

## НАНОКЕРАМИКА (Nanoceramics)

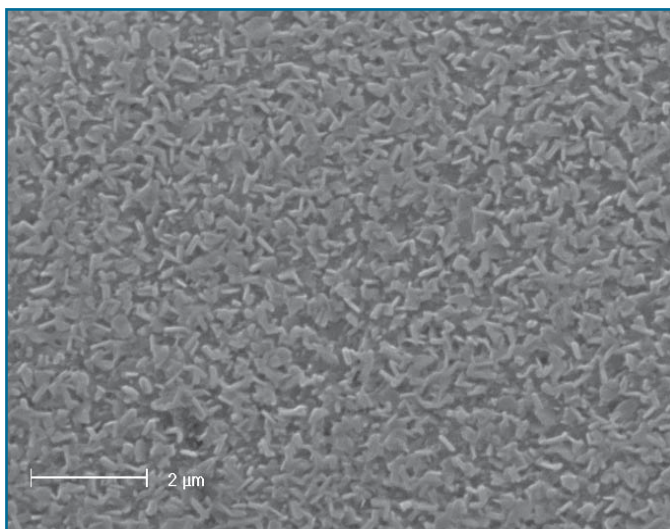
*«Не боги горшки обжигают...».*  
Пословица



Керамика – это неметаллические материалы и изделия, получаемые спеканием глин или порошков неорганических веществ. На греческом языке слово «керамика» означает гончарное искусство. Еще задолго до бронзового века люди научились изготавливать из глины посуду и кирпичи, однажды обнаружив, что высохшая и затвердевшая под солнцем глина может быть превращена в гораздо более прочный материал, если ее обжечь в огне. С тех пор керамическая технология шагнула далеко вперед, переходя на более высокие уровни сложности и захватывая все новые области применения. Сегодня классические керамические материалы широко используются и как конструкционные материалы – зачастую более твердые, легкие и жаропрочные, чем металлы и сплавы, и как разнообразные функциональные материалы: оптические, магнитные, полупроводниковые, сверхпроводниковые, каталитические, сенсорные, пьезоэлектрические. Керамика состоит из прочно связанных зерен-кристаллитов

неорганических фаз: оксидов, карбидов, нитридов и др. и может содержать пустоты (поры) и аморфные включения.

Нанокерамику можно определить как керамический материал, в котором кристаллиты имеют размеры менее 100 нм. Для ее изготовления требуются либо нанокристаллические порошки, либо аморфные материалы. (Для сравнения, в глинах размеры частиц составляют несколько микрон). При термической обработке исходного материала наряду с процессом спекания (уплотнения и образования прочных межкристаллитных контактов) протекает процесс роста зерен керамики. Из-за высокой химической активности нанокристаллических веществ размер зерен в конечном материале может во много раз превысить исходный, приводя к образованию обычной крупнокристаллической керамики. Чтобы эффективно затормозить рост кристаллитов и одновременно ускорить процесс спекания, используют специальные методы. Для эффективного уплотнения исходного нанопорошка применяют магнитоимпульсное или ультразвуковое прессование, в ряде случаев образец дополнительно нагревают. Последующую термическую обработку проводят при более низких температурах, чем для обычной керамики, и вводят добавки, ингибирующие рост зерен. Хорошие результаты дает воздействие мощного микроволнового излучения, в результате которого происходит быстрый и кратковременный нагрев всего объема образца. В качестве альтернативы используют исходно аморфный материал (стекло), в котором при нагревании начинается быстрая кристаллизация. При этом получается плотный нано- либо микрокристаллический материал, называемый ситаллом или стеклокера-



**Рис. 2.** Магнитная композиционная нанокерамика на основе гексаферрита стронция (светлые зерна), полученная кристаллизацией оксидного стекла (ФНМ МГУ им. М.В. Ломоносова)

микой. Чем же так привлекает нас нанокерамика? Оказывается, с уменьшением размера зерна до сотен–десятков нанометров увеличивается прочность керамики: изделие из нее становится не так легко разбить как, например, фарфоровую чашку, при этом возрастает и износостойкость. Может также появиться пластичность при повышенной или даже при комнатной температуре. Сам процесс спекания требует относительно невысоких температур, а применение бездефектных нанокристаллических порошков приводит к получению очень однородного материала как

на макро-, так и на микроуровне. В результате этого улучшаются диэлектрические, магнитные и оптические свойства. Плотная керамика становится прозрачной, как стекло, а нанопористая керамика оказывается лучшим теплоизолятором, чем микропористая. Наличие мелких однородных пор делает материал также полезным для селективного фильтрования и катализа. Из нанопористой керамики изготавливают, например, теплозащитные плитки для современных космических кораблей. И, наверно, многие из вас сами видели уже используемую в быту нанокерамику – прозрачную (обычно темнокрасного цвета), прочную, хорошо проводящую тепло и стойкую к резкому перепаду температур – на нагреваемой поверхности домашней электроплиты.

С улучшенными свойствами нанокерамики связаны новые перспективы в индустрии наноматериалов: производство прочных, легких и термостойких деталей – лопаток турбин, сопел, ракетных обтекателей, резцов; изготовление биосовместимых материалов с регулируемой пористостью для замены костной ткани и сердечного клапана; конструирование топливных элементов, сенсоров, солнечных батарей; создание материалов для магнитной записи (см. рис. 1), элементов микроэлектроники, оптоэлектроники и микромеханических систем.

#### Литература:

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит, 2005. 416 с.
2. Seal S., Baraton M.-I. MRS Bulletin. 2004. January. P. 9–15.
3. Gogotsi Yu. Nanomaterials Handbook. CRC Press (Taylor and Francis Group), 2006. 790 p.