

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МЕТОДИ ЗА ИЗПИТВАНЕ НА АНОДЕН $Al_2O_3$ НА ОГЪВАНЕ

Валентин Видеков, Ана Банкова, Боряна Цанева, Игорь Врублевски,  
Катерина Чернякова

**Резюме:** В настоящия доклад са представени резултати от изпитване на наноструктурирани мембрани, подложени на многократни огъвания. Показани са варианти за паралелно изпитване с цел сравнение на резултатите за различни мембрани. Изпитванията са с цел определяне граничните режими за работа на мембраните при използването им в МЕМС.

**Ключови думи:** наноструктурирани мембрани, механични изпитвания, аноден оксид на алуминий, огъване.

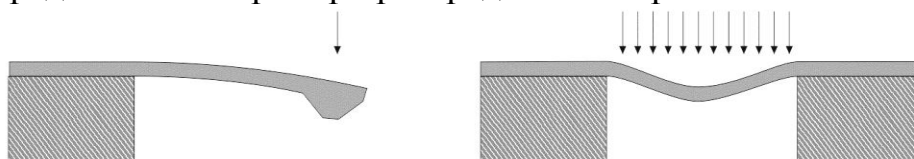
### 1. Въведение

Анодирането на алуминия намира широко приложение в техниката [1] и в частност електроникта и нанотехнологиите [2], [3]. Едно от приложенията му е при изготвяне на сензори [4] и елементи в микроелектромеханични системи [5]. При част от приложенията наноструктурирания оксид, формиран като мембрана, е подложен на механични въздействия включително и многократни огъвания. В литературата са известни изследвания върху механичните параметри на анодния оксид, но сравнително малко източници представят резултати от изпитания на оксида при многократни огъвания. В [6] и [7] са представени резултати от разработване на методи за изпитване на мембрани в режим на огъване и устойчивост на многократни огъвания.

В настоящия доклад са показани нови резултати за използване на модифицирани методи за изпитване.

### 2. Огъване на мембрани от аноден оксид на алуминия.

В [8] са разгледани основни варианти на мембрани и тяхната деформация при различни натоварвания. При разглеждането на еластичен елемент във вид на греда, захванат в единия край, се правят редица опростявания, включително и сравнително малък ъгъл на огъване. Възможни са обаче и огъвания при по-големи ъгли, както и при различни условия. На фиг. 1 са показани два случая на деформация, при които еластичният елемент се деформира в резултат на приложен съсредоточен товар и при разпределен товар.

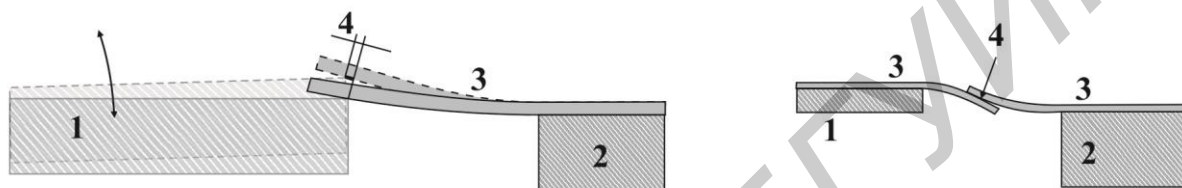


Фиг. 1 Еластична деформация при съсредоточен и разпределен товар

Първият е типичен за елементи използвани при сензори на ускорение, а вторият при сензори за налягане. Аналогични са и случаите при елементи на релета, термоманипулатори и други.

Механичните параметри на материалите преимуществено се определят на базата на експериментални изследвания. Различни експериментални постановки са описани в [9], включително експериментално определяне границата на умора за стомана.

