

**Сборник тезисов  
XII Ежегодной конференции  
Нанотехнологического общества  
России**

**Научное издание**

**Ответственный редактор к.б.н. Андреюк Д.С.**

**Научный редактор д.т.н. Быков В.А.**

**ISBN 2020: 978\_5\_9500377\_7\_1**

**Москва, 2021**



**XII Ежегодная конференция  
Нанотехнологического общества России  
09-10 декабря 2021**

Оргкомитет

Быков В.А. (председатель), Кричевский Г.Е., Шур В.Я., Безносюк С.А.,  
Андреюк Д.С.

**Генеральный партнер Конференции  
Фонд инфраструктурных и образовательных  
программ  
группа РОСНАНО**



**ФОНД ИНФРАСТРУКТУРНЫХ  
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ПРОГРАММ**

Группа РОСНАНО



**ФОНД ИНФРАСТРУКТУРНЫХ  
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ПРОГРАММ**

Группа РОСНАНО



ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ ПРОЕКТЫ

---

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА

---



КВАЛИФИЦИРОВАННЫЕ КАДРЫ

---

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

---



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

---





**Участникам XII Конференции Нанотехнологического общества России**



Уважаемые коллеги!

Фонд инфраструктурных и образовательных программ сегодня – это один из основополагающих элементов инновационной инфраструктуры Российской Федерации. В тесном взаимодействии с ведущими российскими научными и инженерными школами мы создаем задел для опережающего развития отечественных высокотехнологичных наукоемких производств, продукция которых будет востребована на мировых рынках многие десятилетия.

На этом пути нам крайне важно поддерживать постоянную связь с профильными профессиональными сообществами, общественными организациями, нацеленными на содействие в реализации творческого потенциала разработчиков, изобретателей, специалистов узко-нишевых технологических направлений. Нанотехнологическое общество России – одно из старейших объединений ученых-нанотехнологов. На протяжении более чем 11 лет своего существования НОР постоянно повышает качество и уровень своих мероприятий. Особенно важно отметить усилия НОР в отношении развития молодого поколения ученых и инженеров.

Уверен, что и в этом году, несмотря на санитарно-противоэпидемические ограничения, оргкомитету Нанотехнологического общества России удастся провести информативную и полезную конференцию. Желаю успешной работы!

Генеральный директор

Фонда инфраструктурных и образовательных программ

Руслан Вадимович Титов



Уважаемые коллеги!

Эпидемия меняет нашу жизнь, но не может остановить наше стремление общаться и обмениваться опытом. Мы провели XII Ежегодную конференцию НОР в 2021 году!

Конференцию проходила онлайн, в два потока:

9 декабря 2021 - молодежная онлайн конференция, слушаем доклады студентов и школьников, с разбором выступлений и с рекомендациями по научной доработке представленных результатов

10 декабря 2021 - научный блок докладов, все секции в общем потоке, все доклады в одном онлайн-пространстве, а также подведение итогов года, организационная часть

Пожалуйста, присылайте Ваши предложения по дальнейшему улучшению нашего научного общества на адрес Секретариата НОР [orgnanosociety@mail.ru](mailto:orgnanosociety@mail.ru)

Будем обязательно встречаться снова – физически или виртуально – но обязательно будем!

Президент Нанотехнологического общества России

д.т.н., профессор

В.А. Быков



### Оглавление

Нанотехнологии в микроэлектронике и приборостроении .....	7
Нанотехнологии в ТЭК.....	28
Нанокompозитные полимеры.....	32
Наноструктурированные покрытия .....	41
Наноструктурированные металлы и сплавы .....	49
Технологии и явления наноразмерных объектов .....	61
Нанобиотехнологии .....	92
Организация науки и образования в сфере нанотехнологий.....	114



# **Нанотехнологии в микроэлектронике и приборостроении**



**ВОЗМОЖНО ЛИ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИИ ПРИ СОЗДАНИИ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ НА НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ С УЧЕТОМ ДОСТИЖЕНИЙ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ФЕМТОНАНОФОТОНИКИ?**

С.М. Аракелян, Д.Н. Бухаров, А.О. Кучерик, Т.А. Худайбергенов

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир.*  
[arak@vlsu.ru](mailto:arak@vlsu.ru)

1. Целью данной работы является разработка прорывных технологий и трансфера технологий в области топологических фотоники, наноэлектроники и новых материалов с управляемыми функциональными и конструкционными характеристиками с использованием уникальной линейки оборудования ВлГУ (в рамках соответствующей созданной структуры – ЦКП), измерительно-диагностическая часть которой базируется в значительной степени на изделиях отечественной компании ООО «НТ-МДТ» (г. Зеленоград).

2. В настоящее время вся современная микроэлектроника сталкивается с проблемами как технического, так и принципиального характера.

В первом случае речь идет о пределах масштабирования, когда с повышением плотности расположения транзисторов увеличивается тепловыделение в нанометровом техпроцессе и возникают неопределенности из-за квантовых процессов, связанных, например, с токами утечки. Кроме того, дороговизна процессов с размером в единицы нанометров и требования к стабильности и надежности режимов их работы в реальных условиях расположения платы (вибрации, температурные скачки, агрессивная среда, окисление и т.д.) определяют требуемый практический их масштаб в десятки и даже сотни нанометров в движущихся объектах.

Во-втором случае, в фундаментальном аспекте, ключевым недостатком традиционной архитектуры фон Неймана является тот факт, что команды для обработки данных и сами данные хранятся совместно в памяти, но операции обработки данных и выполнения собственно вычислений имеют разное быстродействие.

Промежуточным решением этих проблем может быть переход к нейроморфной архитектуре фотонного процессора, когда хранение и обработка информации происходит одновременно с использованием фотонов света. Этот новый аппаратный уровень является вполне интегрируемым в существующие электронные схемы и функционально речь идет о гибридных системах «электрофизика+оптика».



Более глобальное решение проблемы – использование квантовых технологий, и как конечная цель – разработка квантового компьютера.

С учетом создания соответствующей элементной базы на основе достижений современных лазерных экспериментов – фемтонаннофотоники, оказывается возможным регулируемое управление пространственно-временными характеристиками таких элементов в требуемом направлении для решения задачи изменения их функциональных свойств. Эти, по сути 4D-технологии, и являются тем инструментом, который должен позволить разрабатывать элементы логических систем на новых физических принципах. Речь идет о получении поверхностных наноструктур на твердых материалах осаждением из коллоидных систем по двухэтапной схеме с лазерной абляцией, а также о моделировании макроскопических квантовых состояний и экспериментальной демонстрации работы реальных прототипов на этих принципах.

3. В данном докладе мы обсуждаем одну из возможных реализаций на этом пути – с помощью подходов нанопотоники низкоразмерных квантовых топологических тонкопленочных структур.

Продемонстрировано, что электросопротивление наноструктурированных образцов может изменяться в зависимости от топологии нанесенных лазерными методами на твердую подложку структур (например, нанокластеров золота – Au) более чем на 4 порядка при изменении размеров нанокластеров от 50 нм до 5 нм. При этом все определяется фрактальной размерностью  $D$  полученных нанокластерных структур. Более того, показано получение достаточно однородных гистограмм распределения нанокластеров по размерам, например, в масштабе  $10\text{нм} \pm 0.25\text{нм}$ . Естественно, что для таких разных топологических структур изменяются и оптические спектры пропускания подложек, и происходит сдвиг/изменение плазмонных резонансов Au в районе 580 нм в зависимости от значения  $D$  (для монолитных образцов Au – длина волны плазмонного резонанса в поглощении – 520 нм).

Аракелян Сергей Мартиросович, д.ф.-м.н, профессор  
E-mail: arak@vlsu.ru



## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ В ОРТОПЕДИИ

Л.П. Ичкитидзе<sup>1,2</sup>, Г.Ю. Галечян<sup>1</sup>, А.Ю. Герасименко<sup>1,2</sup>, Д.В. Тельшев<sup>1,2</sup>.

1) *Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва*

2) *Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Зеленоград, Москва*

Приложения нанотехнологий в ортопедии пока что не получили широкого распространения из-за того, что диагностика патологий хрящевой ткани, в том числе, при остеоартрите (ОА), особенно на ранних стадиях, практически невозможна. Следовательно, современные методы лечения в значительной степени паллиативны до тех пор, пока суставы не станут полностью дисфункциональными. Однако, существуют новые исследования, результаты которых быстро интегрируются в регенеративную медицину и медицинскую практику. Наш анализ этого быстроразвивающегося направления показал, что наиболее востребованными вопросами в этой области являются диагностика, мониторинг и терапия хрящевой ткани при остеоартрите суставов, потому как более 240 миллионов человек в мире страдают от этого заболевания и их число с каждым годом увеличивается. Заболевания опорно-двигательного аппарата в настоящее время по распространенности стоят в одном ряду с диабетом, онкологическими и сердечнососудистыми патологиями.

Особенно активно проводятся исследования по применению функционализированных наночастиц в качестве агентов, вводимых в сустав для обнаружения ранних изменений хрящевой ткани при ОА. Суперпарамагнитные частицы оксидов железа (superparamagnetic particles of iron oxides – SPIONs) показывают хорошие результаты в визуализации хрящевой ткани, диагностике ОА, доставке лекарственных препаратов и создании нанокоркасов для улучшения остеогенеза. SPIONs также позволяют проводить интернализацию клеток и отслеживание хондроцитов. При этом, на изображениях электронной микроскопии маркеры SPIONs отражены гораздо четче, в сравнении с квантовыми точками, используемыми для этих же целей. Кроме того, степень токсичности SPIONs значительно ниже, чем у квантовых точек [1].

Опыты *in vivo* проводили на лабораторных крысах различного возраста [2]. При введении суспендированных в синовиальной жидкости наночастиц (НЧ) оксида железа с концентрацией в диапазоне от 0 до 0,2 мас.% (SPIONs), было установлено, что большая эффективность удерживания лекарственных препаратов в суставах наблюдалась у молодых крыс. При этом важны размеры и значения намагниченности магнитных частиц.



Наиболее эффективными оказались магнитные частицы со средним размером 200 нм, в состав которых входили многочисленные НЧ, с меньшим диаметром, порядка 17 нм.

Особенно активно исследуются возможности применения магнитных частиц, SPIONs и наночастиц золота при гипертермии рака, а также клинической тераностике онкологических заболеваний [3]. Накопленные данные позволяют оценить возникшие сложности тераностики рака и, в дальнейшем, учитывать их при тераностике заболеваний в ортопедии.

Ниже приведены некоторые выводы из результатов исследований в области применения магнитных частиц для тераностики ортопедических заболеваний:

- магнитные частицы являются мультифункциональными средствами, применяемыми как в терапии, так и в диагностике [4];
- SPIONs имеющие размеры 5-25 нм могут служить в качестве агентов для обнаружения биомаркеров остеоартрита в синовиальной жидкости [5];
- фотоакустическая визуализация с использованием SPIONs показывает более высокое разрешение, в сравнении со стандартные методы исследования суставов, включая МРТ и КТ [6];
- SPIONs менее токсичны, относительно оптических агентов [7].

Таким образом, эффективность тераностики ОА существенно зависит от параметров магнитных частиц, в том числе от их размеров, намагниченности, концентрации, агрегации, распределения. По-видимому, создание специальных инструментов для неинвазивного контроля магнитных частиц в биологической среде является актуальной и комплексной задачей, для решения которой, необходимо применение сверхчувствительных датчиков магнитного поля с пороговым разрешением  $\leq 10$  нТл.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2020-216 от 27.12.2019).

1. Mohammadinejad R., A. *et al.* *Curr Rheumatol Rep* **22**, 12 (2020).
2. Partain B.D., *et al.* *J Control. Release.* 2020, 321; 259 – 271.
3. Tu L., Luo Z., Wu Y.-L., Huo S., Liang X.-J. *Cancer Biol Med.* 2021; 18(2): 72–387



4. Hashim Z, et al. *Nanoscale*. 2014;6(14):8376–86.
5. Yarmola E.G, et al. *Biophys J*. 2014;106(2):624a.
6. Chen L, Ji Y, et al. *Nanoscale*. 2018;10(28):13471–84.
7. Weber J, et al. *Nat Methods*. 2016;13(8):639–50.

Ичкитидзе Леван Павлович, к.ф-м.н., доцент  
E-mail: ichkitidze@bms.zone

## ПРОТОТИП ТАКТИЛЬНОГО ДАТЧИКА ИЗГИБА НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Л.П. Ичкитидзе<sup>1,2</sup>, А.Ю. Герасименко<sup>1,2</sup>, Д.В. Тельшев<sup>1,2</sup>, И.А. Рощин<sup>1</sup>

- 1) *Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Зеленоград, Москва*
- 2) *Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва*

Наиболее чувствительные механические рецепторы находятся на кончиках языка и пальцев рук человека. Их чувствительность к деформациям находится в диапазоне давления  $P \sim 2\text{-}5 \text{ мг/мм}^2$  (20-50 Па). Уже создаются тактильные датчики для робототехники с чувствительностью до уровня  $P \leq 1 \text{ Па}$ , однако они имеют низкую степень биосовместимости, и их применение в медицинских приложениях не представляется возможным.

На основе различных эффектов (пьезоэлектрические, тензорезистивные, емкостные, оптические, магнитные, ультразвуковые и др.) разрабатываются современные тактильные датчики. Из них тензорезистивные имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами тактильных датчиков: высокая чувствительность, планарная конструкция устройства, отличная гибкость и простая электроника для регистрации сигналов.

В настоящей работе проведено исследование прототипа тактильного датчика изгиба, созданного на основе тонкой пленки с тензорезистивной чувствительностью,



состоящей из композиционного наноматериала в виде матрицы из биологических материалов и наполнителя из многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ).

Пленки размером 0,05-0,2 мкм x 2-5 мм x 10-20 мм из бычьего сывороточного альбумина (БСА) или микрокристаллической целлюлозы (МКЦ), содержащие МУНТ, служили тензочувствительным элементом (ТЧЭ). Водную дисперсию наноматериала наносили на гибкую подложку из коммерческого полиэтилена (ПЭТ) (толщина  $d_0 \sim 30$  мкм, 60 мкм) или из бумаги ( $d_0 \sim 60$  мкм). Подложка из ПЭТ толщиной  $d_0 \sim 30$  мкм имела массу  $\sim 4,5$  мг, а тензочувствительная пленка, нанесенная на нее, имела толщину  $d \sim 0,1$  мкм –  $\leq 10$  мкг (оценочная). Деформация и измерения физических параметров проводились автоматически, данные сохранялись в компьютере. Угол  $\theta$  изгиба определялся как угол изгиба пленки. Он изменялся в диапазоне  $0 - 140^\circ$ . Пленки толщиной  $d \sim 0,1$  мкм показали оптическую прозрачность  $\sim 80\%$  и высокое сопротивление  $\sim 1$  МОм.

Тонкие пленки ( $d < 0,5$  мкм) проявляли свойства биполярного тензодатчика, т.е. при изгибе в виде вогнутости сопротивление уменьшается, а при изгибе в виде выпуклости сопротивление увеличивается.

ТЧЭ располагали на двух опорах, и середина загружалась грузом из фольги алюминия (см. рисунок). В таблице приведены измеренные параметры и оценочные регистрируемые значения  $P$ , где  $h$  – глубина изгиба.



Рисунок. Расположения ТЧЭ между опорами с грузом 100 мг

Таблица. Некоторые измеренные и расчетные параметры ТЧЭ

Нагрузка, мг	$h$ , мм	$\theta$ , °	$P$ , Па
30	1.4	15	20
50	2,9	32	35
100	6.2	65	70

В таблице приведены значения  $P$ , полученные при измерении сопротивления с погрешностью  $\sim 1\%$  в процессе изгиба. Значения давления находятся на уровне тактильной чувствительности человеческих пальцев. Очевидно, что с понижением



погрешности измерения сопротивления предложенный тактильный датчик позволит зарегистрировать показатели давления в несколько раз меньше.

Таким образом, пленки из композиционного наноматериала БСА/МУНТ и МКЦ/МУНТ, содержащие небольшое количество МУНТ ( $\leq 0,1\%$ ), обладают высокой степенью биосовместимости и могут наноситься непосредственно на поверхность кожи человека. Они могут служить тактильными датчиками деформации изгиба с чувствительностью на уровне человеческих пальцев руки.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2020-216 от 27.12.2019).

Ичкитидзе Леван Павлович, к.ф.-м.н., доцент  
E-mail: ichkitidze@bms.zone



**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА НАНОПЛЕНОК НА ПОДЛОЖКЕ**

В.И. Марголин, В.А. Тупик, Л.Ю. Аммон, Д.К. Кострин, Е.Ю. Замешаева,

И.С. Шолина

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ",  
Санкт-Петербург, v.margolin@mail.ru*

Основной проблемой компьютерной нанотехнологии является почти полное отсутствие знаний о фундаментальных закономерностях поведения отдельных частиц, структур и целых систем в нанометровом пространственном масштабе. Наночастицы слишком малы для непосредственного наблюдения и изучения и слишком велики для квантовомеханических расчетов. Отсутствует умение достаточно точно моделировать поведение наночастиц, поскольку их характеристики изменяются во времени и пространстве, а число объединяющихся в наносистемы частиц недостаточно велико, чтобы рассматривать эти системы как статистические ансамбли. Из-за малых размеров частиц сильно повышается роль поверхностных эффектов и взаимодействий с другими частицами и окружающей средой, что требует использования в соответствующих расчетах химических потенциалов. Наличие разнообразных временных масштабов от 10-15 до нескольких секунд вызывает необходимость учета как временных флуктуации частиц, так и неоднородности их распределения по размерам. В наносистемах многие процессы протекают в условиях, пограничных между классической и квантовой механиками, т. е. в малоизученной области явлений [1].

Основной задачей многомасштабного моделирования является возможность непрерывного проведения моделирования системы молекул, используя различные способы представления системы. Непрерывность такого процесса необходима для того, чтобы полученные каким-либо способом данные о перемещениях молекул, об их скоростях, об уровне энергии и температуры не теряли свою значимость, а могли быть далее исследованы.

Как правило, важным является исследование эволюции системы, например, смещение молекул друг относительно друга. Подобный подход должен удовлетворять условиям возможности детального изучения поведения составляющих системы с плавным переходом на моделирование системы, где элементы представлены в более грубой форме: как некие абстрактные объединения (единые элементы) нескольких элементов, которые ранее представляли собой отдельные составляющие. Так, например, атомную структуру молекулы можно заменять структурой, состоящей из нескольких центров



взаимодействия, которую в свою очередь можно представлять в виде одной молекулы, а молекулы можно объединять в группы и так далее.

Возможность такого моделирования требует создания соответствующего алгоритма, который будет осуществлять переходы с одного масштабного уровня на другой. Необходимо дальнейшее развитие методов моделирования физико-химических процессов. Стоит отметить сложность описания поведения химических реакций в турбулентных потоках и метастабильных жидкостях [2] или при обсуждении экспериментальных фактов генерации наночастиц оксидов в сверхкритических флюидах [3]. Для моделирования таких процессов необходимо описать систему на разных уровнях: как задачу молекулярного уровня и как задачу по созданию в макроскопической системе таких потоков реагентов и растворителя, которые способствуют генерации нанокристаллов заданной структуры [4].

Центральная проблема многомасштабного моделирования состоит в обеспечении самосогласованности расчетов, учитывающих внутренние степени свободы компонентов, и сохранения молекулярной информации на всех пространственных шкалах и во всем диапазоне времени для всех стадий физико-химического процесса, протекающих в разных агрегатных состояниях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ибрагимов И.М., Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. Основы компьютерного моделирования наносистем, С-Пб., изд-во "Лань", 2010, 376 с.
2. Павлов П.А. Динамика вскипания сильно перегретых жидкостей. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1988. 244 с.
3. Востриков А.А., Федяева О.Н., Шишкин А.В., Сокол М.Я. // Сверхкритические флюиды. Теория и практика. 2007. Т. 2. № 4. С. 43.1.
4. Товбин, Ю. К. Молекулярно-статистическая теория и многомасштабное моделирование физико-химических процессов в нанотехнологиях // Российские нанотехнологии – 2010. – т.5 № 11/12. – С. 36-57.

