



ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 3 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Научно-технический журнал

Выпуск 1(185) 2022

ELECTRONIC ENGINEERING

SERIES 3 MICROELECTRONICS

Scientific & Technical Journal

Выпуск 1(185) 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

Vaklanov 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 Киирович, к. т. н.**Критенко Михаил Иванович,** к. т. н.**Маев Roman Gr., Dr. Sc.****Петричкович Ярослав Ярославович,**

д. т. н.

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

УчредительАО «Научно-исследовательский
институт молекулярной
электроники»**Слово редактора** 4**Разработка и конструирование****Н.Н. Балан, В.В. Иванов, А.В. Кузовков, А.Л. Панкратов,
Е.В. Соколова, Е.Л. Харченко, Д.С. Шипицин**Специфика перехода к технологии «28 нм» в части разработки
фотошаблонов для проекционной фотолитографии 5**В.В. Шубин, Д.Б. Колосков**Новый высоковольтный КМОП преобразователь уровня
напряжения 20**V.V. Shubin, D.B. Koloskov**

A new high-voltage CMOS voltage level converter 28

**Е.А. Елисеичев, В.В. Михайлов, В.Ю. Беляев, Р.М. Жилин,
Е.О. Сенаторова**Устройство для регистрации мышечной активности методом
поверхностной электромиографии 35**Процессы и технология****С.Г. Бобков**Технология чиплетов – перспективное направление развития
русской микроэлектроники 42**S.G. Bobkov**Chiplet technology is a promising direction of microelectronics
development for Russia 52**В.Л. Евдокимов**Динамика микрочастиц в пограничных газовом и плазменном
слоях как фактор дефектообразования на подложке 61**Свойства материалов****А.А. Резванов, Е.А. Ганыкина, А.А. Орлов, С.А. Горохов,
С.С. Зюзин**Использование пористых материалов в качестве буферного слоя
в мемристорных структурах 69**Математическое моделирование****М.В. Черняев, С.А. Горохов, С.И. Патюков, Е.А. Ганыкина,
А.А. Резванов, И.А. Заев, В.А. Хорьков**Моделирование процесса ISSG окисления с применением модели
реактора идеального смешения 87**Е.Н. Белов, М.А. Королёв**Определение LC параметров корпуса ИМС методом
электромагнитного моделирования с целью построения
высокоточной модели вывода корпуса на высоких частотах 94**Аннотации** 104Журнал 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.
Gorbatshevich 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.
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

**N.N. Balan, V.V. Ivanov, A.V. Kuzovkov, A.L. Pankratov,
E.V. Sokolova, E.L. Kharchenko, D.S. Shipitsyn**
A 28 nm technology shift specifics with regard to photomask design 5

V.V. Shubin, D.B. Koloskov
A new high-voltage CMOS voltage level converter 20

**Evgeniy A. Eliseichev, Vladimir V. Mikhailov, Valeriy Yu. Beliaev,
Ruslan M. Zhilin, Ekaterina O. Senatorova**
Device for recording muscle activity by surface electromiography 35

Processes and Technology

S.G. Bobkov
Chiplet technology is a promising direction of microelectronics
development for Russia 42

V.L. Evdokimov
Dynamics of microparticles in the boundary gas and plasma layers
as a factor of defect formation on the substrate 61

Properties of Materials

**Askar A. Rezvanov, Ekaterina A. Ganykina, Andrey A. Orlov,
Sergey A. Gorokhov, Sergey S. Zyuzin**
Application of porous materials as a buffer layer in the memristor
structures 69

Mathematical simulation

**M.V. Chernyaev, S.A. Gorokhov, S.I. Patyukov,
E.A. Ganykina, A.A. Rezvanov, I.A. Zaev, V.A. Chorkov**
ISSG oxidation process simulation via well stirred reactor model 87

E.N. Belov, M.A. Korolev
Definition of the LC parameters of the ic package by using
electromagnetic simulation in order to build a high-precision model
of the package output pin at high frequencies 94

Abstracts 104

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)

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Перед вами очередной 185-й выпуск научно-технического издания «Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника».

