



ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 3 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Научно-технический журнал

Выпуск 3(179) 2020

ELECTRONIC ENGINEERING

SERIES 3 MICROELECTRONICS

Scientific & Technical Journal

Выпуск 3(179) 2020

Москва, 2020



«ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА.**Серия 3.****МИКРОЭЛЕКТРОНИКА»****Редакционный совет****Главный редактор****Красников Г. Я.**, д. т. н.,
академик РАН**Члены редакционного совета****Асеев А. Л.**, д. ф.-м. н.,
академик РАН**Бетелин В. Б.**, д. ф.-м. н.,
академик РАН**Бокарев В. П.**, к. ф.-м. н.,
ответственный секретарь**Бугаев А. С.**, д. ф.-м. н.,
академик РАН**Быков В. А.**, д. т. н.**Галиев Г. Б.**, д. ф.-м. н.**Горбачевич А. А.** д. ф.-м. н.,
академик РАН**Горнев Е. С.**, д.т.н.,
член-корреспондент РАН,
зам. главного редактора**Грибов Б. Г.**, д. х. н.,
член-корреспондент РАН**Зайцев Н. А.**, д. т. н.**Ким А. К.**, к. т. н.**Критенко М. И.**, к. т. н.**Петричкович Я. Я.**, д. т. н.**Сигов А. С.**, д. ф.-м. н.,
академик РАН**Стемпковский А. Л.**, д. т. н.,
академик РАН**Чаплыгин Ю. А.**, д. т. н.,
академик РАН**Шелепин Н. А.**, д. т. н.,
зам. главного редактора**Эннс В. И.**, 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**Физические явления****С.П. Скорняков**

Туннельный пробой р-п-переходов с дефектами структуры 5

Разработка и конструирование**Е.О. Белоусов, Д.В. Кочетков, К.М. Моленкамп, А.В. Эннс,
В.И. Эннс**Интегральное устройство контроля заряда литий-ионных
аккумуляторов и аккумуляторных батарей 8**Процессы и технология****В.Ю. Васильев**Конформность роста тонких слоев из газовой фазы на рельефных
микро- и наноструктурах. Часть 2. Процессы химического
осаждения из газовой фазы 16**В.Ю. Васильев**Конформность роста тонких слоев из газовой фазы на рельефных
микро- и наноструктурах. Часть 3. Процессы атомно-слоевого
осаждения 26**С.П. Скорняков**Низковольтные диффузионные р-п-переходы в технике
полупроводниковых приборов 38**Свойства материалов****Н.А. Захаров, В.П. Бокарев, Е.С. Горнев, А.П. Нечипоренко,
В.В. Матвеев, А.Д. Алиев, М.Р. Киселев, Е.В. Шелехов,
Е.М. Коваль, М.А. Орлов, Т.В. Захарова**Влияние оксида графена на кристаллизацию и свойства
наноразмерного гидроксипатита кальция 46**Надёжность****Е.С. Горнев**Обеспечение надёжности современных интегральных микросхем.
Часть 1. Принципы обеспечения качества и надёжности
в промышленной технологии производства ИС 52**Аннотации** 69

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

**Editorial Council
Chief Editor**

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

The Members of Editorial Council

Aseev A. L., Sc. D.,

Full Member of the RAS

Betelin V. B., Sc. D.,

Full Member of the RAS

Bokarev V. P., Ph.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

Gribov B. G., Sc. D.,

Corresponding Member of the RAS

Zaitsev N. A., Sc. D.

Kim A. K., Ph.D.

Kritenko M. I., Ph.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

📍 1-st Zapadny pr-d 12, str. 1.,
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

Physical Phenomena

S.P. Skornyakov

The tunneling breakdown of structural defects in the p-n-junction 5

Development and Designing

**E.O. Belousov, D.V. Kochetkov, K.M. Molenkamp, A.V. Enns,
V.I. Enns**

Integrated charger device for Li-ion batteries 8

Processes and Technology

V.Yu. Vasilyev

Conformality of thin layers growth on relief of micro- and nanostructures.

Part 2. Thin film growth conformality for CVD processes in flow-type
reactors 16

V.Yu. Vasilyev

Conformality of thin layers growth on relief of micro- and nanostructures.