Марголин Владимир Игоревич, д.т.н., профессор  
E-mail: v.margolin@mail.ru



## СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕМРИСТИВНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ С АГЛОМЕРАТАМИ НАНОЧАСТИЦ

А.А. Расюк<sup>1</sup>, А.И. Власов<sup>2</sup>, В.П. Жалнин<sup>3</sup>, В.А. Шахнов<sup>4</sup>

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва*  
1 rasyuk2a@gmail.com, 2 vlasov@iu4.ru, 3 zhalnin@mail.ru, 4 shakhnov@bmstu.ru

Доклад посвящен методам синтеза мемристивных структур. В работе рассматривается мемристивная структура на основе композитных оксидов металлов с агломератами наночастиц. Ключевыми этапами метода является последовательное (послойное) формирование композитной структуры на основе одного или нескольких наноразмерных слоев оксидов металлов, разделяемых активной средой. Рассматриваемая технология позволяет изготавливать материал ячейки с достаточно выраженными мемристивными свойствами и обеспечивает стабильную повторяемость. Предлагаемые методы и технологические этапы легко интегрируемы и воспроизводимы на современном оборудовании, широко используемом в промышленности интегральных микросхем и микросборок.

В ходе работы были исследованы технологические аспекты производства мемристивных структур. Разработан измерительный стенд, позволяющий в автоматическом режиме провести измерения и получить электрические характеристики изготовленной ячейки. Стенд спроектирован, изготовлен и настроен для выполнения автоматических измерений по программе и может быть использован в дальнейшем для исследования низковольтных и маломощных электронных компонентов. Аппаратная часть позволяет производить измерения с высокой разрешающей способностью по вольтажу, а программный интерфейс дает возможность наблюдать за изменением характеристик в реальном режиме времени. Данный функционал позволяет протестировать ячейку в различных режимах.

Отдельные результаты получены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по проекту №0705-2020-0041.

Расюк Александр Александрович  
E-mail: rasyuk2a@gmail.com



## МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕСТОВОГО МОНИТОРА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

К. К.Смирнов<sup>1,2</sup>, А.В.Назаров<sup>2</sup>, А.С. Боровов<sup>1</sup>

1) ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (SRISA RAS), Москва, [mail@konstantinsmirnov.com](mailto:mail@konstantinsmirnov.com)

2) Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, [rat-rut@yandex.ru](mailto:rat-rut@yandex.ru)

Современный маршрут изготовления полупроводниковых пластин с кристаллами сверхбольших интегральных схем насчитывает свыше 800 технологических операций. Для обеспечения их стабильности проверка соответствия электрофизических параметров сверхбольших интегральных схем требованиям технического задания выполняется с помощью параметрических мониторов, причём при мелкосерийном производстве практически все контрольные измерения проводятся в ручном режиме. В докладе проанализированы проблемы, возникающие на участке электрофизических измерений с целью повышения уровня автоматизации измерений параметров сверхбольших интегральных схем. Вскрываются недостатки применяемых сегодня методов измерений с использованием параметрических мониторов в условиях производства. Кроме того представлен новый программный комплекс для измерений электрофизических параметров сверхбольших интегральных схем, включающий новый функционал, позволяющий технологам в интерактивном режиме просматривать и при необходимости изменять параметры измерений в реальном времени. Комплекс позволяет также в реальном времени проводить отслеживание брака, что весьма существенно сокращает время, затрачиваемое на поиск полупроводниковых пластин на участке. В качестве результата проделанной работы, в докладе представлен сравнительный анализ времени, затрачиваемого на проверку одной и той же полупроводниковой пластины: с одной стороны, – с использованием новой методики измерений, а с другой стороны, – с помощью «штатной» программы, разработанной в системе Keysight VEE. Полученные результаты показали, что при использовании новой методики время проверки соответствия электрофизических параметров сверхбольших интегральных схем сокращается более, чем на 50 процентов.

Смирнов Константин Константинович, к.т.н.,  
E-mail: [mail@konstantinsmirnov.com](mailto:mail@konstantinsmirnov.com)



**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНТАКТА ВЫВОДОВ BGA-МИКРОСХЕМ С  
ИСПЫТАТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

К.К. Смирнов<sup>1,2</sup>, А.В. Назаров<sup>2</sup>, И.А. Попов<sup>1</sup>, А.Г. Сухов

1) ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (SRISA RAS), Москва, [mail@konstantinsmirnov.com](mailto:mail@konstantinsmirnov.com)

2) Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, [rat-rut@yandex.ru](mailto:rat-rut@yandex.ru)

В докладе проанализировано снижение надёжности сверхбольших интегральных схем (СБИС) в BGA-корпусах при переходе к их массовому производству. Определена её основная причина, заключающаяся в отрыве шариковых выводов в результате возникновения интерметаллических соединений между материалами выводов микросхем и контактирующих устройств. В докладе представлены результаты серии экспериментов по применению дополнительных технологических операций, повышающих надёжность указанного контакта. Наибольший эффект дало повторное оплавление выводов BGA-корпусов, существенно ослабевающее указанные выше паразитные соединения. В качестве показателя при проведении экспериментов было выбрано усилие для сдвига одного шарикового вывода, а также его колебания. По результатам дополнительных экспериментов было выявлено, что оплавление выводов после операции электротермотренировки является наиболее эффективным в соотношении прироста усилия сдвига одного шарикового вывода к трудозатратам, т.к. прирост усилия сдвига до и после электротермотренировки, увеличился незначительно, при том, что при оплавлении перед термоциклическими испытаниями был сильно ниже. Следующий ряд экспериментов, в которых микросхемы разных типов в корпусах одного типа подверглись оплавлению после операции электротермотренировки, показал, что итоговые значения увеличения сдвига значительно различаются, в зависимости от конкретного типа микросхемы. Заключительный ряд экспериментов был проведён для выявления влияния операции оплавления на функционирование микросхем, в нем группу микросхем после оплавления проверяли на автоматизированном комплексе для проверки контактных устройств. В результате серии операций контактирования микросхемы в контактном устройстве были получены усредненные карты отказов и карты сопротивления выводов для каждой микросхемы. Основываясь на них, а также на результатах функциональных исследований на логическом анализаторе делались выводы о функционировании конкретной микросхемы. В заключительной части доклада приводятся результаты экспериментальных исследований, основным из которых является определение наиболее эффективной точки для внедрения операции оплавления в технологический процесс.



1 Smirnov K., Ushkar M., Nazarov A., Borovov A. Methods to ensure reliable contact the VLSI with test equipment. // Int. J. Nanotechnol .Vol. 16, 2019, pp. 447-465.

2Smirnov K. Nazarov A. Ushkar M. Automatic localization method for VLSI topology errors at the stage of functional control. // Int. J. Nanotechnol .Vol. 16, 2019, pp. 466- 483.

Смирнов Константин Константинович, к.т.н.,  
E-mail: mail@konstantinsmirnov.com

### **АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЁМКОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОСИСТЕМ С ФРАКТАЛЬНОЙ ФОРМОЙ**

В.В. Терехов<sup>1</sup>, Л.А. Зинченко<sup>1</sup>, А.А. Глушко<sup>2</sup>, Г.М. Назаров<sup>3</sup>, Шахнов В.А<sup>1</sup>

- 1) МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, [vyterekhov.bmstu@gmail.com](mailto:vyterekhov.bmstu@gmail.com)
- 2) ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН
- 3) ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН

Для повышения стойкости электростатических микроэлектромеханических систем (МЭМС) к воздействию тяжёлых заряженных частиц (ТЗЧ) в космических условиях в [1] было предложено изменить форму обкладок ёмкостных элементов МЭМС с использованием фракталов. В частности, было предложено применить Канторово множество и снежинку Коха. Показано [2], что использование ёмкостных элементов с фрактальной формой значительно снижает вероятность фатального отказа распределенной микросистемы для космических приложений при попадании в неё высокоэнергетических ионов.

Несмотря на продемонстрированные [2] преимущества фрактальной формы микросистем для повышения их радиационной стойкости, важно убедиться, что изменение формы ёмкостных элементов позволяет не ухудшить характеристики микросистем. В работе [3] была проанализирована вибрационная устойчивость электростатических МЭМС с фрактальной формой обкладок и проведено сравнение механических характеристик с



классической плоской формой обкладок и предложенных вариантов. Компьютерное моделирование показало, что вибрационная устойчивость микросистемы с фрактальной формой не ухудшилась по сравнению с существующими электростатическими МЭМС с плоской формой обкладок.

В докладе обсуждаются численные модели микроконденсаторов с плоской и фрактальной формой обкладок и приводятся результаты моделирования их электрических характеристик с использованием программного пакета COMSOL Multiphysics. Приводятся результаты анализа полученных при моделировании электрических характеристик микроконденсаторов с плоской и фрактальной формой с использованием средств визуальной аналитики.

В заключении дана оценка влияния изменения формы ёмкостных элементов МЭМС с использованием фракталов на электрические характеристики микросистем. Сделаны выводы об электрических свойствах МЭМС с фрактальной формой и рассмотрены перспективы практического применения таких микросистем.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 18-29-18043 МК.

[1] Shakhnov V., Glushko A., Makarchuk V., Zinchenko L., Terekhov V., Mikhaylichenko, S. Simulation of heavy charged particles damage on MEMS. Proc. of SPIE 10224, 2016.

[2] Glushko, A., Makarchuk, V., Zinchenko, L., Terekhov, V., Mikhaylichenko, S., Computer Simulation of Heavy Charged Particles Damage on Distributed Microsystems. Тезисы докладов международной конференции «Микро- и наноэлектроника-2018», Москва, 2018, с. 159.

[3] Терехов В.В., Зинченко Л.А., Глушко А.А., Михайличенко С.С., Макаrchuk В.В., Шахнов В.В., Резчикова Е.В. Анализ вибрационной устойчивости фрактальных микросистем. Конгресс «IS&IT'17»: Сборник докладов. 2017, С. 154-158.

Терехов Владимир Владимирович  
E-mail: vvterekhov.bmstu@gmail.com



**АССОЦИАТИВНОЕ САМООБУЧЕНИЕ АППАРАТНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ НЕЙРОСЕТИ,  
СОЗДАННОЙ НА ОСНОВЕ МЕМРИСТОРНО-ДИОДНОГО КРОССБАРА**

С.Ю.Удовиченко, А.Н. Бусыгин, А.Д. Писарев

*Тюменский государственный университет, Тюмень, [udotgu@mail.ru](mailto:udotgu@mail.ru)*

В [1-3] представлены результаты по изготовлению и тестированию аппаратной импульсной нейросети с мемристорными синапсами на основе мемристорно-диодного кроссбара и аппаратных нейронов, представляющей собой однослойный персептрон. Персептрон может рассматриваться в качестве первого слоя 3D биоморфной нейросети [4], выполняющего первичную обработку поступающей информации в биоморфном нейропроцессоре [5,6]. Мемристорно-диодный кроссбар изготовлен с помощью магнетронной технологии в одном технологическом модуле путем осаждения проводящих дорожек, активного слоя мемристоров из смешанных оксидов металлов  $Ti_{0,93}Al_{0,07}O_x$  при одновременном распылении двух мишеней, а также полупроводниковых слоев p-Si/n-Si диода Зенера.

В результате ассоциативного самообучения продемонстрирована генерация новых ассоциаций в изготовленной аппаратной импульсной нейросети с мемристорно-диодным кроссбаром в отличие от аппаратных нейросетей с дискретными мемристорными синапсами.

Созданы предпосылки для изготовления прототипа нейропроцессора нового поколения, качественно отличающегося от существующих нейропроцессоров на простых нейронах, предназначенных для реализации компьютерного зрения, машинного обучения и других систем со слабым искусственным интеллектом.

С помощью изготовленной и протестированной аппаратной импульсной нейросети поступление неизвестной информации можно отождествлять с генерацией новых ассоциаций в биоморфном нейропроцессоре [5,6] и при совершенствовании нейросети [4] научиться осмысливать эту информацию и, следовательно, совершить переход от слабого к сильному искусственному интеллекту.

В настоящем сообщении представлены разработанные физико-математические модели ассоциативного самообучения аппаратной импульсной нейросети, которые обеспечивают связанную с оригинальностью ячейки мемристорно-диодного кроссбара специфичную реализацию правил самообучения: долговременной потенциации (long-term



potentiation - LTP) и пластичности, зависимой от времени импульсов (spike-time dependent plasticity – STDP).

Обучение мемристорных синапсов происходит по правилу Хебба, как и в реальном синапсе: сила связи между одновременно активировавшимися нейронами увеличивается. Изменение веса синапса зависит от разницы между временами срабатывания пресинаптического и постсинаптического нейронов  $\Delta t = t_{pre} - t_{post}$ .

В обеих моделях самообучения пресинаптический сигнал представляет собой пару импульсов напряжения одинаковой амплитуды, но разной полярности вследствие использования комплементарной пары мемристоров в ячейке. Нейрон при срабатывании отправляет обратно в синапс импульс отрицательного напряжения. Изменение силы синапса при этом произойдет если на синапс придут импульсы от пресинаптического нейрона. Форма пресинаптических импульсов определяет реализуемое локальное правило обучения.

Правило LTP предполагает увеличение веса синапса при совпадении во времени пресинаптических и постсинаптических сигналов. Поэтому в соответствующей модели знак импульсов напряжения пресинаптических сигналов поддерживается постоянным, что вызывает изменение состояние мемристоров в ячейке всегда в сторону уменьшения сопротивления и увеличению веса синапса.

Правило STDP действует аналогично LTP при  $\Delta t < 0$ . При  $\Delta t > 0$ , согласно этому правилу, вес синапса должен уменьшаться. В соответствующей модели такое уменьшение реализовано с помощью знакопеременных импульсов напряжения. Итоговое направление изменения состояния мемристоров и веса синапсов определяется преобладающими знаками напряжения пресинаптических импульсов во время действия постсинаптического импульса. Изменение силы синапса будет тем больше, чем ближе по времени произойдет активация пресинаптического и постсинаптического нейронов, что отражает максимум функции синаптической пластичности.

### Литература

1. Udovichenko S.Yu., Pisarev A.D., Busygin A.N., Bobylev A.N. Biomorphous neuroprocessor – prototype of a new generation computer being a carrier of artificial intelligence. Part 2 // Nanoindustry. 2021. V. 14. № 1(102). P. 68-79.

2. Бобылев А.Н., Бусыгин А.Н., Губин А.А., Писарев А.Д., Удовиченко С.Ю. Изготовление и тестирование аппаратной импульсной нейросети с мемристорными



синапсами для биоморфного нейропроцессора // Российские нанотехнологии. 2021. Т.16. № 6. С. 793-798.

3. Бусыгин А.Н., Бобылев А.Н., Губин А.А., Писарев А.Д., Удовиченко С.Ю. Численное моделирование и экспериментальное исследование аппаратной импульсной нейросети с мемристорными синапсами // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Т.7. №2 (26). С. 223-235.

4. Filippov V.A., Bobylev A.N., Busygin A.N., Pisarev A.D., Udovichenko S.Yu. A biomorphic neuron model and principles of designing a neural network with memristor synapses for a biomorphic neuroprocessor // Neural Computing and Applications. 2020. V.32. P. 2471-2485.

5. Pisarev A.D., Busygin A.N., Udovichenko S.Yu., Maevsky O.V. A biomorphic neuroprocessor based on a composite memristor-diode crossbar // Microelectronics Journal. 2020. V. 102. Article 104827.

6. Писарев А.Д., Удовиченко С.Ю. Биоморфный нейропроцессор на основе наноразмерного комбинированного мемристорно-диодного кроссбара // М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. – 228 с. ISBN 978-5-94836-635-7.

Удовиченко Сергей Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор  
E-mail: [udotgu@mail.ru](mailto:udotgu@mail.ru)



**ПОЛУЧЕНИЕ НАНОМЕТРОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ МЕМРИСТОРНЫХ СТРУКТУР МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ**

И.А.Филин<sup>1</sup>, А.И. Власов<sup>2</sup>, В.П. Жалнин<sup>3</sup>, В.А. Шахнов<sup>4</sup>

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, г.Москва  
1 filinivan199930@gmail.com, 2 vlasov@iu4.ru, 3 zhalnin@mail.ru, 4 shakhnov@bmstu.ru*

Доклад посвящен получению нанометровых функциональных слоев мемристорных структур методом лазерной абляции. В работе рассматривается строение мемристорной структуры и ее составляющих, в частности большее внимание уделено резистивному слою мемристора. Основными этапами работы являются анализ методов изготовления опытных образцов, исследование образцов и формирование рекомендаций по использованию материалов и технологий нанесения резистивного слоя мемристоров.

На начальном этапе работы были рассмотрены физика процесса абляции лазерным излучением. Проанализированы два метода формирования резистивного слоя на поверхности подложки: способ образования тонких пленок на поверхности твердого тела путем осаждения напыляемого материала, второй метод включает в себе вынесение верхнего слоя под воздействием лазерного излучения. Для изготовления резистивного слоя с различными компонентами был разработан технологический процесс. Была собрана экспериментальная установка для штучного производства мемристорных структур методом лазерной абляции.

В рамках исследований изготовлены образцы резистивного слоя с применением разных составов напыляемых материалов. Анализ поверхности полученных структур применялись методы сканирующей зондовой микроскопии. По результатам работ определен состав для резистивного слоя мемристорной структуры, дающий высокие функциональные характеристики мемристоров.

Отдельные результаты получены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по проекту №0705-2020-0041.

Филин Иван Александрович, магистр  
E-mail: filinivan199930@gmail.com



УПРАВЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЕМ МАГНИТНОГО ВИХРЯ В НАНОРАЗМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ

В.А. Чириков<sup>1</sup>, А.В. Проказников<sup>2</sup>, В.А. Папорков<sup>1</sup>

1) Ярославский Государственный Университет им. П.Г. Демидова, 150003, Россия, slava11212@uniyar.ac.ru

2) Ярославский Филиал Физико-Технологического Института им. К.А. Валиева, 150007, Россия, prokaznikov@mail.ru

В настоящей работе исследовалось формирование и управление вихревыми магнитными структурами посредством изучения магнитооптических эффектов в плёнках кобальта, нанесённых на поверхность наноструктурированных систем, которые были сформированы в различных технологических режимах и разными методами ионной обработки поверхности различных материалов.

