

CHAPTERS OF HISTORY

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

50 YEARS AT THE MICRO AND NANOELECTRONICS CUTTING EDGES 10 50 ЛЕТ НА ПЕРЕДОВЫХ РУБЕЖАХ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

NANOELECTRONICS TECHNOLOGY COMPLEXES

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

V.Bykov, A.Gudkov, A.Kozlitin
CENTER OF HIGH TECHNOLOGIES

В.Быков, А.Гудков, А.Козлитин
ЦЕНТР ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

OF FEDERAL STATE UNITARY ENTERPRISE F.V.LUKIN NIIFP:

ФГУП "НИИФП ИМ. Ф.В.ЛУКИНА":

ANALYTICAL AND TECHNOLOGICAL CONTROL METHODS AND
 MANUFACTURING OF MICRO – AND NANOSTRUCTURES

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ
 МИКРО- И НАНОСТРУКТУР

In this publication the Center of high technologies of Federal State Unitary Enterprise F.V.Lukin NIIFP as a powerful scientific and technological complex intended for the development of nanoelectronics and MEMS based on modern elements base is presented. The Center structure, its functionality and development prospects are shown. A brief analysis of the development of micro and nanoelectronics tendencies is considered. The description of the NANOFAB-100 complex technological cluster, appointment and functionality of separate analytical and technological modules is given. Analytical possibilities of collective using of the Center are described and methods of research methods of various heterostructures used for development of the nanoelectronics element base are listed. Prospects and necessity of synchronous radiation of the synchrotron "Zelenograd" synchronous radiation application for problems solving through investigation of various nanoelectronic structures and in the process of production of integrated circuits using X-ray nanolithography are described.

В данной публикации представлен Центр высоких технологий ФГУП "НИИФП им. Ф.В.Лукина" как мощный научно-технологический комплекс, предназначенный для развития современной элементной базы нанoeлектроники и МЭМС. Показана структура Центра, его функциональные возможности и перспектива развития. В статье дан краткий анализ тенденций развития микро- и нанoeлектроники. Дано описание кластерного технологического комплекса НАНО-ФАБ-100, а также назначение и функциональные возможности отдельных аналитических и технологических модулей. Описаны аналитические возможности Центра коллективного пользования и перечислены методы исследования различных гетероструктур, используемые при разработке элементной базы нанoeлектроники. Показана перспективность и необходимость использования синхротронного излучения синхротрона "Зеленоград" при решении задач по исследованию различных нанoeлектронных структур и при производстве интегральных схем с использованием методов рентгеновской нанолитографии.

Key words: product-oriented technology complex, NANOFAB-100, cluster systems and modules, layout system, transportation system, synchrotron "Zelenograd", Center of high technologies, Center goals, nanotechnology division, shared service division, physics and technology division

Ключевые слова: специализированный технологический комплекс, НАНОФАБ-100, кластерные системы и модули, компоновочная система, транспортная система, синхротрон "Зеленоград", Центр высоких технологий, задачи Центра, отдел нанотехнологий, ЦКП, физико-технический отдел

V.Bykov, K.Borisov, Al.Bykov, An.Bykov, V.Kotov,
 V.Polyakov, V.Shiller

В.Быков, К.Борисов, Ал.Быков, Ан.Быков, В.Котов,
 В.Поляков, В.Шиллер

NANOELECTRONICS TECHNOLOGICAL COMPLEXES USING MASKLESS LITHOGRAPHY

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ БЕСШАБЛОННОЙ ЛИТОГРАФИИ

This paper presents a novel approach to build up a closed cycle cluster complexes for development and small-scale production of micro and nanoelectronics' base of LSI and VLSI chips with the help of high performance maskless multibeam lithography and dry finish cleaning and planarization by accelerated large Van-der-Waals clusters. Technology line's "flexibility" and adaptability for a selected process is based on the line module construction, that incorporates a single ultrahigh vacuum automatic transport system. Besides technological clusters the technological line can include metrological and analytical modules, topology correcting modules that provide design and small-scale production of nanoelectronics element base with the technology level 22–14nm.

В статье изложен подход к созданию кластерных комплексов замкнутого цикла для разработки и мелкосерийного производства БИС- и СБИС-базы микро- и нанoeлектроники с помощью систем бесшаблонной высокопроизводительной многолучевой электронной литографии и технологических комплексов сухой финишной очистки и планаризации с использованием ускоренных больших Ван-дер-Ваальсовых кластеров. "Гибкость" и адаптивность технологической линии под заданный тип технологического процесса обусловлены модульной конструкцией линии, объединенной единой сверхвысоковакуумной транспортной системой. Кроме технологических кластеров, технологическая линия может содержать метрологические и аналитические модули, модули коррекции топологии, обеспечивая разработки и малосерийное производство элементной базы нанoeлектроники технологического уровня 22–14 нм.

Key words: Nanotechnology, nanoelectronics, microelectronics, multi-beam electron lithography, molecular beam epitaxy, atomic layer deposition, CMOS, FinFET, memristor, fast thermal annealing, magnetron deposition, atomic precision technology, scanning probe microscopy, atomic force microscopy, scanning electron microscopy, cluster ion technology

Ключевые слова: нанотехнология, нанoeлектроника, микроэлектроника, многолучевая электронная литография, молекулярно-лучевая эпитаксия, атомно-слоевое осаждение, КМОП, FinFET, мемристор, быстрый термический отжиг, магнетронное напыление, технологии атомарной точности, сканирующая зондовая микроскопия, атомно-силовая микроскопия, сканирующая растровая микроскопия, кластерные ионы

SYNCHRONOUS RADIATION AND NANOSYSTEMS

S. Kuzmin, V. Mathveev

TAKING A ZIGZAG COURSE ALONG BIOLOGY AND MICROELECTRONICS CONVERGENCE.

