
宁波材料所制备出新型碳化硅陶瓷致密化烧结助剂

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/1524.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！

碳化硅陶瓷作为现代工程陶瓷之一，其硬度仅次于金刚石，具有热膨胀系数小、热导率高、化学稳定性好、耐磨性能高、在高温下仍具有良好力学性能和抗氧化性能等突出的物理化学性质，成为最具发展前景的结构陶瓷，可以广泛应用于石油化工、冶金机械、微电子器件和航空航天等领域。同时，SiC还具有低的中子活性、良好的耐辐照损伤能力和高温结构稳定性等优点，成为新一代核裂变以及未来核聚变反应堆中的重要结构材料之一。

然而，碳化硅是强共价化合物，原子扩散能力低，因此在高温下很难烧结致密。为了促进烧结、降低烧结温度，通常需要添加高温烧结助剂来实现，如以Al-B-C-B₄C为主的固相烧结助剂体系，和以Al₂O₃-Y₂O₃，AlN-Re₂O₃(其中Re₂O₃通常是Y₂O₃、Er₂O₃、Yb₂O₃、Sc₂O₃、Lu₂O₃等稀土元素的氧化物)为主的液相烧结体系。大量烧结助剂的使用会造成碳化硅陶瓷高温强度下降和热学性质恶化，因此探索合适的碳化硅陶瓷烧结法是陶瓷学界关注的重点。

另外，陶瓷常规工艺均采用粉末冶金的方法实现烧结助剂和基体陶瓷粉体的混合，该方法存在着添加剂混合不均匀、球磨介质杂质引入等缺点。传统的球磨混合法只是达到了所添加烧结助剂在碳化硅粉末中的随机分散，从单个碳化硅颗粒微观角度来说并未达到均匀接触烧结助剂。如何实现烧结助剂均匀分布于待烧结的碳化硅晶粒界面，这对于陶瓷致密化动力学过程起着至关重要的作用。

中国科学院宁波材料技术与工程研究所核能材料工程实验室(筹)前期研究中子吸收硼化物陶瓷发展出颗粒表面包裹的新技术(Journal of European Ceramic Society,2017, 37(15), 4524-4531;Journal of American Ceramic Society,2018, 101(9), 3780-3786)，该方法突破传统的陶瓷球磨工艺效率低的难题，成功制备了亚微米级均匀分布的两相复合粉体，合成烧结助剂均匀包裹碳化硼的核壳结构，对于低温致密化烧结效果显著。该方法对于纤维和晶须表面包裹MAX相陶瓷涂层也获得了成功，显示出良好的合成工艺普适性(Advanced Electronic Materials,2018, 4 (5), 1700617;Journal of Materials Science,2018, 53 (13), 9806-9815;Journal of American Ceramic Society,doi.org/10.1111/jace.15784)。

基于前期工作的积累，实验室科研人员经过大量探索实验，采用熔盐法成功在SiC颗粒表面原位反应包覆可控Y₃Si₂C₂涂层，制备出SiC@Y₃Si₂C₂核-壳结构的复合粉体。该SiC@Y₃Si₂C₂复合粉体通过在1700 °C、45MPa的条件下的放电等离子烧结(SPS)，成功实现了相对致密度为99.5%的SiC陶瓷，且其杨氏模量、维氏硬度、断裂韧性、热扩散系数以及热导率也分别达到了451.7 ± 48.4GPa、26.3 ± 3.4Gpa、和145.9W/(m · K)，表现出优异的宏观性能。

在研究致密化机理时，核能材料工程实验室研究人员发现Y₃Si₂C₂涂层体现出低温助烧高温分解的有趣现象，最终Y₃Si₂C₂涂层分解为Y金属和SiC相，大部分Y会逸出碳化硅陶瓷晶界，少量Y同碳化硅表面的氧反应形成耐高温的氧化钇晶界第二相。实验室理论研究人员结合开展了详细的Y-Si-C体系相图的计算分析，利用相图计算CALPHAD(CALculation of PHase Diagrams)方法，发现Y:SiC成分比例为从1:4降低至1:6、再降低至1:8时，系统中Y₃Si₂C₂相含量降低，同实验观察到的Y₃Si₂C₂涂层厚度变化规律相符合。在计算的1100 °C相图中，SiC和Y₃Si₂C₂稳定共存，而在高温相图中(1600 °C和1700 °C)，Y₃Si₂C₂不再稳定存在，SiC和液态液相共存，从而解释了实验烧结样品中得到99.5%的SiC、而Y基本消失的现象。

该研究成果表明，具有三元层状的Y₃Si₂C₂材料可成为碳化硅陶瓷新型的烧结助剂，其具有低温液相存在和高温相分解的特性，能起到促进碳化硅陶瓷高温烧结过程中晶粒重排和晶界处重结晶的效果。该科研成果已在线发表在《欧洲陶瓷学会期刊》上(Journal of European Ceramic Society, 2018, doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.07.054)。以上工作得到了国家自然科学基金(91426304)以及中科院战略先导科技专项(XDA03010305)的资助支持。

