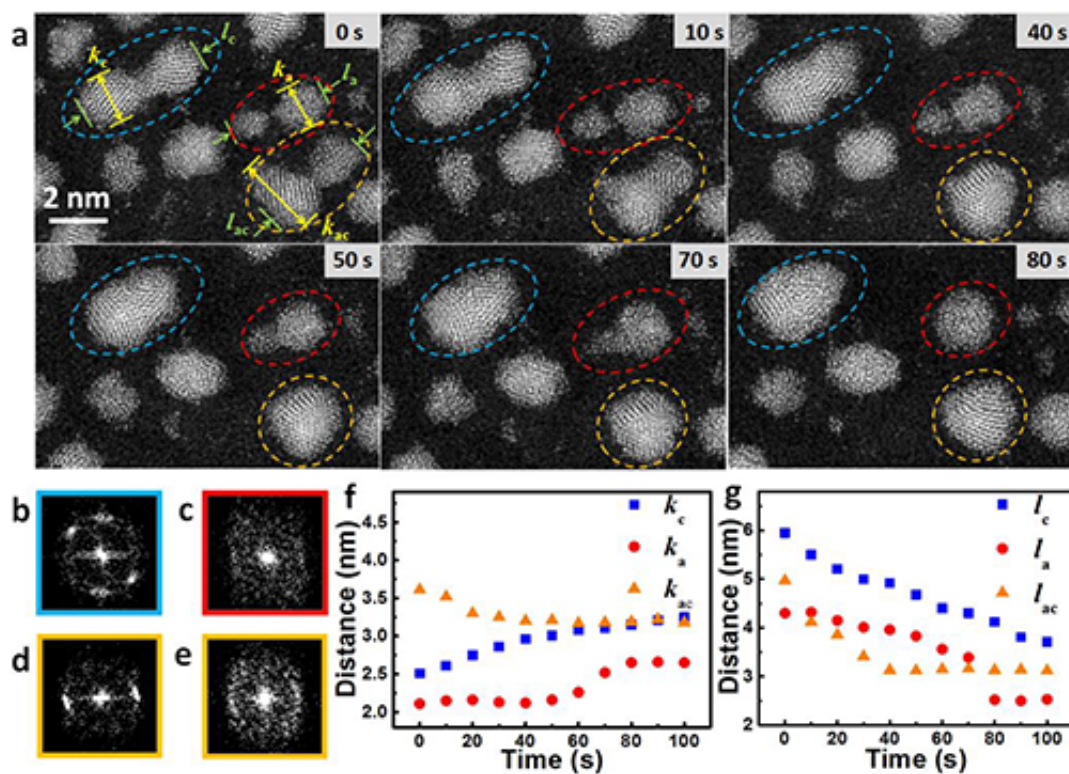


图3. 同一探测条件下非晶纳米颗粒、晶态纳米颗粒及非晶-晶态纳米颗粒的合并过程比较。红色圈内为非晶颗粒的合并，蓝色圈内为晶态颗粒的合并，黄色圈内为非晶-晶态纳米颗粒的合并。

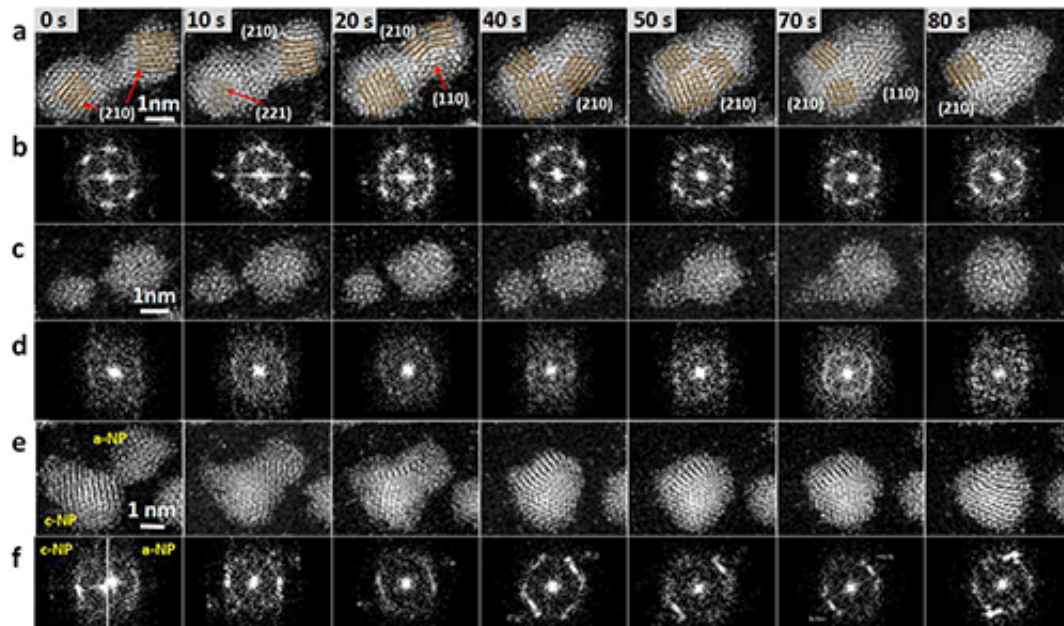


图4. 球差电镜观测图3中三类纳米颗粒合并随时间演化的详细过程。

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

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