MEMORY ABOUT THE FUTURE

In connection with the concept of science convergence set out by M. Kovalchuk, some works in the sphere of "studying the construction of living systems and copying them in the form of modal technical systems", a part of the concept, that had been run in NIIFP in 1965–1985 are described. The possibility to design molecular nano-manipulators of enzyme and nucleoprotein complexes types is discussed.

Key words: microelectrncs, biology, convergence, nanotechnologies

S. Kuzmin, V. Matveev, V. Mishachev

X-RAY INTERFERENCE LITHOGRAPHY FOR FORMING ORDERED NANOSTRUCTURES

The principles of forming ordered nanostructures using X-ray interference lithography is considered. A method for fabrication of an ordered polymer nanofilter with up to 1-nm elements using photoetching of a thin polymer film by means of space-structured synchrotron radiation is described in detail. Some technological aspects of fabrication of ordered periodical metallic nanostructures by means of interference lithography and multilevel membrane technology are discussed.

Key words: synchrotron radiation, nanofilters, ordered nanostructure, membrane technology

S. Kuzmin, V. Mathveev

SYNCHRONOUS RADIATION TECHNOLOGICAL CAPABILITIES

FOR PRODUCING AND TREATMENT OF BIOMEDICAL MATERIALS

Performance capabilities of synchrotron radiation technology for production and treatment of nanostructured biomedical materials and hybrid bioinorganic structures are discussed. Synchrotron is an universal instrument for these purposes providing a technological triad: technology itself, analytics and metrology.

Key words: nanostructuring, interference X-ray lithography, nanofilters, implants

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И НАНОСИСТЕМЫ

С. Кузьмин, В. Матвеев

ЗИГЗАГАМИ ПО ПУТИ КОНВЕРГЕНЦИИ БИОЛОГИИ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ.

ВОСПОМИНАНИЯ О БУДУЩЕМ

В связи с концепцией конвергенции наук, исчерпывающе изложенной М.В. Ковальчуком, рассказывается о некоторых работах в части "изучения устройства живых систем и их копирования в виде модельных технических систем" этой концепции, которые велись в НИИФП с 1965 по примерно 1985 годы. Обсуждается возможность создания молекулярных наноманипуляторов по типу ферментов и нуклеопротеидных комплексов.

Ключевые слова: микроэлектроника, биология, конвергенция, нанотехнологии

С. Кузьмин, В. Матвеев, В. Мишачёв

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ РЕНТГЕНОЛИТОГРАФИЯ

ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УПОРЯДОЧЕННЫХ НАНОСТРУКТУР

Рассмотрены принципы формирования упорядоченных наноструктур с помощью решеточной интерференционной рентгенолитогрaфии. Подробно описывается способ изготовления упорядоченного полимерного нанофильтра с размерами элементов до 1 нм путем фотостимулированного травления тонкой полимерной пленки пространственно-структурированным синхротронным излучением. Обсуждаются технологические аспекты создания периодических металлических наноструктур методами интерференционной рентгенолитогрaфии и многоуровневой мембранной технологии.

Ключевые слова: синхротронное излучение, нанофильтры, упорядоченная наноструктура, мембранная технология

С. Кузьмин, В. Матвеев

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИНХРОТРОННОГО

ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ

БИОМЕДИЦИНСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Обсуждается возможность управления химическими реакциями посредством синхротронного излучения и создания наноструктурированных биомедицинских материалов и гибридных биоорганических структур. Синхротрон для этих целей является универсальным инструментом, обеспечивающим технологическую триаду: собственно технологию, аналитику и метрологию.

Ключевые слова: наноструктурирование, интерференционная рентгеновская литография, нанофильтры, импланты

ЭЛЕКТРОНИКА СПЕЦВЫПУСК

НАУКА • ТЕХНОЛОГИЯ • БИЗНЕС

(00137)

"ЭЛЕКТРОНИКА: НАУКА, ТЕХНОЛОГИЯ, БИЗНЕС"

Научно-технический журнал

Журнал выпускается при содействии Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). На сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru) доступны полные тексты статей. Статьи из номеров журнала текущего года предоставляются на платной основе.

СВЕЖИЙ НОМЕР ЖУРНАЛА ВЫ МОЖЕТЕ ПРИОБРЕСТИ:**В РЕДАКЦИИ ЖУРНАЛА "ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ"**

Москва, ул. Краснопролетарская, 16, стр. 2

В ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВАХ "ЗОЛОТОЙ ШАР ТМ"

Санкт-Петербург Невский пр-т, 44, 5-й этаж, офис 6 | root@zolshar.spb.ru
☎ (812) 325-7544, 117-6862, 110-4366

Екатеринбург ул. Народной воли, 25 | ekp@front.ru, zolshar@online.ural.ru
☎ (343) 212-1810, 212-1331 ☎ (343) 212-2314

Новосибирск пр-т К.Маркса, 57, офис 708 | nbzsh@mail.ru
☎ (3832) 46-2473 ☎ (3832) 27-6380

Минск пл. Казинца, 3, офис 456 | zolshar@integral.minsk.by
☎ (10-375-172) 78-0914

Ижевск ул. Софьи Ковалевской, 4а, офис 4 | office@zolshar.izhnet.ru
☎ (3412) 42-5241 ☎ (3412) 42-5472

