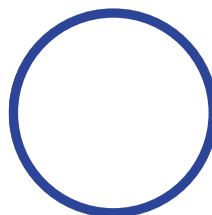


# 【亮点文章】(TiZrNbTaMo)C高熵陶瓷的组织结构与力学性能

原创 陈磊 JMST 今天

点击蓝字



关注我们



论文信息

## (TiZrNbTaMo)C高熵陶瓷的组织结构与力学性能

第一作者： 王恺

通讯作者： 陈磊 王玉金

通讯单位： 哈尔滨工业大学材料科学与工程学院

论文DOI: 10.1016/j.jmst.2019.07.056

Journal of Materials Science & Technology 39 (2020) 99–105



Contents lists available at ScienceDirect

### Journal of Materials Science & Technology

journal homepage: [www.jmst.org](http://www.jmst.org)



Research Article

## Microstructure and mechanical properties of (TiZrNbTaMo)C high-entropy ceramic



Kai Wang<sup>a</sup>, Lei Chen<sup>a,b,c,\*</sup>, Chenguang Xu<sup>a</sup>, Wen Zhang<sup>a</sup>, Zhanguo Liu<sup>a,c</sup>, Yujin Wang<sup>a,c,\*</sup>, Jiahu Ouyang<sup>a,c</sup>, Xinghong Zhang<sup>b</sup>, Yudong Fu<sup>d</sup>, Yu Zhou<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, China

<sup>b</sup> National Key Laboratory of Science and Technology on Advanced Composites in Special Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, China

<sup>c</sup> Key Laboratory of Advanced Structural-Functional Integration Materials & Green Manufacturing Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, China

<sup>d</sup> College of Materials Science and Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, 150001, China



全文速览

采用碳热还原工艺制备纳米级高纯碳化物粉体，解决粉体中残碳或残氧问题，有效提高粉体的烧结活性。设计两步法烧结工艺，成功制备出致密高的单相(TiZrNbTaMo)C高熵陶瓷。所制备的(TiZrNbTaMo)C高熵陶瓷具有晶粒细小、元素分布均匀且硬度高等优点。

## 背景介绍

过渡金属碳化物陶瓷因其具有高熔点、高硬度、耐磨损、耐腐蚀和抗辐照等优异性能，广泛用于航空航天、清洁能源、超高速精密加工等军民领域。随着相关领域的快速发展，对高性能材料需求逐步提高，亟需新型陶瓷材料的出现。借助“高熵合金”概念，开发出全新“高熵陶瓷”材料，与传统陶瓷材料相比，因其高硬度、低热导率、良好的抗高温蠕变和抗氧化性能受到了广泛的关注。目前，过渡金属碳化物高熵陶瓷的研究还处于起步阶段，对单相形成能力、组织演变过程和性能评价等方面还需进一步细化研究。

## 本文亮点

1. 设计制备出致密高的单相(Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C高熵陶瓷；
2. 采用碳热还原工艺制备纳米级碳化物粉体，有效控制粉体中碳氧残留量；
3. 提出锆元素是影响(Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C体系单相形成能力的关键因素；
4. 所制备的高熵陶瓷具有较高的维氏硬度(25.3 ± 0.3 GPa)和纳米硬度(31.3 ± 2.5 GPa)。

## 图文解析

以过渡金属氧化物和炭黑为原料，在1500 °C/1 h成功制备纳米级过渡金属碳化物复合粉体，复合粉体中主要由两种具有面心立方晶体结构的过渡金属碳化物固溶体粉体组成(如图1所示)。

