



# **ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА**

## **СЕРИЯ 3 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА**

Научно-технический журнал

Выпуск 2(186) 2022

---

# **ELECTRONIC ENGINEERING**

## **SERIES 3 MICROELECTRONICS**

Scientific & Technical Journal

Выпуск 2(186) 2022

Москва, 2022



**«ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА.****Серия 3.****МИКРОЭЛЕКТРОНИКА»****Редакционный совет****Главный редактор****Красников Геннадий Яковлевич,**  
д. т. н., академик РАН**Члены редакционного совета****Асеев Александр Леонидович,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Baklanov M. R.,** Dr. Sc.**Бетелин Владимир Борисович,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Бокарев Валерий Павлович,**

ответственный секретарь, д. т. н.

**Бугаев Александр Степанович,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Быков Виктор Александрович,**

д. т. н.

**Галиев Галиб Бариевич,** д. ф.-м. н.**Горбачевич Александр Алексеевич,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Горнев Евгений Сергеевич,**

зам. главного редактора,

д. т. н., член-корреспондент РАН

**Зайцев Николай Алексеевич,** д. т. н.**Ким Александр Кирилович,** к. т. н.**Критенко Михаил Иванович,** к. т. н.**Maev Roman Gr.,** Dr. Sc.**Петричкович Ярослав Ярославович,**

д. т. н.

**Рощупкин Дмитрий Валентинович,**

д. ф.-м.н., член-корреспондент РАН

**Сигов Александр Сергеевич,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Стемпковский Александр****Леонидович,** д. т. н., академик РАН**Чаплыгин Юрий Александрович,**

д. т. н., академик РАН

**Шелепин Николай Алексеевич,**

зам. главного редактора, д. т. н.

**Эннс Виктор Иванович,** к. т. н.**Адрес редакции**✉ Россия, 124460, Москва,  
Зеленоград, улица Академика  
Валиева, дом 6, стр. 1

☎ +7 495 229-70-43

✉ journal\_EEM-3@mikron.ru  
www.niime.ru/  
zhurnal-mikroelektronika

Журнал издается с 1965 года

**Учредитель**АО «Научно-исследовательский  
институт молекулярной  
электроники»**Слово редактора** ..... 4**Разработка и конструирование****А.С. Кравцов**Принципы функционирования кэш-памяти в иерархических  
компьютерных системах для работы с мультимедийными  
приложениями. Часть 1. .... 5**В.В. Лосев, Д.Н. Морозов, В.В. Репин**Разработка схемы RSSI с автоматической компенсацией  
выходного смещения в технологическом базисе 90 нм ..... 14**С.В. Милютин, А.С. Надин, Д.С. Шипицин**Особенности дополнительных правил проектирования  
для библиотек цифровых стандартных ячеек ..... 19**S.V. Milyutin, A.S. Nadin, D.S. Shipitsin**

Features of additional design rules for digital standard cell libraries ..... 24

**Процессы и технология****Г.Я. Красников, Е.С. Горнев, Д.С. Мизгинов**Исследование электрических характеристик мемристорных  
структур на основе нитрида кремния ..... 29**G.Ya.Krasnikov, E.S. Gornev, D.S. Mizginov**Investigation of the electrical characteristics of memristor structures  
based on silicon nitride ..... 32**А.Н. Беленков, В.А. Овчинников, С.И. Морозов, Н.С. Хрущев**Опыт коррекции эффектов близости при формировании  
изображения топологического рисунка ИС на фотошаблоне  
методом электронной литографии ..... 35**Свойства материалов****Н.А. Захаров, В.А. Клюев, В.П. Бокарев, Е.В. Шелехов,****В.В. Матвеев, А.Д. Алиев, М.Р. Киселев, Е.М. Коваль,****Т.В. Захарова, Л.В. Гоева, А.П. Нечипоренко**Термоактивация как метод анализа материалов для  
биоэлектроники: Нанокристаллический гидроксипатит кальция  
 $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  ..... 40**Квантовые компьютеры****И.В. Матюшкин, О.А. Тельминов**Формально-философские вопросы коннекционизма и актуальные  
проблемы разработки нейроморфных систем ..... 49**Надёжность****Е.С. Рыбалко, В.Д. Мещанов, Н.А. Шелепин, Д.А. Лагаев**Повышение стойкости КМОП КНИ микросхем к дозе радиации  
методом подачи на подложку управляемого отрицательного  
напряжения ..... 60**Аннотации** ..... 69Журнал включен Всероссийской аттестационной комиссией (ВАК)  
в число изданий, рекомендованных для публикации статей  
соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук № 1969