В данном номере журнала внимание читателей привлекут тематические материалы, опубликованные под рубриками: «Разработка и конструирование», «Процессы и технология», «Свойства материалов», «Математическое моделирование».

Выпуск журнала представлен восемью оригинальными статьями, посвященными результатам актуальных научных исследований.

Номер открывается разделом «Разработка и конструирование», в первой статье которого рассмотрены основные технологические и инструментальные особенности разработки фотошаблонов для литографии с проектными нормами 28 нм и проведено их сопоставление с технологией производства СБИС с проектными нормами 90 нм. Во второй работе раздела представлены две схемы нового высоковольтного КМОП преобразователя уровня напряжения для низковольтного технологического процесса – НВПУН-1 и НВПУН-2. В третьей работе представлены результаты разработки устройства для регистрации мышечной активности методом поверхностной электромиографии на основе ЭМГ-датчика поверхностного типа.

В разделе «Процессы и технология» рассмотрено перспективное направление развития микроэлектроники на базе многокристальных сборок – чип-летов.

В следующей работе раздела рассмотрена динамика микрочастиц в пограничном градиентном потоке у поверхности пластины при газофазной термической и плазменной обработке и ее влияние на дефектообразование.



Следующий раздел «Свойства материалов» посвящён рассмотрению мемристорных структур с пористыми материалами в качестве буферного слоя.

В первой статье заключительного раздела «Математическое моделирование» представлено моделирование химических процессов в реакторе пониженного давления при проведении процесса окисления с генерацией пара у поверхности кремниевой пластины на установке быстрого термического окисления. Во второй статье последнего раздела приведены результаты полноволнового трехмерного электромагнитного моделирования методом конечных элементов в частотной области LGA корпуса микросхем для построения RLC модели вывода корпуса.

Приглашаем всех заинтересованных читателей к сотрудничеству!

С уважением,
главный редактор журнала,
академик РАН,

Г.Я. Красников

СПЕЦИФИКА ПЕРЕХОДА К ТЕХНОЛОГИИ «28 НМ» В ЧАСТИ РАЗРАБОТКИ ФОТОШАБЛОНОВ ДЛЯ ПРОЕКЦИОННОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ

В условиях текущего уровня развития российской микроэлектроники переход к проектным нормам «28 нм» влечет необходимость использования как более совершенных литографических установок и фотошаблонов более высоких групп качества, так и новых для отечественных разработчиков вычислительных методов, применяемых при проектировании фотошаблонов. В статье производится обзор основных касающихся разработки ФШ технологических и инструментальных особенностей, характерных для литографии проектных норм «28 нм», в сравнении с наиболее современной из имеющихся в России серийных технологий производства СБИС – технологией проектных норм «90 нм».

Ключевые слова: проекционная фотолитография; фотошаблон, точность совмещения, критические линейные размеры, спецификация на фотошаблон, уровень «90 нм», уровень «28 нм».

Сведения об авторах:

- Балан Никита Николаевич*, кандидат технических наук, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, 6/1, e-mail: nbalan@niime.ru;
- Иванов Владимир Викторович*, кандидат физико-математических наук, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, 6/1, e-mail: vlaivanov@niime.ru;
- Кузовков Алексей Валерьевич*, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, 6/1, e-mail: akuzovkov@niime.ru;
- Панкратов Александр Львович*, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, 6/1, e-mail: apankratov@niime.ru;
- Соколова Евгения Васильевна*, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, 6/1, e-mail: evsokolova@niime.ru;
- Харченко Екатерина Леонидовна*, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, 6/1, e-mail: ekharchenko@niime.ru;
- Шипицын Дмитрий Святославович*, кандидат физико-математических наук, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, 6/1, e-mail: dshipitsin@niime.ru

НОВЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ КМОП ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ

В статье представлены два высоковольтных КМОП преобразователя уровня напряжения. Описаны особенности построения и работы высоковольтного КМОП преобразователя, использующего низковольтные транзисторы. Приведены результаты сравнения схем различных высоковольтных КМОП преобразователей уровня напряжения по быстродействию. Предложенные варианты схем высоковольтных преобразователей уровня напряжения по быстродействию превосходят известные не менее чем на 14% и формируют выходные сигналы с меньшими искажениями.

