

## КОМПОЗИЦИОННЫЙ ПЬЕЗОМАТЕРИАЛ С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

© 2007 г. И.В. Гусенко, В.Ю. Кунаев, Р.А. Михальцов,  
рук. А.Е. Панич, А.А. Воронцов

Публикации последних лет показывают [1-3], что успешно продолжается поиск новых составов сегнетоэлектрических твёрдых растворов. На основе системы цирконата-титаната свинца получено множество систем твёрдых растворов со всевозможными замещениями и добавками. Модифицируя твёрдые растворы, удаётся изменять их свойства в требуемом направлении [2,3].

Однако уровень требований, предъявляемый к создаваемым акустическим материалам, порой настолько противоречив, что обеспечить его можно только с помощью принципиально новых материалов, сочетающих в себе сумму свойств нескольких компонентов, такими материалами могут быть композиты.

Вызывают определённый интерес композиты на основе пористой керамики, которые отличаются высокими значениями продольной и объёмной чувствительности, низкой плотностью и жесткостью, улучшенным согласованием с водой и человеческими тканями, высокой податливостью демпфированию, простотой получения объёмно-чувствительных элементов. Эти особенности пористой пьезокерамики обеспечивают перспективу применения в медицинской и гидроакустической технике.

Объёмно-чувствительные композиционные пьезокерамические материалы – это материалы, обладающие такими внутренними свойствами, строением, которые адекватно отвечают на возмущение внешних условий, приводящее к появлению напряжения или заряда на обкладках изготовленного из него пьезопреобразователя. Характеристикой таких пьезопреобразователей служит пьезомодуль. Пьезомодуль – это внутренняя характеристика пьезопреобразователя.

Важнейшими характеристиками объёмного пьезоэффекта в случае трансверсально-изотропных материалов (симметрия  $\infty mm$ ) являются объёмный пьезомодуль и объёмная пьезочувствительность.

Величина  $d_v \cdot g_v = (d_v)^2 / (t_{33})$  служит показателем качества объёмно-чувствительного материала (т.н. гидростатический параметр приёма, или hydrostatic figure of merit) и характеризует эффективность преобразования энергии

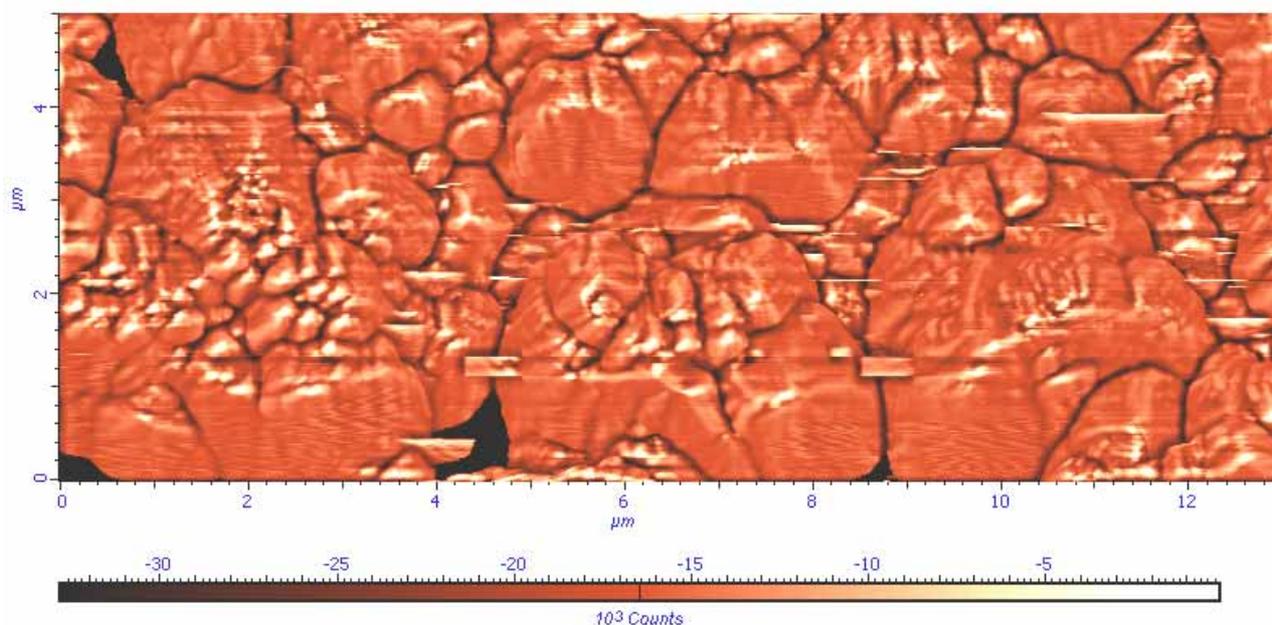
единицей объёма. Эту величину удобно использовать для сравнения характеристик различных пьезоматериалов.

