



ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 3 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Научно-технический журнал

Выпуск 4(188) 2022

ELECTRONIC ENGINEERING

SERIES 3 MICROELECTRONICS

Scientific & Technical Journal

Выпуск 4(188) 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

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, д. 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****Г.В. Баранов, А.О. Беляев, А.А. Дорофеев, Е.И. Леоненков,
П.В. Панасенко, М.С. Ромодин**Анализ приборных требований к гетероэпитаксиальным
структурам AlGaIn/GaN на Si для силовой и СВЧ ЭКБ 5**Процессы и технология****А.Г. Итальянцев, П.С. Захаров, В.А. Нагнойный,****Е.Б. Скворцов, Ю.В. Шульга**Характер деградации электрического отклика элемента хранения
FeRAM на основе тонких слоев диоксида гафния 18**Технологическое и измерительное оборудование****А.В. Хошев, Е.В. Аверьянов, В.В. Одинокоев, Д.А. Костюков,****А.А. Овцын**Вакуумная установка с электронно-лучевым испарителем и
шлюзовой загрузкой групповых подложкодержателей 24**A.V. Khoshev, E.V. Averyanov, V.V. Odinkov,****D.A. Kostyukov, A.A. Ovtzyn**Vacuum unit with electron-beam evaporator and vacuum
loading group substrate holders 29**Свойства материалов****В.В. Макеев, Г.С. Теплов, П.Ш. Саттаров**К вопросу о механизме проводимости в мемристорных структурах
на основе нитрида кремния 34**V.V. Makeev, G.S. Teplov, P.Sh. Sattarov**To the question of charge transport mechanism in silicon nitride-based
memristors 43**Н.А. Захаров, В.П. Бокарев, Е.В. Шелехов, В.В. Матвеев,****А.Д. Алиев, М.Р. Киселев, Е.М. Коваль, Т.В. Захарова,****Л.В. Гоева**Органоминеральные наноккомпозиты гидроксипатит кальция –
фиброин шелка как материалы для биоэлектроники 52**Математическое моделирование****А.М. Кулиш**Приборно-технологическое моделирование эффекта близости
кармана и его влияния на пороговое напряжение субмикронного
МОП-транзистора 66**В.П. Смирнова, Т.Ю. Крупкина, В.Д. Мещанов**Моделирование в цилиндрических координатах воздействия ТЗЧ
на МОП-структуру для оценки сечения сбоя 70**Аннотации** 80Журнал 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

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., Sc. 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

**G.V. Baranov, A.O. Belyaev, A.A. Dorofeev, E.I. Leonenkov,
P.V. Panasenko, M.S. Romodin**

Analysis of device requirements for AlGaN/GaN heteroepitaxial
structures on Si for power and microwave electronic components 5

Processes and Technology

**A.G. Italiyantsev, P.S. Zakharov, V.A. Nagnoinyi, E.B. Skvortsov,
Y.V. Shulga**

Degradation nature of the electrical response of a FeRAM storage
cell based on thin layers of hafnium dioxide 18

Processing and measuring equipment

**A.V. Khoshev, E.V. Averyanov, V.V. Odinokov,
D.A. Kostyukov, A.A. Ovtsyn**

Vacuum unit with electron-beam evaporator and vacuum
loading group substrate holders 24, 29

Properties of Materials

V.V. Makeev, G. S. Teplov, P.Sh. Sattarov

To the question of charge transport mechanism in silicon nitride-
based memristors 34, 43

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

Organomineral nanocomposites calcium hydroxyapatite –
silk fibroin as materials for bioelectronics 52

Mathematical Simulation

Artem M. Kulish

TCAD simulation of well proximity effect and its impact on threshold
voltage of submicron MOSFET 66

Vera P. Smirnova, T. Y. Krupkina, Vladimir D.

Meschanov Simulation in cylindrical coordinates of charged particle
effects on a MOS structure for estimation of a cross-section 70

Abstracts 80

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 (HAC)

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Перед вами очередной 188-й выпуск научно-технического издания «Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника».