SUPERCONDUCTING ELECTRONICS

A.Gudkov

JOSEPHSON JUNCTIONS: 65

ELECTROPHYSICAL PROPERTIES, FIELD OF APPLICATION AND DEVELOPMENT PROSPECTS

The main types of low-temperature Josephson junctions on the base of niobium technology (SIS, SNS and SDS junctions), their designs and mechanisms of current transport are considered. The voltage-current characteristics of Josephson junctions and their distinctive features depending on junction type are available. Key parameters of Josephson junctions responsible for their quality and practical value are defined. The Josephson junctions formation technology is presented and the influence of superconducting heterostructure quality, including the state of functional layers boundaries, on junctions electric characteristics is shown. Field of applications of the main types of Josephson junctions according to their properties is defined. The prospects of further Josephson junctions development, their technology and design are given.

Key words: Josephson effect, Josephson junction, SIS (SNIS) type, SNS type, SDS type, superconducting heterostructure, an interlayer, weak link, dividing boundary, coherence length, critical current, characteristic voltage, power gap

A.Gudkov, A.Klushin, A.Kozlov

MICROWAVE EMISSION 81

OF Nb/A-SI/Nb JOSEPHSON JUNCTION CHAIN

For the first time generation measurements of low-temperature SDS Josephson junctions chains on the base of superconducting Nb/ α -Si/Nb heterostructure are carried out. Comparison of radiation capacity of SDS junctions chains with radiation of Josephson junctions chains on the base of high-temperature superconductors is performed. SDS junctions application perspectiveness for creation of generators of millimeter and submillimeter wave bands are given. It is shown that the width of the generation line depends on disorder the normal resistance of Josephson junctions in the chain.

Key words: Josephson junction, microstrip line, slot-hole line, Fabri-Perot resonator, generator, heterodyne, synchronization, magnetron sputtering

СВЕРХПРОВОДНИКОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

А.Гудков

ДЖОЗЕФСОНОВСКИЕ ПЕРЕХОДЫ:

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Рассмотрены основные типы низкотемпературных джозефсоновских переходов на основе ниобиевой технологии (переходы SIS-, SNS- и SDS-типов), их конструкции и механизмы транспорта тока. Представлены вольт-амперные характеристики джозефсоновских переходов и выделены их отличительные особенности в зависимости от типа перехода. Определены основные параметры джозефсоновских переходов, отвечающие за их качество и практическую ценность. Дано описание технологии формирования джозефсоновских переходов и показано влияние качества сверхпроводниковой гетероструктуры, включая состояние границ раздела функциональных слоев, на электрические характеристики переходов. Определены области применения основных типов джозефсоновских переходов в соответствии с их свойствами. Дана перспектива дальнейшего развития джозефсоновских переходов, их технологии и конструкции.

Ключевые слова: эффект Джозефсона, джозефсоновский переход, SIS (SNIS)-тип, SNS-тип, SDS-тип, сверхпроводниковая гетероструктура, прослойка, слабая связь, граница раздела, длина когерентности, критический ток, характерное напряжение, энергетическая щель

А.Гудков, А.Клушин, А.Козлов

СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЕ

ЦЕПОЧЕК ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ПЕРЕХОДОВ Nb/ α -SI/Nb

В настоящей работе впервые проведены измерения генерации цепочек низкотемпературных джозефсоновских переходов SDS-типа на основе сверхпроводниковой гетероструктуры Nb/ α -Si/Nb. Проведено сравнение мощности излучения цепочек переходов SDS-типа с излучением цепочек джозефсоновских переходов из высокотемпературных сверхпроводников. Показана перспективность использования переходов SDS-типа для создания генераторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Показано, что ширина линии генерации зависит от разброса нормальных сопротивлений джозефсоновских переходов в цепочке.

Ключевые слова: джозефсоновский переход, микрополосковая линия, щелевая линия, резонатор Фабри-Перо, генератор, гетеродин, синхронизация, магнетронное распыление

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Б.Бабаян, Ю.Борисов, П.Верник, В.Вишневский, Ю.Гуляев, Г.Красников, М.Критенко, П.Мальцев, Ю.Митропольский, С.Муравьев, В.Немудров, А.Орликовский, С.Портной, А.Сигов, А.Якунин

ИЗДАТЕЛЬ И УЧРЕДИТЕЛЬ – РИЦ "ТЕХНОСФЕРА"

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР: О.Казанцева

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: А.Сигов

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: И.Шахнович

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: Н.Адрианова

РЕДАКТОРЫ РАЗДЕЛОВ: М.Гольцова, Н.Елисеев, И.Кокорева, М.Шейкин

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР: А.Клюйкова

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА: А.Небольсин

ФОТОГРАФИИ: А.Райко

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

НИИФП 50 ЛЕТ ПОДГОТОВИЛИ:

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК

ДИРЕКТОР ФГУП "НИИФП ИМ.Ф.В.ЛУКИНА": А.ГУДКОВ

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ: А. Гудков, И.Кокорева

124460, г.Москва, г.Зеленоград, проезд 4806, д.6

☎ +7 (499) 731-13-06

☎ +7 (499) 731-55-92

✉ admin@niifp.ru, niifp@rosrep.ru

🌐 www.niifp.ru

A.Gudkov, N.Klenov, I.Soloviev 86
DIGITAL SYSTEMS FOR RECEIVING AND PROCESSING INFORMATION

ON THE BASIS OF SUPERCONDUCTING ELECTRONICS

We present a description of the principle elements of a superconducting fully digital receiver: superconducting analog-to-digital converter (ADC) and a signal processor. We have examined the work of the most successful ADC based on the Josephson effect and the effect of the magnetic flux quantization (both the parallel and the oversampling ADCs). We demonstrated prospects for a software-defined radio and TV set using superconducting electronic devices.