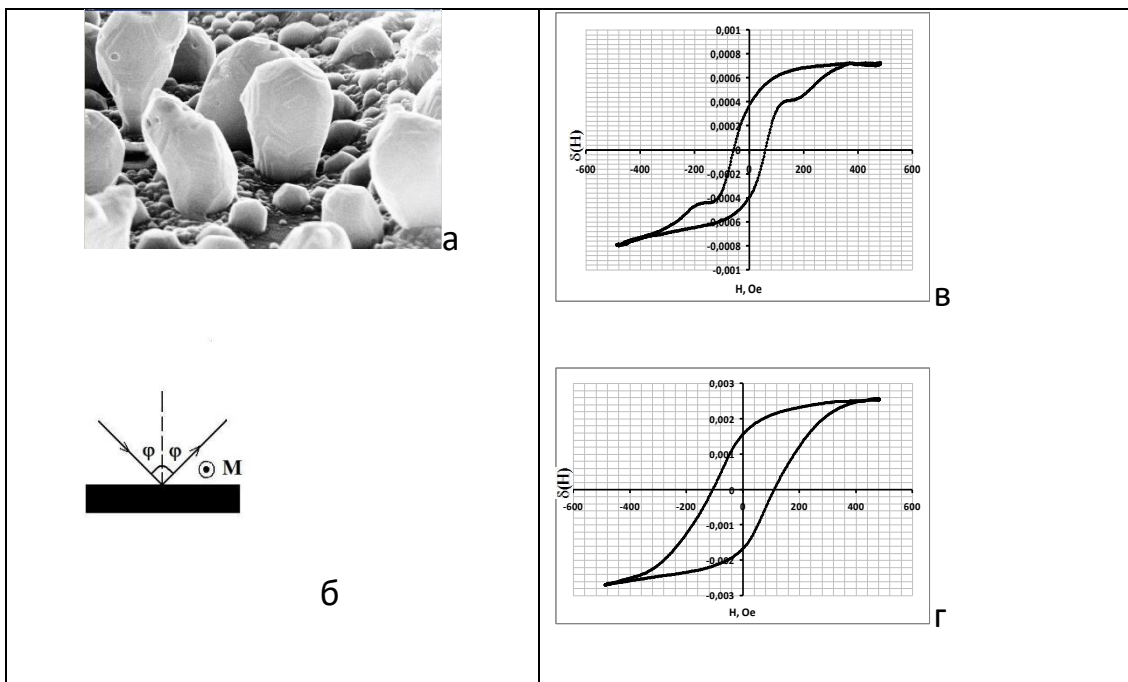


Рисунок 1. Образец PbSe после обработки в Ag<sup>+</sup> плазме в течение 4 минут – (а). Справа (в, г) – соответствующие зависимости магнитооптического экваториального эффекта Керра (МОЭЭК) –  $\delta(H)$  при  $\lambda = 633$  нм и углов падения для образца PbSe –  $52.5^\circ$  – (в),  $65^\circ$  – (г). Схема эксперимента в конфигурации МОЭЭК – (б). Черный прямоугольник – исследуемый



образец,  $\varphi$  – угол падения/отражения,  $\mathbf{M}$  – направление внешнего магнитного поля (вектор намагниченности).

Установлено, что для систем на основе халькогенидов свинца в результате определенных режимов наноструктурирования поверхности формируются структуры, обладающие магнитооптическим откликом при комнатной температуре, который характерен для наличия магнитных вихрей в системе (см. рис. 1в). Экспериментально и методом компьютерного моделирования изучены условия появления магнитных вихрей в исследуемых системах (см. рис. 2).

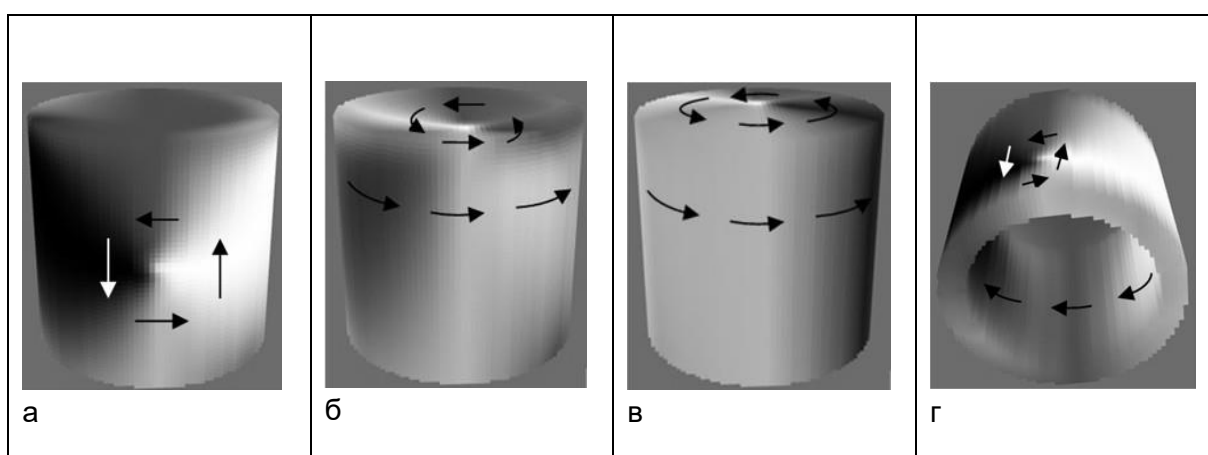


Рисунок 2. Вихревая магнитная структура на цилиндрической поверхности наноструктур с плоским верхом без анизотропии (а–г) в зависимости от приложенного магнитного поля.

Рассматриваются экспериментальные, технологические и теоретические закономерности формирования и изменения положения магнитных вихревых структур в зависимости от внешнего приложенного магнитного поля. Показано методом микромагнитного моделирования, что на цилиндрических магнитных наноструктурах положение вихря контролируется внешним магнитным полем. Магнитный вихрь может находиться как на основании, так и на боковых стенках цилиндрических наноструктур в зависимости от параметров системы и внешнего магнитного поля. Исследованный эффект может быть использован при создании компактной магнитной памяти на структурах с магнитными вихрями.

Чириков Вячеслав Андреевич, студент, магистрант  
E-mail: slava11212@yandex.ru



# Нанотехнологии в ТЭК



**СИНТЕЗ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ СУЛЬФИДА КАДМИЯ И  
МЕЗОПОРИСТЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ  
ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ**

Ф. Пурэсмаил<sup>1</sup>

1) «Российский государственный университет нефти и газа (национальный  
исследовательский университет) имени И.М. Губкина», Москва,  
*pouresmaeil70@gmail.com*

Разработаны новые методы синтеза фотокатализаторов получения водорода, активных под действием видимого излучения на основе наночастиц сульфида кадмия с размером до 10 нм, синтезированных на поверхности модифицированных алюмосиликатных нанотрубок, а также на основе смешанного сульфида кадмия и цинка, синтезированного на поверхности алюмосиликатных нанотрубок. Показана эффективность их использования в процессе выделения водорода из водного раствора  $\text{Na}_2\text{S}/\text{Na}_2\text{SO}_3$  под действием видимого излучения и впервые исследованы закономерности изменения их физико-химических и фотокаталитических свойств. Синтезированы новые фотокатализаторы на основе наночастиц сульфида кадмия, стабилизированных на поверхности мезопористого иерархического алюмосиликата MCM-41/ГНТ и показана эффективность их использования в процессе выделения водорода из водного раствора  $\text{Na}_2\text{S}/\text{Na}_2\text{SO}_3$  под действием видимого излучения.

Исследованы физико-химические характеристики разработанных фотокатализаторов современными методами анализа (ПЭМ, СЭМ, СТЭМ-ЭДС, РФА, элементного анализа, ТГА, УФ-видимой спектроскопии, флуориметрии). Исследована фотокаталитическая активность синтезированных фотокатализаторов в процессе выделения водорода из водного раствора неорганических электролитов под действием видимого излучения. Проведено сравнение эффективности разработанных фотокатализаторов с опубликованными данными, установить зависимость между способом получения, химическим составом и изменением физико-химических свойств и фотокаталитической активностью.

Пурэсмаил Ферештех  
E-mail: *pouresmaeil70@gmail.com*



**СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ  
С НАНОЧАСТИЦАМИ МАГНЕТИТА ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ С  
РАЗЛИЧНОЙ ВЯЗКОСТЬЮ**

С.А. Широких, П.С. Загоскин, М.Ю. Королёва

*РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, [serega-teo@mail.ru](mailto:serega-teo@mail.ru)*

Ликвидация аварийных разливов нефтепродуктов является актуальной задачей. Для удаления тонких нефтяных плёнок, оставшихся после первичной очистки, наиболее эффективно использовать сорбционный метод. В качестве перспективного сорбента нефтепродуктов могут быть использованы высокопористые сополимеры стирола и дивинилбензола, полученные полимеризацией дисперсионной среды обратных высококонцентрированных эмульсий. Изменение размера пор в таких материалах, осуществляемое за счет изменения состава исходных эмульсий и параметров процесса полимеризации, приводит к изменению сорбционных свойств пористых сополимеров [1, 2].

На основе пористых сополимеров стирола и дивинилбензола можно создать композиты с наночастицами магнетита ( $Fe_3O_4$ ) в качестве наполнителя для придания сорбентам магнитных свойств, что позволит облегчить сбор материала после окончания процесса сорбции [3].

Целью данной работы было изучение влияния концентрации наночастиц магнетита размером  $40 \pm 5$  нм на сорбционные свойства пористых сополимеров стирола и дивинилбензола. Наночастицы магнетита с концентрацией 10 и 20 мас.% от массы сомономеров добавляли в органическую фазу перед получением эмульсий.

Для изучения влияния концентрации наночастиц магнетита на сорбционные свойства полученных материалов оценивали скорость сорбции в начальный момент времени нефтепродуктов различной вязкости. В качестве нефтепродуктов использовали трансмиссионное масло и осветительный керосин в различных объемных соотношениях. На рис. 1 показаны зависимости скорости сорбции в начальный момент времени пористыми полимерными композитами с различной концентрацией наночастиц магнетита от вязкости нефтепродукта.

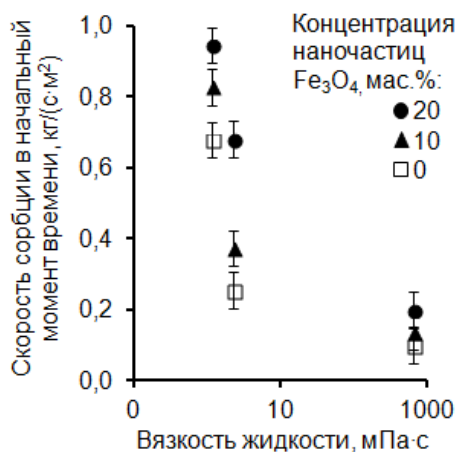


Рис. 1. Зависимости скорости сорбции в начальный момент времени пористыми сополимерами стирола и дивинилбензола, содержащими наночастицы  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в разных концентрациях, от вязкости нефтепродуктов

Как видно из представленных зависимостей, увеличение концентрации наночастиц магнетита приводило к увеличению скорости сорбции нефтепродуктов с различной вязкостью. Данный эффект может наблюдаться из-за снижения количества поверхностно-активного вещества на поверхности пор композита из-за его адсорбции на поверхности наночастиц при получения исходных обратных высококонцентрированных эмульсий.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-03-00397).

### Список литературы

1. Koroleva M.Y., Shirokikh S.A., Zagoskin P.S., Yurtov E.V. // Polymer Testing. – 2019. – Vol. 77 – P. 105931.
2. Koroleva M.Yu., Shirokikh S.A., Khasanova L.Kh., Babusenko E.S., Yurtov E.V. // Mendeleev Communications. – 2019. – Vol. 29. – P. 176-177.
3. Широких С.А., Хасанова Л.Х., Ракитин А.И., Ванесян А.А., Королёва М.Ю. // Успехи в химии и химической технологии. — 2018. — Т. 32, № 10. — С. 64-66.



# Нанокompозитные полимеры



**Трибологические свойства сверхупругого сверхтвердого углерода, синтезированного из гидрированных фуллеритов**

Е.И. Дроздова<sup>1</sup>, О.П. Черногорова<sup>1</sup>, Е.А. Екимов<sup>2</sup>

1) *Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, drozdova@imet.ac.ru*

2) *Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН, Москва, Троицк, ekimov@hppi.troitsk.ru*

Известно, что введение водорода в состав алмазоподобных углеродных покрытий благоприятно влияет на их трибологические свойства, снижая их коэффициент трения и повышая износостойкость. В данной работе введение водорода в состав алмазоподобной углеродной фазы, формирующейся из фуллеренов под давлением при температурах выше порога стабильности фуллереновой молекулы, осуществляли путем наводороживания исходных фуллеритов  $C_{60}$  до состава  $\sim C_{60}H_{3,5}$ . Трибологические свойства однофазных образцов, полученных из  $C_{60}$  и  $C_{60}H_{3,5}$  под давлением 8 ГПа при 800°C и композиционных материалов (КМ), синтезированных при этих же условиях из смесей порошков кобальта с 10 и 50 вес. %  $C_{60}$  и  $C_{60}H_{3,5}$ , определяли путем испытаний по схеме «палец – диск» по поверхностям из стали ШХ15 (коэффициент трения) и абразива (износостойкость). Результаты сравнительных трибологических испытаний показывают, что гидрирование исходных фуллеритов снижает коэффициент трения как однофазных образцов, так и образцов КМ более чем на порядок, до  $\leq 0,01$ . Несколько меньшая износостойкость компакта, синтезированного из гидрированного фуллерена, по сравнению с образцом из  $C_{60}$ , объясняется более высокой хрупкостью более твердого материала. В композите поддержка углеродных включений металлической матрицей устраняет этот недостаток, и износостойкость КМ, армированных частицами из гидрированных фуллеритов повышается более чем в 10 раз.

Екатерина Ивановна Дроздова, к.т.н., снс  
E-mail: drozdova@imet.ac.ru



## ОРГАНИЧЕСКИЕ НАНО-ПОРОШКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ю.М. Евдокимов<sup>1</sup>, О.Л. Фиговский<sup>2</sup>

1) Академия ГПС МЧС, Москва, [evdokur@mail.ru](mailto:evdokur@mail.ru)

2) Департамент науки, технологии и образования Альянса Народов Мира

В работе рассматривается получение органических нано-порошков (полимеров и аграрных продуктов), для измельчения которых использовался новый принцип гипер-резонанса, описанный одним из авторов ранее в работе по волновой теории прочности полимеров [1]. С использованием оригинального гипер-резонансного диспергатора были получены нано-порошки четырех видов органических продуктов (виноградная косточка, гриб Рейши, амарант, овёс) с размерностью менее 300-500 нм.

Выбор использованных веществ продиктован широким использованием их в медицине, детском и лечебном питании, косметике [2-5] из-за высокого содержания микроэлементов (особенно германия), органических кислот, витаминов, фитонцидов, ряда компонентов с антигистаминным и противопаразитарным действием, содержанием пищевых волокон, полифенолов – авенатрамитов и т.д.). Это позволило использовать указанные продукты (нано-порошки) как средство при варикозном расширении вен [2], усилении иммунитета, подавления развития опухолей различного происхождения, повышения насыщенности крови кислородом [3]. Нано-порошки овса с самым высоким ЗПИ (здоровый пищевой индекс) используются для предупреждения заболеваемости раком толстого кишечника [5], а нано-порошок амаранта (идеально сбалансированный белок) входит в состав детского и лечебного питания [4].

В настоящее время начаты исследования по нано-диспергированию инженерных термопластов, в частности, фторопластов.

### Литература

1. Фиговский О. Повышение защитных свойств неметаллических коррозионностойких материалов // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева, Том 33, № 3, 1988.

2. Караматов Иномжон и Абдувохидов Аслан. Лечебные свойства косточек винограда (обзор) // Биология и интегративная медицина, № 1, 2018.



3. Wasser S., Weis A. Medical Mushrooms. Reishi Mushroom -Ganoderma Lucidum (Curtis: Fr.) P. Karst). - Haifa University, 1997.
4. The Oxford Companion to Food // Alan Davidson, Tom Jaine.- Oxford University Press, 2014.
5. Medical Herbalism // David Hoffmann. – Healing Arts Press. 2003.

Евдокимов Юрий Михайлович, к.х.н., профессор  
E-mail: evdokur@mail.ru

### НАНОКОМПОЗИТНЫЕ АДсорбЕНТЫ

О.А.Котыхова, Е.С.Завершнева, Д.А. Харьков

*Московский политехнический университет, Москва, buhtaprov59@mail.ru*

Углеродные наномодификации, в частности, углеродные многослойные и однослойные нанотрубки, имеют большую удельную поверхность и перспективны как высокоэффективные сорбенты. Однако применять нанотрубки в чистом виде в качестве сорбентов экономически не рентабельно из-за их высокой стоимости. Решением проблемы стало создание композитных материалов на основе известных матричных сорбентов с добавлением углеродных нанотрубок в качестве дисперсных наполнителей. Часто применяемыми сорбентами являются силикагель и алюмосиликагель, обладающие целым рядом достоинств: большая площадь поверхности, термостойкость, экологичность при утилизации, экономичность, лёгкость регенерации и т.д. Они и были взяты за матричную основу.

Задачей исследования было отработать технологию внедрения диспергированных углеродных нанотрубок в структуру этих матриц, получить термодинамически устойчивые композиты и испытать их адсорбционную эффективность.

В качестве добавок к силикагелю и алюмосиликагелю были взяты многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ).

Композиты были выделены высушиванием гидрогеля с МУНТ в виде рыхлых порошков от светло- до тёмно-серого цвета в зависимости от концентрации МУНТ (0,5 %



- 1,5% по массе). Насыпная плотность композита с 1% МУНТ, его пористость и водопоглощение при стандартной температуре и атмосферном давлении равны, соответственно, 0,5 г/мл; 78 объёмных долей в %; 1,43 г воды/г адсорбента.

Адсорбционная эффективность оценивалась по стандартной методике (ГОСТ 33627—2015) для широкого класса органических и биологически активных веществ, в частности: углеводородов (гексана, додекана, толуола), простых спиртов, ацетона, этилацетата, четырёххлористого углерода, аминокислот, желатинового белка, углеводов, дубильных веществ, витаминов, индикаторов (метилового синего, метилового оранжевого) и др.

Согласно полученным данным, композиты обладают более высокой адсорбционной способностью, чем активированный уголь и силикагель (и алюмосиликагель) без МУНТ, особенно по отношению к веществам с большими молекулами. Так статическая адсорбционная ёмкость композита, содержащего 1,5 % МУНТ по белку желатина на 77-78% больше, чем у активированного угля и на 55-56%, чем у силикагеля. По метиленовому синему ёмкость у композита на 20% выше, чем у активированного угля и на 78%, чем у силикагеля; по додекану на 24-25% выше, чем у активированного угля и на 75-76%, чем у силикагеля. Для других веществ адсорбционная активность композита также не меньше, чем у силикагеля (и алюмосиликагеля) без МУНТ и у активированного угля. Увеличение концентрации МУНТ больше масс. 2% практически не влияет на показатели адсорбционной ёмкости.

Таким образом, композиты на основе силикагеля и алюмосиликагеля с наполнителем из диспергированных МУНТ показали хорошую адсорбционную активность по отношению к органическим веществам, особенно с большими размерами молекул.

Котыхова Ольга Анатольевна, к.х.н., доцент  
E-mail: buhtaprov59@mail.ru



**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КИНЕТИКИ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ  
В ПОЛИМЕРАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

Т.А. Низина, Н.С. Канаева, Д.Р. Низин, А.А. Порватова

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск,  
nizinata@yandex.ru*

Полимеры, в том числе наномодифицированные, находят все более широкое применение в качестве конструкционных и защитных материалов в строительной отрасли. Однако, зачастую, эксплуатационная пригодность материала оценивается на основании результатов статических испытаний на механическую прочность и долговечность, что не соответствует реальным условиям эксплуатации строительных изделий и конструкций, включающим как самостоятельное, так и совместное действие эксплуатационных факторов различной степени интенсивности. Устойчивость к действию циклических механических нагрузок представляет собой один из наиболее важных критериев обеспечения долговечной работы полимерных материалов.

