

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

МАТЕРИАЛЫ

ЭЛЕКТРОННОЙ

ТЕХНИКИ

ТОМ 26

3/23

Индекс по каталогам «Пресса России» и «Урал Пресс» 47215



Учредитель:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС)

Известия высших учебных заведений.
Материалы электронной техники.
2023. Т. 26, № 3(103).
<https://doi.org/10.17073/1609-3577-2023-3>

Журнал основан в 1998 г.
Издается один раз в 3 месяца.

Издатель: Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
119049, г. Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1.

Почтовый адрес редакции:
119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1,
ЦНПИ НИТУ МИСИС (ячейка 398).

Тел.: (495) 638–45–31, e-mail: met.misis@inbox.ru

Отпечатано в типографии
Издательского дома «МИСИС»,
119049, г. Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1.
тел.: (499) 236–76–17.

Подписано в печать 30.09.2023.
Формат 60×90/8. Печать офсетная.
Заказ № 18124. Бумага офсетная.
Печ. л. 10,25. Тираж 150. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций (ПИ № ФС 77–59522 от 23.10.2014),
предыдущее свидетельство № 016108 от 15.05.1997
(Минпечати РФ).

Редактор М. И. Воронова
Корректор Н. Э. Хотинская
Верстка А. А. Космынина

Главный редактор
ПАРХОМЕНКО ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ,
д-р физ.-мат. наук, проф. (НИТУ МИСИС, Москва, Россия)

Заместители главного редактора
КИСЕЛЕВ Дмитрий Александрович, канд. физ.-мат. наук,
КОСТИШИН Владимир Григорьевич, д-р физ.-мат. наук, проф.
(НИТУ МИСИС, Москва, Россия)

Ответственный секретарь редакции
Космынина Арина Александровна

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Акчурина Р. Х., д-р техн. наук, проф. (МИТХТ, Москва, Россия)
Асеев А. Л., акад. РАН (ИФП СО РАН, Новосибирск, Россия)
Барберо А., д-р биологии (Институт ядерных исследований, Мехико, Мексика)
Бдикин И. К., д-р физ.-мат. наук (Университет Авейро, Авейро, Португалия)
Бублик В. Т., д-р физ.-мат. наук, проф. (НИТУ МИСИС, Москва, Россия)
Васкес Л., проф., д-р физики (Университет Комплутенс, Мадрид, Испания)
Вуль А. Я., д-р физ.-мат. наук, проф. (ФТИ им. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия)
Гуляев Ю. В., акад. РАН (ИРЭ РАН, Москва, Россия)
Двуреченский А. В., проф., член-корр. РАН (ИФП СО РАН, Новосибирск, Россия)
Калашкин С. Д., д-р физ.-мат. наук, проф. (НИТУ МИСИС, Москва, Россия)
Кобелева С. П., канд. физ.-мат. наук, доц. (НИТУ МИСИС, Москва, Россия)
Кожитов Л. В., д-р техн. наук, проф. (НИТУ МИСИС, Москва, Россия)
Козлова Н. С., канд. физ.-мат. наук (НИТУ МИСИС, Москва, Россия)
Литовченко В. Г., акад. Укр АН (ИФП им. В. Е. Лашкарева НАН Украины, Киев, Украина)
Ломонова Е. Е., д-р техн. наук (ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия)
Мансуров З. А., д-р хим. наук, проф. (Институт проблем горения, Алматы, Казахстан)
Маппс Д. Дж., проф. (Университет Плимута, Плимут, Великобритания)
Пенг Х. Х., проф. (Чжэцзянский университет, Ханчжоу, Китай)
Петров А. В., канд. физ.-мат. наук (НПЦ НАНБ по материаловедению, Минск, Беларусь)
Сафаралиев Г. К., проф., член-корр. РАН (ДГУ, Махачкала, Россия)
Соболев Н. А., проф. (Университет Авейро, Авейро, Португалия)
Солнышкин А. В., д-р физ.-мат. наук, проф. (ТГУ, Тверь, Россия)
Табачкова Н. Ю., канд. физ.-мат. наук (ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия)
Тодуа П. А., д-р физ.-мат. наук, проф. (ОАО «НИЦПВ», Москва, Россия)
Федотов А. К., проф. (БГУ, Минск, Беларусь)
Хернандо Б., проф. (Университет Овьедо, Овьедо, Испания)
Чаплыгин Ю. А., проф., член-корр. РАН (МИЭТ, Москва, Россия)
Шварцбург А. Б., д-р физ.-мат. наук (ОИВТ РАН, Москва, Россия)
Щербачев К. Д., канд. физ.-мат. наук (XRD Eigenmann GmbH, Шнайтах, Германия)

*Журнал по решению Высшей аттестационной комиссии
при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации включен 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».*

Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Materialy elektronnoi tekhniki

Materials of Electronics Engineering

Vol. 26
3/23



Founders:

National University of Science
and Technology «MISIS»

Izvestiya vuzov. Materialy
elektronnoi tekhniki =
Materials of Electronics
Engineering. 2023, vol. 26, no. 3
<https://doi.org/10.17073/1609-3577-2023-3>

The journal was founded in 1998
and is published once in 3 months.

