



# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАННОГО ЭЛЕМЕНТА С ТОНКОПЛЕНОЧНЫМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫМ СЛОЕМ В ПЕРЕМЕННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

## THE INVESTIGATION OF MEMBRANE ELEMENT WITH THIN-FILM NANOSTRUCTURED MAGNETOSTRICTIVE LAYER IN VARIABLE MAGNETIC FIELD

DOI: 10.22184/1993-8578.2018.11.7-8.482.486

В.В.Амеличев\*, С.С.Генералов\*, С.В.Никифоров\*, Д.В.Горелов\*, Д.М.Григорьев\*  
V.V.Amelichev\*, S.S.Generalov\*, S.V.Nikiforov\*, D.V.Gorelov\*, D.M.Grigoriev\*

Представлены результаты исследования сложнопрофилированного мембранного элемента с тонкопленочным наноструктурированным магнитострикционным слоем в переменном магнитном поле. Показаны перспективы создания микросистем преобразования магнитного поля в механическое перемещение тонкой мембраны.

The results of investigations of figurine-shaped membrane element with thin-film nanostructured magnetostrictive layer in variable magnetic field have been presented. The perspective of manufacturing microsystems for conversion of magnetic field into the mechanical displacement of a thin membrane.

Создание перспективных МЭМС, как правило, сопровождается рядом исследований по возможности совмещения технологических процессов в новой технологии, позволяющей открыть пути создания новых приборов и устройств микросистемной техники. Тонкие мембранные элементы широко используются в конструкциях преобразователей давления, как правило, с тензорезистивным эффектом. Эволюция данной технологии привела к возможности создания более тонких мембран и преобразователей акустического давления на их основе. Наиболее распространенными принципами действия для преобразования акустического давления с использованием тонких мембран являются изменение емкости, генерации ЭДС или заряда, модуляция электромагнитного сигнала или проводимости среды.

Технологии изготовления тонких мембран разрабатываются индивидуально, в соответствии с тем

или иным принципом работы преобразователя акустического давления. Как правило, при разработке новых приборов на основе тонких мембранных элементов, инженеры опираются на действующие технологии и технологические процессы. Прорабатывая вопросы совместимости и применимости тех или иных технологических процессов в новой технологии тонких мембранных элементов необходимо обращать внимание на уровень механических напряжений в их структуре [1]. Высокие значения механических сжимающих напряжений в структуре мембраны, как правило, не вызывают видимых деформаций, но являются причиной ее низкой податливости к внешнему воздействию. Разжимающие механические напряжения в структуре мембраны приводят к видимым деформациям (к "буклетированию"), что также является причиной ее низкой податливости к внешнему воздействию. С целью улучшения прочностных характеристик

\* Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Научно-производственный комплекс "Технологический центр" (НПК "Технологический центр"), 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом. 1. Строение 7, комната 7237, avv@tcen.ru, +7 (499) 720-87-79 / Federal State Budget Scientific Institution "Scientific and production complex "Technological center" (NPK "Tekhnologicheskiiy center"), 1 Shokin Square, build. 7, apt. 7237, Zelenograd, Moscow, 124498, Russia, avv@tcen.ru, +7 (499) 720-87-79.



и способности материала мембран сопротивляться образованию деформации, в их конструкцию вводят гофрированные участки. Гофры позволяют "разгрузить" центральную область мембраны от повышенных механических напряжений и, тем самым, повысить ее податливость не только к внешнему воздействию, но и к воздействию элемента, расположенного в ее центральной области.

В качестве элементов, способных оказывать механические воздействия на тонкую мембрану, необходимо рассматривать те, которые имеют зависимость линейных размеров от внешнего поля, поскольку электрический контакт, в данном случае, исключается из-за наличия гофрированного кольцевого участка мембраны. Элементы, сформированные на основе магнестрикционных тонкопленочных наноструктур, обладают свойством менять свои геометрические параметры под воздействием внешнего магнитного поля. Перечень магнестрикционных материалов достаточно широк, а технология формирования элементов на их основе, в некоторых случаях, требует постановки новых технологических процессов с использованием специализированного оборудования и проработки их совместимости с производственными технологиями интегральных схем и микросистем [2].