Ранее авторским коллективом предложена методика, позволяющая проводить расчет кинетики накопления отказов, сущность которой заключается в возможности анализа данных кривых деформирования, фиксируемых с высокой частотой снятия показаний (0,01 сек.), с помощью методов фрактального анализа временных рядов [1-3]. В качестве показателя, позволяющего проводить количественную оценку выхода из строя структурных элементов исследуемой системы, используются числовые значения индекса фрактальности. Частота накопления отказов в зависимости от уровня прикладываемого напряжения и относительной деформации при растяжении рассчитывается по формуле:

$$\omega_{(\sigma, \varepsilon)} = \frac{m_{\mu(\sigma, \varepsilon)}}{n_{\mu(\sigma, \varepsilon)}} 100\% , \quad ((1))$$

где  $m_{\mu(\sigma, \varepsilon)}$  – число индексов фрактальности исследуемого ряда, для которого выполняется условие  $\mu(\sigma, \varepsilon) < 0,5$ ;  $n_{\mu(\sigma, \varepsilon)}$  – общее число анализируемых значений  $\mu(\sigma, \varepsilon)$ .

Используемый при оценке кинетики накопления повреждений в образцах, подвергаемых воздействию растягивающих нагрузок, прием предполагает определение значения  $n_{\mu(\sigma, \varepsilon)}$  как общего числа экспериментальных точек кривой деформирования, при котором достигнуто максимальное напряжение при растяжении с последующим разрушением полимера (как с формированием нисходящей ветви, так и без нее). В случае



воздействия циклических нагрузок каждый цикл связан с формированием определенного числа дефектов в ходе нагружения с последующим разгрузением образца. При этом использовать для расчета данные отдельно для каждого цикла (до достижения заданного уровня нагружения) не представляется корректным, так как циклическому нагружению подвергается один и тот же образец с формирующейся в процессе испытания историей накопления дефектов и повреждений.

Авторским коллективом разработан алгоритм расчета поэтапного накопления повреждений, что позволило не только определить суммарное количество отказов, приводящих к разрушению образцов, подвергаемых предварительному воздействию циклических нагрузок, а также проследить кинетику накопления отказов в зависимости от уровня прикладываемых напряжений и относительных деформаций при растяжении. Расчет производился с помощью программного комплекса, написанного на языке Python, позволяющего автоматизировать процесс выявления координат «критических» точек, определяемых по изменению индекса фрактальности кривых деформирования, характеризующих кинетику накопления повреждений в структуре композитов при воздействии циклических нагрузок с последующим разрушением образца (этап «разрушение»). Использование разработанного программного комплекса позволяет значительно ускорить расчет координат «критических» точек кривых деформирования, фиксируемых с высокой частотой снятия показаний, представляющих собой объемы больших данных.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-38-90287.

Nizina T.A., Nizin D.R., Kanaeva N.S. Statistical Analysis of the Frequency of Damage Accumulation in the Structure of Epoxy Composites Under Tensile Loads // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 95. – Pp. 1–8.

Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р., Канаева Н.С. Количественный анализ кинетики накопления повреждений в структуре полимерных материалов при растяжении // Строительство и реконструкция. 2020. №2. – С. 77–89.

Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р. Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате: монография. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2020. – 188 с.

Низина Татьяна Анатольевна, д.т.н., профессор  
E-mail: nizinata@yandex.ru



## СИНТЕЗ МЕЗОПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДЫХ ТЕМПЛАТОВ

Ю.Е. Синельникова<sup>1,2</sup>, Н.Ф. Уваров <sup>1,2</sup>

1) Новосибирский государственный технический университет

2) Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск  
*yulya.sinelnikova.96@bk.ru*

Пористые углеродные материалы широко применяются во многих современных научных областях в качестве электродных материалов, сорбентов для процессов разделения и хранения газа и т.д.. Благодаря быстрой зарядно-разрядной способности суперконденсаторы являются идеальными накопителями энергии. В последнее время, достигнут большой прогресс в разработке высокоэффективных электродных материалов, среди которых в основном используют углеродные материалы. Среди углеродных материалов мезопористые углеродные материалы привлекательны в качестве электродных материалов, поскольку их мезопористая структура обеспечивает высокую площадь поверхности и служит диффузионным каналом для ионов. Данная работа посвящена получению мезопористых углеродных материалов, которые бы удовлетворяли требованиям электродных материалов: высокая удельная поверхность и распределение пор в мезообласти, а также высокое значение ёмкости и электропроводности.

Мезопористые углеродные материалы были получены темплатным методом с использованием твердых темплатов, пиролизом и удалением темплата. В качестве прекурсора углерода была использована фенолформальдегидная смола резольного типа, а в качестве прекурсора темплатного агента был использован цитрат магния, который, который был введен в смолу до начала её полимеризации. Процесс поликонденсации проводили в щелочной среде при 1000С в течение 24 ч. Далее смесь подвергали пиролизу в инертной атмосфере аргона при 9000С и темплат удаляли обработкой раствором соляной кислоты. Полученные углеродные материалы показали высокое значение удельной поверхности ~2100 м<sup>2</sup>/г со средним размером пор 2,3 нм и значения удельной ёмкости, достаточные для применения в суперконденсаторах.

Синельникова Юлия Евгеньевна, аспирант  
E-mail: *yulya.sinelnikova.96@bk.ru*



## НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ: МЕТОДЫ ДИЗАЙНА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Н.Ф. Уваров<sup>1,2,3</sup>, А.С.Улихин<sup>1</sup>, Ю.Г. Матейшина<sup>1,2,3</sup>

- 1) *Институт химии твердого тела и механохимии, Сибирское отделение Российской Академии наук, Новосибирск, uvarov@solid.nsc.ru*
- 2) *Новосибирский государственный исследовательский университет*
- 3) *Новосибирский государственный технический университет*

Известно, что проводимость ионных соединений в большинстве случаев увеличивается при их гетерогенном допировании дисперсным диэлектриком, химически инертным по отношению к ионной соли. Композиционные твердые электролиты можно рассматривать как новый класс ионных проводников. Сочетание высокой проводимости с повышенной механической прочностью, широкие возможности целенаправленного контролирования свойств электролита путем варьирования типа и концентрации добавки делают композиты перспективными для практического использования в реальных электрохимических системах. Рост проводимости при допировании дисперсными оксидами, наблюдается практически во всех композитах на основе классических (не суперионных) ионных солей и является общим эффектом.

Среди композиционных твердых электролитов наибольший интерес вызывают нанокompозитные твердые электролиты. В этих системах наблюдаются сильные размерные эффекты, обуславливающие как стабилизацию высокотемпературных фаз, так и переход ионной соли в аморфное состояние. В докладе представлен краткий обзор имеющихся данных по нанокompозитным твердым электролитам. Особое внимание уделено методам дизайна: выбору оптимального типа и концентрации добавки (нанокристаллические оксиды, мезопористые матрицы, металлоорганические каркасы), предварительной модификации поверхности, методики синтеза. Приведены примеры практического использования нанокompозитных электролитов в химических источниках тока, суперкондесаторах и сенсорных устройствах.

Уваров Николай Фавстович, д.х.н., профессор  
E-mail: uvarov@solid.nsc.ru



# Наноструктурированные покрытия



**РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ БИОИНЕРТНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ti-Nb-Zr-N,  
ПОЛУЧЕННЫХ НА СПЛАВЕ ТИТАНА ВТ6 КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ**

С.В. Московский<sup>1</sup>, С.В. Соснин<sup>1</sup>

1) *Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, psk-svm@yandex.ru*

В настоящее время ведутся работы по подаче заявок на патентование результатов исследований, поэтому режимы формирования покрытий комплексным методом названы № 1, 2 и 3 без конкретизации. Комплексный метод включал электровзрывное напыление покрытий, их электронно-пучковую обработку и азотирование. Цвет покрытий варьируется от светло-золотистых до темно синих оттенков. Степень их неровности варьируется от малых шероховатостей до крупных выпуклых элементов и кратеров. Поверхность образца № 1 можно разделить на 5 составляющих, среди которых наибольшую долю 44,02 % имеют участки с крупными неровностями. Участки с кратерами, имеющие сложную форму, занимают 21,82 %. На зоны с низкой степенью шероховатости приходится 27,09 % покрытия, при этом на участки с более темными оттенками приходится 14,80 %, а на светлые – 12,29 %. Оставшаяся часть образца, составляющая 7,06 %, занята областью с высокой степенью шероховатости. В образце № 2 покрытие включает 4 составляющие. Наибольшая часть поверхности представлена единой областью с высокой степенью шероховатости. Ее доля максимальна и равна 56,29 %. В тоже время площадь участков с крупным рельефом снизилась до своего минимума 20,54 %. Также наблюдаются зоны с низкой степенью шероховатости, доля которых уменьшилась. При этом на участки темных оттенков приходится 13,92 %, а на участки светлых – 9,24 %. Поверхность образца № 3 можно разделить на 5 составляющих, среди которых участки с крупными неровностями занимают наибольшую долю. Их площадь достигла своего максимума 50,84 %. Доля поверхности, приходящаяся на области с высокой степенью шероховатости, снизилась до 21,39 %. В рассматриваемом образце снова появляются зоны с кратерами. Доля покрытия, приходящаяся на них, равна 19,41 %. Наименьшую часть поверхности, имеющую значение 8,36 %, занимают переходные области

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-00035).

Московский Станислав Владимирович, к.т.н.  
E-mail: psk-svm@yandex.ru



**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ  
ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ WC-Ag-N ПОСЛЕ  
ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ И АЗОТИРОВАНИЯ**

В.В. Почетуха<sup>1</sup>, Д.А. Романов<sup>1</sup>

1) *Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,  
v.pochetuha@mail.ru*

Комбинированным методом, сочетающим электровзрывное напыление покрытия, облучение импульсным электронным пучком и последующее азотирование в плазме газового разряда низкого давления, на меди сформированы покрытия состава Ag-WC-N толщиной до 85 мкм. Показано, что износостойкость покрытия превышает износостойкость меди в 1,5 раза. Коэффициент трения образцов с покрытием на 14% выше коэффициента трения исходных образцов меди. Установлено, что средняя твердость покрытия составляет 3920 МПа (твердость подложки 1270 МПа), т.е. твердость сформированного покрытия превышает твердость исходной меди более чем в 3 раза. Методами микрорентгеноспектрального анализа установлено, что основным элементом покрытия является серебро, в значительно меньшем количестве присутствуют вольфрам и медь. Методами рентгенофазового анализа в покрытии выявлены твердые растворы на основе меди и серебра, а также карбиды вольфрама состава WC и W<sub>2</sub>C, и нитрид вольфрама WN. Основными являются фазы на основе меди, серебра и карбида вольфрама. Методами микрорентгеноспектрального анализа обнаружено, что элементы, формирующие покрытие, распределены неоднородно, образуя области разнообразной формы и размеров. Установлено, что структура покрытия существенным образом зависит от расстояния до поверхности обработки. Верхний слой покрытия имеет нанокристаллическую структуру, сформированную нитридами серебра. Размер кристаллитов изменяется в пределах 10-15 нм. Средняя часть покрытия содержит области двух типов: со слоистой структурой (слои обогащены атомами серебра и вольфрама) и области с зеренной структурой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов и кандидатов наук МД-486.2020.8 и МК-5585.2021.4, а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00044.

Почетуха Василий Витальевич,  
E-mail: v.pochetuha@mail.ru



**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ  
SnO<sub>2</sub>-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ag-N, СФОРМИРОВАННОГО НА МЕДИ КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ**

Д.А. Романов<sup>1</sup>, В.В. Почетуха<sup>1</sup>

1) *Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,  
romanov\_da@physics.sibsiu.ru*

В настоящее время человечество ежедневно использует различные выключатели для коммутации электрического тока, начиная от бытовых приборов и заканчивая переключателями мощных электрических сетей. Главными конструктивными элементами, определяющими долговечность работы любого выключателя, являются его электрические контакты. Дугостойкие контакты должны обеспечивать высокую электропроводность и дугостойкость. Сочетание этих двух свойств позволяет добиться использование композиционных материалов. Высокую электропроводность обеспечивает золото, серебро, медь и др., а высокую дугостойкость – оксиды олова, кадмия и др., а также чистые металлы, например, вольфрам или молибден. Дополнительное повышение электроэрозионной стойкости может обеспечить введение In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в количестве до 3 масс. %.

Комплексным методом, сочетающим электровзрывное напыление, облучение импульсным электронным пучком и последующее азотирование в плазме газового разряда низкого давления, сформированы на меди покрытия состава SnO<sub>2</sub>-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ag-N толщиной ≈ 100 мкм. Показано, что износостойкость медного образца с нанесенным покрытием превышает износостойкость меди без покрытия в 2,8 раза. Коэффициент трения образцов с покрытием ( $\mu = 0,479$ ) меньше коэффициента трения меди без покрытия ( $\mu = 0,679 \pm 0,048$ ) в 1,4 раза. Установлено, что твердость покрытия увеличивается по мере приближения к подложке и достигает максимального значения ≈ 1400 ± 98 МПа (твердость подложки 1270 ± 98 МПа). Методами микрорентгеноспектрального анализа установлено, что основным химическим элементом покрытия является серебро, в значительно меньшем количестве присутствуют медь, олово, индий, кислород и азот. Методами рентгенофазового анализа в покрытии выявлены твердые растворы на основе меди и серебра.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-00141).

Романов Денис Анатольевич, д.т.н., доцент  
E-mail: romanov\_da@physics.sibsiu.ru



**РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ БИОИНЕРТНЫХ МОЛИБДЕНОВЫХ ПОКРЫТИЙ,  
ПОЛУЧЕННЫХ НА СПЛАВЕ ТИТАНА ВТ6 ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ**

К.В. Соснин<sup>1</sup>, А.Д. Филяков<sup>1</sup>

1) *Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,  
K.sosnin@mail.ru*

В настоящее время ведутся работы по подачи заявок на патентование результатов исследований, поэтому режимы электровзрывного напыления (ЭВН) названы № 1, 2 и 3 без конкретизации. Полученное молибденовое покрытие имеет темно-синий оттенок. Его рельеф варьируется от мелких единичных включений до крупных выступающих элементов, формирующих группы и кластеры. Поверхность образца, подвергнутого ЭВН в режиме №1, можно разделить на четыре зоны. Наибольшую часть покрытия, равную 42,33 %, занимают области с высокой степенью шероховатости темно-синего оттенка. 30,88 % поверхности занимают участки с крупными неровностями. На зоны с низкой степенью шероховатости, цвет которых является наиболее темным, приходится 14,86 % покрытия. Наименьшую часть поверхности, равную 11,93 %, занимают области светлых оттенков. На поверхности образца, подвергнутого ЭВН в режиме №2, можно выделить 3 типа рельефа, среди которых наибольшую часть покрытия, равную 62,71 %, занимает переходная область, составляющие которой намного больше шероховатости, но меньше крупных неровностей, чья суммарная поверхностная доля снизилась до своего минимума, равного 23,85 %. Оставшиеся 13,44 % приходятся области с высокой степенью шероховатости, площадь которых также сократилась до своего минимума. На поверхности образца, подвергнутого ЭВН в режиме №3, можно выделить четыре разновидности рельефа. Наибольшую долю покрытия, значение которой достигло своего максимума 45,56 %, занимают участки крупными неровностями. На области с высокой степенью шероховатости приходится 35,11 % поверхности. Области светлых оттенков, представленные четырьмя малыми участками, занимают 13,97 % покрытия. 5,35 %, приходится на зоны с низкой степенью шероховатости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-5585.2021.4.

Соснин Кирилл Валерьевич, к.т.н., без звания  
E-mail: K.sosnin@mail.ru



**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ  
ВИБРОПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ**

А.С. Ахметзянов, И.Р. Ахметов, С.Н. Шарифуллин

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация,  
Saidchist@mail.ru*

В данной работе рассматривается новое направление в вопросах оптимизации процесса плазменного упрочнения металлических поверхностей различных машин и механизмов методом электроискрового легирования элементов твердосплавных материалов. Для электроискрового легирования была использована электроискровая установка БИГ 5 (Кишинев) в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ. В качестве материала электрода применялся вольфрамокобальтовый стержень диаметром 4 мм, состоящий из 94% вольфрама и 6% кобальта. Обрабатываемым образцом являлась сталь 65Г. Фотографии выполнены в Институте химических исследований и технологий Кызылординского государственного университета им. Коркыт Ата. Для исследований физико-химических свойств образцов использовались сканирующий электронный микроскоп “EVO 50 XVP” фирмы “Zeiss” с элементными анализаторами “INCA Energy-350” и “INCA Wave-500” и рентгеновский дифрактометр “Дрон-7” с рентгеновским источником  $\text{CuK}\alpha$  (0.154178 нм).

Изучение морфологии поверхностей оказалось наиболее интересным при 50 кратном увеличении микроскопа. На рисунке 1 представлены фотографии исходного образца и образца, обработанного на установке БИГ-5 с повышенными мощностями. По фотографии исходного образца видно, что на поверхности имеется множество рисков и царапин от механической обработки. Электроискровая обработка даже при малой мощности установки БИГ-5 приводит к резкому изменению топографии поверхности образца. Если образцы обрабатывать с повышенными мощностями установки БИГ-5, то воздействие плазмы на поверхность образца оказывает более сильное влияние и упрочненный слой становится более заметным. Идет перемешивание расплавленного материала электрода с расплавленным материалом сварочных зон поверхности образца и начинается процесс легирования элементов электрода вглубь поверхности (Рис. 1б).





По нашим представлениям структура математической модели формирования износостойких покрытий с применением электроискрового устройства должна включать в себя 7 этапов (Рис. 2).

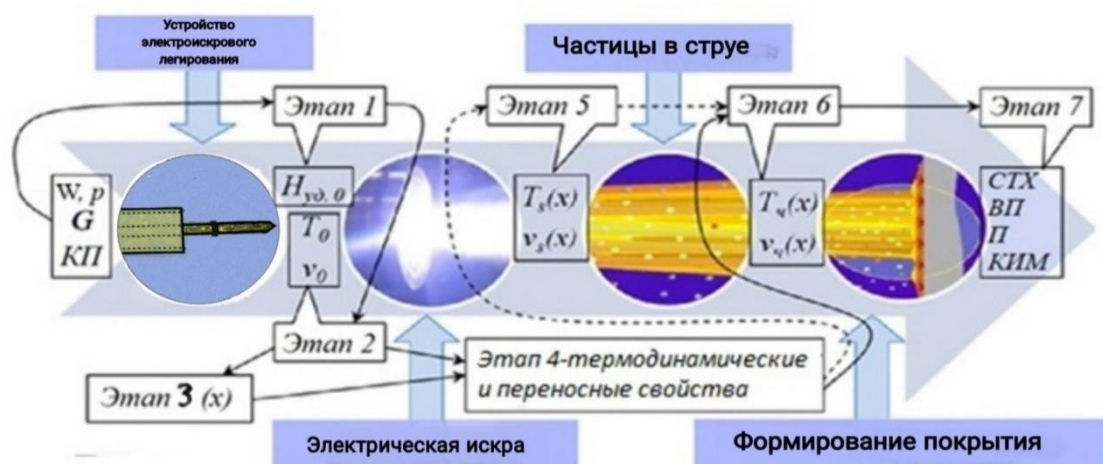


Рис. 2. Структура математической модели электроискрового формирования износостойких покрытий на обрабатываемых поверхностях

Входными факторами (параметрами) являются: вкладываемая мощность в разряд  $W$ , состав и объем плазмообразующего газа  $G$ , вид и марка электродного материала  $M$ , конструктивные параметры электроискрового устройства  $KП$ . Выходные факторы (параметры) плазменного покрытия: стехиометрия  $СТХ$ , вид покрытия  $ВП$ , микротвердость  $П$  и коэффициент использования материала  $КИМ$ .

Шарифуллин Саид Насибуллович,  
E-mail: Saidchist@mail.ru



# Наноструктурированные металлы и сплавы



## СТРУКТУРА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЕМ

К.В. Аксёнова<sup>1</sup>, В.Е. Громов<sup>1</sup>, Ю.Ф. Иванов<sup>2</sup>, Е.С. Ващук<sup>3</sup>

*1 Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,  
19krestik91@mail.ru*

*2 Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск,  
yufi55@mail.ru*

*3 Филиал ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени  
Т.Ф. Горбачева» в г. Прокопьевске, vaschuk@bk.ru*

Целью настоящей работы является исследование структуры рельсовой стали, подвергнутой пластической деформации одноосным сжатием.