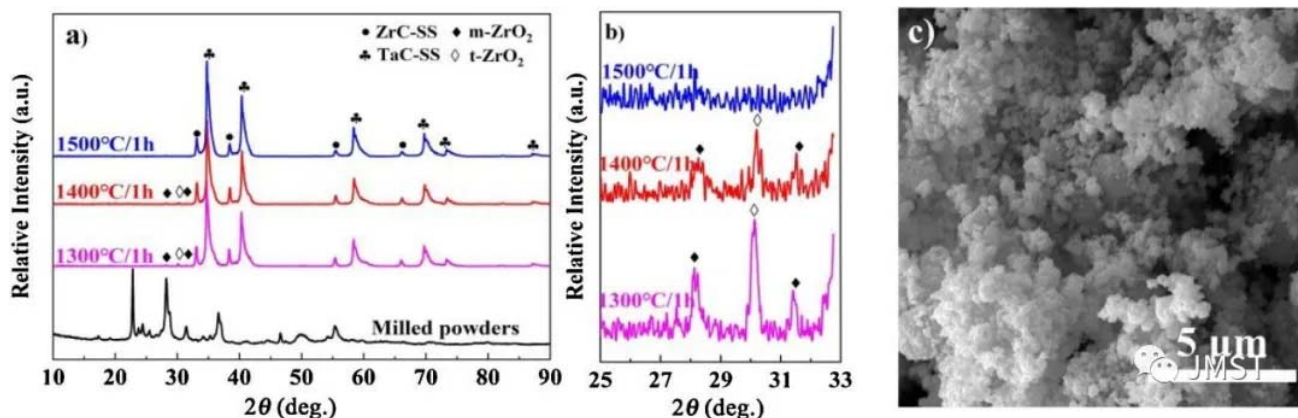


图1 碳热还原工艺制备的碳化物复合粉体物相及粉体形貌。

通过对比研究体系中锆钽元素对合成碳化物粉体物相的影响，初步阐明**锆元素是影响**  
**(Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C高熵陶瓷单相形成能力的主要因素**。此外，有望在较低温度下获得单  
相的**(Ti<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.4</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C粉体及其陶瓷材料**(如图2所示)

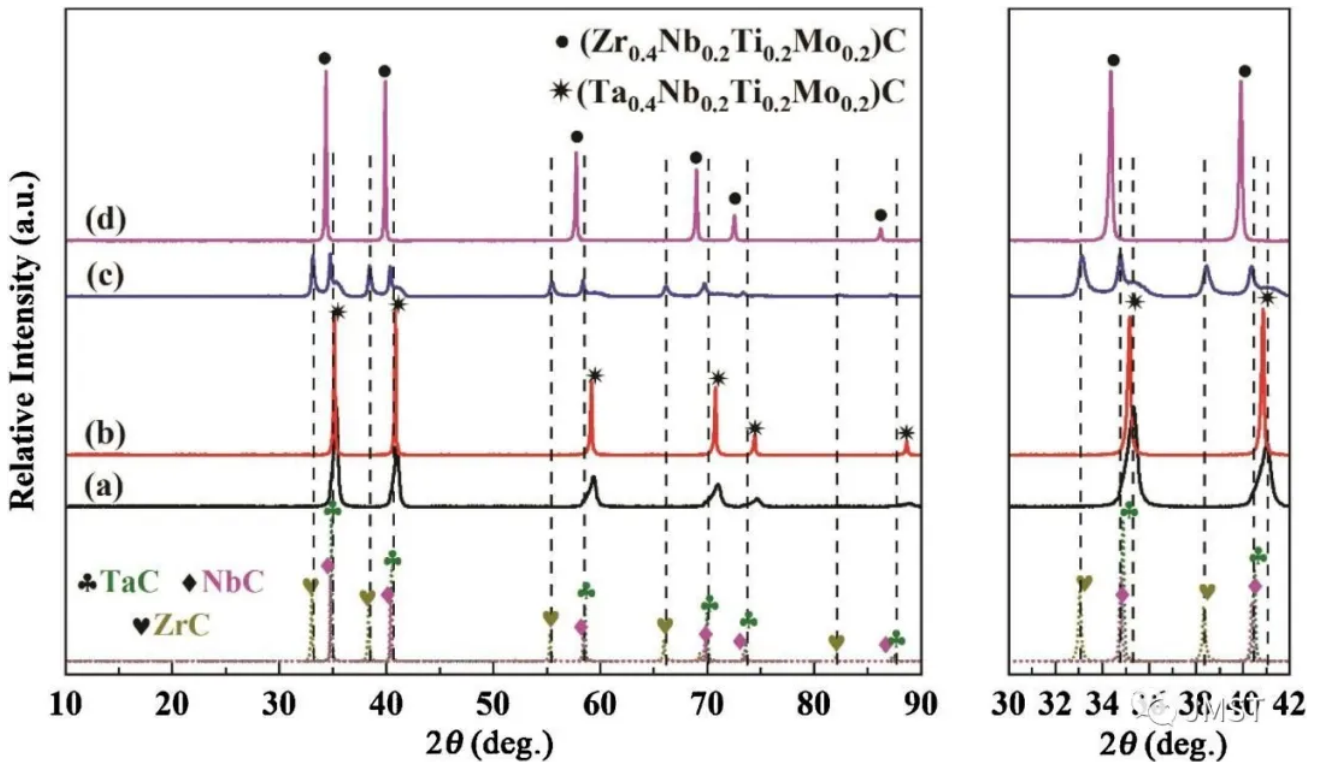


图2 两种体系碳化物粉体及陶瓷材料的XRD图谱:

- a) (Ti<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.4</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C体系碳化物粉体; b) (Ti<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.4</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C陶瓷;  
c) (Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.4</sub>Nb<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C体系碳化物粉体; d) (Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.4</sub>Nb<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C陶瓷。

因此，可以推测**过渡金属氧化物和炭黑在低温碳热还原过程中优先形成碳化锆基和碳化钽基两种固溶体粉体**。随着温度的提高，**两种固溶体粉体相互扩散固溶形成单相的(Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C高熵陶瓷**，其简要的物相转变过程如图3所示。

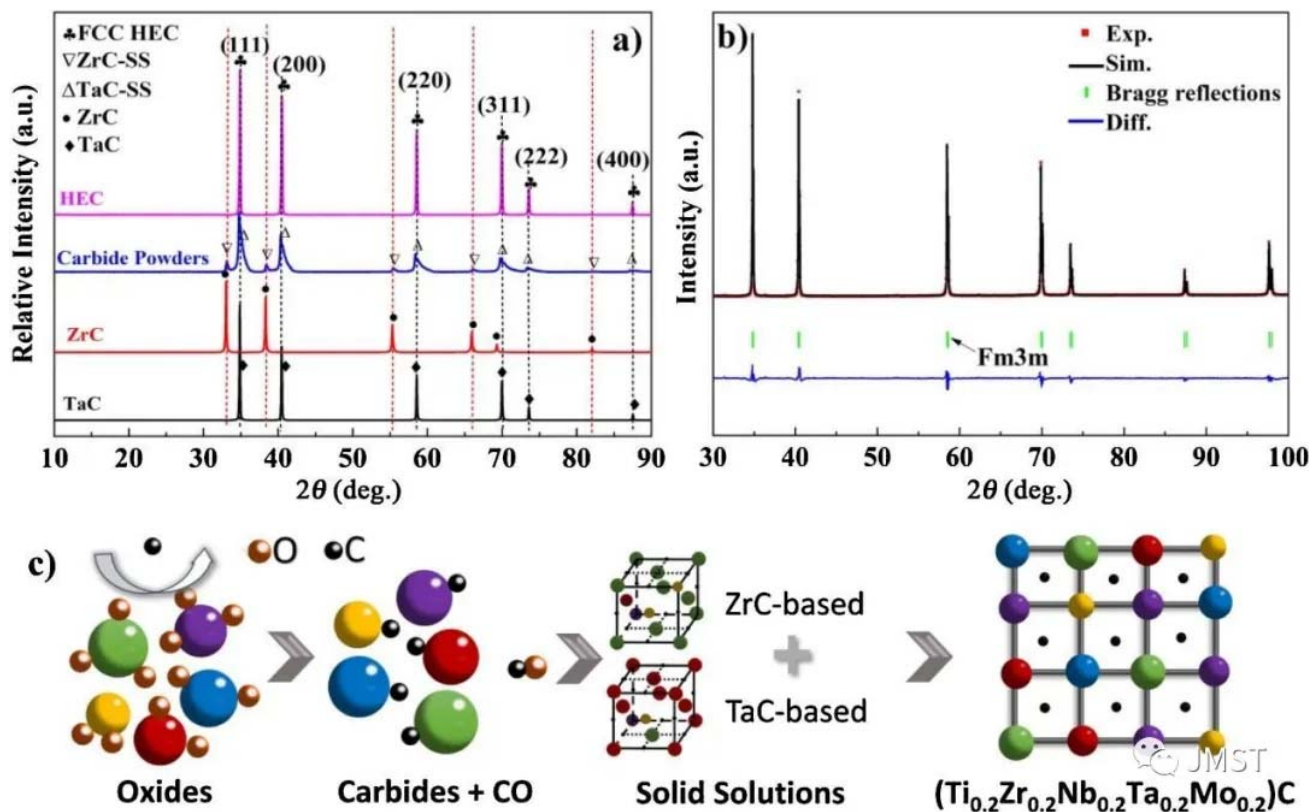


图 3  $(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2}\text{Mo}_{0.2})\text{C}$ 的物相演变过程。

a) 碳热还原制备碳化物粉体和高熵陶瓷的XRD图谱；b) XRD的Rietveld精修结果(Fullprof,  $R_{wp} = 8.88$ )；c) 高熵陶瓷的形成过程示意图(不同颜色代表不同类型的金属原子)。

