



Игорь Соловей

# Технологии электроники, использующие самоорганизацию вещества

В последние десятилетия внимание многих исследователей сфокусировано на наноразмерных объектах. До этого человечество, двигаясь при изучении вглубь материи, долгое время не замечало, что есть структуры, лежащие в наноразмерном масштабе. Сегодня всем очевидно, что жидкие и твердые вещества имеют многомасштабную архитектуру, и свойства таких материалов в значительной мере определяются их строением на наноуровне, и что наноразмерные ансамбли входят в состав структуры жидкостей и реальных кристаллических и аморфных веществ.

Наиболее распространенными типами таких структур являются различные дефекты строения, молекулы примесей, сформировавшие вокруг себя слой молекул растворителя, и т.д.

Показано, что благодаря многомасштабному строению многие природные материалы имеют уникальные свойства. В связи с этим активно разрабатываются искусственные многомасштабные

материалы. При этом часто технологии имеют две стадии: первая стадия — самосборка атомов (или молекул) в наноструктуры, вторая стадия — самосборка наноструктур в материал или элемент устройства (устройство). Эта технология получения материалов и устройств за счет самоорганизации атомов (молекул) активно развивается в двух вариантах — эпитаксиальные вакуумные и жидкофазные (принтинговые) технологии.

Вакуумные эпитаксиальные технологии получения устройств электроники и МЕМС основаны на процессе разложения твердых веществ на атомы (полупроводники) или молекулы (органические вещества) и конденсации и самосборке полученных атомов (молекул) на подложке в заданные архитектуры. Жидкофазные технологии (печатные технологии) включают стадию получения атомарных или молекулярных ансамблей (наноструктур, супрамолекулярных структур), создание из этих наноструктур «чернил» с заданными физико-химическими характеристиками и печатание материала или устройства из этих «чернил» на подложке (часто гибкой).

В настоящее время производство устройств электроники (интегральные схемы, светодиодные чипы, фотовольта-

ические батареи, RFID метки) и МЕМС базируется в основном на вакуумных технологиях. Однако появляются компании, производящие светоизлучающие полимерные материалы для источников света и солнечные батареи на гибкой основе. Источники света и солнечные батареи, получаемые с помощью печатных технологий, в ближайшее время начнут успешно конкурировать с полупроводниковыми светодиодами и солнечными батареями.

Разработаны и гибкие полимерные интегральные схемы, получаемые методами печатных технологий, однако они значительно уступают полупроводниковым интегральным схемам по техническим характеристикам. Разработанный компанией IMEC к настоящему времени органический гибкий чип имеет 4000 транзисторов (размером 5 мк каждый, в то время как размер полупроводникового — 20 нм) и работает в миллион раз медленнее, чем современные полупроводниковые чипы. Достичь сравнимой с полупроводниковыми системами скорости не удастся из-за принципиальных ограничений. Достоинством органических чипов является их низкая стоимость. Такие чипы могут найти применение в устройствах, не требующих высоких скоростей обработки информации.

Главный редактор, академик РАН  
М.В. АЛФИМОВ

Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
ПИ №ФС77-26130 выдано Федеральной службой по надзору  
за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций  
и охране культурного наследия 03 ноября 2006 г.

### Учредители:

Федеральное агентство по науке  
и инновациям РФ, ООО «Парк-медиа»

### Редакционный совет:

Председатель: М.В. Ковальчук  
Главный редактор: М.В. Алфимов

Ж.И. Алфёров, А.Л. Асеев,  
Е.Н. Каблов, М.П. Кирпичников,  
С.Н. Мазуренко, К.Г. Скрябин

### Редакционная коллегия:

Ответственный секретарь: М.Я. Мельников  
М.И. Алымов, В.М. Говорун, С.П. Громов,  
А.М. Желтиков, А.В. Лукашин, А.Н. Озерин,  
А.Н. Петров, Б.В. Потапкин, В.Ф. Разумов,  
И.П. Суздалев, А.Б. Ярославцев,  
Я.И. Штромбах, Е.Б. Яцишина

Издатель: А.И. Гордеев

Руководитель проекта: Т.Б. Пичугина

Выпускающий редактор: М.Н. Морозова

Редактор: С.А. Озерин

Корректур: Г.В. Калашникова

Подготовка иллюстраций, макет и верстка:

К.К. Опарин, Е.Б. Чубатюк

Фотоподбор: М.Н. Морозова

Распространение: Е.Л. Пустовалова

E-mail: [podpiska@nanorf.ru](mailto:podpiska@nanorf.ru), [www.nanorf.ru](http://www.nanorf.ru), [www.nanoru.ru](http://www.nanoru.ru)

Дизайн журнала: С.Ф. Гаркуша

Адрес редакции: 119234, Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ,  
владение 1, строение 75Г. Телефон/факс: (495) 930-87-07.