Ключевые слова: КМОП, схемотехника, преобразователи уровня напряжения.

Сведения об авторах:

- Шубин Владимир Владимирович*, кандидат технических наук, Новосибирский государственный технический университет, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, e-mail: shubin@nzpp.ru;
- Колосков Дмитрий Борисович*, Новосибирский государственный технический университет, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, e-mail: dimakoloskov2009@gmail.com

A 28 NM TECHNOLOGY SHIFT SPECIFICS WITH REGARD TO PHOTOMASK DESIGN

The transition to 28 nm-node technology by russian IC manufacturers entails the need to use both more advanced lithographic tools and photomasks of higher grades, as well as new computational methods used in the mask design preparation. This article provides an overview of the main technological and instrumental differences between critical layers lithography in 28 nm-node and available in Russia now 90 nm-node.

Keywords: photolithography, photomask, overlay accuracy, CD errors budget, photomask specification, 90 nm-node, 28 nm-node.

Data of authors:

- Balan Nikita Nikolaevich*, Candidate of technical sciences, «Molecular Electronic Research Institute», Stock Company, 6/1, Akademika Valiyeva street, Zelenograd, Moscow, Russia, e-mail: nbalan@niime.ru;
- Ivanov Vladimir Viktorovich*, Candidate of physical and mathematical sciences, «Molecular Electronic Research Institute», Stock Company, 6/1, Akademika Valiyeva street, Zelenograd, Moscow, Russia, e-mail: vlaivanov@niime.ru;
- Kuzovkov Alexey Valerievich*, «Molecular Electronic Research Institute», Stock Company, 6/1, Akademika Valiyeva street, Zelenograd, Moscow, Russia, e-mail: akuzovkov@niime.ru;
- Pankratov Alexander Lvovich*, «Molecular Electronic Research Institute», Stock Company, 6/1, Akademika Valiyeva street, Zelenograd, Moscow, Russia, e-mail: apankratov@niime.ru;
- Sokolova Evgeniya Vasilievna*, «Molecular Electronic Research Institute», Stock Company, 6/1, Akademika Valiyeva street, Zelenograd, Moscow, Russia, e-mail: evsokolova@niime.ru;
- Kharchenko Ekaterina Leonidovna*, «Molecular Electronic Research Institute», Stock Company, 6/1, Akademika Valiyeva street, Zelenograd, Moscow, Russia, e-mail: ekharchenko@niime.ru;
- Shipitsyn Dmitry Sviatoslavovich*, Candidate of physical and mathematical sciences, «Molecular Electronic Research Institute», Stock Company, 6/1, Akademika Valiyeva street, Zelenograd, Moscow, Russia, e-mail: dshipitsin@niime.ru

A NEW HIGH-VOLTAGE CMOS VOLTAGE LEVEL SHIFTER

This paper presents a new high-voltage CMOS voltage level shifter circuit design. The construction and operation features of the high-voltage CMOS converter with low-voltage transistors are described. The results of comparing the various high-voltage CMOS voltage level converter circuits on speed are presented. The proposed variants of high-voltage CMOS voltage level converters, in comparison with the alternative circuit design, have a higher speed (at least for 14%) and form output signals with less distortion.

Keywords: conversion technology, CMOS, circuits design, voltage level converters.

