



Известия высших учебных заведений.

## ЭЛЕКТРОНИКА

Том 28, № 3, 2023

май – июнь

Научно-технический журнал

Издается с 1996 г.

Выходит 6 раз в год

**Учредитель и издатель:** Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

**Главный редактор:** Чаплыгин Юрий Александрович – академик РАН, д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-7505-5175

### Редакционная коллегия:

**Гаврилов Сергей Александрович** – заместитель главного редактора, д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-2967-272X

**Бахтин Александр Александрович** – канд.т.н., доц., МИЭТ (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-1107-0878

**Беневоленский Сергей Борисович** – д.т.н., проф., ФГБНУ «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» (Москва, Россия), ORCID: 0000-0003-3177-9136

**Беспалов Владимир Александрович** – чл.-корр. РАН, д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия)

**Боргардт Николай Иванович** – д.физ.-мат.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия), ORCID: 0000-0001-8015-7603

**Гаврилов Сергей Витальевич** – д.т.н., проф., Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН (Москва, Россия), ORCID: 0000-0003-0566-4482

**Гагарина Лариса Геннадьевна** – д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия), ORCID: 0000-0001-7591-9175

**Гапоненко Сергей Васильевич** – акад. НАН Беларуси, д.физ.-мат.н., проф., Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (Минск, Беларусь), ORCID: 0000-0003-3774-5471

**Горбачев Александр Алексеевич** – акад. РАН, д.физ.-мат.н., проф., Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-1950-356X

**Душкин Александр Викторович** – д.т.н., доц., МИЭТ (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-8078-8971

**Конюгов Борис Георгиевич** – д.т.н., проф., Южный федеральный университет (Таганрог, Россия), ORCID: 0000-0003-3105-029X

**Коркишко Юрий Николаевич** – д.физ.-мат.н., проф., НПК «Оптолинк» (Москва, Россия)

**Королёв Михаил Александрович** – д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия), ORCID: 0000-0003-3043-1293

**Красников Геннадий Яковлевич** – акад. РАН, д.т.н., проф., АО «НИИМЭ» (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-2441-7455

**Лабунцов Владимир Архипович** – акад. НАН Беларуси, иностранный член РАН, д.т.н., проф., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (Минск, Беларусь), ORCID: 0000-0002-3494-4881

**Меликян Вазген Шаваршович** – чл.-корр. НАН Армении, д.т.н., проф., ЗАО «Синописис Армения» (Ереван, Армения), ORCID: 0000-0002-1667-6860

**Неволин Владимир Кириллович** – д.физ.-мат.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия), ORCID: 0000-0003-4348-0377

**Неволин Владимир Николаевич** – д.физ.-мат.н., проф., Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Москва, Россия)

**Переверзев Алексей Леонидович** – д.т.н., доц., МИЭТ (Москва, Россия),  
ORCID: 0000-0002-5834-5138

**Петросяни Константин Орестович** – д.т.н., проф., Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Москва, Россия), ORCID: 0000-0001-7969-4786

**Сазонов Андрей Юрьевич** – PhD, проф., Университет Ватерлоо (Канада),  
ORCID: 0000-0003-0974-1262

**Сауров Александр Николаевич** – акад. РАН, д.т.н., проф., Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН (Москва, Россия), ORCID: 0000-0001-7368-5977

**Светухин Вячеслав Викторович** – чл.-корр. РАН, д.физ.-мат.н., проф.,  
НПК «Технологический центр» (Москва, Россия), ORCID: 0000-0003-0831-9254

**Селищев Сергей Васильевич** – д.физ.-мат.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия),  
ORCID: 0000-0002-5589-7068

**Сигов Александр Сергеевич** – акад. РАН, д.физ.-мат.н., проф., МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия), ORCID: 0000-0003-2017-9186

**Сидоренко Анатолий Сергеевич** – акад. АН Молдовы, д.физ.-мат.н., проф.,  
Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева (Орёл, Россия),  
ORCID: 0000-0001-7433-4140

**Телец Виталий Арсеньевич** – д.т.н., проф., Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Москва, Россия), ORCID: 0000-0003-4944-676X

**Тимошенко Сергей Петрович** – д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия),  
ORCID: 0000-0001-5411-1804

**Хорев Анатолий Анатольевич** – д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия),  
ORCID: 0000-0001-9074-385X

**Юриш Сергей Юрьевич** – канд.т.н., IFSA Publishing, S.L. (Барселона, Испания),  
ORCID: 0000-0002-1433-260X

**Заведующая редакцией И. М. Доронина**

**Редактор А. В. Тихонова**

**Корректор И. В. Проскурякова**

**Верстка А. Ю. Рыжков, С. Ю. Рыжков**

**Адрес редакции:** 124498, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, МИЭТ.  
**Тел.:** 8-499-734-6205, **e-mail:** magazine@miee.ru, <http://ivuz-e.ru>

