

- щев-Кутузов, В.А. Голенищев-Кутузов, Р.И. Каллимулин// Успехи физических наук. 2000. – Т. 170, №7. – С.697–712.
2. Aleksandrovski, A.L. Periodic Ferroelectric Domain Structures for Nonlinear Optics/ A. L. Aleksandrovski // Laser Physics. 1996. – V. 6. – P. 1003–1012.

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ АКТИВАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

*В.Н. Шум<sup>1,2</sup>, С.Е. Мозжаров<sup>2</sup>, И.Ф. Кашевич<sup>1</sup>*  
*<sup>1</sup>ИТА НАН Беларуси, Витебск*  
*<sup>2</sup>Витебск, УО «ВГУ им. П.М. Машерова»*

Керамические материалы на основе полярных диэлектриков широко используются в технике и электронике. Они составляют основу современных пьезоэлектрических преобразователей, пиродатчиков, терморезистивных элементов, конденсаторов, фазовращателей и т.д. Широкий спектр применений указанных материалов обуславливает разнообразие требований к их электрическим характеристикам. Это в свою очередь объясняет большой объем исследований, посвященных изучению влияния состава на свойства электрокерамики. Не менее существенными факторами, оказывающими влияние на ее электрические свойства, являются характеристики исходных материалов и технология их получения, однако этой проблеме уделено меньше внимания. В настоящее время возможности улучшения параметров активных элементов за счет традиционных технологических факторов практически исчерпаны, и дальнейшее развитие данного направления требует новых оригинальных подходов. Один из таких подходов – применение механоактивированных исходных порошков. Имеются предпосылки, что применение таких порошков для производства функциональных материалов позволит значительно повысить их эксплуатационные характеристики [1, 2].

В настоящее время для активации порошков обычно используются традиционные методы механического помола. Эти методы имеют два существенных недостатка. Во-первых, чрезвычайно большая длительность процесса (десять часов). Во-вторых, загрязнение шихты примесями материалов технологической оснастки (так называемое явление намола). Известно, что использование ультразвуковых колебаний вводимых в суспензию, позволяет получать порошки требуемой степени активности, высокой химической чистоты, с дисперсностью сравнимой с той, которую удастся получить в механических измельчающих аппаратах при значительном сокращении времени обработки [3, 4]. В представленной работе проведена активация керамических порошков с использованием ультразвука и выполнен сравнительный анализ морфологии порошков и их гранулометрического состава.

Активирование частиц порошкового материала и их диспергирование происходит под действием ударных волн и микроструек жидкости, возникающих при захлопывании кавитационных пузырьков, а также в результате взаимных столкновений частиц в ходе их интенсивного хаотического движения [5, 6]. Эффект диспергирования существенно зависит от условий реализации процесса, которые определяются параметрами ультразвуковой обработки. Выбор этих параметров, в свою очередь, производится с учетом исходных свойств дисперсионной среды и дисперсной фазы. Кроме того, эффект ультразвуковой обработки, а также свойства полученной суспензии зависят от характера взаимодействия дисперсионной среды и дисперсной фазы, который определяется, прежде всего, степенью смачиваемости частиц дисперсной фазы жидкой дисперсионной средой. Конечный ре-

зультат диспергирования оценивается по характеру разрушения частиц, т.е. по особенностям их геометрических и структурных характеристик, которые они приобретают после ультразвуковой обработки.

Ультразвуковой обработке подвергались порошки метатитаната бария (титаната бария, осажденного химическим методом), прокаленные при температурах 900–950°C. При использовании именно таких порошков нами были получены терморезисторы, обладающие наилучшими характеристиками [1, 2]. Обработка ультразвуком обычно ведется при максимальной интенсивности кавитационного воздействия, обеспечиваемого применяемой ультразвуковой аппаратурой. В работе использовался ультразвуковой генератор УЗГ 1–1 с преобразователем ПМС 1–1. Рабочий инструмент (волновод-концентратор) выполнен из титанового сплава ВТ-1 в виде стержня полуволновой длины с изменением площади поперечного сечения по экспоненциальному закону. Обработка велась на частоте 22 кГц в этиловом спирте. Выбор этилового спирта обусловлен тем, что, обладая довольно высоким коэффициентом кавитационной активности, его остатки легко удаляются испарением из порошка. Применение воды, которая обладает большей кавитационной активностью, но плохо смачивает материал, требует использования ПАВ и, следовательно, дополнительных промывок, что усложняет процесс активации. При этом проводилось термостатирование емкости с обрабатываемой суспензией, поскольку для спирта температурный интервал при котором интенсивность кавитационного воздействия максимальна – 15–20°C. Наибольшая эффективность ультразвукового воздействия на определенный тип порошка достигается при оптимальном времени обработки. При кратковременной обработке происходит недостаточная активация, а при слишком длительном имеет место агрегация частиц с образованием конгломератов.

Для порошка метатитаната бария исследовалась зависимость гранулометрического состава от времени обработки методом седиментационный анализа [7]. На рисунке 1 приведены дифференциальные кривые распределения частиц  $BaTiO_3$  по размерам в зависимости от времени активации ультразвуком. Обработанный порошок характеризуется более узким разбросом дисперсности, что особенно важно при прессовании порошков, так как вероятность образования «ступоров», приводящих к формированию неоднородного распределения напряжений и образованию пустот при прессовании уменьшается. В результате этого повышается равномерность процессов рекристаллизации и спекания и тем самым улучшаются электрофизические свойства спеченного материала.