Key words: superconducting ADC, Josephson effect, effect of magnetic flux quantization

А.Гудков, Н.Клёнов, И.Соловьёв
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

НА ОСНОВЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Представлено описание принципов работы основных элементов полностью цифрового сверхпроводникового приемника: сверхпроводникового аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и сигнального процессора. Разобрана работа наиболее успешных АЦП на основе эффекта Джозефсона и эффекта квантования магнитного потока (как параллельных АЦП, так и АЦП с избыточной дискретизацией). продемонстрированы перспективы создания программно-определяемых теле- и радиосистем с использованием устройств сверхпроводниковой электроники.

Ключевые слова: сверхпроводниковый АЦП, эффект Джозефсона, эффект квантования магнитного потока

SCANNING PROBE MICROSCOPY

R.Lapshin

FEATURE-ORIENTED SCANNING PROBE MICROSCOPY: 94
 PRECISION MEASUREMENTS, NANOMETROLOGY, BOTTOM-UP
 NANOTECHNOLOGIES

A brief description of a group of methods forming a feature-oriented scanning probe microscopy (FOSPM) is given. FOSPM is a new approach to scanning probe microscopy where a surface under measurement or modification is represented by a set of features, each of which is characterized by its own collection of features, rather than by a "dead" array of scan points. Working with the surface features at room temperature will not only permit to considerably increase precision of surface topography measurement and notably improve resolution of the probe microscope but also create a free-running multiprobe bottom-up nanomanufacturing in the near future.

Key words: scanning tunneling microscopy, STM, atomic-force microscopy, AFM, scanning probe microscopy, SPM, nanometrology, nanotechnology, feature-oriented scanning, FOS, feature, object, recognition, probe attachment, skipping, aperture, segment, scanner, thermal drift, creep, noise, nonlinearity, nonorthogonality

СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ

Р.Лапшин

ОСОБЕННОСТЬ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СКАНИРУЮЩАЯ 94
ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ:

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ, НАНОМЕТРОЛОГИЯ,
 НАНОТЕХНОЛОГИИ "СНИЗУ-ВВЕРХ"

Дается краткое описание группы методов, лежащих в основе особенность-ориентированной сканирующей зондовой микроскопии (ООСЗМ) – нового подхода в сканирующей зондовой микроскопии, при котором измеряемая или модифицируемая поверхность представлена не "мертвым" массивом точек скана, а совокупностью особенностей, каждая из которых характеризуется своим собственным набором признаков. Работа с особенностями поверхности позволяет при комнатной температуре не только существенно увеличить точность измерения топографии поверхности и заметно улучшить разрешение зондового микроскопа, но и в перспективе реализовать автономно работающее многозондовое нанопроизводство "снизу-вверх".

Ключевые слова: сканирующая туннельная микроскопия, СТМ, атомно-силовая микроскопия, АСМ, сканирующая зондовая микроскопия, СЗМ, нанометрология, нанотехнология, особенность-ориентированное сканирование, ООС, особенность, объект, распознавание, привязка зонда, скиппинг, апертура, сегмент, сканер, термодрейф, ползучесть, крип, шум, нелинейность, неортогональность

NANOSTRUCTURES AND NANOSYSTEMS

Yu.Gulyaev, I.Taranov, A.Gudkov, B.Medvedev, A.Kozlitin, S.Gurevich

SELF-ORGANIZED NANOSTRUCTURES: 107

CARBON-METAL AND SUPERSTRUCTURES OF MAGNETIC NANOPARTICLES

In the present work new types of topologically closed carbon and carbon-metal nanostructures are discussed. We report the results of experimental observation of nanotoroids for both carbon and carbon-metal superstructures by means of atomic force microscopy and scanning tunneling microscopy. Observed toroidal nanostructures were produced by plasma methods with simultaneous magnetron sputtering of Mo and Cr in argon atmosphere. Carbon-metal nanocapsules with shapes similar to nanodisks reminding human erythrocytes also were observed. Phenomenon of self-magnetic nanoparticles organization on very smooth (gold on HOPG) surfaces that leads to formation of chains, double chains, helices and nanotubes of magnetic nanoparticles is also discussed.

Key words: carbon-metal superstructures, nanocapsules, nanotoroids, self-organization, linear chains, double helices chains, magnetic nanoparticle, nanodisks, quantum-dimensional structure

R.Lapshin, P.Azanov

NICKEL NANOPARTICLES 112

REDUCE TEMPERATURE OF SYNTHESIS OF CARBON NANOSTRUCTURES

A method for deposition of catalytic nanoparticles (CNPs) of nickel on a smooth substrate surface is suggested. CNP deposition is carried out in glow-discharge Ar-plasma. CNPs are intended for synthesis of carbon nanostructures (CNSs) by plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) method. Due to high activity of the CNPs, temperature of CNS synthesis was reduced from 750 to 150°C. A method that improves control of size, shape and scattering density over the surface of the formed CNPs is suggested.

