

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



Известия высших учебных заведений.

ЭЛЕКТРОНИКА

Том 27, № 6, 2022

ноябрь – декабрь

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

Коноплев 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)

Лабунов 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)

© «Известия вузов. Электроника», 2022

© МИЭТ, 2022

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. А. 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)

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. Проскуракова

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 08.12.2022. Формат бумаги 60×84 1/8. Цифровая печать.

Объем 15,81 усл.печ.л., 13,712 уч.-изд.л. Тираж 130 экз. Заказ № 8. Свободная цена.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-72307 от 01.02.2018.

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 группам специальностей:

2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств

2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Включен в Russian Science Citation Index на платформе Web of Science.

Включен 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

<i>Штерн М. Ю.</i> Наноструктурированные термоэлектрические материалы для температур 200–1200 К, полученные искровым плазменным спеканием	695
<i>Царик К. А., Некрасов Н. П., Неволин В. К., Бобринецкий И. И.</i> Особенности формирования структур подвешенного графена над массивом микроразмерных пор	707

Технологические процессы и маршруты

<i>Горноста́й-Польский В. С., Шевяков В. И.</i> Исследование влияния плазменной обработки на свойства сформированных химическим осаждением из газовой фазы тонких пленок нитрида титана	715
<i>Громов Д. Г., Ериця́н Г. С., Кицюк Е. П., Савицкий А. И., Скорик С. Н., Дубков С. В., Гринаковский Е. Д., Булярский С. В., Дудин А. А., Волкова Л. С., Еганова Е. М., Трифонов А. Ю., Поляков М. В., Орлов А. П., Рудаков Г. А., Светухин В. В.</i> Формирование планарных автоэмиссионных приборов на основе углеродных нанотрубок на сплаве Co-Nb-N(O)	723

Схемотехника и проектирование

<i>Котляров Е. Ю., Путря М. Г., Михайлов В. Ю., Зубов И. А., Васильев Е. С.</i> Разработка прототипа микросхемы малошумящего усилителя для приемного тракта NB-IoT-системы	740
<i>Гуров К. О., Миндубаев Э. А., Данилов А. А.</i> Достижение стабильной выходной мощности и эффективности усилителя мощности класса Е при изменении собственной индуктивности частотного фильтра и сопротивления нагрузки	753
<i>Джанполадов В. А., Гаврилов С. В.</i> Прогнозирование мощности утечки на основе машинного обучения на этапе планировки физического проектирования ИС	763
<i>Заплетина М. А.</i> Решение задачи трассировки на ПЛИС с применением модели расширенного смешанного графа коммутационных ресурсов	774

Информационно-коммуникационные технологии

<i>Гагарина Л. Г., Чирков А. В.</i> Алгоритм обнаружения и распознавания болезней растений с использованием каскадных классификаторов	787
<i>Кириянов А. А., Беневоленский С. Б., Сироткин В. Ю.</i> Разработка алгоритма функционирования и особенности обучения когнитивного модуля искусственного интеллекта роботизированной системы тепличного растениеводства	795
<i>Алимагадов К. А., Умняшкин С. В.</i> Подавление белого шума на изображениях на основе винеровской фильтрации в области дискретного вейвлет-преобразования с применением нейросетевых технологий	807

Тематический указатель статей, опубликованных в 2022 году	819
---	-----

К сведению авторов	823
--------------------------	-----

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



Proceedings of Universities. ELECTRONICS

Volume 27, No. 6, 2022
November – December

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. Gorbatshevich – 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)

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)

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”, 2022
© MIET, 2022

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 08.12.2022. Sheet size 60×84 1/8. Digital printing. Conventional printed sheets 15,81. Number of copies 130. Order no. 8. 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 groups of specialties:

- 2.2.2. Electronic component base of micro- and nanoelectronics, quantum devices**
- 2.2.8. Material, product, substance and natural environment control and diagnostic techniques and devices**
- 2.3.1. System analysis, information handling and processing**
- 2.3.3. Process industries automation and control**
- 2.3.5. Mathware and software for computer systems, complexes and networks**

The journal is included into the Russian Science Citation Index on the Web of Science basis.
 The journal is included 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

- Shtern M. Yu.* Nanostructured thermoelectric materials for temperatures from 200 to 1200 K obtained by spark plasma sintering 695
- Tsarik K. A., Nekrasov N. P., Nevolin V. K., Bobrinetskiy I. I.* Features of the formation of suspended graphene structures over an array of micro-sized pores 707

Technological processes and routes

- Gornostay-Polsky V. S., Shevyakov V. I.* Investigation of the effect of plasma treatment on the properties of titanium nitride thin films formed by chemical vapor deposition 715
- Gromov D. G., Eritsyan G. S., Kitsyuk E. P., Savitsky A. I., Skorik S. N., Dubkov S. V., Grinakovsky E. D., Bulyarskiy S. V., Dudin A. A., Volkova L. S., Eganova E. M., Trifonov A. Yu., Poliakov M. V., Orlov A. P., Rudakov G. A., Svetukhin V. V.* Formation of planar field-emission devices based on carbon nanotubes on Co-Nb-N(O) alloy 723

Circuit engineering and design

- Kotlyarov E. Yu., Putrya M. G., Mikhailov V. Yu., Zubov I. A., Vasilyev E. S.* CMOS 0.18 μm low-noise amplifier concept design for NB-IoT receive path 740
- Gurov K. O., Mindubaev E. A., Danilov A. A.* Achieving stable output power and efficiency of a class E power amplifier while changing the self-inductance of the frequency filter and the load resistance 753
- Janpoladov V. A., Gavrilov S. V.* A machine learning-based leakage power prediction at floorplan stage of IC physical design 763
- Zapletina M. A.* Solving the FPGA routing problem using the model of an extended mixed routing graph 774

Information-communication technologies

- Gagarina L. G., Chirkov A. V.* Algorithm for plant disease detection and recognition using cascade classifiers 787
- Kir'yanov A. A., Benevolenskiy S. B., Sirotkin V. Yu.* Operation algorithm development and learning features of the cognitive module of artificial intelligence of a robotic system for greenhouse crop production 795
- Alimagadov K. A., Umnyashkin S. V.* White noise suppression based on Wiener filtering using neural networks technologies in the domain of discrete wavelet transform 807

Thematic index of articles published in 2022 819

Instructions for authors 823