

Бесполудин В.В.

Магистрант

Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения

Южный федеральный университет

Россия, г. Таганрог

**ЗАВИСИМОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
СЕНСОРА УСКОРЕНИЯ ОТ ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ И
ВНЕШНЕГО УСКОРЕНИЯ**

Аннотация: в статье рассматривается зависимость генерации напряжения пьезоэлектрическим сенсором ускорения от его геометрических размеров и ускорения, а также зависимость его чувствительности от геометрических размеров.

Ключевые слова: прямой пьезоэлектрический эффект, сенсор ускорения, геометрические размеры, чувствительность.

Besposdin V.V.

Master

Institute of Nanotechnologies, Electronics and Instrumentation

South Federal University

Russia, Taganrog

**DEPENDENCE OF VOLTAGE OF THE PIEZOELECTRIC
ACCELERATOR SENSOR FROM ITS GEOMETRIC SIZES AND
EXTERNAL ACCELERATION**

Abstract: In this paper, the dependence of voltage generation on the piezoelectric acceleration sensor on its geometric dimensions and acceleration is considered, as well as the dependence of its sensitivity on geometric dimensions.

Key words: direct piezoelectric effect, acceleration sensor, geometric dimensions, sensitivity.

Пьезоэлектрические сенсоры ускорения работают используя прямой пьезоэлектрический эффект, который возникает в пьезоэлектрических материалах под действием механических напряжений вызванных ускорением. На рисунке 1 показан внешний вид пьезоэлектрического сенсора ускорения с массой 0.1 мг на конце балки, которая используется для повышения чувствительности устройства. Консольная балка изготовлена из поликристаллического кремния поверх которого расположен PZT кристалл [1-3].

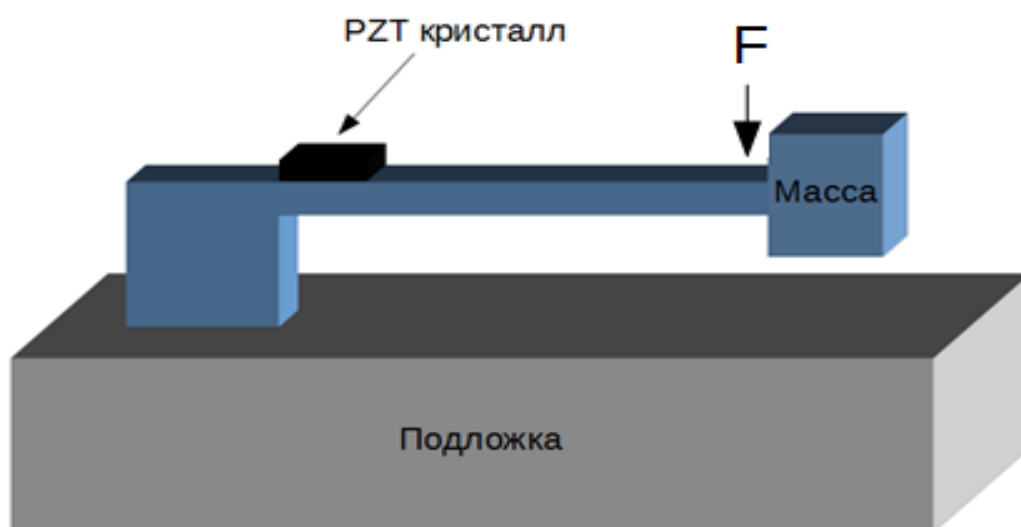


Рисунок 1. Внешний вид пьезоэлектрического сенсора ускорения

Далее предложено математическое моделирование (приближенный метод) электро - механических эффектов данного устройства.

Сила воздействия F_{eq} будет определяться из выражением (1) [4]:

$$F_{eq} = m \cdot a \quad (1)$$

где a ускорения m/c^2 и m - масса конструкции, которая определяется из выражением (2):

$$m = m_b + m_m + m_{pzt} \quad (2)$$

где m_b масса балки, m_m - масса на конце балки, m_{pzt} - масса PZT материала.

Изгибающий момент M для случая воздействия силы на конец балки рассчитывается на основе выражения (3):

$$M_{\max} = F_{eq} \cdot l \quad (3)$$

где F_{eq} - эквивалентная изгибающая сила в ньютонах, l - длина балки.