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

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

Номер открывается разделом «Разработка и конструирование», в котором авторами статьи проводится системный анализ требований, предъявляемых к гетероэпитаксиальным структурам AlGaIn/GaN на Si-подложке, для реализации на их основе силовой и СВЧ ЭКБ по НЕМТ технологии: требования к структуре гетероперехода, пассивирующему слою, конструкции буферного слоя и проводимости кремниевой подложки.

В следующем разделе «Процессы и технология» рассмотрены механизмы деградации характеристик элементов хранения сегнетоэлектрической памяти на основе тонких слоев тройных соединений на базе диоксида гафния HfO_2 . На основе модельных представлений и экспериментальных данных рассмотрена динамика изменения электрического отклика в цепи элемента хранения в состоянии логической «1» при его чтении, в том числе после длительной выдержки при повышенных температурах.

В следующем блоке «Технологическое и измерительное оборудование» авторами представлена вакуумная электронно-лучевая установка с многотигельным электронно-лучевым испарителем и шлюзовой загрузкой групповых подложкодержателей под пластины 100–150 мм. Разработанная установка предназначена для применения в производстве современных изделий микро- и нанoeлектроники и позволяет получать плёнки металлов с высокой точностью воспроизведения параметров.

В первой статье раздела «Свойства материалов» приведены результаты исследования ВАХ и механизма проводимости в RERAM на базе нестехио-



метрического нитрида. Вторая статья посвящена синтезу органоинеральных композиционных материалов (ОМК) на основе гидроксипатита кальция и природного биополимера фиброина шёлка в ходе осаждения из водных растворов. Определено влияние состава и условий получения ОКМ на морфологию и эксплуатационные характеристики. Синтезированные ОКМ предназначены для использования в качестве элементов биоэлектронных устройств.

Первая статья раздела «Математическое моделирование» посвящена приборно-технологическому моделированию влияния положения края фоторезистивной маски относительно затвора на приповерхностную концентрацию примеси и пороговые напряжения в МДП-транзисторах с n- и p-типом проводимости и длиной затвора 0.25 мкм. Во второй статье представлена модель в цилиндрических координатах для приборно-технологического моделирования эффектов воздействия ТЗЧ на n-МОП структуру в TCAD и предложена методика быстрой аналитической оценки сечения слоя микросхемы памяти с использованием полученных результатов моделирования.

Приглашаем всех заинтересованных читателей к сотрудничеству!

С уважением,
главный редактор журнала,
академик РАН,

Г.Я. Красников

АНАЛИЗ ПРИБОРНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫМ СТРУКТУРАМ AlGaIn/GaN НА Si ДЛЯ СИЛОВОЙ И СВЧ ЭКБ

Проведен системный анализ требований, предъявляемых к гетероэпитаксиальным структурам AlGaIn/GaN на Si-подложке, для реализации на их основе силовой и СВЧ ЭКБ по HEMT технологии: требования к структуре гетероперехода AlGaIn/GaN, пассивирующему слою, конструкции буферного слоя и проводимости кремниевой подложки.

Ключевые слова: AlGaIn/GaN, кремниевая подложка, HEMT, параметры гетероэпитаксиальных структур, спецификация на гетероэпитаксиальные структуры, СВЧ ЭКБ, силовая ЭКБ.

Сведения об авторах:

Баранов Глеб Владимирович, кандидат физико-математических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6/1, Общество с ограниченной ответственностью «Ниимэ-Микродизайн», Московский физико-технический институт, e-mail: gbaranov@niime.ru;

Беляев Алексей Олегович, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6/1, e-mail: abelyaev@niime.ru;

Дорофеев Алексей Анатольевич, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6/1, Общество с ограниченной ответственностью «Ниимэ-Микродизайн», e-mail: adorofoev@niime.ru;

Леоненков Евгений Игоревич, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6/1, Общество с ограниченной ответственностью «Ниимэ-Микродизайн», e-mail: eleonenkov@niime.ru;

Панасенко Петр Васильевич, доктор технических наук, профессор, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, г. Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6/1, e-mail: ppanasenko@niime.ru;

