

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

ТОМ 27

4/24

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.
2024. Т. 27, № 4(108).

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.: +7(499)236–16–87, e-mail: met.misis@inbox.ru

Отпечатано в типографии
Издательского дома «МИСИС»,
119049, г. Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1.
тел.: +7(499)236–76–17.

Подписано в печать 14.01.2025.
Формат 60×90/8. Печать офсетная.
Заказ № 21845. Бумага офсетная.
Печ. л. 11,0. 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

Аккурин 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)
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)
Калошкин 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)
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, Шнайтта, 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. 27

4/24



Founders:

National University of Science
and Technology «MISIS»

Izvestiya vuzov. Materialy
elektronnoi tekhniki =
Materials of Electronics
Engineering. 2024, vol. 27, no. 4

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. Bdikin**, Dr. Sci. (Phys.–Math.), *Aveiro Institute of
Nanotechnology (AIN), University of Aveiro, Aveiro,
Portugal*
- 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*
- 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

- М. В. Зорина, М. С. Михайленко, А. Е. Пестов,
А. А. Перекалов, Н. И. Чхало**
Формирование антиотражающей структуры на поверхности монокристаллического кремния
ускоренными ионами Хе 287
- В. Г. Косушкин, С. И. Супельняк, Е. Н. Коробейникова, В. И. Стрелов**
Направленная кристаллизация твердых растворов $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ 295

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. ДИЭЛЕКТРИКИ

- Е. В. Забелина, Н. С. Козлова, А. А. Мололкин,
В. М. Касимова, Р. Р. Фахртдинов, А. В. Сосунов, И. С. Диденко**
Микротвердость кристаллов твердых растворов ниобата–танталата лития $\text{LiNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$ 306

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

- А. Р. Эль Занин, С. В. Борознин**
Квантово–химическое моделирование поверхностного модифицирования
углеродной нанотрубки типа «кресло» оксидом кобальта 317
- А. Н. Бусыгин, Б. Х. Габдулин, С. Ю. Удовиченко, Н. А. Шулаев,
А. Д. Писарев, А. Х. А. Ибрагим**
Нестационарная модель массопереноса зарядов в самосогласованном
электрическом поле для определения влияния температуры на электрофизические
свойства металлооксидного мемристора 324
- В. О. Турин, И. В. Назрицкий, Д. Д. Киреев, П. А. Андреев, Ю. В. Илюшина**
Модифицированная цепочка масса–в–массе 330
- К. О. Гуров**
Повышение стойкости электронных компонентов в системе индуктивного энергообеспечения
имплантируемых медицинских приборов 341

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

- С. В. Гущин, П. А. Рябочкина, А. А. Ляпин, С. В. Кузнецов,
В. А. Конюшкин, А. Н. Накладов, В. Ю. Пройдакова**
Особенности ап–конверсионной люминесценции концентрационных рядов монокристаллов
и наночастиц $\text{SrF}_2\text{—ErF}_3$ при возбуждении на уровень $^4I_{11/2}$ ионов Er^{3+} 348
- В. В. Сиксин, И. Ю. Щеголев**
Формирование смешанного источника эпитепловых нейтронов и сканирующего пучка
протонов на КПТ «Прометеус» для лечения опухолей в режиме флэш–терапии 358

- Список статей, опубликованных в 2024 году 369**

CONTENTS

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. SEMICONDUCTORS

M. V. Zorina, M. S. Mikhailenko, A. E. Pestov, A. A. Perekalov, N. I. Chkhalo

Formation of an antireflective structure on the surface
of single-crystal silicon by accelerated Xe ions 287—294

V. G. Kosushkin, S. I. Supelnyak, E. N. Korobeinikova, V. I. Strellov

Directional crystallization of $\text{Ge}_{1-x}\text{Si}_x$ solid solutions 295—305

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. DIELECTRICS

E. V. Zabelina, N. S. Kozlova, A. A. Mololkin, V. M. Kasimova,

R. R. Fakhrtdinov, A. V. Sosunov, I. S. Didenko

Microhardness of lithium niobate tantalate $\text{LiNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$ solid solutions crystals 306—316

MATHEMATICAL MODELING IN MATERIALS SCIENCE OF ELECTRONIC COMPONENTS

A. R. El Zanin, S. V. Boroznin

Quantum chemical modeling of the surface modification
of an “armchair” carbon nanotube with cobalt oxide 317—323

A. N. Busygin, B. H. Gabdulin, S. Yu. Udovichenko, N. A. Shulaev, A. D. Pisarev, A. H. A. Ebrahim

A non-stationary model of mass transfer in a self-consistent electrical field for determining
the influence of temperature on electrophysical properties of metal oxide memristors 324—329

V. O. Turin, I. V. Nazritsky, D. D. Kireev, P. A. Andreev, Yu. V. Ilyushina

Modified mass-in-mass chain 330—340

K. O. Gurov

Increasing the durability of electronic components in the inductive power supply system
of implantable medical devices 341—347

PHYSICAL CHARACTERISTICS AND THEIR STUDY

S. V. Gushchin, P. A. Ryabochkina, A. A. Lyapin, S. V. Kuznetsov,

V. A. Konyushkin, A. N. Nakladov, V. Yu. Proydakova

Features of up-conversion luminescence in concentration series of $\text{SrF}_2\text{--ErF}_3$ single crystals
and nanoparticles under excitation at the $^4I_{11/2}$ level of Er^{3+} ions 348—357

V. V. Siksin, I. Yu. Shchegolev

Formation of a mixed source of epithelial neutrons and a scanning proton beam at Prometheus CPT
for the treatment of tumors in flash therapy mode 358—368

List of publications for 2024 369—370