Структура исследуемой стали имеет выраженный градиентный характер и представлена в основном перлитом пластинчатой морфологии (эвтектоидная смесь феррита и цементита, в которой обе фазы имеют форму протяженных пластинок), относительная объемная доля которого меняется в пределах 0,34-0,87. Доля зерен феррито-карбидной смеси (зерен феррита, в объеме которых наблюдаются частицы цементита разнообразной формы) составляет 0,12-0,65 структуры стали, а структурно свободного феррита (зерен феррита, не содержащими в объеме частиц карбидной фазы) – 0,01-0,05. С увеличением расстояния до поверхности относительная объемная доля пластинчатого перлита увеличивается, а зерен феррито-карбидной смеси и структурно-свободного феррита уменьшается.

Ферритная составляющая структуры стали дефектна. Методами электронной микроскопии выявлена дислокационная субструктура дислокационного хаоса, сетчатая, ячеистая и фрагментированная дислокационная субструктуры. В феррите перлитных зерен наблюдаются лишь первые два типа; ячеистая и фрагментированная дислокационная субструктуры выявляются лишь в зернах структурно свободного феррита и в зернах феррито-карбидной смеси. Скалярная плотность дислокаций в ферритной составляющей структуры исследованных образцов стали изменяется в широких пределах от  $2,0 \times 10^{10}$  см<sup>-2</sup> до  $6,0 \times 10^{10}$  см<sup>-2</sup>. Максимального значения скалярная плотность дислокаций достигает вблизи глобулярных частиц карбидной фазы и составляет  $\sim 6 \times 10^{10}$  см<sup>-2</sup>.

Деформация рельсовой стали в исходном состоянии после дифференцированной закалки сжатым воздухом осуществлялась одноосным сжатием образцов размерами 5x5x10 мм<sup>3</sup> при комнатной температуре на машине типа «Instron» со скоростью 10-2 с-1 при автоматической записи нагрузки и размеров образца. Характерный вид кривой



деформационного упрочнения рельсовой стали приведен на рис. 1, а. Математическая обработка кривых деформационного упрочнения показывает, что зависимость  $\sigma$ - $\varepsilon$  имеет параболический вид и описывается полиномом четвертой степени.

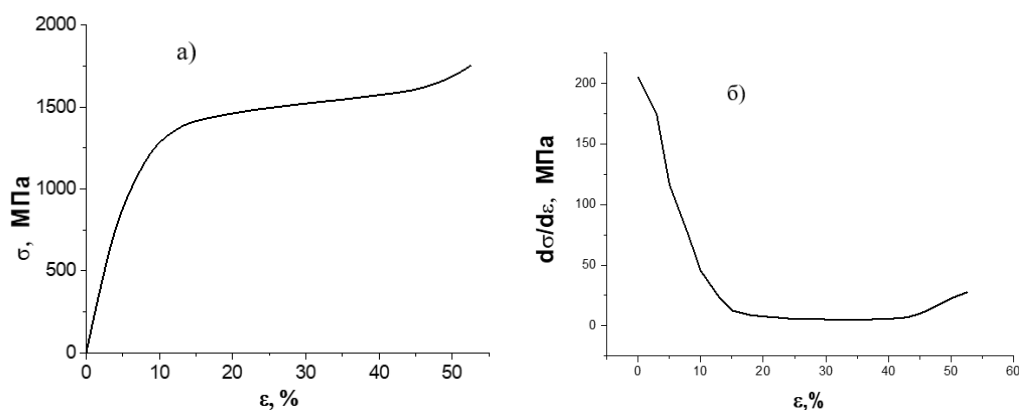


Рис. 1. Кривая деформационного упрочнения (а) и зависимость коэффициента деформационного упрочнения (б) от степени деформации рельсовой стали

Анализируя приведенную на рис. 1, б зависимость коэффициента деформационного

упрочнения  $\theta = \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon}$ , можно выделить две стадии деформационного упрочнения стали: стадию с параболической зависимостью  $\sigma$ - $\varepsilon$  или убывающим коэффициентом упрочнения  $\theta$  и стадию со слабо изменяющимся и низким значением коэффициента упрочнения. Переход от первой стадии ко второй наступает в интервале степени деформации  $\varepsilon = 15...20\%$ . Разрушение испытываемых образцов рельсовой стали происходило при  $\varepsilon = (0,42...0,52)$  путем хрупкого скола под углом  $\approx 45$  градусов к оси деформации с образованием нескольких крупных осколков.

Аксёнова Кристина Владимировна, к.т.н.  
E-mail: 19krestik91@mail.ru



**МЕТОД ХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОСТОЯННЫХ  
МАГНИТОВ Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B**

М.Э. Алисултанов<sup>1</sup>, О.Э. Абдурахмонов<sup>1</sup>

1) *Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва,  
alisultanov.marat@mail.ru.*

На сегодняшний день неодимовые магниты нашли широкое применение в: энергетике, машиностроении, медицине, а также в быту. Они занимают большую часть рынка постоянных магнитов и для их изготовления в промышленности используются физические методы, которые в свою очередь требуют использования дорогостоящего, чистого редкоземельного металла - неодима. Так же сопутствующие металлургические процессы требуют больших энергозатрат для получения микрометровых и наноразмерных частиц, что сказывается на конечной стоимости неодимовых магнитов.

Нами предложен химический метод синтеза, в качестве сырья используются соли неодима и железа. Химический метод позволит решить сразу несколько проблем:

1) Контроль размеров частиц. Он позволит получать высокие магнитные характеристики за счет наноструктурирования.

2) Меньшая стоимость сырья и энергозатрат. Это влияет на себестоимость самих магнитов так и на стоимость приборов, в состав которых они входят.

Разработан химический метод синтеза нанопорошков Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B. Первоначально методом осаждения из растворов солей были получены полупродукты Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, со средним размером по данным ПЭМ 59 нм, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> со средним размером по данным ПЭМ 59 нм, Fe<sub>3</sub>BO<sub>6</sub> со средним размером по данным ПЭМ 45 нм. Далее смешивание полученных нанопорошков производили во фреоне ультразвуковым воздействием для равномерного перемешивания. После проводили двухступенчатое восстановление, сначала при температуре 800 °С в течение 2 ч в постоянном потоке Ar+5% H<sub>2</sub>. Второй этап восстановления производили смешиванием нанопорошков с гидридом кальция в атмосфере аргона при температуре 900 °С. По данным дифрактограмма РФА образованная фаза соответствует наночастицам сплава Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B. По данным ПЭМ средний размер частиц Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B составляет 100 нм.

Алисултанов Марат Эхсанович, магистрант  
E-mail: alisultanov.marat@mail.ru



## ТОНКАЯ СТРУКТУРА ПЕРЛИТНОЙ СТАЛИ ПРИ СВЕРХДЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В.Е. Громов<sup>1</sup>, Р.Е. Кузнецов<sup>1</sup>, К.В. Аксёнова<sup>1</sup>, Ю.А. Шлярова<sup>1</sup>, Ю.Ф. Иванов<sup>2</sup>

*1 Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, gromov@physics.sibsiu.ru*

*2 Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, yufi55@mail.ru*

В настоящей работе методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на микро- и наномасштабном уровне выявлены количественные преобразования структуры на глубине 0, 2, 5, 10 мм по центральной оси и оси симметрии выкружки головки длинномерных дифференцированно закаленных рельсов после сверхдлительной пластической деформации (пропущенный тоннаж 1770 млн. тонн брутто).

После интенсивной пластической деформации в поверхностных слоях рельсов происходит существенное преобразование структурно-фазового состояния. Во-первых, наблюдается формирование так называемых «каналов деформации». В этом случае в пределах колонии пластинчатого перлита формируются протяженные области, в объеме которых на месте пластинчатой структуры образуется фрагментированная субструктура (рис.1, а).

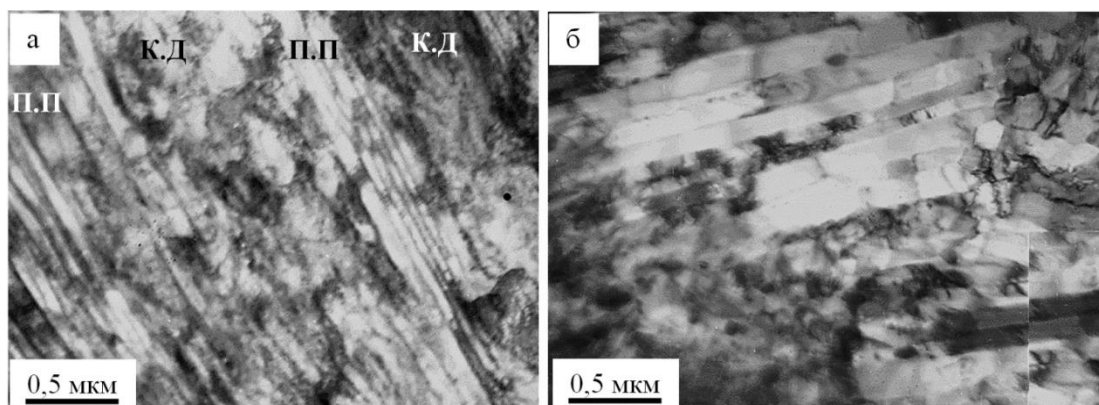


Рис. 1. ПЭМ изображение поверхностного слоя головки. На (а) обозначено: «П.П.» - пластинчатый перлит, «К.Д.» - канал деформации.

Во-вторых, образуется значительное количество перлитных колоний с изогнутыми (волнистыми) и разрушенными пластинами цементита. В-третьих, наблюдается формирование зерен динамической рекристаллизации феррита. Данная структура образуется в первую очередь вдоль границ зерен и в торцах колоний пластинчатого перлита (рис. 1, б). Последнее указывает на наиболее напряженные области материала, являющиеся концентраторами напряжений. Размеры таких зерен изменяются в пределах



от 65 до 300 нм. Области с зёрнами динамической рекристаллизации содержат частицы карбида железа преимущественно округлой формы размерами от 30 до 70 нм, которые располагаются в стыках и вдоль границ зёрен. Таким образом, одним из реализующихся при интенсивной пластической деформации вариантов преобразования структуры пластинчатого перлита является образование субмикро- наноразмерной механической смеси зёрен феррита и частиц цементита глобулярной формы.

Дислокационная субструктура обнаруживается преимущественно в ферритной составляющей перлитных колоний и в структуре каналов деформации, а в зёрнах динамической рекристаллизации дислокации практически не обнаруживаются. Показано, что скалярная и избыточная плотность дислокаций ферритной составляющей структуры стали увеличивается по мере приближения к поверхности головки рельс. Увеличение скалярной плотности дислокаций в поверхностном слое относительно слоя, расположенного на глубине 10 мм, измеренной вдоль центральной оси головки рельс составляет 21 %; при измерении вдоль оси симметрии рабочей выкружки увеличение более значительно и составляет 52 %.

Установлено, что величина избыточной плотности дислокаций ниже величины скалярной плотности дислокаций. Последнее указывает на упругий характер изгиба-кручения фольги. Величина избыточной плотности дислокаций, измеренная и вдоль центральной оси головки, и вдоль оси симметрии рабочей выкружки в поверхностном слое более чем в 2 раза превышает эту же характеристику дефектной субструктуры материала, выявленную в слое, расположенном на глубине 10 мм. Следовательно, интенсивная пластическая деформация способствует кратному увеличению внутренних упругих полей напряжений металла поверхностного слоя.

Громов Виктор Евгеньевич, д.ф.-м.н., профессор  
E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru



**СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ НАНОСТРУКТУР, ФОРМИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ И ЛАЗЕРНЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА НЕМАГНИТНЫЕ И МАГНИТНЫЕ МЕТАЛЛЫ**

П.В. Провоторов<sup>1,2</sup>, А.А.Левченко<sup>1,2</sup>, Н.В. Классен<sup>2</sup>

1) НИУ Московский физико-технический институт, Долгопрудный

2) Институт физики твердого тела Российской академии наук, Черноголовка

Ранее мы опубликовали статью по формированию цепочек большой длины из нескольких видов оксидных наночастиц посредством интенсивного нагрева исходных металлов на воздухе. Данная работа посвящена развитию этих исследований в направлении изучения влияния на процессы формирования путем интенсивного нагрева наноструктур из разных металлов их термофизических и магнитофизических характеристик, состава окружающей среды, способов ввода энергии для испарения. Было изучено девять видов металлов (семь немагнитных, а также ферромагнитные железо и никель). Для испарения металлов применялись импульсный токовый разогрев разрядом конденсатора большой емкости, нагрев импульсными и непрерывными лазерами, ввод в пламя газовой горелки. Испарение производилось в кислород содержащей среде (на воздухе) и бескислородной среде (жидкий азот). Динамика процесса испарения регистрировалась видеокамерой с временным разрешением 0,01 секунды. Для испарения на воздухе было установлено, что на морфологию формирующихся наноструктур серьезное влияние оказывает соотношение между температурами кипения исходных металлов и их оксидов. В том случае, когда температура кипения оксида значительно ниже температуры кипения металла (как в случае молибдена), формируются развитые наноструктуры из связанных в кружевоподобные сетки наночастиц. Если температура кипения оксида выше аналогичной характеристики исходного металла (как, например, у меди), формирования кружевоподобных сеток из наночастиц не наблюдается. А в случае алюминия, у которого температура кипения оксида почти на полторы тысячи градусов выше, чем у исходного металла, образование цепочек из наночастиц получить испарением металла пока не удалось. При лазерном испарении свинца и олова в жидком азоте кружевоподобные системы из наночастиц наблюдались, но размеры их ячеек были значительно меньше, чем при испарении тех же металлов на воздухе. Указанные различия указывают на активную роль дополнительной энергии, выделяющейся за счет окисления при превращении пара и расплава металла в пар и расплав оксида, в формировании развитых кружевоподобных наноструктур. Это может происходить за счет образования при этом турбулентных завихрений паров металла и оксида, приводящих к локальным возрастаниям их плотности. Сказанное выше относится к немагнитным металлам. А при



испарении ферромагнитных железа и никеля морфологии получаемых результатов радикально изменяются (особенно в случае железа, ферромагнетизм которого значительно сильнее). Воздействия на образцы железа и разрядным током конденсатора, и импульсным лазером, и пламенем горелки приводили к образованию полых изнутри шаров или грушеподобных образований размерами от нескольких единиц до нескольких сотен микрон. В случае никеля геометрические формы продуктов таких воздействий были аналогичны, но поперечные размеры в несколько раз меньше. Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ выявил на внутренних поверхностях этих сфер квазипериодические ряды микрозерен, состоящих преимущественно из исходных железа или никеля, в то время как на внешних поверхностях преобладали оксиды этих металлов. Как и размеры сфер, так и размеры этих внутренних микрозерен в случае никеля были значительно меньше. И если в случае железа образование цепочек из наночастиц вообще не наблюдалось, то при испарении никеля небольшое количество наночапечек было обнаружено. Тем самым никель как металл с менее сильным ферромагнетизмом занимает с точки зрения формируемых указанными способами наноструктур промежуточное положение между сильно магнитным железом и немагнитными металлами (молибденом, свинцом и др.). Для трактовки обнаруженных различий привлекается взаимодействие магнитных ионов с электронным газом в горячей плазме, образуемой внутри сфер при интенсивном нагреве железа и никеля.

Провоторов Павел Владимирович, мл. науч. сотрудник ИФТТ РАН  
E-mail: Provotorov.pv@phystech.edu



## ДЕЙСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ НА КОРРОЗИОННУЮ АКТИВНОСТЬ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ СРЕДСТВ

И.В. Фадеев<sup>1</sup>, Д.Г. Чурилов<sup>2</sup>, И.С. Арапов<sup>2</sup>, В.П. Воронов<sup>2</sup>, С.Д. Полищук<sup>2</sup>

1) *Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, Чебоксары, ivan-fadeev-2012@mail.ru*

2) *Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева, Рязань, churilov.dmitry@yandex.ru*

В работе рассматриваются процессы коррозии кузова автомобиля в условиях эксплуатации под влиянием компонентов загрязнения дороги. Отмечено, что коррозионному разрушению наиболее подвержены кузова несущей конструкции, особенно их днище. Для оценки коррозионной активности загрязнения дорожной поверхности были проведены сравнительные исследования его с раствором хлорида натрия, которые показали, что среда, имитирующая дорожные условия (СИДУ) по коррозионной агрессивности равноценна 5%-му водному раствору хлорида натрия. Приведены экспериментальные данные зависимости коррозии стали в выбранных средах от продолжительности экспозиции и аэрации растворов. Выдвинута гипотеза, что эффективно защищать кузова автомобилей от коррозии можно с помощью ингибиторов с добавлением наночастиц (НЧ). В связи с этим в составе СИДУ в качестве ингибитора коррозии были изучены моноборат калия (МБК) и МБК + TiO<sub>2</sub>. Экспериментально доказано, что МБК снижает коррозионную активность СИДУ, на основании которого МБК рекомендован в качестве эффективной противокоррозионной присадки к противогололедным средствам, способствующей увеличению ресурса кузовов автомобилей при эксплуатации в зимнее время.

Фазовый состав нанопорошков изучали помощью рентгенофазового анализа (РФА) по методу порошка на дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu). Физико-химические характеристики НЧ TiO<sub>2</sub> определяли такими показателями, как удельная поверхность (м<sup>2</sup>/г), фазовый состав, размеры. Удельная поверхность изучаемых нанопорошков, полученных химическим способом, измерялась методом низкотемпературной адсорбции азота по БЭТ с использованием анализатора «Quantachrome NOVA 1200e»: TiO<sub>2</sub> 87,3 м<sup>2</sup>/г (10-35 нм). Наночастицы TiO<sub>2</sub> имеют форму, близкую к сферической. Устойчивость к агрегации у диоксида высокая.

Навески исследуемых образцов нанокристаллического диоксида титана помещали в определённый объем дистиллированной воды с учетом необходимых концентраций растворов. Суспензии обрабатывали в ультразвуковой ванне (Град 13-35) 15 мин при



максимальной мощности для повышения дисперсности пробы. Варианты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1– Варианты исследования

Раствор хлорида натрия		Имитирующая среда	
Варианты	Концентрация, %	Варианты	Концентрация, % от максимума*
1	1	1	25
2	3	2	50
3	5	3	75
4	1 + 5 г/л МБК	4	25 + 5 г/л МБК
5	3 + 5 г/л МБК	5	50 + 5 г/л МБК
6	5 + 5 г/л МБК	6	75 + 5 г/л МБК
7	1 + 5 г/л МБК + $5 \cdot 10^{-3}$ г/л $\text{TiO}_2$	7	25 + 5 г/л МБК + $5 \cdot 10^{-3}$ г/л $\text{TiO}_2$
8	3 + 5 г/л МБК + $5 \cdot 10^{-3}$ г/л $\text{TiO}_2$	8	50 + 5 г/л МБК + $5 \cdot 10^{-3}$ г/л $\text{TiO}_2$
9	5 + 5 г/л МБК + $5 \cdot 10^{-3}$ г/л $\text{TiO}_2$	9	75 + 5 г/л МБК + $5 \cdot 10^{-3}$ г/л $\text{TiO}_2$

Значение электродного потенциала существенно уменьшается на первоначальном этапе выдержки электрода в растворе для чистой стали и стали, обработанной раствором монобората калия. В случае использования НЧ  $\text{TiO}_2$ , напротив, наблюдается увеличение электродного потенциала на начальном этапе. Это, однозначно, свидетельствует о наличии химических взаимодействий на границе раздела металл – раствор электролита. Наиболее показательным параметром является ток коррозии. Наблюдается снижение тока коррозии практически в два раза в среде 5 г/л МБК +  $5 \cdot 10^{-3}$  г/л  $\text{TiO}_2$  по сравнению с током коррозии в растворе хлорида натрия, тогда как системы с МБК позволяют снизить ток коррозии только на 21%. При добавлении НЧ  $\text{TiO}_2$  в раствор образцы стали меньше теряют массу, причем с увеличением концентрации наночастиц коррозионная стойкость металла увеличивается. Это говорит о том, что в данном случае только НЧ диоксида титана, заполняя поры на поверхности металла, препятствуют коррозионному разрушению.