Part 3. Thin film growth conformality for ALD processes 26

S.P. Skornyakov

Low voltage diffusion p-n-junctions in the technology of semiconductor

devices 38

Properties of Materials

**N.A. Zakharov, V.P. Bokarev, E.S. Gornev, A.P. Nechiporenko,
V.V. Matveev, A.D. Aliev, M.R. Kiselev, E.V. Sheleckov,
E.M. Koval, M.A. Orlov, T.V. Zakharova**

The effect of graphene oxide on crystallization and properties
of nanosized calcium hydroxyapatite 46

Reliability

E.S. Gornev

Modern integrated circuits reliability ensuring. Chapter 1: Quality
and reliability ensuring fundamentals in integrated circuits industrial
manufacturing process 52

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)

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Перед вами очередной 179-й выпуск научно-технического издания «Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника».

Количество читателей от номера к номеру растет, во многом благодаря активности авторов, присылающих в редакцию статьи на актуальные и востребованные научным сообществом темы.

В данном номере сделан акцент на таких ключевых разделах, как «Физические явления», «Разработка и конструирование», «Процессы и технология», «Свойства материалов» и «Надежность».

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

Номер открывается разделом «Физические явления», в котором авторами представлены результаты исследования низковольтных р-п-переходов с туннельным и смешанным механизмами пробоя, полученных на основе технологии высококонцентрационной диффузии мышьяка в сильнолегированный кремний р-типа проводимости в вакуированном реакторе, заместившей технологию получения НВ р-п-переходов сплавлением алюминия в сильнолегированный кремний.

В следующем блоке «Разработка и конструирование» авторами представлено интегральное устройство контроля заряда литий-ионных батарей с цифровым управлением, рассчитанное на работу с широким диапазоном токов заряда и способное заряжать до четырех последовательно включенных аккумуляторных ячеек.

В следующем разделе «Процессы и технология» авторами выполнен обзор информационных источников по результатам многолетних исследований проблемы конформности роста тонких слоев неорганических материалов на рельефных полупроводниковых подложках при химическом осаждении из газовой фазы. Также в этом разделе рассматривается возможность применения количественного подхода автора к оценке конформности роста тонких слоев на рельефах в процессах атомно-слоевого осаждения. Кроме того, в данном блоке обсуждается



влияние структурных дефектов при высококонцентрационной диффузии в сильнолегированный кремний на распределение тока по площади и электрические параметры р-п-переходов с лавинным и туннельным механизмами пробоя.

В следующем блоке «Свойства материалов» авторами проведена оценка влияния оксида графена (ГО) на образование нанокристаллического (НК) гидроксипатита кальция $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ – (ГА) в ходе синтеза композиционных материалов (КМ) ГА/ГО (0.1; 1.0; 2.0 и 5.0 масс.% ГО), моделирующего взаимодействие ГО с фосфатами кальция костной ткани в ходе биоминерализации.

В заключительном блоке «Надежность» автором рассмотрены базовые принципы обеспечения качества и надёжности микросхем на основе уменьшения дефектности, выявления причинных факторов, влияющих на бесперебойное функционирование производства и скрытых отказов, использования статистических методов контроля технологического процесса и продукции, анализа техпроцесса производства, по тестовым ячейкам.

От имени редакции я благодарю всех вас – наших авторов и читателей, партнеров и друзей за интерес к изданию, поддержку и сотрудничество.

*С уважением,
главный редактор журнала,
академик РАН,*

Г.Я. Красников

ТУННЕЛЬНЫЙ ПРОБОЙ P-N-ПЕРЕХОДОВ С ДЕФЕКТАМИ СТРУКТУРЫ

Обсуждается влияние структурных дефектов при высококонцентрационной диффузии в сильнолегированный кремний на распределение тока по площади и электрические параметры p-n-переходов с лавинным и туннельным механизмами пробоя. Показано, что абсолютно регулярная экспериментальная зависимость напряжения пробоя от площади p-n-перехода с туннельным пробоем подтверждает основные положения теории туннельного пробоя о независимости процесса туннельного пробоя от наличия в p-n-переходе структурных дефектов.

Ключевые слова: низковольтный p-n-переход; туннельный, лавинный, смешанный пробой; дефекты структуры.