Address of correspondence:
National University of Science
and Technology «MISIS»,
4–1 Leninskiy Ave., Moscow 119991, Russia
Tel./fax: +7(495)638–45–31,
e-mail: met.misis@inbox.ru.
<http://met.misis.ru>

The journal
«Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii.
Materialy Elektronnoi Tekhniki =
Materials of Electronics Engineering»
is registered in Federal Service for Supervision
in the Sphere of Mass Communications
(PI number FS 77–59522 of 10.23.2014),
the previous certificate number 016108
from 15.05.1997.

Editor M. I. Voronova
Corrector N. E. Khotynskaya

Editor-in-Chief

Yuri N. Parkhomenko, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Prof.,
National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia

Deputy Editor-in-Chief

Dmitry A. Kiselev, PhD, Cand. Sci. (Phys.–Math.),
Department of the Material Science of Semiconductors and Dielectrics at the MISIS

Vladimir G. Kostishin, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Prof.,
Head of Department of the Technology of Electronic Materials at the MISIS

Assistant Editor

Arina A. Kosmylina

EDITORIAL BOARD

- R. Kh. Akchurin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
*Lomonosov Moscow State University
of Fine Chemical Technologies, Moscow, Russia*
- A. L. Aseev**, Academician of the Russian Academy of
Sciences (RAS), *Institute of Semiconductor Physics,
SB RAS, Novosibirsk, Russia*
- I. K. Bdiin**, Dr. Sci. (Phys.–Math.), *Aveiro Institute of
Nanotechnology (AIN), University of Aveiro, Aveiro,
Portugal*
- V. T. Bublik**, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Prof.,
*National University of Science and Technology
«MISIS», Moscow, Russia*
- Yu. A. Chaplygin**, Corresponding Member of the Russian
Academy of Sciences (RAS), Prof., *National Research
University of Electronic Technology, Moscow, Russia*
- A. V. Dvurechenskii**, Corresponding Member of the
Russian Academy of Sciences (RAS), Prof.,
*Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, SB RAS,
Novosibirsk, Russia*
- A. K. Fedotov**, Prof., *Belarusian State University,
Department of Energy Physics, Minsk, Belarus*
- Yu. V. Gulyaev**, Academician of the Russian Academy
of Sciences (RAS), *Kotelnikov Institute of Radio
Engineering and Electronics of RAS, Moscow, Russia*
- A. Heredia-Barbero**, PhD, Dr. (Biol.), *Instituto de
Ciencias Nucleares de la UNAM, Mexico City, Mexico*
- B. Hernando**, Prof., *Universidad de Oviedo, Oviedo, Spain*
- S. D. Kaloshkin**, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Prof., *National
University of Science and Technology «MISIS»,
Moscow, Russia*
- S. P. Kobeleva**, Cand. Sci. (Phys.–Math.), Assoc. Prof.,
*National University of Science and Technology
«MISIS», Moscow, Russia*
- L. V. Kozhitov**, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Prof., *National
University of Science and Technology «MISIS»,
Moscow, Russia*
- N. S. Kozlova**, Cand. Sci. (Phys.–Math.), *National
University of Science and Technology «MISIS»,
Moscow, Russia*
- V. G. Litovchenko**, Academician of the Ukrainian
Academy of Sciences, *Institute of Semiconductors
Physics, National Academy of Sciences in Ukraine,
Kiev, Ukraine*
- E. E. Lomonova**, Dr. Sci. (Eng.), A.M. Prokhorov General
Physics Institute, *Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*
- Z. A. Mansurov**, Dr. Sci. (Chim.), Prof., *Al Farabi Kazakh
National University, Institute of Combustion Problems,
Almaty, Kazakhstan*
- D. J. Mapps**, Prof., *University of Plymouth, Plymouth,
United Kingdom*
- H.–X. Peng**, Prof., *Zhejiang University, Hangzhou, China*
- A. V. Petrov**, Cand. Sci. (Phys.–Math.), *Scientific Practical
Materials Research Centre of NAS of Belarus, Minsk,
Belarus*
- G. K. Safaraliev**, Corresponding Member
of the Russian Academy of Sciences (RAS), Prof.,
*Dagestan State University, Makhachkala,
Russia*
- K. D. Shcherbachev**, Cand. Sci. (Phys.–Math.),
XRD Eigenmann GmbH, Schnaittach, Germany
- A. B. Shvartsburg**, Dr. Sci. (Phys.–Math.), *Joint Institute
for High Temperatures Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*
- N. A. Sobolev**, Prof., *Aveiro University, Aveiro, Portugal*
- A. V. Solnyshkin**, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Prof., *Tver State
University, Tver, Russia*
- N. Yu. Tabachkova**, Cand. Sci. (Phys.–Math.),
*A.M. Prokhorov General Physics Institute, Russian
Academy of Sciences, Moscow, Russia*
- P. A. Todua**, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Prof., *Research
Center for Surface and Vacuum, Moscow, Russia*
- L. Vazquez**, Ph. D., Prof., *Universidad Complutense
de Madrid, Madrid, Spain*
- A. Ya. Vul'**, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Prof., *Ioffe Physico-
Technical Institute, Saint Petersburg, Russia*

In accordance with a resolution of the Higher Attestation Committee at the Ministry of Education of the Russian Federation,
the Journal is included in the «List of Periodical and Scientific and Technical Publications Issued in the Russian Federation
in which the Publication of the Main Results of Dr.Sci. Theses is Recommended».

