

**УДК 621.3.082.73****Изучение влияния анизотропии сторон полимерных сегнетоэлектрических плёнок ПВДФ на частотную зависимость динамического пьезокоэффициента  $g_h$** Кан Николай Вячеславович <sup>(1)</sup>, Еманов Данила Петрович <sup>(2)</sup>*Студент 3 курса <sup>(1)</sup>, магистр 1 года <sup>(2)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет**Научный руководитель: К.М. Моисеев,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

С развитием измерительных приборов, использующих прямой или обратный пьезоэффекты, таких как гидрофоны, датчики вибраций или давления, появляются новые ниши, требующие уникальных характеристик активного элемента. Одним из таких материалов является поливинилиденфторид (ПВДФ) – фторополимер, обладающий выраженными сегнетоэлектрическими свойствами. В отличие от керамических пьезоэлектриков ПВДФ не имеет жесткой структуры и обладает высоким модулем упругости. Также у ПВДФ наблюдается более выраженная объемная пьезоэлектрическая константа электрического напряжения (давления)  $g_h$ . В отличие от линейных констант  $g_{31}$ ,  $g_{32}$  и  $g_{33}$ , константа  $g_h$  предполагает механическое воздействие со всех сторон, где ввиду своей жесткости и геометрии, а также большого значения диэлектрической проницаемости, керамические чувствительные элементы отстают от мягких альтернативных материалов [1].

Объемный динамический пьезокоэффициент электрического напряжения  $g_h$  является отношением полученного изменения разницы напряжения электрического поля на поверхности образца к приложенному механическому напряжению во всех направлениях (1). Размерность  $g_h$  – [Вм/Н] или [м<sup>2</sup>/Кл].

$$g_h = \frac{U}{10^{-3} K t_h P_0 10^{20} L_p}, \quad (1)$$

где  $U$ , мВ – напряжение, измеренное на осциллограмме;  $K$  – коэффициент усиления;  $t_h$ , мкм – толщина образца;  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па – опорное значение звукового давления;  $L_p$ , дБ – звуковое давление вблизи образца.

В данной работе для измерения динамической пьезоэлектрической константы  $g_h$  используется стенд «труба-резонатор». Стенд позволяет создавать и регулировать квазистатическое поле акустического давления. Варьируя степень погруженности образца в рабочую область, а также расстояние до источника звуковых вибраций, возможно найти геометрические точки резонанса с максимальным звуковым давлением  $L_p$ , [дБ] при помощи микрофона, установленного рядом с образцом. Полученный сигнал передается на осциллограф, с помощью которого фиксируется амплитуда выходящего сигнала  $U$ , [В]. Далее значения звукового давления и напряжения электрического поля вводятся в формулу (1).

Пленки ПВДФ обладают анизотропией пьезоэлектрических свойств сторон. Выражается данное явление через знак заряда на поверхностях, а также абсолютное значение пьезокоэффициентов. В связи с этим поставлена задача – изучение влияние данной характеристики на значения пьезомодуля  $g_h$ .

Измерены 6 образцов с двух сторон. 3 образца толщиной 28 мкм и 3 образца толщиной 50 мкм. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Средние значения  $g_h$  образцов по сторонам

Толщина, мкм	28			50			Среднее	Дисперсия
	№ Образца	1	2	3	1	2		
$g_h$ , Вм/Н Сторона 1	1,19	1,04	0,57	1,28	1,37	0,3	0,958	0,428
$g_h$ , Вм/Н Сторона 2	1,6	1,17	0,51	1,08	1,01	0,2	0,838	0,390
$g_{hc1}/g_{hc2}$	1,12	0,89	1,12	1,19	1,35	1,5	1,195	0,212

Из полученных данных видно, что пьезоэлектрическая константа  $g_h$  стороны 1 образцов стабильно больше результатов стороны 2 на ~19%. Такой результат может быть обусловлен разницей степени поляризации поверхностей при поляризации в плазме тлеющего разряда, т.к. одна сторона образца обращена к плазме, а другая к электроду. Данные наблюдения совпадают с результатами предыдущих экспериментов по измерению пьезокоэффициента  $d_{33}$ , где наблюдается подобная разница в диапазоне от 20% до 50% [3].

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FSN-2025-0004.

### Литература

1. *Sappati K.K., Bhadra S.* Piezoelectric Polymer and Paper Substrates: A Review. *Sensors* 2018, 18, 3605. DOI:10.3390/s18113605.
2. *Hana P., Burianova L., Panos S.* The dynamic method of determination of the piezoelectric hydrostatic coefficients. Department of Physics, Faculty of Education, Technical University of Liberec, Halkova 6, 461 17 Liberec, Czech Republic, 2004. DOI: 10.1016/j.sna.2003.09.032.
3. *Basov B.A., Makarova K.T., Buryanskaya E.L., Moiseev K.M., Osipkov A.S., Maltsev A.* "The Glow Discharge Plasma Polarization Effect on PVDF Film Properties," 2024 IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Joint Symposium (UFFC-JS), Taipei, Taiwan, 2024, pp. 1-6, DOI: 10.1109/UFFC-JS60046.2024.10794167.