

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, Ю.БОРИСОВ, С.БУЛЯРСКИЙ, В.БЫКОВ, П.ВЕРНИК, В.КАНЕВСКИЙ, А.ЛАТЫШЕВ, В.ЛУКИЧЕВ, В.ЛУЧНИН, П.МАЛЬЦЕВ, Ю.ПАРХОМЕНКО, А.РЕЗНЕВ, А.САУРОВ (гл. ред.), А.СИГОВ, В.ТЕЛЕЦ, П.ТОДУА, Ю.ЧАПЛЫГИН, И.ЯМИНСКИЙ

Главный редактор: А.САУРОВ

Зам. главного редактора: А.АЛЕШИН

Корректор: А.ЛУЖКОВА

Отв. секретарь: Э.ГАЗИНА [journal@electronics.ru](mailto:journal@electronics.ru)

Дизайн и компьютерная верстка: А.БОДРОВ

### Отдел рекламы:

А.ЦАПЛИН [ats71@mail.ru](mailto:ats71@mail.ru)

О.ЛАВРЕНТЬЕВА [nano@technosphere.ru](mailto:nano@technosphere.ru)

Сбыт: А.МЕТЛОВ [sales@electronics.ru](mailto:sales@electronics.ru)

Подписка: Е.ЗАЙКОВА [magazine@technosphere.ru](mailto:magazine@technosphere.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 30.07.2021, заказ № 295953

© 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. Краснопротарская, 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](mailto:journal@electronics.ru)

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

<http://elibrary.ru>

[www.e.lanbook.ru](http://www.e.lanbook.ru)



ТЕХНОСФЕРА  
рекламно-издательский центр

## IN THE ISSUE СОДЕРЖАНИЕ

### Competent opinion

Low noise laser sources:  
from microwave photonics to plasmonics  
and biotechnologies

A.A.Fotiadi

168

### Компетентное мнение

Лазерные источники с низким уровнем шума:  
от микроволновой фотоники до плазмоники и  
биотехнологий

А.А.Фотиади

### Nanotechnologies

Protein nanogenerators of the living cell  
electricity as the prototype of the nature-like  
"green" nanoelectric energetics

M.A.Sidorov

174

### Нанотехнологии

Белковые наногенераторы электроэнергии  
живой клетки – прообраз природоподобной  
"зеленой" наноэлектроэнергетики

М.А.Сидоров

Protein generators of electricity are nanosized enzymatic complexes of electron transport chains of membranes of plant and animal cells. On the basis of the convergence of bioenergy and nanotechnology, theoretical studies of the properties of these protein electric generators have been carried out, as a result of which nanobioelectrophysical, nanobioheat-energy and quantum-wave mathematical models of the mechanism of their operation in the ETC have been created.

**Keywords:** protein electric generators, convergence of nanotechnology and bioenergy, nanobiobarrriers

Белковые генераторы электроэнергии – наноразмерные ферментные комплексы электронно-транспортных цепей мембран растительных и животных клеток. На основе конвергенции биоэнергетики и нанотехнологий проведены теоретические исследования свойств БГЭ, созданы нанобиоэлектрофизическая, нанобиотеплоэнергетическая и квантово-волновая модели работы в ЭТЦ.

**Ключевые слова:** белковые электрогенераторы, конвергенция нанотехнологии и биоэнергетики, нанобиобарьеры

### Optical microscopy with the use of microlenses

I.V.Yaminskiy, A.I.Akhmetova, S.A.Senotrusova

184

### Оптическая микроскопия с использованием микролинз

И.В.Яминский, А.И.Ахметова, С.А.Сенотрусова

Microscopy with the use of microspheres is a new method to obtain 3D images with ultra-high resolution due to the use of a transparent microsphere at visualization in a standard optical microscope. When using a microlens microscope it is possible to get an optical resolution up to a hundred of nanometers horizontally during visualization of blu-ray disc surface grooves. It does not require to introduce labels, it is just necessary to slightly upgrade the optical microscope. It is possible to improve the microlens microscope capabilities using the interference microscopy which provides high sensitivity and image topography of ultra-high resolution.

**Keywords:** microlens, Blu-ray disk, hardness, interference microscopy, optical microscopy

Микроскопия с использованием микросфер – новый метод получения 3D-изображений со сверхвысоким разрешением благодаря использованию прозрачной микросферы при визуализации в классическом оптическом микроскопе. С помощью микролинзовой микроскопии можно получить оптическое разрешение до ста нанометров по горизонтали, например, при визуализации канавок Blu-ray-диска. При этом не требуются метки, необходима лишь небольшая модернизация обычного оптического микроскопа.

