

НАНОИНДУСТРИЯ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

5
2018 №04

РЕНЕССАНС ВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Освоение терагерцового диапазона частот и рост требований к качеству беспроводной связи и радиолокации стимулируют развитие вакуумной микроэлектроники

НАМЕЧЕН ПРОРЫВ В ГРАВИТАЦИОННОЙ ФИЗИКЕ

Представлен проект создания компактного лазерно-интерферометрического комплекса на принципе гравитационно-индуцированного сдвига частоты генерации

НЕЙРОПРОЦЕССОР НА МЕМРИСТОРНО-ДИОДНОМ КРОССБАРЕ

Разработана концепция автономного нейропроцессора, на котором могут базироваться как нейросети на простых нейронах, так и биоморфная нейросеть

- В ПОМЕРЕ:
- ИННОВАЦИИ
- ДОСТИЖЕНИЯ
- ДИСКУССИИ



**ДЕНИС ШАМИРЯН,
ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР
ООО "МАППЕР",
О НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ
ПРОИЗВОДСТВА В РОССИИ
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МЭМС**



Выпускается при содействии Министерства промышленности и торговли Российской Федерации. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования, в базу RSCI на платформе Web of Science и в Перечень ВАК (с 18.03.2016)

Редакционный совет:

И. БЕЛЯЕВ, Е. БЛАГОВ, Ю. БОРИСОВ, С. БУЛЯРСКИЙ, В. БЫКОВ, П. ВЕРНИК, В. КАНЕВСКИЙ, А. ЛАТЫШЕВ, В. ЛУКИЧЕВ, В. ЛУЧИНИН, П. МАЛЬЦЕВ, Ю. ПАРХОМЕНКО, А. РЕЗНЁВ, А. САУРОВ (гл. ред.), А. СИГОВ, В. ТЕЛЕЦ, П. ТОДУА, Ю. ЧАПЛЫГИН, И. ЯМИНСКИЙ

Главный редактор: А. САУРОВ

Зам. главного редактора: Д. ГУДИЛИН dug@list.ru

Корректор: А. ЛУЖКОВА

Отв. секретарь: Н. АДРИАНОВА journal@electronics.ru

Дизайн и компьютерная верстка: А. БОДРОВ

Отдел рекламы:

А. ЦАПЛИН ats7@mail.ru

Сбыт: А. МЕТЛОВ sales@electronics.ru

Подписка: Е. ЗАЙКОВА magazine@technosphera.ru

Учредитель: АО "РИЦ "ТЕХНОСФЕРА"

Генеральный директор: О. КАЗАНЦЕВА

НАНОИНДУСТРИЯ ©

Перерегистрирован в Федеральной службе

по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций

7.09.2017 ПИ № ФС77-70992

Журнал издается 8 раз в год с 2012 года

Тираж 4 000 экз. Цена договорная

Подписано в печать 14.08.2018, заказ № 241745

© При перепечатке ссылка

на журнал "НАНОИНДУСТРИЯ" обязательна.

Мнение редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей.

Рукописи рецензируются, но не возвращаются.

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Отпечатано в соответствии с предоставленными

материалами в ООО "Вива-Стар"

107023, г. Москва, ул. Электроводская д. 20

АО "РИЦ "ТЕХНОСФЕРА"

Адрес редакции:

ул. Краснопролетарская, д.16, стр.2

Для писем: 125319, Москва, а/я 91

Тел.: (495) 234-0110 доб. 183

Факс: (495) 956-3346

E-mail: journal@electronics.ru

Internet <http://www.nanoindustry.ru>

<http://elibrary.ru>

www.e.lanbook.ru



ТЕХНОСФЕРА
рекламно-издательский центр

IN THE ISSUE СОДЕРЖАНИЕ

- Competent opinion**
Russian MEMS production of European quality 286
D. Shamiryani
- Компетентное мнение**
Российское производство МЭМС европейского качества
Д. Шамирян
- New classics of photolithography** 292
L. Peter
- Новая классика фотолитографии**
Л. Питер
- Conferences, seminars, exhibitions**
Compact laser-interferometric complex (CLIC) – promising research in field of gravitational physics 296
- Конференции, семинары, выставки**
Компактный лазерно-интерферометрический комплекс (КЛИК) – перспективные исследования в сфере гравитационной физики
- 10 best innovative products of VacuumTechExpo 2018** 312
S. Nesterov
- Десять лучших инновационных продуктов выставки VacuumTechExpo 2018**
С. Нестеров
- News** 294, 368, 383
- Новости**
- Report from production**
Supercritical fluid technologies – basis for creating innovative implants 320
D. Georgiev
- Репортаж с производства**
Сверхкритические флюидные технологии – основа для создания инновационных имплантатов
Д. Георгиев
- Control and measurement**
- Interprocess control of critical dimensions in production of MEMS** 328
N. Izrailev, A. Kazachkov, I. Rod, A. Isachenko, D. Shamiryani
The paper presents the results of the development of the script for the analysis of optical images. Using Deriche's boundary delimitation algorithm, the analysis script allows obtaining critical dimensions (CD) of micro-sized structures captured by an automated optical system. The monitoring of the geometrical parameters of the MEMS products after various technological processes helps to control the processes' performance which is strictly required by the quality management system maintained in the MEMS manufacturing. The developed technique allows to determine with a high accuracy the critical dimensions of chips located on a silicon or glass wafer. A complete optical inspection of one 100 mm wafer together with image processing takes less than 10 minutes. Although the developed script is designed to control the parameters of wafers of certain types and sizes, the algorithms used allow for a significant expansion of its functionality in the future.
Keywords: image processing, microstructure, quality management, optical inspection
- Межпроцессный контроль критических размеров МЭМС-элементов в производстве**
Н. Израилев, А. Казачков, И. Род, А. Исаченко, Д. Шамирян
В статье приведены результаты разработки программного обеспечения (ПО) для автоматического анализа оптических изображений. С использованием алгоритма выделения границ Дериче ПО рассчитывает геометрические параметры микроструктур на изображениях, полученных при помощи автоматизированной оптической системы в рамках межпроцессного контроля критических размеров (КР) МЭМС-продукции. Подобный контроль КР является одним из инструментов системы управления качеством в производстве МЭМС. Разработанная методика позволяет с высокой точностью определять критические размеры чипов, расположенных на кремниевой или стеклянной пластине. Полная оптическая инспекция одной пластины диаметром 100 мм вместе с обработкой изображений занимает менее 10 мин. Хотя разработанное ПО предназначено для контроля параметров пластин определенных типов и размеров, использованные алгоритмы допускают значительное расширение его функциональности в будущем.
Ключевые слова: обработка изображений, микроструктуры, управление качеством, оптическая инспекция
- FemtoScan Online! Why?** 336
A. Filonov, I. Yaminsky, A. Akhmetova, G. Meshkov
The FemtoScan Online software allows to process, analyze and create images in scanning probe microscopy, as well as to operate a scanning probe microscope, including remotely via the Internet. FemtoScan Online perceives more than 100 different formats of data developed by both existing and already disappeared companies, microscopes of which are used in laboratories around the world. The software is convenient for analyzing large images, because two images are displayed: an overview with a "sliding" area and an increased detailed view of the content of the "sliding"
- "ФемтоСкан Онлайн"! Почему он?**
А. Филонов, И. Яминский, А. Ахметова, Г. Мешков
Программное обеспечение "ФемтоСкан Онлайн" позволяет проводить обработку, анализ и построение изображений в сканирующей зондовой микроскопии, а также управлять сканирующим зондовым микроскопом в том числе удаленно – через Интернет. "ФемтоСкан Онлайн" воспринимает более 100 различных форматов записи данных от существующих и уже исчезнувших компаний, микроскопы которых используются в лабораториях мира. ПО удобно применять для анализа больших снимков, так как на экран монитора выводятся два изображения: обзорное со скользящим окном и увеличенное

Свежий номер журнала Вы можете приобрести:

Москва:

В редакции журнала "НАНОИНДУСТРИЯ"
г. Москва, ул. Краснополетарская, д. 16, стр. 2

Санкт-Петербург:

Пред-во "Золотой Шар ТМ",
Невский пр-т, д. 44, 5-й этаж, офис 6,
т. (812) 325-7544, 117-6862, 110-4366,
root@zolshar.spb.ru

Екатеринбург:

Пред-во "Золотой Шар ТМ",
ул. Народной воли, д. 25, т. (343) 212-1810, 212-1331,
ф. (343) 212-2314, zolshar@online.ural.ru, ekp@front.ru

Новосибирск:

Пред-во "Золотой Шар ТМ",
пр-т К. Маркса, д. 57, офис 708,
т. (3832) 46-2473, ф. (3832) 27-6380, nbzsh@mail.ru

