



УДК 621.37  
DOI 10.21685/2587-7704-2017-2-1-4



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

# Анализ параметров и характеристик пьезоэлектрических материалов и обоснование выбора пьезоэлектрика для разработки детекторов

**А. В. Мартынов**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**А. Н. Головяшкин**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**Е. С. Беспалов**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**С. С. Карташов**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**Аннотация.** В данной статье рассказывается о пьезоэлектрических материалах и областях их использования. Приведены основные виды пьезоэлектриков. Так как область применения пьезоэлектриков достаточно широка, остро встает вопрос о методике выбора того или иного материала для конкретного устройства. Именно поэтому в статье описываются параметры пьезоэлектрического качества, на основании анализа которых происходит дальнейшая разработка пьезоустройств.

**Ключевые слова:** диэлектрические материалы, пьезоэлектрический эффект, пьезоэлектрики, преобразователи энергии, параметры пьезоэлектрического качества, пьезокоэффициент, температурная зависимость, танталат лития.

## Analysing parameters and features of piezoelectric materials and justifying the choice of piezoelectric material for the development of detectors

**A. V. Martynov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**A. N. Golovyashkin**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**E. S. Bepalov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**S. S. Kartashov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**Abstract.** The paper deals with piezoelectric materials and fields of their application. The main types of piezoelectrics are given. Since the field of application of piezoelectric materials is wide,

© 2017 Мартынов А. В., Головяшкин А. Н., Беспалов Е. С., Карташов С. С.

Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

the issue concerning the methods for selecting this or that material for a particular device is acute. That is why the paper reviews the parameters of pyroelectric quality, based on the analysis of which further development of pyro-devices takes place.

**Key words:** dielectric materials, pyroelectric effect, pyroelectric materials, energy converters, pyroelectric quality parameters, pyroelectric coefficient, temperature dependence, lithium tantalate.

Известно много диэлектрических материалов, которые обладают электрической поляризацией при отсутствии внешнего электрического поля. К таким материалам относят и пироэлектрики. Пироэлектрики можно выделить из огромной массы обычных диэлектриков по симметричному признаку: их симметрия должна быть достаточно низкой, чтобы в кристалле осталось хотя бы одно направление, которое не меняет знака под действием поля.

Наличие полярной оси в кристалле находит свое отражение в его определенной асимметрии в расположении атомов (ионов) в кристаллической решетке – несовпадении центров положительных и отрицательных зарядов в элементарной ячейке. Существование такой спонтанной электрической поляризации приводит к появлению связанного электрического поверхностного заряда на гранях кристалла и обусловленного ими электрического поля.

Пироэлектрические материалы по особенностям своей микроструктуры разделяются на ряд групп.

Основными из них являются пироэлектрические: а) кристаллы, б) керамика, в) полимеры, г) стеклокерамика, д) композиты, е) толстые и тонкие пленки [1].

Использование пироэлектриков основано на том, что происходящий в них пироэлектрический эффект позволяет преобразовывать изменение температуры пироэлектрика в электрические сигналы.

Активные элементы на основе пироэлектриков используются в пироэлектрических приемниках излучений, пироэлектрических преобразователях изображения, тепловизионных системах, пироэлектрических видеоканалах, пироэлектрических генераторах рентгеновского и нейтронного излучения, пироэлектрических преобразователях энергии, пироэлектрических датчиках ударных волн [2].

Из всего разнообразия устройств всех меньше продвинулись в модернизации пироэлектрические преобразователи энергии. Это связано с тем, что они имеют КПД гораздо ниже, чем у других термоэлектрических преобразователей, например, чем у ТЭМ на основе соединений теллурида висмута ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) [3].

Из этого следует, что очень важно проводить исследования в данной сфере для развития отечественной промышленности и науки. Один из путей развития пироустройств – поиск и внедрение новых материалов для активных элементов детекторов.

Выбор пироматериала для конкретного вида устройств осуществляется с помощью анализа параметров пироэлектрического качества. Проведя этот анализ, можно прогнозировать, в каком устройстве тот или иной материал будет использоваться более оптимально. Используют следующие параметры качества:

$$M_1(T) = \frac{\rho^\sigma(T)}{C_v(T)},$$
$$M_v(T) = \frac{\rho^\sigma(T)}{C_v(T)\epsilon_0\epsilon(T)},$$
$$M_v^*(T) = \frac{\rho^\sigma(T)}{\epsilon_0\epsilon(T)},$$
$$M_{ind}(T) = \frac{\rho_{ind}(T, E)}{\{C_v(T, E)[\epsilon_0\epsilon(T, E)\text{tg } \delta(T, E)]\}^{\frac{1}{2}}},$$
$$M_{vid}(T) = \frac{M_v(T)}{a(T)},$$

где  $\rho^\sigma(T)$  – пироккоэффициент;  $\rho_{ind} = \epsilon_0 E \epsilon d / dT$  – индуцированный пироккоэффициент;  $C_v$  – теплоемкость единицы объема,  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  – диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь,  $a$  – температуропроводность.

Параметр  $M_1$  определяет чувствительность пироэлектрического элемента при работе в режиме «короткого замыкания», когда чувствительный элемент нагружен на малое внешнее сопротивление  $R_a$ . Этот критерий характеризует коэффициент преобразования пироприемника излучения при импульсных измерениях, когда требуется высокое временное разрешение, которое достигается уменьшением постоянной времени. Параметр  $M_V$  применяется в случаях, когда напряжение с объемного образца подается на высокоимпедансный усилитель, собственные шумы которого ограничивают чувствительность детектора ( $C_a \gg C_s$ ). Параметр  $M_V^*$  аналогичен параметру  $M_V$ , однако он используется для тонкопленочных образцов, для которых  $\tau_E > \tau_{th}$ . Параметр  $M_{ind}$  характеризует эффективность работы пироэлектрического материала в болометрическом режиме в устройствах, работа которых основана на использовании индуцированного пироэлектрического эффекта. Параметр  $M_{vid}$  характеризует эффективность работы пироэлектрического материала при использовании его в качестве чувствительного элемента пировидикона.