**Ключевые слова:** микролинзы, Blu-ray-диск, интерференционная микроскопия, оптическая микроскопия

### Application of super-resolution method in diffusion MRI

O.P.Poznansky

188

### Применение метода сверхвысокого разрешения в диффузионной МРТ

О.П.Познанский

Diffusion MRI is a magnetic resonance imaging method that estimates random molecular motion of molecules in biological tissue. The most popular its application consists in disentangling of tissue anisotropy. Nowadays high resolution imaging techniques allow to make conclusions not only about brain white matter structure but also a gray matter attracts a great attention. However, such potentially valuable MRI methods are not used in clinical environment routinely because they require a long acquisition time. In this work we process low-resolution diffusion MRI and calculate high-resolution images by means of super-resolution

Диффузионная МРТ – это метод магнитно-резонансной томографии, оценивающий случайное движение молекул в биологической ткани. Наиболее популярное его применение – исследование анизотропии тканей. В настоящее время методы визуализации с высоким разрешением позволяют делать выводы о структуре белого и серого вещества мозга. Тем не менее, такие потенциально ценные методы МРТ обычно не используются в медицинской практике, поскольку требуют длительного времени измерения. В этой работе мы используем диффузионную МРТ с низким разрешением и рассчитываем изображения с высоким разрешением с помощью реконструкции сверхвысокого

Свежий номер журнала Вы можете приобрести:

Москва:

В редакции журнала "НАНОИНДУСТРИЯ"  
г. Москва, ул. Краснопролетарская, 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, ekr@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
- АО "МК-Периодика"
- ГК "Урал-Пресс"
- ООО "Информнаука" – зарубежная подписка
- в редакции журнала по тел.: (495) 234-0110 e-mail: magazine@technosphera.ru

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

Foreign subscriptions are accepted

- by the Agency "Mezhdunarodnaya Kniga". Phone: (007 495) 238-4967, Fax: (007 495) 238-4634 or by companies cooperating with Mezhnkiga
- 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  
T + (49) 731 145 344 94  
M + (49) 151 156 820 18  
n.wenzel@russland-experten.com  
www.russland-experten.com

reconstruction. We calculate diffusion-tensor and estimate quality of its fitting comparing with alternative interpolation methods. We demonstrate benefit of super-resolution technique in terms of root-mean-square error and by analyzing fractional anisotropy and other tensor invariants.

**Keywords:** diffusion MRI, magnetic resonance tomography, diffusion-tensor, root-mean-square error, volt-ampere characteristic, fractional anisotropy, tensor invariants

## Comparative study of volumetric and surface mechanical properties of the materials for dental constructions obtained using additive technologies

M.A.Gadzhiev, K.S.Kravchuk, E.V.Gladikh, G.Kh.Sultanova, A.A.Rusakov, A.S.Useinov, S.V.Apresyan

This paper presents the results of testing the instrumental hardness and elastic modulus, linear wear and friction coefficients of the original and polished samples for dental structures obtained using additive technologies. In addition to the study of local mechanical properties, volumetric characteristics – elastic modulus, strength and deformation – were measured using the three-point bending method. The surface of the samples subjected to the bending test did not undergo sample preparation.

**Keywords:** dental occlusal splints, hardness, strength, modulus of elasticity, deformation, 3D printing of biomaterials

## Nanomaterials

### Chromium galvanic plating modified by a combination of multilayer carbon nanotubes and nanodiamonds

M.Nasraoui

An experimental study of the microhardness of the obtained chromium plating from a standard electrolyte modified with a combination of multilayer carbon nanotubes (MLCNT) and nanodiamonds was carried out. It was revealed that when the combination of MLCNT of "Taunit" series and nanodiamonds is added to the electrolyte, the microhardness of the chromium coating increases to 1,084 kg/mm<sup>2</sup>.

**Keywords:** chrome galvanic coating, carbon nanotubes, nanodiamonds, microhardness

## Equipment for nanoindustry

### Portable nano-holographic planimeter

B.G.Turukhano, N.Turukhano, Yu.M.Lavrov, S.N.Khanov, V.V.Dobryn, O.G.Ermolenko, L.A.Konstantinov, E.F.Vilkov, I.V.Ladatko

Portable NANO holographic plane meter refers to measuring technology, more precisely to the field of measuring and controlling the quality of optical surfaces, their deviation from a given surface shape, determining surface roughness, including super smooth surfaces, such as flat mirrors, polished substrates, etc. PNHPM leads to an increase in the measurement accuracy,

разрешения. Мы рассчитываем тензор диффузии и точность его оценки по сравнению с альтернативными методами интерполяции. Демонстрируются преимущества техники сверхвысокого разрешения с точки зрения среднеквадратичной ошибки путем анализа дробной анизотропии и других тензорных инвариантов.

**Ключевые слова:** диффузионная МРТ, магнитно-резонансная томография, тензор диффузии, среднеквадратичная ошибка, дробная анизотропия, тензорный инвариант

## Сравнительные испытания объемных и поверхностных механических свойств материалов для стоматологических конструкций, полученных с помощью аддитивных технологий

М.А.Гаджиев, К.С.Кравчук, Е.В.Гладких, Г.Х.Султанова, А.А.Русакон, А.С.Усеинов, С.В.Апресян

В работе приведены результаты испытания инструментальных твердости и модуля упругости, коэффициентов линейного износа и трения исходных и полированных образцов для стоматологических конструкций, полученных с помощью аддитивных технологий. Помимо исследования локальных механических свойств, проводилось измерение объемных характеристик – модуля упругости, прочности и деформации – с помощью метода трехточечного изгиба. Поверхность образцов, подвергнутых испытанию на изгиб, не проходила пробоподготовку.