Key words: nanoparticle, catalytic nanoparticle, CNP, nickel, carbon nanostructure, CNS, plasma, plasma-enhanced chemical vapor deposition, PECVD, atomic-force microscopy, AFM, nanotechnology, feature-oriented scanning, FOS

НАНОСТРУКТУРЫ И НАНОСИСТЕМЫ

Ю.Гуляев, И.Таранов, А.Гудков, Б.Медведев, А.Козлитин, С.Гуревич

САМООРГАНИЗОВАННЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ:

МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫЕ И СУПЕРСТРУКТУРЫ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

В данной работе представлены новые типы топологически замкнутых металл-углеродных наноструктур. Приведены результаты экспериментального наблюдения нанотороидальных форм металл-углеродных наноструктур с помощью методов атомно-силовой и сканирующей туннельной микроскопии. Найденные торoidalные наноструктуры были получены с помощью плазменных методов с одновременным магнетронным распылением Mo или Cr в атмосфере аргона. Также были обнаружены металл-углеродные нанокapsулы в форме нанодисков, напоминающих эритроциты человека. В работе описаны эффекты самоорганизации магнитных наночастиц на атомарно-гладких (золото на ВОПГ) поверхностях, приводящие к формированию одиночных линейных цепочек, двойных линейных цепочек, двойных спиралей и нанотрубок из магнитных наночастиц.

Ключевые слова: металл-углеродных наноструктуры, нанокapsулы, нанотороиды, самоорганизация, линейная цепочка, двойная спираль, магнитная наночастица, нанодиск, квантоворазмерная структура

Р.Лапшин, П.Азанов

НАНОЧАСТИЦЫ НИКЕЛЯ

СНИЖАЮТ ТЕМПЕРАТУРУ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ СТРУКТУР

Предложен метод осаждения каталитических наночастиц (КНЧ) никеля на поверхность гладкой подложки. Осаждение КНЧ производится в аргоновой плазме тлеющего разряда. КНЧ предназначены для синтеза углеродных наноструктур (УНС) методом плазмо-стимулированного химического осаждения из газовой фазы (ПСХОГФ). Благодаря высокой активности КНЧ температуру синтеза УНС удалось снизить с 750 до 150°C. Предложен путь, улучшающий управление размерами, формой и плотностью рассеяния по поверхности формируемых КНЧ.

Ключевые слова: наночастица, каталитическая наночастица, КНЧ, никель, углеродная наноструктура, УНС, плазма, плазмо-стимулированное химическое осаждение из газовой фазы, ПСХОГФ, атомно-силовая микроскопия, АСМ, нанотехнология, особенность-ориентированное сканирование, ООС

ПОДПИСКА:

По каталогу "Газеты и журналы агентства "РОСПЕЧАТЬ" индексы: 71775 – полугодовой индекс, 47299 – годовой индекс. По каталогу "Пресса РОССИИ. Газеты и журналы" индексы: 26073 – полугодовой индекс. ЗАО "МК-Периодика" – зарубежная подписка ООО "Урал-Пресс" ООО "Агентство "ГАЛ" ООО "ИНТЕР-ПОЧТА 2003" ООО "ИНФОРМНАУКА" в редакции журнала ☎ (495) 235-01-10 (доб. 335) ✉ magazine@technosphaera.ru

ПОДПИСАТЬСЯ НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ МОЖНО НА САЙТАХ: www.electronics.ru, elibrary.ru, www.e.lanbook.ru

FOREIGN SUBSCRIPTIONS ARE ACCEPTED:

by the Agency "Mezhdunarodnaya Kniga" ☎ (007 495) 238-4967 ☎ (007 495) 238-4634 or by companies cooperating with Mezhnknig by the "Rospechat" agency catalogue "Russian Newspapers & Magazines" ☎ (007 495) 195-6677, 195-6418 ☎ (007 495) 195-1431, 785-1470 www.rosp.ru | ovs@rosp.ru

ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес © перерегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций 24 декабря 2008 г., ПИ №ФС77-34722.

Журнал издается 8 раз в год с 1996 года.

Подписано в печать 15.09.2014 г.

Отпечатано в ООО "Юнион Принт", г. Н.Новгород,

ул. Окский съезд, д. 2

Тираж 1030 экз. Цена договорная.

© При перепечатке ссылка на журнал "ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ" обязательна. Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей. Рукописи рецензируются, но не возвращаются. Аннотации и ключевые слова статей на русском и английском языках приведены на сайте www.electronics.ru. Срок рассмотрения рукописей – 5 недель. За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

D.Gromov, A.Kozlitin, A.Savitskiy, A.Trifonov
KINETICS OF SILVER CLUSTERS FORMATION ON AMORPHOUS CARBON

IN THE PROCESS OF VACUUM THERMAL EVAPORATION

Evolution of silver thin films of different thickness, deposited on amorphous carbon in a heating procedure in vacuum are investigated in order to develop the concept of nanoclusters array formation as a result of film decomposition to droplets. Factors that determine the cluster diameters that result in the thin film decomposition process were studied. For 1-8nm films an unimodal distribution of the number of cluster dimensions is typical. Films of such thickness are not uniform but are constituted of agglomeration arrays that in the annealing process at 230°C break down to form stand-alone clusters. Under decomposition of films with thickness more than 10nm there are two groups of main cluster diameters. Bimodal distribution is due to incomplete silver film break down to droplets. Silver nanoclusters annealing in hydrogen sulphide atmosphere for 12 hours leads to formation of a monoclinic silver sulphide Ag_2S lattice.

