

К вопросу об улучшении характеристик пьезоматериалов для повышения мощности пьезогенераторов

Аринова Наталья Владимировна, к.т.н.;
Кәдірханова Сәуле Серікханқызы, студент

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева
(Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск)

В статье рассматривается повышение мощности пьезоэлектрических генераторов посредством улучшения технических характеристик используемого в его конструкции пьезоэлектрического материала. Проведен сравнительный анализ существующих на сегодняшний день пьезоэлектрических материалов и выявлены их основные достоинства. Рассмотрены основные этапы изготовления пьезокерамики как важный процесс формирования их технических свойств. Определены основные способы повышения пьезочувствительности пьезокерамических материалов.

Ключевые слова: пьезоматериалы, пьезогенератор, повышение пьезочувствительности.

Направление пьезоэлектрического приборостроения получило новое развитие, которое связано с созданием пьезоэлектрических преобразователей для генерации электрической энергии за счет использования механической энергии деформации, перемещения конструкций и движения транспортных средств и человека. Актуальность пьезоэлектрических генераторов заключается в использовании их в качестве источника питания электронных средств в местах, где сложно подвести электроэнергию по проводам.

В основу процесса преобразования энергии деформации в электрическую энергию лежит явление прямого пьезоэлектрического эффекта. Основной частью пьезоэлектрического генератора является пьезоэлектрический материал. Изначально, в качестве пьезоэлектрических материалов применялись природные монокристаллические вещества, такие как кварц, турмалин, сегнетова соль, дигидрофосфат аммония, сульфат лития и т.д. Но в силу развития науки и техники и увеличением спроса на качество пьезоэлектрических материалов были разработаны новые виды материала-

лов. Следует отметить, что в связи с этим сейчас из всех известных монокристаллических природных пьезоэлектрических элементов практически применяется лишь кварц. Это объясняется, низкими техническими характеристиками и условиями эксплуатации.

В 1947 – 1949 годах Р. Адлера и В. Мэзона в США обнаружили, что керамический сегнетоэлектрик титанат бария $BaTiO_3$ под действием электрического поля приобретает остаточную поляризацию и пьезоэлектрическую активность [4]. Пьезоэлектрическая активность этой пьезокерамики значительно превосходила активность хорошо известного и широко используемого в то время в электронной технике монокристалла кварца.

На сегодняшний день разработаны различные виды пьезокерамических материалов, такие как керамика на основе титаната бария, титаната свинца, метаниобата свинца и т.д.

Таблица 1. Сравнительная характеристика основных видов пьезоэлектрических материалов

Свойства	Монокристаллы	Пьезокерамика	Полимеры
Пьезомодуль, d	невысокий	высокий	высокий
Область рабочих температур, t°С	до 600	до 250	до 100
Добротность, Q	высокая	низкая	низкая
Температурная стабильность свойств	высокая	старение (располяризация)	старение (располяризация)
Экономичность	низкая	высокая	низкая

С открытием пьезокерамических материалов бурное развитие получило разработка искусственных пьезоэлектрических материалов. Относительно новым направлением в области разработки пьезоэлектрических материалов является разработка новейших полимерных пьезоэлектрических материалов – пьезоэлектрических элементов на основе пористых полимеров и эластичных активных диэлектриков, пьезоэлектрические свойства которых значительно превосходят характеристики обычных пьезоэлектрических материалов [3]. Свойства различных пьезоэлектрических материалов приведены в таблице 1 [1,3,8].

Проанализировав все виды пьезоэлектрических материалов, отметим, что самым перспективным материалом является пьезокерамика, обладающая рядом достоинств. К примеру, технология производства пьезокерамики проста, что снижает стоимость пьезоэлектрических генераторов на их основе. Пьезокерамические материалы исключи-

тельно стойки к действию различных агрессивных сред и выдерживают высокие давления. На сегодняшний день наиболее эффективным керамическим сегнетоэлектриками являются пьезокерамические материалы системы ЦТС, представляющие собой твердые растворы цирконата свинца $PbZrO_3$ и титаната свинца $PbTiO_3$. Но даже использование пьезокерамики системы ЦТС не дает нам желаемой мощности пьезоэлектрического генератора. Поэтому вопрос повышения технических характеристик пьезокерамического материала остается актуальным. В последние годы множество работ зарубежных ученых направлены именно на решение этой проблемы [1,5].