Из числа наиболее отработанных технологий магниторезистивных микросистем наиболее близкими к применению, для формирования элементов, обладающих магнестрикционным эффектом, являются технологические процессы напыления

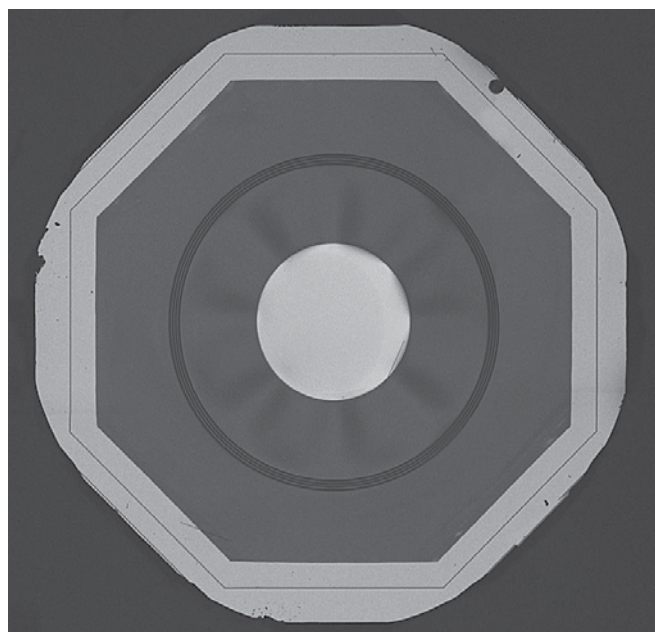


Рис.1. Фотоснимок кристалла с тонкой диэлектрической мембраной, содержащей в центральной области круглый тонкопленочный элемент на основе ТМРНС

Fig.1. Image of a crystal with a thin dielectric membrane with circular thin-film element based on TMRNS

тонкопленочных магниторезистивных наноструктур (ТМРНС). Одной из важных технологических операций в данной технологии является контроль магнитных параметров, сразу после напыления ТМРНС. Контрольно-измерительное оборудование,

**D**evelopment of perspective MEMS, as a rule, is connected with a number of investigations devoted to a possibility to combine technological processes in a new technology which allows of constructing new devices and units for microsystem equipment. Thin membrane elements are widely used in the design of pressure transducers, most often with a tensor-resistive effect. Evolution of this technology has led to a possibility of creating thinner membranes and acoustic pressure transducers based on them. The most common principles of operation for conversion of acoustic pressure using thin membranes are

the changes in capacitance, generation of EMF or charge, modulation of the electromagnetic signal or medium conductivity. The technologies of thin membrane manufacturing are developed individually according to one or another principle of acoustic pressure transducer operation. As a rule, engineers have been focused on existing technologies and technological processes during the new devices development based on thin membrane elements. It is imperative to take into account a level of mechanical stresses in thin membrane element structures when choosing technological processes and their compatibility

and applicability [1]. Usually, high levels of mechanical compressive stresses in a membrane structure do not cause visually observed deformations but induce its low compliance to an external influence. Besides, unclenching mechanical stresses in a membrane structure lead to visual deformations ("booklet-shaped deformations") and make a reason of low compliance to external influence. In order to improve the structural characteristics and ability of membrane's material to resist the forming of deformation the ridged sections are introduced into their design. The ridged sections are necessary to unload the central section