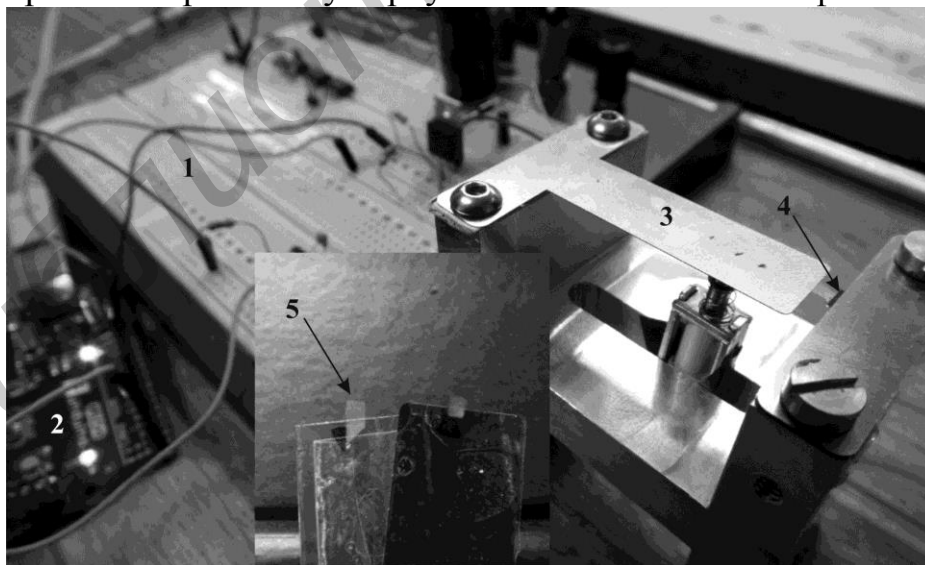
Възможни са и случаи, при които огъването е съпроводено с триене между еластичен и неподвижен елемент, а също и между два еластични елемента. Такъв вариант е показан на фиг. 2.



**Фиг. 2** Огъване съпроводено с триене: 1 – вибрираща пластина, 2 – държател, 3 – еластичен елемент от оксид, 4 – зона на триене.

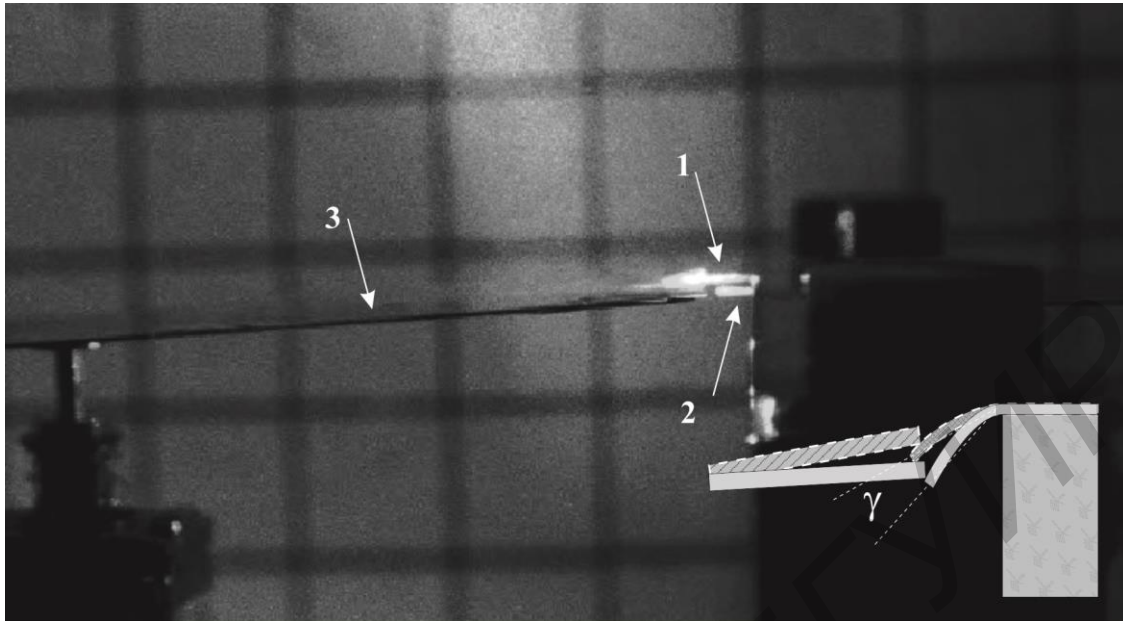
### 3. Експериментална постановка

За провеждане на дълговременно изпитване при огъване за разгледаните по-горе случаи е използвана разработена ситема [7] за механични огъвания чрез еластичен елемент и електромагнит. Системата е доразвита с възможността за поставяне на изпитвания елемент, както в неподвижно състояние, така и в подвижно, чрез монтирането му върху еластичния елемент – фиг. 3.



