

上海硅酸盐所高熵超高温陶瓷基复合材料研究获进展

作为新型高速飞行器研制的关键技术之一，热结构是保障飞行器极端环境安全服役的基石和关键。纤维增强超高温陶瓷基复合材料从根本上克服了陶瓷材料固有的脆性，同时具有轻质、耐超高温、抗氧化烧蚀、可设计性强等优点，成为新型高速飞行器热结构的首选材料，具有重要的科学意义和工程应用价值。随着新一代高速飞行器朝着更高速度方向发展，其热结构面临的服役环境更加严苛，对材料耐高温、抗烧蚀等综合性能提出了更为苛刻的要求。

“高熵”是近年来出现的新的材料设计理论，其概念最初由高熵合金发展而来。随着高熵合金研究的深入，高熵的概念逐渐拓展到其他材料体系中。由于高熵效应的存在，高熵超高温陶瓷具有较多新奇的性能，使其成为超高温陶瓷领域的研究热点和重要发展方向。

中国工程院院士、中国科学院上海硅酸盐研究所研究员董绍明带领的科研团队，将高熵超高温陶瓷与陶瓷基复合材料概念相结合，首次制备并报道了 $\text{Cf}/(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2})\text{C}-\text{SiC}$ 高熵超高温陶瓷基复合材料。该材料综合性能优异，抗弯强度 $\sim 322\text{ MPa}$ ，断裂韧性 $\sim 8.24\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ；在 $5\text{ MW}/\text{m}^2$ 热流密度（温度 $\sim 2430^\circ\text{C}$ ）条件经空气等离子烧蚀考核 300 s ，材料线烧蚀率仅为 $\sim 2.89\text{ }\mu\text{ m/s}$ ，表现出优异的抗烧蚀性能。相比简单体系的超高温陶瓷基复合材料， $\text{Cf}/(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2})\text{C}-\text{SiC}$ 高熵复合材料具有全新的抗烧蚀机制：在高温烧蚀中心， $(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2})\text{C}$ 氧化形成 $(\text{TiZrHfNbTa})\text{O}_x$ 高熵氧化物，并在降温过程中部分转变生成片状 $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2)'$ 及 $(\text{TiNbTaO}_{7-y})'$ 纳米晶；而在温度较低的烧蚀过渡区， $(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2})\text{C}$ 则直接氧化生成较小尺寸的片状 $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2)'$ 及纳米晶/棒状 $(\text{TiNbTaO}_{7-y})'$ 。分析表明：烧蚀表面形成的多相氧化物保护层结构稳定，且在宽温域具有自愈合性，从而在烧蚀过程中对内部材料提供有效保护。该研究为耐极端高温陶瓷基复合材料及热结构的设计制备提供了全新的思路和解决方案。

相关研究成果以Ablation behavior and mechanisms of $\text{Cf}/(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Hf}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2})\text{C}-\text{SiC}$ high-entropy ceramic matrix composites为题，发表在Composites Part B: Engineering。研究工作得到科技部、中科院等的支持。