Data of authors:

- Vladimir Vladimirovich Shubin*, Candidate of Technical Sciences, Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Ave., Novosibirsk, 630073, e-mail: shubin@nzpp.ru;
- Dmitrii Borisovich Koloskov*, Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Ave., Novosibirsk, 630073, e-mail: dimakoloskov2009@gmail.com

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ

В статье представлены результаты разработки устройства для регистрации мышечной активности методом поверхностной электромиографии – схема электрическая функциональная ЭМГ-датчика поверхностного типа, общая функциональная схема устройства с описанием основных узлов (компонентной базы) и их взаимодействия между собой. Показаны результаты экспериментальных работ по регистрации мышечной активности в области предплечья здоровой человеческой руки. Проведено сравнение результатов, полученных с помощью разработанного ЭМГ-датчика и ЭМГ-датчиков от производителей-конкурентов. На основании полученных результатов сделаны выводы об эффективности работы устройства и возможностях его применения.

Ключевые слова: мышечная активность, поверхностная электромиография, ЭМГ-датчик, система управления.

Сведения об авторах:

Елисеичев Евгений Александрович, начальник сектора гражданской продукции отдела главного конструктора АО «Рыбинский завод приборостроения»; старший преподаватель кафедры «Электротехника и промышленная электроника» ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск, 152925, e-mail: EvgenijEliseichev@yandex.ru

Михайлов Владимир Владимирович, кандидат технических наук, главный конструктор АО «Рыбинский завод приборостроения», г. Рыбинск, 152925, e-mail: vmikhailov@rambler.ru

Беляев Валерий Юрьевич, ведущий инженер-конструктор, АО «Рыбинский завод приборостроения», г. Рыбинск, 152925, e-mail: valery-b@mail.ru

Жилин Руслан Михайлович, инженер-конструктор, АО «Рыбинский завод приборостроения», г. Рыбинск, 152903, e-mail: russel93@mail.ru

Сенаторова Екатерина Олеговна, инженер-конструктор, АО «Рыбинский завод приборостроения», г. Рыбинск, 152934, e-mail: kathrinsenate@gmail.com

ТЕХНОЛОГИЯ ЧИПЛЕТОВ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ РОССИИ

В статье рассматривается перспективное направление развития микроэлектроники на базе многокристальных сборок – чиплетов. Это направление позволяет существенно экономить ресурсы на создание микросхем для самых различных применений, используя кристаллы со стандартными интерфейсами как кубики со стандартными размерами, позволяющими собирать требуемые фигуры. В качестве такого стандарта предлагается использовать стандарт AIB. Рассматриваются характеристики данного стандарта.

Экономически использование чиплетов может быть также очень выгодно. В проекте могут независимо участвовать как небольшие, так и крупные компании, что позволит объединить ресурсы отечественных дизайн-центров.

Ключевые слова: микропроцессоры, системы в корпусе, чиплет, стандарт Intel AIB.

Сведения об авторе:

Бобков Сергей Геннадьевич, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем проектирования в микроэлектронике» Российской академии наук, 124365, Москва, Зеленоград, ул. Советская, дом 3, e-mail: s_g_bob@mail.ru

DEVICE FOR RECORDING MUSCLE ACTIVITY BY SURFACE ELECTROMIOGRAPHY

The article presents the results of the development of a device for recording muscle activity by surface electromyography. The developed electrical functional scheme of the surface type EMG sensor and the general functional scheme of the device with a description of the main nodes and their interaction with each other, are presented. The results of experimental work on the muscle activity registration in the healthy human forearm are shown. The results obtained using the developed EMG sensor and EMG sensors from competing manufacturers are compared. Based on the results obtained, conclusions about the efficiency of the device and the possibilities of its application are drawn.

Keywords: muscle activity, surface electromyography, EMG sensor, control system.