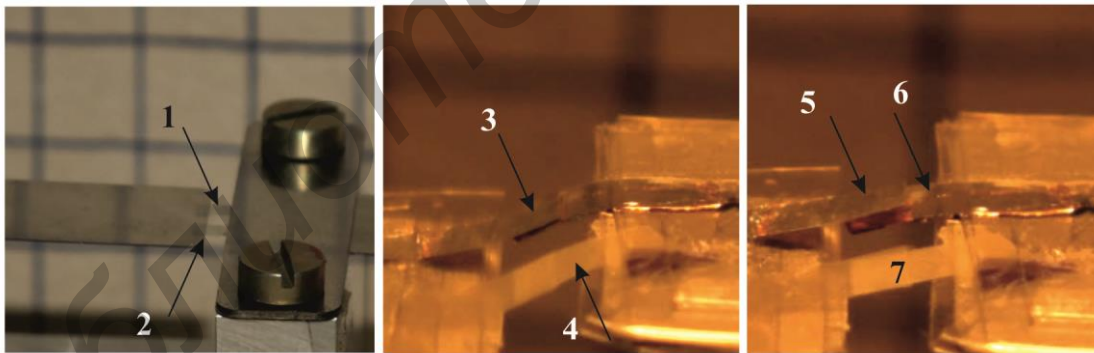
**Фиг. 3.** Варианти за изпитване на еластичния елемент: 1 – силов блок, 2 – микропроцесор, 3 – вибриращ еластичен елемент, 4 – неподвижна мембрана, 5 – мембрана върху вибриращ еластичен елемент

На фигура 4 е показана схема за изпитване при натоварване на огъване в напрегнато състояние и при взаимно триене между два елемента.



**Фиг. 4.** Изпитване при взаимно огъване на два елемента ( 1 и 2), единият захванат за вибриращата еластична пластина 3. Огъване на ъгъл  $\gamma$  в огънато положение.

Интерес представлява и сравнителното изпитване на устойчивост между различни еластични образци, например изготвени при различни технологични режими или от различни материали. В този случай се захващат паралелно два образеца. На фиг. 5 са показани и варианти за паралелно изпитване на оксидни мембрани и изпитване на метален образец, заедно с аноден оксид на алуминий.



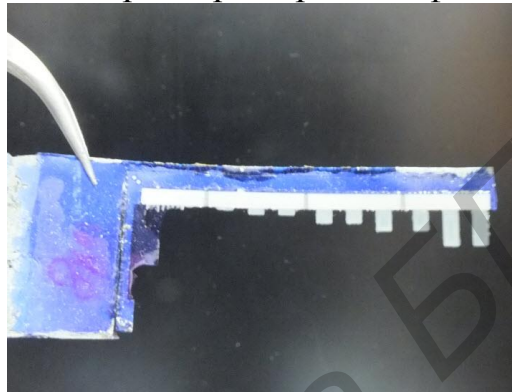
**Фиг. 5.** Паралелно изпитване на оксид и метал: 1 и 2 два елемента от оксид, 3 – горен елемент метал, 4 – елементи оксид, 5 – елемент горен метал (Cu 20  $\mu\text{m}$ ), 6 – долен метален елемент, 7 – два елемента оксид (взаимно огъване).