**Адрес издателя:** 124498, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, МИЭТ.

**Адрес полиграфического предприятия:** 124498, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, МИЭТ.

Подписано в печать 15.06.2023. Формат бумаги 60×84 1/8. Цифровая печать.  
Объем 15,345 усл.печ.л., 13,344 уч.-изд.л. Тираж 130 экз. Заказ № 23. Свободная цена.  
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-72307 от 01.02.2018.

Журнал включен ВАК в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим специальностям:

**1.3.5. Физическая электроника (технические науки, физико-математические науки)**

**1.3.8. Физика конденсированного состояния (технические науки, физико-математические науки)**

**1.3.11. Физика полупроводников (технические науки, физико-математические науки)**

**1.3.12. Физика магнитных явлений (технические науки, физико-математические науки)**

**2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника (технические науки)**

**2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств (технические науки, физико-математические науки)**

**2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники (технические науки)**

**2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки)**

**2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки),**

**2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)**

**2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки)**

Журнал включен в Russian Science Citation Index на платформе Web of Science, в Российский индекс научного цитирования и в Рейтинг Science Index. Является членом Crossref.

Плата за публикацию статей не взимается.

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» ООО «Агентство «Книга-Сервис» – 38934.

Подписной индекс в каталоге «Периодические издания. Газеты и журналы» ООО «Урал-Пресс Округ» – 47570.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Материалы электроники

*Морозова Е. В., Тимкаева Д. А.* Нанотрубки на основе 2D-материалов  $\text{SMoSiN}_2$  типа Янус для применений в наноэлектронике ..... 271

*Бабиц А. В., Волощук И. А., Шерченков А. А., Переверзева С. Ю., Глебова Д. Д., Бабиц Т. А.* Термическая стабильность толстых пленок на основе низкотемпературных термоэлектрических материалов систем Bi-Te-Se и Bi-Te-Sb, модифицированных добавками оксида меди ..... 281

### Технологические процессы и маршруты

*Новак А. В., Соколов А. М., Румянцев А. В., Новак В. Р.* Исследование зависимости формы кремниевых игл от концентрации раствора КОН при жидкостном анизотропном травлении ..... 287

*Нелюбин И. В., Путря М. Г.* Особенности контроля трехмерного профиля элементов и структур наноразмерных ИС. Обзор ..... 298

*Касумов Ю. Н., Пухаева Н. Е., Мовчан С. А., Гончаров И. Н., Урумов В. В.* Разработка и исследование перфорированных структур для газовых электронных умножителей на базе фольгированных полиимидных пленок ..... 326

### Элементы интегральной электроники

*Московская Ю. М., Бойченко Д. В.* Прогнозный контроль радиационной стойкости микросхем в серийном производстве. II. Выбор объектов испытаний и статистическая обработка результатов контроля ..... 337

### Схемотехника и проектирование

*Melikyan V. Sh., Ghukasyan S. A., Harutyunyan S. S., Voskanyan G. A., Asatryan N. A.* A method for minimizing aging influence on rail-to-rail operational amplifier with thin oxide transistors

*(Меликян В. Ш., Гукасян С. А., Арутюнян С. С., Восканян Г. А., Асатрян Н. А.)* Метод минимизации влияния старения на rail-to-rail операционный усилитель с тонкими оксидными транзисторами) ..... 351

### Интегральные радиоэлектронные устройства

*Гулаков И. Р., Зеневич А. О., Кочергина О. В.* Исследование плоского угла зрения кремниевых фотоумножителей ..... 360

### Информационно-коммуникационные технологии

*Шевнина Ю. С., Гагарина Л. Г., Климочкина М. А., Попова Т. В.* Метод формирования контента для тематических порталов на основе интеллектуального анализа данных ..... 368

*Щербов И. Л.* Апробация работы алгоритма адаптивного нелинейного оптимального сглаживания многопараметрических данных траекторных измерений ..... 378

### Краткие сообщения

*Смирнова В. П., Крупкина Т. Ю.* Моделирование средствами TCAD воздействия тяжелых заряженных частиц на  $n$ -МОП-структуру в составе ячейки памяти ..... 385