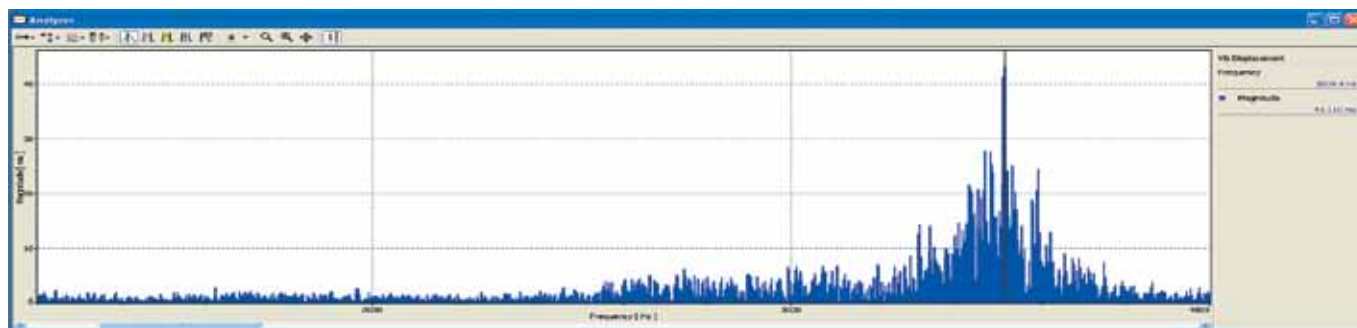


Рис.2. Вид АЧХ мембраны на экране монитора MSA-500 при акустическом воздействии переменной частоты  
 Fig.2. ARF of the membrane at MSA-500 display under the influence of variable frequency acoustic pressure

применяемое для выполнения данной операции, позволяет не только измерить все магнитные параметры, но и определить значение магнитострикции в составе пластин. Для ТМРНС, применяемых в технологии магниторезистивных микросистем, магнитострикционный эффект является нежелательным проявлением, и его значение стараются минимизировать путем выбора состава сплава напыляемого материала.

На первом этапе создания новой технологии, совмещающей процессы формирования тонких мембран и тонкопленочных элементов на основе ТМРНС, можно использовать существующие мишени из сплава на основе Fe, Ni и Co. Для экспериментальной технологической проработки был выбран сплав выше указанных металлов с 20%-ным содержанием Co. Данный сплав обладает магнитострикционным эффектом на уровне 3-4 ppm, и в дальнейшем

он может быть заменен более эффективным. На рис.1 приведен фотоснимок кристалла с тонкой диэлектрической мембраной, содержащей в центральной области круглый тонкопленочный элемент на основе ТМРНС. Из представленного изображения видно, что центральная область, внутри кольцевых гофр, имеет видимые деформации вокруг круглого элемента из ТМРНС. Это свидетельствует о повышенных механических напряжениях в данной области мембраны от сформированного элемента. С целью минимизации механических напряжений в центральной области мембраны необходима экспериментальная работа по оптимизации состава и толщины наноструктурированного магнитострикционного слоя в новой совмещенной технологии.

Исследование вертикального перемещения круглого элемента на основе ТМРНС производилось с использованием анализатора микросистем

of the membrane from additional mechanical stresses and, hence, increase its compliance not only to external influence but to impact of element placed in a central part of membrane. As elements capable of exerting mechanical effects on a thin membrane, it is necessary to consider those that have a dependence of linear dimension on the external field, since electrical contact, in this case, is excluded, due to the presence of a ridged ring section of the membrane. The elements formed using magnetostrictive thin film nanostructures have a property to change their geometrical dimensions in a magnetic

field. The list of magnetostrictive materials is so wide and the technology of forming elements on its base, in some cases, requires adding of new technological processes using special equipment and understanding of applicability for integrated circuit and chips manufacturing. [2]. One of the most well-proven technologies for manufacturing of elements with magnetostrictive effects are spray technological processes of thin-film magnetoresistive nanostructures (TMRNS). Control of magnetic parameters in this technology is the one of the most important technological operations

after spraying of TMRNS. Control equipment used for this operation allows to measure not only all magnetic parameters but to determine the magnetostrictive value in the plates composition. It is well known that magnetostrictive effect is a negative phenomenon for TMRNS used for magnetoresistive microsystems and its value is necessary to decrease by choosing of alloy composition to be sprayed. It is possible to use existed targets made of allow based on Fe, Ni and Co applying the new technology that is combining the forming of thin membranes and thin-film TMRNS elements at the first

MSA-500 оптическим методом, основанным на эффекте Доплера. Вначале исследований была определена собственная частота мембраны при воздействии на нее акустического давления 0,2 Па, в диапазоне частот от 0 Гц до 5 кГц. На рис.2 представлен вид АЧХ мембраны на экране монитора MSA-500 при акустическом воздействии переменной частоты. Из данного рисунка видно, что собственная частота мембраны равна 3,5 кГц при амплитуде 43 нм.

