

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.793.3+620.197.119

Куцанов
Александр Владимирович

Сенсорные элементы микроэлектромеханических систем на основе анодного
оксида алюминия

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы
(в электронике)»

Научный руководитель
Короткевич Александр Васильевич
кандидат технических наук
доцент кафедры микро- и
наноэлектроники

Минск 2017

ВВЕДЕНИЕ

Микросистемная техника стала одним из наиболее динамично и интенсивно развивающихся направлений мировой индустрии за период, с начала XXI века и до настоящего времени. Результат стремительного развития в основном основан на разработке и производстве различных миниатюрных датчиков инерциальной и внешней информации, микродвигателей и преобразователей. Использование новых технологий МЭМС позволило значительно уменьшить массово-геометрические характеристики, энергопотребление и стоимость датчиков, что позволило расширить сферу применения микросистемной техники.

Проблема разработки и производства новых МЭМС устройств является, безусловно, актуальной для прецизионного микроэлектронного приборостроения и может быть решена с помощью применения новых технологий, технических решений и методик проектирования на основе новых математических моделей функционирования и программных продуктов. Достижение высоких точностей МЭМС изделий ставит перед разработчиками комплекс новых актуальных задач: учет физических свойств новых конструкционных материалов, влияние инструментальных погрешностей изготовления чувствительных элементов и условий функционирования на погрешности измерений датчиков, развитие и улучшение отечественной технологии МЭМС, сокращение сроков проектирования и изготовления прототипов новых МЭМС, комплексная проверка проектов до начала фактического производства при помощи современных электронных средств.

Много статей о перспективах и возможностях развития рынка МЭМС было опубликовано в мировой прессе. В первую очередь рассматривают небольшие устройства, объединенные с полупроводниковыми приборами и одновременно сочетающие характеристики электронных схем и механических компонентов. Благодаря уникальному сочетанию малых габаритов и энергопотребления, универсальности применения и относительно небольшой цене - МЭМС сегодня стремительно завоевывают все новые и новые сферы применения.

МЭМС масштабно используются в различных областях. Важным признаком МЭМС является наличие движущихся частей, предназначенных для активного взаимодействия с окружающей средой. От стандартных механических систем их отличает размер, вследствие чего, материалы применяемые для их изготовления ведут себя иначе, чем объем. Перспективным материалом для микроэлектромеханических систем является анодный оксид алюминия. На его основе могут быть изготовлены

чувствительные элементы различных датчиков: ускорения, давления, магнитного поля и другие.

Существует необходимость изучения и разработки нового поколения чувствительных элементов МЭМС. В результате работы будут рассмотрены методы формирования чувствительных элементов на основе АОА, исследовано влияние режимов анодирования на механические свойства анодных оксидных пленок алюминия.

Библиотека БГУИР

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Проблема разработки и производства новых микроэлектромеханических систем устройств является актуальной для микроэлектронного приборостроения. Важным и перспективным материалом для микроэлектромеханических систем является анодный оксид алюминия. На его основе могут быть изготовлены сенсорные элементы различных датчиков.

Цель и задачи исследования

Разработка мембранных МЭМС датчиков на основе анодного оксида алюминия.

Исследование модуля Юнги; исследование встроенных механических напряжений в слоях $Al - Al_2O_3$; разработка конструкции и технологии изготовления мембранного датчика; исследование чувствительности датчика к механическим воздействиям.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является сенсорные элементы на основе анодного оксида алюминия. Предметом исследования являются влияние режимов анодирования на механические свойства анодных пленок алюминия, методы изготовления сенсорных элементов микроэлектромеханических систем.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Установлено, что модуль Юнги мембран из анодных оксидных пленок алюминия составляет 22-31 ГПа.

2. Разработана методика формирования мембранных элементов на основе анодных оксидных пленок алюминия, согласно которой для уменьшения внутренних механических напряжений после толстослойного анодирования проводят дополнительное анодирование в растворах эматалирования.

3. Разработана конструкция и технология изготовления мембранного датчика, в котором в качестве упругого элемента используется анодный оксид алюминия.

Личный вклад соискателя

Основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Аналитические исследования материалов конструкции сенсорных элементов и техническое изготовление микроэлектромеханических систем проводились соискателем лично. Разработка методики получения мембран из АОО и акселерометра с чувствительным элементом на основе анодных оксидных пленок проводилась совместно с научным руководителем кандидатом технических наук Короткевичем А.В. Во время работы над диссертацией

соискателем были исследованы физико-математические свойства анодных оксидных пленок.

Апробация результатов диссертации. Подготовлена лабораторная работа по измерению Модуля Юнги для студентов обучающихся на кафедре микро- и наноэлектроники.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырёх глав, заключения и библиографического списка, включающего 33 наименований. Общий объем диссертации составляет 69 страниц.

Библиотека БГУИР

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы разработки и производства микроэлектромеханических систем, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **первой главе** рассмотрен современный анализ разработки в области чувствительных элементов МЭМС. Исследованы конструкции датчиков чувствительных элементов: датчики давления, акселерометры, гироскопы; их характеристики, материалы. Проанализированы материалы изготовления сенсорных элементов. Рассмотрено использование анодного оксида алюминия в качестве чувствительных элементов МЭМС. Подложки из АОА имеют высокие изоляционные и теплопроводящие характеристики при рабочих температурах. АОА используют для изготовления физических сенсоров, механических сенсоров и биосенсоров.

Во **второй главе** разработана методика анодирования алюминия для получения анодных оксидных пленок с требуемой нанопористой структурой. Для снижения механического напряжения нами было предположено после толстослойного анодирования проводить дополнительное анодирование в электролитах для блестящего анодирования, в частности, в электролитах на основе хромовой кислоты или растворах эматалирования.