Пьезоактивной составляющей пьезокомпозиатов в нашем случае являлись системы цирконата-титаната свинца, отличающиеся способами получения и размерами частиц.

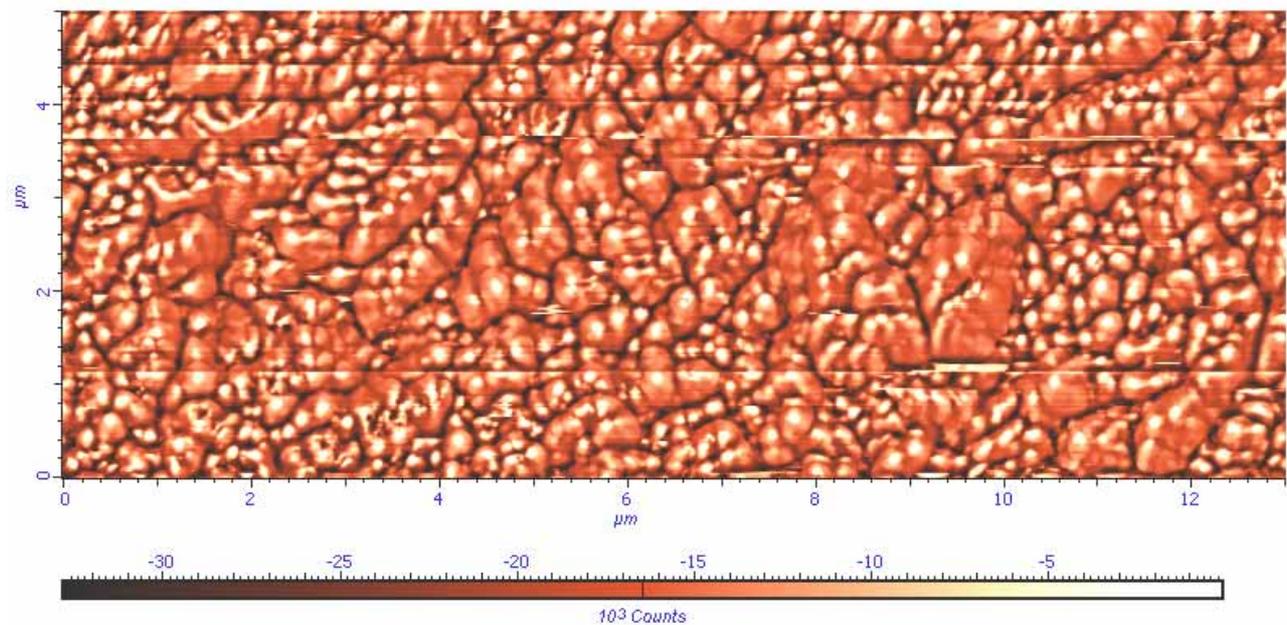
Исследовано влияние механической активации в планетарной мельнице Planetary Mill pulverisette 5 (Fritsch GmbH) при частоте вращения 450 об/мин. Использование высокоэнергетического помола позволяет получать в результате твердофазного синтеза однофазные образцы пьезоматериала.

