
研究揭示微合金化抑制超稳金属玻璃的形成

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/33572.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！

研究揭示微合金化抑制超稳金属玻璃的形成。

近日，松山湖材料实验室研究员张博与东京学芸大学教授Kiminori Sato团队合作，在国家自然科学基金、国家重点研发计划等项目的资助下，研究揭示了微合金化抑制超稳金属玻璃的形成机制。相关成果发表于《应用物理快报》（Applied Physics Letters），并被选为亮点文章（Featured Article）。

论文第一作者、松山湖材料实验室副研究员赵勇表示，金属玻璃能否像天然琥珀、火山玻璃甚至月球玻璃那样，通过长时间老化或弛豫进入热力学低能态，形成超稳定玻璃，是当前非晶态材料和物理领域的重要前沿科学问题之一。

长期以来，学术界普遍认为，具有良好玻璃形成能力（GFA）的合金系统，在经过足够长时间的老化或退火处理后，可以自然演化为更加稳定的无序结构。然而，这一观点在金属玻璃体系中是否成立，仍缺乏长时间尺度的实验验证。

2022年，中国科学院院士汪卫华以及张博团队在《科学进展》（Science Advances）上发表了研究论文，系统报道了Ce70Al10Cu20块体金属玻璃在室温自然老化17.7年后的超稳定行为。研究发现，该金属玻璃在长时间室温老化后仍保持完美的非晶结构，同时伴随明显的结构致密化、焓降低、玻璃转变温度（ T_g ）升高等特征，呈现出优异的热力学与动力学超稳定性，类似天然琥珀的超稳定状态。该成果首次以实验证据揭示了金属玻璃在长时间尺度下实现超稳定态转化的可能性，拓宽了人们对超稳定玻璃在超越常规实验室时间尺度内演化行为的认知边界。

在此基础上，研究团队进一步提出了新的科学问题：传统观点认为，GFA越强，其初始结构越致密、稳定性越高。微合金化作为一种有效提升GFA的策略，被广泛应用于金属玻璃设计中。那么，这种手段是否有助于金属玻璃在长时间老化中进入更稳定的结构态？或者，它反而可能阻碍这种超稳定化的过程？

为回答这一问题，研究团队以Ce70Al10Cu20为基础合金，分别引入2 at.%的Ni、Fe和Co等过渡金属元素，构建三种具有增强GFA的微合金化体系。所有样品在相同条件下于室温自然老化超过10年，随后进行多尺度结构与热物性分析。X射线衍射结果显示，所有样品在10年老化过程中未发生晶化，依然保持完好的非晶态结构。样品表面虽出现氧化，但打磨后内部仍呈金属光泽，说明其本体结构稳定。

热分析结果表明，基础合金在老化后 T_g 显著升高，虚化温度（ T_f ）明显降低，表明其动力学与热力学稳定性大幅提升，表现出典型的超稳定玻璃特征。而微合金化样品虽同样经历老化过程，但

T_g和T_f的变化幅度显著减弱，说明其向超稳定态演化的能力受到抑制。

为了揭示结构演化机制，进一步通过正电子湮灭能谱与多普勒展宽能谱分析其微观结构演化，发现基础合金在老化过程中其类空位结构显著收缩，而在Fe与Co微合金样品中，类空位几乎没有变化。正电子湮灭能谱与多普勒展宽能谱表明，所有样品中空位周围的化学环境主要由Ce原子主导，表明结构周围化学环境稳定。这些结果说明，过渡金属元素与Ce之间存在强相互作用，抑制了Ce原子的局域扩散与类空位结构的重构，阻碍了微合金化样品在老化过程中的进一步结构致密化。

对比结构与热物性变化幅度可见，虽然微合金化显著提升了合金的GFA，但其T_g提升、T_f下降、密度增加和正电子寿命变化等指标均被显著抑制。这一结果表明，微合金化增强了玻璃初始稳定性，却抑制了其在长时间尺度下继续演化至超稳定态的能力，揭示了GFA提升与结构超稳定化之间可能存在冲突。

该发现挑战了高GFA必然带来高稳定性的传统认知，揭示了GFA与结构演化能力之间可能存在的竞争关系。特别是在追求超稳定玻璃或具长期服役能力的材料系统中，初态致密与长时间弛豫能力之间并非总是正相关，结构稳定性与形成能力之间存在复杂的竞争关系。（来源：中国科学报朱汉斌）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1063/5.0260846>

作者：张博等 来源：《应用物理快报》

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