Для писем: 119311, Москва-311, а/я 136

Подписка: (495) 930-87-07.

E-mail: [podpiska@nanorf.ru](mailto:podpiska@nanorf.ru), [www.nanorf.ru](http://www.nanorf.ru), [www.nanoru.ru](http://www.nanoru.ru)

ISSN 1992-7223

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Российские нанотехнологии» обязательна. Любое воспроизведение опубликованных материалов без письменного согласия редакции не допускается. Редакция не несет ответственность за достоверность информации, опубликованной в рекламных материалах.

© РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ, 2012

Номер подписан в печать xx ноября 2012 г.

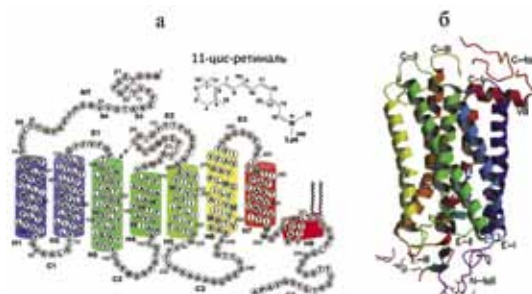
Тираж 1000 экз. Цена свободная.

Отпечатано в типографии «МЕДИА-ГРАНД»

## В этом номере

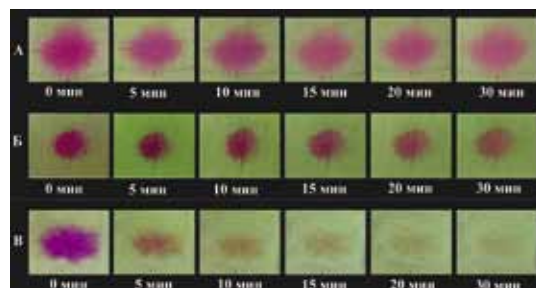
стр.  
xx

Родопсин – один из самых древних белков животного царства. Его уникальные фотохимические и спектральные свойства обеспечиваются одним из самых консервативных доменов – хромофорным центром и взаимодействующей с его ближайшим белковым окружением хромофорной группой – 11-цис-ретиналом. Подробнее читайте в статье М.А. Островского, который подготовил обзор собственных и литературных данных, касающийся эволюции, структуры, спектральных и фотохимических свойств зрительного пигмента родопсина.



Двух- (Овчинников и др., 1982)<sup>13</sup> (а) и трехмерная (Palczewski et al., 2000)<sup>15</sup> (б) структура родопсина и структурная формула хромофора, 11-цис-ретинала

стр.  
xx

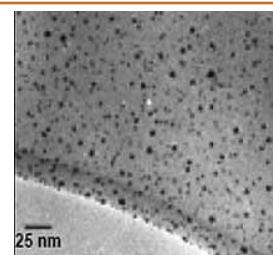


ПЭМ наночастиц Pd, нанесенных на перовскит

Еще один обзор этого номера авторов Н.В. Ореховой и др. рассматривает каталитические процессы для неокислительного и окислительного дегидрирования алканов C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>, включая системы с обычным катализатором и процессы, проводимые с использованием мембранного катализа. В последних существенное преимущество имеют системы с окислительным дегидрированием алканов. При этом в реакторах могут использоваться как пористые мембраны, так и твердые электролиты с проводимостью по ионам кислорода.

стр.  
xx

Работа О.Л. Галкиной и др. из Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН посвящена разработке «умного текстиля», обладающего высокой фотокаталитической активностью в реакциях деструкции органических соединений. Для модифицирования хлопковых волокон был использован нанокристаллический золь TiO<sub>2</sub>. В качестве спейсера была применена 1,2,3,4-бутан тетракарбоновая кислота. Формирование фотоактивных наночастиц происходило в результате низкотемпературного золь-гель синтеза, приводящего к образованию диоксида титана анатаз-брукитной модификации. Самоочищающиеся свойства модифицированных текстильных материалов оценивались по реакции разложения нанесенного на них модельного красителя Родамина Б под действием УФ-облучения.



Разложение Родамина Б, нанесенного на обработанные образцы ткани, в зависимости от времени выдержки под действием УФ-излучения: а – краситель нанесенный на образец 1, б – краситель, нанесенный на образец 2, в – краситель, нанесенный на образец 3

# СОДЕРЖАНИЕ

Слово редактора ..... 3

Фантазии и воспоминания ..... 4

Электронный документооборот редакционной коллегии научного журнала ..... 6

Конференция по наноструктурным материалам NANO-2012 ..... 8

## НАНО обзоры

### Нanomатериалы функционального назначения

А.Б. Ярославцев  
**Взаимосвязь свойств гибридных ионообменных мембран с размерами и природой частиц допанта** ..... 8

## НАНО статьи

### Наноструктуры, включая нанотрубки

А.В. Виноградов, Т.В. Герасимова, В.В. Виноградов, А.В. Агафонов  
**Новый подход для получения наноразмерных кристаллов псевдобрукита** ..... 19

