

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

## ТОМ 25 2/22

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.  
2022. Т. 25, № 2(93).

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 21.07.2022.  
Формат 60×90/8. Печать офсетная.  
Заказ № 15961. Бумага офсетная.  
Печ. л. 9,0. Тираж 150. Цена свободная.

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

Редактор М. И. Воронова  
Корректор А. В. Шемерова  
Верстка А. А. Космынина

#### Главный редактор

**ПАРХОМЕНКО ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ,**

д-р физ.-мат. наук, проф. (АО «Гиредмет» ГНЦ РФ, 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)  
**Дзуреченский 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. УАИ (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 ВАК Минобразования РФ включен в «Перечень периодических  
и научно-технических изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых  
рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание  
ученой степени доктора наук».

Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Materialy elektronnoi tekhniki

# Materials of Electronics Engineering

Vol. 25

2/22



## Founders:

National University of Science  
and Technology «MISIS»

**Izvestiya vuzov. Materialy  
elektronnoi tekhniki =  
Materials of Electronics  
Engineering. 2022, vol. 25, no. 2**

*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 A. V. Shchemerova

## Editor-in-Chief

**Yuri N. Parkhomenko**, Prof., Dr. Sci. (Phys.–Math.),  
Scientific Chief of the State Scientific–Research and Design Institute of Rare–Metal Industry «Giredmet» JSC

## 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. Bdkin**, 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

**С. П. Кобелева**

Определение отклонения от стехиометрии в широкозонных полупроводниковых соединениях  $A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$  по составу равновесной паровой фазы..... 107

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. ДИЭЛЕКТРИКИ

**Д. А. Агарков, М. А. Борик, Г. М. Кораблева, А. В. Кулебякин,  
Е. Е. Ломонова, Ф. О. Милович, В. А. Мызина, П. А. Попов, Н. Ю. Табачкова**

Теплопроводность монокристаллов твердых растворов на основе диоксида циркония, стабилизированных оксидами скандия, иттрия, гадолиния и иттербия..... 115

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И МАТЕРИАЛОВ

**С. Ж. Токмолдин, В. В. Клименов, Д. В. Гирин, Н. А. Чучвага,  
К. П. Аймаганбетов, М. П. Кишкенебаев, С. Н. Тараканова, Н. С. Токмолдин**

Разработка мобильной автономной солнечной электростанции с использованием твердотельных гетеропереходных фотоэлементов для нужд аграрной промышленности..... 125

### НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

**С. В. Борознин, И. В. Запороцкова, П. А. Запороцков,  
Н. П. Борознина, М. Govindhasamy, Л. В. Кожитов, А. В. Попкова**

Интеркалированные атомами металлов углеродные нанотрубки с примесными атомами бора, как базис для создания нанопроводов: теоретические исследования ..... 137

**В. В. Слепцов, А. О. Дителева, Д. Ю. Кукушкин, Р. А. Цырков, Е. О. Дителева**

Вакуум как континуальная среда, формирующая энергетические неоднородности с высокой плотностью энергии в жидкой фазе ..... 146

### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Н. С. Козлова, Е. А. Левашов, Ф. В. Кирюханцев-Корнеев,  
А. Д. Сытченко, Е. В. Забелина**

Возможности многоугловой спектrophотометрии для определения параметров пленок на однослойных структурах ..... 154

**В. Н. Абрютин, Е. В. Давыдова, М. А. Егоров, И. И. Марончук, Д. Д. Санникович**

Глубокая очистка теллура, цинка и кадмия для применения в электронике ..... 164

---

## CONTENTS

---

### **MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. SEMICONDUCTORS**

**S. P. Kobeleva**

Determination of stoichiometry deviation in wide-band II–VI semiconductors on the basis of equilibrium vapor phase composition ..... 107—114

### **MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. DIELECTRICS**

**D. A. Agarkov, M. A. Borik, G. M. Korableva, A. V. Kulebyakin,  
E. E. Lomonova, F. O. Milovich, V. A. Myzina, P. A. Popov, N. Yu. Tabachkova**

Thermal conductivity of single crystals zirconia stabilized by scandium, yttrium, gadolinium, and ytterbium oxides..... 115—124

### **SIMULATION OF PROCESSES AND MATERIALS**

**S. Zh. Tokmoldin, V. V. Klimenov, D. V. Girin, N. A. Chuchvaga,  
K. P. Aimaganbetov, M. P. Kishkenebaev, S. N. Tarakanova, N. S. Tokmoldin**

Development of a mobile autonomous solar power plant for the needs of agriculture ..... 125—136

### **NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY**

**S. V. Boroznin, I. V. Zaporotskova, P. A. Zaporotskov, N. P. Boroznina,  
M. Govindhasamy, L. V. Kozhitov, A. V. Popkova**

Carbon nanotubes intercalated by metal atoms with impurity boron atoms as a basis for creating nanowires: theoretical research..... 137—145

**V. V. Sleptsov, A. O. Diteleva, D. Yu. Kukushkin, R. A. Tsyrvkov, E. O. Diteleva**

Vacuum as a continuum medium forming energy inhomogeneities with high energy density in the liquid phase ..... 146—153

### **PHYSICAL CHARACTERISTICS AND THEIR STUDY**

**N. S. Kozlova, E. A. Levashov, Ph. V. Kiryukhantsev-Korneev, A. D. Sytchenko, E. V. Zabelina**

The possibilities of multi-angle spectrophotometry for determining the parameters of films on single-layer structures ..... 154—163

**V. N. Abryutin, E. V. Davydova, M. A. Egorov, I. I. Maronchuk, D. D. Sanikovich**

Deep purification of tellurium, zinc and cadmium for use in electronic devices ..... 164—174