

中国科学院物理研究所 EX4组供稿
北京凝聚态物理国家研究中心

第26期

2021年04月01日

玻璃是怎么断裂的?

玻璃是我们日常生产生活中不可或缺的重要材料，脆性是玻璃最突出的特征之一，灾难性的脆性断裂也制约了玻璃的更广泛应用。对玻璃失稳断裂机理的研究不仅关乎玻璃自身力学性能的优化，也对认识无序系统的力学失稳提供科学指导。传统玻璃态材料（如氧化物玻璃）被认为是理想的脆性材料，根据经典的固体断裂力学理论，其脆性断裂是通过原子键的依次断裂进行，而不发生原子的塑性流动。但是，近年来不少研究提出了传统脆性玻璃也有可能微观尺度上发生塑性流动的观点。关于玻璃断裂时能否发生塑性变形一直是学术界长期争议的基本科学问题。

玻璃家族的新成员，金属玻璃（又称非晶合金）不但具有优异的力学性能，也是研究玻璃态材料失稳断裂的模型体系。金属玻璃断裂表面上可以呈现出丰富的，多尺度的图案特征。如近年来在许多金属玻璃的断面上发现了纳米尺度的周期性条纹。对这些断面特征的研究不仅挑战了人们对传统的断裂理论的认识，也揭示了远离平衡态的无序固体体系力学失稳的复杂性和有序性。断面图案特征的形成必然和裂纹在玻璃固体中的形成和扩展过程密切相关。但触发灾难性脆断的裂纹是如何起源，又是如何扩展的？这已经成为非晶态物理和材料领域内亟需回答的根本性问题之一。近年来，大量的理论和模拟工作预言了金属玻璃断裂过程中的空穴（cavitation）行为，意识到空穴形成可能是主导金属玻璃甚至其他非晶体系失稳断裂的潜在机制。空穴化或孔洞聚集是塑性材料延性断裂的典型特征，但是否存在于以金属玻璃为代表的玻璃态材料的宏观脆性断裂中尚未得到确切的实验证实。

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极端条件物理重点实验室EX4组博士生沈来权（现为松山湖材料实验室博士后）在白海洋研究员、孙保安副研究员和汪卫华院士的联合指导下，首次实验证实了玻璃材料断裂的空穴失稳机制。基于自主设计的倾斜压痕断裂方法，结合原子力显微技术实现了对金属玻璃裂纹扩展的高精度测量，在国际上首次实验观测到金属玻璃裂纹尖端的空穴化，揭示出空穴主导的裂纹扩展机制，呈现了以纳米孔洞形核、长大、连接有序进行的裂纹扩展方式（图1）。另外，实验给出了裂纹形貌由离散的孔洞到周期性纳米起伏结构的演化过程（图2），阐明了金属玻璃断裂表面上观察到的周期性纳米条纹形貌的起源，即断裂过程中有序进行的空穴行为。更进一步的观测发现对于典型的高分子玻璃（塑料）和氧化物玻璃（二氧化硅）均可表现出空穴失稳诱导的断面周期性纳米结构（图3），说明了不同玻璃体系断裂行为的共性和空穴失稳机制的普遍性。所揭示出的隐藏在玻璃灾难性断裂下的纳米空穴化现象也澄清了学术界的长期争议，明确了玻璃材料宏观脆性断裂过程中纳米尺度塑性流动的存在。

玻璃断裂的空穴行为的发现，颠覆了传统观念中对玻璃固体脆性断裂的固有认知，为理解非晶态材料等无序复杂体系的力学失稳奠定了实验基础，也为优化设计玻璃材料的力学性能提供了新思路。

相关研究结果于3月31日在 *Science Advances* 上线发表。沈来权博士为论文的第一作者，白海洋研究员和孙保安副研究员为论文的共同通讯作者。上述研究工作得到了中科院战略性先导科技专项(XDB30000000)，国家自然科学基金(52001220, 51822107, 11790291, 61999102, 61888102)，国家重点研发计划(2018YFA0703603)和广东省自然科学基金(2019B030302010)等的资助。