На качество пьезокерамических материалов непосредственно влияет процесс изготовления. Основные этапы изготовления пьезокерамических материалов наглядно представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Основные этапы процесса изготовления пьезокерамических материалов

На этапе синтеза материала получают однородный мелкодисперсный порошок в составе, которого исходное сырье — окислы, соли и различные добавки. Компоненты смешивают в определенной порции в водной среде и высушивают, затем размалывают с целью получения однородного состава. Далее на этапе изготовления заготовок полученную однородную массу смешивают с органическими вяжущими катализаторами, прессуют, каландрируют или формируют с целью получения необходимой формы (диск, стержень, пластина и т. п.). Формование производится одним из следующих методов, таких как метод полусухого прессования, шликерного литья, горячего литья под давлением, экструзии или изостатического прессования при высоком давлении. Затем сырье подвергают обжигу при заданных температурных и временных режимах, в результате чего материал приобретает плотную керамическую структуру. Обжиг производят при температуре от $+1000^{\circ}\text{C}$ до $+1400^{\circ}\text{C}$ в печах в среде кислорода для уменьшения пористости. На рисунке 2 представлена структура керамики после этапа отжига. На этапе механической обработки новоиспеченную керамику шлифуют и полируют так же как металл на токарных, фрезерных и сверлильных станках с помощью инструмента из победита. Затем, на следующем этапе на керамику наносят электроды вакуумным напылением, выжиганием, осаждением из раствора. Материалы для электродов — серебро (обычно), никель, палладий, индий, медь.

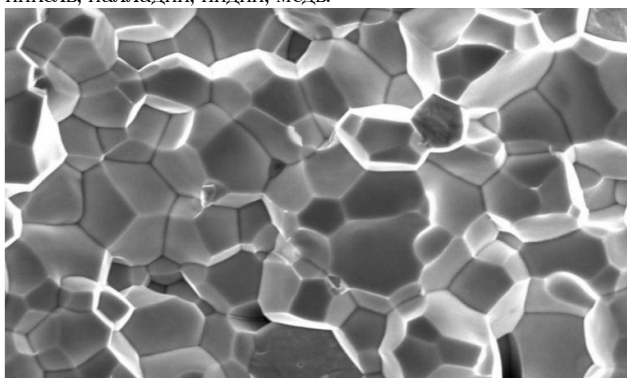


Рис. 2. Вид среза керамики под микроскопом с высоким разрешением

Самым важным этапом в процессе изготовления пьезокерамического материала является поляризация. Поляризация — процесс ориентации произвольно направленных доменов вещества в определенном направлении. Поляризация производится при температуре ниже точки Кюри, так как выше точки Кюри кристаллическая структура вещества приобретает кубическую форму и о пьезоэлектрических свойствах не может быть и речи. Благодаря этому процессу поляризации большинство доменов принимают ориентацию, практически совпадающую с направлением вектора электрического поля, а керамика

удлиняется параллельно оси поляризации. После отключения электрического поля большинство диполей остается ориентированными в направлении, близком к вектору поля поляризации. Это придает материалу постоянную поляризацию, называемую остаточной поляризацией. Заключительным этапом изготовления пьезокерамики является термостабилизация. Термостабилизация необходима для стабилизации основных параметров пьезокерамики, так как со временем остаточная поляризация постепенно уменьшается по экспоненциальному закону из-за разориентации направлений поляризации и изменения доменной структуры в кристаллитах. В работе ученых Бобцова А.А., Бойкова В.И., Быстрова С.В., Григорьева В.В. более подробно рассмотрены все этапы изготовления пьезоэлектрической керамики [6].

