

НАПРАВЛЕНИЕ
«ФИЗИКА И ХИМИЯ ГОРЕНИЯ И ПРОЦЕССОВ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
СРЕДАХ» / «PHYSICS AND CHEMISTRY OF COMBUSTION AND
PROCESSES IN EXTREME ENVIRONMENTS»

УДК 544.452+66.091.1

ПРИМЕНЕНИЕ ГОРЕНИЯ СМЕСИ ПОРОШКОВ Si–NaN₃–Na₂SiF₆–C
ДЛЯ СИНТЕЗА ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ
КОМПОЗИЦИИ Si₃N₄–SiC

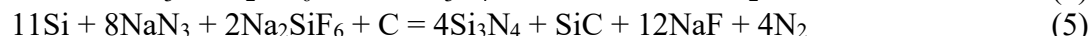
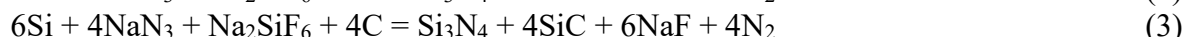
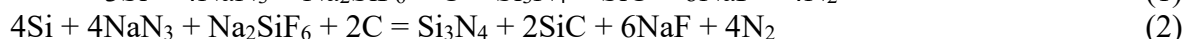
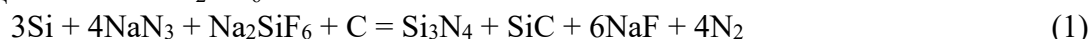
Белова Г.С., Титова Ю.В., Амосов А.П., Майдан Д.А.

Самарский государственный технический университет, г. Самара, galya.belova.94@mail.ru

Ключевые слова: горение, синтез, Si₃N₄–SiC, азид натрия, гексафторсиликат натрия

Карбид кремния (SiC) и нитрид кремния (Si₃N₄) являются перспективными керамическими материалами для различных высокотемпературных изделий благодаря высоким значениям термостойкости и теплопроводности, низкому коэффициенту теплового расширения, сопротивлению окислению в определенных средах, а также высокой вязкости разрушения и сопротивлению ползучести при высоких температурах [1]. Однако эти материалы различаются по механическим характеристикам. Керамика Si₃N₄ демонстрирует высокую вязкость разрушения и хорошую прочность на изгиб, но характеризуется низкой стойкостью к окислению при высоких температурах. Керамика SiC, напротив, демонстрирует высокую стойкость к износу, ползучести и окислению при высоких температурах, но низкую вязкость разрушения [2]. Для повышения износостойкости и увеличения значения ударной вязкости проведены исследования по получению композитной керамики с матрицей Si₃N₄, армированной волокнами, частицами или пластинками SiC, которые показали, что SiC значительно улучшает механические свойства керамики из нитрида кремния [3]. Еще больше улучшаются механические свойства керамических композитов при увеличении дисперсности компонентов, переходе к наноструктурным композитам [4]. Однако такие композиты имеют высокую стоимость и трудны в изготовлении, что связано с высокой стоимостью керамических нанопорошков и практической невозможностью их однородного механического смешивания [2, 4]. Поэтому предпочтительны химические методы прямого синтеза керамических порошков внутри нужной композиции из недорогих исходных реагентов. Среди химических методов большое внимание привлекает простой энергосберегающий метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в различных вариантах организации процесса горения в газообразном азоте, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки [4, 5]. В настоящей работе исследуется применение другого варианта – азидного СВС, в котором в качестве азотирующего реагента используется не газообразный азот, а порошок азиды натрия NaN₃, а также галоидные соли [6].

Известны составы исходных смесей порошков для синтеза однофазных порошков Si₃N₄ и SiC методом азидного СВС, на основе анализа которых для синтеза композиции Si₃N₄–SiC с мольным соотношением фаз от 1:4 до 4:1 были использованы следующие уравнения химических реакций с галоидной солью Na₂SiF₆:



Получены результаты термодинамических расчетов этих реакций, согласно которым адиабатические температуры достаточно высоки для реализации самоподдерживающегося режима горения, а продукты реакций соответствуют правым частям уравнений (1)–(5). При

экспериментальном исследовании определялись температуры и скорости горения, структура и фазовый состав продуктов горения. Экспериментальные значения температур горения получились заметно ниже адиабатических, нитрид кремния синтезировался в виде двух модификаций α - Si_3N_4 и β - Si_3N_4 , количество карбида кремния SiC оказалось значительно меньшим, чем в правых частях уравнений (1)-(5), в конечном продукте присутствовали примеси непрореагировавшего кремния Si . Исследование микроструктуры показало, что синтезированная композиция состоит из волокон нитрида кремния диаметром 100-200 нм и равноосных частиц карбида кремния размером 100-300 нм.

Таким образом, технология азидного СВС позволила получить в одну стадию перспективную керамическую нитридно-карбидную высокодисперсную порошковую композицию Si_3N_4 - SiC , причем с различным соотношением целевых фаз Si_3N_4 - SiC .

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90158.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90158.

Список литературы

1. Неметаллические тугоплавкие соединения / Т.Я. Косолапова, Т.В. Андреева, Т.Б. Бартницкая и др. М.: Metallurgy, 1985. 224 с.
2. Basu B., Balani K. Advanced structural ceramics. Hoboken: Wiley, 2011. 502 p.
3. Hirano T., Niihara K. Microstructure and mechanical properties of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ composites. Materials Letters. 1995. Vol. 22. P. 249-254.
4. Palmero P. Structural ceramic nanocomposites: a review of properties and powders' synthesis methods. Nanomaterials. 2015. Vol. 5. P. 656-696.
5. Хачатрян Г.Л., Арутюнян А.Б., Харатян С.Л. Активированное горение смеси кремний — углерод в азоте и СВС композиционных керамических порошков $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ и карбида кремния. Физика горения и взрыва. 2006. Т. 42. № 5. С. 56-62.
6. Получение нанопорошка карбида кремния и композиции на его основе по азидной технологии СВС / Ю.В. Титова, А.П. Амосов, А.А. Ермошкин и др. Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2013. № 3. С. 45-51.

Сведения об авторах

Белова Галина Сергеевна, аспирант, младший научный сотрудник. Область научных интересов: самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) нитридно-карбидных композиций с применением азидов натрия.

Титова Юлия Владимировна, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: СВС нитридов, карбидов и их композиций с применением азидов натрия и галоидных солей.

Амосов Александр Петрович, д. ф.-м. н., профессор, зав. кафедрой. Область научных интересов: горение, СВС, порошковая металлургия, композиционные материалы.

Майдан Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: СВС нитридов металлов с применением неорганических азидов.

APPLICATION OF Si-Na₃-Na₂SiF₆ – C POWDER MIXTURE COMBUSTION FOR SYNTHESIS OF HIGHLY DISPERSED Si₃N₄-SiC CERAMIC COMPOSITION

Belova G.S., Titova Yu.V., Amosov A.P., Maidan D.A.

Samara State Technical University, Samara, Russia, galya.belova.94@mail.ru

Keywords: combustion, synthesis, Si₃N₄-SiC, sodium azide, sodium hexafluorosilicate

This work shows the results of the self-propagating high-temperature synthesis (SHS) process application for the preparation of ultrafine powder composition of Si_3N_4 - SiC using the combustion of powder mixture of silicon, carbon black, sodium azide, and sodium hexafluorosilicate.