В.В. Кушнир, М.В. Рубашкина, А.М. Светличный, О.Б. Спиридонов  
**Формирование субмикронных структур на поверхности пленок аморфного кремния наносекундным импульсным излучением лазерного генератора линии** ..... 23

М.В. Цодиков, С.С. Курдюмов, Г.И. Константинов, В.Ю. Мурзин, Ю.В. Максимов, В.Н. Корчак, Суздаев И.П.  
**Катализатор парового риформинга метана, полученный на основе природных оксидов и устойчивый в среде H<sub>2</sub>S: активность, селективность и эволюция наноструктуры** ..... 29

М.В. Цодиков, С.С. Курдюмов, В.Ю. Мурзин, Ю.В. Максимов, В.К. Имшеник, С.В. Новичихин, Е.А. Максимовский, В.В. Кривенцов  
**Структурные перестройки катализатора парового риформинга метана, устойчивого к примеси сероводорода: конфигурация каталитически активных нанокomпонентов «ядро (инвар FeNi) – оболочка(γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)»** ..... 36

Ф.Ф. Оруджев, Ф.Г. Гасанова, З.М. Алиев, А.Б. Исаев  
**Фотоэлектронкаталитическое окисление фенола на модифицированных платиной нанотрубках TiO<sub>2</sub>** ..... 44

### Нanomатериалы конструкционного назначения

А.П. Сафронов, О.М. Саматов, А.И. Медведев, И.В. Бекетов, А.М. Мурзакаев  
**Получение нанопорошка гексаферрита стронция методом лазерного испарения** ..... 48

### Нанofотоника

И.С. Григорьев, Л.Г. Клапшина, С.А. Лермонтова, В.В. Семёнов, В.М. Треушников, В.В. Треушников, Б.А. Бушук, S. Clement, W.E. Douglas  
**Эффективные люминесцентные солнечные концентраторы на основе малодефектных органических стекол, содер-**

**жащих новый цианопорфиразиновый комплекс иттербия** ..... 53

В.П. Чубаков, П.А. Чубаков, А.И. Плеханов  
**Датчик влажности на основе фотонно-кристаллической пленки опала** ..... 59

Е.О. Мальцева, А.С. Кучьянов, А.И. Плеханов  
**Активные нанокomплексы в низкoпороговом лазере** ..... 62

В.Г. Федотов, А.В. Селькин  
**Формирование спектров отражения и пропускания света тонкими трехмерными фотонно-кристаллическими пленками в режиме многоволновой дифракции** ..... 65

В.А. Кукушкин  
**Численное моделирование фонтанного лазера дальнего инфракрасного диапазона на модуляционно допированных наногетероструктурах с квантовыми ямами** ..... 68

### Нанобиология

А.А. Гусев, И.А. Федорова, А.Г. Ткачев, А.Ю. Годымчук, Д.В. Кузнецов, И.А. Полякова  
**Острое токсическое и цитогенетическое действие углеродных нанотрубок на гидробионтов и бактерии** ..... 71

О.В. Деметьева, М.А. Филиппенко, М.Е. Карпева, Э.М. Седых, Л.Н. Банных, Р.И. Якубовская, А.А. Панкратов, Б.Я. Коган, В.М. Рудой

<b>Импакт-фактор РИНЦ</b> <b>0.954</b>	<b>Выходит 6 раз в год</b>	<b>Публикация статьи занимает 3 месяца</b>
---	----------------------------	--

**ЖУРНАЛ «РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ»** входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

**Как его найти:**  
 Смотрите страницу на сайте ВАК:  
[http://vak.ed.gov.ru/ru/help\\_desk/list/](http://vak.ed.gov.ru/ru/help_desk/list/)

Журнал «Российские нанотехнологии», его англоязычная версия и приложения к нему издаются при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

<b>Англоязычная версия распространяется</b> <b>Springer</b>	<b>Журнал индексируется в базе</b> <b>Scopus</b>
--	---

**Публикация в журнале бесплатная**



# Фантазии и воспоминания

«С детства мне доставляли радость земля и небо, восход ы и закаты. Особенно меня радовала игра цвета. Я много фотографировал, стараясь сохранить поразившие меня образы, но чувствовал, что фотографии не передают тех ощущений, которые приносит реальность. Реальные цветы и пейзажи вызывали во мне куда более сильный эмоциональный отклик», — так начинается предисловие к альбому живописи главного редактора нашего журнала, академика Михаила Владимировича Алфимова. Рисовать он начал 12 лет назад, довольно неожиданно для себя. Сначала работал над цветами и пейзажами, постепенно