Для того чтобы повысить мощность пьезоэлектрического генератора, необходимо улучшить характеристики используемого пьезокерамического материала. Есть множество работ посвященных поиску способов решения этой проблемы [2,7,9]. Одной из важных электрофизических характеристик пьезокерамики является пьезочувствительность (g_{33}), которая определяется величиной $g_{33} = d_{33} / \epsilon_{33}^T$, где d_{33} — пьезомодуль, ϵ_{33}^T — абсолютная диэлектрическая проницаемость. Из этого следует, что для получения материала на основе ЦТС с повышенной пьезочувствительностью, необходимо повысить пьезомодуль и снизить диэлектрическую проницаемость. Есть два способа снижения абсолютной диэлектрической проницаемости. Первое это обогащение системы цирконатом свинца, которое в свою очередь дает формирование ромбоэдрической структуры. Другой способ снижения может быть реализован за счет создания композитов.

Пьезоэлектрические композиционные материалы представляют собой n -фазные системы ($n \geq 2$), в которых, по крайней мере, одна фаза является сегнетоэлектриком. Оставшийся объем заполнен однокомпонентной или многокомпонентной органической связкой, а также другими фазами (стекло, воздух и т.д.). На основе системы ЦТС получено множество систем твердых растворов со всевозможными замещениями и добавками. Учитывая тот факт что, полимерные пьезоэлектрические материалы обладают высокими техническими характеристиками, возникает необходимость композиции их с пьезокерамикой системой ЦТС.

Полимерные связки, используемые в композиционных материалах, имеют диэлектрическую проницаемость значительно более низкую, чем сегнетоэлектрик. Следовательно, и сам композит характеризуется более низкими значениями ϵ_{33}^T , чем пьезокерамика. В то же время величина пьезомодуля d_{33} композитов соизмерима с величиной d_{33} сегнетоактивного материала. Высокое значение d_{33} при

одновременном снижении значений диэлектрической проницаемости ϵ_{33}^T приводит к росту пьезочувствительности g_{33} .

В результате проведенного анализа всех видов композиционных материалов сделан вывод, что наиболее эффективным материалом для создания пьезогенераторов с повышенной мощностью следует использовать пористые композиционные пьезокерамические материалы.

Литература:

1. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений: Учебное пособие / А.А. Бобцов, В.И. Бойков, С.В. Быстров, В.В. Григорьев – Санкт-Петербург, 2011. – 134 с.
2. Композиционный пьезоматериал с высокой удельной поверхностью / И.В. Гусенко, В.Ю. Кунаев, Р.А. Михальцов, рук. А.Е. Панич, А.А. Воронцов // Инженерный вестник Дона. – 2007. - №2. – С.132-136.
3. Луцкейкин Г.А. Новые полимерсодержащие пьезоэлектрические материалы. Физика твердого тела. – 2006. - Т. 48 - №6. – С.963-964.
4. Мэзон У. Физическая акустика, Т. I, Ч.А. Методы и приборы ультразвуковых исследований / Под редакцией Л.Д. Розенберга – Москва: Издательство «Мир», 1966. – 588 с.
5. Пьезоэлектрические материалы на основе гибрида матричных нано- и микропьезоэлектрических композитов / М.К. Керимов, М.А. Курбанов, А.А. Мехтили, Г.Г. Алиев, И.С. Султанахмедова, Ф.Н. Татардар, У.В. Юсифова, Г.Х. Кулиева, Ф.Ф. Яхьяев // Журнал технической физики, 2011, том 81, вып.8, – С.127-134.
6. Пьезокерамическое материаловедение: Учебное пособие под ред. С.Н. Свирской – Ростов-на-Дону, 2009. – 82 с.
7. Сравнительный анализ результатов моделирования пористой пьезокерамики методами эффективных модулей и конечных элементов с экспериментальными данными / А.В. Наседкин, М.С. Шевцова // Инженерный вестник Дона. – 2013. - №2. – С.46-55.
8. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова / Под ред. В.М. Шарапова – Москва, 2006. – 636 с.
9. Mercadelli, E., Sanson, A., Galassi, C. (2010). Porous piezoelectric ceramics / Piezoelectric Ceramics/. Published by Sciyo. pp.111-128, ISBN 978-953-307-122-0

Пористая пьезокерамика наиболее эффективна в силу высокой пьезочувствительности, низкой добротности, высокой экономичности и легкости изготовления. Следует отметить, что область рабочих температур пористой керамики не высока (не выше 100°C), но если разрабатываемый пьезоэлектрический генератор будет работать в диапазоне температур от –50°C до +50°C, это вполне приемлемо.