Удельные поверхности частиц ПКМ, полученного традиционным способом (рис.1) и полученного методом механической активации в планетарной мельнице (рис.2), составляют 4000-5000 и 12000 тыс. кв. см, соответственно, при этом размеры частиц колеблются в интервалах от 0,4 до 2,5  $\mu\text{m}$  и от 0,2 до 0,5  $\mu\text{m}$ .

Изображения на рис.1, 2 были получены путем исследования образцов до спекания отпрессованных из традиционного ПКМ и ПКМ с высокой удельной поверхностью с помощью сканирующего зондового микроскопа СЗМ Solver PRO-M в режиме сканирования зондом с разрешением 5 x 13  $\mu\text{m}$ .



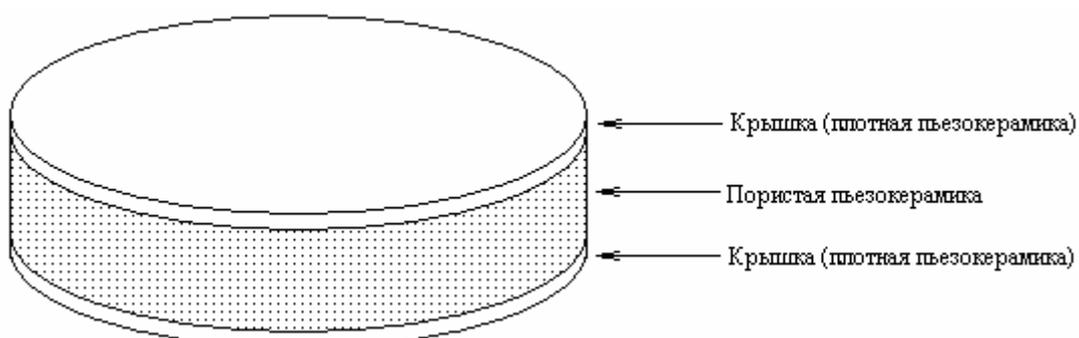
**Рис.1.** Снимок структуры ЦТС-19 (традиционного ПКМ)



**Рис.2.** Снимок структуры ПКЛ-1  
(пьезокерамического материала с высокой удельной поверхностью)

Для получения пористого пьезокомпозиита предварительно изготавливали пьезоматериал, представляющий собой порошкообразный продукт смешения пьезоактивной основы с рассчитанным количеством (от 3 до 33 вес. %) порообразователя. Качество полученного пьезоматериала и степень получаемой пористости определяли на изготовленных из него образцах-пьезоэлементах.

Образцы-пьезоэлементы (рис.3) представляли собой диски диаметром  $20,0 \pm 1,0$  мм и высотой  $3,0 \pm 0,5$  мм ( $6,0 \pm 0,5$  мм) независимо от степени пористости. Измеренные значения параметров образцов, полученных из обычного пьезокерамического материала и пьезокерамического материала с высокой удельной поверхностью, занесены в сравнительную таблицу.