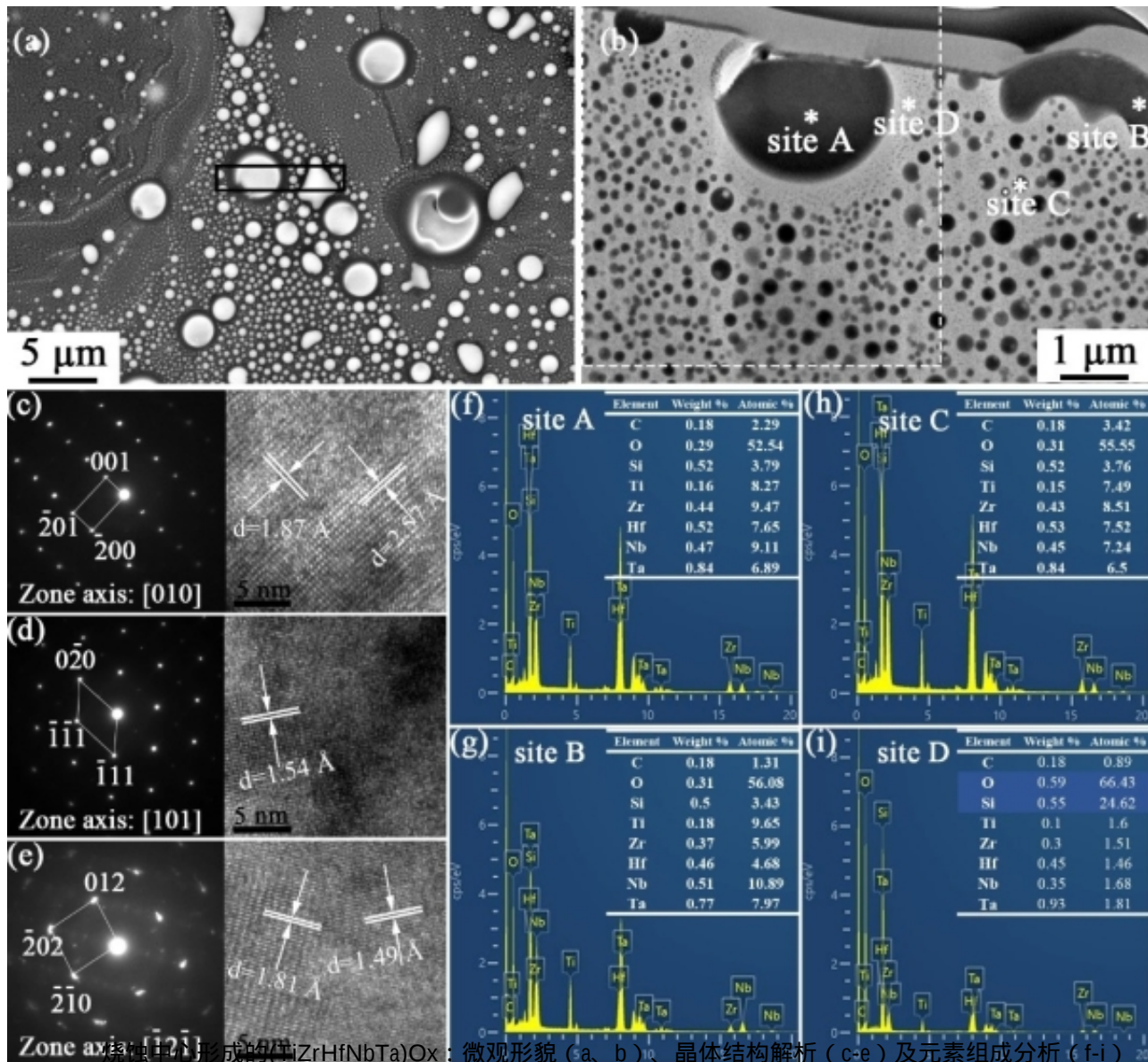


图1 腐蚀中心形成的(TiZrHfNbTa)O_x: 微观形貌 (a、b)、晶体结构解析 (c-e) 及元素组成分析 (f-i)