### Юбилей

Красникову Геннадию Яковлевичу – 65 лет ..... 391

### Конференции

Об итогах XXX Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Микроэлектроника и информатика – 2023» с международным участием ..... 393

К сведению авторов ..... 395



**Proceedings of Universities.  
ELECTRONICS**

**Volume 28, No. 3, 2023  
May – June**

*The scientific and technical journal*

*Published since 1996  
Published 6 times per year*

**Founder and Publisher:** *National Research University of Electronic Technology*

**Editor-in-Chief:** *Yury A. Chaplygin* – Acad. RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0002-7505-5175

**Editorial Board:**

*Sergey A. Gavrilov* – Deputy Editor-in-Chief, Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0002-2967-272X

*Aleksandr A. Bakhtin* – Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., MIET (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0002-1107-0878

*Sergey B. Benevolensky* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0003-3177-9136

*Vladimir A. Bespalov* – Cor. Mem. RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia)

*Nikolay I. Borgardt* – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., MIET (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0001-8015-7603

*Alexandr V. Dushkin* – Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., MIET (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0002-8078-8971

*Larisa G. Gagarina* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0001-7591-9175

*Sergey V. Gaponenko* – Acad. NAS of Belarus, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (Minsk, Belarus), ORCID: 0000-0003-3774-5471

*Sergey V. Gavrilov* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute for Design Problems in Microelectronics of RAS (Moscow, Russian), ORCID: 0000-0003-0566-4482

*Aleksandr A. Gorbatsevich* – Acad. RAS, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., P.N. Lebedev Physical Institute of the RAS (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0002-1950-356X

*Anatoly A. Horev* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0001-9074-385X

*Boris G. Konoplev* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Southern Federal University (Taganrog, Russia), ORCID: 0000-0003-3105-029X

*Yury N. Korkishko* – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Optolink LLC (Moscow, Russia)

*Mikhail A. Korolev* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0003-3043-1293

*Gennady Y. Krasnikov* – Acad. RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC “NIIME” (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0002-2441-7455

*Vladimir A. Labunov* – Acad. NAS of Belarus, Foreign member of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Belarus), ORCID: 0000-0002-3494-4881

*Vazgen S. Melikyan* – Cor. Mem. NAS of Armenia, Dr. Sci. (Eng.), Prof., CJSC Company “Synopsys Armenia” (Yerevan, Armenia), ORCID: 0000-0002-1667-6860

© “Proceedings of Universities. Electronics”, 2023  
© MIET, 2023

**Vladimir K. Nevolin** – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., MIET (Moscow, Russia),  
ORCID: 0000-0003-4348-0377

**Vladimir N. Nevolin** – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., National Research Nuclear University MEPhI (Moscow, Russia)

**Aleksey L. Pereverzev** – Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., MIET (Moscow, Russia),  
ORCID: 0000-0002-5834-5138

**Konstantin O. Petrosyants** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0001-7969-4786

**Aleksandr N. Saurov** – Acad. RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Nanotechnology of Microelectronics of the RAS (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0001-7368-5977

**Andrey Y. Sazonov** – PhD, Prof., University of Waterloo (Canada),  
ORCID: 0000-0003-0974-1262

**Sergey V. Selishchev** – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., MIET (Moscow, Russia),  
ORCID: 0000-0002-5589-7068

**Anatolie S. Sidorenko** – Acad. AS of Moldova, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Orel State University named after I. S. Turgenev (Orel, Russia),  
ORCID: 0000-0001-7433-4140

**Aleksandr S. Sigov** – Acad. RAS, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0003-2017-9186

**Vyacheslav V. Svetukhin** – Cor. Mem. RAS, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., SMC “Technological Centre” (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0003-0831-9254

**Vitaly A. Telets** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Research Nuclear University MEPhI (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0003-4944-676X

**Sergey P. Timoshenkov** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia),  
ORCID: 0000-0001-5411-1804

**Sergey Yu. Yurish** – Cand. Sci. (Eng.), IFSA Publishing, S.L. (Barcelona, Spain),  
ORCID: 0000-0002-1433-260X

**Head of editorial staff** *Doronina I. M.*

**Chief editors** *Tikhonova A. V., Proskuryakova I. V.*

**Make-up** *Ryzhkov S. Yu., Ryzhkov A. Yu.*

**Editorial Board's address:** 124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Bld. 1, Shokin Square, MIET, editorial office of the Journal “Proceedings of Universities. Electronics”.

**Tel.:** +7-499-734-62-05, **e-mail:** magazine@miec.ru, **http://ivuz-e.ru**

**Publisher's and printery addresses:** 124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Bld. 1, Shokin Square, MIET.