перейдя к композициям со сложными сюжетами и даже к библейской теме. В его коллекции и натюрморты, и автопортреты и, конечно, женские образы. Лучшие картины составили персональную выставку, которая прошла в ноябре в Центре фотохимии РАН. На открытии академик Алфимов пояснил: «Я пишу картины для себя, радуюсь каждой своей картине. И захотелось показать все, начиная с 200 года, увидеть, как это смотрится. Это дает дополнительный стимул в моей будущей работе». Художника пришли поздравить члены семьи, друзья, коллеги. Директор НИЦ «Курчатовский институт» Михаил Ковальчук заметил,



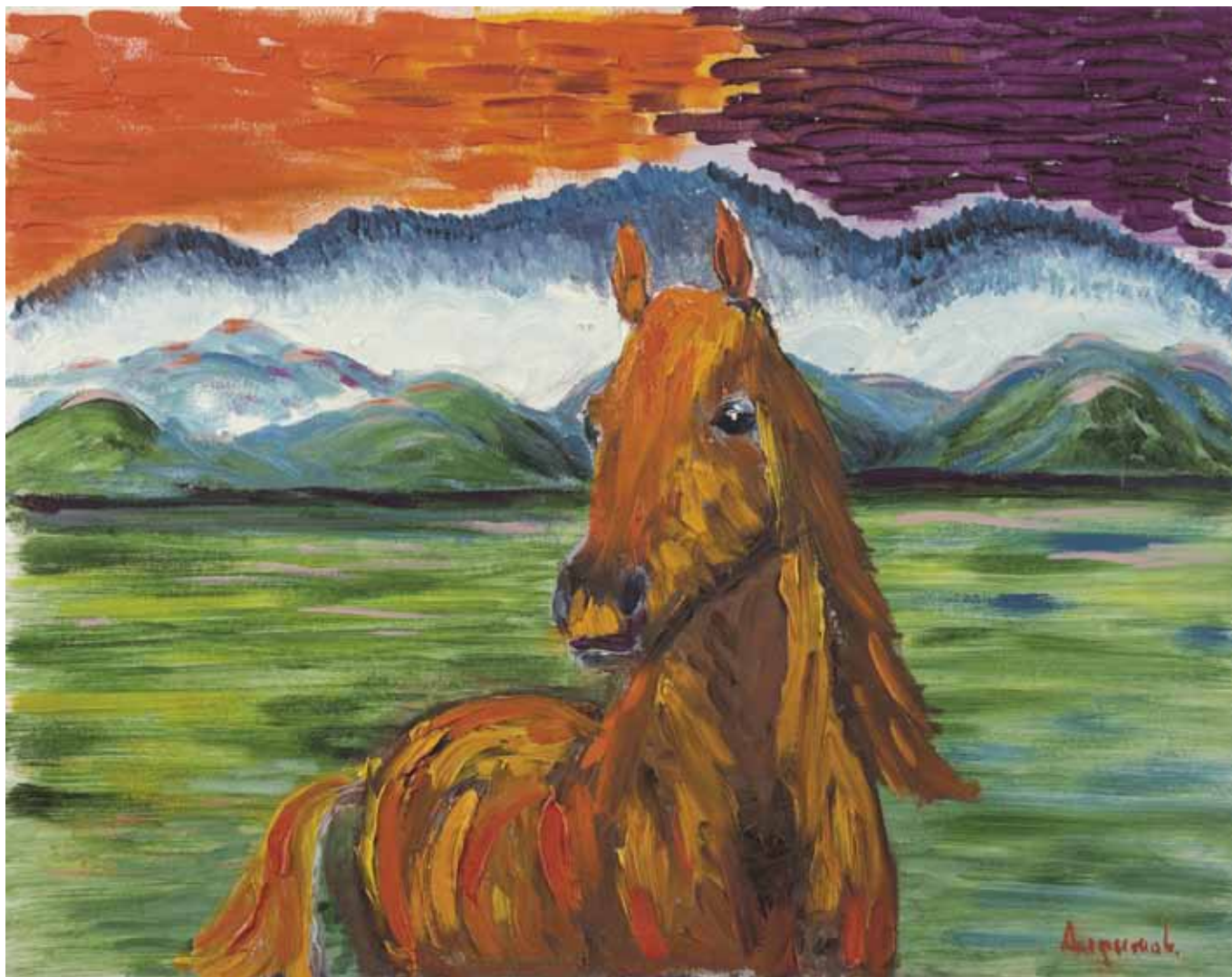
Академик Михаил Алфимов на открытии выставки

что за целую жизнь человек реализуется по-разному, и хозяин выставки безусловно реализовался и как ученый, и как художник. «Михаил Владими-

