

# НАНО-И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

- Нанотехнологии
- Зондовая микроскопия
- Микромашины и наносистемы
- Молекулярная электроника
- Биоактивные нанотехнологии
- Элементы датчиков и биочипы
- Микроэлектромеханические системы
- Микрооптоэлектромеханические системы
- Биомикроэлектромеханические системы

**8** (181)  
**2015**





# НАНО- и МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

№ 8(181) ✧ 2015

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал выпускается при научно-методическом руководстве Отделения нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук

Журнал включен в перечень научных и научно-технических изданий ВАК России, в систему Российского индекса научного цитирования и реферировается в базе данных INSPEC

Издается с 1999 г.

## Главный редактор

Мальцев П. П., д.т.н, проф.

## Зам. гл. редактора

Лучинин В. В., д.т.н, проф.

Шур М., д.ф.-м.н., проф. (США)

## Редакционный совет:

Аристов В. В., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

Асеев А. Л., д.ф.-м.н., проф., акад. РАН

Гапонов С. В., д.ф.-м.н., проф., акад. РАН

Каляев И. А., д.т.н., проф., чл.-кор. РАН

Квардаков В. В., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

Климов Д. М., д.т.н., проф., акад. РАН

Ковальчук М. В., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

Нарайкин О. С., д.т.н., проф., чл.-кор. РАН

Никитов С. А., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

Рыжий В. И., д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. РАН

(Япония)

Сауров А. Н., д.т.н., проф., чл.-кор. РАН

Сигов А. С., д.ф.-м.н., проф., акад. РАН

Чаплыгин Ю. А., д.т.н., проф., чл.-кор. РАН

Шевченко В. Я., д.х.н., проф., акад. РАН

## Редакционная коллегия:

Абрамов И. И., д.ф.-м.н., проф. (Беларусь)

Агеев О. А., д.т.н., проф.

Андреев А., к.ф.-м.н., (Великобритания)

Андриевский Р. А., д.х.н., проф.

Антонов Б. И.

Астахов М. В., д.х.н., проф.

Быков В. А., д.т.н., проф.

Горнев Е. С., д.т.н., проф.

Градецкий В. Г., д.т.н., проф.

Кальнов В. А., к.т.н.

Карякин А. А., д.х.н., проф.

Колобов Ю. Р., д.т.н., проф.

Кузин А. Ю., д.т.н., проф.

Панич А. Е., д.т.н., проф.

Петросянц К. О., д.т.н., проф.

Петрунин В. Ф., д.ф.-м.н., проф.

Пожела К., д.ф.-м.н. (Литва)

Путилов А. В., д.т.н., проф.

Телец В. А., д.т.н., проф.

Тимошенко С. П., д.т.н., проф.

Тодуа П. А., д.т.н., проф.

Шубарев В. А., д.т.н., проф.

## Отв. секретарь

Лысенко А. В.

## Редакция:

Григорин-Рябова Е. В.

Чугунова А. В.

Учредитель:

Издательство "Новые технологии"

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАНОТЕХНОЛОГИИ И ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ

Булярский С. В., Басаев А. С., Павлов А. А. Термодинамика физической адсорбции молекул углеродными нанотрубками . . . . . 3

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МНСТ

Гончаренко Б. Г., Жуков А. А., Зорин С. М., Козлов В. В., Корпунин А. С., Салов В. Д. Моделирование конструкции и способ изготовления 3D MEMS-структур тепловых приемников инфракрасного излучения . . . 10

Гандилян С. В. Некоторые вопросы обобщенного физико-математического моделирования микро- и наноэлектромеханических систем (МЭМС и НЭМС) . . . . . 15

Михайлов Ю. А. Влияние геометрии мембраны на нелинейность выходной характеристики кремниевых тензопреобразователей давления . . . 32

### МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МНСТ

Спирин В. Г. Выбор материалов монтажной структуры микросборки . . . 41

### ЭЛЕМЕНТЫ МНСТ

Пронин И. А. Исследование потенциометрических газовых сенсоров на основе гомопереходов  $ZnO/ZnO - Me$ ,  $Me - Cu$ ,  $Fe$  . . . . . 46

Аннотации на русском и английском языках с 1999 г. по настоящее время находятся в свободном доступе на сайте журнала (<http://microsystems.ru>; <http://novtex.ru/nmst/>) и научной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru>). Электронные версии полнотекстовых статей расположены на сайте журнала: с 1999 по 2013 г. в разделе "АРХИВ".