**Ключевые слова:** стоматологические окклюзионные шины, твердость, прочность, модуль упругости, деформация, 3D-печать биоматериалов

## Наноматериалы

### Хромическое гальваническое покрытие, модифицированное комбинацией многослойных углеродных нанотрубок и наноалмазов

М.Насрауи

Проведено экспериментальное исследование микротвердости хромового гальванического покрытия, наномодифицированного комбинацией многослойных углеродных нанотрубок и наноалмазов. Выявлено, что добавление в электролит многослойных углеродных нанотрубок и наноалмазов приводит к возрастанию микротвердости хромового покрытия до 1084 кг/мм<sup>2</sup>.

**Ключевые слова:** хромовое гальваническое покрытие, углеродные нанотрубки, наноалмазы; микротвердость

## Оборудование для nanoиндустрии

### Портативный наноголографический плоскомер

Б.Г.Туруханов, Н.Туруханов, С.Н.Ханов, Ю.М.Лавров, В.В.Добрын, О.Г.Ермоленко, Л.А.Константинов, Е.А.Вилков, И.В.Ладатко

Портативный наноголографический плоскомер предназначен для измерения и контроля качества оптических поверхностей, отклонений от заданной формы, определения шероховатости, включая сверхгладкие поверхности. ПНГПл увеличивает точность измерения, не ограничен

## СПИСОК РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

LABComplex .....	231
NDT .....	165
SemiExpo .....	167
ВЛ Асептика .....	211
Микроэлектроника .....	4-я обл.
Петербургский международный газовый форум 3-я обл.	
Территория NDT .....	2-я обл.
Тиснум .....	163
Хамаматсу .....	183
Химия .....	239
ЦПТ .....	161

removal of restrictions on the size of the surface, accelerate measurements in the wide temperature range.

**Keywords:** holographic plane meter, surface roughness, holographic length meter

### Electromechanical cantilever sensors for detection of biological objects

I.V.Yaminskiy, A.I.Akhmetova

Recognition of viruses in the medical diagnostics can be performed using a polymerase chain reaction and an enzyme-linked immunosorbent assay. Although these methods have extremely high sensitivity and selectivity, it is necessary to involve a qualified personnel, investments, use additional labels and time to data processing to diagnose. Nowadays, effective and easy-to-use small sensors indicating the result with high specificity are absolutely necessary.

**Keywords:** electromechanical cantilever sensors, PCR, immunosorbent assay

### High-resolution digital holographic microscope for transparent objects

B.G.Turukhano, N.Turukhano, I.A.Turukhano

In this paper, it is proposed the use of a spherical digital matrix for recording a hologram in a digital holographic microscope to obtain the high-frequency component of a phase object with the aim of increasing the resolution of its reconstructed image and thereby its quality.

**Keywords:** high-resolution digital holographic microscope, spherical digital matrix

размером измеряемой поверхности, ускоряет измерения в широком температурном диапазоне.

**Ключевые слова:** голографический плоскомер, шероховатость поверхности, голографический длиномер

### Электромеханические кантилеверные сенсоры для обнаружения биологических объектов

И.В.Яминский, А.И.Ахметова

В медицинской диагностике распознавание вирусов выполняется с помощью полимеразной цепной реакции и иммуноферментного анализа. Их высокая чувствительность и селективность требуют привлечения высококвалифицированного персонала, использования дополнительных меток, времени для анализа данных и инвестиции. Существует потребность в небольших, эффективных датчиках, показывающих результат с высокой специфичностью.

**Ключевые слова:** электромеханические кантилеверные сенсоры, ПЦР, иммуноферментный анализ

### Высокоразрешающий цифровой голографический микроскоп для прозрачных объектов

Б.Г.Турухано, Н.Турухано, И.А.Турухано

В работе используется сферическая цифровая матрица для записи голограммы в цифровом голографическом микроскопе для регистрации высокочастотной составляющей фазового объекта для увеличения разрешения его восстановленного изображения и тем же качеством.

**Ключевые слова:** высокоразрешающий цифровой голографический микроскоп, сферическая цифровая матрица



## Издательство АО "РИЦ "ТЕХНОСФЕРА"

### "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

### "НАНОИНДУСТРИЯ"

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

ISSN: 1993-8578 (print) | ISSN 2687-0282 (online)

### "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 (print) | ISSN 2686-844X (online)

### "СТАНКОИНСТРУМЕНТ"

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

ISSN: 2499-9407

### ИЗДАНИЕ КНИГ

Подготовка и выпуск научно-технической и учебной литературы российских и зарубежных авторов в широком спектре научных дисциплин — от материаловедения и электроники до биологии, медицины и нанотехнологий. Книгами издательства "ТЕХНОСФЕРА" (в том числе и с электронными версиями) можно ознакомиться на нашем сайте.



**ТЕХНОСФЕРА**  
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

www.technosphera.ru