



Известия высших учебных заведений.

## ЭЛЕКТРОНИКА

Том 24, № 2, 2019

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)

### Редакционная коллегия:

*Гаврилов Сергей Александрович* – заместитель главного редактора, д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия)

*Бархоткин Вячеслав Александрович* – д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия)

*Бахтин Александр Александрович* – канд.т.н., доц., МИЭТ (Москва, Россия)

*Беневоленский Сергей Борисович* – д.т.н., проф., ФГБНУ «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» (Москва, Россия)

*Быков Дмитрий Васильевич* – д.т.н., проф., Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Москва, Россия)

*Гаврилов Сергей Витальевич* – д.т.н., проф., Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН (Москва, Россия)

*Гапоненко Сергей Васильевич* – акад. НАН Беларуси, д.физ.-мат.н., проф., Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований (Минск, Беларусь)

*Горбачев Александр Алексеевич* – чл.-корр. РАН, д.физ.-мат.н., проф., Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (Москва, Россия)

*Грибов Борис Георгиевич* – чл.-корр. РАН, д.хим.н., проф., АО «НИИМЭ» (Москва, Россия)

*Коноплев Борис Георгиевич* – д.т.н., проф., Южный федеральный университет (Таганрог, Россия)

*Коркишко Юрий Николаевич* – д.физ.-мат.н., проф., НПК «Оптолинк» (Москва, Россия)

*Королёв Михаил Александрович* – д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия)

*Красников Геннадий Яковлевич* – акад. РАН, д.т.н., проф., АО «НИИМЭ» (Москва, Россия)

*Кубарев Юрий Васильевич* – д.физ.-мат.н., проф., Фонд «Сколково», ООО «Центр плазменных и вакуумных технологий» (Москва, Россия)

*Лабунев Владимир Архипович* – акад. НАН Беларуси, иностранный член РАН, д.т.н., проф., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (Минск, Беларусь)

*Максимов Иван Александрович* – PhD, проф., Университет города Лунд (Швеция)

*Меликян Вазген Шаваршович* – чл.-корр. НАН Армении, д.т.н., проф., ЗАО «Синописис Армения» (Ереван, Армения)

*Неволин Владимир Кириллович* – д.физ.-мат.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия)

*Неволин Владимир Николаевич* – д.физ.-мат.н., проф., Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (Москва, Россия)

*Петросянц Константин Орестович* – д.т.н., проф., Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Москва, Россия)

© “Известия вузов. Электроника”, 2019

© МИЭТ, 2019

**Сазонов Андрей Юрьевич** – PhD, проф., Университет Ватерлоо (Канада)  
**Сауров Александр Николаевич** – акад. РАН, д.т.н., проф., Институт нанотехнологий микро-электроники РАН (Москва, Россия)  
**Селищев Сергей Васильевич** – д.физ.-мат.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия)  
**Сигов Александр Сергеевич** – акад. РАН, д.физ.-мат.н., проф., МИРЭА – Российский технологический университет (Москва, Россия)  
**Сидоренко Анатолий Сергеевич** – акад. АН Молдовы, д.физ.-мат.н., проф., Институт электронной инженерии и нанотехнологий АНМ (Кишинев, Молдова)  
**Таиров Юрий Михайлович** – д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург, Россия)  
**Телец Виталий Арсеньевич** – д.т.н., проф., Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Москва, Россия)  
**Тимошенко Сергей Петрович** – д.т.н., проф., МИЭТ (Москва, Россия)  
**Усанов Дмитрий Александрович** – д.физ.-мат.н., проф., Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия)  
**Юриш Сергей Юрьевич** – канд.т.н., IFSA Publishing, S.L. (Барселона, Испания)

**Заведующая редакцией С.Г. Зверева**  
**Редактор А.В. Тихонова**  
**Научный редактор С.Г. Зверева**  
**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 11.04.2019. Формат бумаги 60×84 1/8. Цифровая печать.  
 Объем 13,02 усл.печ.л., 11,504 уч.-изд.л. Тираж 180 экз. Заказ № 16. 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.