Key words: silver nanostructures, transmission electron microscope

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ РАДИАТОРЫ

U.Bekirev, B.Potapov
SOME FEATURES OF LIGHT EMITTING DEVICES

ON THE BASIS OF HETEROSTRUCTURES WITH INTERNAL INJECTION AMPLIFICATION

A new type of multipass emitting heterostructures is considered. These heterostructures have inner injection amplifying. The active area consists of two or more layers with different thickness, doping and energy gap. The resources of these structures and the criterions of injection amplifying are investigated. These criterions are also valid for structures with an absorbing substrate. LEDs and lasers on the base of such structures are investigated. In LEDs the significant rise of external quantum efficiency takes place when current density exceeds some threshold. In lasers the relaxation oscillations of current and emission near threshold are revealed. The effect of self-cooling of a layer with narrow energy gap is possible in LEDs and lasers. The effect of thin film is possible in structures with thick films. Heterostructures with inner injection amplifying are perspective for semiconductor emitters refinement.

Key words: multipass p-n heterostructure, injection, minority carriers, external quantum efficiency, radiative recombination, thermal injection, substrate, active area, electron-hole pair, radiative recombination

Д.Громов, А.Козлитин, А.Савицкий, А.Трифонов
КИНЕТИКА ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ СЕРЕБРА НА АМОРФНОМ УГЛЕРОДЕ

ПРИ ВАКУУМНО-ТЕРМИЧЕСКОМ ИСПАРЕНИИ

Исследована эволюция тонких пленок серебра различной толщины, осажденных на аморфные пленки углерода, в процессе нагрева в вакууме для развития представлений о процессе образования массивов нанокластеров в результате распада пленок на капли. Изучены факторы, определяющие диаметры кластеров, образующихся в процессе распада тонкой пленки. Для пленок толщиной 1–8 нм характерно унимодальное распределение числа кластеров по размерам. Пленки данной толщины не являются сплошными, а представляют собой массив агломератов, которые в процессе отжига при 230°C распадаются на отдельные кластеры. При распаде пленок серебра толщиной более 10 нм наблюдается две группы наиболее предпочтительных диаметров кластеров. Бимодальный характер распределения обусловлен неполным распадом пленки серебра на капли. Отжиг нанокластеров серебра в атмосфере сероводорода в течение 12 ч приводит к образованию сульфида серебра Ag_2S с моноклинной кристаллической решеткой.

Ключевые слова: наноструктуры серебра, просвечивающий электронный микроскоп

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ

У.Бекирев, Б.Потапов
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР С ВНУТРЕННИМ УСИЛЕНИЕМ ИНЖЕКЦИИ

Рассмотрен новый тип многопроходных излучающих гетероструктур – гетероструктуры с внутренним усилением инжекции, где активная область состоит из двух или более слоев с разными толщиной, легированием и шириной запрещенной зоны. Исследованы возможности и найдены критерии усиления инжекции в таких гетероструктурах. Эти критерии справедливы и для гетероструктур с поглощающей подложкой. Исследованы светодиоды и лазеры на основе таких гетероструктур. В светодиодах наблюдалось значительное возрастание внешнего квантового выхода излучения, начиная с некоторой плотности тока через p-n-переход. При исследовании лазеров обнаружены релаксационные импульсы тока и света в области пороговых токов. В светодиодах и лазерах возможен также эффект самоохлаждения узкозонного слоя активной области. Возможно получение эффекта тонкоплёночности в нетонкоплёночных структурах. Гетероструктуры с внутренним усилением инжекции могут быть перспективными для совершенствования полупроводниковых излучателей.

Ключевые слова: многопроходная p-n-гетероструктура, инжекция, неосновные носители, внешний квантовый выход, излучательная рекомбинация, термический выброс, подложка, активная область, электронно-дырочная пара, область излучательной рекомбинации

U. Bekirev, S. Babenko, V. Krukov, B. Potapov, A. Skiper
LASER 130

ON THE BASE OF A THIN-FILM P-N HETEROSTRUCTURE

For the first time semiconductor lasers on the base of multipass thin-film p-n heterostructures are investigated. The thin-film multipass laser p-n heterostructure with thickness of 13–30 μm was mounted on a substrate-carrier. The radiation spectra, threshold currents and quantum efficiency of a thin-film multipass laser array configuration are investigated experimentally. An external quantum efficiency of a thin-film multipass laser was 77% at T = 300K and more than 90% at T = 77K. The research results have been compared with similar results for thick-film multipass lasers. The improvement of parameters of thin-film lasers in comparison with thick-film has been shown.

Key words: multipass p-n heterostructure, injection, minority carriers, external quantum efficiency, radiative recombination, substrate-carrier, active area, radiation reabsorption, the area of radiative recombination, thin-film laser

У.Бекирев, С.Бабенко, В.Крюков, Б.Потапов, А.Скипер
ЛАЗЕР

НА ОСНОВЕ МНОГОПРОХОДНОЙ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ P-N-ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ

Впервые исследованы полупроводниковые инжекционные лазеры на основе многопроходных тонкопленочных p-n-гетероструктур. Тонкопленочная многопроходная лазерная p-n-гетероструктура толщиной 13–30 мкм была посажена на подложку-носитель. Экспериментальные исследования решетки лазеров на основе тонкопленочных p-n-гетероструктур касались спектров излучения, пороговых токов и внешних квантовых выходов. В тонкопленочном многопроходном лазере были получены внешние квантовые выходы 77% при T=300K и более 90% при T=77K. Полученные результаты исследований были приведены в сравнение с аналогичными результатами для решетки лазеров на основе нетонкопленочной многопроходной p-n-гетероструктуры. Показано улучшение параметров многопроходных тонкопленочных лазеров над нетонкопленочными.

