

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

***Амеличев Владимир Викторович***

канд. техн. наук, начальник отдела

***Генералов Сергей Сергеевич***

начальник лаборатории

***Никифоров Сергей Валерьевич***

младший научный сотрудник

НПК «Технологический центр»

г. Москва, г. Зеленоград

### СОЗДАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕМБРАН С НИЗКИМ УРОВНЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

*Аннотация:* в статье представлены результаты расчета механических напряжений в мембранах на основе комбинации пленок  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Рассчитано оптимальное соотношение толщин данных пленок для минимизации механических напряжений. Показано, что превышение данного значения ведет к преобладанию растягивающих напряжений, что приводит к большему «буклетированию». Показано, что гофрирование мембран позволяет увеличить механическую чувствительность за счет локализации в них механических напряжений.

*Ключевые слова:* МЭМС, микросистемная технология, диэлектрические мембраны, механические напряжения, буклетирование.

Чувствительным элементом микрофона является мембрана, регистрирующая колебания акустического диапазона. Такая мембрана может быть изготовлена из различных материалов: полупроводников, металла, органических и неорганических материалов. Однако, в настоящее время наиболее технологичными, с точки зрения микроэлектронных технологий являются диэлектрические мембраны. Для достижения высокой чувствительности акустического преобразователя, мембрана должна быть тонкой и эластичной. Кроме того, для обеспе-

чения принципа преобразования механических колебаний мембраны в электрический сигнал, на мембране размещен отражающий элемент. Луч света, определённой длины волны отражается от поверхности данного элемента, затем интерферирует с другим лучом, отраженным от границы раздела оптоволоконно-воздух, и затем с помощью фотоприёмного элемента преобразуется в электрический сигнал. Примером устройства на основе оптического принципа преобразования является одномодовый интерферометр Майкельсона, отслеживающий положение отражающей мембраны (диафрагмы) до  $10^{-10}$  м [1].

Чувствительность мембраны зависит от уровня механических напряжений в ее структуре [2]. Для повышения значения чувствительности необходимо добиваться такого состава в структуре мембраны, при котором внутренние механические напряжения будут минимальны. Этого можно добиться путем комбинации диэлектрических пленок оксида и нитрид кремния, имеющих противоположные по знаку напряжения. Известно, что слои  $\text{SiO}_2$ , полученные термическим окислением, обладают разжимающими напряжениями. Поэтому при высвобождении слоя  $\text{SiO}_2$  от кремниевой подложки наблюдается деформация мембраны в виде локальных вздутий – «буклетирование» [3]. Процесс осаждения пленки  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , в зависимости от типа установки, характеризуется сжимающими и растягивающими напряжениями.

В НПК «Технологический центр» разработаны конструктивно-технологические методы создания миниатюрных преобразователей акустического давления на основе мембран с низким остаточным уровнем механических напряжений.

Разработанный преобразователь конструктивно представляет собой кремниевый кристалл ( $4 \times 4$  мм), содержащий тонкую (менее 1 мкм) сложнопрофилированную мембрану с комбинацией диэлектрических слоев  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Механическая чувствительность экспериментальных образцов находится в диапазоне от 12 до 242 нм/Па. Резонансные частоты АЧХ могут достигать 14,0 кГц. Характеристики полученных образцов стабильны от образца к образцу и имеют разброс не более 5%, что говорит о воспроизводимости технологии изготовления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания по проекту №3575 на 2015 год. Исследование параметров разработанных преобразователей акустического давления осуществлялось с помощью измерительных приборов ЦКП «Функциональный контроль и диагностика микро- и наносистемной техники» на базе НПК «Технологический центр».

### ***Список литературы***

1. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – С. 400–401.
2. Neumann Y.Y, Yr. and K.Y. Gabriel. CMOS-MEMS membrane for audio-frequency acoustic actuation // Sensor and Actuators A: Physical. – Vol. 95. – Issue 2–3. – January 2002.
3. Амеличев В.В., Ильков А.В. Конструктивно-технологический базис создания электроакустических преобразователей / В.В. Амеличев, А.В. Ильков. – М.: Техносфера, 2012.