Соответствующее максимальное напряжение σ_{\max} равно (4):

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot c}{I} \quad (4)$$

где M_{\max} - изгибающий момент в Н·м, c - половина толщины балки в м, I - момент инерции в м⁴. Для данной консольной балки с прямоугольным сечением по оси y момент инерции будет определяться выражением (5):

$$I = \frac{w \cdot t^3}{12} \quad (5)$$

где w - ширина балки, t - толщина балки. Максимальная механическая деформация ε_{\max} определяется с помощью выражения (6):

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\sigma_{\max}}{E} \quad (6)$$

где σ_{\max} - изгибающее напряжение в Па, E - модуль Юнга PZT, который равен $1,9 \times 10^{11}$ Па. Напряжение, генерируемое в пьезоэлектрическом PZT кристалле, составляет (7):

$$V = \frac{\varepsilon_{\max}}{d} \quad (7)$$

где d - пьезоэлектрическая постоянная PZT равная 480×10^{-12} м / В.

Общее возникающее напряжение определяется из выражения (8):

$$V = V \cdot e \quad (8)$$

где e длина PZT материала на консольной балке.

На рисунке 2 представлена зависимость напряжения устройства от ускорения (для случаев б, в, г ускорения a составляло 70 м/с^2) и его геометрических размеров (w_2 - ширина PZT кристалла) [4,5].

Чувствительность устройства S определяется отношением напряжения к его ускорению (мВ/а) (9):

$$S = \frac{V}{a} \quad (9)$$

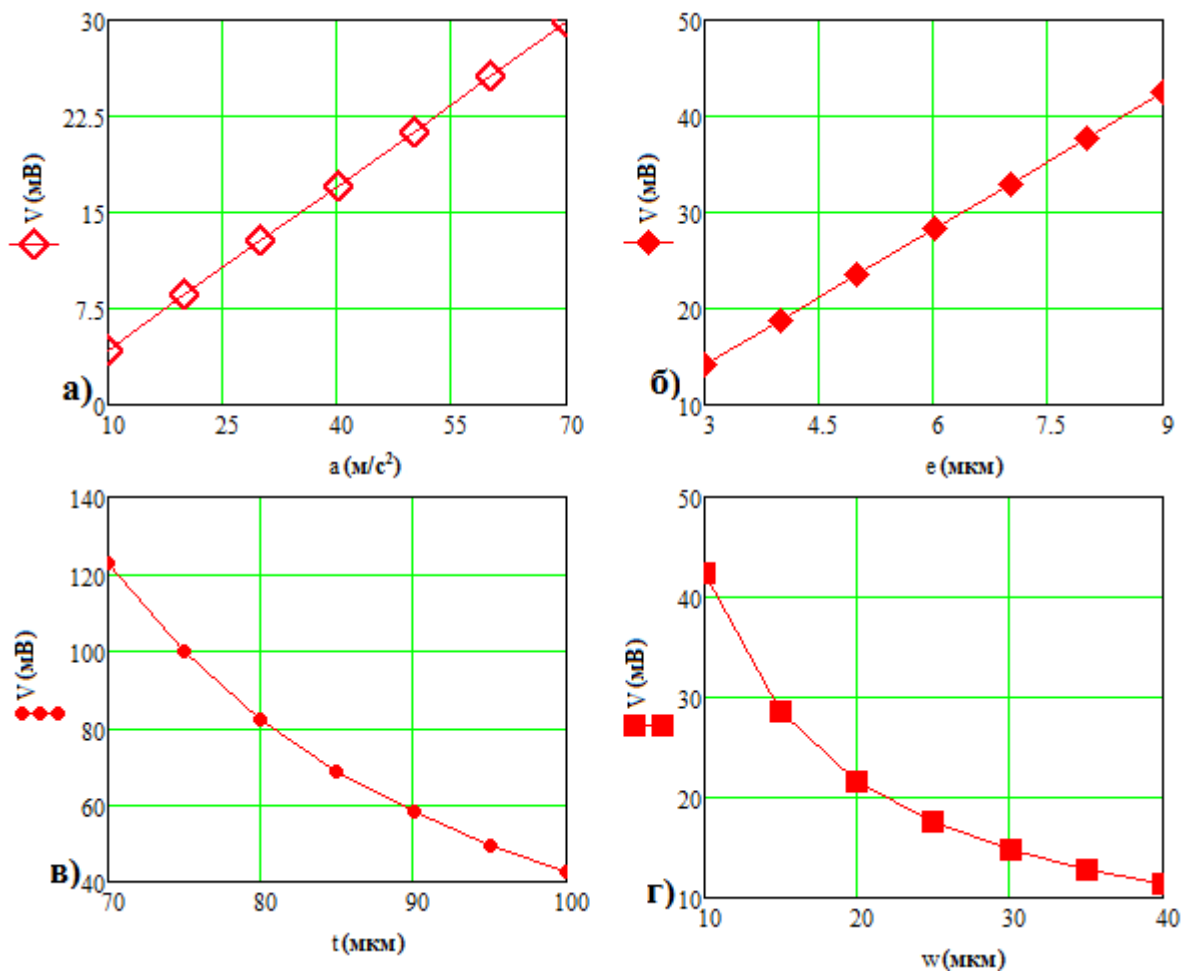


Рисунок 2. Зависимость изменения напряжения от: а) Ускорения a при $L=1000$ мкм, $t=100$ мкм, $w, w_2=10$ мкм, $e=4$ мкм б) Длины PZT при $L=1000$ мкм, $t=100$ мкм, $w, w_2=10$ мкм, в) Толщины балки t при $L=1000$ мкм, $w, w_2=10$ мкм, $e=9$ мкм, г) Ширины балки w при $L=1000$ мкм, $t=100$ мкм, $w_2=10$ мкм, $e=9$ мкм

