
借助高通量方法获取具有类金刚石耐磨性能的非晶合金

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/23387.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！

借助高通量方法获取具有类金刚石耐磨性能的非晶合金。类金刚石材料因超高的硬度和自润滑能力而展现出极佳的摩擦磨损性能。然而，受湿度、温度、气氛等环境因素和尺寸的限制，类金刚石材料的应用局限于涂层和复合材料的填充剂。相比类金刚石材料，金属的应用更加广泛。但金属的硬度往往较低，缺乏自润滑能力，大部分金属材料的摩擦磨损性能远远逊色于类金刚石材料。在金属材料中获得金刚石般的摩擦磨损性能将极大地拓宽耐磨材料的选择范围。

非晶合金保留了液态熔体的无序原子结构，具有高强度、高硬度的特点。不同于传统金属，非晶合金表面呈现类似液体的性质，从而出现自润滑效应，使得许多非晶合金展现出接近类金刚石材料的摩擦系数($\text{COFs} < 0.2$)。非晶合金的高强度也使其具有良好的磨损抗性，磨损率 W_s 约为 10^{-5} - $10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ 。这一磨损率虽然远低于常见金属材料，但和类金刚石材料约为 10^{-6} - $10^{-9} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ 的磨损率相比仍然很高。降低非晶合金磨损率的关键在于提高结构稳定性和断裂韧性。令人遗憾的是，大部分非晶合金因为玻璃转变温度和晶化温度低而在高速往复摩擦过程中容易出现结构弛豫或晶相的析出，导致局部裂纹的产生，磨损抗性随之降低。因此，寻找结构稳定、韧性良好的非晶合金是提高摩擦磨损性能的重要途径。

中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心柳延辉、汪卫华团队前期基于材料基因工程理念，发展了高通量实验方法，开发出高温块体非晶合金(Nature, 2019, 569, 99)，发现了非晶合金形成能力的新判据(Nature Materials 2022, 21, 165)，为非晶合金新材料高效研发提供了有利工具。近期，该团队的李福成博士在柳延辉、汪卫华研究员的指导下，针对非晶合金的力学性能设计了高通量表征方法(图1)，结合前期发展的高通量制备和非晶筛选技术，研发出摩擦系数、磨损率均和类金刚石材料相当的超耐磨高温非晶合金。

团队选择Ir-Ni-Ta高温非晶合金体系为突破口。该合金体系具有良好的非晶形成能力和高玻璃转变温度，能够克服非晶合金在摩擦过程中的结构失稳问题。此外，该合金体系展现的高强度、高硬度等特点也有助于提高磨损抗性。但难点在于如何在合金体系内获得韧性较好的成分，从而降低摩擦过程中裂纹产生的可能性。团队利用前期发展的高通量实验技术制备了同时含有大量合金成分的组合样品，确定了非晶形成成分范围。基于非晶合金剪切变形的特点以及剪切带数量和材料韧性之间的关联，团队提出利用纳米压痕技术施加大变形量诱导剪切带和裂纹形成的高通量表征方法。结合压痕形貌表征，该方法可在大的成分范围内快速获得韧性随合金成分的变化趋势，从而确认具有裂纹抗性和塑性的成分区间。此外，纳米压痕技术本身还可同时获得硬度和模量数据。团队进一步通过对特定成分的微纳力学表征证明了该高通量表征方法的有效性，并在Ir-Ni-Ta组合样品中的富Ta区域发现了具有极低摩擦系数和磨损率的非晶合金。微观力学测试显示，

该富Ta非晶合金的压缩强度高达5 GPa，大量剪切带的形成表明该合金具有较好的韧性。此外，热稳定性测试和高温氧化测试证明该富Ta非晶合金还具有极好的结构稳定性(晶化温度 $T_x > 1073\text{K}$ ，氧化温度 $> 920\text{K}$)。在室温大气环境中，采用金刚石球头进行摩擦测试，该富Ta非晶合金的摩擦系数仅为0.05，采用G-Cr合金球头测试，摩擦系数也只有0.15。最为值得关注的是，该富Ta非晶合金的磨损率只有 $\sim 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ (图2)。这样的摩擦磨损性能已经接近相似测试条件下类金刚石材料的摩擦磨损性能(图3)。这些结果不仅证明了新发展的高通量力学表征方法对快速筛选强韧化非晶合金成分的有效性，更有助于理解非晶合金耐磨性的起源。