**“ELECTRONIC ENGINEERING.  
Series 3.  
MICROELECTRONICS”**

**Editorial Council  
Chief Editor**

**Krasnikov G. Ya.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS

**The Members of Editorial Council**

**Aseev A. L.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS  
**Baklanov M. R.**, Sc. D.,  
**Betelin V. B.**, Sc. D., Full  
Member of the RAS  
**Bokarev V. P.**, Sc. D.,  
Responsible Secretary  
**Bugaev A. S.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS  
**Bykov V. A.**, Sc. D.  
**Galiev G. B.**, Sc. D.  
**Gorbatsevich A. A.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS  
**Gornev E. S.**, Sc. D.,  
Corresponding Member  
of the RAS, Deputy Chief Editor

**Zaitsev N. A.**, Sc. D.

**Kim A. K.**, Ph. D.  
**Kritenko M. I.**, Ph. D.  
**Maev Roman Gr.**, Sc. D.  
**Petrichkovich Ya. Ya.**, Sc. D.,  
**Roshchupkin D.V.**, Sc. D.  
Corresponding Member of the RAS  
**Sigov A. S.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS  
**Stempkovskiy A. L.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS  
**Chaplygin Yu. A.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS  
**Shelepin N. A.**, Sc. D.,  
Deputy Chief Editor  
**Enns V. I.**, Ph. D.

**Editorial Staff Address**

📍 6/1, Akademika Valieva street,  
Zelenograd, Moscow 124460,  
Russian Federation  
☎ +7 495 229-70-43  
✉ journal\_EEM-3@mikron.ru  
www.niime.ru/  
zhurnal-mikroelektronika  
The journal is published since 1965

**Founder**

“Molecular Electronics Research  
Institute”, Stock Company

**Editor’s Column** ..... 4

**Development and Designing**

**A.S. Kravtsov**

Principles of cache memory functioning in hierarchical computer  
systems for working with multimedia applications. Part 1 ..... 5

**V.V. Losev, D.N. Morozov, V.V. Repin**

Design procedure of 90 nm RSSI with dc offset automatic correction ..... 14

**S.V. Milyutin, A.S. Nadin, D.S. Shipitsin**

Features of additional design rules for digital standard cell libraries ..... 19

**Processes and Technology**

**G.Ya.Krasnikov, E.S. Gornev, D.S. Mizginov**

Investigation of the electrical characteristics of memristor structures  
based on silicon nitride ..... 29

**A.N. Belenkov, V.A. Ovchinnikov, S.I. Morozov,  
N.S. Khrushchev**

Experience in correction of proximity effects in the process  
of ic topological patterns image formation on a photomask  
by means of electron lithography ..... 35

**Properties of Materials**

**N.A. Zakharov, V.A. Kluev, V.P. Bokarev, E.V. Sheleckov,  
V.V. Matveev, A.D. Aliev, M.R. Kiselev, E.M. Koval,  
T.V. Zakharova, L.V. Goeva, A.P. Nechiporenko**

Thermoactivation as an analytical method for bioelectronic materials:  
nanocrystalline calcium hydroxyapatete  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  ..... 40

**Quantum Computers**

**I.V. Matyushkin, O.A. Telminov**

Formal and philosophical issues of connectionism and actual problems  
of neuromorphic systems design ..... 49

**Reliability**

**E.S. Rybalko, V.D. Meschanov, N.A. Shelepin, D.A. Lagaev**

Total ionizing dose hardening of CMOS SOI integrated circuits  
by applying controlled negative substrate bias voltage ..... 60

**Abstracts** ..... 69

The journal has included in the number of publications recommended  
for publication of articles by applicants for academic degrees of  
candidate and doctor of Sciences №1969 by the all-Russian attestation  
Commission (НАС)

## ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЭШ-ПАМЯТИ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ РАБОТЫ С МУЛЬТИМЕДИЙНЫМИ ПРИЛОЖЕНИЯМИ

### Часть 1. Назначение и структура кэш-памяти

В статье проводится анализ применения кэш-памяти в компьютерных системах, особенности функционирования систем с кэш-памятью и без нее, указывается обоснование использования специализированной памяти для увеличения быстродействия, приводятся ключевые термины и понятия, описывающие принципы функционирования кэш-памяти и рассматриваются особенности различных типов кэшей.