Было выявлено, что механические напряжения зависят от первоначальных механических напряжений толстослойной АОП и дополнительное анодирование не может полностью снизить механические напряжения в подложке, а только компенсирует их часть.

Также была разработана методика удаления барьерного слоя. Для удаления БС используются различные технологические процессы, а толщина его пропорциональна используемому потенциалу анодирования.

В работе были применены методы химического травления мембран и метод на основе процесса катодной поляризации при -4В в электролите, в котором осуществлялся процесс анодирования.

Исследованы методики осаждения материалов в поры оксидных пленок.

Разработана методика утонения и удаления БС, представляющая собой методику комбинированного сочетания метода плавного медленного понижения напряжения до 5 В на заключительной фазе двухстадийного электрохимического анодирования для утонения барьерного слоя Al_2O_3 между оксидной пленкой и несущим алюминием с появлением сетки пор меньшего диаметра в виде веточной морфологии в донной части полученной пористой структуры. Комбинированная методика позволяет удалить БС Al_2O_3 и получить

свободные мембраны на основе анодного пористого оксида алюминия со сквозными каналами модифицированных нанопор.

В **третьей главе** были исследованы физико-математические свойства анодных оксидных пленок. Рассмотрен модуль упругости анодных оксидных пленок. В качестве материала основания были выбраны подложки размером 60x48 мм из алюминия марки АОН толщиной 0,9 мм. Представлены зависимости Модуля Юнги от массы пластины и коэффициента жесткости от массы пластины.

Исследованы встроенные механические напряжения в двухслойных структурах Al – Al₂O₃. Была разработана специальная методика для исследования. Подложки прошли предварительную подготовку: резку на пластины с помощью гильотинных ножниц и термостатическую рихтовку, для придания плоскостности. При исследовании влияния термообработки на механические напряжения в алюминиевых анодированных подложках после анодирования проводили термообработку пластин.

После удаления оксидной пленки Al₂O₃ с одной из сторон пластины и получения двухслойной структуры Al-АОП Al₂O₃ наблюдали изгиб, причем у АОН, подложки с толщиной оксида до 50 мкм изгибались так, что поверхность анодной пленки оказывается вогнутой, то есть пленка сжимает подложку, а подложка растягивает пленку – это приняли за положительное направление стрелы прогиба.

В результате изучения влияния отжига на механические напряжения были получены результаты и сделаны выводы, что в подложках, не подвергнутых термической обработке, на слой алюминия действуют сжимающие механические напряжения, наличие которых, по-видимому, обусловлено значительным объемным ростом оксида в процессе анодирования.

В **четвертой главе** была разработана конструкция датчика ускорения. Была выбрана основа АОП Al₂O₃ для конструкции мембранного датчика. Готовая мембрана фиксируется на основании, которым выступает диэлектрическая или металлическая подложка, на которой методами фотолитографии сформирована нижняя (неподвижная) обкладка конденсатора.

Также разработана технология изготовления датчика ускорения. В результате было установлено, что характеристики разработанного мембранного емкостного датчика на основе пленки АОА могут изменяться, позволяя варьировать пределы измерений в широком диапазоне из-за простоты изменения и получения параметров оксидной пленки.

Исследована чувствительность мембранных чувствительных элементов датчика к механическим нагрузкам. Чувствительность рассчитывалась, как отношение прогиба мембраны к приложенной к ней нагрузке. В результате

было установлено, что чувствительность линейно возрастает при уменьшении толщины оксида.

В **заключении** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, приведены основные установленные зависимости и полученные выводы, подведен итог проведенной работы.

Библиотека БГУИР

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы показано, что мембраны анодного оксида алюминия являются перспективным материалом для создания высокотехнологичных устройств (в частности, газоразделительных мембран и планарных газовых сенсоров различных типов), работающих при повышенных температурах. Пористая структура анодного оксида алюминия не претерпевает значительных изменений и остается стабильной в широком интервале температур вплоть до 1000°C.

В результате отжига мембран АОА при температуре 800°C происходит формирование высокоразвитой поверхности, что перспективно как с точки зрения интенсификации процессов разделения при проведении различных баромембранных процессов, так и в случае применения пористой пленки в качестве носителя для катализатора.

В работе был измерен модуль Юнга мембран из анодного оксида алюминия методом изгиба консоли. Результат измерения составил 22 – 31,2 ГПа.

В результате измерения чувствительности мембранных элементов было установлено, что характеристики разработанного мембранного емкостного датчика на основе пленки АОА могут изменяться, позволяя варьировать пределы измерений в широком диапазоне из-за простоты изменения и получения параметров оксидной пленки.

Были приведены результаты параметров на чувствительность мембранных элементов из анодного оксида алюминия к механическим нагрузкам. Конструктивно образцы представляют собой инерционную массу круглой формы, подвешенную на консолях из Al_2O_3 . Измерена чувствительности к механическим нагрузкам измеряли величину прогиба мембран. Чувствительность линейно возрастает при уменьшении толщины оксида.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Биран С. А. Температурная зависимость электрического сопротивления тонких плёнок алюминия / С. А. Биран, Д. А. Короткевич, А. В. Короткевич, А.В. Куцанов, Л.В. Сологуб // Интеграция образования, науки и производства как методологическое основание подготовки современного специалиста. – Минск, 2015

2. Биран С. А. Низкотемпературные свойства МДМ-структур на основе анодированного алюминия / С. А. Биран, Д. А. Короткевич, А. В. Короткевич, А.В. Куцанов, В.А. Плешкин // Интеграция образования, науки и производства как методологическое основание подготовки современного специалиста. – Минск, 2015

Библиотека БГУИР