Ромодин Михаил Сергеевич, Московский физико-технический институт, 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

ХАРАКТЕР ДЕГРАДАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА ЭЛЕМЕНТА ХРАНЕНИЯ FeRAM НА ОСНОВЕ ТОНКИХ СЛОЕВ ДИОКСИДА ГАФНИЯ

Рассмотрены механизмы деградации характеристик элементов хранения сегнетоэлектрической памяти на основе тонких слоев тройных соединений на базе диоксида гафния HfO_2 . К таким механизмам относятся накопление у отрицательно заряженной поверхности сегнетоэлектрика паразитных положительных зарядов, не связанных с поляризацией, а также перераспределение доменов по их подвижности за время выдержки элементов хранения при повышенных температурах. На основе модельных представлений и экспериментальных данных рассмотрена динамика изменения электрического отклика в цепи элемента хранения в состоянии логической «1» при его чтении, в том числе после длительной выдержки при повышенных температурах.

Ключевые слова: FeRAM, характер, деградации, электрический отклик, тонкие пленки, HZO

Сведения об авторах:

Итальянцев Александр Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», ул. Академика Валиева, д. 6, стр. 1, г. Москва, Зеленоград, 124460, e-mail: aitalyantsev@niime.ru;

Захаров Павел Сергеевич, кандидат физико-математических наук, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», ул. Академика Валиева, д. 6, стр. 1, г. Москва, Зеленоград, 124460, e-mail: pzakharov@niime.ru;

Нагноиний Владимир Алексеевич, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», ул. Академика Валиева, д. 6, стр. 1, г. Москва, Зеленоград, 124460, e-mail: vnagnoinyy@niime.ru;

Скворцов Евгений Борисович, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», ул. Академика Валиева, д. 6, стр. 1, г. Москва, Зеленоград, 124460, e-mail: eskvortsov@niime.ru;

Шульга Юлия Викторовна, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», ул. Академика Валиева, д. 6, стр. 1, г. Москва, Зеленоград, 124460, e-mail: yshulga@niime.ru

ANALYSIS OF DEVICE REQUIREMENTS FOR AlGaIn/GaN HETEROEPITAXIAL STRUCTURES ON Si FOR POWER AND MICROWAVE ELECTRONIC COMPONENTS

The systematic analysis of the requirements for AlGaIn/GaN heteroepitaxial structures on a Si substrate for the production of power and microwave electronic components by HEMT technology was carried out: requirements for the AlGaIn/GaN heterojunction structure, the passivation layer, the design of the buffer layer, and the conductivity of the silicon substrate.

Keywords: AlGaIn/GaN, silicon substrate, HEMT, parameters of heteroepitaxial structures, specification for heteroepitaxial structures, microwave electronic components, power electronic components.

Data of authors:

Baranov Gleb Vladimirovich, Ph.D. of Physico-mathematical Sciences, «Molecular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 124460, «Meri-Microdesign» limited liability company, Moscow Institute of Physics and Technology, e-mail: gbaranov@niime.ru;

Belyaev Aleksei Olegovich, «Molecular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 124460, National University of Science and Technology «MISIS», e-mail: abelyaev@niime.ru;

Dorofoev Aleksei Anatolievich, «Molecular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 124460, «Meri-Microdesign» limited liability company, e-mail: adorofoev@niime.ru;

Leonenkov Evgeniy Igorevich, «Molecular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 124460, «Meri-Microdesign» limited liability company, e-mail: eleonenkov@niime.ru;

Panasenko Petr Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, «Molecular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Russia, 124460, e-mail: ppanasenko@niime.ru;

Romodina Mikhail Sergeevich, Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russian Federation

DEGRADATION NATURE OF THE ELECTRICAL RESPONSE OF A FeRAM STORAGE CELL BASED ON THIN LAYERS OF HAFNIUM DIOXIDE

The mechanisms of degradation of the characteristics of ferroelectric memory storage cells based on thin layers of triple compounds based on hafnium dioxide HfO_2 , are considered. Such mechanisms include the accumulation of parasitic positive charges not associated with polarization at the negatively charged surface of the ferroelectric, as well as the redistribution of domains according to their mobility during the exposure of storage elements to elevated temperatures. Based on model representations and experimental data, the dynamics of changes in the electrical response in the storage cell circuit in the state of logical «1» during its reading, including after prolonged exposure to elevated temperatures, is considered.