Фадеев Иван Васильевич, д.т.н., профессор  
E-mail: ivan-fadeev-2012@mail.ru



**ПРИРОДНОЕ ДИСПЕРСНОЕ СЕРЕБРО: УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ВОЗМОЖНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ СЕРЕБРОНОСНЫХ НАНОЧАСТИЦ**

Л.Г. Филимнонова

*Институт геологии рудных месторождений РАН, Москва, lgfilimonva@mail.ru*

Экспериментальные исследования природы наночастиц серебра последних десятилетий сопровождаются исследованиями структуры, состава поверхностного слоя коллоидных частиц и поисками эффективных стабилизаторов ультрамалых наночастиц. Данные о дисперсном серебре магматических пород, образованных с уникальным по запасам Ag месторождением Дукат в единой магматогенно-гидротермальной системе, показали существование в природе стабильных дисперсных форм Ag, перемещенных потоками неоднородных флюидов с глубинных уровней земной коры (>10 км), в приповерхностные. Потоки металлоносных флюидов фиксируются развитием расслоенных серпентинитов в перидотитах, сложенных оливином (Ol, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), хромистой шпинелью (Spn [(FeMg)(CrFeAl)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]; клинопироксеном [Ca(MgFe)Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>], остывающих в условиях 5-7 кбар (рис. 1а) и неоднородных пропилитов в гранитоидах, на 90% и более сложенных кварцем (Qrz, SiO<sub>2</sub>), полевыми шпатами [(NaK)AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>], остывающих в приповерхностных уровнях (1-2 км) в условиях <1.5 кбар (рис. 1б). Серпентиниты сложены лизардитом [Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>], редким K-Mg--флогопитом (Flg), альбитом (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), Mn-ильменитом (Ilm, MnFeTiO<sub>3</sub>), а пропилиты – кварцем (Qrz SiO<sub>2</sub>), эпидотом [Ep (Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Fe(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH), полевыми шпатами [(CaNaK)AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>] слюдами [KAl<sub>2</sub>[AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub>] Fe-хлоритом [Chl (Mg,Fe)<sub>6</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>], оксидами Fe, Ti, Cr и Mn [Td (Mn,Ca,Ba)<sub>2</sub>Mn<sub>3</sub>O<sub>12</sub>·3H<sub>2</sub>O], углеродистым веществом.

Многочисленные данные о составе энерго-дисперсионных спектров (ЭДС), сфокусированных в сереброносные участки, о структуре сереброносных фаз, ассоциирующих минералов, полученные с помощью методов просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии, показали сходный стиль процессов концентрации дисперсных форм благородного металла на различных глубинных уровнях рудоносной территории. Последний нашло свое отражение высокой пористостью металлоносных участков, расположением дисперсного серебра среди пакетов слоистых минералов, в обрамлении полых пространств, а также некоторым сходством состава ЭДС. Нестехиометрические концентрации Ag, I, Cr, Ca сереброносных ЭДС (рис. 1 а, б), подкрепленные количественными данными и не характерные для вмещающих смешаннослоистых минералов; обнаружение в сереброносных пропилитах агрегированных наночастиц с фрагментами кристаллических блоков кубической структуры



самородного Ag (рис. 1 б) предполагают их участие наряду с Si, Al, Fe в строении неоднородных коллоидных частиц - мицелл. Схемы их возможного строения представлены на врезках рис 1, а, б.

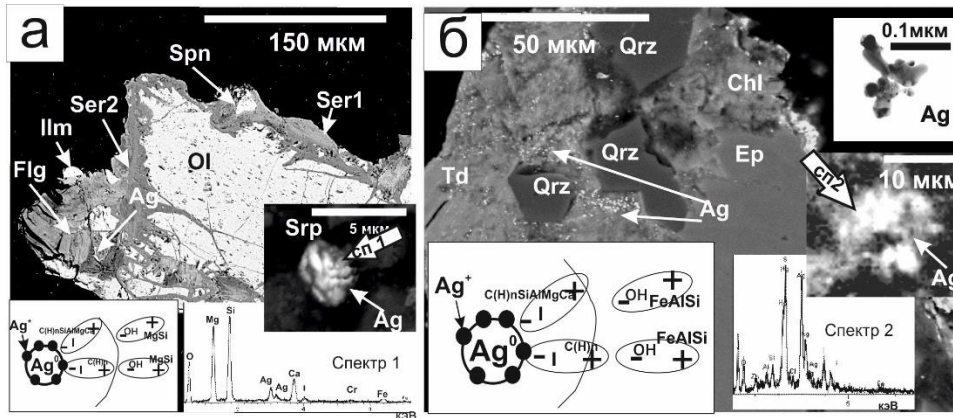


Рис. 1. Расположение дисперсного Ag (врезки справа) в серпентинитах (а) и пропилитах (б). Схемы строения мицелл, ЭДС (слева, справа, внизу), изображение агрегированных наночастиц самородного Ag (ПЭМ, вверху). Пояснения см. текст.

Ядро мицелл, сложенное срастаниями различно ориентированных наночастиц со структурой самородного серебра, обрамлено окисленными формами серебра ( $Ag^+$ ). Компоненты внутреннего диффузионного слоя мицелл могут принадлежать полярным соединениям йодосодержащих ненасыщенных углеводов, сопровождающих процессы серпентинизации и алкосиланов, органо-кремниевых аналогов углеводов, включающих Mg, Al, Ca. Они возникают в кислой восстановительной обстановке с участием металлов-катализаторов. Внешний диффузионный слой может подвергаться модификации и включать полярные гидроксилсодержащие молекулы, близкие составу Mg-серпентинитов, либо Fe- хлоритов пропилитов.

Филимонова Людмила Георгиевна, канд. г-м. н  
E-mail: lgfilimonova@mail.ru



# **Технологии и явления наноразмерных объектов**



## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ НАНОЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ ОЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ, TWEEN 80 И SPAN 80

Артамонов А.С., Тимофеева Е. Е., Мищенко Е.В., Королёва М. Ю.

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

Кафедра наноматериалов и нанотехнологии, Москва, Россия

Наноэмульсии (НЭ), относящиеся к липидным наноразмерным системам, являются перспективными средствами доставки лекарственных и биологически активных соединений [1]. Стабильность наноэмульсий напрямую зависит от состава и условий их получения [2,3]. Информация о распределении капель по размерам в НЭ в течении времени поможет определить период их стабильности и возможную причину их неустойчивости.

В данной работе методом температурной инверсии фаз были получены НЭ на основе олеиновой кислоты с концентрацией 25 об. % и 0,17 М раствора NaCl в качестве дисперсионной среды. Для стабилизации НЭ использовали неионогенные поверхностно-активные вещества (ПАВ) – Tween 80 и Span 80. Размеры капель дисперсной фазы определяли методом динамического светорассеяния на лазерном анализаторе Zetasizer Nano ZS (Malvern). Устойчивость НЭ исследовалось методом обратного рассеивания света на приборе Multiscan MS 20 (DataPhysics Instruments GmbH).

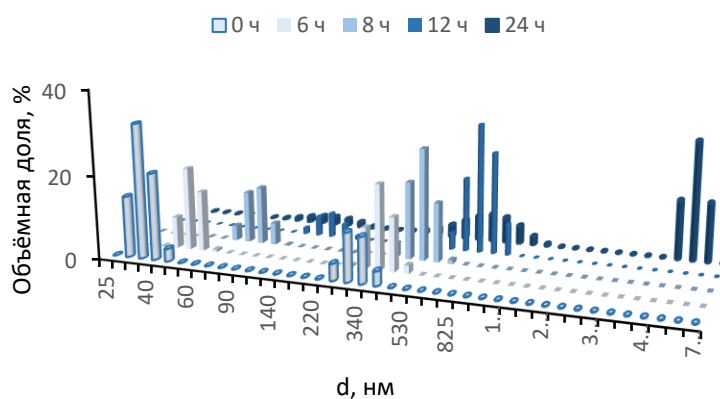


Рис. 1. Изменение распределений по размерам капель дисперсной фазы в НЭ в зависимости от времени после их получения

После получения в НЭ преобладали капли с размером  $32 \pm 5$  нм, но также в небольшом количестве присутствовали агрегаты размером  $318 \pm 20$  нм. С течением времени объёмная доля капель уменьшалась (рис.1), что свидетельствует о их агрегации.



На рисунке 2 представлена зависимость обратного светорассеяния НЭ от времени. Агрегация капель дисперсной фазы началась сразу после получения НЭ и продолжалось в течении 24 ч.

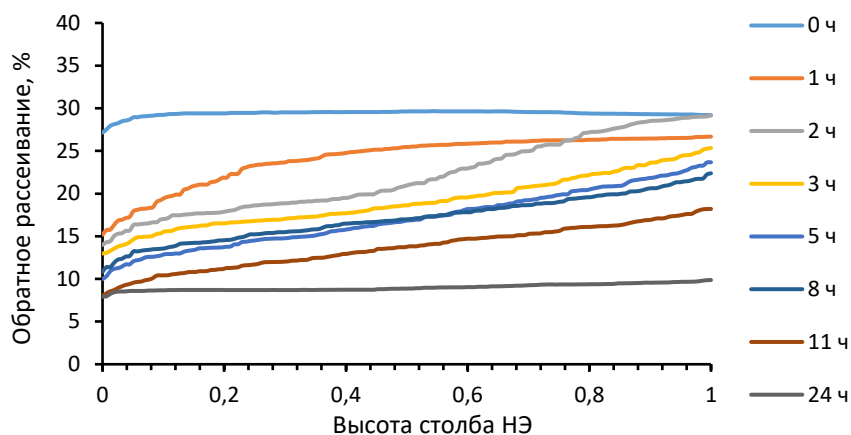


Рис. 2. Изменение зависимостей обратного светорассеяния от высоты столба НЭ через разное время после их получения

Полученные результаты по изменению распределений по размерам капель в НЭ от времени и обратному светорассеянию в НЭ свидетельствуют о том, что данные НЭ являются неустойчивыми к агрегации и последующей седиментации.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и МНТИ в рамках научного проекта № 19-53-06014.

### Список литературы

1. Королева М. Ю., Юртов Е. В. Наноземulsionи: свойства, методы получения и перспективные области применения // Успехи химии. – 2012. – Т. 81. – №. 1. – С. 21-43.
2. Koroleva M., Nagovitsina T., Yurtov E. Nanoemulsions stabilized by non-ionic surfactants: stability and degradation mechanisms // Physical Chemistry Chemical Physics. — 2018. — Vol. 20. — P. 10369-10377.
3. Koroleva M., Mishchenko E., Sapach A., Kurbanova L., Gileva A., Markvicheva E. Nanocapsules for anticancer drug delivery: preparation and in vitro evaluation // 33rd Conference of The European Colloid and Interface Society, Belgium, 2019, p. 159.



**КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АДСОРБЦИИ МОЛЕКУЛЫ СО СЕНСОРНЫМИ  
НАНОЧАСТИЦАМИ СОТОВОГО БОРОФЕНА МЕТОДОМ V3LYP**

С.А. Безносюк<sup>1</sup>, Е.В. Валерьева<sup>2</sup>, М.С. Жуковский<sup>3</sup>, С.Н. Никольский<sup>4</sup>

1) Алтайский государственный университет, Барнаул, *bsa1953@mail.ru*

2) Алтайский государственный университет, Барнаул, *vessta\_1@mail.ru*

3) Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
Барнаул, *zhukovsky@list.ru*

Карагандинский университет им. академика Е.А. Букетова, Караганда,  
*sergeynikolsky@mail.ru*

Графен – наиболее востребованный монослойный материал с уникальными электрическими и механическими свойствами. Однако на сегодняшний день известен аналог графена – борофен. Именно его свойства считают более перспективными, в сравнении с другими сенсорными материалами. Впервые нанолит сотового борофена с гексагональной структурой, подобной графену, был синтезирован на подложке алюминия в 2018 году [1]. Годом ранее, в работе [2] теоретически было показано, что сотовый борофен с графеноподобной структурой монослоя атомов бора неустойчив. Хотя вопрос остается дискуссионным, ожидается, что реализация борофенового сенсора позволит создать новое поколение газовых датчиков. В работе для исследования сенсорных возможностей наночастиц борофена была рассмотрена адсорбция молекулы СО на монослое борофена. Квантово-химический расчет проведен в пакете ORCA методом гибридного функционала плотности V3LYP с применением базисного набора 6-31+G(d,p) [3].

При моделировании сенсорной системы были учтены различные позиции адсорбции: (a) – молекула над атомом бора В, (s) – над связью В-В и c – над центром кольца борофена. На рисунке 1 показаны аппроксимирующие кривые энергии связи для осевой атаки атомом кислорода молекулы угарного газа СО поверхности сотового борофена для трёх рассчитанных положений адсорбции. Видно, что ход кривых энергии связи на расстояниях от 3,0 Å до 6,0 Å показывает сложный характер конкуренции трех основных направлений сближения молекулы СО с поверхностью плоского сотового борофена. При этом на больших расстояниях более выгодной по энергии является атака СО одного атома борофена.

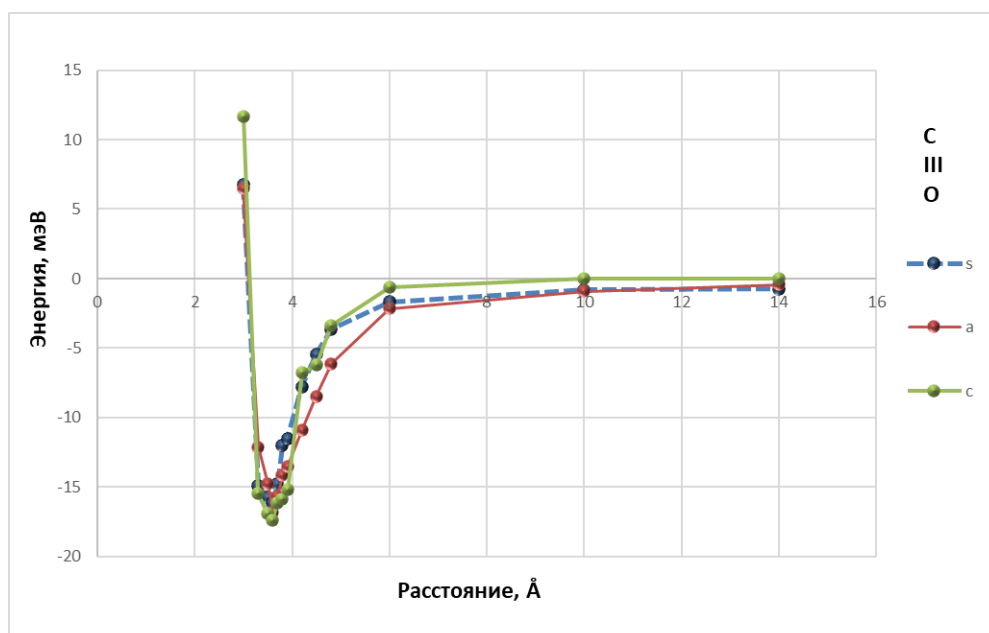


Рис. 1 – Энергии связи молекулы CO с листом сотового борфена

Расчет показал вырожденность позиций адсорбции молекулы угарного газа. Равновесная длина связи кислородного атома молекулы угарного газа CO от плоскости борфена соответствует значению 3,6 Å для всех позиций - молекула над атомом (a), над связью (s) и над центром кольца борфена (c) с энергией связи – 17 мэВ. Что соответствует физической адсорбции силами Ван-дер-Ваальса.

#### Библиографической список

1. Wenbin Li., Longjuan Kong, Caivun Chen, Jian Gou Experimental realization of honeycomb borophene // Science Bulletin. 2018. V. 63. Is. 5. P. 282-286.
2. Bo Peng, Hao Zhang, Hezhu Shao, Zeyu Ning. Stability and strength of atomically thin borophene from first principles calculations // Materials Research Letters, 2017. V. 5. №6. P. 399-407.
3. ORCA, An Ab Initio, DFT and Semiempirical electronic structure package. Version 4.2.0. Department of theory and spectroscopy. Directorship: Frank Neese. Max Planck Institute fuer Kohlenforschung, Kaiser Wilhelm Platz 1, D-45470 Muelheim/Ruhr, Germany. 2019. URL: [www.orcaforum.kofo.mpg.de](http://www.orcaforum.kofo.mpg.de)



**ВЛИЯНИЕ СТЕАРАТОВ АЛЮМИНИЯ И ИТТРИЯ НА СРЕДНИЙ РАЗМЕР КАПЕЛЬ  
НАНОЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО МАСЛА**

О.П. Горелков, А.Д. Широких, М.Ю. Королёва

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва,  
[oleg.gorelkov@gmail.com](mailto:oleg.gorelkov@gmail.com)*

Наноэмульсии представляют собой дисперсную систему, состоящую из двух несмешивающихся жидкостей, стабилизированную поверхностно-активными веществами (ПАВ). Для них характерны кинетическая стабильность и средний размер капель, не превышающий 100 нм [1, 2]. Интерес к ним обусловлен широкими возможностями применения. Наноэмульсии могут применяться в качестве носителей лекарственных средств [3], для терапии онкологических заболеваний, противовирусных средств, в косметической, нефтяной промышленности и др.

Вводимые функциональные добавки могут оказывать влияние на физико-химические свойства наноэмульсий [4]. В данной работе рассмотрено влияние стеаратов алюминия и иттрия на размер капель дисперсной фазы наноэмульсий на основе углеводородного масла.

Получение наноэмульсий осуществляли методом температурной инверсии фаз. Наноэмульсии состояли из углеводородного масла с 12,5 об.% ПАВ (Tween 80 и Span 80), 0,25 мас.% стеарата алюминия или стеарата иттрия и физиологического раствора (0,9 мас.% NaCl).

Во всех наноэмульсиях наблюдалось бимодальное распределение капель по размерам (Рис. 1). В начальный момент времени размеры отдельных капель и флокул капель дисперсной фазы в наноэмульсии без добавок стеаратов составляли  $200 \pm 20$  и  $1000 \pm 80$  нм. Через 4 ч наблюдалось укрупнение капель до  $260 \pm 20$  и флокул до  $1280 \pm 80$  нм. Это связано с процессами коагуляции и коалесценции, протекающими в системах. Включение в состав наноэмульсий стеаратов иттрия и алюминия способствовало уменьшению размеров капель дисперсной фазы, вследствие замедления процесса коагуляции. Так, средний размер капель и флокул в наноэмульсии со стеаратом алюминия составлял  $190 \pm 20$  нм и  $965 \pm 80$  нм в начальный момент времени и  $190 \pm 20$  нм и  $1300 \pm 80$  нм спустя 4 ч. Размер капель не изменился в связи с тем, что включение стеарата алюминия приводило к существенному снижению скорости коагуляции и увеличению устойчивости наноэмульсии. Стеарат иттрия способствовал более существенному снижению размеров капель и флокул до  $115 \pm 20$  нм и  $770 \pm 80$  нм в начальный момент времени,  $160 \pm 20$  нм и  $790 \pm 80$  нм через 4 ч.