В табл. 1 представлены параметры пироэлектрических материалов, производимых современной промышленностью.

Таблица 1

Материал	$\rho^\sigma$ , нКл/(см <sup>2</sup> ·К)	$M_V$ , м <sup>2</sup> /Кл	$M_V^*$ , Кв/(м·К)	$M_{vid}$ , 10 <sup>6</sup> с/Кл
ТГС	28	0,36	830	1,3
ДТГС(40°С)	55	0,6	1440	1,8
ТГФБ(60°С)	70	0,61	1520	1,8
АТГСА(25°С)	70	0,99	2470	3
PVDF	2,7	0,1	240	1,6
LiTaO <sub>3</sub>	23	0,17	550	0,13
NaNO <sub>2</sub>	4	0,35	1130	
LiNbO <sub>3</sub>	7,1	0,08	267	

Анализируя данную таблицу, можно найти оптимальный материал для решения практических задач при проектировании определенных устройств.

В настоящее время большой интерес для изучения и практического применения представляют тонкие пленки ниобатов и танталатов щелочных металлов.

Из анализа выражений для пиропараметров следует, что все они зависят от изменения температуры, и главный вклад в эту зависимость оказывает пироккоэффициент (см. табл. 1).

Пироккоэффициент – это отношение изменения поляризованности диэлектрика к вызвавшему это изменение интервалу температуры. Данный коэффициент выражается через следующее равенство [4]:

$$\rho^\sigma(T) = AD \left( \frac{\Theta_D}{T} \right) + \sum_i A_i E \left( \frac{\Theta_{Ei}}{T} \right), \quad (6)$$

где  $A$  – постоянные коэффициенты;  $\Theta_D$ ,  $\Theta_{Ei}$  – Дебаевская и Энштейновская температуры соответственно;  $D \left( \frac{\Theta_D}{T} \right)$  – функция теплоемкости Дебая;  $E \left( \frac{\Theta_{Ei}}{T} \right)$  – функция теплоемкости Энштейна.

Для практического применения материалов, как было сказано выше, учитываются значения пиропараметров, но также важно учитывать зависимость параметров от температуры. Для этого необходимо рассмотреть температурные зависимости пироккоэффициента для различных материалов.

На рис. 1 представлены температурные зависимости пироэлектрических коэффициентов, где кривая 1 – для триглицинульфата, кривая 2 – для танталата лития, кривая 3 – для ниобата лития, 4 – для турмалина [4].

Из представленного графика видно, что наиболее линейные зависимости у ниобата и танталата лития. Пироэлектрические параметры у данных материалов будут иметь наиболее линейную зависимость от 200 до 500 К включительно. Анализируя значения пиропараметров у LiTaO<sub>3</sub> и LiNbO<sub>3</sub>, можно прийти к выводу, что эти материалы оптимальны при проектировании пироэлектрических тонкопленочных датчиков, работающих в широком диапазоне температур.

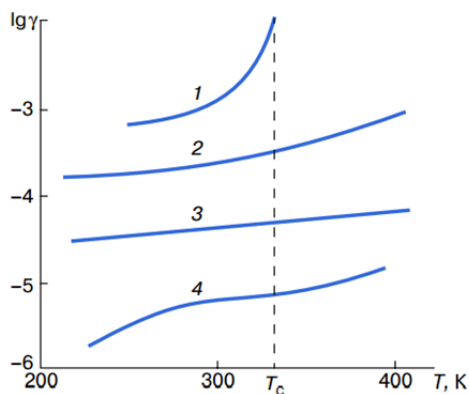


Рис. 1. Зависимость пирокоэффициентов различных материалов

При проектировании различных пироустройств необходимо принять во внимание факт не только значения пиропараметров, но и их стабильности при разных температурах, так как на активные элементы этих устройств будет воздействовать широкий градиент температур [5].

### Библиографический список

1. Буш, А. А. Пироэлектрический эффект и его применение / А. А. Буш. – М., 2005. – С. 80, 92–95.
2. Рез, И. С. Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике / И. С. Рез, Ю. М. Поплавко. – М., 1989. – С. 170–175.
3. Беспалов, Е. С. Актуальные проблемы термоэлектричества и пути их возможного решения / Е. С. Беспалов, А. Н. Головяшкин, А. В. Мартынов, Ф. А. Абдулин. – Пенза, 2015.
4. Струков, Б. А. Пироэлектрические материалы: свойства и применение / Б. А. Струков. – М. : Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 1998.
5. Бородин, А. В. Новые перспективные экологически чистые сегнетокерамические материалы для пироэлектрических термометров / А. В. Бородин, Ю. Н. Захаров, Л. А. Резниченко, О. В. Наскалова. – Ростов н/Д, 2002.

### Мартынов, А. В.

Анализ параметров и характеристик пироэлектрических материалов и обоснование выбора пироэлектрика для разработки детекторов / А. В. Мартынов, А. Н. Головяшкин, Е. С. Беспалов, С. С. Карташов // Инжиниринг и технологии. – 2017. – Vol. 2(1). – DOI 10.21685/2587-7704-2017-2-1-4