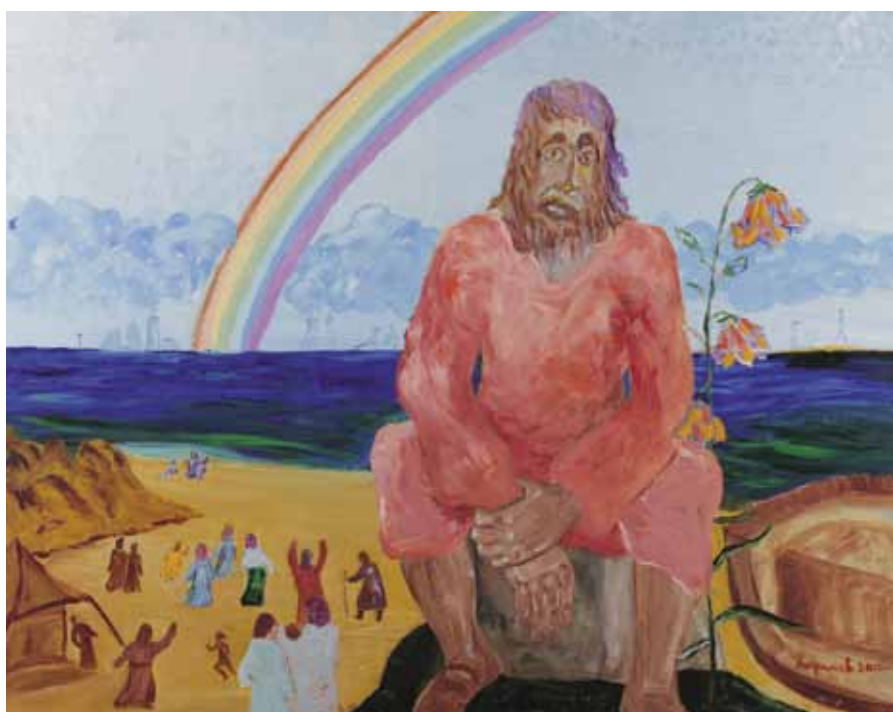


Иерусалим 2012 год





Ранним утром. 2002 год



На реке Волге. 2005 год

рович — замечательный ученый, замечательный человек», — сказал бывший министр образования и науки Андрей Фурсенко.



Рисунок 2. Профессор Julia Greer

# Электронный документооборот редакционной коллегии научного журнала

*Александр Диментов  
ООО «Ваше цифровое  
издательство»  
109263, Москва, ул. Шкулева,  
д. 9, корп. 2  
E-mail: adimentov@gmail.com*



Ирина Соловей

**Александр Диментов: «Наш продукт позволяет намного ускорить процесс обработки статьи без потери в качестве»**

Нерационально построенный документооборот препятствует работе любой редакции, в особенности — редакции научного журнала, подразумевающего несколько уровней рецензирования статей. Удобные системы электронного обмена документами используют все крупные научные издательства мира. Однако на российском рынке программного обеспечения подобные продукты для научных изданий практически отсутствуют.

В середине нынешнего года Министерство образования и науки Российской Федерации организовало конкурс в рамках федеральной целевой программы (ФЦП) «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» по лоту «Проведение проблемно-ориентированных исследований для разработки плат-

формы по управлению деятельностью распределенной редакционной коллегии электронного издания».

Один из трех победителей — общество с ограниченной ответственностью «Ваше цифровое издательство» (ВЦИ). Оно взаимосвязано с некоммерческим партнерством «Национальный электронно-информационный консорциум» (НЭИКОН), чья миссия — обеспечить доступ российских библиотек, вузов и научных институтов к научной периодике в электронной форме.

Бюджетное финансирование компании по ФЦП составит 9 миллионов рублей, из них 1.5 миллиона должны поступить в 2012 году, ещё 7.5 миллиона — в 2013 году.

Цель проекта — создать облачный электронный помощник редколлегии, соответствующий международным стандартам. Система под названием ELPUB

Peer-Review System (расположена по адресу <http://review.elpub.ru/>) должна упорядочить все процессы деятельности научной редакции: получение статьи от автора, многоэтапное рецензирование, редактуру, корректуру и подготовку номера к печати. Как ни парадоксально, даже сейчас, в начале XXI века, в научные редакции поступают объемные рукописные статьи, требующие кропотливого оформления в текстовом редакторе Word или системе компьютерной верстки TeX. Необходимо formalизовать взаимодействие и с авторами, и с рецензентами, но при этом не отпугивать их излишней требовательностью. В крупных научных журналах срок от подачи текста до публикации может растянуться на полгода, а то и на девять месяцев. В других изданиях он составляет как минимум 3–6 месяцев. Продукт, который создается ВЦИ, позволяет намного ускорить процесс обработки статьи без потери в качестве.

Авторизация в системе может быть трех типов: читатель, автор и сотрудник редколлегии. Все они обладают разными правами. Доступ ко всем возможностям системы обеспечивает стандартный веб-браузер.