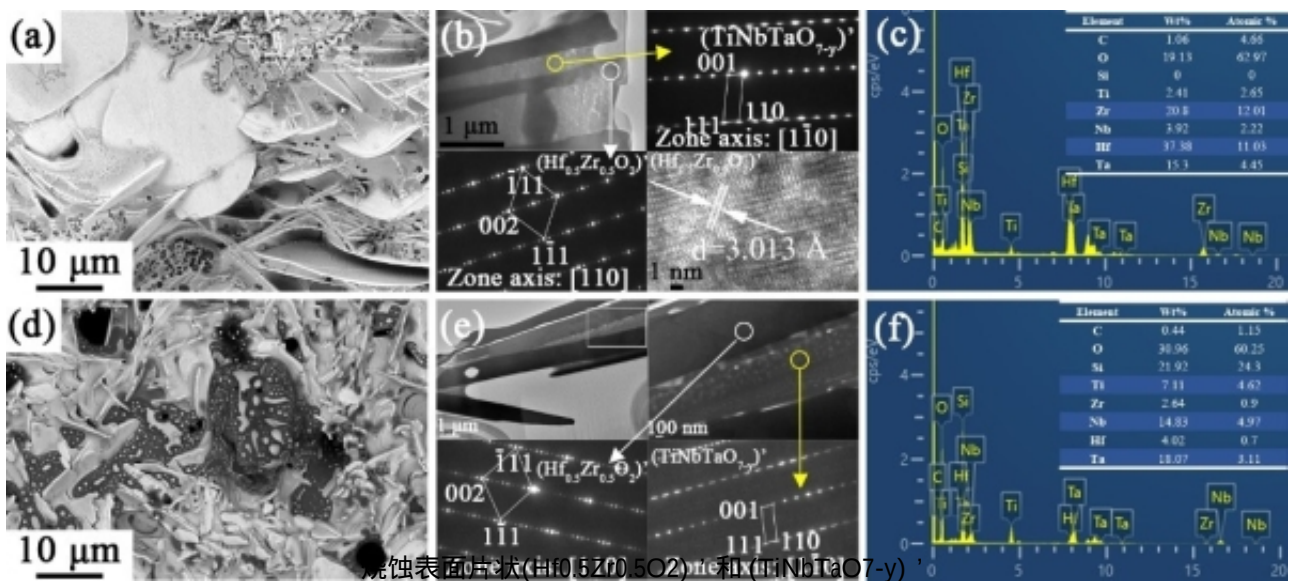
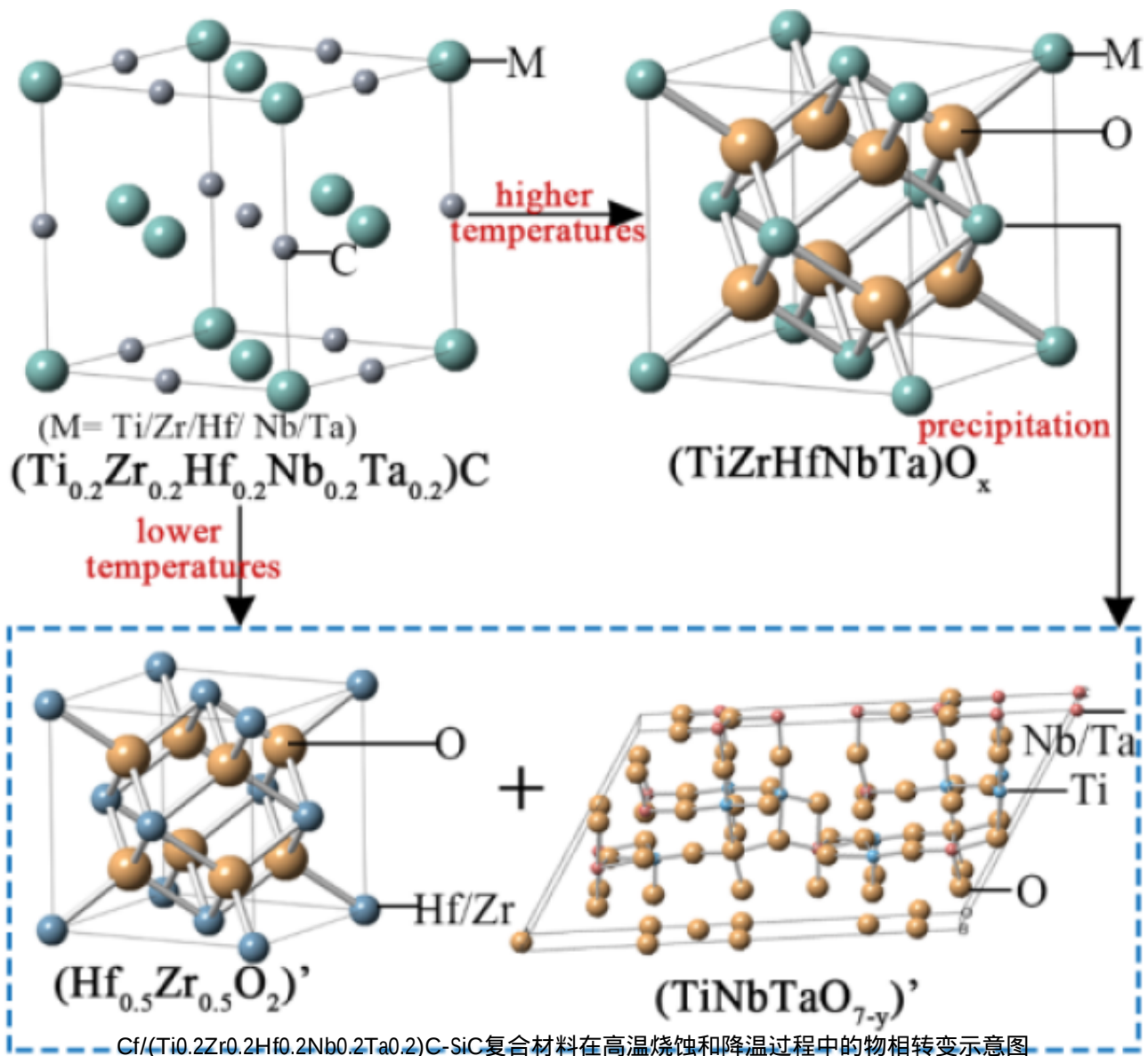


图2 腐蚀表面片状(Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂)和(TiNbTaO_{7-y})'纳米晶形成的“三明治”结构: 微观形貌 (a、d)、晶体结构解析 (b、e) 及元素组成分析 (c、f)



Cf/(Ti_{0.2}Zr_{0.2}Hf_{0.2}Nb_{0.2}Ta_{0.2})C-SiC复合材料在高温烧蚀和降温过程中的物相转变示意图

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/186165.html>