

УДК 681.586

ЭЛЛИПТИЧЕСКИЙ ЕМКОСТНОЙ МИКРОДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ**Николаева Т.А., Таратын И.А., Чижик С.А.***Белорусский национальный технический университет**Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Емкостной датчик давления состоит из подвижной мембраны, которая вызывает изменение емкости для приложенного давления. Для достижения высокой чувствительности используется тонкая мембрана большой площади с небольшим разделительным зазором между мембраной и металлическим контактом. Это приводит к нелинейности, уменьшает динамический диапазон измерений и увеличивает размер датчика. Таким образом, оптимальная конструкция датчика необходима для достижения баланса между этими компромиссами.

Ключевые слова: эллиптический емкостной датчик давления, чувствительный элемент, чувствительность, разделительный зазор.

ELLIPTICAL CAPACITIVE PRESSURE MICROSENSOR**Nikolaeva T., Taratyn I., Chizhik S.***Belarusian National Technical University**Minsk, Belarus*

Abstract. A capacitive pressure sensor consists of a moving diaphragm that causes a change in capacitance for the applied pressure. To achieve high sensitivity, a thin, large area diaphragm with a small separation gap between the diaphragm and the metal contact is used. This results in non-linearity, reduces the dynamic range of the measurement and increases the size of the sensor. Thus, optimal sensor design is needed to achieve a balance between these tradeoffs.

Key words: elliptical capacitive pressure sensor, sensing element, sensitivity, separation gap.

Адрес для переписки: Николаева Т.А., ул. Я.Коласа, 22/1, г. Минск 220113, Республика Беларусь

e-mail: nic.tamara@mail.ru

МЭМС стали основным направлением на сенсорном рынке из-за ряда преимуществ, таких как компактный размер, малый вес, технологичность, масштабируемость, низкое энергопотребление и низкая стоимость. Устройства на основе МЭМС используются для измерения параметров, таких как перемещение, напряжение, деформация, ускорение, сила, давление, крутящий момент, удар, вибрация, поток, температура и влажность, в различных областях, таких как биомедицина, автомобильная, аэрокосмическая, бытовая и портативная электроника [1–3].

Среди различных типов датчиков давления широко применяемыми является пьезорезистивные датчики давления и емкостные датчики давления [4]. Пьезорезистивные датчики давления обладают различными преимуществами, такими как простота изготовления, линейный выход, хорошая надежность и простая схема компенсации. Однако емкостные датчики давления имеют лучшие параметры: устойчивость к температурному дрейфу, большой динамический диапазон измерений и лучшую чувствительность по сравнению с пьезорезистивными датчиками давления.

Как правило, в емкостных датчиках давления в качестве чувствительного элемента используется тонкая мембрана. Для достижения высокой чувствительности датчика давления необходимо оптимизировать толщину мембраны, площадь перекрытия между параллельными пластинами и разделительный зазор [5–6].

Конструкция емкостного датчика давления состоит из двух противоположно заряженных параллельных пластин, которые разделены средой, как показано на рис. 1.

В емкостных МЭМС-датчиках давления с параллельными пластинами изменение емкости достигается за счет уменьшения разделительного зазора между пластинами в результате приложенного давления. Приложение давления вызывает изгиб мембраны, так что разделительный зазор уменьшается. Уменьшение разделительного зазора увеличивает емкость датчика, соответствующую величине приложенного давления [4].

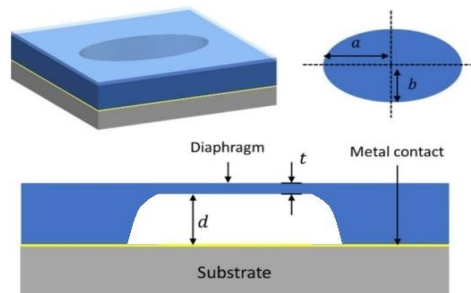


Рисунок 1 – Эллиптический емкостной датчик давления, состоящий из тонкой эллиптической мембраны, отделенной от металлического контакта фиксированным зазором

Моделирование емкостных датчиков давления необходимо для разработки датчиков с оптимальными характеристиками и минимальными габари-

тами. Это особенно важно в условиях растущей миниатюризации электронных устройств. Для прогнозирования поведения сложных систем, состоящих из нескольких технологий, таких как система на кристалле, необходимо моделировать МЭМС-устройства наряду с другими технологиями, включая схемы CMOS, радиочастотные схемы, блоки памяти и так далее. Традиционно моделирование использовалось для эффективного моделирования больших схем для повышения производительности в различных условиях эксплуатации.

