

Микроструктурные особенности и электрофизические свойства пористой пьезокерамики

Н.А. Швецова, Е.И. Петрова, М.А. Луговая, М.А. Мараховский, О.Е. Брыль, А.Н. Рыбняец
Южный федеральный университет, 344090 Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: wbeg161@gmail.com

Пористая пьезокерамика на основе различных пьезокерамических составов была предложена в качестве перспективного материала для замены керамики на основе метаниобата свинца и композитов со связностью 1-3 в широкополосных ультразвуковых преобразователях, предназначенных для медицинской ультразвуковой диагностики и терапии, неразрушающего контроля, гидроакустических и других применений. Однако, несмотря на многочисленные исследования, многие аспекты взаимосвязи между микроструктурой и электромеханическими свойствами пористой пьезокерамики остаются невыясненными [1, 2].

В данной статье было проведено комплексное исследование взаимосвязи микроструктуры и свойств пористой пьезокерамики на основе системы ЦТС. В качестве объекта исследования была выбрана сегнетомягкая пьезоэлектрическая керамика типа ЦТС с относительной пористостью в диапазоне от 0% до 50%. Экспериментальные образцы пористой пьезокерамики были получены модифицированным методом выжигания порообразователя. Микроструктурные исследования были выполнены на полированных поверхностях и сколах образцов пористой пьезокерамики с помощью оптического микроскопа (Neophot-21) и сканирующего электронного микроскопа (JEOL JSM-6390LA). Особое внимание было уделено точным измерениям параметров пористой пьезокерамики, что представляет существенную трудность для низкодобротных материалов с неоднородной структурой. Измерения были выполнены в соответствии с действующими стандартами на образцах пористой пьезокерамики, полученных с использованием одинаковых технологических режимов. Для измерения комплексных констант пористой пьезокерамики использовался метод анализа резонансных спектров. Сбор и обработка данных были проведены с помощью программного пакета PRAP.

Были получены и проанализированы зависимости комплексных упругих, диэлектрических, пьезоэлектрических и электромеханических параметров пористой керамики, обладающей относительной пористостью в диапазоне от 0% до 50% от относительной пористости. На Рисунках 1 и 2 показаны примеры микроструктуры пористой керамики на основе ЦТС.

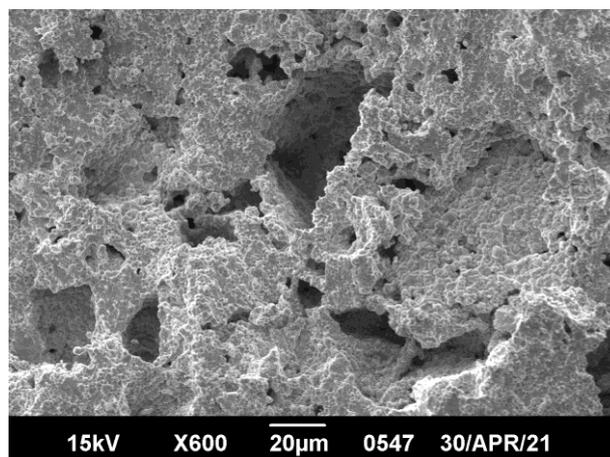


Рисунок 1. SEM микрофотография скола образца пористой пьезокерамики с относительной пористостью 30%.

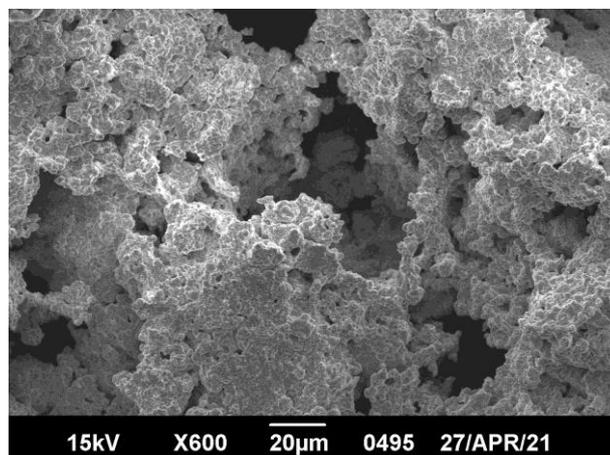


Рисунок 2. SEM микрофотография скола образца пористой пьезокерамики с относительной пористостью 50%.

В результате проведения микроструктурного анализа было установлено, что реальная структура пористой пьезокерамики, обладающей любым типом связности (3-0, 3-3) и пористостью до 50%, близка к структуре матричной среды с непрерывным керамическим каркасом. Также было обнаружено, что характер зависимостей упругих, диэлектрических, пьезоэлектрических и электромеханических свойств пористой пьезоэлектрической керамики от пористости определяется микроструктурными особенностями пьезокерамического каркаса:

- постоянство пьезоэлектрического модуля d_{33} пористой керамики обеспечивается непрерывностью квазистержневой структуры пьезокерамики в направлении остаточной поляризации;

- увеличение коэффициента электромеханической связи k_t толщинной моды колебаний пористой пьезокерамики и его приближение к продольному коэффициенту электромеханической связи k_{33} , который характеризует колебания пьезокерамического стержня, вызваны частичным снятием механического зажатия квазистержневого пьезокерамического каркаса в поперечном направлении, характерного для плотной керамики;

- различие в поведении упругих модулей, соответствующих различным модам колебаний пористой СПК, наряду с общим увеличением упругой податливости, обусловлено изменением механических ($C_{33}^{D*} - S_{33}^{D*}$) и электрических ($S_{11}^{E*} - C_{33}^{D*}$) граничных условий для структурных элементов пьезокерамического каркаса;

- уменьшение поперечного пьезоэлектрического модуля $|d_{31}^*|$ и коэффициентов электромеханической связи планарной и поперечной мод колебаний k_p^* и k_{31}^* для пористой СПК обусловлено нарушением электромеханической связности неоднородно поляризованного керамического каркаса в направлении остаточной поляризации и поперечном направлениях.

В заключении обсуждены взаимосвязь микроструктуры и свойств, а также технологические аспекты промышленного производства и новых применений пористой пьезокерамики для медицинской ультразвуковой диагностики и терапии, неразрушающего контроля и пьезоэлектрически активных мембран для обратного осмоса, ультра- и микрофильтрационных процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (научный проект № 0852-2020-0032 (БА30110/20-3-08ИФ)).

1. A.N. Rybyanets, A.V. Nasedkin, A.A. Naumenko, et al., *Advanced Materials - Studies and Applications* (Nova Science Publishers Inc., New York), 147 (2015).
2. E.I. Petrova, M.A. Lugovaya, I.A. Shvetsov, et al., *Advanced Materials* (Springer Proceedings in Physics), 49 (2018).