

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



Известия высших учебных заведений.

ЭЛЕКТРОНИКА

Том 29, № 6, 2024

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., НИЦ «Курчатовский институт» (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

Громов Дмитрий Геннадьевич – д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-4563-9831

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

Коноплёв 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

Мешиеряков 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

© «Известия вузов. Электроника», 2024

© МИЭТ, 2024

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

Петросянц 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.,
Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (г. Долгопрудный, 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 05.12.2024. Формат бумаги 60×84 1/8. Цифровая печать.

Объем 18,135 усл.печ.л., 15,552 уч.-изд.л. Тираж 150 экз. Заказ № 16. 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

Фундаментальные исследования

- Верюжский И. В., Приходько А. С., Усков Ф. А., Григорашвили Ю. Е., Боргардт Н. И.* Импульсное лазерное осаждение монокристаллических пленок сплава Гейслера CoFeMnSi на подложке MgO 703

Материалы электроники

- Тарасов Д. В., Соколов Е. М., Гаврилов С. А.* Исследование процесса многослойного роста поликристаллических кремниевых слоев для управления деформацией кремниевых структур в технологии химического газового транспорта 715

Технологические процессы и маршруты

- Грудцов В. П., Еганова Е. М., Губанова О. В., Горячев А. В., Пучнин К. В., Рязанцев Д. В., Кузнецов А. Е., Комарова Н. В.* Атомно-слоевое осаждение оксида тантала для сенсоров на основе полевого эффекта 724
- Лавров И. В., Дронова Д. А., Силибин М. В., Аникин А. В., Дубков С. В., Лебедев Е. А., Шарипов Р. А., Вигдорович Е. Н., Громов Д. Г.* Моделирование дифракционных эффектов при использовании фазосдвигающих слоев в фотолитографии 736

Элементы интегральной электроники

- Ходаков А. М., Сергеев В. А., Фролов И. В., Радаев О. А., Зайцев С. А.* Моделирование и исследование тепловых электрических процессов в светодиодных матрицах 752
- Хлыбов А. И., Родионов Д. В., Егоркин В. И., Котляров Е. Ю., Лосев В. В., Чаплыгин Ю. А.* Исследование зависимостей входных параметров нормально-закрытого GaN-HEMT-транзистора от режимов работы в гигагерцовом диапазоне 763
- Максименко Ю. Н., Петросянц К. О., Силкин Д. С., Грабежова В. К.* Высокочастотная модель транзистора со статической индукцией 772

Схемотехника и проектирование

- Матешева В. В., Попов В. Д.* Изменение характеристик аналогового выходного каскада при воздействии низкоинтенсивного излучения 787
- Малинаукас К. К.* Алгоритм динамического программирования для оптимизации дерева буферизации по числу буферов и инверторов 792

Интегральные радиоэлектронные устройства

- Бабушкин Е. А., Калашиников Р. В., Лаврентьев А. М., Зайцев С. А., Смолев И. А.* Методика оценки количества источников излучения в условиях амплитудно-фазовой неидентичности 805

Биомедицинская электроника

- Аубакиров Р. Р., Данилов А. А.* Использование эффекта сильной связи для уменьшения размера принимающей катушки без понижения устойчивости системы индуктивной передачи энергии к имплантатам 819

Информационно-коммуникационные технологии

- Новиков Ю. И., Лупин С. А., Савченко Ю. В., Звонарев Д. А.* Параллельная реализация алгоритма повышения контрастности изображения на основе нечетких множеств 832

Юбилей

- Гаврилову Сергею Витальевичу – 65 лет 845
- Тематический указатель статей, опубликованных в 2024 году 846
- К сведению авторов 851



**Proceedings of Universities.
ELECTRONICS**

**Volume 29, No. 6, 2024
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. Gavrillov – 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. Gavrillov – Dr. Sci. (Eng.), Prof., NRC “Kurchatov Institute” (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

Dmitry G. Gromov – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0002-4563-9831

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 “Synopsys Armenia” (Yerevan, Armenia), ORCID: 0000-0002-1667-6860

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

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
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., Moscow Institute of Physics and Technology (Dolgoprudny, 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 05.12.2024. Sheet size 60×84 1/8. Digital printing. Conventional printed sheets 18,135. Number of copies 150. Order no. 16. 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

Fundamental researches

- Veryuzhskii I. V., Prikhodko A. S., Uskov F. A., Grigorashvili Yu. E., Borgardt N. I.* Single-Crystalline CoFeMnSi Heusler alloy thin films as prepared by pulsed laser deposition on MgO substrate 703

Electronics materials

- Tarasov D. V., Sokolov E. M., Gavrilov S. A.* Research of multilayer growth process of polycrystalline silicon layers for silicon structures deformation control in chemical gas transport technology 715

Technological processes and routes

- Grudtsov V. P., Eganova E. M., Gubanova O. V., Goryachev A. V., Puchnin K. V., Ryazantsev D. V., Kuznetsov A. E., Komarova N. V.* Atomic layer deposition of tantalum oxide for field effect sensors 724
- Lavrov I. V., Dronova D. A., Silibin M. V., Anikin A. V., Dubkov S. V., Lebedev E. A., Sharipov R. A., Vigdorovich E. N., Gromov D. G.* Simulation of the diffraction effects using phase-shifting layers in photolithography 736

Integrated electronics elements

- Khodakov A. M., Sergeev V. A., Frolov I. V., Radaev O. A., Zaitsev S. A.* Simulation and research of thermoelectric processes in LED matrixes 752
- Khlybov A. I., Rodionov D. V., Egorkin V. I., Kotlyarov E. Yu., Losev V. V., Chaplygin Yu. A.* Research of dependences of the normally-off GaN HEMT input parameters on the operating conditions at the GHz band 763
- Maksimenko Yu. N., Petrosyants K. O., Silkin D. S., Grabezhova V. K.* High-frequency transistor model with static induction 772

Circuit engineering and design

- Matesheva V. V., Popov V. D.* Changes in the characteristics of the analog output stage when exposed to low-intensity radiation 787
- Malinauskas K. K.* A dynamic programming algorithm for the buffering tree optimization by the number of buffers and inverters 792

Integrated radioelectronic devices

- Babushkin E. A., Kalashnikov R. V., Lavrentyev A. M., Zaitsev S. A., Smolev I. A.* Methodology for assessing the number of radiation sources under conditions of amplitude-phase non-identity 805

Biomedical electronics

- Aubakirov R. R., Danilov A. A.* Using the strong coupling effect to reduce the size of the receiving coil without reducing the stability of the inductive energy transfer system to implants 819

Information-communication technologies

- Novikov Yu. I., Lupin S. A., Savchenko Yu. V., Zvonarev D. A.* Parallel implementation of the image contrast enhancement algorithm based on fuzzy sets 832

Anniversaries

- Gavrilov Sergey Vitalievich is 65 years old 845
- Thematic index of articles published in 2024 846
- Instructions for authors 851