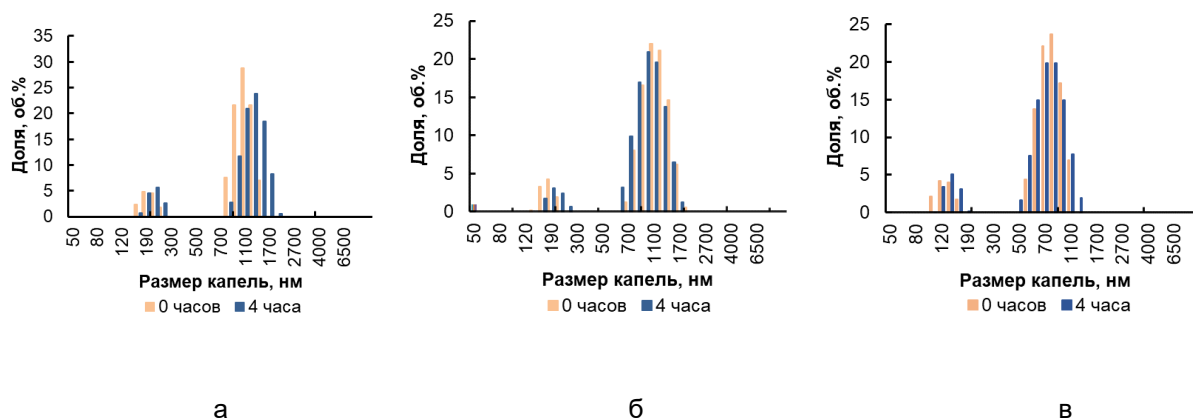


Рис. 1. Распределения по размерам капель дисперсной фазы в наноземulsionях а) без добавок; б) со стеаратом алюминия; в) со стеаратом иттрия.

Показано, что стеараты алюминия и иттрия способствуют уменьшению среднего размера капель в наноземulsionях на основе углеводородного масла, а также уменьшению скорости процесса коагуляции. Причем стеарат иттрия оказывает более существенное влияние на размер капель, чем стеарат алюминия.

#### Список литературы

1. Королева М. Ю., Юртов Е. В. Наноземulsionии: свойства, методы получения и перспективные области применения // Успехи химии. – 2012. – Т. 81. – №. 1. – С. 21-43.
2. Koroleva M., Nagovitsina T., Yurtov E. Nanoemulsions stabilized by non-ionic surfactants: stability and degradation mechanisms // Physical Chemistry Chemical Physics. — 2018. — Vol. 20. — P. 10369-10377.
3. Koroleva M.Y., Nagovitsina T.Y., Bydanov D.A., Gorbachevski O.S. Nano- and microcapsules as drug-delivery systems // Resource-Efficient Technologies. — 2016. — Vol. 2. — P. 233-239.
4. Широких А. Д., Королёва М. Ю., Юртов Е. В. Влияние стеарата алюминия на стабильность наноземulsionий на основе углеводородного масла с Tween 60 и Span 60 // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. – 2020. – Т. 34. – С. 115-117.

Горелков Олег Павлович, студент  
E-mail: oleg.gorelkov@gmail.com



**МОЖНО ЛИ ПРЕВЗОЙТИ ПРИРОДУ? (НА ПРИМЕРЕ ГЕККОН - АДГЕЗИИ)**

Ю.М. Евдокимов<sup>1</sup>, О.Л. Фиговский<sup>2</sup>

1) Академия ГПС МЧС, Москва, [evdokur@mail.ru](mailto:evdokur@mail.ru)

2) INRC Polymate, Israil, [figovsky@version.net](mailto:figovsky@version.net)

В основе эффекта сцепления лапок геккона (*Gekko gekko*) с гладкими вертикальными поверхностями лежит механизм так называемой сухой адгезии. Секрет этой ‘цепколапкости’ в том, что на лапках геккона имеется огромное количество щетинок - лопаточек микро- и наноразмеров. При их контакте с различными поверхностями возникают межмолекулярные взаимодействия (силы Ван-дер-Ваальса), приводящие к сцеплению (данные K. Autumn, A. Peattie, T. Higham, A. Russel, E. Lepore, N. Pugno, S.Gorb, D.Muney, K. Novoselov, A.Geim, et al.). Но этого не всегда достаточно для удержания гекконов ряда видов массой 50 грамм и более, когда они “висят” на одной лапке, прицепившись к гладкой поверхности стекла, к примеру. Объяснение подобных фактов потребовало учета электрической составляющей и капиллярных сил (A. Penlidis, M. Sitti, M. Johnson, Ю. Евдокимов, H. Izadi, K. Steward et al.) в геккон - адгезии, так как избежать статической (контактной) электризации при передвижении, контакте (и нарушении его) лапок геккона с различными подложками-субстратами невозможно. Возникающий при этом эффект обратимой электроадгезии [1] вносит дополнительный вклад в прочность адгезионного контакта (сцепления лапок геккона с самыми различными подложками). Работа Косцова Э.Г. из ИА и Э СО РАН [2] с использованием сегнетоэлектрических пленок позволили создать обратимый электростатический “клей” с прочностью сцепления 100 МПа, с помощью которого не только геккона, но и десяток человек удержать можно. Конструкция такого слоистого клея металл (полупроводник) – сегнетоэлектрик - подвижный электрод уже находит использование в электронике. Твердые тела удерживаются за счет пондеромоторного давления ( $p$ ), создаваемого электростатическими силами, на площадь контакта. Это давление пропорционально диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика, которая может достигать нескольких тысяч, что приводит к высоким значениям  $p$ .

Учитывая, что прочность адгезионного геккон - контакта все-таки значительная, мы подумали – не входят ли в состав щетинок – лопаточек на лапках геккона какие-либо соединения с проявлением свойств сегнетоэлектриков. Щетинки-лопаточки состоят из кератина, в составе которого содержится немало белковых аминокислот (глицин, аланин, валин и другие), некоторые из которых проявляют сегнетоэлектрические и пьезоэлектрические свойства [3-4]. Возможно, это вносит свою лепту в достижение



высокой прочности адгезионного контакта (геккон - адгезии). Что касается вопроса в названии данной статьи, ответом будет “да”.

### Литература

Евдокимов Ю.М., Фиговский О.Ф., Кестельман В.Н. Электроадгезия-Итог (открытие, развитие, перспективы) // Сборник тезисов X ежегодной конференции Нанотехнологического общества России, М., 2019, С. 34-36.

Косцов Э.Г. Электронный ресурс; <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

Васильева Д.С. Сегнетоэлектрические и пьезоэлектрические свойства и фазовые превращения в кристаллах глицина // Дисс. канд. ф-м. наук, 2018, ФГОУВО “Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина”, Екатеринбург, 2018.

Леманов В.В. Сегнетоэлектрические и пьезоэлектрические свойства белковых аминокислот и их соединений // Физика твердого тела, 2012, Том 54, Выпуск 9, С. 1727-1728.

Евдокимов Юрий Михайлович, к.х.н., профессор  
E-mail: evdokur@mail.ru



**МЕХАНИЗМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ**

Е.В. Егоров<sup>1,2,3</sup>, В.К. Егоров<sup>1</sup>

- 1) *Институт проблем технологий микроэлектроники РАН, Черноголовка, egorov-iptm@mail.ru*
- 2) *Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязино*
- 3) *Финансовый университет при правительстве РФ, Москва*

Особенности явления полного внутреннего отражения (ПВО) [1] потоков оптического излучения на интерфейсе светопрозрачных диэлектрических материалов с различающимися коэффициентами преломления явились решающим фактором в выборе направления развития оптических волноводных структур [2]. В рамках этого явления за основу механизма распространения оптических потоков в планарных и круглых световодных структурах – фиберах была принята модель многократного последовательного полного внутреннего отражения, обычно визуально представляемая в качестве зигзагообразной схемы распространения однородной плоской оптической волны, отражающей сфазированность последовательных отражений [3 - 5]. Пример такой схемы для плоского симметричного оптического волновода представлен на рисунке 1 [3].

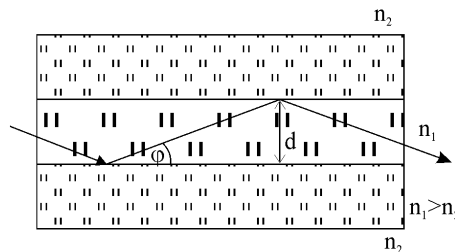


Рисунок 1. Схема общепринятого представления распространения однородной плоской оптической волны в форме ее зигзагообразного движения в симметричном планарном оптическом волноводе [3].

Такая схема предполагает наличия модовой структуры распространяющегося потока, соответствующей сфазированности отражений потоков, попадающих в световодный слой под разными углами  $\theta_i$ , имеющими название «магических». Собственные моды определяются собственными значениями характеристического уравнения симметричного оптического волновода [3]:

$$\frac{4\pi d}{\lambda_0} \sin \theta_i + 2\delta = -2m\pi \tag{1}$$



где  $\lambda_0$  – длина волны излучения,  $d$  – ширина световодного канала, а  $m$  – набор целых чисел, определяющих номер моды. Однако, используемый в работах [3-5] и ряде других источников подход не учитывает квазимонохроматичности оптических потоков, генерируемых любыми радиационными источниками (т. е. наличием средней длины волны  $\lambda_0$ , степени монохроматичности  $\Delta\lambda$  и длина когерентности  $L=\lambda_0^2/\Delta\lambda$ ) [6], а также возникновение интерференционного поля стоячей оптической волны вследствие взаимодействия падающего и отраженного потоков [7]. Учитывая квазимонохроматичность оптического потока можно оценить транспортную эффективность механизма многократного последовательного ПВО. Симметричный планарный оптический волновод способен захватывать световой поток в угловой апертуре, соответствующей двойному критическому углу ПВО, который обычно близок к  $90^\circ$ . Учет квазимонохроматичности излучения показывает, что сфазированность отражений для каждой моды сохраняется в угловом интервале  $\Delta\varphi_i$ :

$$\Delta\varphi_i = \Delta\lambda \cos\varphi_i / \lambda_0 \sin\varphi_i \quad (2)$$

Поскольку число возможных мод обычно не превышает 10, а соотношение  $\Delta\lambda/\lambda_0$  для лазерного излучения близко к величине  $10^{-7}$ , значение транспортной эффективности механизма последовательного ПВО оказывается ничтожным.

В то же время учет появления при отражении интерференционного поля стоячей оптической волны позволяет предположить возможность реализации, помимо механизма многократного ПВО, альтернативного способа распространения света в плоском симметричном оптическом волноводе, определяемого соотношением между шириной световодного слоя и поперечным размером области интерференции, как это показано на рисунке 2. Величина поперечного размера локальной интерференционной области, оцениваемая на основании принципа пространственной когерентности [8], составляет половину длины когерентности транспортируемого излучения ( $h=L/2=\lambda_0^2/2\Delta\lambda$ ). Для случая  $d>h$  реализуется механизм многократного ПВО. В альтернативном случае ( $d<h$ ) локальные интерференционные области сливаются, формируя однородное поле стоячей оптической волны. В этом случае понятия модовой структуры и «магических» углов теряют смысл, поскольку образование однородного интерференционного поля не зависит от угла падения оптического потока. Образование такого поля, как и в случае возникновения однородного интерференционного поля стоячей рентгеновской волны [9], приводит к смене механизма транспортировки радиационного потока, названного волноводно-резонансным распространением излучения или механизма радиационной



сверхтекучести. В этом случае эффективность транспортировки  $\eta$  определяется только коэффициентами поглощения оптического излучения материалами обкладок  $\mu_2$  и светопроводящего слоя  $\mu_1$ :

$$\eta(x) = W(x)/W_0 = \exp(-x[\alpha\mu_1 + \beta\mu_2]) \quad (3)$$

где  $W_0$  и  $W(x)$  – интенсивность исходного потока и его значения на расстоянии  $x$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты распределения потока между обкладками и световодным слоем ( $\alpha + \beta = 1$ ). Поскольку коэффициенты поглощения светопрозрачных материалов ничтожно малы, эффективность транспортировки света оказывается близкой к единице, что и обеспечивает выгодную светопроводимость оптических волокон. При этом существенно заметить, что ширина световодной сердцевины оптических световодов-волокон составляет доли миллиметра, а длина когерентности излучения современных лазеров составляет десятки и сотни метров.

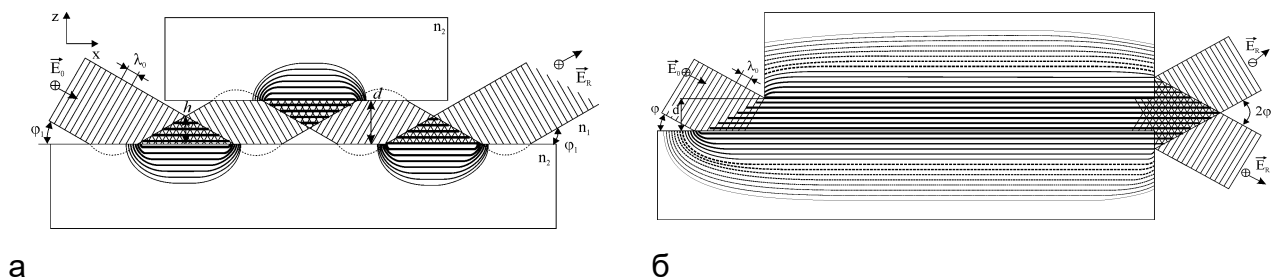


Рисунок 2. Схемы распространения потока квазимонохроматического оптического излучения в соответствии с механизмом многократного ПВО при  $d > h$  (а) и его течения в световодном канале в условиях волноводно-резонансной транспортировки потока при  $d < h$  (б).

### Литература

1. N.J. Harrik, Internal reflection spectroscopy, New York: Wiley and sons, 1967, 324 p.
2. N.S. Kapany, Fiber optics principles and application. New York: Academic Press, 1967, 458 p.
3. N.G. Unger, Planar optical waveguides and fiber, Oxford: Clarendon Press, 1977, 648 p.
4. A.W. Snyder, J.D. Love, Optical waveguide theory, London: Champan and Hall Press, 1983, 652 p.



5. S. Kumar, M.J. Deen, Fiber optics communication, fundamentals and application, Chichester: Wiley, 2014, 573 p.
6. M. Born, E. Wolf, Principles of optics, electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction light, Oxford: Pergamon Press, 1993, 808 p.
7. O. Wiener // Wied. Ann., V. 40, 203 (1890).
8. L. Mandel, E. Wolf, Optical coherence and quantum optics, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995, 631 p.
9. V.K. Egorov, E.V. Egorov // Trends in Appl. Spectr., V. 8, 67 (2010).

Егоров Владимир Константинович, к.ф.м.н.  
E-mail: egorov-iptm@mail.ru



**СИНТЕЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА СМЕСЬ КОМПОНЕНТОВ**

Е.А. Зайцева<sup>1</sup>, И.С. Цебрук<sup>2</sup>, Н.В. Классен<sup>2</sup>, П.В. Провоторов<sup>2,3</sup>

1) ГБОУ МО «Сергиево-Посадский физ-мат лицей», Сергиев Посад

2) Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)

3) НИУ Московский физико-технический институт, Долгопрудный  
[provotorov.pv@phystech.edu](mailto:provotorov.pv@phystech.edu)

Кристаллический карбид кремния с точки зрения практических применений является многофункциональным материалом. Благодаря его высокой твердости широко используются карбидокремниевые шлифовальные порошки. Уникальное сочетание близких к рекордным механических свойств с отличными жаропрочностью и химической стойкостью обеспечивает карбидокремниевой керамике эффективные применения в многообразных устройствах, работающих в экстремальных условиях высоких температур, интенсивного трения и химически агрессивных сред. С другой стороны, особенности электронных и оптических свойств химически чистого карбида кремния вызывают в последние десятилетия активное нарастание интереса к его использованию в оптике и электронике. Не так давно выяснилась опасность для здоровья наночастиц оксида титана, который из-за его хорошей оптической прозрачности и высокого показателя преломления широко применялся в различного рода косметических кремах и мазях. Это потребовало поиска альтернативных наноразмерных материалов и в числе кандидатов на замену оказался и карбид кремния, так как по оптическим свойствам он близок к оксиду титана, но карбидокремниевые наночастицы для человеческого организма безвредны. С другой стороны, разработка технологий формирования кристаллов карбида кремния встречает серьезные трудности, которые отчасти связаны с невозможностью выращивания таких кристаллов из расплава, так как при нагреве карбид кремния разлагается на испаряющиеся исходные компоненты. Это – одна из причин отсутствия к настоящему моменту достаточно экономичных технологий производства высококачественного карбида кремния для электронных и других востребованных применений. Такой карбид кремния наиболее успешно выращивается из газовой фазы при высокой температуре. В данной работе исследуется модифицирование этой методики с помощью нанотехнологий, когда исходные компоненты испаряются не нагревом до высокой температуры (порядка 2000°С), а воздействиями электрических разрядов. Применялось несколько видов электрических воздействий: искровой разряд от школьной электрофорной машины, комбинированный дуго-искровой разряд от бытового электрошокера, импульсный разряд электрического конденсатора большой емкости (30 мкф), заряженного до 1,5 – 2 киловольт, через смесь



порошков кремния и графита. Воздействия электрофорной машиной и разрядом конденсатора были импульсными с длительностью разряда менее десятой доли секунды, в то время как воздействие электрошокера продолжалось несколько десятков секунд. При этом производилась видеозапись процесса воздействия на порошки. Исходные порошинки имели разброс размеров от 10 до 200 микрон. В результате выделяются два главных результата: измельчение исходных порошинок и появление некоторого количества оптически прозрачных частиц. Их изучение в поляризационно-оптическом микроскопе выявило их существенную оптическую анизотропию (разница между показателями преломления для двух взаимно перпендикулярных поляризаций составляла величину порядка 0,05 и более). Рентгеноспектральный анализ в сканирующем электронном микроскопе выявил образование соединений кремния и углерода. Совокупность результатов оптической и электронной микроскопий позволяет заключить, что при описанных выше электрических воздействиях на смеси микропорошков кремния и углерода происходит формирование нано- и микро-кристаллов карбида кремния. Известно несколько кристаллических форм карбида кремния от кубической до гексагональной с промежуточными политипными фазами между ними. В будущем планируется изучить зависимость типов формируемых кристаллов от условий их формирования.

Зайцева Екатерина Алексеевна, учащаяся Сергиво-Посадского физмат лицея  
E-mail: kate3110z@gmail.com



## ТРОЙНЫЕ СИСТЕМЫ БРОМИДОВ CSBR-CUBR-INBR3 И CSBR-AGBR-INBR3

Р.Х. Камилов<sup>1</sup>, А.В. Григорьева<sup>1</sup>

1) *Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, rustamk-99@mail.ru*

2) *Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, anastasia.grigorieva@gmail.com*

Металлогалогенидные перовскитные фотовольтаические системы вызывают широкий интерес у научного сообщества и представителей индустрии в последнее десятилетие. Данный интерес проявляется в быстром росте КПД фотовольтаических устройств, значение которого в настоящее время превысило 25%. Однако, наиболее эффективные перовскитные солнечные элементы на основе сложных иодидов свинца имеют низкую фотостабильность, и токсичны из-за свинца. Это рассматривается как один из основных лимитирующих факторов, препятствующих коммерциализации данного типа устройств.

Одним из направлений исследований по решению проблемы токсичности свинца являются галогенидные двойные перовскитные структуры  $A_2BIBIIX_6$ , образованной заменой двух ионов  $Pb^{2+}$  парой нетоксичных гетеровалентных (одновалентного и трехвалентного) катионов металлов, которая обеспечивает гибкость для различных корректировок состава. Подобные составы являются многообещающей альтернативой для реализации высокопроизводительных, бессвинцовых и стабильных перовскитных солнечных элементов.