**Ключевые слова:** кэш-память, процент попаданий, процент промахов, строка кэша, полностью ассоциативный кэш, наборно-ассоциативный кэш, кэш прямого отображения.

### Сведения об авторе:

Кравцов Александр Сергеевич, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6/1, e-mail: akravtsov@niime.ru

## РАЗРАБОТКА СХЕМЫ RSSI С АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ ВЫХОДНОГО СМЕЩЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ БАЗИСЕ 90 НМ

В работе представлена методика проектирования детекторов уровня принимаемого сигнала с автоматической коррекцией выходного смещения, построенных на основе логарифмического усилителя с емкостной развязкой и гальванической связью. Описан принцип процесса логарифмирования схемы последовательного детектирования. Схемы разработаны в технологическом базисе «Микрон» 90 нм (HCMOS10\_LP CMOS 90 nm). Представлена структурная схема и усилители-детекторы.

**Ключевые слова:** RSSI, логарифмический детектор, АЦП, широкий динамический.

### Сведения об авторах:

Лосев Владимир Вячеславович, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, д. 1, e-mail: dsd@miee.ru

Морозов Дмитрий Николаевич, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, д. 1, e-mail: lols.rexxar@yandex.ru

Репин Владимир Валериевич, кандидат технических наук, Акционерное Общество «Научно-исследовательский институт микроэлектронной аппаратуры «Прогресс», 125183, г. Москва, проезд Черепановых, д. 54, e-mail: v.repin@mri-progress.ru

## ОСОБЕННОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПРАВИЛ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ БИБЛИОТЕК ЦИФРОВЫХ СТАНДАРТНЫХ ЯЧЕЕК

В статье описываются дополнительные методологические проверки MRC (Methodology-Rules-Checks) для библиотек цифровых стандартных ячеек DDK (Digital-Design-Kit), которые позволяют стандартизировать топологическую конструкцию ячейки, описать требования к трассировке и стыковке ячеек при сборке в функциональный блок.

**Ключевые слова:** методологические проверки, MRC, граница ячейки, трассировочная сетка.

### Сведения об авторах:

Милютин Сергей Владимирович, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, строение 1, e-mail: smilyutin@niime.ru

Надин Алексей Семенович, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, строение 1, e-mail: anadin@niime.ru

Шипицын Дмитрий Святославович, кандидат физико-математических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, строение 1, e-mail: dshipitsin@niime.ru

## CACHE MEMORY FUNCTIONING PRINCIPLES IN HIERARCHICAL COMPUTER SYSTEMS FOR WORKING WITH MULTIMEDIA APPLICATIONS

### Part 1. Functions and structure of the cache

In that part of article analyzes the use of cache memory in computer systems, features of the functioning of systems with and without cache memory, justify for using specialized memory to increase performance, provides key terms that describe the principles of functioning of the cache memory and describes the features of various types of caches.

**Keywords:** cache, cache memory, cache hit, cache miss, cache line, fully associative cache, N-way set associative cache, direct mapped cache.

### Data of author:

Kravtsov Aleksandr Sergeevich, Stock Company "Molecular Electronics Research Institute", 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, Russia, 124460, e-mail: akravtsov@niime.ru

## DESIGN PROCEDURE OF 90 NM RSSI WITH DC OFFSET AUTOMATIC CORRECTION

The paper presents design procedure of received signal strength indicator with DC-offset automatic correction based on a logarithmic amplifier with capacitive and galvanic isolation. Progressive-compression parallel-summation signal processing are described. Devices are developed Mikron 90 nm technology (HCMOS10\_LP CMOS 90 nm). The block diagram and amplifier-detector are presented in the article.