Сведения об авторе:

Скорняков Станислав Петрович, кандидат технических наук,
Новосибирский завод Полупроводниковых Приборов
с Особым Конструкторским Бюро, Россия,
630082, Новосибирск, Дачная, 60,
e-mail: skorniyakov@nzpp.ru

ИНТЕГРАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЗАРЯДА ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

В статье представлено интегральное устройство контроля заряда литий-ионных батарей с цифровым управлением, рассчитанное на работу с широким диапазоном токов заряда и способное заряжать до четырех последовательно включенных аккумуляторных ячеек. Устройство разработано с использованием биполярной-КМОП-ДМОП (Bipolar-CMOS-DMOS (BCD)) технологии и способно работать с входным напряжением до 24 В. В состав схемы входят две петли обратной связи для поддержания профиля заряда батареи; устойчивость каждой петли обеспечивается внутренним компенсатором 3-го типа и генератором пилообразного сигнала для широтно-импульсного модулятора с амплитудой, зависящей от входного напряжения. Схема содержит управляющую логику, коммутирующую батарею, входной источник и нагрузочные устройства в зависимости от условий работы. Схема предназначена для работы с дискретными силовыми ключами.

Ключевые слова: Контроллер заряда литий-ионных аккумуляторов, импульсный преобразователь постоянного напряжения, высоковольтные схемы.

Сведения об авторах:

Белюсов Егор Олегович, кандидат технических наук, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, стр. 12,
e-mail: ebelousov@niime.ru

Кочетков Дмитрий Валерьевич, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, стр. 12,
e-mail: dkochetkov@niime.ru

Моленамп Ксения Михайловна, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, стр. 12,
e-mail: kmolenkamp@niime.ru

Эннс Александр Викторович, кандидат технических наук, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, стр. 12,
e-mail: aenns@niime.ru

Эннс Виктор Иванович, кандидат технических наук, Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»,
124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, стр. 12,
e-mail: venns@niime.ru

THE TUNNELING BREAKDOWN OF STRUCTURAL DEFECTS IN THE P-N JUNCTION

The influence of structural defects in high-concentration diffusion into heavily doped silicon on the current distribution over the area and the electrical parameters of p-n junctions with avalanche and tunneling breakdown mechanisms is discussed. It is shown that the absolutely regular experimental dependence of the breakdown voltage on the area of the p-n junction with tunneling breakdown confirms the main provisions of the theory of tunneling breakdown on the independence of the tunneling breakdown process from the presence of structural defects in the p-n junction.

Keywords: low-voltage pn-junction; tunnel, avalanche, mixed breakdown; structural defects.

Data of the author:

Skorniyakov Stanislav Petrovich, Candidate of Technical Sciences,
Head of the Department of Semiconductor Devices, Novosibirsk
Semiconductor Devices Plant with a Special Design Bureau,
Novosibirsk, 60, Dachnaya, 630082, Russia,
e-mail: skorniyakov@nzpp.ru

INTEGRATED CHARGER DEVICE FOR LI-ION BATTERIES

This paper presents a digitally controlled integrated charge control device for lithium-ion batteries, designed to work with a wide range of charge currents and capable of charging up to four battery cells in series. The device is designed using bipolar-CMOS-DMOS (BCD) technology, and is capable of operating with input voltages up to 24 V. The circuit includes two feedback loops to maintain the battery charge profile, loop stability is ensured by an internal Type 3 compensator and a ramp signal generator with amplitude dependent on the input voltage. The circuit includes control logic, which commutates battery, input source, and load devices depending on operating conditions. Circuit is intended for operating with off-chip power switches.

Keywords: Battery charger circuit, DC/DC converter, high-speed comparators, nonlinearity correction, high voltage circuits.

Data of authors:

Belousov Egor Olegovich, Candidate of Engineering Sciences,
Molecular Electronics Research Institute, Stock Company, Akademia Valieva ulitsa,
12/1, Zelenograd, Moscow, 124460,
e-mail: ebelousov@niime.ru

Kochetkov Dmitriy Valeryevich, Molecular Electronics Research Institute,
Stock Company, Akademia Valieva ulitsa, 12/1, Zelenograd, Moscow, 124460,
e-mail: dkochetkov@niime.ru

Molenkamp Ksenia Mikhailovna, Molecular Electronics Research Institute,
Stock Company, Akademia Valieva ulitsa, 12/1, Zelenograd, Moscow, 124460,
e-mail: kmolenkamp@niime.ru

Enns Aleksandr Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences,
Molecular Electronics Research Institute, Stock Company, Akademia Valieva ulitsa,
12/1, Zelenograd, Moscow, 124460,
e-mail: aenns@niime.ru

Enns Viktor Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Molecular Electronics Research
Institute, Stock Company, Akademia Valieva ulitsa, 12/1, Zelenograd, Moscow,
e-mail: venns@niime.ru

КОНФОРМНОСТЬ РОСТА ТОНКИХ СЛОЕВ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НА РЕЛЬЕФНЫХ МИКРО- И НАНОСТРУКТУРАХ.