**Рис.3.** Внешний вид пьезокомпозиционного элемента

Таблица 1

**Зависимость электрофизических параметров образцов  
от пористости материала**

	Пористость, %	0	12	24	35	45	53	55
Обычный пьезокерамический материал	Плотность, $\rho$ , г·см <sup>-3</sup>	7,4± 0,2	6,5 ± 0,2	5,6± 0,2	4,8 ± 0,2	4,1 ± 0,2	3,5± 0,2	3,3 ± 0,2
	Относительная диэлектрическая проницаемость, $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	1620- 1980	1100- 1171	750- 814	570- 600	350- 402	220- 250	170- 204
	Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$	0,011- 0,016	0,013- 0,027	0,015- 0,021	0,016- 0,023	0,021- 0,027	0,020- 0,029	0,025- 0,032
	Пьезомодуль, $d_{33}$ , 10 <sup>-12</sup> Кл·Н <sup>-1</sup>	310- 380	327- 365	346- 375	342- 381	327- 370	313- 340	344- 401
	Пьезомодуль, $d_V$ , 10 <sup>-12</sup> Кл·Н <sup>-1</sup>	36-65	179- 201	158- 180	189- 207	194- 235	190- 221	179- 254
	Скорость звука, $V_t^e$ , 10 <sup>3</sup> м·с <sup>-1</sup>	3,16- 3,17	2,71- 2,80	2,01- 2,08	1,53- 1,57	1,20- 1,22	0,95- 1,10	0,71- 0,72
	Коэффициент электромеханической связи, $K_T$	0,54- 0,59	0,49- 0,55	0,50- 0,57	0,56- 0,61	0,59- 0,64	0,51- 0,57	0,53- 0,56
	Чувствительность к акустическому давлению $\gamma$ , мкВ/Па	8-10	59-62	76-80	120- 125	200- 211	313- 320	380- 450
	Пьезокерамический материал с высокой удельной поверхностью	Пористость, %	0	15	21	33	39	45
Плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>		7,4± 0,2	6,4± 0,2	5,9± 0,2	5,0± 0,2	4,6± 0,2	4,1± 0,2	3,3± 0,2
Относительная диэлектрическая проницаемость, $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$		2000- 2070	1200- 1360	1100- 1200	810- 890	580- 640	320- 440	150- 200
Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$		0,013- 0,015	0,014- 0,033	0,015- 0,017	0,018- 0,021	0,016- 0,024	0,042- 0,054	0,049- 0,057
Пьезомодуль, $d_{33}$ , 10 <sup>-12</sup> Кл·Н <sup>-1</sup>		410- 460	350- 400	380- 440	350- 420	370- 450	380- 450	280- 350
Пьезомодуль, $d_V$ , 10 <sup>-12</sup> Кл·Н <sup>-1</sup>		71- 73	188- 213	208- 227	253- 278	290- 319	240- 330	250- 333
Скорость звука, $V_t^e$ , 10 <sup>3</sup> м·с <sup>-1</sup>		3,87- 3,91	2,7- 3,12	2,16- 2,47	1,95- 2,04	1,29- 1,56	1,05- 1,17	0,6- 0,81
Коэффициент электромеханической связи, $K_T$		0,42- 0,46	0,47- 0,61	0,53- 0,57	0,58- 0,59	0,56- 0,62	0,68- 0,69	0,34- 0,38
Чувствительность к акустическому давлению $\gamma$ , мкВ/Па		10-12	51-53	61-64	101- 106	160- 169	251- 254	562- 565

Сравнивая результаты, полученные на композитных образцах пьезоэлементах из обычного пьезокерамического материала и из пьезокерамического материала с высокой удельной поверхностью, можно отметить, что характер поведения кривых зависимостей значений электрофизических параметров от степени пористости примерно одинаков. Однако композитные образцы пьезоэлементы из ПКМ с высокой удельной поверхностью имеют значения пьезомодуля  $d_{33}$  на 20% больше и относительной диэлектрической проницаемо-

сти  $\tau_{33} / \sigma_0$  на 10% больше по сравнению с образцами из традиционного пьезо-керамического материала. С ростом пористости падают значения плотности материала, относительной диэлектрической проницаемости, скорости звука, возрастают значения объёмной чувствительности и объёмного пьезомодуля  $d_v$ .

Уровень требований, предъявляемый к создаваемым акустическим материалам, порой настолько противоречив, что обеспечить его можно только с помощью принципиально новых материалов, сочетающих в себе сумму свойств нескольких компонентов. Такими материалами могут быть композиты, полученные методами ультрадисперсных технологий.

Вызывают определённый интерес композиты на основе пористой керамики, которые обладают высокими значениями продольной и объёмной чувствительности в сочетании с низкой механической добротностью и малым акустическим импедансом. Это определяет повышенный интерес к пористой керамике как к перспективному материалу.

#### Литература

1. *R.E. Newnham*. MRS BULL. 1997. V. 22. № 5. Н. 20-34.
2. *Тополов В.Ю., Турик А.В.* Письма ЖТФ. 1998. Т.24, № 11. С. 65-70.
3. *Тополов В.Ю., Турик А.В.* Письма ЖТФ. 2001. Т.71, № 9. С. 26-32.