#### ПОДПИСКА:

по каталогу Роспечати (индекс 79493);

по каталогу "Пресса России" (индекс 27849)

в редакции журнала (тел./факс: (499) 269-55-10)

#### Адрес для переписки:

107076 Москва,

Стромынский пер., д. 4

e-mail: [nmst@novtex.ru](mailto:nmst@novtex.ru)

# Journal of NANO- and MICROSYSTEM TECHNIQUE

**NANO- I MIKROSISTEMNAYA TEHNIKA**

ISSN 1813-8586

№ 8

(181)

2015

Maltsev P. P., Dr. Sci. (Tech.), Prof. — **CHIEF EDITOR**

Luchinin V. V., Dr. Sci. (Tech.), Prof.

**DEPUTY CHIEF EDITOR**

Shur M. S., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof. (USA) —

**DEPUTY CHIEF EDITOR**

**Editorial council:**

Aristov V. V., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS  
Aseev A. L., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Acad. RAS  
Chaplygin Ju. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Cor.-Mem. RAS  
Gaponov S. V., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS  
Kaljaev I. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Cor.-Mem. RAS  
Klimov D. M., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Acad. RAS  
Kovalchuk M. V., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS  
Kvardakov V. V., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS  
Narajkin O. S., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Cor.-Mem. RAS  
Nikitov S. A., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Cor.-Mem. RAS  
Ryzhii V. I. (Japan), Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,  
Cor.-Mem. RAS  
Saurov A. N., Dr. Sci. (Tech.), Prof., Cor.-Mem. RAS  
Shevchenko V. Ya., Dr. Sci. (Chem.), Prof., Acad. RAS  
Sivov A. S., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Acad. RAS

**Editorial board:**

Abramov I. I. (Belorussia), Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.  
Ageev O. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Andreev A. (UK), Cand. Sci. (Phys.-Math.), Prof.  
Andrievskii R. A., Dr. Sci. (Chem.), Prof.  
Antonov B. I.  
Astahov M. V., Dr. Sci. (Chem.), Prof.  
Bykov V. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Gornev E. S., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Gradetskiy V. G., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Kalnov V. A., Cand. Sci. (Tech.)  
Karjakin A. A., Dr. Sci. (Chem.), Prof.  
Kolobov Ju. R., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Kuzin A. U., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Panich A. E., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Petrosjants C. O., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Petrunin V. F., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.  
Pozhela K. (Lithuania), Dr. Sci. (Phys.-Math.)  
Putilov A. V., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Shubarev V. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Telets V. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Timoshenkov S. P., Dr. Sci. (Tech.), Prof.  
Todua P. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.

**Executive secretary:**

Lysenko A. V.

**Editorial staff:**

Chugunova A. V.  
Grigorin-Ryabova E. V.

**Our:**

Web: [www.microsystems.ru/eng](http://www.microsystems.ru/eng);  
e-mail: [nmst@novtex.ru](mailto:nmst@novtex.ru)

**To subscribe, please contact with:**

JSC "MK-Periodica":  
Tel: +7 (495) 672-7012  
Fax: +7 (495) 306-3757  
E-mail: [import@periodicals.ru](mailto:import@periodicals.ru)

The Journal is included in the list  
of the Higher Attestation Commission  
of the Russian Federation,  
in the Russian system of science citation index  
and INSPEC data base

Published since November 1999

## CONTENT

### NANOTECHNOLOGY AND SCANNING PROBE MICROSCOPY

**Bulyarsky S. V., Basayev A. S., Pavlov A. A.** Thermodynamics of the Physical Adsorption of Molecules by Carbon Nanotubes . . . . . 7

### MODELLING AND DESIGNING OF MNST

**Goncharenko B. G., Zhukov A. A., Zorin S. M., Kozlov V. V., Korpukhin A. S., Salov V. D.** Design Modeling and Manufacture of 3D MEMS Structures for Thermal Detectors . . . . . 13

**Gandilyan S. V.** Several Issues of Generalized Physical and Mathematical Modeling of Micro- and Nanoelectromechanical Systems (MEMS and NEMS) . . . . . 25

**Mikhailov Yu. A.** Effect of the Membrane Geometry on the Nonlinearity of the Output Characteristic of the Silicon Pressure Strain Transducers . . . . . 38

### SCIENCE OF MATERIALS AND TECHNOLOGICAL BASICS OF MNST

**Spirin V. G.** Selection of Materials for the Assembly Structure of Microassemblage . . . . . 44

### MICRO- AND NANOSYSTEM TECHNIQUE ELEMENTS

**Pronin I. A.** Research of the Potentiometric Gas Sensors Based on ZnO/ZnO — Me, Me — Cu, Fe Homojunctions . . . . . 58