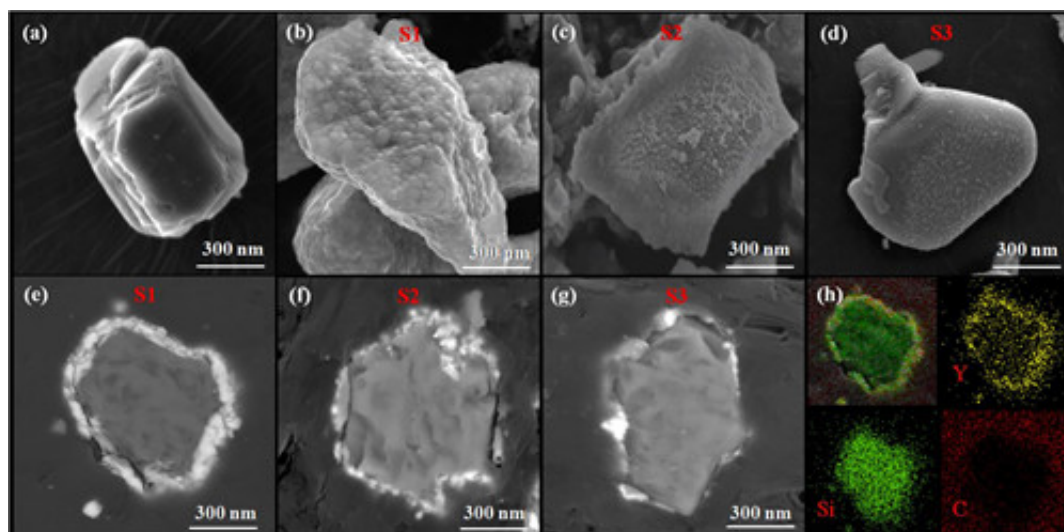


图1 扫描电子显微镜图片和能谱分析显示出Y₃Si₂C₂良好包裹在SiC颗粒表面

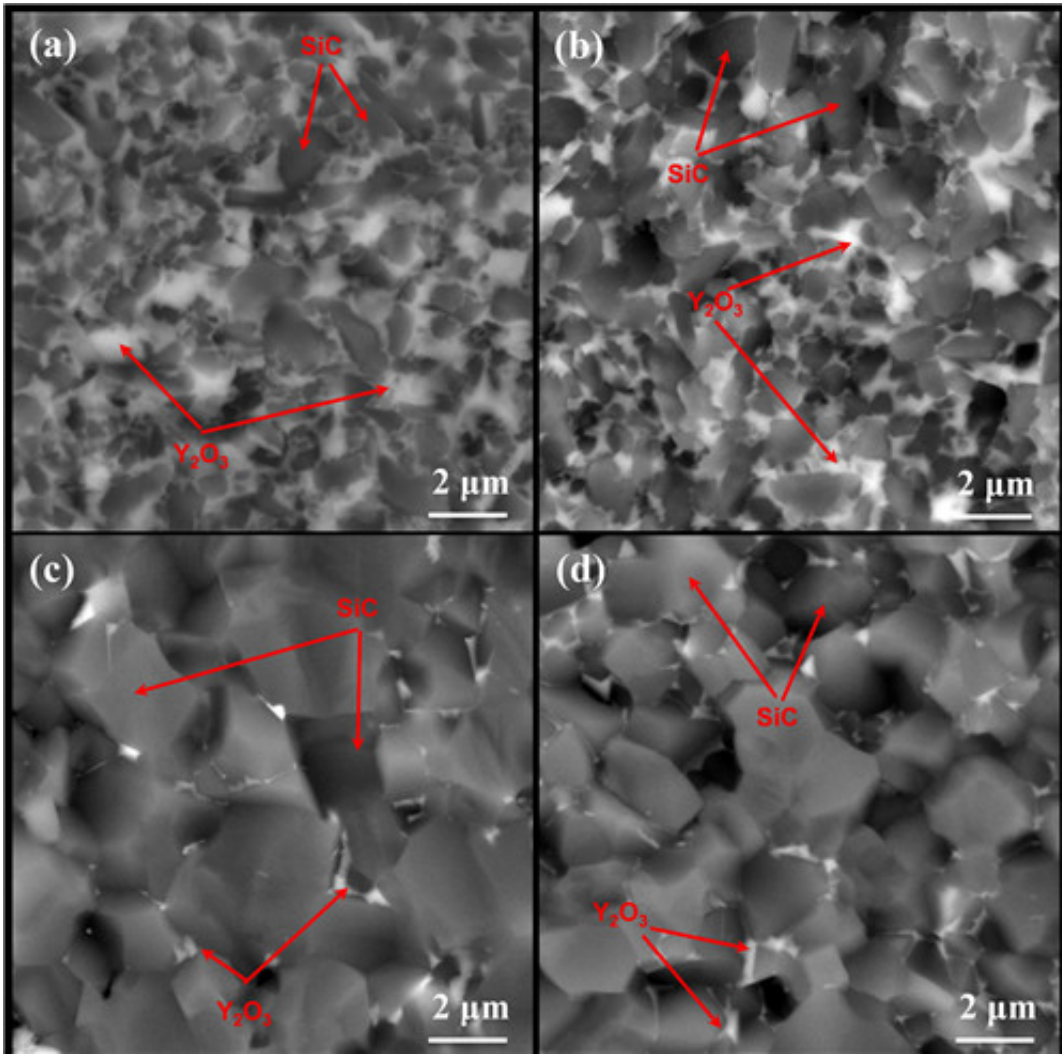


图2 扫描电子显微镜背散射照片揭示烧结碳化硅陶瓷断面的形貌和元素分布