Автор загружает файл статьи, откликается на замечания рецензента и редактора, отслеживает статус текста, а затем копирайт и корректуру. Причем при отправке текста в редакцию автор должен сопроводить статью метаданными по международному стандарту «Дублинское ядро» (Dublin Core). Он включает 15 обязательных полей и около 170 необязательных. Это значительно облегчает передачу статьи в такие цифровые репозитории, как Web of Science, Elsevier, eLIBRARY.RU.

Редактор приглашает и назначает рецензентов, они высказывают свои критические мнения о тексте. На всех



Процесс прохождения статьи по редакционной коллегии.

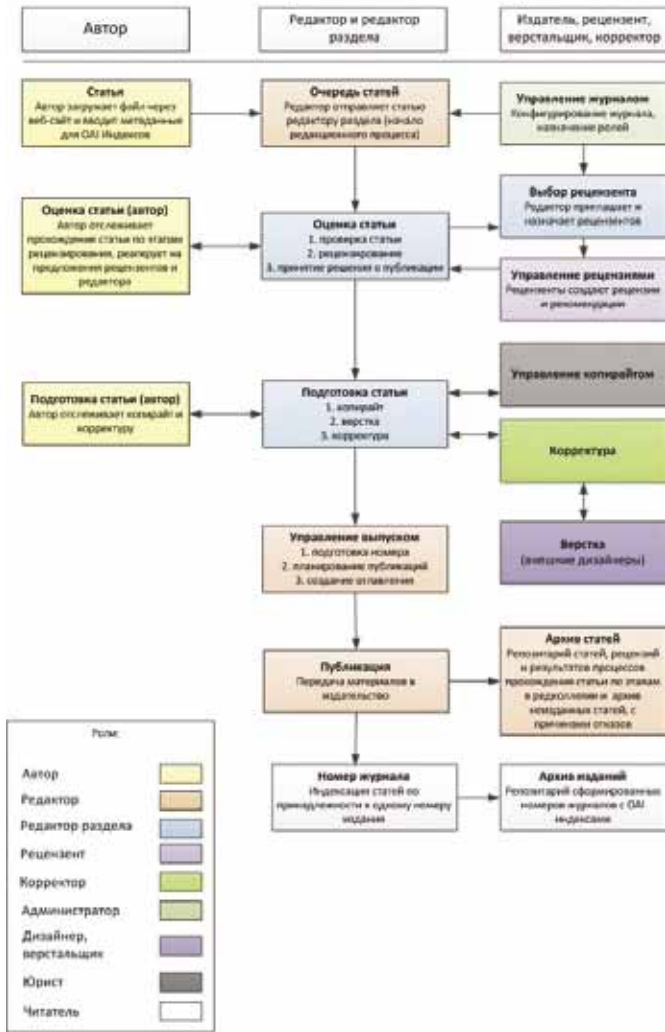


Схема показывает, какие этапы статья проходит перед отправкой в печать и как распределяются роли в редакционной коллегии



Редактор может контролировать рецензирование статьи

этапах участники процесса получают уведомления по электронной почте. Рецензенты четко видят, сколько дней остается до вынесения ими окончательного решения. Одну и ту же статью могут одновременно редактировать несколько человек, что позволяет не ждать своей очереди и не накапливать разные версии. Всё это упрощает труд редколлегии.

Программисты ВЦИ начинали работу не с нуля. За основу были взяты процессы, разработанные в Университете Саймона Фрейзера в Канаде. Чтобы усовершенствовать их и внести изменения в соответствии с российскими реалиями, были учтены мнения экспертов из разных отраслей: физиков-теоретиков и менеджеров-управленцев, ученых и педагогов.

Научные журналы существенно отличаются друг от друга по уровням и требованиям к рецензированию. Скажем, физические издания, в отличие от экономических, нередко предполагают многоуровневое или даже рекурсивное рецензирование, когда возникает потребность в написании рецензий на рецензии. Кроме того, в каких-то журналах анонимности рецензента придают значение, в каких-то — нет. Все эти нюансы пришлось учесть.

Пробные варианты системы уже нашли применение. Во-первых, в «Журнале экспериментальной и теоретической физики», чей учредитель — Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН. Во-вторых, в научно-практическом журнале «Управленческое консультирование» — одном из немногих периодических изданий, посвященных научному обсуждению проблем развития государственной и муниципальной службы России. Издатель журнала — Северо-Западный институт управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, преемник Северо-Западной академии государственной службы. В-третьих, в журнале «Российские нанотехнологии», предоставляющем актуальную информацию о конкретных российских исследованиях и разработках в области нано, а также об отрасли в целом.