Keywords: FeRAM, degradation nature, electrical response, thin films, HZO

Data of authors:

Italyantsev Aleksandr Georgievich, Doctor of Science in Physico-mathematical Sciences, Full Professor, SC «Molecular Electronics Research Institute»; Ul. Akademika Valieva, d. 6, str. 1, g. Moskva, Zelenograd, 124460, e-mail: aitalyantsev@niime.ru;

Zakharov Pavel Sergeevich, Ph.D. of Physico-mathematical Sciences, SC «Molecular Electronics Research Institute»; Ul. Akademika Valieva, d. 6, str. 1, g. Moskva, Zelenograd, 124460, e-mail: pzakharov@niime.ru;

Nagnoiniy Vladimir Alekseevich, SC «Molecular Electronics Research Institute», Ul. Akademika Valieva, d. 6, str. 1, g. Moskva, Zelenograd, 124460, e-mail: vnagnoinyy@niime.ru;

Skvortsov Evgeniy Borisovich, SC «Molecular Electronics Research Institute», Ul. Akademika Valieva, d. 6, str. 1, g. Moskva, Zelenograd, 124460, e-mail: eskvortsov@niime.ru;

Shulga Yuliya Viktorovna, SC «Molecular Electronics Research Institute», Ul. Akademika Valieva, d. 6, str. 1, g. Moskva, Zelenograd, 124460, e-mail: yshulga@niime.ru

ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА С ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ИСПАРИТЕЛЕМ И ШЛЮЗОВОЙ ЗАГРУЗКОЙ ГРУППОВЫХ ПОДЛОЖКОДЕРЖАТЕЛЕЙ

Разработана новая вакуумная установка (ЭЛУ ТМ 1Ш) с многотигельным электронно-лучевым испарителем (ЭЛИ) и шлюзовой загрузкой групповых подложкодержателей под пластины 100–150 мм. Установка предназначена в основном для нанесения однослойных или многослойных пленок в технологии взрывной фотолитографии.

Ключевые слова: электронно-лучевое испарение, тигель, тонкие пленки, взрывная фотолитография, оборудование, технология.

Сведения об авторах:

Хошев Александр Вячеславович; кандидат технических наук,

АО «Научно-исследовательский институт точного машиностроения», 124460, Москва, Зеленоград, Панфиловский проспект 10, e-mail: akhoshev@niitm.ru;

Аверьянов Евгений Владимирович, АО «Научно-исследовательский институт точного машиностроения», 124460, Москва, Зеленоград, Панфиловский проспект 10, e-mail: eaveryanov@niitm.ru;

Вадим Васильевич Одинок, доктор технических наук, профессор, АО «Научно-исследовательский институт точного машиностроения», 124460, Москва, Зеленоград, Панфиловский проспект 10, e-mail: vodinokov@niitm.ru;

Костюков Денис Андреевич, АО «Научно-исследовательский институт точного машиностроения», 124460, Москва, Зеленоград, Панфиловский проспект 10, e-mail: dkostyukov@niitm.ru;

Овцын Александр Андреевич, кандидат химических наук, АО «Научно-исследовательский институт точного машиностроения», 124460, Москва, Зеленоград, Панфиловский проспект 10, e-mail: aovtsin@niitm.ru

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ПРОВОДИМОСТИ В МЕМРИСТОРНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ НИТРИДА КРЕМНИЯ

Приведены результаты исследования ВАХ и механизма проводимости в RERAM на базе нестехиометрического нитрида. Сделана попытка объяснить разброс экспериментальных характеристик и сложность моделирования токопереноса в мемристорах кластерной структурой пленки нестехиометрического нитрида. Выдвинуто предположение, что при реальных толщинах функционального слоя в 4–8 нм разброс параметров RERAM связан с неоднородностью фазового состава этого слоя. Наличие в слое кластеров, соизмеримых с толщиной пленки и имеющих различный химический состав, вносят элемент случайности в результаты измерения ВАХ и не позволяют корректно рассчитать параметры модели.