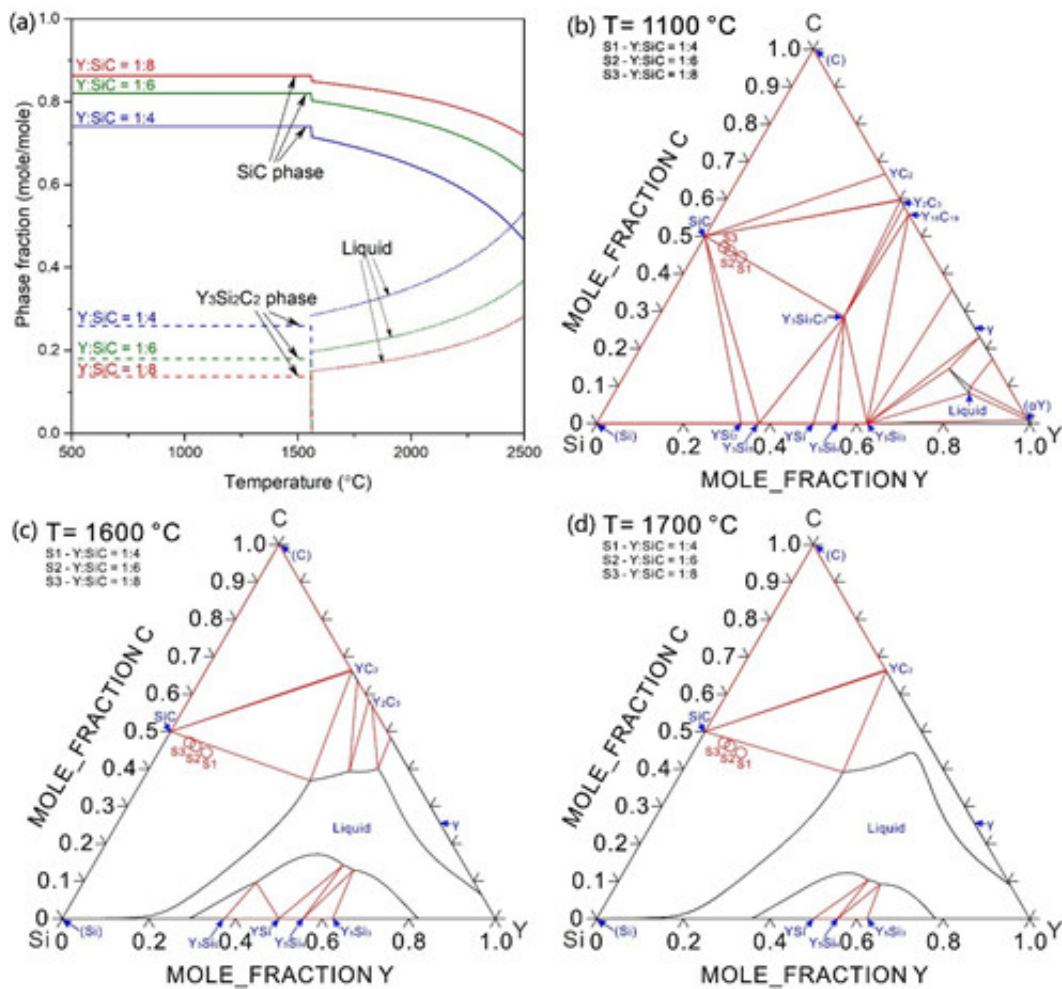


图3 Y-Si-C三元系相图:(a)Y:SiC成分比例为1:4、1:6和1:8时,系统相组成随温度的变化;(b)1100 等温截面;(c)1600 等温截面;(d)1700 等温截面

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