$(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2}\text{Mo}_{0.2})\text{C}$ 高熵陶瓷致密度较高，组织中各金属元素分布均匀，没有可观测到的明显元素偏聚，平均粒径仅为 $8.8 \pm 3.0 \mu\text{m}$  (如图4所示)，其粒径大小明显小于相同烧结工艺条件下制备的 $(\text{Ti}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ta}_{0.2}\text{Mo}_{0.2})\text{C}$ 高熵陶瓷，并具有较高的纳米硬度和维氏硬度，分别可达到 $31.3 \pm 2.5 \text{ GPa}$ 和 $25.3 \pm 0.3 \text{ GPa}$ 。

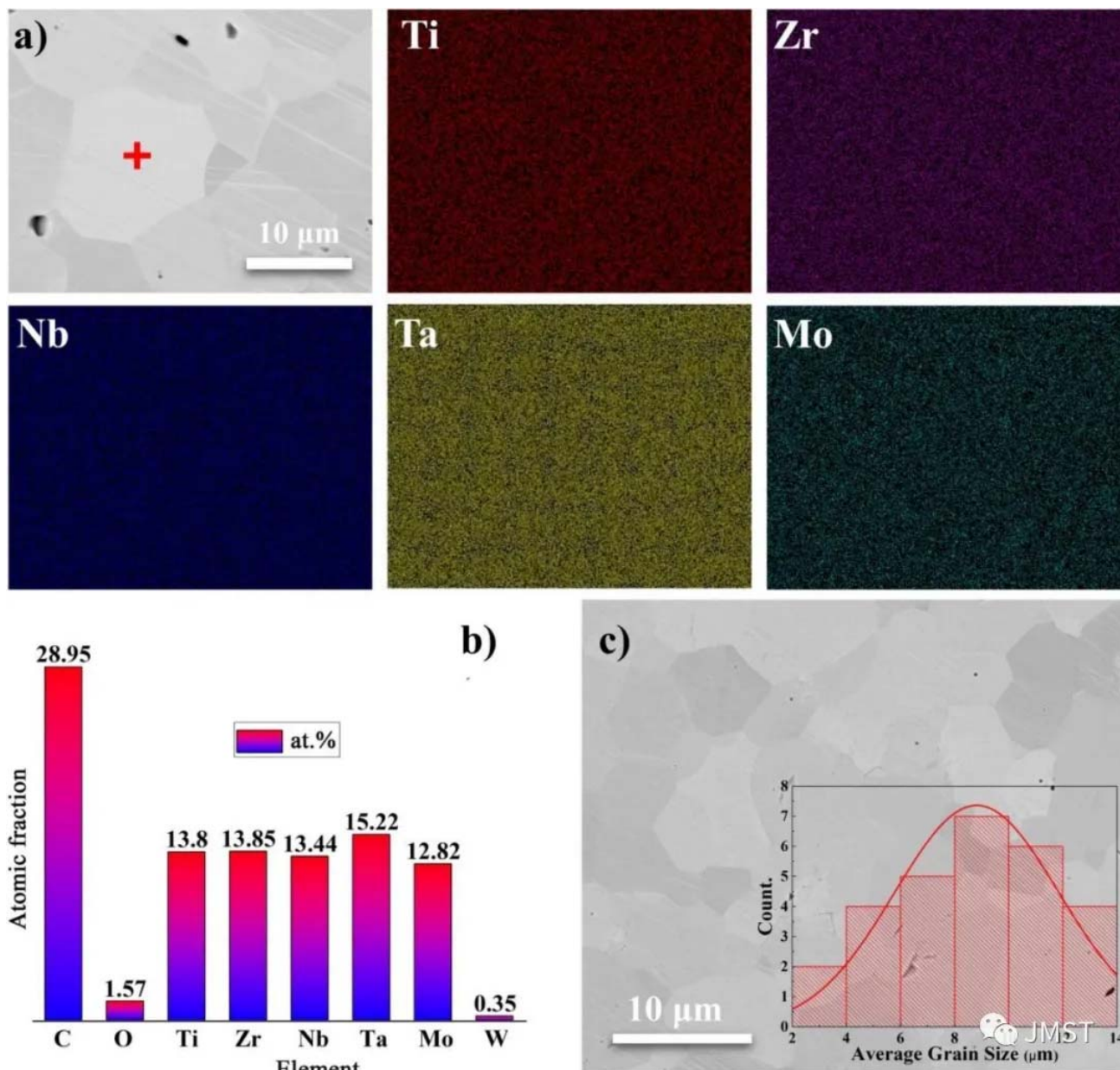


图 4 (Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C高熵陶瓷的显微组织形貌及其能谱分析：  
a) 界面扫描照片以及相应的元素面分布；b)元素含量；c)晶粒尺寸统计分布

### 总结与展望

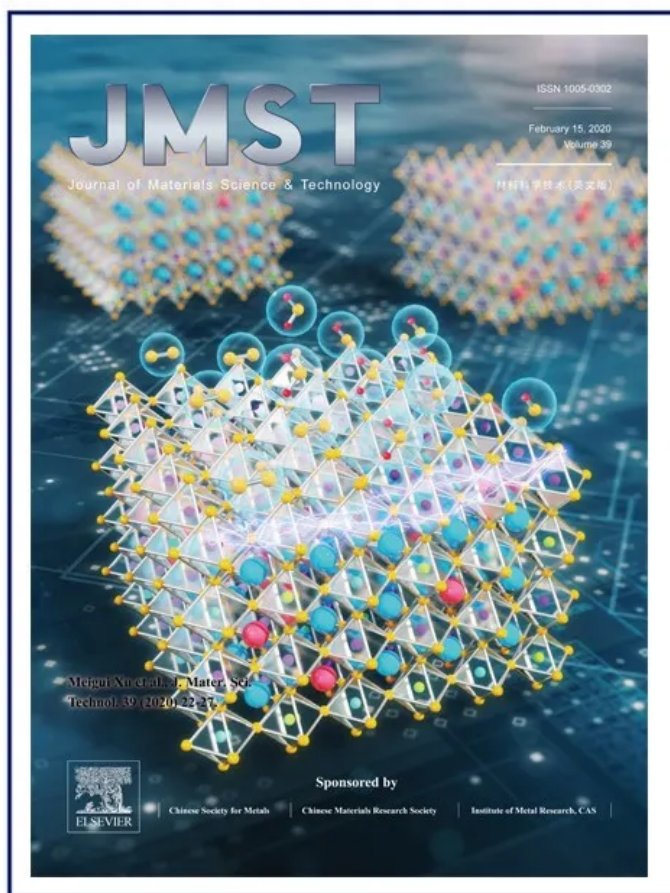
