

УДК 621.763.893

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА УГЛА НАКЛОНА НА ВИБРИРУЮЩЕМ ОСНОВАНИИ**

**Антонов М. С.<sup>1</sup>, Таратын И. А.<sup>1-3</sup>**

<sup>1</sup>Отраслевая научно-исследовательская лаборатория инновационных приборов МЭМС-технологий, Белорусский национальный технический университет

<sup>3</sup>Минский научно исследовательский институт радио материалов  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Применение компьютерного моделирования и аналитического расчета, для получения основных характеристик высокочувствительного датчика угла наклона на вибрирующем основании.

**Ключевые слова:** датчик угла наклона, компьютерное моделирование, метод конечных элементов.

**COMPUTER SIMULATION OF THE CHARACTERISTICS OF A HIGHLY SENSITIVE TILT ANGLE SENSOR ON A VIBRATION BASE**

**Antonov M., Taratyn I.**

Industry research laboratory of innovation devices of MEMS technologies

Belarusian National Technical University

Minsk research institute of radio materials

Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Application of computer modeling and analytical calculation to obtain the main characteristics of a highly sensitive tilt angle sensor on a vibration base.

**Key words:** tilt angle sensor, computer simulation, finite element method.

Адрес для переписки: Антонов М. С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: matvey3378@gmail.com.

В настоящее время для расчетов параметров микромеханических элементов датчиков угла наклона широко применяется моделирование основанное на методе конечных элементов. В данной работе расчет проводился в программе ANSYS, что позволило нам провести расчет собственной частоты, величину отклонения инерционной массы при вибрации основания, на котором закреплен чувствительный элемент, а также величину деформации. Результаты расчетов представлены в таблице 1, в таблице 2 и на рисунках 1–4.

Так же был проведен аналитический расчет собственной частоты и отклонения конца инерционной массы закрепленного на вибрирующем основании используя формулы (1), (2) [1].

$$P_{1,2}^2 = 2 \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (1)$$

$$S_{yr+av_{1,\gamma}} = \frac{m(k_{11}a^2 - 2ak_{12})}{\Delta_1} \quad (2)$$

Расчетное значение собственной частоты колебаний подвеса толщиной 30 мкм и шириной 300 мкм, для первой и второй моды составляет  $P_1 = 99$  Гц и  $P_2 = 640$  Гц. Величина отклонения 22,3 мкм

Сравнение результатов компьютерного моделирования и аналитического расчета показывает на удовлетворительное совпадение. Разница между компьютерным моделированием и аналитическим расчетом составила < 10 %.

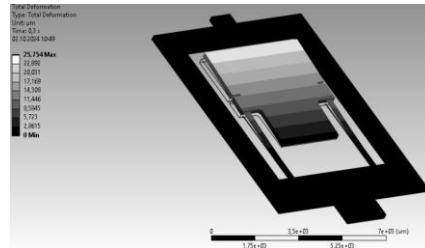


Рисунок 1 – Максимальное отклонение инерционной массы, ширина подвеса 300 мкм, толщина 30 мкм

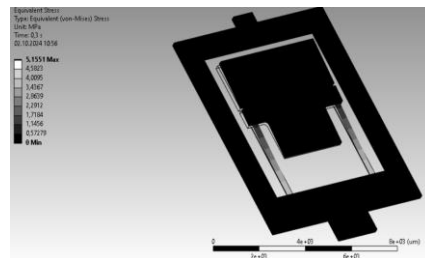


Рисунок 2 – Распределение механических напряжений в подвесах чувствительного элемента, при ширине подвеса 300 мкм, толщине 30 мкм

Таблица 1 – Ширина подвеса 300 мкм

Толщина подвеса, мкм	20	30	40
Частота 1-ой моды, Гц	65	119	182
Максимальное отклонение, мкм	83,62	25,75	10,91
Максимальное механическое напряжение, МПа	11,03	5,1	2,9

Таблица 2 – ширина подвеса 500 мкм

Толщина подвеса, мкм	20	30	40
Частота 1-ой моды, Гц	83	152	234
Максимальное отклонение, мкм	52,05	15,538	6,59
Максимальное механическое напряжение, МПа	6,68	3,053	1,74



Рисунок 3 – Максимальная отклонение инерционной массы, ширина подвеса 500 мкм, толщина 30 мкм

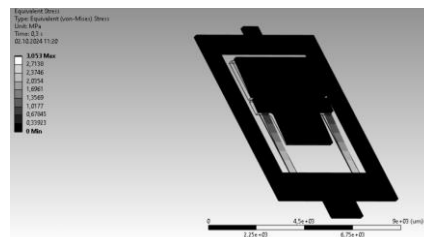


Рисунок 4 – Распределение механических напряжений в подвесах чувствительного элемента, при ширине подвеса 500 мкм, толщине 30 мкм

Данная работа была выполнена в ходе выполнения НИР 3.17.1 по ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций».

**Литература**

1. Распопов В.Я Микромеханические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2004.

УДК 53.087.93

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОВЫХ МИКРОСИСТЕМ**

**Антонов М. С., Реутская О. Г.**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Компьютерное моделирование и анализ полученных результатов позволяет учитывать особенности при изготовлении чувствительных элементов газовых микросистем с применением микроэлектронных технологий. В результате конечно-элементного моделирования в программе ANSYS 2023 было определено влияния температуры на распределение тепловых полей, деформации и механических напряжений в порожках пористого оксида алюминия. Установлены зависимости деформации и механических напряжений от температуры. **Ключевые слова:** Компьютерное моделирование, газовая микросистема, температура, деформация, механическое напряжение.

**COMPUTER ANALYSIS OF SENSITIVE ELEMENTS OF GAS MICROSYSTEMS**

**Antonov M., Reutskaya O.**

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** Computer modeling and analysis of the obtained results allows taking into account the features in the manufacture of sensitive elements of gas microsystems using microelectronic technologies. As a result of finite element modeling in the ANSYS 2023 program, the influence of temperature on the distribution of thermal fields, deformation and mechanical stresses in porous aluminum oxide substrates was determined. Dependences of deformation and mechanical stresses on temperature were established.

**Key words:** Computer modeling, gas microsystem, temperature, deformation, mechanical stress.

*Адрес для переписки: Антонов М. С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: matvey3378@gmail.com.*

Развитие промышленности интенсивными темпами приводит к увеличению нагрузки на техногенную среду, к реальной угрозе здоровью людей и нанесению невосполнимого ущерба. В странах с развитой промышленностью уделяется особое внимание созданию и разработке газоаналитического оборудования и систем мониторинга окружающей среды. В основу таких систем следует включать газоаналитические приборы на основе газовых сенсоров, для создания которых используют современные микроэлектронные технологии. Они способны обеспечивать высокий и эффективный контроль за процессами загрязнения воздуха.

Разработка новых датчиков для обнаружения различных газов в окружающей среде включает в себя ряд этапов. Одним из них является построение и анализ компьютерной модели в системах автоматического проектирования. Включение такого этапа в разработку позволяет снизить стоимость создаваемого изделия. Для исследования элементов газовых микросистем была построена модель сенсора на подложке пористого оксида алюминия при помощи программы ANSYS 2023.

Выбор режимов работы газовых микросистем определяется рядом параметров, включающих тепловые потери и распределения температурных полей в чувствительном элементе сенсоров. Диа-