Часть 2. Процессы химического осаждения из газовой фазы

Выполнен обзор информационных источников по результатам многолетних исследований проблемы конформности роста тонких слоев неорганических материалов на рельефных полупроводниковых подложках при химическом осаждении из газовой фазы. Во второй части рассматривается количественный подход автора к оценке конформности роста тонких слоев на рельефах на основании исследований кинетики их роста.

Ключевые слова: конформность, неорганические материалы, рельефные полупроводниковые подложки.

Сведения об авторе:

Васильев Владислав Юрьевич, доктор химических наук, профессор Новосибирского государственного технического университета, заместитель генерального директора ООО «СИБИС», 630049, г. Новосибирск, а/я 68, e-mail: vasilev@corp.nstu.ru

КОНФОРМНОСТЬ РОСТА ТОНКИХ СЛОЕВ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НА РЕЛЬЕФНЫХ МИКРО- И НАНОСТРУКТУРАХ.

Часть 3. Процессы атомно-слоевого осаждения

Выполнен обзор информационных источников по результатам многолетних исследований проблемы конформности роста тонких слоев неорганических материалов на рельефных полупроводниковых подложках при химическом осаждении из газовой фазы. В третьей части рассматривается возможность применения количественного подхода автора к оценке конформности роста тонких слоев на рельефах в процессах атомно-слоевого осаждения.

Ключевые слова: конформность, неорганические материалы, рельефные полупроводниковые подложки.

Сведения об авторе:

Васильев Владислав Юрьевич, доктор химических наук, профессор Новосибирского государственного технического университета, заместитель генерального директора ООО «СИБИС», 630049, г. Новосибирск, а/я 68, e-mail: vasilev@corp.nstu.ru

НИЗКОВОЛЬТНЫЕ ДИФфуЗИОННЫЕ P-N-ПЕРЕХОДЫ В ТЕХНИКЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Представлены результаты исследования низковольтных p-n-переходов с туннельным и смешанным механизмами пробоя, полученных на основе технологии высококонцентрационной диффузии мышьяка в сильнолегированный кремний p-типа проводимости в вакуированном реакторе, заместившей технологию получения nB p-n-переходов вплавлением алюминия в сильнолегированный кремний. На основе этих результатов проведены разработки промышленных технологий изготовления nB планарных стабилитронов (nBC), прецизионных термокомпенсированных стабилитронов (ПТКС) и nB ограничителей напряжения (nBON), внедрённых в серийное производство.

Ключевые слова: низковольтный p-n-переход; туннельный, лавинный, смешанный пробой; стабилитрон; термокомпенсированный стабилитрон; ограничитель напряжения.

Сведения об авторе:

Скорняков Станислав Петрович, кандидат технических наук, Новосибирский Завод Полупроводниковых Приборов с Особым Конструкторским Бюро, Россия, 630082, Новосибирск, Дачная, 60, e-mail: skornyakov@nzpp.ru

CONFORMALITY OF THIN LAYERS GROWTH ON RELIEF OF MICRO- AND NANOSTRUCTURES.

Part 2. Thin film growth conformality for CVD processes in flow-type reactors

A review of information sources is performed on the results of prolonged research on the thin layer conformality problem during chemical vapor deposition of inorganic materials on relief semiconductor substrates. The second part deals with the author's concept for thin film conformality evaluation based on kinetics of CVD processes characterization.

Keywords: conformality, inorganic materials, relief semiconductor substrates.

Data of the author:

Vladislav Yurievich Vasilyev, doctor of chemistry, Professor of Novosibirsk state technical university, Deputy Director General SibIS LLC, Novosibirsk, Russian Federation, PO Box 68 Novosibirsk, 630049, e-mail: vasilev@corp.nstu.ru

CONFORMALITY OF THIN LAYERS GROWTH ON RELIEF OF MICRO- AND NANOSTRUCTURES.