Минск:

Пред-во "Золотой Шар ТМ", пл. Казинца, д. 3,
офис 456, т. (10-375-172) 78-0914,
zolshar@integral.minsk.by

Ижевск:

Пред-во "Золотой Шар ТМ",
ул. Софьи Ковалевской, д. 4а, офис 4,
т. (3412) 42-5241, т./ф. (3412) 42-5472,
office@zolshar.izhnet.ru

Подписка

- по каталогу "Газеты и журналы" агентства "Роспечать", индексы 80939 – полугодовой индекс 48508 – годовой индекс
- ЗАО "МК-Периодика"
- ООО "Урал-Пресс"
- ООО "Информнаука" – зарубежная подписка
- в редакции журнала по тел.: (495) 234-0110 e-mail: magazine@technosphaera.ru

Подписаться на электронную версию на сайтах:
www.nanoindustry.su, elibrary.ru, www.e.lanbook.ru

Foreign subscriptions are accepted

- by the Agency "Mezhunarodnaya Kniga".
Phone: (007 495) 238-4967, Fax: (007 495) 238-4634
or by companies cooperating with Mezhnkniga
- by the "Rospechat" agency catalogue "Russian Newspapers & Magazines – 2005",
Phone: (007 495) 195-6677, 195-6418,
Fax: (007 495) 195-1431, 785-1470,
E-mail: ovs@rosp.ru, <http://www.rosp.ru>

Наши представители в Германии

REC Russland Experten Consulting GmbH
Olgastraße 82 89073 Ulm
Т. +(49) 731 145 344 94
М. +(49) 151 156 820 18
n.wenzel@russland-experten.com
www.russland-experten.com

area. Also in FemtoScan Online you can view 3D images on a stereo monitor. The software is successfully used in educational work in universities, secondary schools and in the Nanotechnology youth innovation creativity center.

Keywords: scanning probe microscopy, optical microscopy, electron microscopy, image processing and analysis

Nanotechnology Neuroprocessor based on combined memristor-diode crossbar

S.Udovichenko, A.Pisarev, A.Busygin, O.Maevsky

The paper presents the concept of an autonomous hardware – a neuroprocessor, on which both neural networks with simple neurons used in information technologies and a biomorphic neural network can be based for modeling the work of the cortical column of the human brain. Neuroprocessor as a computational device of matrix-vector operations includes logical and memory matrices based on a combined memristor-diode crossbar.

We present a functional diagram of a neuroprocessor, electrical circuits of a storage matrix and a universal logical matrix. The latter as a programmable logical matrix performs matrix-vector multiplication by successive conjunctions with inversion; as a switch directs the output pulses of neurons to the synapses of other neurons; as part of the input device of the neuroprocessor implements the primary processing of the signal in the digital mode by multiplying the matrix by a vector, converting the input data into the desired format; as part of the output device, compresses the information with the same multiplication for transmission to the interface unit. SPICE-simulation of the main nodes of the neuroprocessor showed high energy efficiency of the proposed matrices.

Keywords: neuroprocessor, memories and logical matrices, memristor-diode crossbar, processing and routing of signals, multiplication of a matrix by a vector

Vacuum electronics: renaissance or stagnation

A.Grigoriev, A.Ivanov, V.Ilyin, V.Luchinin

The developments in the millimeter wavelengths and the terahertz frequency range, as well as the need to ensure high values of the most important quality factor of wireless communication systems, radar and radio electronic countermeasures – product of output power, operating frequency and frequency band – have become a stimulus for the development of vacuum microelectronics.

The use of basic and modified processes of micro- and nanotechnology and of infrastructure of integrated production of solid-state electronics and microsystem equipment create prerequisites for the evolution of vacuum electronics into the micro- and nanoscale region. The paper notes that in terms of a complex of parameters, including speed, quality factor, limiting operating frequency, noise level, resistance to radiation, temperature and electromagnetic influences, vacuum electronics devices can exceed solid-state functional analogues. The actual physical and technological problems of vacuum microelectronics are determined. At the Department of Radio Electronics and at the Center for Microtechnology and Diagnostics of ETU "LETI", modern developments are being realized, including field emission cathodes based on silicon carbide and diamond, a millimeter range traveling-wave tube for 5G wireless communication systems and millimeter-wave klystrons. Also, the paper considers areas in which vacuum microelectronics may be in demand.