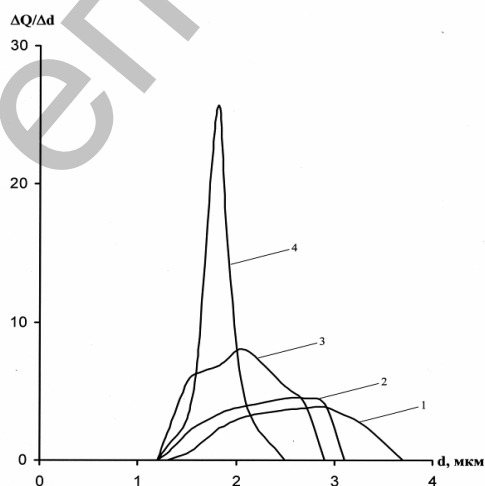


Рис. 1. Дифференциальные кривые распределения для порошка  $BaTiO_3$  в зависимости от времени обработки ультразвуком:

- 1 – не обработанный порошок;
- 2 – время обработки 20 мин.;
- 3 – время обработки 30 мин.;
- 4 – время обработки 1 час

Микроструктура порошка метатитаната бария до и после ультразвуковой обработки в течении 40 минут приведены на рисунке 2. Видно существенное уменьшение количества крупных агломератов после ультразвуковой обработки. Одновременно происходит уменьшение размеров кристаллитов входящих в состав агломератов и повышение внутренней пористости. Это свидетельствует об увеличении макродефектности диэлектрических материалов, что является признаком повышения активности порошка [8]

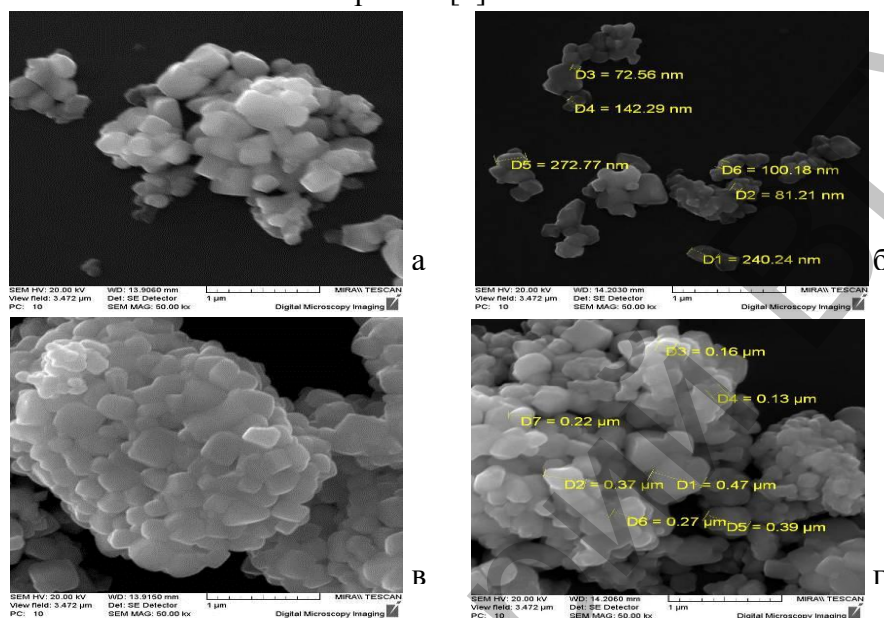


Рис. 2. Микроструктура порошка метатитаната бария до ультразвуковой обработки (а, в) и после нее(б,г)

Представленные результаты показывают эффективность использования ультразвуковой обработки для активации порошков диэлектрических и сегнетоэлектрических материалов.

#### Список литературы

1. V.Shut, S.Kostomarov, A.Gavrilov PTCR barium titanate ceramics obtained from oxalate-derived powders with varying crystallinity// J Mater Sci ., 2008 . Vol. 43, p.p. 5251–5257.
2. V. N.Shut, S. V. Kostomarov. Semiconducting Ceramics Produced Using Nanocrystalline Barium Titanate Powder // Inorganic Materials, 2009, Vol. 45, No. 12, pp. 1417–1422.
3. Хмелев В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве/ Барнаул: АлтГТУ. – 2007. 400 с.
4. Агранат Б.Г. Ультразвук в порошковой металлургии .-М.: Металлургия.-1986. 168 с.
5. Н.К. Толочко, С.Е.Мозжаров, Т.А. Мачихо Извлечение алмазов из продуктов синтеза с использованием ультразвука// Перспективные материалы, 1997, №6. С. 43–50.
6. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах/ Б.Г Новицкий// М.: Химия, 1993. 192 с.
7. Перцов А.В. Методические разработки к практикуму по коллоидной химии/ А.В.Перцов//Москва, 1999 г.
8. М.М. Ристич, В.Г.Самсонов. Теория и технология спекания: – Киев: Наукова думка,1974, с.161–162.