

## ФАЗОВАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО ОКСИДА ЦИРКОНИЯ ПРИ СПЕКАНИИ

*Леонтьев Л.Д., Колесников Т.Н., Бастриков Р.М., Карташов В.В.*

Уральский федеральный университет  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

Высокоэнтропийные керамические материалы на основе диоксида циркония способны демонстрировать уникальный комплекс физико-химических свойств при условии целенаправленного многокомпонентного легирования. Ключом к достижению высоких характеристик ( $\Delta S_{\text{conf}} \geq 1,6 R$ ) является одновременное введение в кристаллическую матрицу  $ZrO_2$  трёх типов добавок: оксидов редкоземельных элементов (Y, Ce, Sc, Gd, Yb), изовалентного заместителя  $Hf^{4+}$ , а также разнозарядных ионов  $Ti^{4+}$ ,  $Nb^{5+}$  и  $Al^{3+}$ . Подобный подход обеспечивает повышение конфигурационной энтропии, однако реализация потенциала системы возможна лишь при формировании гомогенного однофазного твёрдого раствора. Целью исследования являлось установление взаимосвязи между методикой синтеза порошка, концентрацией легирующих элементов и достижение однофазной структуры керамики при высокотемпературном спекании.

В работе проведён сравнительный анализ двух технологий получения порошков: классического твердофазного синтеза с прокаливанием при 1200 °С и растворного нитрат-органического метода с самораспространяющимся горением. Фазовый состав анализировали методом рентгеновской дифракции (РФА), удельную поверхность – методом БЭТ, микроструктуру керамики (1650 °С, воздух) изучали методами РФА и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Рентгенофазовый анализ подтвердил формирование однофазного кубического твёрдого раствора флюоритного типа при обоих способах синтеза. Однако физико-химические характеристики порошков существенно различались. Удельная поверхность образца, полученного методом нитрат-органического горения, составила 8 м<sup>2</sup>/г, тогда как для порошка после твердофазного синтеза этот показатель достиг 15 м<sup>2</sup>/г. Более высокая удельная поверхность при твердофазном методе обусловлена интенсивным механическим помолом, разрушающим агломераты и увеличивающим дефектность частиц порошка. В то же время, несмотря на наноструктурированность первичных частиц при растворном синтезе, быстрое выделение газов в ходе экзотермической реакции способствует их сильной агломерации.

Оба метода продемонстрировали эффективность для получения порошков высокоэнтропийного оксида циркония, однако высокотемпературная обработка выявила склонность структуры к распаду. Для подавления образования примесных фаз высокоэнтропийной структуры рекомендуется дополнительная модификация состава катионами со степенью окисления +2 (в частности,  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ ).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FEUZ-2026-0009).*