**Keywords:** RSSI, logarithmic detector, ADC, wide dynamic range.

### Data of authors:

Losev Vladimir Vyacheslavovich, Doctor of technical science, Associate Professor, National Research University of Electronic Technology; Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: dsd@miee.ru

Morozov Dmitry Nikolaevich, National Research University of Electronic Technology; Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: lols.rexxar@yandex.ru

Repin Vladimir Valerievich, candidate of Engineering Sciences, «Progress Microelectronics Research Institute» Joint Stock Company; Bld. 54, Cherepanovykh Ave., Moscow, Russia, 125183, e-mail: v.repin@mri-progress.ru

## FEATURES OF ADDITIONAL DESIGN RULES FOR DIGITAL STANDARD CELL LIBRARIES

The article describes additional methodological checks MRC (Methodology-Rules-Checks) for digital standard cell libraries DDK (Digital-Design-Kit), which allow you to standardize the topological design of the cell, describe the requirements for tracing and joining cells when assembling into a functional block.

**Keywords:** methodological checks, MRC, cell boundary, trace grid.

### Data of authors:

Milyutin Sergey Vladimirovich, «Molecular Electronic Research Institute» Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: smilyutin@niime.ru

Nadin Alexey Semyonovich, «Molecular Electronic Research Institute» Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: anadin@niime.ru

Shipitsin Dmitry Svyatoslavovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, «Molecular Electronic Research Institute» Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: dshipitsin@niime.ru



### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕМРИСТОРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НИТРИДА КРЕМНИЯ

В статье проведено исследование времени хранения заряда в мемристоре на основе  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Определены профиль распределения ловушек в запрещенной зоне  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , их энергия и концентрация.

**Ключевые слова:** мемристор, нитрид кремния, хранение информации, энергия ловушек, концентрация ловушек.

#### Сведения об авторах:

Красников Геннадий Яковлевич, академик Российской академии наук, д.т.н.; Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1; e-mail: gkrasnikov@niime.ru

Горнев Евгений Сергеевич, член-корр. РАН, д.т.н.; Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1, e-mail: egornev@niime.ru

Мизгинов Дмитрий Сергеевич, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1; e-mail: dmizginov@niime.ru

### ОПЫТ КОРРЕКЦИИ ЭФФЕКТОВ БЛИЗОСТИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО РИСУНКА ИС НА ФОТОШАБЛОНЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛИТОГРАФИИ

Представлен опыт разработки технологии проектирования дизайна фотошаблона, основного инструмента литографического процесса, с целью обеспечения геометрической формы топологических элементов, максимально приближенной к проектным данным.

**Ключевые слова:** фотошаблон, электронно-лучевая литография, коррекция эффектов близости, дифференциация дозы экспонирования.

#### Сведения об авторах:

Беленков Александр Николаевич, АО «Зеленоградский инновационно-технологический центр» (АО «ЗИТЦ»), 124527, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Солнечная аллея, д. 6; e-mail: belenkov@zitc.ru

Овчинников Вячеслав Алексеевич, кандидат технических наук, АО «Зеленоградский инновационно-технологический центр» (АО «ЗИТЦ»), 124527, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Солнечная аллея, д. 6; e-mail: ova@fotoshablons.ru

Морозов Сергей Игоревич, АО «Зеленоградский инновационно-технологический центр» (АО «ЗИТЦ»), 124527, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Солнечная аллея, д. 6; e-mail: morozov@fotoshablons.ru

Хрущев Никита Сергеевич, АО «Зеленоградский инновационно-технологический центр» (АО «ЗИТЦ»), 124527, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Солнечная аллея, д. 6; e-mail: khrushchev@fotoshablons.ru

### ТЕРМОАКТИВАЦИЯ КАК МЕТОД АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БИОЭЛЕКТРОНИКИ: НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ГИДРОКСИАПАТИТ КАЛЬЦИЯ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

В интервале температур 310–600 К исследована температурная зависимость термостимулированных токов (ТСТ) нанокристаллического стехиометрического гидроксипатита кальция  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  (ГА) (НКГА) – аналога неорганической компоненты костной ткани, перспективного материала для устройств биоэлектроники, синтезированного в биомиметических условиях. Продукты синтеза идентифицированы методами физико-химического анализа (РФА, ИКС, ДТГ, ДСК, ЭСХА, СЭМ, ПЭМ) и проанализировано влияние степени дисперсности НКГА и условий синтеза на ТСТ.