отображение содержимого скользящего окна. Также реализована возможность просмотра трехмерных изображений на стереомониторе. ПО успешно используется в учебной и образовательной работе в вузах, школах и в ЦМИТ "Нанотехнологии".

Ключевые слова: сканирующая зондовая микроскопия, оптическая микроскопия, электронная микроскопия, обработка и анализ изображений

Нанотехнологии

344 Нейропроцессор на основе комбинированного мемристорно-диодного кроссбара

С.Удовиченко, А.Писарев, А.Бусыгин, О.Маевский

В работе представлена концепция автономного аппаратного средства – нейропроцессора, на котором могут базироваться как нейросети на простых нейронах, используемые в информационных технологиях, так и биоморфная нейросеть для моделирования работы кортикальной колонки человеческого мозга. Нейропроцессор как вычислительное устройство матрично-векторных операций включает в себя логическую и запоминающую матрицы, построенные на основе комбинированного мемристорно-диодного кроссбара. Предложены функциональная схема нейропроцессора, а также электрические схемы запоминающей и универсальной логической матриц. Последняя в качестве программируемой логической матрицы выполняет умножение матрицы на вектор путем последовательных конъюнкций с инверсией; в качестве коммутатора направляет выходные импульсы нейронов на синapses других нейронов; в качестве части входного устройства нейропроцессора реализует первичную обработку сигнала в цифровом режиме с помощью умножения матрицы на вектор, преобразуя входные данные в нужный формат; в качестве части выходного устройства осуществляет сжатие информации с помощью того же умножения для передачи в интерфейсный блок. SPICE-моделирование основных узлов нейропроцессора, показало высокую энергоэффективность предложенных матриц.

Ключевые слова: нейропроцессор, запоминающая и логическая матрицы, мемристорно-диодный кроссбар, обработка и коммутация сигналов, умножение матрицы на вектор

356 Вакуумная электроника: ренессанс или стагнация

А.Григорьев, А.Иванов, В.Ильин, В.Лучинин

Освоение миллиметровых длин волн и терагерцового диапазона частот при необходимости обеспечения высоких значений важнейшего критерия качества систем беспроводной связи, радиолокации и радиоэлектронного противодействия – произведения выходной мощности на рабочую частоту и полосу частот – стали стимулом для развития вакуумной микроэлектроники. Использование базовых и модифицированных процессов микро- и нанотехнологии и инфраструктуры интегрально-группового производства приборов твердотельной электроники и микросистемной техники создают предпосылки к эволюции вакуумной электроники в микро- и наноразмерную область. В статье отмечено, что по комплексу параметров, в том числе, быстродействию, критерию качества, предельной рабочей частоте, уровню шумов, устойчивости к радиационным, температурным и электромагнитным воздействиям, приборы вакуумной эмиссионной электроники могут превосходить твердотельные функциональные аналоги. Определены актуальные физико-технологические проблемы вакуумной микроэлектроники. Представлены современные разработки, реализуемые на кафедре радиотехнической электроники и в центре микротехнологии и диагностики СПбЭТУ "ЛЭТИ", в том числе, автоэмиссионные катоды на основе карбида кремния и алмаза, лампа бегущей волны миллиметрового диапазона для 5G систем беспроводной связи и клистрон миллиметрового диапазона. Рассмотрены области, в которых может быть востребована вакуумная микроэлектроника.

Keywords: vacuum micro-device, field emission cathode, traveling wave tube, klystron

Ключевые слова: вакуумный микротрибор, автоэмиссионный катод, лампа безущей волны, клистрон

Obtaining hydrogen for fuel cells using finely dispersed silicon 370

B. Gribov, K. Zinoviev, O. Kalashnik, N. Gerasimenko, D. Smirnov, V. Sukhanov, L. Sukhanova, V. Chetverikov

The development of hydrogen energy causes the growth of interest in the creation of chemical hydrogen generators. The paper considers the prospect of using fine-dispersed silicon in such generators. In particular, the waste products of the production of high-purity single-crystal and polycrystalline silicon, as well as metallurgical silicon, can be suitable and cheap materials for the obtaining of hydrogen when interacting with a weak-alkaline KOH solution. The study of the change in the rate and the thermal effect of the reaction as a function of its time, the parameters of the silicon powder, and the ratio of the initial components of the solution made it possible to establish that for an identical particle size of the powder, the specific rate of hydrogen generation depends little on the method of obtaining silicon, its crystal structure and the impurity content. The main factor influencing the intensity of the chemical reaction is the particle size of the powder. Based on the research, recommendations for the selection of powders of polycrystalline and monocrystalline silicon for practical use in autonomous chemical hydrogen generators are proposed.