Data of authors:

Evgeny A. Yeliseichev, Head of the Civil Products Sector of the Chief Designer JSC «Rybinsk Instrument Making Plant», senior lecturer, Department of Electrical Engineering and Industrial Electronics, P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk, 152925, e-mail: EvgenijEliseichev@yandex.ru

Vladimir V. Mikhailov, Candidate of Technical Sciences, Chief Designer, JSC «Rybinsk Instrument Making Plant», Rybinsk, 152925, e-mail: vmikhailov@rambler.ru

Valery Yu. Belyaev, Leading design engineer, JSC «Rybinsk Instrument Making Plant», Rybinsk, 152925, e-mail: valery-b@mail.ru

Ruslan M. Zhilin, Design engineer, JSC «Rybinsk Instrument Making Plant», Rybinsk, 152903, e-mail: russel93@mail.ru

Ekaterina O. Senatorova, Design engineer, JSC «Rybinsk Instrument Making Plant», Rybinsk, 152934, e-mail: kathrinsenate@gmail.com

CHIPLET TECHNOLOGY IS A PROMISING DIRECTION OF MICROELECTRONICS DEVELOPMENT FOR RUSSIA

The article discusses a promising direction in the development of microelectronics for creating chips based on multi-chip assemblies – chiplets. This direction allows you to significantly save resources on the creation of chips for a wide variety of applications, using crystals with standard interfaces as cubes with standard sizes that allow you to assemble the required components.

It is proposed to use the AIB standard. The characteristics of this standard are considered. The use of chiplets can also be very beneficial to a variety of Russian companies. Both small and large companies can independently participate in the project, which will allow combining Russia's small resources in terms of the number of designers and the number of design centers.

Keywords: microprocessors, System-on-a-Chip, Chiplet, Intel AIB standard.

Data of author:

Sergey Gennadievich Bobkov, Doctor of Engineering Sciences, Federal State-Funded Institution of Science Institute for Design Problems in Microelectronics of Russian Academy of Sciences, 3, Sovetskaya Street, Moscow 124365, Russian Federation, e-mail: s_g_bob@mail.ru

ДИНАМИКА МИКРОЧАСТИЦ В ПОГРАНИЧНЫХ ГАЗОВОМ И ПЛАЗМЕННОМ СЛОЯХ КАК ФАКТОР ДЕФЕКТОБРАЗОВАНИЯ НА ПОДЛОЖКЕ

Рассмотрены силы, действующие на микрочастицы, а также скорости осаждения и расстояния выноса микрочастиц в пограничном градиентном потоке у подложки в условиях газовой термической и плазменной обработки. Выведены выражения, учитывающие комплексное влияние аэродинамики, электростатики, термофореза и давления ионного потока на движение частиц. Сделаны оценки скоростей и характера движения частиц как факторов дефектообразования при обработке подложек.

Ключевые слова: микрочастицы, пограничный слой, газозащитная обработка подложек.

Сведения об авторах:

Евдокимов Владимир Лукьянович, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6/1, e-mail: vevdokimov@niime.ru

DYNAMICS OF MICROPARTICLES IN THE BOUNDARY GAS AND PLASMA LAYERS AS A FACTOR OF DEFECT FORMATION ON THE SUBSTRATE

The forces acting on microparticles, deposition rates and removal distances of microparticles in the boundary gradient flow at the substrate under conditions of gas-phase thermal and plasma treatment are considered. Expressions are created that take into account the complex effect of aerodynamics, electrostatics, thermophoresis and ion flow pressure on particle motion. Estimates of the velocities and the nature of particle motion as factors of defect formation in the processing of substrates are made.

Keywords: microparticles, boundary layer, gas-phase processing of substrates.

Data of authors:

Evdokimov Vladimir Lukyanovich, «Molecular Electronics Research Institute» Stock Company, 6/1, Akademika Valieva Ulitsa, Zelenograd, Moscow, 124460, e-mail: vevdokimov@niime.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ БУФЕРНОГО СЛОЯ В МЕМРИСТОРНЫХ СТРУКТУРАХ

Обзорная статья посвящена мемристорным структурам с пористыми материалами в качестве буферного слоя. Использование дополнительного пористого материала к основному переключающему слою позволяет уменьшить разброс рабочих параметров мемристора, увеличить количество циклов переключения и стабильность высокоомных и низкоомных состояний.

Ключевые слова: мемристор, филамент, пористый диэлектрик.