文章链接：<https://advances.sciencemag.org/content/7/14/eabf7293>

附图：

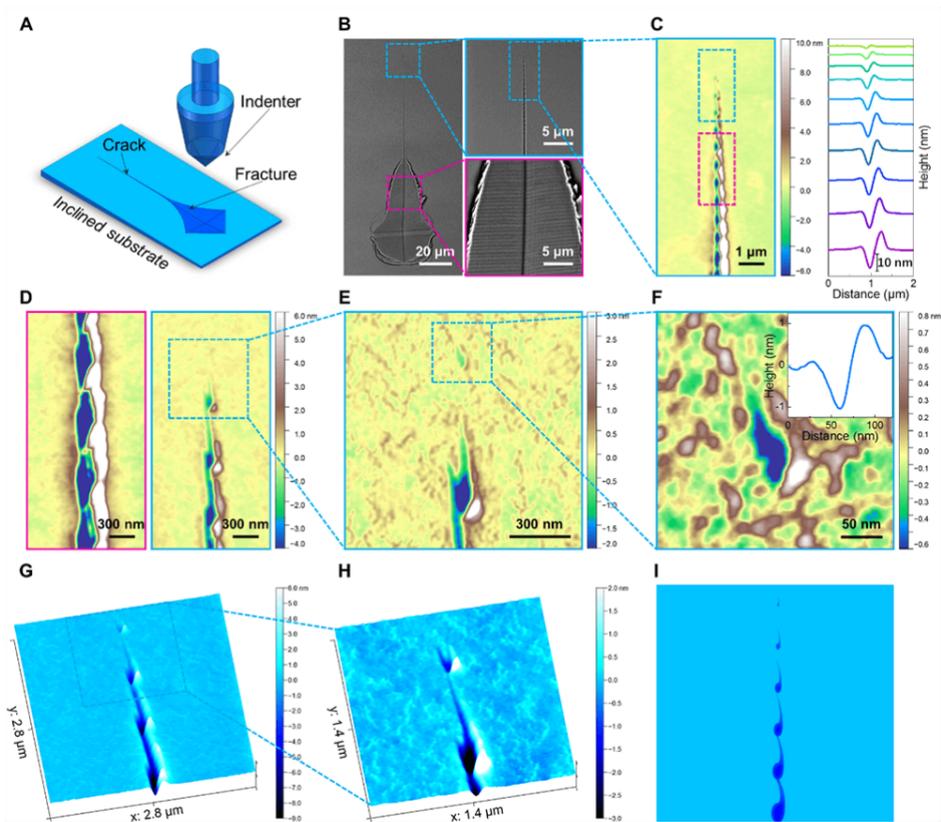


图1.金属玻璃中空穴主导的裂纹扩展机制。裂纹扩展以纳米孔洞的形核、长大、连接有序进行。

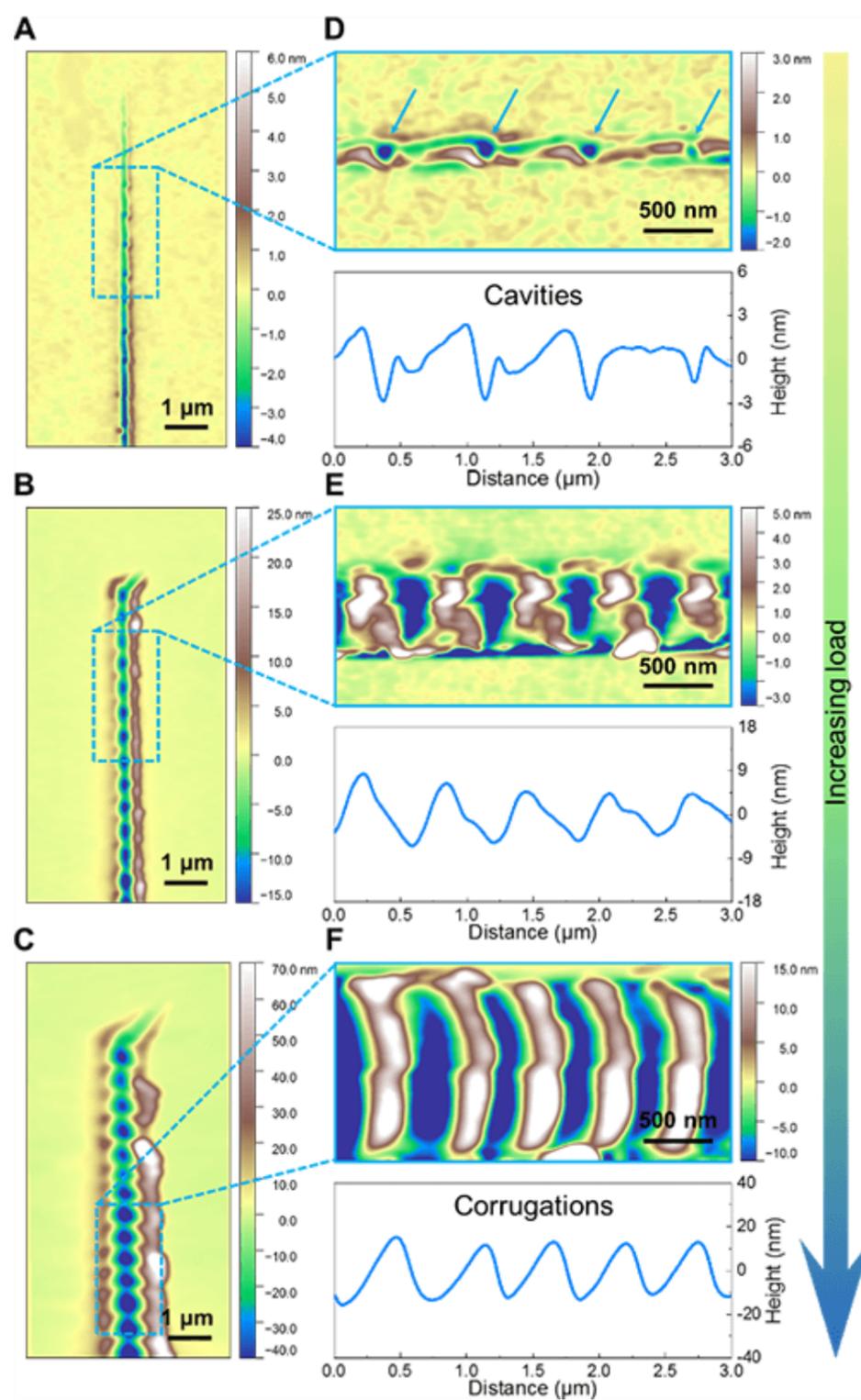


图2.裂纹形貌由分立纳米孔洞到周期性纳米起伏结构的演化。

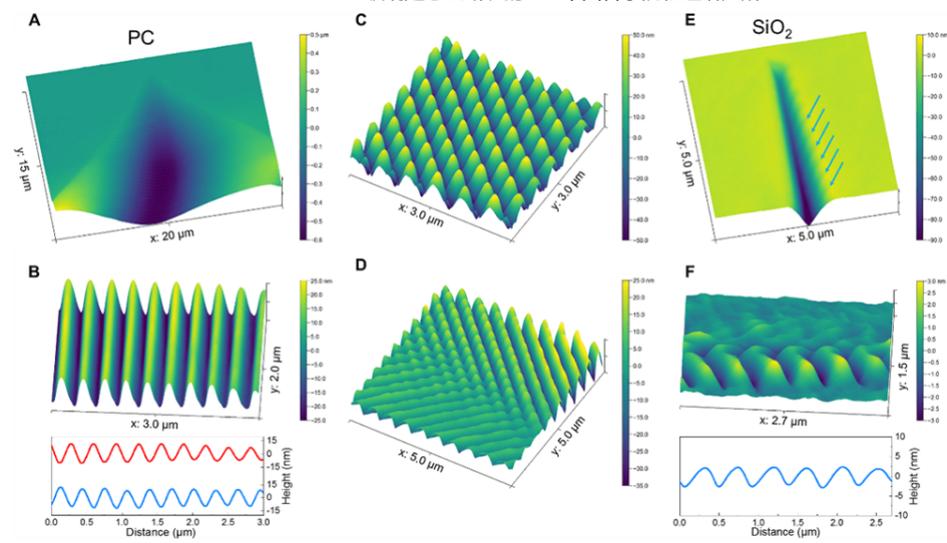


图3. 高分子玻璃和氧化物玻璃中空穴行为诱导的断面周期性纳米结构图案。

[Sci. Adv. 7, eabf7293 \(2021\).pdf](#)

[电子所刊](#)
[公开课](#)
[微信](#)
[联系我们](#)
[友情链接](#)
[所长信箱](#)
[违纪违法举报](#)



版权所有 © 2015-2021 中国科学院物理研究所 京ICP备05002789号-1 京公网安备1101080082号 主办：中国科学院物理研究所 北京中关村南三街8号 100190