



Известия высших учебных заведений.

## ЭЛЕКТРОНИКА

Том 28, № 2, 2023

март – апрель

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

**Лабунев 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

**Петросяниц 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 17.04.2023. Формат бумаги 60×84 1/8. Цифровая печать.

Объем 13,95 усл.печ.л., 12,24 уч.-изд.л. Тираж 130 экз. Заказ № 22. 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

- Тарасов А. М., Дубков С. В., Ву Ван Зунг, Киселев Д. А., Сиротина А. П., Волкова Л. С., Рязанов Р. М., Громов Д. Г.* Исследование структурных и электрофизических свойств нанонитей титаната бария, полученных методом гидротермального синтеза..... 151

### Технологические процессы и маршруты

- Тимаков А. В., Горностай-Польский В. С., Шевяков В. И.* Многоуровневая металлизация высокотемпературных кремниевых ИС на основе вольфрама. Физика и технология. Обзор ..... 164

### Элементы интегральной электроники

- Кириллова А. В., Королёв М. А.* Исследование влияния плавающего кармана на характеристики КНИ КМОП-транзисторов ..... 180
- Московская Ю. М., Бойченко Д. В.* Прогнозный контроль радиационной стойкости микросхем в серийном производстве. I. Система и алгоритмы реализации для различных категорий изделий .. 189

### Схемотехника и проектирование

- Шарилов А. И., Шарилова Е. М.* Масштабируемая ПЛИС-система выборки и хранения данных для конвейерной обработки видеопотока ..... 202
- Шумарин С. В., Фролова Т. Н., Богачев А. М.* Методика идентификации параметров Spice-моделей КМОП-микросхем по температурным зависимостям их динамических характеристик... 212

### Микро- и наносистемная техника

- Пью Вин Тун, Симонов Б. М., Тимошенко С. П.* Исследование возможностей повышения чувствительности МЭМС-датчика давления емкостного типа с мембранами различных геометрических форм ..... 222
- Карамышев В. П.* Методики определения концентрации и подвижности в слоях областей пространственного заряда..... 232

### Интегральные радиоэлектронные устройства

- Карачев Е. В., Благодатский Г. А., Смирнов С. В.* Информационная система поддержки принятия решений по управлению режимами работы когнитивного радио..... 244

### Информационно-коммуникационные технологии

- Чипчагов М. С., Кублик Е. И., Попов В. А.* Алгоритм индексации объектов рекомендательной системы ..... 252

### Юбилей

- Королёву Михаилу Александровичу – 90 лет ..... 261
- К сведению авторов ..... 263

ISSN 1561-5405 (print), 2587-9960 (online)  
DOI: 10.24151/1561-5405



## Proceedings of Universities. ELECTRONICS

Volume 28, No. 2, 2023  
March – April

*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 17.04.2023. Sheet size 60×84 1/8. Digital printing. Conventional printed sheets 13,95. Number of copies 130. Order no. 22. 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

- Tarasov A. M., Dubkov S. V., Vu Van Zung, Kiselev D. A., Sirotina A. P., Volkova L. S., Ryazanov R. M., Gromov D. G.* Investigation of the structural and electrophysical properties of barium titanate nanowires produced by the hydrothermal synthesis..... 151

### Technological processes and routes

- Timakov A. V., Gornostay-Polsky V. S., Shevyakov V. I.* Multilevel metallization of high-temperature silicon IC based on tungsten. Physics and technology. Review ..... 164

### Integrated electronics elements

- Kirillova A. V., Korolev M. A.* Research of the influence of floating body effects on SOI MOSFETs .... 180  
*Moskovskaya Yu. M., Boychenko D. V.* Prediction analysis of the microcircuits' radiation hardness within fabrication process. I. System and implementation algorithms for various product categories ..... 189

### Circuit engineering and design

- Sharikov A. I., Sharikova E. M.* Scalable sample-and-hold FPGA system for pipelined video stream processing ..... 202  
*Shumarin S. V., Frolova T. N., Bogachev A. M.* Technique for identification of CMOS ICs Spice models parameters by temperature dependences of their dynamic characteristics ..... 212

### Micro- and nanosystem technology

- Phyo Win Tun, Simonov B. M., Timoshenkov S. P.* Investigation of the possibilities of increasing the sensitivity of a capacitive-type MEMS pressure sensor with membranes of various geometric shapes ..... 222  
*Karamyshev V. P.* Methods for determining the concentration and mobility in the layers of the space charge regions..... 232

### Integrated radioelectronic devices

- Karachev E. V., Blagodatsky G. A., Smirnov S. V.* Decision support information system for cognitive radio operation mode management ..... 244

### Information-communication technologies

- Chipchagov M. S., Kublik E. I., Popov V. A.* Algorithm for indexing recommender system objects .... 252

### Anniversaries

- Korolev Mikhail Aleksandrovich is 90 years old..... 261  
Instructions for authors ..... 263