Ключевые слова: многопроходная p-n-гетероструктура, инжекция, неосновные носители, внешний квантовый выход, излучательная рекомбинация, подложка-носитель, активная область, область излучательной рекомбинации, тонкопленочный лазер

U. Bekirev, S. Babenko, V. Kryukov, B. Potapov, A. Skiper
LED 137

ON THE BASE OF A MULTIPASS THIN-FILM HETEROSTRUCTURE

Certain designs of light-emitting diode chips on the basis of multipass thin-film p-n heterostructures are considered. For manufacturing LED chips a high-temperature glue was used for mounting thin-film p-n heterostructures (15–30 μm) on a substrate-carrier. Some characteristics of light-emitting diodes were investigated experimentally. External quantum efficiency of thin-film multipass light emitting chips was more than 20%, and of LEDs on the basis of such chips was more than 30%. The superiority of thin-film LEDs diodes over thick-film ones is shown.

Key words: multipass p-n heterostructure, injection, minority carriers, external quantum efficiency, radiative recombination, substrate, active area, area of radiative recombination.

У.Бекирев, С.Бабенко, В.Крюков, Б.Потапов, А.Скипер
СВЕТОДИОД

НА ОСНОВЕ МНОГОПРОХОДНОЙ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ

Приведены некоторые конструкции светодиодных чипов на основе многопроходных тонкопленочных p-n-гетероструктур. При изготовлении чипов светодиодов использовался высокотемпературный клей для посадки тонкопленочной излучающей p-n-гетероструктуры толщиной 15–30 мкм на подложку-носитель. Проведены экспериментальные исследования некоторых характеристик чипов светодиодов. Внешний квантовый выход тонкопленочных многопроходных светодиодов превысил 20%, а светодиодов на основе таких чипов – 30%. Таким образом, тонкопленочные чипы светодиодов заметно превосходят нетонкопленочные.

Ключевые слова: многопроходная p-n-гетероструктура, инжекция, неосновные носители, внешний квантовый выход, излучательная рекомбинация, подложка, активная область, область излучательной рекомбинации

FIELD-EMISSION ELECTRONICS

E. Ilyichev, A. Kuleshev, R. Nabiev, G. Petrukhin, G. Richkov,
H. Chernyavskaya

TERAHERTZ ELECTRONICS. 143

AUTOEMITTERS ON THE BASE OF DIAMOND MICROCONICAL BODIES
AND GRAPHENE

New approaches to the design of an autoemitter that is necessary for microwave systems of 0.1–1 THz band microwave systems are considered. Primary investigation was given to a large volume of scientific literature addressed to autoemitters. The pivotal motive for such analysis involves causation that prevents the effective autoemitter design. It was found that electrode shorting, emitting microstructures height spread and provision of high vacuum that is needed to reduce the number of electrons that destroy the emitting structures could be the cause of this. In this paper it was proposed to use high density diamond microconical bodies as emitting structures. Diamond possesses high mechanical strength that decreases ions destructive effect. The microconical bodies height spread is reduced by reverse lithography. It's main point involves at first formation on the silicon surface a mask with minimal permissible dimension on top of which a doped diamond layer is grown. A control grapheme electrode is proposed that assumes total absence of holes relative to which it is necessary to align microspikes.

Key words: autoemitter, grapheme electrode, conical microemitters, reverse lithography, cathodically mesh node

ADVANCED NANOELECTRONIC DEVICES

A. Gudkov, A. Gogin, M. Kik, A. Kozlov, A. Samus

MEMRISTORS – 156

A NEW TYPE OF ELEMENTS OF RESISTIVE MEMORY FOR
NANOELECTRONICS

Possibilities of formation of memristive structures by various technological methods and with various barrier layers materials are considered. Prospects of memristor application the development of semiconductor electronics are shown. The technology of experimental memristor samples formation is described. Preliminary results of a pilot study of memristive Pt/TiO₂/TiO_x/Pt structures are presented. The "forming" (electroforming) process and the sequential change of the current-voltage characteristic is shown. A typical current-voltage characteristic of a Pt/TiO₂/TiO_x/Pt memristor after carrying out electroforming process is provided.

Key words: memristor, atomic layer deposition, memory, heterostructure, electroforming

АВТОЭМИССИОННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Э. Ильичёв, А. Кулешов, Р. Набиев, Г. Петрухин, Г. Рычков,
Е. Чернявская

ТЕРАГЕРЦОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА.

АВТОЭМИТТЕРЫ НА ОСНОВЕ АЛМАЗНЫХ МИКРОКОНУСОВ
И ГРАФЕНА

Рассматриваются новые подходы к разработке автоэммиттера, необходимого для СВЧ-систем диапазона 0,1–1 ТГц. Предварительному анализу был подвергнут большой объем научной литературы, посвященной автоэммиттерам. Основной мотив такого анализа заключался в выяснении причин, препятствующих разработке эффективного автоэммиттера. Было выяснено, что к таким причинам следует отнести закоротки управляющего электрода, разброс по высоте эмитирующих электроны микроструктур и обеспечение высокого вакуума, необходимого для уменьшения числа ионов, разрушающих эмитирующие структуры. В работе в качестве эмитирующих структур предложены алмазные микроконусы с высокой плотностью их размещения. Алмаз обладает высокой прочностью, что понижает разрушающее действие ионов. Для уменьшения у микроконусов разброса по высоте используется реверсивная литография. Ее суть заключается в том, что сначала на поверхности кремния формируется маска с минимально допустимыми размерами, а поверх этой маски наращивается легированная алмазная пленка. В качестве управляющего электрода предлагается использовать графеновый электрод, что предполагает полное отсутствие в электроде отверстий, относительно которых необходимо центрировать микроострия.

