

УДК 539.232

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ МЭМС НА ОСНОВЕ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

С.А. БИРАН, Д.А. КОРОТКЕВИЧ, А.В. КОРОТКЕВИЧ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 22 ноября 2016

В микроэлектромеханических системах (МЭМС) в настоящее время перспективным является использование наноструктурированных материалов. Одним из таких материалов является анодный оксид алюминия, который своими электрическими и механическими свойствами не уступает другим материалам, которые в настоящее время используются при производстве МЭМС-устройств. В данной статье приведены результаты по разработке методики и проведению измерения модуля Юнга свободных оксидных пленок алюминия.

*Ключевые слова:* анодный оксид алюминия, наноструктурированные материалы, модуль Юнга.

### Введение

В настоящее время в медицинской электронике широко применяются микроэлектромеханические системы. МЭМС сочетают в себе как электрические так и механические компоненты. Данные конструкции используются в биомедицинской промышленности и представляют собой микродатчики, в частности, микромеханические сенсоры давления, вибрации и высокоточные химические сенсоры. Их эксплуатационные характеристики будут определяться механическими свойствами материала, на основе которого они сформированы. Перспективным материалом, на основе которого можно изготовить МЭМС-устройства, является анодный оксид алюминия, который обладает хорошими электрическими и акустическими свойствами, высокой механической прочностью и длительным временем износа [1].

В работе [2] приведена конструкция емкостного датчика с активным элементом на основе анодного оксида алюминия. Датчик содержит мембрану из анодного оксида алюминия, на которой сформирована верхняя (подвижная) обкладка конденсатора. Мембрана изготовлена в рамке из алюминия, который обеспечивает ее жесткость и механическую прочность. Изготовленная мембрана фиксируется на основании, в качестве которого может быть использована диэлектрическая или металлическая подложка, на которой методами фотолитографии сформирована нижняя обкладка конденсатора. На основании, как правило, формируется и схема измерения. На основе данной конструкции можно создавать датчики ускорения, давления, магнитного поля. Их чувствительность определяется конструкцией активного элемента и механическими свойствами анодного оксида алюминия (АОА), на основе которого они были сформированы [3].

### Методика эксперимента

В данной работе измеряли модуль Юнга свободных пленок анодного оксида алюминия. Методика исследования включала в себя измерение величины прогиба образцов в зависимости от приложенной механической нагрузки. Деформация изгиба возникает тогда, когда к пленке, свободно лежащей на опорах, приложена сила, перпендикулярная к ее оси. Данная деформация характеризуется стрелой прогиба  $\lambda$ . При таком изгибе верхние слои пленки будут сжиматься, нижние – растягиваться, а некоторый средний слой, который называют нейтральным слоем,

сохранит длину и только претерпит искривление. Стрела прогиба тем больше, чем больше нагрузка, и, кроме того, она должна зависеть от формы и размеров пленки и от ее модуля упругости (модуля Юнга).

Образцы для исследования модуля Юнга конструктивно представляли собой свободные пленки анодного оксида алюминия прямоугольной формы, полученные путем анодирования в растворе на основе щавелевой кислоты. Длина образцов была постоянной 5 мм, а ширина варьировалась от 1 до 4 мм с шагом 1 мм. При выполнении измерения образцы размещали на специальном столике, после чего к их середине прикладывали механическую нагрузку. Вес нагрузки варьировался от 0,01 до 0,05 г с шагом 0,01 г. Стрела прогиба фиксировалась при помощи микроинтерферометра. Исходя из полученных значений величины прогиба, модуль Юнга рассчитывали по формуле [4]:

$$E = fl^3 / 48\lambda I, \tag{1}$$

где  $E$  – модуль Юнга,  $f$  – сила, приложенная к образцу,  $l$  – длина образца,  $\lambda$  – величина прогиба,  $I$  – момент инерции сечения.

Момент инерции прямоугольного сечения рассчитывали по формуле

$$I = bh^3 / 12, \tag{2}$$

где  $b$  – ширина пленки,  $h$  – толщина пленки.

### Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены результаты по измерению стрелы прогиба пленок в зависимости от их толщины при приложенной механической нагрузке.

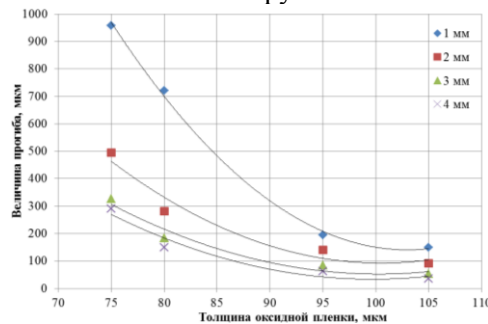


Рис. 1. График зависимости прогиба от толщины образца

В результате выполнения измерения модуля Юнга свободных пленок анодного оксида алюминия, полученных путем анодирования в растворе на основе щавелевой кислоты, было установлено, что он находится в пределах от 26 до 30 ГПа. На рис. 2 приведены графики зависимости прогиба от приложенной механической нагрузки в зависимости от расположения барьерного слоя в пленке.