以上研究成果以Achieving diamond-like wear in Ta-rich metallic glasses为题，于5月21日在线发表在《Advanced Science》上【Advanced Science 2023, 2301053】。李福成博士为论文第一作者，柳延辉研究员为通讯作者。上述研究得到了国家重点研发计划、中国博士后科学基金、国家自然科学基金委员会、中科院、广东省基础与应用基础研究重大专项的支持。(来源：中国科学院物理研究所)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/advs.202301053>

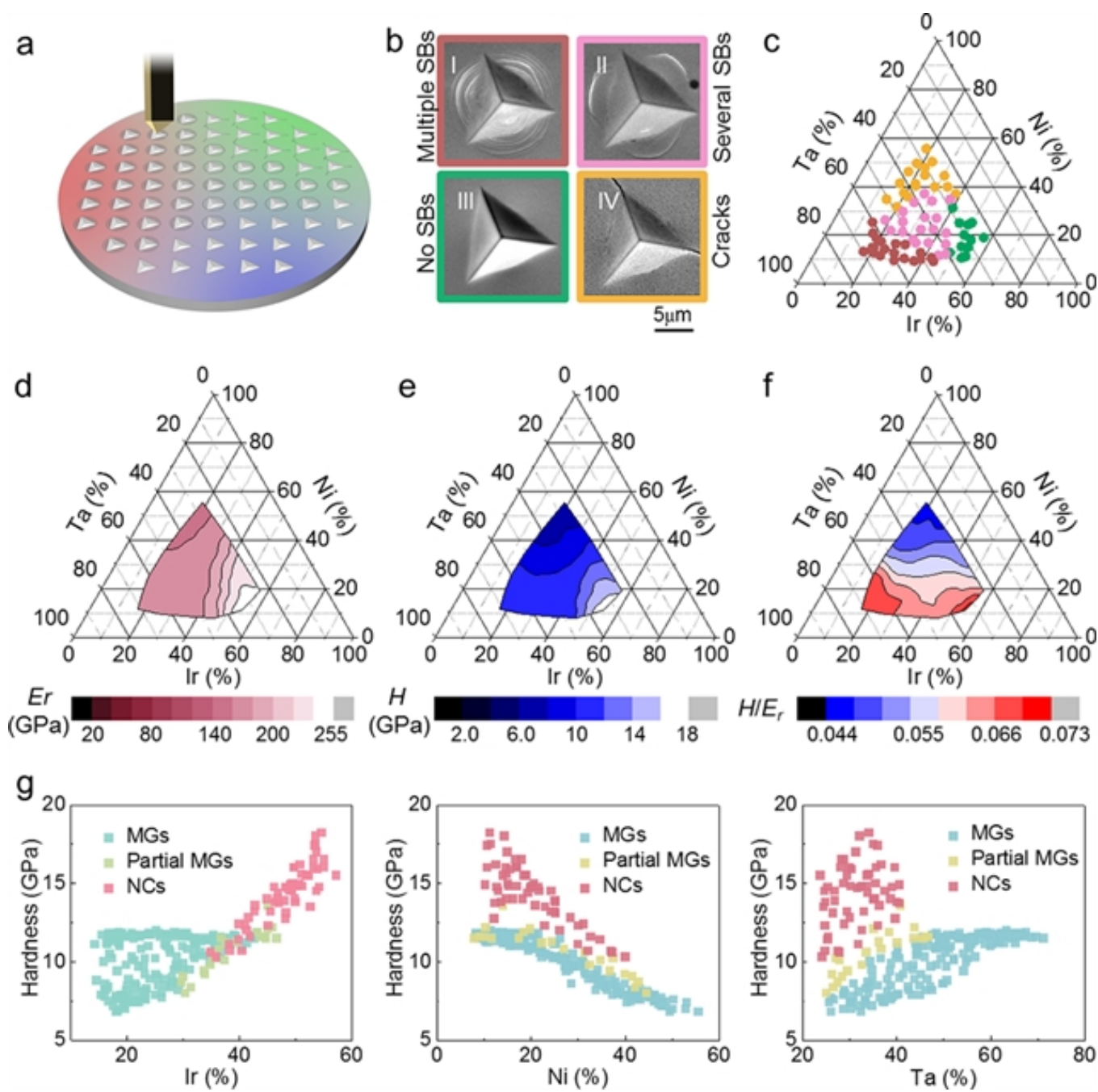


图1高通量力学表征辅助高强度、高裂纹抗性非晶合金的快速搜寻

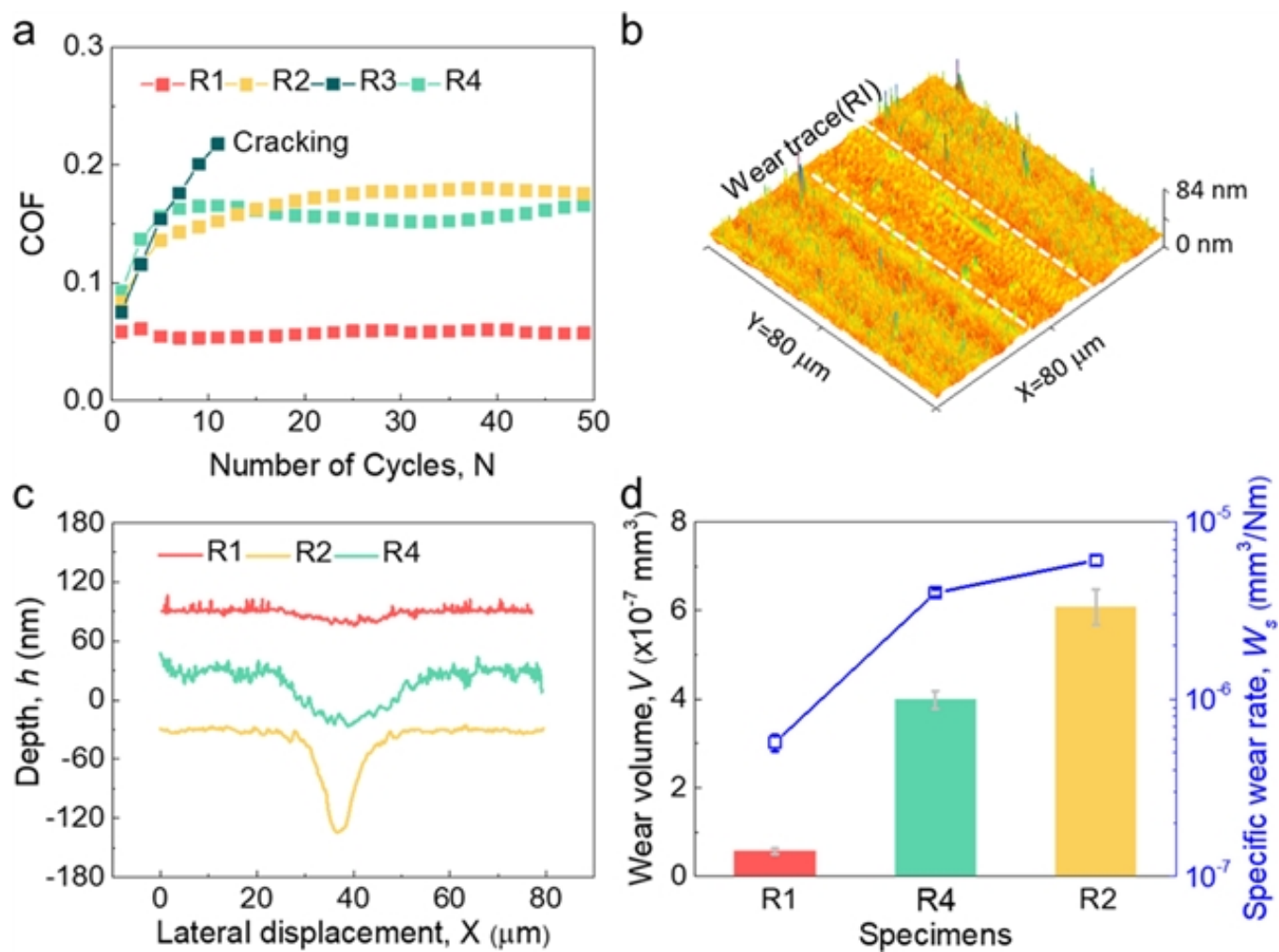


图2利用纳米压痕在不同成分区间内的摩擦磨损实验

图3富Ta高温非晶合金的摩擦磨损性能与类金刚石材料及传统金属材料的对比

作者：李福成等 来源：《先进科学》

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