

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

ТОМ 25

1/22

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, № 1(92).*

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 14.04.2022.  
Формат 60×90/8. Печать офсетная.  
Заказ № 15829. Бумага офсетная.  
Печ. л. 12,75. 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. УКАН (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

1/22



## Founders:

National University of Science  
and Technology «MISIS»

**Izvestiya vuzov. Materialy  
elektronnoi tekhniki =  
Materials of Electronics  
Engineering. 2022, vol. 25, no. 1**

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

**Address of correspondence:**  
National University of Science  
and Technology «MISIS»,  
4 Leninskiy Prospekt, 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.), Prof., *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

<b>А. А. Харченко, Ю. А. Федотова, В. Ю. Слабухо, А. К. Федотов, А. В. Пашкевич, И. А. Свито, М. В. Бушинский</b> Электрические и гальваномагнитные свойства монокристаллов черного фосфора .....	5
--	---

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. ПОЛУПРОВОДНИКИ

<b>А. В. Наумов, Д. Л. Орехов</b> Новый этап развития рынка поликристаллического кремния .....	23
---	----

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. ДИЭЛЕКТРИКИ

<b>А. М. Кислюк, Т. С. Ильина, И. В. Кубасов, Д. А. Киселев, А. В. Турутин, А. А. Темиров, А. С. Шпортенко, М. Д. Малинкович, Ю. Н. Пархоменко</b> Деградация электропроводности заряженной доменной стенки в кристаллах восстановленного ниобата лития .....	39
---	----

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<b>Н. А. Каланда, М. В. Ярмолич, А. Л. Гурский, А. В. Петров, А. Л. Желудкевич, О. В. Игнатенко, М. Сердечнова</b> Кислородная нестехиометрия и магнитные свойства легированных манганитов $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{Mn}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_{3-\delta}$ .....	52
--	----

### НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

<b>С. В. Борознин</b> Углеродные наноструктуры, содержащие примесные атомы бора: особенности получения, физико–химические свойства и возможности применения .....	64
---	----

### АТОМНЫЕ СТРУКТУРЫ И МЕТОДЫ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

<b>К. Д. Щербачев, М. И. Воронова</b> Применение методов рентгеновской дифрактометрии и рефлектометрии для анализа нарушенного слоя полярных граней ZnO после химико–механической обработки поверхности .....	92
--	----

---

---

## CONTENTS

---

<b>A. A. Kharchenko, J. A. Fedotova, V. Yu. Slabukho, A. K. Fedotov, A. V. Pashkevich, I. A. Svito, M. V. Bushinsky</b>	
Electrical and galvanomagnetic properties of black phosphorus single crystals.....	5—22

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

<b>A. V. Naumov, D. L. Orehov</b>	
The modern phase of the polysilicon market.....	23—38

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

<b>A. M. Kislyuk, T. S. Ilina, I. V. Kubasov, D. A. Kiselev, A. A. Temirov, A. V. Turutin, A. S. Shportencko, M. D. Malinkovich, Yu. N. Parkhomenko</b>	
Degradation of the electrical conductivity of the charged domain wall in reduced lithium niobate .....	39—51

### **MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY. MAGNETIC MATERIALS**

<b>N. A. Kalanda, M. V. Yarmolich, A. L. Gurskii, A. V. Petrov, A. L. Zhaludkevich, O. V. Ignatenko, M. Serdechnova</b>	
Oxygen nonstoichiometry and magnetic properties of doped manganites $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{Mn}_{0.95}\text{Fe}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$ .....	52—63

### **NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY**

<b>S. V. Boroznin</b>	
Carbon nanostructures containing boron impurity atoms: synthesis, physicochemical properties and potential applications .....	64—91

### **ATOMIC STRUCTURES AND STRUCTURAL STUDY METHODS**

<b>K. D. Shcherbachev, M. I. Voronova</b>	
Application of X-ray diffraction and reflectometry methods for analysis of damaged layers on polar faces of ZnO after surface chemical–mechanical treatment .....	92—102

---