Ключевые слова: RERAM на базе нестехиометрического нитрида, мемристор, фазовый состав функционального слоя, механизм переноса заряда в мемристорах, кластеры в нестехиометрическом нитриде.

Сведения об авторах:

???????

VACUUM UNIT WITH ELECTRON-BEAM EVAPORATOR AND VACUUM LOADING OF GROUP SUBSTRATE HOLDERS

A new vacuum unit (ELU TM 1Sh) with mult-crucible electron beam evaporation (EBE) and lock loading of group substrate holders for 100–150 mm wafers has been developed. The unit is intended mainly for deposition of single-layer or multilayer films in explosive photolithography technology.

Keywords: electron-beam evaporation, vacuum, thin films, lif-off, equipment.

Data of authors:

Khoshev Alexander Vyacheslavovich, candidate of sciences in technology, JSC «Research Institute of Precision Machine Manufacturing», 124460, Russian Federation, Moscow, Zelenograd, Panfilovsky Pr., 10, e-mail: akhoshev@niitm.ru;

Averyanov Evgeniy Vladimirovich, JSC «Research Institute of Precision Machine Manufacturing», 124460, Russian Federation, Moscow, Zelenograd, Panfilovsky Pr., 10, e-mail: eaveryanov@niitm.ru;

Odinokov Vadim Vasilievich, doctor of technology, professor, JSC «Research Institute of Precision Machine Manufacturing», 124460, Russian Federation, Moscow, Zelenograd, Panfilovsky Pr., 10, e-mail: vodinokov@niitm.ru;

Kostyukov Denis Andreevich, JSC «Research Institute of Precision Machine Manufacturing», 124460, Russian Federation, Moscow, Zelenograd, Panfilovsky Pr., 10, e-mail: dkostyukov@niitm.ru;

Ovtsyn Alexander Andreevich, candidate of sciences in chemistry, JSC «Research Institute of Precision Machine Manufacturing», 124460, Russian Federation, Moscow, Zelenograd, Panfilovsky Pr., 10, e-mail: aovtsin@niitm.ru

TO THE QUESTION OF CHARGE TRANSPORT MECHANISM IN SILICON NITRIDE-BASED MEMRISTORS

The results of investigation VAC and charge transport mechanism in silicon nitride-based memristors are described. The variation of characteristics and the complexity of modeling are explained by the cluster structure of the functional layer based on non-stoichiometric nitride. The problem is that with real thicknesses of the functional layer in 4–8 nm, the homogeneity of its phase composition becomes of great importance, while the presence of clusters commensurate with the film thickness and having a different chemical composition add an element of randomness to the results of VAC measurement, and do not allow correctly calculating model parameters.

Keywords: non-stoichiometric nitride-based RERAM, memristor, phase composition of the functional layer, charge transport mechanism in memristor, clusters in non-stoichiometric nitride.

Data of authors:

??????

ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ ГИДРОКСИАПАТИТ КАЛЬЦИЯ – ФИБРОИН ШЕЛКА КАК МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БИОЭЛЕКТРОНИКИ

Синтезированы органоминеральные композиционные материалы (ОМК) на основе биосовместимого гидроксиапатита кальция $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (ГА) и природного биополимера фиброина шелка (ФС) в ходе осаждения из водных растворов в системе $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ – NH_3 – H_2O –ФС. ОМК ГА/ФС на основе нанокристаллического ГА (НКГА) и ФС с содержанием 2; 5 и 10 масс.% ФС идентифицированы методами рентгенофазового (РФА) и термогравиметрического (ТГА, ДТА) анализа, инфракрасной спектроскопии (ИКС), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и электронной спектроскопии для химического анализа (ЭСХА). Определено влияние состава и условий получения ОМК ГА/ФС на морфологию НКГА в составе ОМК ГА/ФС и эксплуатационные характеристики ОМК. Проведена оценка возможности использования таких материалов в качестве элементов биоэлектронных устройств (БЭУ).