Изпитването се извършва чрез огъване на еластичните образци осъществено от стоманена пластина, вибрираща под действието на система електромагнит-котва. Съществуват два основни варианта на въздействие. Първият е когато пластината е повдигната от пружинния елемент на котвата и предварително огъва тествания образец от аноден оксид. След подаване на напрежение електромагнита придърпва котвата и освобождава пластината, която се връща в изходно положение, като тествания елемент се изправя под действие на собствената еластичност. При вторият вариант, пластината отново е напрегната, но крайт и застъпва тествания елемент от горната страна, когато

той е в хоризонтално (ненапрегнато) положение. При подаване на ток през електромагнитна котвата се прибира, под действие на предварителното механично напрежение пластината се огъва надолу и от своя страна огъва тествания образец. Честотата на комутиране на електромагнитна е 10 Hz.

#### **4. Резултати от експеримента**

За провеждане на изпитанията са изготвени образци на еластични образци по разгледаната в [7] технологична схема, като при едни и същи технологични условия се изготвят няколко типоразмера образци – фиг. 6



**Фиг. 6** Заготовка с различни размери еластични образци

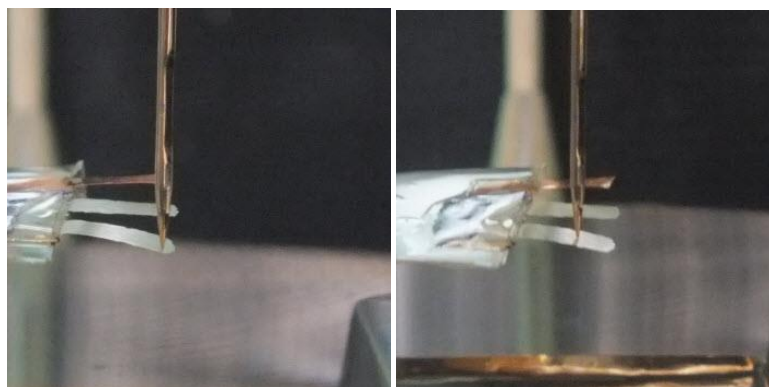
Преди изпитването на дълговременна устойчивост, елементите се монтират на държател –фиг. 7 и се измерва усиλιето необходимо за огъване на образца.



**Фиг. 7** Заготовка с различни ( 1 от Cu и 2 от Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) еластични образци

Усиλιето е определено чрез натиск в различни точки на образците (фиг. 8) и усредняване на резултатите при спускане и издигане на иглата.





Фиг. 8 Тестване на еластични образци в различни точки – различна дължина на рамото при огъване.

На фиг.9 са показани усреднени резултати от определяне на усилията за огъване на образец от оксид с дебелина 8  $\mu\text{m}$ , ширина 2 mm и точка на огъване 3,13 mm.



Фиг. 9 Огъване на образец 4x2mm с точка на въздействие 3,13 mm и стъпка на спускане на иглата през 100  $\mu\text{m}$ .

Резултатите от многократните огъвания са представени в табл.1.

Таблица 1.

Схема на изпитване	Дебелина на образца в $\mu\text{m}$	Брой цикли	Честота в Hz	Ъгъл на огъване в deg.	забележка
Фиг. 3	4	$2 \cdot 10^7$	10	24	Няма счупване*
Фиг.4 два образца	4	$2 \cdot 10^5$	10	22	Няма счупване
Фиг.4 напрегнато	4	$1,5 \cdot 10^5$	10	23	Прекратено
Фиг. 5 паралелно	8 и 4	$6 \cdot 10^5$	10	20	Няма счупване
Фиг. 5 Cu	20	$1,5 \cdot 10^5$	10	24	Деформиране и загуба еластичност
Фиг. 5 оксид, взаимно	8	$1,8 \cdot 10^7$	10	24	Няма счупване*



Резултатът, който се търсеше е поява на пукнатини или разпадане на образеца. При даден брой цикли, при отсъствие на счупване, експериментът се прекратяваше. За два от случаите обозначени със \* след 10 милиона огъвания се извърши контролно измерване на усилието на огъване. В рамките на точността на постановката не се констатира промяна, което се приема за липса на умора.

