

XI Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем» (МЭС-2022)

г. Москва, г. Зеленоград, март – ноябрь 2022 г.

Очередная XI Всероссийская с международным участием научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем» (МЭС-2022) проводится с марта по ноябрь 2022 г. в очно-заочном формате.

Прием докладов осуществляется с 1 марта по 1 сентября 2022 г.

Организатор и проводящая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук.

Соорганизатор: Казенное предприятие города Москвы «Корпорация развития Зеленограда».

Оператор: Московское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова.

Учредители: Российская академия наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН, Российский фонд фундаментальных исследований, Правительство г. Москвы, ОА «Концерн радиостроения «Вега», Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН, Институт электронных управляющих машин им. И. С. Брука, АО «НИИМА «Прогресс», Префектура Зеленоградского АО г. Москвы, Институт проблем информатики РАН, МИРЭА – Российский технологический университет, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Южный федеральный университет, Университет Иннополис.

Официальные партнеры: Фонд инфраструктурных и образовательных программ (Группа РОСНАНО), Инновационный центр «Сколково», Intel Corporation, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, НПК «Технологический центр».

Спонсоры: АО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс», АО «МЕГРАТЕК», ЗАО «ПКК Миландр», АО НПЦ «ЭЛВИС», АО «МЦСТ».

Основные обсуждаемые темы:

- Теоретические аспекты проектирования микро- и нанoeлектронных систем (МЭС).
- Методы и средства автоматизации проектирования микро- и нанoeлектронных схем и систем (САПР СБИС).
- Опыт разработки цифровых, аналоговых, цифроаналоговых, радиотехнических функциональных блоков СБИС.
- Особенности проектирования СБИС для нанометровых технологий.
- Системы на кристалле перспективной РЭА.

Все принятые доклады будут опубликованы в Сборниках трудов конференции, предложены к обсуждению и выставлены на голосование. По результатам голосования победители получают денежные призы, призеры – почетные дипломы. Сборники трудов конференции МЭС включены ВАК в Перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Более подробную информацию о конференции можно получить на сайте:
<http://www.mes-conference.ru>

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



Известия высших учебных заведений. ЭЛЕКТРОНИКА

Том 27, № 2, 2022
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 – д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия)

Быков Дмитрий Васильевич – д.т.н., проф., Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-4935-7292

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)

Гапоненко Сергей Васильевич – акад. НАН Беларуси, д.физ.-мат.н., проф., Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (Минск, Беларусь), ORCID: 0000-0003-3774-5471

Горбачевич Александр Алексеевич – акад. РАН, д.физ.-мат.н., проф., Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-1950-356X

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)

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», 2022

© МИЭТ, 2022

Переверзев Алексей Леонидович – д.т.н., доц., МИЭТ (Москва, Россия),
ORCID: 0000-0002-5834-5138

Петросяни 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)

Сауров Александр Николаевич – акад. РАН, д.т.н., проф., Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН (Москва, Россия), ORCID: 0000-0001-7368-5977

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.,
Институт электронной инженерии и нанотехнологий АНМ (Кишинев, Молдова),
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

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 14.04.2022. Формат бумаги 60×84 1/8. Цифровая печать.

Объем 14,415 усл.печ.л., 13,108 уч.-изд.л. Тираж 150 экз. Заказ № 4. 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:

05.11.00 Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

05.27.00 Электроника

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

Технологические процессы и маршруты

- Ромашкин А. В., Поликарпов Ю. А., Левин Д. Д., Неволин В. К.* Прозрачный проводящий электрод на основе углеродных нанотрубок, формируемый аэрозольным распылением на полимерном слое РЗНТ:PCBM..... 159
- Лучинин В. В., Панов М. Ф., Павлова М. В., Рыбка Ф. Е.* Оптический контроль параметров подложек и эпитаксиальных структур карбида кремния..... 175

Элементы интегральной электроники

- Комаров В. Т.* Моделирование СВЧ-усилителей мощности на GaN-транзисторах 187

Схемотехника и проектирование

- Щагин А. В., Нгуен Тхань Зыонг, Чжо Сое Вин.* Сравнительный анализ электроприводов производственных станков 193
- Матюха В. А., Волощук С. С., Мосин С. Г.* Разработка универсального настраиваемого вычислителя целочисленного квадратного корня на базе ПЛИС 205
- Ефанов Д. В., Зуева М. В.* Коды с суммированием по произвольному модулю в схемах встроенного контроля, реализованных по методу логического дополнения 218
- Kostanyan H. T.* Skew improvement method for digital delay lines
(*Костанян А. Т.* Метод выравнивания отклонения сигнала для цифровых линий задержки)..... 233