Расчет емкости. Рассчитана емкость в конструкциях с эллиптической мембраной толщиной 7 мкм, модулем упругости 186 ГПа и коэффициентом Пуассона 0,266 после приложения давлений 10 и 100 кПа.

Ниже представлен расчет для мембраны с большой полуосью равной 150 мкм после приложения давления 10 кПа.

Жесткость при изгибе мембраны:

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} = 5,72 \cdot 10^{-6}, \text{ Н} \cdot \text{ м},$$

где E – модуль упругости, t – толщина мембраны, ν – коэффициент Пуассона.

Максимальное отклонение в эллиптической мембране:

$$w_{e,max} = \frac{P}{8D} \left[\frac{a^4 b^4}{3(a^4 + b^4) + 2a^2 b^2} \right] = 4,87, \text{ нм},$$

где P – приложенное давление, a – большая полуось мембраны, b – малая полуось мембраны.

Начальная емкость для эллиптического емкостного датчика давления:

$$C_0 = \frac{\epsilon \pi a b}{d} = 4,7128, \text{ мФ},$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость для азота.

Емкость после отклонения мембраны:

$$C_w = \frac{C_0}{2} \left[\sqrt{\frac{d}{w_{e,max}}} \ln \left| \frac{\sqrt{d} + \sqrt{w_{e,max}}}{\sqrt{d} - \sqrt{w_{e,max}}} \right| \right] = 4,7136, \text{ мФ}.$$

В табл. 1 представлены результаты всех расчетов.

Таблица 1. Результаты расчетов

	При приложении давления 10 кПа		При приложении давления 100 кПа	
	a = 150 мкм	a = 300 мкм	a = 150 мкм	a = 300 мкм
$D, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	$5,72 \cdot 10^{-6}$			
$w_{e,max}, \text{ нм}$	4,87	6,7	48,7	67
$C_0, \text{ мФ}$	4,7128	9,4257	4,7128	9,4257
$C_w, \text{ мФ}$	4,7136	9,4278	4,7205	9,4468

Изменение емкости. Изменение емкости из-за отклонения мембраны относительно изменения давления показано на рис. 2, которое получено путем поддержания постоянной малой полуоси размером 100 мкм и изменения большой полуоси от 150 до 300 мкм. Разделительный зазор составляет 10 мкм для диапазона давлений от 10 до 100 кПа.

Емкость увеличивается по мере увеличения отклонения, т.е. по мере уменьшения разделительного зазора между пластинами.

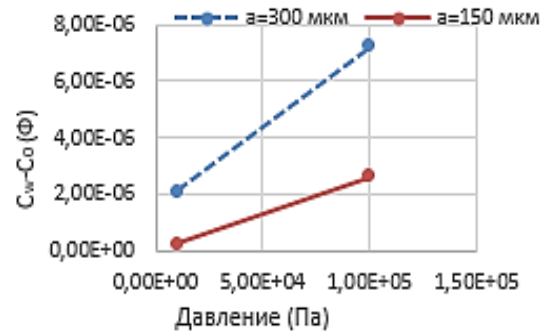


Рисунок 3 – Изменение емкости по отношению к изменению давления для конструкций, где $b = 100$ мкм

Литература

- Hussain, A. M. CMOS- Technology-Enabled Flexible and Stretchable Electronics for Internet of Everything Applications / A. M. Hussain, M. M. Hussain // Adv. Mater. – 2016. – Vol. 28, № 22. – P. 4219–4249.
- Solid state MEMS devices on flexible and semi-transparent silicon (100) platform / S. M. Ahmed [et al.] // IEEE 27th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), San Francisco, CA, 2014. – P. 548–551.
- Hussain, A. M. Deterministic Integration of Out-of-Plane Sensor Arrays for Flexible Electronic Applications / A. M. Hussain, M. M. Hussain // Small. – 2016. – Vol. 12, № 37. – P. 5141–5145.
- A micro-capacitive pressure sensor design and modelling / A. E. Kubba [et al.] // J. Sen. Syns. Syst. – 2016. – Vol. 5. – P. 95–112.
- Mishra, R. B. Analytical modelling and FEM Simulation of Capacitive Pressure Sensor for Intraocular Pressure Sensing / R. B. Mishra, S. S. Kumar, R. Mukhiya // ICCRME, IOP Conf. Series: Material Sci. and Eng. – 2018. – Vol. 404. – P. 012026.
- Zhang Y. A high-sensitive ultrathin MEMS capacitive pressure sensor / Y. Zhang, R. Howver, B. Gogoi, N. Yazdi // 16th International SolidState Sensors, Actuators and Microsystems Conference, Beijing, 2011. – P. 112–115.