При един от случаите, поради аварийна ситуация, образецът бе счупен и експериментът прекратен.

### 5. Изводи

След провеждане на експериментите с предложената постановка и методи на изпитване е констатирано, че:

- Предложената методика и постановка позволява дълговременно изпитване на еластични образци на огъване;
- Възможни са различни натоварвания на огъване;
- Образци на наноструктуриран оксид на алуминия с дебелина 4 и 8  $\mu\text{m}$  издържат на многократни огъвания на 22 – 24 deg. (повече от 10 милиона);
- Еластичните елементи от аноден оксид могат да се използват при елементи от МЕМС, подложени на многократни натоварвания.

Необходимо е да бъдат проведени аналогични изпитания за образци изготвени с различни технологични режими, както и за образци с хоризонтални размери от порядък по-малки.

### Литература:

1. Grjotheim, K. and Welch, B. J.; *Aluminium Smelter Technology - a Pure and Applied Approach*(2nd. ed.); Aluminium-Verlag; 1988
2. Kunbae Noh, Preparations, Properties and Applications of Periodic Nano Arrays using Anodized Aluminum Oxide and Di-block Copolymer, dissertation, <https://escholarship.org/uc/item/93p8n773#page-2>
3. Gerrard Eddy Jai Poinern , Nurshahidah Ali and Derek Fawcett, Progress in Nano-Engineered Anodic Aluminum Oxide Membrane Development, *Materials* 2011, 4, 487-526; doi:10.3390/ma4030487
4. Wan-Yu LIN, Anodized aluminum oxide and its application for organic transistors and sensors, [https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/349968/1/thesis+\(1\).pdf](https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/349968/1/thesis+(1).pdf)
5. Н.И.Михуров, Г.И.Ефремов, Электро-механическите микроустройства, Минск, „Беларуская навука“, 2012. 257 стр. ISBN 978-985-08-1419-7
6. Видеков В., Банкова А., Цанева Б., Митов М., Механични изпитвания на мембрани от наноструктуриран оксид, Научни известия на съюз по машиностроене XXI бр. 3/140 юни 2013, ISSN-1310-3946, стр. 404 - 411



7. A. Bankova, V. Videkov and B. Tzaneva, Development of topologically structured membranes of aluminium oxide, 8<sup>th</sup> International Summer School on Vacuum, Electron and Ion Technologies, Journal of Physics: Conference Series 514 (2014) 012027, doi:10.1088/1742-6596/514/1/012027 p 6
8. Гридчин В.А, Драгунов В.П. Физика мимкросистем, Новосибирск, изд-во НГТУ, 2014, ISBN 5-7782-04446-9, 416 с.
9. [http://www.uacg.bg/filebank/att\\_6239.pdf](http://www.uacg.bg/filebank/att_6239.pdf)

#### EXPERIMENTAL TEST METHODS Anode Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> BENDING

**Valentin Videkov, Ana Bankova, Baryana Tcaneva, Igor Vrublevski,  
Katerina Chernyakova**

***Abstract:** The paper presents the results from repetitive mechanical bending tests of nanostructure membranes. Various options for parallel testing were examined, in order to compare the results for different membranes. The tests aim is to determine the threshold mechanical operation mode of the membranes which can be used in MEMS.*

#### **Данни за авторите:**

Валентин Христов Видеков, доц. д-р в катедра „Микроелектроника” при ФЕТТ, , Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 3101, e-mail: videkov@tu-sofia.bg

Ана Габриелова Банкова, докторант в катедра „Микроелектроника” при ФЕТТ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: a\_bankova@tu-sofia.bg

Боряна Цанева, доц. д-р в катедра “Химия”, ФЕТТ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 3663, e-mail: borianatz@tu-sofia.bg

Игорь А. Врублевский, доцент д-р инж., водещ н.с. НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6, e-mail: vrublevsky@bsuir.edu.by

Катерина В. Чернякова, д-р фмн., старши научен сотрудник НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6, e-mail: katerinach\_85@mail.ru