Ключевые слова: биоэлектроника, гидроксиапатит, фиброин шелка, композиты, синтез, свойства.

Сведения об авторах:

Захаров Николай Алексеевич, д.ф.-м.н.; гл.н.с., 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;

Бокарев Валерий Павлович, д.т.н.; профессор; АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6, стр. 1, e-mail: vbokarev@niime.ru;

Гоева Людмила Викторовна, к.х.н., ст.н.с., 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, к.ф.-м.н.; 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, к.ф.-м.н.; гл.н.с., 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, к.ф.-м.н.; с.н.с., 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, к.ф.-м.н.; гл.н.с., НИТУ «МИСИС», 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru;

Коваль Елена Михайловна, н.с., 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, к.ф.-м.н.; с.н.с., РУТ МИИТ, 127994, РФ, ГСП-4, Москва, ул. Оразцова, д.9/9, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

ORGANOMINERAL NANOCOMPOSITES CALCIUM HYDROXYAPATITE – SILK FIBROIN AS MATERIALS FOR BIOELECTRONICS

Organomineral composite materials (OMC) on the base of biocompatible calcium hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (HA) and natural silk fibroin (FS) in water system $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – H_3PO_4 – NH_3 – H_2O synthesized. OMC HA/SF on the base of nanocrystalline HA (NCHA) and SF with content of 2; 5 and 10 w.% SF identified with methods of X-ray diffraction (XRD), thermal (TGA, DTA) analysis, infrared, spectroscopy (IR), scanning electron microscopy (SEM), spectroscopy for chemical analysis (ESCA). The effect of composition and production conditions OMC HA/SF on morphology NCHA in composition of OMC HA/SF and operational capability was established. The capability estimation this materials for elements of bioelectronic devices.

Keywords: bioelectronics, hydroxyapatite, silk fibroin, composites, synthesis, properties.

Data of authors:

Nikolay A. 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;

Valerii P. Bokarev, Dr. Sci., professor; Molecular electronics research institute, 6/1 Akademika Valieva street, Moscow, Zelenograd, 124460, Russian Federation, e-mail: vbokarev@niime.ru;

Ludmila V. 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 V. 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 D. 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 R. 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 V. Schelechov, Dr. Sci., Scientist, NITU "MISIS", scientist; 117907, Russian Federation, Moscow, Leninskii pr., 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru;

Elena M. 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 V. Zakharova, Dr. Sci., Scientist, RUT MIIT; 127994, Russian Federation, Moscow, Obrastsova st., 9, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА БЛИЗОСТИ КАРМАНА И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ПОРОГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ СУБМИКРОННОГО МОП-ТРАНЗИСТОРА

При масштабировании элементов интегральной схемы необходимо учитывать неизбежное влияние как соседних компонентов друг на друга, так и особенностей технологических процессов их формирования. В работе показано, что вследствие процессов рассеяния атомов примеси в фоторезистивной маске на этапе легирования кармана, расстояние от маски до затвора дает вклад в характеристики транзистора, влияя на концентрацию примеси в области канала. Представлены результаты приборно-технологического моделирования, показывающие влияние положения края фоторезистивной маски относительно затвора на приповерхностную концентрацию примеси в МДП-транзисторах n - и p -типа с длиной затвора $L_g = 0.25$ мкм и их пороговые напряжения. Показано, что для рассматриваемой геометрии транзистора и заданных параметров ионной имплантации расстояние между краем маски и затвором, необходимое для нивелирования эффекта близости составило 3 мкм для n - и p -транзистора.

Ключевые слова: TCAD, Well Proximity Effect, WPE, MOSFET, приборно-технологическое моделирование.

