

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

МАТЕРИАЛЫ

ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

ТОМ 26

4/23

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, № 4(104).

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 19.01.2024.
Формат 60×90/8. Печать офсетная.
Заказ № 20948. Бумага офсетная.
Печ. л. 12,0. 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

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)
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)
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, Шнайттах, 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

4/23



Founders:

National University of Science
and Technology «MISIS»

Izvestiya vuzov. Materialy
elektronnoi tekhniki =
Materials of Electronics
Engineering. 2023, vol. 26, 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. 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. ДИЭЛЕКТРИКИ

- И. С. Воронина, Е. Э. Дунаева, Л. И. Ивлева, Л. Д. Исхакова,
А. Г. Папашвили, М. Е. Дорошенко**
Исследование процессов диффузии ионов кобальта в кристаллах ортованадата кальция 261

- Е. В. Забелина, Н. С. Козлова, О. А. Бузанов**
Влияние легирования на оптические свойства кристаллов лантан–галлиевого танталата 272

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- В. В. Куц, А. В. Турутин, И. В. Кубасов, А. М. Кислюк, Э. Э. Максумова,
А. А. Темиров, Н. А. Соболев, М. Д. Малинкович, Ю. Н. Пархоменко**
Детектирование неоднородных магнитных полей при помощи магнитоэлектрического композита ... 279

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

- А. Н. Алёшин, О. А. Рубан**
Активационные процессы при работе ионного мемристора $\text{Ag}/\text{SnSe}/\text{Ge}_2\text{Se}_3/\text{W}$
с самоформирующимся токопроводящим каналом 290

- Д. П. Радченко, И. В. Запороцкова, Л. В. Кожитов, П. А. Запороцков,
А. В. Попкова, В. Г. Косушкин**
Моделирование радиопоглощающих свойств пиролизованного полиакрилонитрила
в диапазоне частот от 3 до 50 ГГц 300

- К. А. Иванов, Е. В. Каевицер, А. А. Золотарев**
Расчет механического напряжения под действием силы теплового расширения
в трехмерных твердотельных конструкциях с помощью математического моделирования 309

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

- М. А. Борик, А. В. Кулебякин, Е. Е. Ломонова, Ф. О. Милович, В. А. Мызина,
П. А. Рябочкина, Н. В. Сидорова, Н. Ю. Табачкова, А. С. Числов**
Влияние термообработки на структуру и механические свойства кристаллов диоксида циркония,
частично стабилизированных оксидом самария 320

АТОМНЫЕ СТРУКТУРЫ И МЕТОДЫ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- М. В. Силибин, П. А. Складар, В. Д. Живулько, С. И. Латушко, Д. В. Желудкевич, Д. В. Карпинский**
Кристаллическая структура твердых растворов $0,65\text{BiFeO}_3\text{—}0,35\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$
в области морфотропной фазовой границы 332

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- А. А. Зацаринный, К. К. Абгарян**
Об актуальности проблемы синтеза новых материалов в условиях инновационного
развития промышленности 342

- Список статей, опубликованных в 2023 году 351**

CONTENTS

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. DIELECTRICS

**I. S. Voronina, E. E. Dunaeva, L. I. Ivleva, L. D. Iskhakova,
A. G. Papashvili, M. E. Doroshenko**

Investigation of the cobalt ions diffusion processes in calcium orthovanadate crystals 261—271

E. V. Zabelina, N. S. Kozlova, O. A. Buzanov

Effect of doping on the optical properties of lanthanum–gallium tantalate 272—278

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. MAGNETIC MATERIALS

**V. V. Kuts, A. V. Turutin, I. V. Kubasov, A. M. Kislyuk, E. E. Maksumova,
A. A. Temirov, N. A. Sobolev, M. D. Malinkovich, Yu. N. Parkhomenko**

Detection of inhomogeneous magnetic fields by magnetoelectric composite 279—289

MATHEMATICAL MODELING IN MATERIALS SCIENCE OF ELECTRONIC COMPONENTS

A. N. Aleshin, O. A. Ruban

Activation processes during operation of an Ag/SnSe/Ge₂Se₃/W ion memristor
with a self-directed current-conducting channel 290—299

**D. P. Radchenko, I. V. Zaporotskova, L. V. Kozhitov,
P. A. Zaporotskov, A. V. Popkova, V. G. Kosushkin**

Simulation of the radio absorbing properties of pyrolyzed polyacrylonitrile
in the frequency range from 3 to 50 GHz 300—308

K. A. Ivanov, E. V. Kaevitser, A. A. Zolotarev

Method for calculating a thermal expansion induced mechanical stress
in three-dimensional solid-state structures using mathematical modeling 309—319

PHYSICAL CHARACTERISTICS AND THEIR STUDY

**M. A. Borik, A. V. Kulebyakin, E. E. Lomonova, F. O. Milovich, V. A. Myzina,
P. A. Ryabochkina, N. V. Sidorova, N. Yu. Tabachkova, A. S. Chislov**

Influence of heat treatment on the structure and mechanical properties
of zirconium dioxide crystals partially stabilized by samarium oxide 320—331

ATOMIC STRUCTURES AND STRUCTURAL STUDY METHODS

M. V. Silibin, P. A. Sklyar, V. D. Zvivulko, S. I. Latushko, D. V. Zheludkevich, D. V. Karpinsky

Crystal structure of solid solutions 0.65BiFeO₃–0.35Ba_{1–x}Sr_xTiO₃ in the region
of morphotropic phase boundary 332—341

GENERAL QUESTIONS

A. A. Zatsarinnyy, K. K. Abgaryan

On the relevance of the problem of synthesis of new materials in the conditions
of innovative industrial development 342—350

List of publications for 2023 351—352