Ключевые слова: автоэммиттер, графеновый электрод, конусообразный микроэммиттер, реверсивная литография, катодно-сеточный узел

**ПЕРСПЕКТИВНАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА
НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

А. Гудков, А. Гогин, М. Кик, А. Козлов, А. Самусь

МЕМРИСТОРЫ –

НОВЫЙ ТИП ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗИСТИВНОЙ ПАМЯТИ
ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Рассмотрены возможности формирования мемристивных структур различными технологическими методами и с различными материалами барьерных слоев. Показана перспективность использования мемристоров в развитии полупроводниковой электроники. Описана технология формирования экспериментальных образцов мемристоров. Представлены предварительные результаты экспериментального исследования мемристивных структур Pt/TiO₂/TiO_x/Pt. Показан процесс "формовки" (электроформовки) и последовательное изменение вольт-амперной характеристики. Приведена типичная вольт-амперная характеристика мемристора Pt/TiO₂/TiO_x/Pt после проведения процесса "формовки".

Ключевые слова: мемристор, атомно-слоевое осаждение, память, гетероструктура, электроформовка

V. Rakitin В.Ракитин

MODELING 163 МОДЕЛИРОВАНИЕ

OF LOW-VOLTAGE NANOMETER MERGED MOS DEVICES

A new type of low-voltage nanometer-sized device – the merged MOS transistor (MMOS) is considered. The design and operation are described. The MMOS with a minimal topological size of 10nm is simulated and shown working at supply voltage of not less than 0.1V.

Key words: MOS transistor, merged MOS transistor (MMOS), nanometer size, low voltage supply, simulation, MMOS characteristics

В.Ракитин

МОДЕЛИРОВАНИЕ

НИЗКОВОЛЬТОВЫХ НАНОМЕТРОВЫХ СОВМЕЩЕННЫХ

МОП-ПРИБОРОВ

Рассмотрен новый тип приборов с нанометровыми размерами – совмещенный МОП-транзистор (СМОП). Описана конструкция и принцип его работы. Проведено моделирование СМОП с минимальным топологическим размером 10 нм и показана его работоспособность при напряжении вплоть до 0,1 В.

Ключевые слова: МОП-транзистор, совмещенный МОП-транзистор (СМОП), нанометровые размеры, низковольтное питание, моделирование, характеристики СМОП

MICROELECTRONICS FILM MATERIALS

V.Andreev, V.Maslovskiy, A.Safonov, A.Stolyarov

MDS DEVICES DIELECTRIC FILMS 169

MODIFICATION

Basic methods for MDS gate dielectric films modification and particularities of their application for parameters correction, defects minimization and MDS reliability improvement are considered. The influence of thermal injection and plasma processing on MDS structures characteristics was studied. It is shown that at the process of strong field tunnel electrons injection the negative charge thermal stability part accumulated in the phosphosilicate glass (PSG) layer of structures with double layered SiO₂-PSG gate dielectric can be utilized to adjust the threshold voltage, charge stability, and MDS devices breakdown voltage.

Key words: dielectric, charge stability, charge state, RF thermal treatment, annealing, injection, thermal injection treatment, reliability

ПЛЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

В.Андреев, В.Масловский, А.Сафонов, А.Столяров

МОДИФИКАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

МДП-ПРИБОРОВ

Рассмотрены основные способы модификации подзатворных диэлектрических слоев МДП-структур и особенности их использования для корректировки параметров, уменьшения дефектности и повышения надежности МДП-приборов. Исследовано влияние инжекционно-термической и плазменной обработок на характеристики МДП-структур. Показано, что термостабильная часть отрицательного заряда, накапливающегося в пленке фосфорно-силикатного стекла (ФСС) в структурах с двухслойным подзатворным диэлектриком SiO₂-ФСС, в процессе сильнополевой туннельной инжекции электронов может использоваться для корректировки пороговых напряжений, зарядовой стабильности и пробивных напряжений МДП-приборов.

Ключевые слова: диэлектрик, зарядовая стабильность, зарядовое состояние, радиационно-термическая обработка, отжиг, инжекция, инжекционно-термическая обработка, надежность

A.Novozhilov, A.Safonov

POLYMER MATERIALS 177

FOR ANALOG PRESSURE SENSORS

Piezoresistive properties of synthesized acrylic polymers with filler medium in the form of grapheme microparticles were investigated. Composite conductance versus load curve has a linear character in the rang from basis point to units of megapascals, the composite sensitivity to pressure changes by an order with the change of incorporated into the composite carbon by 10 percents. The dynamic range is a score of several tens.

Key words: pressure sensor, polymer, deformation, composite material

А.Новожилов, А.Сафонов

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ДЛЯ АНАЛОГОВЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Исследованы тензорезистивные свойства синтезированных акриловых полимеров с наполнителем в виде микрочастиц графита. Зависимость проводимости композита от нагрузки носит линейный характер в диапазоне от сотых долей до единиц мегапаскалей, чувствительность композита к давлению меняется на порядок при изменении доли углерода в составе композита на 10%. Динамический диапазон составляет несколько десятков.

Ключевые слова: датчик давления, полимер, деформация, композит

LEADING SPECIALISTS 180

F.V.LUKIN NIIFP

ВЕДУЩИЕ СОТРУДНИКИ

НИИФП им. Ф.В.ЛУКИНА