Keywords: Hydrogen energy, chemical hydrogen generator, monocrystalline and polycrystalline silicon

Infrastructure

Bionanoscopia: an educational and research center and a shared use of equipment center 380

G. Meshkov, A. Akhmetova, Yu. Belov, I. Yaminsky

Получение водорода для топливных элементов с использованием тонкодисперсного кремния

Б. Грибов, К. Зиновьев, О. Калашник, Н. Герасименко, Д. Смирнов, В. Суханов, Л. Суханова, В. Четвериков

Развитие водородной энергетики обуславливает рост интереса к созданию химических генераторов водорода. В работе рассматривается перспектива использования в таких генераторах тонкодисперсного кремния. В частности, подходящими и дешевыми материалами для получения водорода при взаимодействии со слабощелочным раствором KOH могут служить отходы производства высокочистого монокристаллического и поликристаллического кремния, а также технический кремний. Исследования изменения скорости и теплового эффекта реакции в зависимости от ее времени, параметров порошка кремния и соотношения исходных компонентов раствора позволили установить, что при одинаковом размере частиц порошка удельная скорость генерации водорода мало зависит от метода получения кремния, кристаллической структуры и содержания примесей. Основным фактором, влияющим на интенсивность химической реакции, является размер частиц порошка. На основании исследования разработаны рекомендации по выбору порошков поликристаллического и монокристаллического кремния для практического использования в автономных химических генераторах водорода.

Ключевые слова: водородная энергетика, химический генератор водорода, монокристаллический и поликристаллический кремний

Инфраструктура

Бионаоскопия: учебно-научный центр и центр коллективного пользования

Г. Мешков, А. Ахметова, Ю. Белов, И. Яминский

СПИСОК РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

ExpoCoating.....	333
LABCompLEX	379
NDT	355
ZENCO PLASMA.....	315
Биоиндустрия	311
Изовак	317
Макромолекулярные нанообъекты и полимерные нанокомпозиты	295
Новые материалы	369
Открытые инновации	4 обл.
РосБиоТех	327
СПБГЭТУ.....	клапан
Термообработка.....	335
Технопром	3 обл.
Тиснум	283
Фармтех	343
Химия	319
ЦПТ.....	281
Шаг, ЗАО	2 обл.

"ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес"

Научно-технический журнал, посвященный широкому спектру вопросов в области разработки и изготовления электронной и радиоэлектронной аппаратуры и ее компонентов, а также отраслевых тенденций и состояния рынка. Журнал ориентирован как на руководителей различного уровня, так и на научных и инженерно-технических работников в сфере проектирования и производства электроники, а также в смежных областях.

ISSN: 1992-4178

"ПЕРВАЯ МИЛЯ Last Mile"

Научно-технический журнал, посвященный технологиям и бизнесу телекоммуникаций, производства кабелей связи, телевизионного вещания, информационной безопасности. Особое внимание уделяется сетям широкополосного доступа и локальным телекоммуникационным сетям.

ISSN: 2070-8963

"ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА"

Журнал, посвященный формированию цифровой экономики в РФ в концептуальном, институциональном и техническом аспектах. Новостные, аналитические и экспертные материалы.

"НАНОИНДУСТРИЯ"

Научно-технический журнал, посвященный наноматериалам, наноэлектронике, нанодатчикам и наноустройствам, диагностике наноструктур и наноматериалов, нанобиотехнологиям и применению нанотехнологий в медицине.

ISSN: 1993-8578

"АНАЛИТИКА"

Межотраслевой научно-технический журнал о создании, изучении и применении новых веществ и материалов. Журнал посвящен инновационным междисциплинарным решениям и технологиям в химии и нефтехимии, науках о жизни, материаловедении, нанотехнологиях.

ISSN: 2227-572X

"ФОТОНИКА"

Научно-технический журнал по фотонным и оптическим технологиям, оптическим материалам и элементам, используемым в оптических системах, оборудовании и станках.

ISSN: 1993-7296

"СТАНКОИНСТРУМЕНТ"

Отраслевой научно-технический журнал, комплексно рассматривающий проблемы станкоинструментальной промышленности.

ISSN: 2499-9407



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

www.technosphere.ru