Микро- и наносистемная техника

- Йе Ко Ко Аунг, Симонов Б. М., Тимошенков С. П.* Анализ усталости и оценка числа циклов воздействия до выхода из строя чувствительного элемента микромеханического емкостного акселерометра 240

Интегральные радиоэлектронные устройства

- Маггеррамов Р. В.* Математическое моделирование контура фазовой автоподстройки частоты для реализации АЦП 248

Информационно-коммуникационные технологии

- Петров Е. Н., Портнов Е. М.* Исследование возможностей рекуррентных нейронных сетей для решения задачи классификации слабоструктурированной информации на примере библиографических данных 259
- Дорогова Е. Г., Дорогов В. Г., Микитась А. В., Баин А. М., Маршалов В. Н.* Моделирование информационных систем с управляемой дисциплиной обслуживания в целях повышения качества обслуживания запросов 268

Конференции

- XI Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем» (МЭС-2022)..... 2-я стр. обложки
- К сведению авторов 275

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



Proceedings of Universities. ELECTRONICS

Volume 27, No. 2, 2022
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 – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia)

Dmitri V. Bykov – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0002-4935-7292

Larisa G. Gagarina – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia)

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

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

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)

© “Proceedings of Universities. Electronics”, 2022
© MIET, 2022

Aleksey L. Pereverzev – Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., MIET (Moscow, Russia),
ORCID: 0000-0002-5834-5138
Konstantin O. Petrosyantz – 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 Microe-
lectronics of the RAS (Moscow, Russia), ORCID: 0000-0001-7368-5977
Andrey Y. Sazonov – PhD, Prof., University of Waterloo (Canada)
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., Institute of the
Electronic Engineering and Nanotechnologies ASM (Chisinau, Moldova),
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
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@miee.ru
http://ivuz-e.ru

Publisher's address: 124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Bld. 1, Shokin Square, MIET.

Printery address: 124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Bld. 1, Shokin Square, MIET.

Signed to print 14.04.2022. Sheet size 60×84 1/8. Digital printing. Conventional printed
sheets 14,415. Number of copies 150. Order no. 4. 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:

05.11.00 Instrumentation, metrology and information-measuring devices and systems
05.13.00 Computer science, computer engineering and management
05.27.00 Electronics

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

Technological processes and routes

- Romashkin A. V., Polikarpov Yu. A., Levin D. D., Nevolin V. K.* Transparent conductive electrode based on carbon nanotubes formed by spray deposition on polymer P3HT:PCBM layer..... 159
- Luchinin V. V., Panov M. F., Pavlova M. V., Rybka F. E.* Optical control of the parameters of substrates and epitaxial structures of silicon carbide 175

Integrated electronics elements

- Komarov V. T.* The simulation of microwave power amplifiers on the GaN transistors 187

Circuit engineering and design

- Shchagin A. V., Nguyen Thanh Duong, Kyaw Soe Win.* Comparative analysis of electric drives of processing equipment 193
- Matyukha V. A., Voloshchuk S. S., Mosin S. G.* Development of a universal configurable integer square root calculator based on FPGA 205
- Efanov D. V., Zueva M. V.* Sum codes by arbitrary modulus in concurrent error-detection circuit implemented by the Boolean complement method..... 218
- Kostanyan H. T.* Skew improvement method for digital delay lines 233

Micro- and nanosystem technology

- Ye Ko Ko Aung, Simonov B. M., Timoshenkov S. P.* Fatigue analysis and estimation of the number of exposure cycles before failure of the sensitive element of the micromechanical capacitive accelerometer..... 240

Integrated radioelectronic devices

- Magerramov R. V.* Mathematical model of the phase-locked loop circuit for the ADC implementation..... 248

Information-communication technologies

- Petrov E. N., Portnov E. M.* Investigation of the capabilities of recurrent neural networks for solving the problem of classification of poorly structured information on the example of bibliographic data 259
- Dorogova E. G., Dorogov V. G., Mikitas A. V., Bain A. M., Marshalov V. N.* Modeling of IT systems with a managed service discipline in order to improve the query serving quality 268

Conferences

- XI All-Russian scientific and technical conference «Problems of development of advanced micro- and nanoelectronic systems»..... 2 cover page

- Instructions for authors 275