**Ключевые слова:** гидроксипатит, биоэлектроника, синтез, свойства, термостимулированные токи.

### FEATURES OF ADDITIONAL DESIGN RULES FOR DIGITAL STANDARD CELL LIBRARIES

In this article, a study was made of the charge storage time in a memristor based on  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . The distribution profile of traps in the band gap of  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , their energy and concentration are determined.

**Keywords:** memristor, silicon nitride, data storage, trap energy, trap concentration.

#### Data of authors:

Krasnikov Gennady Yakovlevich, RAS academician, Dr. Sci.; «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1, Akademika Valieva street; e-mail: gkrasnikov@niime.ru

Gornev Evgeni Sergeevich, Correspondent Member RAS, Dr. Sci.; «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company; 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1, Akademika Valieva street, e-mail: egornev@niime.ru

Mizginov Dmitriy Sergeevich, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1; Akademika Valieva street, e-mail: dmizginov@niime.ru

### TOTAL IONIZING DOSE HARDENING OF CMOS SOI Integrated circuits BY APPLYING CONTROLLED NEGATIVE SUBSTRATE BIAS VOLTAGE

The document presents the experience of developing the design technology of photomask design, the main tool of lithographic process implementation, applied in order to ensure the necessary geometric shape of topological elements which is as close to the design data as possible.

**Keywords:** photomask, electron-beam lithography, correction of proximity effects, exposure dose differentiation.

#### Data of authors:

Belenkov Aleksandr Nikolayevich, Zelenograd Innovation and Technology Center JSC (ZITC JSC), 124527, Moscow, Zelenograd, ul. Solnechnaya Alleya, 6; e-mail: belenkov@zitc.ru

Ovchinnikov Vyacheslav Alekseevich, candidate of engineering Sciences, Zelenograd Innovation and Technology Center JSC (ZITC JSC), 124527, Moscow, Zelenograd, ul. Solnechnaya Alleya, 6; e-mail: ova@fotoshablons.ru

Morozov Sergey Igorevich, Zelenograd Innovation and Technology Center JSC (ZITC JSC), 124527, Moscow, Zelenograd, ul. Solnechnaya Alleya, 6; e-mail: morozov@fotoshablons.ru

Khrushchev Nikita Sergeevich, Zelenograd Innovation and Technology Center JSC (ZITC JSC), 124527, Moscow, Zelenograd, ul. Solnechnaya Alleya, 6; e-mail: khrushchev@fotoshablons.ru

### THERMOACTIVATION AS AN ANALYTICAL METHOD FOR BIOELECTRONIC MATERIALS: NANOCRYSTALLINE CALCIUM HYDROXYAPATITE $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

In temperature region 310–600 K the thermostimulated currents (TSC) dependence of nanocrystalline stoichiometrical calcium hydroxyapatite  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  (HA) (NCHA) – an analog of bone tissue, perspective material for bioelectronics devices synthesized in biomimetic conditions was investigated. The synthesized products were identified with methods of physical and chemical analysis (XRay, IKS, DTG, DSK, ESCA, SEM, PEM) and effect of NCHA degree dispersion on TSC were analysed.

**Keywords:** hydroxyapatite, bioelectronics, synthesis, properties, thermostimulated currents.

**Сведения об авторах:**

- Захаров Николай Алексеевич, доктор физико-математических наук; Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Клюев Валерий Андреевич, кандидат физико-математических наук; Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Бокарев Валерий Павлович, доктор технических наук, профессор; Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, РФ, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1; e-mail: vbokarev@niime.ru
- Гоева Людмила Викторовна, кандидат химических наук, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Матвеев Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук; Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Алиев Али Джавадович, кандидат физико-математических наук; Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Киселев Михаил Романович, кандидат физико-математических наук; Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Шелехов Евгений Владимирович, кандидат физико-математических наук; НИТУ «МИСИС», 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Коваль Елена Михайловна, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Захарова Татьяна Владимировна, кандидат физико-математических наук; РУТ МИИТ, 127994, РФ, ГСП-4, Москва, ул. Образцова, д. 9/9, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Нечипоренко Александр Петрович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, РФ, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, б/1, e-mail: anechiporenko@niime.ru

**ФОРМАЛЬНО-ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ КОННЕКЦИОНИЗМА И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ НЕЙРОМОРФНЫХ СИСТЕМ**

Обсуждаются и уточняются понятия коннекционистской К-системы (и нейроморфной НМ-системы). Отмечено важное значение феноменов коллективной нелинейной динамики на нагруженном графе. Наше понимание НМ-системы восходит к исходному определению Карвера Мида. Впервые вычленены признаки К-системы, указывается на её априорный характер, т.е. невозможность строгого определения, однако таковое предложено на языке теории множеств. Посредством представления о филактерии оттеняется технологический аспект К-системы и более широкий контекст инженерии НМ-систем. Приведены примеры.