На рисунке 3 (а) представлена зависимость чувствительности пьезоэлектрического сенсора ускорения от геометрических размеров.

Резонансная частота устройства определяется из уравнения (10):

$$f_{rez} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (10)$$

где K - это коэффициент жесткости балки, m - масса устройства [5].

На рисунке 3 (б) показана зависимость резонансной частоты от t и w .

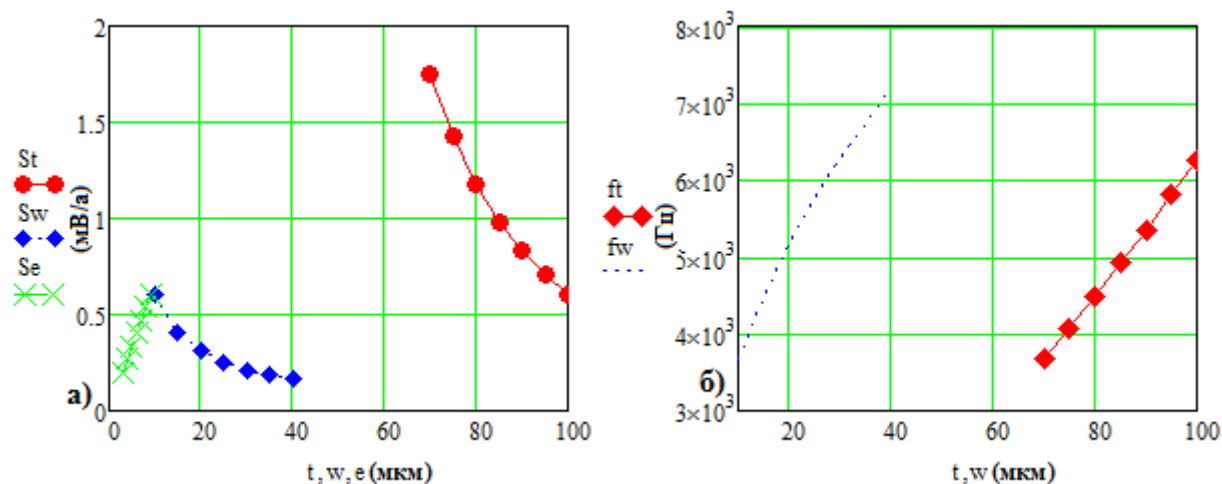


Рисунок 3. Зависимость чувствительности от конструктивных параметров и возникающего напряжения от геометрических размеров и ускорения

Из полученных зависимостей можно сделать вывод, что изменяя геометрические размеры устройства можно значительно повысить генерируемое напряжение, а также повысить чувствительность и изменить резонансную частоту [6,7]. Таким образом изменяя геометрические размеры устройства мы можем изменить его характеристики под определенную область применения.

Использованные источники:

1. wiseGEEK clear answers for common questions. What Is the Piezoelectric Effect ? [Electronic source]: <http://www.wisegeek.com/what-is-the-piezoelectric-effect.htm> (date of the application 23.07.2017).
2. The Piezoelectric Effect [Electronic source]: <http://www.aurelienr.com/electronic/piezo/piezo.pdf> (date of the application 27.05.2017).
3. EIEnergi.ru. Что такое пьезоэлектрический эффект ? [Электронный ресурс]: <http://elenergi.ru/chto-takoe-pezoelektricheskij-effekt.html> (дата обращения 28.05.2017).

4. Tai-Ran Hsu. MEMS and Microsystems: Design, manufacture, and nanoscale engineering. 2008. p.550.
5. James J. Allen. Micro Electro Mechanical System Design. 2005. P.463.
6. Lenk A, Ballas RG, Werthschützky, R., Pfeifer, G. Electromechanical Systems in Microtechnology and Mechatronics. Electrical, Mechanical and Acoustic Networks, their Interactions and Applications. Springer. 2011.
7. M.S. Vijaya: Piezoelectric materials and devices: Applications in engineering and medical sciences. CRC Press Taylor & Francis Group New York, 2013.