Далее исследование влияния магнитострикционных свойств элемента ТМРНС на перемещение мембраны производилось только под воздействием переменного магнитного поля. Для этого анализатор MSA-500 был дооснащен специализированной оснасткой, позволяющей задавать переменные магнитные поля в центральной области мембраны с напряженностью до 54 Э и частотой до 10 кГц. Для контроля магнитного поля в области расположения мембраны использовался миллитесламетр ТП2-2У.

На рис.3 представлен фотоснимок анализатора MSA-500 со специализированной оснасткой задания переменного магнитного поля в области мембраны. Учитывая анизотропные свойства ТМРНС, мембрана в оснастке располагалась так, чтобы переменное магнитное поле было ортогонально оси легкой намагниченности. Исследования мембран, проведенные на частотах переменного магнитного поля 500, 1000 и 2000 Гц, показали, что максимальная амплитуда мембраны достигается при величине магнитного поля в диапазоне 0,9÷1,2 мТл (рис.4). Проведенные исследования подвижности



Рис.3. Фотоснимок анализатора MSA-500 со специализированной оснасткой для создания переменного магнитного поля

Fig.3. General view of MSA-500 analyzer with special attachment to control the variable magnetic field

stage. For experimental technological engineering, an alloy of the above-mentioned metals with a 20 % Co content was chosen. This alloy has a magnetostrictive effect nearby of 3-4 ppm and may be replaced by more effective one in a future. It was shown in a Fig.1 the photo of a crystal with thin dielectric membrane equipped with round thin-film element based on TMRNS in a central part. As we can see, the central area placed inside of the ring ridges has visible deformations around of circular TMRNS element. It means that mechanical stresses are increased in this membrane's area because of formed

element. Obviously, it is essential to perform an experimental work on optimization of composition and nanostructured magnetostrictive layer thickness in new merged technology in order to minimize mechanical stresses in a central part of the membrane.

The vertical displacement of circular element based on TMRNS using MSA-500 microchip analyzer by optical method based on Doppler effect have been investigated. Firstly, we determined the natural frequency of a membrane under the 0,2 Pa acoustic pressure influence in the region of 0 Hz up to 5 kHz. Fig.2 presents a MSA-500

display screenshot of the ARF of the membrane under the acoustic influence of variable frequency. It was shown that the membrane natural frequency equals 3.5 kHz at 43 nm amplitude.

All further investigations of an influence of TMRNS element magnetostrictive properties on the membrane's displacement were carried out under the variable magnetic field only. The MSA-500 analyzer was equipped with special attachment which is to provide variable magnetic fields in a central part of the membrane with intensity of 54 Oe and frequency of up to 10 kHz. To control the magnetic

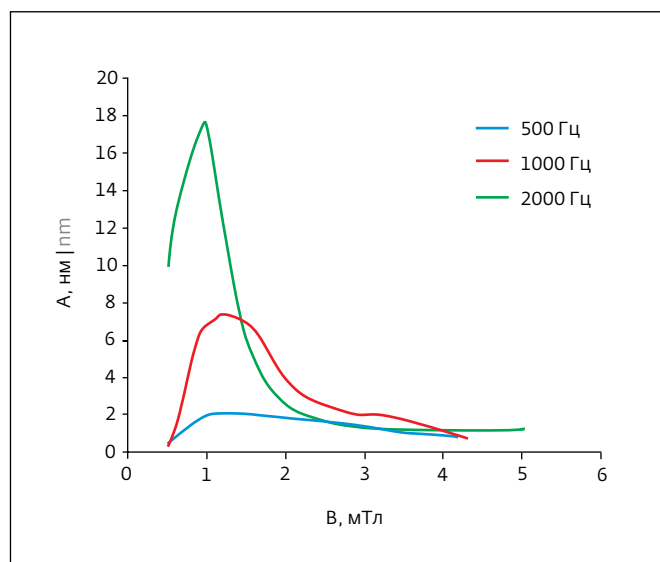


Рис.4. Изменение амплитуды колебания мембраны от переменного магнитного поля на частотах 500, 1000 и 2000 Гц

Fig.4. Changes in amplitude of the membrane in variable magnetic field at frequencies of 500, 1,000 and 2,000 Hz

мембраны под воздействием переменного поля величиной 1 мТл на частоте 3,5 кГц (собственная частота мембраны) показали, что амплитуда колебаний достигает 204 нм.