Включен в Российский индекс научного цитирования и в Рейтинг Science Index.

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

Является членом Cross Ref.

*Плата за публикацию статей не взимается.*

**Подписной индекс в каталоге Агентства «Роспечать» – 47570**

## СОДЕРЖАНИЕ

### Материалы электроники

<i>Гаджиев Т.М., Алиев М.А., Асваров А.Ш., Гаджиева Р.М., Бидалов Б.А., Исмаилов А.М., Шомахов З.В.</i> Зависимость морфологии поверхности и структуры пленок $\text{CuIn}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{Se}_2$ от температуры селенизации.....	107
<i>Вигдорович Е.Н.</i> Формирование низкоомных слоев $p$ -типа в гетероструктурах $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}/\text{GaN}$ ..	118
<i>Тихонов Р.Д., Поломошнов С.А., Костюк Д.В.</i> Спектрофотометрический контроль хлоридного электролита для электрохимического осаждения пермаллоя.....	129

### Элементы интегральной электроники

<i>Маковская Т.И., Данилюк А.Л., Кривошеева А.В., Шапошников В.Л., Борисенко В.Е.</i> Зарядовые свойства транзисторной МОП-структуры с каналом из двумерного кристалла .....	137
<i>Новиков С.Г., Беринцев А.В., Алексеев А.С., Сомов А.И., Светухин В.В.</i> Исследование влияния температуры на выходные параметры радиоизотопных источников электрического питания на основе двойного преобразования энергии радиационного распада .....	151
<i>Юсипова Ю.А.</i> Прецессия намагниченности свободного слоя спинового вентиля и его переключение при воздействии магнитного поля, перпендикулярного оси анизотропии.....	160
<i>Петросянц К.О., Исмаил-Заде М.Р., Самбурский Л.М.</i> Особенности моделирования ВАХ JFET-транзисторов в диапазоне криогенных температур .....	174
<i>Озеркин Д.В., Бабешко В.В.</i> Синтез SPICE-модели МОП-реле 249КП4АТ с учетом температурной зависимости параметров .....	185
<i>Якунин А.Н., Аунг Мьо Сан.</i> Исследование и модификация многоразрядного параллельно-префиксного сумматора.....	197
Памяти Жореса Ивановича Алфёрова.....	208

### Юбилей

Лабунову Владимиру Архиповичу – 80 лет.....	210
Петросянцу Константину Орестовичу – 75 лет.....	212



## Proceedings of Universities. ELECTRONICS

Volume 24, No. 2, 2019  
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)

### **Editorial Board:**

*Sergey A. Gavrilov* – Deputy Editor-in-Chief, Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia)

*Aleksandr A. Bakhtin* – Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., MIET (Moscow, Russia)

*Vyacheslav A. Barhotkin* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia)

*Sergey B. Benevolensky* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services (Moscow, Russia)

*Dmitri V. Bykov* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia)

*Sergey V. Gavrilov* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute for Design Problems in Microelectronics of RAS (Moscow, Russian)

*Sergey V. Gaponenko* – Acad. NAS of Belarus, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (Minsk, Belarus)

*Aleksandr A. Gorbatsevich* – Cor. Mem. RAS, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., P.N. Lebedev Physical Institute of the RAS (Moscow, Russia)

*Boris G. Gribov* – Cor. Mem. RAS, Dr. Sci. (Chem.), Prof., JSC «NIIME» (Moscow, Russia)

*Boris G. Konoplev* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Southern Federal University (Taganrog, Russia)

*Yury N. Korkishko* – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., SMS «Optolink» (Moscow, Russia)

*Mikhail A. Korolev* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia)

*Gennady Y. Krasnikov* – Acad. RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC «NIIME» (Moscow, Russia)

*Yuri V. Kubarev* – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., The Skolkovo Foundation, LLC «Center for Plasma and Vacuum Technologies» (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)

*Ivan A. Maksimov* – PhD, Prof., Lund University (Sweden)

*Vazgen S. Melikyan* – Cor. Mem. NAS of Armenia, Dr. Sci. (Eng.), Prof., CJS Company «Sinopsis, Armenia» (Yerevan, Armenia)