Сведения об авторах:

Резванов Аскар Анварович, кандидат физико-математических наук, Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9; АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6 стр. 1, e-mail: arezvanov@niime.ru,
Ганыкина Екатерина Андреевна, Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9; АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6 стр. 1, e-mail: eganykina@niime.ru;
Орлов Андрей Алексеевич, Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9, e-mail: orlov.aa@phystech.edu;
Горохов Сергей Александрович, Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9; АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6 стр. 1, e-mail: sgorohov@niime.ru;
Зюзин Сергей Сергеевич, Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9; АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6 стр. 1, e-mail: szuzin@niime.ru

APPLICATION OF POROUS MATERIALS AS A BUFFER LAYER IN THE MEMRISTOR STRUCTURES

The review article is dedicated to the memristor structures with porous materials as a buffer layer. Implementation of the additional porous buffer to the main switching layer material makes it possible to reduce the scatter of the memristor operating parameters, to increase the number of switching cycles and the stability of high-resistance and low-resistance states.

Keywords: memristor, filament, porous dielectric.

Data of authors:

Rezvanov Askar Anvarovich, PhD, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia; 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: arezvanov@niime.ru;
Ganykina Ekaterina Andreevna, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia; 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: eganykina@niime.ru;
Orlov Andrey Alekseevich, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia, e-mail: orlov.aa@phystech.edu;
Gorokhov Sergey Aleksandrovich, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia; 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: sgorohov@niime.ru;
Zyuzin Sergey Sergeevich, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia; 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: szuzin@niime.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ISSG ОКИСЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ РЕАКТОРА ИДЕАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ

Проведено моделирование химических процессов в реакторе пониженного давления при проведении процесса окисления с генерацией пара у поверхности кремниевой пластины (*in situ* steam-generation – ISSG) на установке быстрого термического окисления. С использованием модели реактора идеального смешения определен состав газовой среды (концентрации компонентов смеси) в зависимости от входных параметров процесса: температуры, давления, расходов водорода и кислорода. Установлены условия образования в окислительной камере максимальной концентрации атомов кислорода, определяющих процесс радикального окисления. Проведена экспериментальная верификация расчета.

Ключевые слова: радикальное окисление, быстрый термический процесс, реактор идеального смешения.

Сведения об авторах:

Черняев Михаил Владимирович, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 103460, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: mchernyaev@niime.ru;

Горохов Сергей Александрович, Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9; АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 103460, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: sgorohov@niime.ru;

Патюков Сергей Иванович, кандидат технических наук, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 103460, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: spatyukov@niime.ru;

Ганыкина Екатерина Андреевна, Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9; АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 103460, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: eganykina@niime.ru;

Резванов Аскар Анварович, кандидат физико-математических наук, Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9; АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 103460, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: arezvanov@niime.ru;

Заев Иван Александрович, кандидат физико-математических наук, Общество с ограниченной ответственностью «Лаборатория Кинтех» 123298, г. Москва, 3-я Хорошёвская ул., д. 12, e-mail: zaev@kintechlab.com;

Хорьков Василий Андреевич, ООО «Лаборатория Кинтех», 123298, г. Москва, 3-я Хорошевская ул., д. 12, e-mail: chorkov@kintechlab.com

ISSG OXIDATION PROCESS SIMULATION VIA WELL STIRRED REACTOR MODEL

Simulation of chemical processes in a low-pressure rapid-thermal-processing (RTP) reactor during an *in situ* steam-generation (ISSG) process has been carried out. Using a Well Stirred reactor model (WSR), the composition of the gas medium (species concentration) was determined depending on the input parameters of the process: temperature, pressure, hydrogen and oxygen gas flows. The conditions for the formation of the maximum oxygen radicals concentration that determine the process of radical oxidation were clarified. Experimental verification of the calculation was conducted.

Keywords: radical oxidation, rapid thermal processing, well stirred reactor.