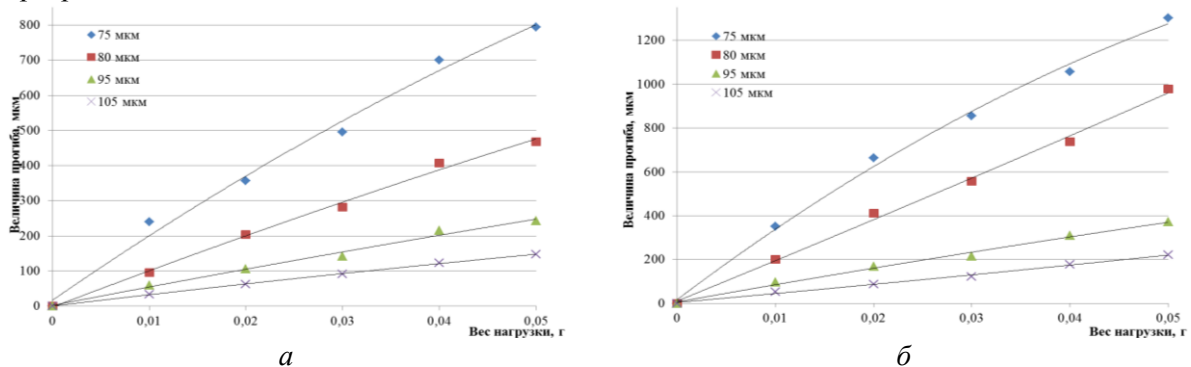


Рис. 2. Графики зависимости величины прогиба от приложенной механической нагрузки при расположении барьерного слоя снизу (а) и сверху (б) пленки

При расположении барьерного слоя сверху величина прогиба увеличивается в среднем на 30 %, чем в случае при расположении барьерного слоя снизу.

### Заклучение

Разработана методика и проведены измерения модуля Юнга свободных анодных оксидных пленок алюминия. На основе разработанной методики были проведены исследования влияния барьерного слоя в структуре анодного оксида алюминия на величину прогиба при приложенной механической нагрузке. Это влияние необходимо учитывать при разработке и формировании активных элементов МЭМС на основе анодного оксида алюминия.

## RESEARCH ON MECHANICAL PROPERTIES OF MEMS COMPONENTS BASED ON ANODIC ALUMINA

S.A. BIRAN, D.A. KOROTKEVICH, A.V. KOROTKEVICH

### Abstract

Today, using of nanostructured materials in microelectromechanical systems (MEMS) is very perspective. One of such materials is anodic aluminum oxide that has electrical and mechanical properties not worse than other materials that are currently used in manufacturing of MEMS devices. This article presents the results of research in methodology and measurement of Young's modulus of free aluminum oxide films.

*Keywords:* anodic aluminum oxide, nanostructured materials, Young's modulus.

### Список литературы

1. Мухуров Н.И. Аллюмооксидные микро-наноструктуры для микроэлектромеханических систем. Минск, 2004.
2. Сокол В.А., Короткевич А.В., Позудо Е.Л. и др. // Изв. Белорусской академии. 2003. № 1(15)/4. С. 42.
3. Биран С.А., Короткевич Д.А., Короткевич А.В. // Матер. 25-ой Междунар. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 2015. С. 741–742.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Механика. М., 1979.

УДК 616.7

## ДИАГНОСТИКА ПОРАЖЕНИЙ ВЕРХНЕШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА И СПИННОГО МОЗГА ПРИ РЕВМАТОИДНОМ АРТРИТЕ.

А.В. БЕЛЕЦКИЙ, С.В. МАКАРЕВИЧ, П.А. БОБРИК, И.А. ИЛЬЯСЕВИЧ, К.А. КРИВОРОТ

*Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии  
Кижеватова, 60, к. 4, 220024, Минск, Беларусь*

*Поступила в редакцию 22 ноября 2016*

Описывается опыт диагностики поражения верхнешейного отдела позвоночника и спинного мозга у 21 пациента с ревматоидным артритом, оперированных с 2005 по 2015 гг. в РНПЦ травматологии и ортопедии.

*Ключевые слова:* ревматоидный артрит, верхнешейный отдел позвоночника, спинной мозг, компьютерная программа.