**Ключевые слова:** общая теория систем, бионика, нелинейная динамика, коллективное поведение, коннекционизм, интеллект.

**Сведения об авторах:**

- Матюшкин Игорь Валерьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры ПКМИС Московского института электронной техники; АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, б, стр. 1, e-mail: imatyushkin@niime.ru
- Тельминов Олег Александрович, кандидат технических наук, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, б, стр. 1, e-mail: otelminov@niime.ru

**Data of authors:**

- Nikolay Alekseevich Zakharov, Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, RAS, Dr. Sci., professor; 117907, Russian Federation, Moscow, Leninskii pr., 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Valeriy Andreevich Kluev, Dr. Sci., Scientist, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist; 117907, Russian Federation, Moscow, Leninskii pr., 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Valeriy Pavlovich Bokarev, Dr. Sci., professor; «Molecular electronics research institute», Stock Company; 124460, Russian Federation, Moscow, Zelenograd, 6/1, Akademika Valieva street; e-mail: vbokarev@niime.ru
- Ludmila Viktorovna Goeva, Dr. Sci., Scientist, Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, RAS; 117907, Russian Federation, Moscow, Leninskii pr., 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Vladimir Vasilevich Matveev, Dr. Sci., Scientist, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist; 117907, Russian Federation, Moscow, Leninskii pr., 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Ali Dzhavadovich Aliev, Dr. Sci., Scientist, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist; 117907, Russian Federation, Moscow, Leninskii pr., 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Michail Romanovich Kiselev, Dr. Sci., Scientist, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist; 117907, Russian Federation, Moscow, Leninskii pr., 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Evgeniy Vladimirovich Schelekhov, Dr. Sci., Scientist, NITU "MISIS", scientist; 117907, Russian Federation, Moscow, Leninskii pr., 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Elena Mikhailovna Koval, Scientist, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist; 117907, Russian Federation, Moscow, Leninskii pr., 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Tatiana Vladimirovna Zakharova, Dr. Sci., Scientist, RUT MIIT; 127994, Russian Federation, Moscow, Obrastsova st., 9/9, e-mail: zakharov@igic.ras.ru
- Aleksandr Petrovich Nechiporenko, Dr. Sci., Molecular Electronics Research Institute, Stock Company, 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow 124460, Russian Federation, e-mail: anechiporenko@niime.ru

**FORMAL AND PHILOSOPHICAL ISSUES OF CONNECTIONISM AND ACTUAL PROBLEMS OF NEUROMORPHIC SYSTEMS DESIGN**

The concepts of the connectionistic C-system (and neuromorphic NM-system) are discussed and refined. The importance of the phenomena of collective nonlinear dynamics on a loaded graph is noted. Our understanding of the NM-system goes back to the original definition of Carver Mead. For the first time, the features of the K-system are isolated, its aprioristic nature is indicated, i.e. the impossibility of a strict definition, but such is proposed by means of set theory. Through the concept of phylactery, the technological aspect of the C-system and the broader context of the engineering of NM-systems are emphasized. Examples are given.

**Keywords:** general system theory, bionics, nonlinear dynamics, collective behavior, connectionism, intelligence.

**Data of authors:**

- Matyushkin Igor Valerevich, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, "National Research University of Electronic Technology", Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498; "Molecular Electronic Research Institute" Stock Company, 6/1, Akademika Valieva Ulitsa, Zelenograd, Moscow, 124460, e-mail: imatushkin@niime.ru
- Telminov Oleg Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, "Molecular Electronic Research Institute" Stock Company, 6/1, Akademika Valieva Ulitsa, Zelenograd, Moscow, 124460, e-mail: otelminov@niime.ru

### ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ КМОП КНИ МИКРОСХЕМ К ДОЗЕ РАДИАЦИИ МЕТОДОМ ПОДАЧИ НА ПОДЛОЖКУ УПРАВЛЯЕМОГО ОТРИЦАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотрено влияние отрицательного напряжения, подаваемого на подложку КМОП КНИ микросхем, на их радиационно-индуцированный ток утечки. Предложена методика ограничения радиационно-индуцированного тока утечки управляемым отрицательным напряжением смещения подложки. Рассмотрены особенности конструкции генератора управляемого напряжения смещения подложки, предназначенного для использования в составе микросхем с повышенной радиационной стойкостью. Приведены результаты исследования образцов КМОП КНИ микросхем, показывающие эффективность применения генератора управляемого напряжения.