Part 3. Thin film growth conformality for ALD

A review of information sources is performed on the results of prolonged research on the thin layer conformality problem during chemical vapor deposition of inorganic materials on relief semiconductor substrates. In the third part the author discusses a possibility to use the concept for thin film conformality evaluation for ALD processes.

Keywords: conformality, inorganic materials, relief semiconductor substrates.

Data of the author:

Vladislav Yurievich Vasilyev, doctor of chemistry, Professor of Novosibirsk state technical university, Deputy Director General SibIS LLC, Novosibirsk, Russian Federation, PO Box 68 Novosibirsk, 630049, e-mail: vasilev@corp.nstu.ru

LOW VOLTAGE DIFFUSION P-N-JUNCTIONS IN THE TECHNOLOGY OF SEMICONDUCTOR DEVICES

The article describes the results of a study of low-voltage p-n-junctions with tunneling and mixed breakdown mechanisms obtained on the basis of the technology of high-concentration diffusion of arsenic into heavily doped p-type silicon in an evacuated reactor, which replaced the technology of manufacturing low-voltage p-n junctions by fusing aluminum into heavily doped silicon. Based on the results obtained, the development of industrial technologies for the manufacture of low-voltage planar Zener diodes, precision temperature compensated Zener diodes and low-voltage TVS-diodes introduced into mass production was carried out.

Keywords: low-voltage p-n-junction; tunnel, avalanche, mixed breakdown; Zener diode; temperature compensated zener diode; voltage limiter.

Data of the author:

Skornyakov Stanislav Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Semiconductor Devices, Novosibirsk Semiconductor Devices Plant with a Special Design Bureau, Novosibirsk, 60, Dachnaya, 630082, Russia, e-mail: skornyakov@nzpp.ru

ВЛИЯНИЕ ОКСИДА ГРАФЕНА НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ И СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНОГО ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ

Применение оксида графена (ГО) и графеноподобных материалов находит все более широкое применение в промышленной технологии. Однако их влияние на организм человека до сих пор изучено недостаточно. В данной работе проведена оценка влияния ГО на образование нанокристаллического (НК) гидроксиапатита кальция $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ – (ГА) в ходе синтеза композиционных материалов (КМ) ГА / ГО (0.1; 1.0; 2.0 и 5.0 масс. % ГО), моделирующего взаимодействие ГО с фосфатами кальция костной ткани в ходе биоминерализации. Определено влияние ГО на кристаллографические, морфологические характеристики и растворимость НКГА в составе КМ ГА / ГО.

Ключевые слова: оксид графена, гидроксиапатит, композиционные материалы, синтез, свойства.

Сведения об авторах:

Захаров Николай Алексеевич, доктор физико-математических наук; главный научный сотрудник, 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, кандидат физико-математических наук; доцент; Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, стр. 12, e-mail: vbokarev@mikron.ru

Горнев Евгений Сергеевич, доктор технических наук, профессор, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, стр. 12, e-mail: egornev@niime.ru

Нечипоренко Александр Петрович, кандидат технических наук, Акционерное Общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, Зеленоград, 1-й Западный проезд, д. 12, стр. 1, e-mail: anechiporenko@niime.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; главный научный сотрудник, 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, старший научный сотрудник, 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, главный научный сотрудник, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 117907, РФ, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 31, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

Коваль Елена Михайловна, научный сотрудник, 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

Орлов Максим Андреевич, исследователь, 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, старший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», 127994, РФ, ГСП-4, Москва, ул. Образцова, д. 9/9, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

THE EFFECT OF GRAPHENE OXYDE ON CRYSTALLIZATION AND PROPERTIES OF NANOSIZED CALCIUM HYDROXYAPATITE

The application of graphene oxyde (GO) and graphene-like materials is increasingly used in industrial technology. However, their impact on the human body is still insufficiently studied. In this work, we assessed the influence of multi-walled GO on the formation of nanocrystalline (NC) of calcium hydroxyapatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ – (HA) during the synthesis of composite materials (KM) HA / GO (0.1; 1.0; 2.0 and 5.0 of the masses.% GO), modeling the interaction of GO with the phosphate of bone calcium in the course of biomineralization. The influence of GO on the crystallographic, morphological characteristics, and the solubility of HA in NKHA, composed of KM HA / GO.

Keywords: graphene oxyde, hydroxyapatite, composite materials, synthesis, properties.