Таким образом, исследования показали, что на основе новой совмещенной технологии можно создавать микросистемы, где в качестве элемента микропривода может быть использована

field in the location of the membrane the milliteslameter TP2-2U was used. The general view of MSA-500 analyzer with special attachment to control the magnetic field in the membrane's area is presented in the Fig.3. Given the anisotropic properties of TMRNS, the membrane in the attachment was positioned so that the alternating magnetic field was orthogonal to the easy axis of magnetization. It was found that maximal amplitude of the membrane is observed at the values of magnetic field in a region of 0,9-1,2 mT (see Fig.4) at magnetic field frequencies of 500 Hz, 1,000 Hz and 2,000 Hz. Besides, it was shown

that an amplitude of the membrane reaches 204 nm under the influence of magnetic field of 1 mT at frequency of 3,5 kHz (natural frequency of the membrane).

Thus, the research has shown that on the basis of the new combined technology it can be possible to develop the microsystems, where thin-film magnetostrictive nanostructure formed on thin ridged membrane or other element with corresponding properties can be used as an element of a microdrive. In order to obtain the high effectiveness of magnetostrictive materials applications on the surfaces of elastic elements the additional

тонкопленочная магнитострикционная наноструктура, сформированная на тонкой сложнопрофилированной мембране или ином элементе с соответствующими характеристиками. Для достижения высокой эффективности применения магнитострикционных материалов на поверхности упругих элементов необходимы экспериментальные работы по подбору оптимального соотношения их толщин.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания по проекту № 8.8624.2017 на 2018 год. Исследование параметров разработанных мембран осуществлялось с помощью измерительных приборов ЦКП "Функциональный контроль и диагностика микро- и наносистемной техники" на базе НПК "Технологический центр" [3].

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Amelichev V.V., Generalov S.S., Nikiforov S.V., Solovyova G.P., Smekhova M.I., Platonov V.V. The Study Of Membranes With Low Level Of Mechanical Stress. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Vol.10, No 21 (2015), pp. 42767-42769.
2. Amelichev V., Belyakov P., Vasilyev D., Zhukov D., Kazakov Yu., Kasatkin S., Kostyuk D., Krikunov F., Kupriyanova M., Orlov E. Straintronic Elements of the Basis of Magnetostriction // International journal of environmental & science education, 2016, Vol. 11, No. 18, 10923-10940.
3. URL: <http://www.tcen.ru/rus/ckp/> (дата обращения 03.09.2018)

experimental researches focused on optimal balance of their thickness are strongly required.

The research was accomplished with financial support of The Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the frame of project No. 8.8624.2017 for 2018 year.

Investigation of the developed membrane parameters was carried out with the aid of the instrumentation of SRF "Functional control and diagnostics of micro and nanosystem technique" (Shared Core Facilities) on a base of SDC "Technological Center" (Scientific Technological Center) [3]. ■



# КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Двенадцатая международная специализированная выставка

## 23 - 25 апреля, 2019



Россия, Москва,  
ЦВК «Экспоцентр», павильон 1

### Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термопластики, углеродное волокно и т.д.
- Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик, углепластик, графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК) и т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Технологии производства композитных материалов со специальными и заданными свойствами
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Сертификация, технический регламент
- Компьютерное моделирование
- Утилизация

Специальный раздел:  
**КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ**



выставка  
участник  
системы



независимый  
выставочный  
аудит

Параллельно проводится выставка:



## ПОЛИУРЕТАНЭКС

Одиннадцатая международная специализированная выставка  
[www.polyurethanex.ru](http://www.polyurethanex.ru)



### Информационная поддержка:



### Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»  
115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд,  
дом 7, строение 10, офис 507 | Тел.: 8 495 988-1620  
E-mail: [info@composite-expo.ru](mailto:info@composite-expo.ru) | Сайт: [www.composite-expo.ru](http://www.composite-expo.ru)

### Организаторы:

YouTube [youtube.com/user/compoexporussia](https://www.youtube.com/user/compoexporussia) @compoexporus