**Ключевые слова:** КНИ, влияние дозы радиации, отрицательное напряжение подложки, генератор смещения подложки.

#### Сведения об авторах:

Рыбалко Егор Сергеевич; Общество с ограниченной ответственностью «НИИМЭ-микродизайн» (ООО «НИИМЭ-МД»), 124527, Россия, Москва, Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6, помещ. V, офис 18з; e-mail: rybalko@smd-001.ru

Мещанов Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук; Общество с ограниченной ответственностью «НИИМЭ-микродизайн» (ООО «НИИМЭ-МД»), 124527, Россия, Москва, Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6, помещ. V, офис 18з; e-mail: sitmd11@smd-001.ru

Шелепин Николай Алексеевич, доктор технических наук, профессор; Общество с ограниченной ответственностью «НИИМЭ-микродизайн» (ООО «НИИМЭ-МД»), 124527, Россия, Москва, Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6, помещ. V, офис 18з; e-mail: nshelepin@niime.ru

Лагаев Дмитрий Александрович; Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники» (АО «НИИМЭ»), 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1; e-mail: dlagaev@niime.ru

### TOTAL IONIZING DOSE HARDENING OF CMOS SOI Integrated circuits BY APPLYING CONTROLLED NEGATIVE SUBSTRATE BIAS VOLTAGE

The influence of negative substrate bias voltage on the radiation-induced leakage current of CMOS SOI integrated circuits is considered. A technique for limiting the radiation-induced leakage current by controlled negative substrate bias voltage is proposed. The design features of the controlled substrate bias voltage generator intended for use as part of radiation hardened integrated circuits are considered. The results of the study of CMOS SOI integrated circuits samples showing the efficiency of the substrate bias voltage generator are presented.

**Keywords:** SOI, total ionizing dose (TID) effects, negative substrate bias, substrate bias generator.

#### Data of authors:

Egor S. Rybalko; «NIIME-microdesign» Limited Liability Company («NIIME-MD» LLC), 124527, office 18z, pom. V, 6, Solnechnaya alleya, Zelenograd, Moscow, Russia; e-mail: rybalko@smd-001.ru

Vladimir D. Meschanov, Candidate in Technical Sciences; «NIIME-microdesign» Limited Liability Company («NIIME-MD» LLC), 124527, office 18z, pom. V, 6, Solnechnaya alleya, Zelenograd, Moscow, Russia; e-mail: sitmd11@smd-001.ru

Nikolay A. Shelepin, Doctor in Technical Sciences; «NIIME-microdesign» Limited Liability Company («NIIME-MD» LLC); 124527, office 18z, pom. V, 6, Solnechnaya alleya, Zelenograd, Moscow, Russia; e-mail: nshelepin@niime.ru

Dmitriy A. Lagaev; «Molecular Electronics Research Institute» («MERI»), 124460, Academician Valiev street, 6/1, Zelenograd, Moscow, Russia; e-mail: dlagaev@niime.ru

### ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА. Серия 3. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ©

Перерегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций 14 августа 2013 г., ПИ № ФС77-55092.

Журнал издается 4 раза в год с 1965 года.  
Подписано в печать 29.08.2022.

Отпечатано в ФГБУ Издательство «Наука» (Типография «Наука») 121099, Москва, Шубинский пер., 6  
Заказ № 28  
Тираж 500 экз. Цена договорная.

© При перепечатке ссылка на журнал «ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА. Серия 3. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА» обязательна. Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей. Рукописи рецензируются, но не возвращаются. Срок рассмотрения рукописей – 5 недель.

#### ИЗДАТЕЛЬ

ФГБУ Издательство «Наука»  
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90  
E-mail: info@naukaran.com  
<https://naukapublishers.ru>  
<https://naukabooks.ru>