



Известия высших учебных заведений.

ЭЛЕКТРОНИКА

Том 29, № 3, 2024

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

Газарина 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., Институт физики НАН Беларуси (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

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

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

Красников Геннадий Яковлевич – акад. РАН, д.т.н., проф., президент РАН (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

Мещеряков Роман Валерьевич – д.т.н., проф., Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-1129-8434

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
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, сайт: <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 17.06.2024. Формат бумаги 60×84 1/8. Цифровая печать.
Объем 16,74 усл.печ.л., 14,248 уч.-изд.л. Тираж 120 экз. Заказ № 13. 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

- Глухенькая В. Б., Пестов Г. Н., Гулидова А. И., Сауров М. А., Смирнов П. А., Федянина М. Е., Козлов А. О., Савицкий А. И.* Кристаллизация тонких пленок $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ с помощью тонкопленочного резистивного нагревательного элемента для создания оптоэлектронных и интегрально-оптических элементов и устройств на их основе 267

Технологические процессы и маршруты

- Титов А. Ю., Позалов А. И., Тимошенко С. П.* Исследование конструкторско-технологических особенностей пространственной сборки и монтажа функционального микромодуля 281
- Пак К. И., Сорокина Л. И., Кузьмин А. В., Рязанов Р. М., Кицюк Е. П., Дубков С. В., Громов Д. Г.* Формирование композитных слоев $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ с повышенной фоточувствительностью методом электрофоретического осаждения 290
- Смоляков Н. В., Марченков Н. В., Лебедев А. М., Чумаков Р. Г., Гончаренко М. С., Дюжев Н. А.* Моделирование источников рентгеновского излучения для станции фотолитографии на технологическом накопительном комплексе «Зеленоград» 300

Элементы интегральной электроники

- Рехвиашвили С. Ш., Гаев Д. С.* Исследование влияния оптического излучения на интегральную микросхему ТТЛ-типа 310

Схемотехника и проектирование

- Аубакиров Р. Р., Гуров К. О., Данилов А. А.* Алгоритм проектирования LC-контуров с параллельной компенсацией в приемном контуре для систем индуктивного питания 319

Микро- и наносистемная техника

- Галкин А. А., Еркин П. В., Захаров В. П., Соломкина Н. А., Тимошенко А. С., Тимошенко С. П.* Применение инерциальных МЭМС-модулей в сканирующей LiDAR-системе 331

Интегральные радиоэлектронные устройства

- Раннев Н. Ю., Кондратенко С. В., Байков В. Д., Дубинский А. В., Горшкова Н. М., Скок Д. В.* Варианты реализации устройств восстановления тактовых сигналов и данных в составе КМОП высокоскоростных приемопередатчиков последовательных каналов. Обзор 346

Информационно-коммуникационные технологии

- Городилов А. В., Чирков А. В.* Разработка модели гибридной экспертной системы для современного промышленного производства 362
- Шевцов В. А., Казачков В. О., Летфуллин И. Р.* Исследование эффективности нелинейного сетевого кодирования 368
- Ефанов Д. В.* Особенности использования кодов Хэмминга при синтезе самопроверяемых цифровых устройств на основе метода инвертирования данных 379
- Воеводин В. А.* О задаче оценивания устойчивости функционирования элементов информационной инфраструктуры, подверженной воздействию угроз информационной безопасности. II. Аналитическая математическая модель 393

Конференции

- Об итогах XXXI Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Микроэлектроника и информатика – 2024» с международным участием 403



**Proceedings of Universities.
ELECTRONICS**

**Volume 29, No. 3, 2024
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. Gavrilo – 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., Institute of Physics of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus), ORCID: 0000-0003-3774-5471

Sergey V. Gavrilo – 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

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

Gennady Y. Krasnikov – Acad. RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., President of RAS (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 “Synopsis Armenia” (Yerevan, Armenia), ORCID: 0000-0002-1667-6860

Roman V. Meshcheryakov – Dr. Sci. (Eng.), Prof., V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0002-1129-8434

© “Proceedings of Universities. Electronics”, 2024
© MIET, 2024

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
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, **website:** http://ivuz-e.ru

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

Signed to print 17.06.2024. Sheet size 60×84 1/8. Digital printing. Conventional printed sheets 16,74. Number of copies 120. Order no. 13. 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

- Glukhenkaya V. B., Pestov G. N., Gulidova A. I., Saurov M. A., Smirnov P. A., Fedyanina M. E., Kozlov A. O., Savitskiy A. I.* Crystallization of $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ thin films using a thin-film resistive heating element to create optoelectronic and integrated optical elements and devices based on them 267

Technological processes and routes

- Titov A. Yu., Pogalov A. I., Timoshenkov S. P.* Research of engineering and technological specifics of the 3D assembly and mounting of a functional micromodule..... 281
- Pak K. I., Sorokina L. I., Kuzmin A. V., Ryazanov R. M., Kitsyuk E. P., Dubkov S. V., Gromov D. G.* Formation of composite $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ layers with increased photosensitivity by electrophoretic deposition 290
- Smolyakov N. V., Marchenkov N. V., Lebedev A. M., Chumakov R. G., Goncharenko M. S., Djuzhev N. A.* Modeling of X-ray sources for a photolithography station at technological storage ring complex “Zelenograd” 300

Integrated electronics elements

- Rekhviashvili S. Sh., Gaev D. S.* Investigation of the effect of optical radiation on the TTL integrated circuit..... 310

Circuit engineering and design

- Aubakirov R. R., Gurov K. O., Danilov A. A.* Algorithm for designing LC circuits with parallel compensation in the receiving circuit for inductive power systems 319

Micro- and nanosystem technology

- Galkin A. A., Erkin P. V., Zaharov V. P., Solomkina N. A., Timoshenkov A. S., Timoshenkov S. P.* Application of inertial MEMS modules in a scanning LiDAR system..... 331

Integrated radioelectronic devices

- Rannev N. Yu., Kondratenko S. V., Baykov V. D., Dubinsky A. V., Gorshkova N. M., Skok D. V.* Implementation options for clock signal and data recovery devices as part of CMOS high-speed serial channel transceivers. Review 346

Information-communication technologies

- Gorodilov A. V., Chirkov A. V.* Development of the model of hybrid expert system for modern industrial production 362
- Shevtsov V. A., Kazachkov V. O., Letfullin I. R.* Investigation of the effectiveness of non-linear network coding..... 368
- Efanov D. V.* Special aspects of Hamming codes use in the self-checking digital devices synthesis based on the data inversion method..... 379
- Voevodin V. A.* On the task of assessing the stability of the functioning of information infrastructure elements exposed to information security threats. II. Analytical mathematical model 393

Conferences

- On summation of 31st Russia-wide interuniversity science and technology conference of students, PhD students and young scientists “Microelectronics and Computer Sciences – 2024” with international participation..... 403