Signed to print 15.06.2023. Sheet size 60×84 1/8. Digital printing. Conventional printed sheets 15,345. Number of copies 130. Order no. 23. Free price.

The media registration certificate ПИ № ФС 77-72307 of 01.02.2018.

The journal is included into the List of reviewed scientific publications, in which the main scientific results of thesis for candidate of science and doctor degrees must be published for the following specialties:

- 1.3.5. Physical electronics (Engineering Sciences, Physical and Mathematical Sciences)
- 1.3.8. Condensed matter physics (Engineering Sciences, Physical and Mathematical Sciences)
- 1.3.11. Semiconductor physics (Engineering Sciences, Physical and Mathematical Sciences)
- 1.3.12. Physics of magnetic phenomena (Engineering Sciences, Physical and Mathematical Sciences)
- 2.2.1. Vacuum and plasma electronics (Engineering Sciences)
- 2.2.2. Electronic component base of micro- and nanoelectronics, quantum devices (Engineering Sciences, Physical and Mathematical Sciences)
- 2.2.3. Technology and equipment for electronic materials and devices production (Engineering Sciences)
- 2.2.8. Material, product, substance and natural environment control and diagnostic techniques and devices (Engineering Sciences)
- 2.3.1. System analysis, information handling and processing (Engineering Sciences)
- 2.3.3. Process industries automation and control (Engineering Sciences)
- 2.3.5. Mathware and software for computer systems, complexes and networks (Engineering Sciences)

The journal is included into the Russian Science Citation Index on the Web of Science basis, into the Russian index of scientific citing and into the Rating Science Index. Is the member of Crossref.

*The fee for the publication of articles is not charged.*

**The subscription index in catalogue “Russian Press” LLC “Agency “Book-Service” – 38934.**

**The subscription index in catalogue “Periodicals. Newspapers and magazines” LLC “Ural-Press Okrug” – 47570.**



## CONTENTS

### Electronics materials

- Morozova E. V., Timkaeva D. A.* Nanotubes based on 2D Janus-type materials  $\text{SMoSiN}_2$  for applications in nanoelectronics ..... 271
- Babich A. V., Voloshchuk I. A., Sherchenkov A. A., Pereverzeva S. Yu., Glebova D. D., Babich T. A.* Thermal stability of thick films on the basis of Bi-Te-Se and Bi-Te-Sb low-temperature thermoelectric materials modified by copper oxide additives ..... 281

### Technological processes and routes

- Novak A. V., Sokolov A. M., Rummyantsev A. V., Novak V. R.* Investigation of the dependence of the silicon needles shape on the KOH solution concentration during wet anisotropic etching ..... 287
- Nelyubin I. V., Putrya M. G.* Features of three-dimensional profile control of elements and structures of nanoscaled ICs. Review ..... 298
- Kasumov Yu. N., Puhaeva N. E., Movchan S. A., Goncharov I. N., Urumov V. V.* Production and research of perforated structures for gas electronic multipliers based on foil-clad polyimide films ..... 326

### Integrated electronics elements

- Moskovskaya Yu. M., Boychenko D. V.* Prediction analysis of the microcircuits' radiation hardness within fabrication process. II. Test objects choice and the obtained results statistical processing ..... 337

### Circuit engineering and design

- Melikyan V. Sh., Ghukasyan S. A., Harutyunyan S. S., Voskanyan G. A., Asatryan N. A.* A method for minimizing aging influence on rail-to-rail operational amplifier with thin oxide transistors ..... 351

### Integrated radioelectronic devices

- Gulakov I. R., Zenevich A. O., Kochergina O. V.* Investigation of the flat viewing angle of silicon photomultipliers ..... 360

### Information-communication technologies

- Shevnina Yu. S., Gagarina L. G., Klimochkina M. A., Popova T. V.* Method of content formation for thematic portals based on data mining ..... 368
- Shcherbov I. L.* Approbation of the algorithm for adaptive nonlinear optimal smoothing of multiple trajectory measurement data ..... 378

### Brief reports

- Smirnova V. P., Krupkina T. Yu.* TCAD simulation of a heavy charged particle impact on a  $n$ -MOS structure as a part of a memory cell ..... 385

### Anniversaries

- Krasnikov Gennady Yakovlevich is 65 years old ..... 391

### Conferences

- On Summation of 30th Russia-Wide Interuniversity Science and Technology Conference of Students, PhD Students and Young Scientists "Microelectronics and Computer Sciences – 2023" with International Participation ..... 393
- Instructions for authors ..... 395