Data of authors:

Chernyaev Mikhail Vladimirovich, Stock Company "Molecular Electronics Research Institute"; 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 103460, e-mail: mchernyaev@niime.ru;

Sergey Aleksandrovich Gorokhov, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russian Federation; 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 103460, e-mail: sgorohov@niime.ru;

Sergey Ivanovich Patyukov, Candidate of Technical Sciences, Stock Company "Molecular Electronics Research Institute"; 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 103460, e-mail: spatyukov@niime.ru;

Ganykina Ekaterina Andreevna, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russian Federation; 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 103460, e-mail: eganykina@niime.ru;

Rezvanov Askar Anvarovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russian Federation; 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 103460, e-mail: arezvanov@niime.ru;

Ivan Aleksandrovich Zaev, Kintech Lab Ltd., 12, 3rd Khoroshevskaya str., Moscow, 123298, Russia, e-mail: zaev@kintechlab.com;

Vasiliy Andreevich Chorkov, Kintech Lab Ltd., 12, 3rd Khoroshevskaya str., Moscow, 123298, Russia, e-mail: chorkov@kintechlab.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ LC ПАРАМЕТРОВ КОРПУСА ИМС МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ МОДЕЛИ ВЫВОДА КОРПУСА НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

Кристаллы интегральных микросхем для защиты от влияния окружающей среды чаще всего помещаются в корпус. При этом корпус, исполняющий положительную роль защиты от внешних воздействий, отрицательно влияет на частотные и ряд других характеристик микросхем. Так, с увеличением частоты, начинают проявляться негативные эффекты, связанные с целостностью сигнала – перекрестные помехи, возникновение резонансов, связанных с одновременным переключением цифровых блоков, шумы – дребезг земли и др. Для предотвращения данных проблем требуется учитывать параметры используемого корпуса на этапе разработки схемотехники.

В данной работе результаты полноволнового трехмерного электромагнитного моделирования методом конечных элементов в частотной области LGA корпуса микросхем используются для построения RLC модели вывода корпуса, которая затем дорабатывается с целью достижения большей точности модели на высоких частотах. Применение данной оптимизации позволило повысить точность модели в диапазоне частот более чем в 3 раза.

Ключевые слова: Уравнения Максвелла, метод конечных элементов, S-параметры, стохастическая оптимизация, линия передачи RLGC.

Сведения об авторах:

Белов Егор Николаевич, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, e-mail: diego360@mail.ru;

Королев Михаил Александрович, доктор технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, e-mail: mikor33@rambler.ru

DEFINITION OF THE LC PARAMETERS OF THE IC PACKAGE BY USING ELECTROMAGNETIC SIMULATION IN ORDER TO BUILD A HIGH-PRECISION MODEL OF THE PACKAGE OUTPUT PIN AT HIGH FREQUENCIES

In order to protect crystals of integrated circuits from environmental influences, they are usually placed in a package. At the same time, package, which plays a positive role of protection against environment, negatively affects a number of other characteristics of the integrated circuit, such as operating frequency. With an increase of frequency, negative effects associated with signal integrity, such as crosstalk, the occurrence of resonances associated with the simultaneous switching of digital blocks, noise, ground bounce, shows up. To prevent these problems, it is required to take into account the parameters of the used package at the stage of schematic design.

In this paper, the results of the full-wavelength 3D electromagnetic finite element modeling in the frequency domain of the LGA package are used to build an RLC model of the package output, which is then refined to achieve higher model accuracy at high frequencies. Model accuracy after optimization has increased for more than three times.

Keywords: Maxwell equations, finite element method, S-parameters, stochastic optimization, RLGC transmission line.

Data of authors:

Belov Egor Nikolaevich, «National Research University of Electronic Technology», Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: diego360@mail.ru; Korolev Mikhail Aleksandrovich, doctor of engineering, «National Research University of Electronic Technology», Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: mikor33@rambler.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 28.05.2022.

Отпечатано в ФГБУ Издательство «Наука» (Типография «Наука») 121099, Москва, Шубинский пер., 6
Заказ № 12
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://naukapershners.ru>
<https://naukabooks.ru>