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. ПОЛУПРОВОДНИКИ

- А. Г. Белов, В. Е. Каневский, Е. И. Кладова, С. Н. Князев,
Н. Ю. Комаровский, И. Б. Парфентьева, Е. В. Чернышова**
Сравнение результатов оптических и электрофизических измерений концентрации дырок
в образцах p -GaAs, легированных цинком..... 171

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. ДИЭЛЕКТРИКИ

- Е. В. Забелина, Р. Шахин, Н. С. Козлова, В. М. Касимова**
Определение удельного угла вращения плоскости поляризации в гиротропных кристаллах
средней категории спектрофотометрическим методом 181

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

- В. И. Хвесюк, А. А. Баринев, Б. Лю, В. Цяо**
Принципиально новые подходы к решению
теплофизических задач применительно к наноэлектронике 190

- А. А. Журавлев, К. К. Абгарян, Д. Л. Ревизников**
Квантово–механическое моделирование переключения поляризации в кристаллах HfO_2 198

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ СЛОИ И МНОГОСЛОЙНЫЕ КОМПОЗИЦИИ

- К. Л. Енишерлова, И. А. Михайлов, Л. А. Сейдман, Е. П. Кириленко, Ю. В. Колковский**
Процессы образования дефектов, формирующих глубоких уровни
в структурах $\text{SiON}/\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ 204

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

- В. В. Слепцов, Л. В. Кожитов, А. О. Дителева,
Д. Ю. Кукушкин, А. В. Попкова**
Состояние и перспективы развития мобильных источников тока..... 217

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

- К. В. Феклистов, А. Г. Лемзяков, А. А. Шкляев, Д. Ю. Протасов, А. С. Дерябин,
Е. В. Спесивцев, Д. В. Гуляев, А. М. Пугачев, Д. Г. Есаев**
Барьеры для инжекции электронов и дырок
из подложки кремния в ВЧ–магнетронно напыленные пленки $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Er}$ 234

В. В. Сиксин

- Источник нейтронов для исследования биологических объектов сформированный
из поверхностно соприкасающихся конусов, выполненных из борированных сферопластиков 248

- К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ 256**

CONTENTS

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. SEMICONDUCTORS

**A. G. Belov, V. E. Kanevskii, E. I. Kladova, S. N. Knyazev, N. Yu. Komarovskiy,
I. B. Parfent'eva, E. V. Chernyshova**

Comparison between optical and electrophysical data on hole concentration
in zinc doped p -GaAs..... 171—180

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. DIELECTRICS

E. V. Zabelina, R. Shahin, N. S. Kozlova, V. M. Kasimova

Determination of the polarization plane specific rotation in gyrotropic crystals
of the middle category by the spectrophotometric method 181—189

MATHEMATICAL MODELING IN MATERIALS SCIENCE OF ELECTRONIC COMPONENTS

V. I. Khvesyuk, A. A. Barinov, B. Liu, W. Qiao

Fundamentally new approaches to solving thermophysical problems
in the field of nanoelectronics..... 190—197

A. A. Zhuravlev, K. K. Abgaryan, D. L. Reviznikov

Quantum mechanical simulation of polarization switching in HfO_2 crystals 198—203

EPITAXIAL LAYERS AND MULTILAYERED COMPOSITIONS

K. L. Enisherlova, I. A. Mikhaylov, L. A. Seidman, E. P. Kirilenko, Yu. V. Kolkovsky

Modeling the processes of formation of defects that form deep levels in $\text{SiON}/\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ 204—216

NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY

V. V. Sleptsov, L. V. Kozhitov, A. O. Diteleva, D. Yu. Kukushkin, A. V. Popkova

Status and prospects for the development of mobile power sources..... 217—233

PHYSICAL CHARACTERISTICS AND THEIR STUDY

**K. V. Feklistov, A. G. Lemzyakov, A. A. Shklyaev, D. Yu. Protasov,
A. S. Deryabin, E. V. Spesivsev, D. V. Gulyaev, A. M. Pugachev, D. G. Esaev**

The barriers for electron and hole injection from Si substrate
into the RF magnetron-deposited $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Er}$ films..... 234—247

V. V. Siksinn

A neutron source for the study of biological objects formed
from superficially touching cones made of borated spheroplastics 248—255

AUTHORS GUIDELINES 256