*Vladimir K. Nevolin* – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., MIET (Moscow, Russia)

*Vladimir N. Nevolin* – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., P.N. Lebedev Physical Institute of the RAS (Moscow, Russia)

*Konstantin O. Petrosyantz* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia)

*Aleksandr N. Saurov* – Acad. RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Nanotechnology of Microelectronics of the RAS (Moscow, Russia)

*Andrey Y. Sazonov* – PhD, Prof., University of Waterloo (Canada)

*Sergey V. Selishchev* – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., MIET (Moscow, Russia)

© “Proceedings of Universities. Electronics”, 2019  
© MIET, 2019

**Anatolie S. Sidorenko** – Acad. AS of Moldova, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Institute of the Electronic Engineering and Nanotechnologies ASM (Chisinau, Moldova)

**Aleksandr S. Sigov** – Acad. RAS, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russia)

**Yury M. Tairov** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Saint-Petersburg Electrotechnical University (LETI) (St. Petersburg, Russia)

**Vitaly A. Telets** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National Research Nuclear University MEPhI (Moscow, Russia)

**Sergey P. Timoshenkov** – Dr. Sci. (Eng.), Prof., MIET (Moscow, Russia)

**Dmitry A. Usanov** – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., National Research Saratov State University (Saratov, Russia)

**Sergey Yu. Yurish** – Cand. Sci. (Eng.), IFSA Publishing, S.L. (Barcelona, Spain)

**Head of editorial staff Zvereva S.G.**

**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 11.04.2019. Sheet size 60×84 1/8. Digital printing. Conventional printed sheets 13,02. Number of copies 180. 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.

The journal is included into the Russian index of scientific citing and into the Rating Science Index.

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

Is the member of Cross Ref.

*The fee for the publication of articles is not charged.*

**The subscription index in catalogue of Agency Rospechat – 47570**

## CONTENTS

### Electronics materials

<b>Gadzhiev T.M., Aliev M.A., Asvarov A.Sh., Gadgieva R.M., Bilalov B.A., Ismailov A.M., Shomakhov Z.V.</b> The Dependence of Surface Morphology and Structure of $\text{CuIn}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{Se}_2$ Films on Selenization Temperature .....	107
<b>Vigdorovich E.N.</b> The Formation of Low Resistivity Layers of $p$ -type in Heterostructure $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}/\text{GaN}$ .....	118
<b>Tikhonov R.D., Polomoshnov S.A., Kostuk D.V.</b> Spectrophotometric Monitoring Chloride Electrolyte for Electrochemical Deposition of Permalloy .....	129

### Integrated electronics elements

<b>Makovskaya T.I., Danilyuk A.L., Krivosheeva A.V., Shaposhnikov V.L., Borisenko V.E.</b> Charge Properties of a MOS Transistor Structure with a Channel Made of a Two-Dimensional Crystal .....	137
<b>Novikov S.G., Berintsev A.V., Alekseev A.S., Somov A.I., Svetukhin V.V.</b> Investigation of Influence of Temperature on Output Parameters of Nuclear Power Sources of Electric Supply Based on Double Step Conversion of Radioactive Decay Energy .....	151
<b>Iusipova Iu.A.</b> Precession of Spin-Valve Free Layer Magnetization and Its Switching Under Influence of a Magnetic Field Perpendicular to Axis of Anisotropy .....	160
<b>Petrosyants K.O., Ismail-Zade M.R., Sambursky L.M.</b> Highlights of JFET I-V Characteristics Simulation in Cryogenic Temperature Range .....	174
<b>Ozerkin D.V., Babeshko V.V.</b> Synthesis of 249KP4AT MOS-Relay SPICE-Model with the Temperature Dependence of Parameters .....	185
<b>Yakunin A.N., Aung Myo San.</b> Research and Modification of a Multi-Bit Parallel-Prefix Adder .....	197
In memory of Zhores Ivanovich Alfeyorov .....	208

### Anniversaries

Labunov Vladimir Arhipovich is 80 years old .....	210
Petrosyantz Konstantin Orestovich is 75 years old .....	212