本文通过碳热还原结合两步法热压烧结工艺成功制备出(Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C高熵陶瓷。低温碳热还原过程中优先形成碳化锆基和碳化钽基固溶体粉体，在热压烧结过程中再相互扩散固溶形成单相高熵陶瓷。所制备的(Ti<sub>0.2</sub>Zr<sub>0.2</sub>Nb<sub>0.2</sub>Ta<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.2</sub>)C高熵陶瓷具有致密度高、晶粒细小和元素分布均匀的优点，其硬度优于目前已有的高熵碳化物陶瓷体系。

### 通讯作者介绍

**陈磊**，哈尔滨工业大学材料科学与工程学院副教授、硕士生导师。主要从事过渡金属碳化物陶瓷材料优化设计、陶瓷材料低温制备、陶瓷材料在极端环境中的抗辐照耐腐蚀机制等方面的研究工作。发表论文30余篇，申请国家发明专利17项。主持参与国家自然科学基金、国防基础科研和军品配套等项目。曾获黑龙江省自然科学二等奖1项，中国建筑材料联合会中国硅酸盐学会技术发明一等奖1项。

**王玉金**，哈尔滨工业大学材料科学与工程学院教授、博士生导师。主要从事新型难熔金属基复合材料、超高温陶瓷材料、复合材料低温制备等方面的教学和科研工作。发表学术论文150余篇，申请国家发明专利30余项。主持及参与国家自然科学基金、国防基础科研、军品配套等项目20余项。先后荣获省部级科技奖励一、二、三等奖各1项，黑龙江省教学成果一、二等奖各1项。

END



ISSN 1005-0302

欢迎订阅

订阅热线 024-83978465

24期 / 年

JMST



[阅读原文](#)