*Работа поддержана ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы», государственный контракт № 14.514.11.4028 по теме «Проведение проблемно-ориентированных исследований для разработки платформы по управлению деятельностью распределенной редакционной коллегии электронного издания» (шифр заявки «2012–1.4–07–514–0050»)*



Система позволяет ознакомиться с исчерпывающей статистикой

# Конференция по наноструктурным материалам NANO-2012

*Р.А. Андриевский  
Институт проблем химической  
физики РАН, 142432, г.  
Черноголовка Московской обл.,  
просп. Академика Семенова, 1  
E-mail: ara@icp.ac.ru*

Очередная XI Международная конференция по наноструктурным материалам прошла на греческом острове Родос с 26 по 31 августа 2012 г. (нашу информацию о предыдущей конференции NANO-2010 см. в работе [1]). В конференции участвовали несколько сот человек, представлявших более 40 стран (США, ФРГ, Великобритания, Россия, Япония, Греция, Китай, Израиль и др.). Россию представляли ученые из Москвы, Санкт-Петербурга, Черноголовки, Екатеринбурга, Томска, Уфы, Новокузнецка и других городов (всего около 30 человек).

Программа конференции была весьма насыщенной: 6 пленарных лекций (с регламентом 45 мин), более 170 приглашенных докладов продолжительностью до 30 мин, 275 устных сообщений (с регламентом 15 мин) и около 260 постерных докладов (представленных на 3 постерных сессиях). Подробнее познакомиться с программой можно на сайте конференции [2].

Мое внимание прежде всего было привлечено к сообщениям о новых типах наноматериалов — наноструктурных стеклах. Это понятие недавно ввел один из основоположников наноструктурного материаловедения проф. Н. Gleiter (вице-президент Академии наук ФРГ; Институт нанотехнологий в Карлсруэ), который выступил на конференции с пленарной лекцией на эту тему [3]. Наностекла могут быть получены по крайней мере тремя



**Рисунок 1.** В зале конференции. В первом ряду слева проф. Н. Hahn и проф. Н. Gleiter

методами — консолидацией аморфных наночастиц путем прессования, спекания и т.д., интенсивной пластической деформацией и напылением пленок. Однако для наиболее универсальных методов (консолидация и напыление) информация в докладах на конференции практически отсутствовала, а некоторые ограниченные данные

о применении интенсивной пластической деформации для получения наностекол содержались в совместном докладе китайских и немецких специалистов (Y. Xu, H. Shao, H. Hahn, H. Gleiter, J. Li) [4]. Вполне очевидно, что вопросы технологии наностекол остаются в стадии разрешения и нуждаются в дальнейшем изучении.