Data of authors:

Nikolay Alekseevich Zakharov, Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, doctor of physical and mathematical Sciences, professor, 31, Leninskii pr., Moscow, Russian Federation, 117907, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

Valerii Pavlovich Bokarev, candidate of physical and mathematical Sciences, docent, Molecular Electronics Research Institute, Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, Akademika Valieva ulitsa, 12/1, e-mail: vbokarev@mikron.ru

Evgeniy Sergeevich Gornev, doctor of Engineering Sciences, professor, Molecular Electronics Research Institute, Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, Akademika Valieva ulitsa, 12/1, e-mail: egornev@niime.ru

Aleksandr Petrovich Nechiporenko, candidate of engineering Sciences, Molecular Electronics Research Institute, Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, Akademika Valieva ulitsa, 12/1, e-mail: anechiporenko@niime.ru

Vladimir Vasilievich Matveev, candidate of physical and mathematical Sciences, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist, 31, Leninskii pr., Moscow, Russian Federation, 117907, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

Ali Dzhavadovich Aliev, candidate of physical and mathematical Sciences, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist, 31, Leninskii pr., Moscow, Russian Federation, 117907, e-mail: anechiporenko@niime.ru

Michail Romanovich Kiselev, candidate of physical and mathematical Sciences, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist, 31, Leninskii pr., Moscow, Russian Federation, 117907, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

Evgenii Vladimirovich Schelekhov, candidate of physical and mathematical Sciences, National University of Science and Technology MISIS, scientist, 31, Leninskii pr., Moscow, Russian Federation, 117907, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

Elena Mikhailovna Koval, Scientist, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist, 31, Leninskii pr., Moscow, Russian Federation, 117907, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

Maksim Andreevich Orlov, Scientist, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, RAS, scientist, 31, Leninskii pr., Moscow, Russian Federation, 117907, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

Tatiana Vladimirovna Zakharova, candidate of physical and mathematical Sciences, Russian University of transport (MIIT), 9, Obrastsova st., Moscow, Russian Federation, 127994, e-mail: zakharov@igic.ras.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ.**Часть 1. Принципы обеспечения качества и надёжности в промышленной технологии производства ИС**

Рассмотрены базовые принципы обеспечения качества и надёжности микросхем на основе уменьшения дефектности, выявления причинных факторов, влияющих на бесперебойное функционирование производства и скрытых отказов, использования статистических методов контроля технологического процесса и продукции, анализа техпроцесса производства по тестовым ячейкам. Показано, что ввиду того, что дефекты, воздействующие на выход годных и надёжность, имеют одну и ту же первопричину, увеличение выхода годных за счет снижения дефектов будет повышать и надёжность. Представлены некоторые результаты работ НИМЭ и завода «Микрон» по повышению качества и надёжности создаваемых интегральных микросхем.

Ключевые слова: интегральные микросхемы, промышленная технология, качество, надёжность, дефектность, выход годных, отказы.

Сведения об авторе:

Горнев Евгений Сергеевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д.12, стр.1, e-mail: egornev@niime.ru

MODERN INTEGRATED CIRCUITS RELIABILITY ENSURING.**Chapter 1: Quality and reliability ensuring fundamentals in integrated circuits industrial manufacturing process**

The basic principles of ensuring the microcircuits quality and reliability based on reducing defectiveness are considered. Identification of causal factors affecting the smooth manufacturing and latent failures by the use of technological process and product statistical monitoring methods, and manufacturing process analysis by the means of test cells application is taken into account as well. As the defects affecting the yield and reliability have the same root cause it is demonstrated that yield growth due to defect decrease will also increase the microcircuits reliability. Some results of "MERI" SC and Mikron PJSC joint project for integrated circuits quality and reliability improvement are presented.

Keywords: integrated microcircuits, industrial process, quality, reliability, defectiveness, yield, failures.

Data of the author:

Evgeny Sergeevich Gornev, Corresponding Member of RAS, doctor of Engineering Sciences, professor, Molecular Electronics Research Institute, Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, Akademika Valieva ulitsa, 12/1, e-mail: egornev@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 30.11.2020.

Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука»
(Типография «Наука»)
121099, Москва, Шубинский пер., 6

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

ФГУП «Издательство «Наука»
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90
E-mail: info@naukaran.com
<https://nauk-publishers.ru>
<https://nauka-books.ru>