

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



Известия высших учебных заведений.

ЭЛЕКТРОНИКА

Том 28, № 1, 2023

январь – февраль

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)

© «Известия вузов. Электроника», 2023

© МИЭТ, 2023

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

Сизов 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),
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 14.02.2023. Формат бумаги 60×84 1/8. Цифровая печать.

Объем 16,74 усл.печ.л., 15,448 уч.-изд.л. Тираж 130 экз. Заказ № 21. 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

- Силаков Г. О., Лазоркина Е. Н., Гаврилов С. А., Воловникова О. В., Железнякова А. В., Дудин А. А.* Исследование реакционной способности структуры por-Si/Pd по отношению к парам этанола 7
- Дронова Д. А., Дронов А. А.* Исследование электрохимических свойств анода натрий-ионного аккумулятора на основе нанотрубчатого анодного TiO_2 17
- Дмитриев В. К., Ильичёв Э. А., Кирпиленко Г. Г., Петрухин Г. Н., Рычков Г. С., Фролов В. Д.* Характеристики и области возможных применений аморфных кремний-углеродных и металл-кремний-углеродных пленок. Обзор 24

Технологические процессы и маршруты

- Gromov D. G., Dubkov S. V., Savitskiy A. I., Gavrilov S. A.* Features of the nanoparticles and binary nanoalloys formation during thermal evaporation and condensation on an inert surface in vacuum
(*Громов Д. Г., Дубков С. В., Савицкий А. И., Гаврилов С. А.* Особенности формирования наночастиц и бинарных наносплавов при термическом испарении и конденсации на инертной поверхности в вакууме) 49
- Алексеев А. В., Переверзева С. Ю., Рязанов Р. М., Громов Д. Г.* Особенности получения композитного электродного материала суперконденсатора УНТ/ $\text{RuO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ методом электрофоретического соосаждения 59

Элементы интегральной электроники

- Белов Е. Н., Королёв М. А.* Исследование влияния электрического переходного процесса на результаты измерения теплового сопротивления ИС косвенным методом на основе термочувствительного параметра 79
- Якунина Н. В., Некрасов Н. П., Неволин В. К., Бобринецкий И. И.* Переключение проводимости в латеральных каналах на основе максенов $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 88

Интегральные радиоэлектронные устройства

- Дворников О. В., Чеховский В. А., Прокопенко Н. Н., Галкин Я. Д., Кунц А. В., Чумаков В. Е.* Быстродействующие широкополосные операционные усилители на базовом матричном кристалле 96

Информационно-коммуникационные технологии

- Ефанов Д. В., Зуева М. В.* Коды с суммированием с сериями перестановок весов между информационными векторами для систем технического диагностирования 112
- Сотников А. В., Шипатов Е. А., Шипатов А. В.* Алгоритм выделения объектов на изображениях на основе слияния суперпикселей 129

Конференции

- Гагарина Л. Г.* Об итогах III Научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы информатизации в цифровой экономике и научных исследованиях – 2022» 140
- XXX Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Микроэлектроника и информатика – 2023» с международным участием 142
- К сведению авторов 143

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



Proceedings of Universities. ELECTRONICS

Volume 28, No. 1, 2023
January – February

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), 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 14.02.2023. Sheet size 60×84 1/8. Digital printing. Conventional printed sheets 16,74. Number of copies 130. Order no. 21. 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

- Silakov G. O., Lazorkina E. N., Gavrilov S. A., Volovlikova O. V., Zheleznyakova A. V., Dudin A. A.* Investigation of the reactive capability of the por-Si/Pd structure to the ethanol vapors 7
- Dronova D. A., Dronov A. A.* Investigation of electrochemical properties of the anode of Na-ion battery based on nanotubular anodic TiO₂ 17
- Dmitriev V. K., Il'ichev E. A., Kirpilenko G. G., Petrukhin G. N., Rychkov G. S., Frolov V. D.* Characteristics of amorphous silicon-carbon and metal-silicon-carbon films, areas of possible applications. Review 24

Technological processes and routes

- Gromov D. G., Dubkov S. V., Savitskiy A. I., Gavrilov S. A.* Features of the nanoparticles and binary nanoalloys formation during thermal evaporation and condensation on an inert surface in vacuum 49
- Alekseyev A. V., Pereverzeva S. Yu., Ryazanov R. M., Gromov D. G.* Features of supercapacitor composite electrode material CNT/RuO₂·xH₂O preparation via electrophoretic co-deposition 59

Integrated electronics elements

- Belov E. N., Korolev M. A.* Investigation of an electrical transient process effect on the results of measuring the thermal resistance of IC by an indirect method based on a thermally sensitive parameter 79
- Yakunina N. V., Nekrasov N. P., Nevolin V. K., Bobrinetskiy I. I.* Conductivity switching in lateral channels based on MXene Ti₃C₂T_x 88

Integrated radioelectronic devices

- Dvornikov O. V., Tchekhovskiy V. A., Prokopenko N. N., Galkin Ya. D., Kunts A. V., Chumakov V. E.* A high-speed broadband operational amplifiers on a master slice array 96

Information-communication technologies

- Efanov D. V., Zueva M. V.* Sum codes with a series of weights permutations between data vectors for technical diagnostics systems 112
- Sotnikov A. V., Shipatov E. A., Shipatov A. V.* An algorithm for object extraction in images based on superpixel fusion 129

Conferences

- Gagarina L. G.* On the results of the 3rd Scientific and Practical Conference with International Participation "Actual Problems of Informatization in the Digital Economy and Scientific Research – 2022" 140
- 30th All-Russian Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists with International Participation "Microelectronics and Informatics – 2023" 142
- Instructions for authors 143