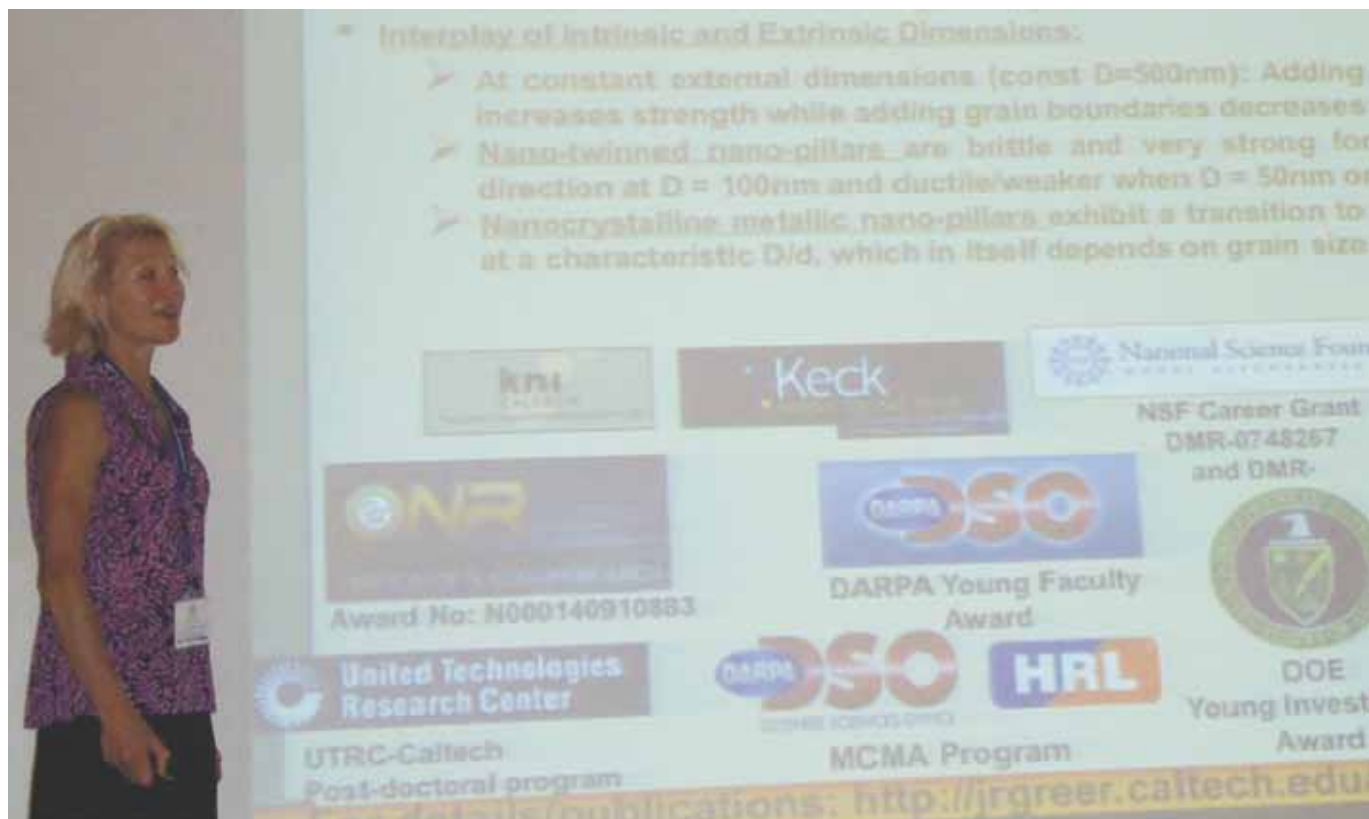


Рисунок 2. Профессор Julia Greer

Общим признаком наностекол является наличие значительного свободного объема. Делокализация многочисленных поверхностей раздела позволяет ввести в наностекла большое количество структурных дефектов, что в случае обычных нанокристаллических материалов практически недостижимо и что обуславливает специфические физико-химические свойства наностекол. Это проявляется прежде всего в некоторых явлениях переноса (диффузионная подвижность и ионная проводимость) [5]. Интересно также, что если образцы стекол  $\text{Sc}_{10}\text{Fe}_{90}$ , полученные высокоскоростной закалкой из жидкого состояния, парамагнитны, то наностекла этого состава обнаруживают ферромагнетизм, что пока в общем виде связывается с изменением электронного строения в наностеклах, но нуждается в более конкретном физическом объяснении [3].

Обычные металлические стекла также могут быть отнесены к категории наностекол, если их характерные размеры (диаметр волокон, толщина пленок размер включений в объемных композитах) находится на уровне 100 нм. Важно, что недавно [6] для этих объектов обнаружена возможность за счет размерного эффекта перейти от присущей им хрупкости

к приемлемой пластичности в сочетании с высокой прочностью. Эти данные были отражены в приглашенном докладе проф. J. Greer и сотр. (Калифорнийский технологический институт, США) [7]. Для стеклянных образцов (диаметр  $\sim 100$  нм) на основе циркония относительное удлинение составляло около 7% при разрушающем напряжении сжатия около 2.8 ГПа, что дало основание считать этот размер районом хрупко-пластического перехода с сохранением высокой прочности. Однако микроскопическая картина деформации остается пока неясной и является предметом обсуждения; тем более что в условиях растяжения прочность многих металлических стекол оказывается независимой от размерных эффектов и их разрушение обнаруживает хрупкий характер [5].

Хотя информация о получении и свойствах наностекол, как видно из вышеизложенного, пока ограничена, вполне очевидно, что эти объекты весьма интересны не только для дальнейших экспериментальных и теоретических исследований, но и в прикладном отношении в качестве функциональных материалов для сенсорных устройств, а также для микро- и наномеханических систем в качестве конструктивных элементов.

В целом конференция продемонстрировала возрастающий интерес к нанопроблематике и значительное ее расширение. Важным результатом было и то, что Международный комитет по наноструктурным материалам, обсудив предложения России, Канады и Франции о месте проведения следующей конференции, по представлению проф. Р. З. Валиева и проф. В. Ф. Петрунина принял решение провести NANO-2014 в Москве в июле 2014 г. на базе Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андриевский Р. А. // Конференция по наноструктурным материалам NANO-2010. Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5. № 11–12. С. 23–25.
2. <http://www.nano2012.org>
3. Gleiter H. Glasses with nanometer-sized microstructures: a new kind of amorphous materials. Thesis of XI International Conference on Nanostructured Materials. [www.nano2012.org](http://www.nano2012.org)
4. Xu Y., Shao, Hahn H., Gleiter H., Li J. Nanoglasses produced by plastic deformation. [www.nano2012.org](http://www.nano2012.org)
5. Андриевский Р. А. Наностекла и аморфно-нанокристаллические материалы: некоторые новые подходы. Изв. РАН. Серия физическая. 2012. Т. 76. № 1. С. 44–51.
6. Jang D., Greer J.R. Transition from a strong-yet-brittle to a stronger-and-ductile state by size reduction of metallic glasses. *Nature Materials*. 2010. V. 9. P. 215–219.
7. Jang D., Gu X., Jennings A. T., Aitken Z. H., Maass R., Lee S.-W., Greer J. R. Size matters: deformation and mechanical properties of nano-sized metallic systems. [www.nano2012.org](http://www.nano2012.org)