Сведения об авторе:

Кулиш Артем Максимович; Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Москва, Зеленоград, 1-й Западный проезд, 12, строение 1; e-mail: akulish@niime.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЗЧ НА МОП-СТРУКТУРУ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЧЕНИЯ СБОЯ

Представлена модель в цилиндрических координатах для приборно-технологического моделирования эффектов воздействия ТЗЧ на n -МОП структуру в TCAD. Выработанный критерий сбоя на основе граничного тока позволяет определить радиус воздействия диффузионного тока, возникшего от частицы. Предложена методика быстрой аналитической оценки сечения сбоя микросхемы памяти с использованием полученных результатов моделирования. Проведена апробация методики с использованием экспериментальных данных, полученных по результатам испытаний опытных образцов микросхем СОЗУ информационной емкостью 16 Мбит, изготовленных по технологии КМОП с проектными нормами 90 нм.

Ключевые слова: КМОП ИС, радиационная стойкость, СОЗУ, ячейка памяти, TCAD.

Сведения об авторах:

Смирнова Вера Петровна, Общество с ограниченной ответственностью «НИИМЭ-Микродизайн», 124527, Россия, Москва, Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6; 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: smirnova-vera123@yandex.ru;

Крупкина Татьяна Юрьевна, доктор технических наук, профессор, 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: krupkina@miee.ru;

Мещанов Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, Общество с ограниченной ответственностью «НИИМЭ-Микродизайн», 124527, Россия, Москва, Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6
E-mail: sitmd11@smd-001.ru

TCAD SIMULATION OF WELL PROXIMITY EFFECT AND ITS IMPACT ON THRESHOLD VOLTAGE OF SUBMICRON MOSFET

Scaling the elements of the integrated circuit requires taking into account the influence of neighboring components on each other and the features of the technological processes. This paper shows that due to the processes of scattering of impurity atoms in a photoresistive mask at the stage of well doping, the distance from the mask to the gate contributes to the characteristics of the transistor, affecting the impurity concentration in the channel region. The TCAD simulation results confirmed the theory and showed an inextricable relationship between the distance between the gate and the photoresistive mask and the electrophysical characteristics of n - and p -type MOSFETs with a gate length $L_g = 0.25$ μm . It is shown that for the considered device geometry and given parameters of ion implantation, the distance between the mask edge and the gate required to decrease the proximity effect was 3 μm for n - and p -MOSFETs.

Keywords: TCAD, Well Proximity Effect, WPE, MOSFET, Technology Computer-Aided Design.

Data of author:

Kulish Artem Maksimovich; "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, d. 12/1, 1-st Zapadnyy proezd, Zelenograd, Moscow, Russia, 124460; e-mail: akulish@niime.ru

SIMULATION IN CYLINDRICAL COORDINATES OF CHARGED PARTICLE EFFECTS ON A MOS STRUCTURE FOR ESTIMATION OF A CROSS-SECTION

This article presents a model in cylindrical coordinates for simulation of the effects of charged particle exposure on an n -MOS structure in TCAD. The developed failure criterion based on the critical current makes it possible to determine the radius of the diffusion current generated from the particle. A method for fast analytical estimation of the memory chip cross-section using the obtained simulation results is proposed. The technique was tested using experimental data obtained from the results of testing prototypes of 16 Mbit SRAM, manufactured using CMOS technology with design standards of 90 nm.

Keywords: CMOS IC, radiation hardening, SRAM, memory cell, TCAD.

Data of authors:

Smirnova Vera P., «MERI-Microdesign» Limited Liability Company, Solnechnaya alleya, Zelenograd, Moscow, Russia, 124527; National Research University of Electronic Technology «MIET», Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq. 1.
E-mail: smirnova-vera123@yandex.ru;

Krupkina Tatiana Y., Doctor of Science (Eng.), Professor, National Research University of Electronic Technology «MIET», Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1. E-mail: krupkina@miee.ru;

Meschanov Vladimir D: Candidate of Engineering Sciences, «MERI-Microdesign» Limited Liability Company, Solnechnaya alleya, Zelenograd, Moscow, Russia, 124527. E-mail: sitmd11@smd-001.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 25.01.2023.

Отпечатано в ФГБУ Издательство «Наука»
(Типография «Наука»)
121099, Москва, Шубинский пер., 6
Заказ №
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 возвра-
щаются. 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>