Целью данной работы было изучение фазовых равновесий в тройных системах CsBr-CuBr-InBr<sub>3</sub> и CsBr-AgBr-InBr<sub>3</sub>. Данный вопрос актуален как в связи с поисковыми исследованиями новых составов для перовскитной солнечной энергетики, так и с фундаментальной точки зрения. В изученных тройных системах допускается существование фаз двойных перовскитов следующих составов: Cs<sub>2</sub>CuInBr<sub>6</sub> и Cs<sub>2</sub>AgInBr<sub>6</sub>. Согласно литературным источникам, величины запрещенных зон данных фаз составляют 0,11 эВ и 1,3 - 1,9 эВ соответственно. В то же время, на настоящий момент в литературе отсутствуют сведения о возможности твердофазного синтеза данных составов.

В качестве основного подхода в синтезе составов двойных перовскитов, бинарных бромидов, а также изучения различных бинарных разрезов в составе указанных тройных систем, применялся твердофазный и гетерофазный ампульный синтез.



Проведен ампульный синтез бинарных образцов  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{Cs}_2\text{CuBr}_3$  в системе  $\text{CsBr-CuBr}$  в диапазоне температур 260-350°C. Уточнены условия формирования указанных фаз бромкупратов(I) цезия по сравнению с опубликованными ранее.

Авторами предпринята попытка направленного синтеза двойного перовскита  $\text{Cs}_2\text{CuInBr}_6$ , предсказанного ранее, из простых бромидов  $\text{CsBr}$ ,  $\text{CuBr}$  и  $\text{InBr}_3$ . Формирование данной фазы теоретически предсказано для тройной системы  $\text{CsBr-CuBr-InBr}_3$ . Температура синтеза варьировалась в диапазоне значений 140 – 350°C, длительность отжига 4 ч – 5 суток.

Проведен гетерофазный синтез фазы  $\text{Cs}_2\text{AgInBr}_6$  в диапазоне температур отжига 150 - 350°C. Показано, что фазовый состав образцов достаточно сложен. При этом, на рентгенограммах присутствуют рефлексы фаз  $\text{AgBr}$ ,  $\text{CsAgBr}_2$  и  $\text{InBr}_3$ , а также рефлексы, не принадлежащие известным простым и бинарным бромидам в тройной системе  $\text{CsBr-AgBr-InBr}_3$ . Согласно данным рентгенофазового анализа, варьирование условий синтеза не привело к формированию образца с преобладанием фазы описанного двойного перовскита. Окраска также образцов также отличалась от описанной в литературе для фазы  $\text{Cs}_2\text{AgInBr}_6$ .

Исследование фазовых равновесий в тройных системах  $\text{CsBr-CuBr-InBr}_3$  и  $\text{CsBr-AgBr-InBr}_3$  показало преимущественную стабильность ряда бинарных бромидов, образующих квазибинарные разрезы. Данный результат определяет наборы продуктов распада любых метастабильных фаз тройных бромидов, способных

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (грант 19-03-00849\19) и гранта Президента РФ (грант НШ-2726.2020.3)

Камилов Рустам Хуршедович, аспирант 3 г.о ФНМ МГУ  
E-mail: rustamk-99@mail.ru



**ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУР В СИСТЕМЕ  
БРОМИД ЛАНТАНА – ВОДА – ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ**

Н.В. Классен, С.А. Винокуров, А.Д. Орлов, А.П. Покидов

*Институт физики твердого тела Российской академии наук, Черноголовка*

Монокристаллический бромид лантана хорошо известен среди специалистов по ядерной физике и радиационной технике как один из лучших сцинтилляционных материалов для регистрации ионизирующих излучений. Он выгодно отличается от множества других сцинтилляторов уникальным сочетанием высокой чувствительности с отличным энергетическим разрешением. Это качество бромида лантана находит несколько важных применений при гамма-спектральном анализе химического состава различных материалов и в ряде других методик. С другой стороны, на данный момент бромид лантана – один из самых дорогих монокристаллов, востребованных техникой. Это в первую очередь определяется его уникально высокой хрупкостью, за счет чего изготовление радиационных детекторов из бромида лантана сопряжено с большой вероятностью разрушения как в процессе выращивания кристаллов, так и при их обработке. Мы предполагаем, что высокая хрупкость и отличное энергетическое разрешение бромида лантана – взаимосвязанные явления. Для хорошего энергетического разрешения при гамма-спектроскопии от кристалла требуется высокая степень структурной однородности, т.к. именно в этом случае разные области кристалла выдают одинаковые световые сигналы при поглощении в них гамма-квантов. Если структурные характеристики локальных областей кристалла заметно различаются, это приводит к расхождению световых откликов и, соответственно, уширению спектров распределения энергии гамма-квантов. С другой стороны, структурные неоднородности сопряжены с внутренними упругими напряжениями, которые способны привести к разрушению кристалла. В случае хрупкого кристалла для его разрушения достаточно сравнительно небольшого уровня внутренних напряжений. Отсюда следует, что в бромиде лантана может действовать как бы собственная система контроля структурных неоднородностей и если эти неоднородности превосходят допустимый уровень, кристалл разрушается. В других типах сцинтилляторов такого саморазрушения не наблюдается, что, с одной стороны, упрощает процедуру их производства, но, с другой стороны, ухудшает качество энергетического разрешения.

В целях улучшения технологического выхода качественных кристаллов бромида лантана мы изучаем влияние электрического поля на его поведение. Это обусловлено тем,



что за счет большой величины электрического заряда ионов лантана даже относительно небольшое изменение стехиометрического баланса между иона лантана и брома способно создать сильные внутренние электрические поля, которые в итоге могут создать опасный уровень структурных неоднородностей. Так как бромид лантана отличается высокой гигроскопичностью (одна его молекула способна принять на себя семь молекул воды), то первая фаза экспериментов была проведена на системе бромид лантана – вода – электрическое поле. В них было обнаружено несколько новых фактов относительно формирования наноразмерных структурных неоднородностей. Внешнее электрическое поле сравнительно малой величины (не более 100в/см) способно сформировать в этих кристаллах протяженные сверхструктуры из параллельных пластинчатых неоднородностей. Эти структуры вызывают сильную анизотропию химических свойств (в частности, сильную зависимость скорости растворения кристаллов в воде), а также анизотропию механической прочности. Эта анизотропия обуславливает необходимость аккуратного выбора направлений механической обработки кристаллов. Это обстоятельство ранее было замечено и учтено при обработке монокристаллов вольфрамата свинца, разработанных в ИФТТ РАН для суперколлайдера в Европейском ядерном центре. Кроме того, поля указанной выше величины заметно изменяют равновесие системы бромид лантана – вода. В частности, приложение электрического поля к водному раствору бромида лантана вызывает быстрый самопроизвольный рост игольчатых монокристаллов. Такие особенности поведения бромида лантана создают интересные перспективы для совершенствования технологии производства этих сцинтилляторов.

Классен Николай Владимирович, Ведущий научный сотрудник ИФТТ РАН  
E-mail: [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)



**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ИОДИДОВ  $CS_2SnI_6$  –  $SnI_4$  –  $MI_3$  ( $M = Ga, In$ ) ДЛЯ ФОТОВОЛЬТАИКИ**

Ш.Т. Умедов<sup>1</sup>, А.В. Григорьева<sup>1,2</sup>, А.В. Кнотько<sup>1,2</sup>

- 1) *Факультет наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, shodruz.95@bk.ru*
- 2) *Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, anastasia.grigorieva@gmail.com*

Светопоглощающие материалы на основе бессвинцовых производных галогенидов привлекли большое внимание в качестве альтернатив для решения проблем токсичности и стабильности солнечных элементов на основе галогенидов свинца. Будучи изоэлектронным по отношению к Pb, галогенидные структуры на основе олова ( $ASn[I/Br]_3$ , где A – неорганический или органический катион с зарядом +) широко исследуются как наиболее многообещающие бессвинцовые галогенидные структуры для фотоэлектрических применений из-за их благоприятных оптоэлектронных свойств и малотоксичности. Однако химическая нестабильность  $Sn^{+2}$  приводит к быстрой деградации и плохой стабильности солнечного устройства на его основе в условиях окружающей среды. В связи с этим в настоящее время галогенопроизводные  $Cs_2SnI_6$  привлекают внимание благодаря оптимальной ширине запрещенной зоны (1,2~1,6 эВ) и оптоэлектронным свойствам. Поскольку атом Sn в  $Cs_2SnI_6$  имеет стабильную степень окисления +4 – это отличная альтернатива для решения проблемы токсичности и стабильности  $Pb^{+2}$  и  $Sn^{+2}$ .

На данный момент активно изучаются пути улучшения транспортных и оптических характеристик фазы  $Cs_2SnI_6$  путем легирования через замещение атомов олова(IV) другими металлами. Ранее были опубликованы работы где рассматривались частичное замещение  $Sn^{4+}$  на  $Te^{4+}$  или полное замещение на две группы атомов металла с зарядами  $V^{+}$  и  $VI^{+}$  так чтобы суммарный заряд был  $4^{+}$ . Общая формула таких соединений  $A_2V^{+}VI^{+}X_6$  (где  $V^{+}=Ag^{+}, In^{+}, Cu^{+}, Na^{+}$  а  $VI^{+}=Bi^{3+}, In^{3+}, Sb^{3+}$ ). Так же исследовался варьирование содержания аниона галогена ( $Cl^{-}, Br^{-}, I^{-}$ ), однако не было исследовано замещение атомов олова атомами трехвалентного металла ( $Ga^{3+}, In^{3+}, Tl^{3+}, Sb^{3+}, Bi^{3+}$ ), что является вполне возможным. Легирование трехвалентным металлом приводит к образованию вакансий и увеличивает концентрацию носителей заряда. В связи с этим, целью данной работы является исследование замещения атомов олова атомами трехвалентного индия ( $In^{3+}$ ) и галлия ( $Ga^{3+}$ ) в решетке  $Cs_2SnI_6$  и синтез твердых растворов, которые могут быть хорошими аналогами светопреобразующих или электрон-проводящих (n-полупроводники) материалов для солнечных ячеек перовскитного типа.



В этой работе мы исследовали эффект легирования  $\text{Cs}_2\text{SnI}_6$  путем замещения  $\text{Sn}^{4+}$  гетеровалентными катионами  $\text{In}^{3+}$  и  $\text{Ga}^{3+}$  на микроструктуру и оптоэлектронные свойства материалов. В работе исследовано формирование твердых растворов общего состава  $\text{Cs}_{2-x}\text{Sn}_{1-x}\text{M}_x\text{I}_{6-2x}$  ( $\text{M}=\text{In}, \text{Ga}$  а  $x=0-1$ ) в тройной системе иодидов  $\text{SnI}_4\text{-CsI-MI}_3$  ( $\text{M}=\text{In}, \text{Ga}$ ). Рассмотрена стабильность бинарных разрезов  $\text{Cs}_2\text{SnI}_6 - \text{CsMI}_4$ . Методом мессбауэровской спектроскопии уточнено локальное окружение  $\text{Sn(IV)}$  и  $\text{Sn(II)}$  в образцах. Установлены границы формирования твердых растворов. Исследованы оптоэлектронные свойства материалов и оценены величины запрещенной зоны.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант # 19-03-0849).

Умедов Шодруз Турабекович, аспирант  
E-mail: shodruz.95@bk.ru



**ОСОБЕННОСТИ НАНОСТРУКТУР ОРГАНИКА - НЕОРГАНИКА,  
СФОРМИРОВАННЫХ С УЧАСТИЕМ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ХИМИИ**

И.С. Цебрук, С.А. Винокуров, Н.В. Классен, , Е.Л. Колыванов, А.П. Покидов

*Институт физики твердого тела Российской академии наук, Черноголовка*

На прошлогодней конференции НОР мы докладывали об особенностях наноструктур, образуемых в композициях из органических и неорганических материалов динамическим деформированием. Использовалось два его вида: шариковая обкатка поверхности твердого тела с нанесенным на нее тонким слоем инородного вещества и вытягивание микроволокон из раствора полистирола с введенными туда наночастицами. В обоих случаях возникали квазипериодические сверхструктуры из компонентов основной матрицы и вводимых в нее веществ. В качестве механизма их формирования предполагалась самоорганизация композиций, индуцированных о сильным динамическим отклонением системы от равновесия. За прошедший год нами сделаны дополнительные эксперименты по тем же методикам, давшие новые факты для более детальной трактовки обнаруженных явлений. Главное в этой детализации - деформационное индуцирование химических реакций между взаимодействующими в этих процессах материалами. Такое взаимодействие способствует автокаталитическому ускорению локальных структурных превращений, обеспечивающих за счет своего существенно нелинейного развития возникновение периодических сверхструктур.

Первый экспериментальный факт – образование наноканалов в композиционных микроволокнах, вытягиваемых из раствора полистирола в бензоле с введенными в него наночастицами иодида цезия. При достаточно быстром вытягивании микроструи раствора она ускоренно отверждается с формированием микроволокна. На боковых поверхностях таких волокон электронной микроскопией обнаруживается большое количество наноскопических каналов, уходящих в глубину волокна. При вытягивании из раствора без наночастиц такие микроканалы не наблюдались. Отсюда следует, что они сформированы струями какого-то газа, образуемого при взаимодействии раствора полистирола с наночастицами иодида цезия. Появление такого взаимодействия только в вытягиваемом волокне и отсутствие его в «спокойном» объеме исходного раствора можно объяснить сокращением объема вытягиваемой микроструи при ускоренном затвердевании, что вызывает внутреннюю деформацию, индуцирующую химическую реакцию между атомами наночастицы и прижимаемыми к ней молекулами полистирола.

Похожие по форме, но более крупные поры обнаруживаются на поверхностях дисков из стали, меди и латуни, на которые наносился тонкий слой углеводорода (вазелинового масла), после чего они обкатывались с высокой скоростью. Эти поры формируют ряды, коррелирующие с движениями шарика. Отсюда следует, что



деформация металла вызвала химическую реакцию между молекулами масла и атомами металла. Например, соединение атомов металла с углеродом из этих молекул вызывает выделение из разложенных молекул масла свободного водорода, который сначала образует микропузырьки внутри металла, а затем вырывается на поверхность, образуя субмикронные поры.

Внедрение обкаткой полистирола в неорганические кристаллы иодида цезия, как и при вытягивании микроволокон с такими частицами, индуцирует химическую реакцию между органическими молекулами и атомами кристалла. В данном случае реакция, понижающая энергию системы, может привести к втягиванию полистирола в глубину кристалла в виде тонких микронитей, наблюдаемых оптической микроскопией. Похожие микронити наблюдаются при шариковой обкатке поверхности иодида цезия с нанесенным на нее тонким слоем микрочастиц углерода. Естественно предположить, что эти втягиваемые в глубину нити образованы соединениями углерода с компонентами иодида цезия.

При обкатке иодида цезия с углеродом или полистиролом внедряемое вещество образует периодическую сверхструктуру не непосредственно под обкатываемой поверхностью, а на заметном от нее расстоянии – на глубине в 200 – 300 микрон. Это явление также может быть объяснено автокаталитическим процессом преобразования приповерхностного слоя, приводящему к немонотонной пространственной зависимости динамики деформационного массопереноса.

При обкатывании композиций из микрокристаллов бромида лантана с обхватывающей его пленкой полистирола было обнаружено продолжение химической реакции и после прекращения обкатки. Такое деформационное последствие можно объяснить остаточными деформациями полистирола, обеспечивающими продолжение деформационно – химической реакции.

Цебрук Иван Сергеевич, Младший научный сотрудник ИФТТ РАН  
E-mail: cebruk@issp.ac.ru



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГРАФЕНА И БОРОФЕНА В  
РАЗЛИЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕДАХ**

А.В. Рябых<sup>1</sup>, О.А. Маслова<sup>2</sup>, С.А. Безносюк<sup>3</sup>

1) Алтайский государственный университет, Барнаул, ryabukh.642@gmail.com

2) Алтайский государственный университет, Барнаул, maslova\_o.a@mail.ru

3) Алтайский государственный университет, Барнаул, bsa1953@mail.ru

В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования процесса прохождения иона водорода  $H^+$  через монослои графена и борофена в рамках теории функционала плотности с использованием функционала BP86 и континуальной модели среды CPCM [1] с применением базисного набора def2-SVPD в программном комплексе ORCA [2].

Изучение протонной проницаемости 2D-материалов на основе графена и борофена является актуальной задачей, так как эти материалы могут использоваться в топливных элементах (например, водородно-кислородных) в качестве мембран и компонентов электродов, а также в качестве полупроницаемых мембран с высокой селективностью. Сейчас борофен и его модификации активно изучаются, поскольку считается, что такой материал превосходит графен по полезным характеристикам. Однако в то же время борофен сложнее в синтезе, чем графен.

Основной структурной единицей, которая переносит протон в растворе, является ион гидроксония  $H_3O^+$ . Поэтому компьютерная модель строилась следующим образом. Межъядерные расстояния C-C в графене 1,418 Å, а межъядерные расстояния B-B в борофене 1,672 Å. Полиморфная модификация борофена – графеноподобная [3]. Молекула воды, которая доставила протон к монослою (ион гидроксония), находится на расстоянии 3 Å. Другая молекула воды принимает протон также на расстоянии 3 Å. Тип поверхности полости – Gaussian VdW. Диэлектрическая постоянная задавалась значениями 3, 20, 40, 60 и 80,4 (чистая вода). Выбор таких значений постоянной был произвольным с намерением показать различный характер сред. При  $\epsilon \rightarrow 1$  среда неполярная, а при  $\epsilon \rightarrow 80,4$  среда полярная. При моделировании использовали алгоритм поправки атомной парной дисперсии на основе жестко связанных частичных зарядов D4 [4].



Кривые потенциальной энергии прохождения иона водорода через 2D-структуры представлены на рисунке.

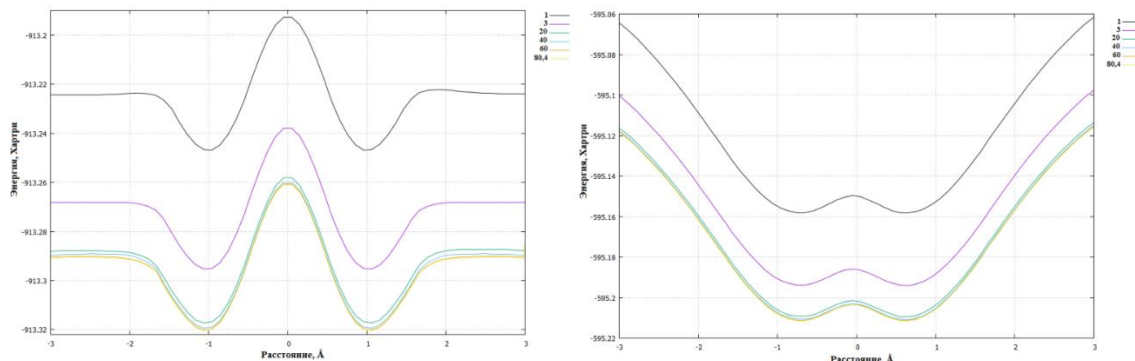


Рисунок. Кривые потенциальной энергии прохождения иона водорода через монослой графена (левая часть) и монослой борофена (правая часть) при различных значениях диэлектрической проницаемости. За 0 по оси абсцисс принято положение слоя

При анализе результатов компьютерного моделирования процесса прохождения протона через монослой графена и борофена установлено:

1. Графеноподобный борофен более проницаем для протона, чем графен, так как борофен имеет потенциал прохождения в 0,22 эВ, а графен – в 1,6 эВ.
2. Диэлектрическая проницаемость среды крайне незначительно влияет на пропускную способность графена и борофена.
3. Графеноподобный борофен более предпочтителен при производстве материалов, где важна высокая проницаемость и адсорбционная способность по отношению к иону водорода.

#### Библиографический список

1. Cossi M., Rega N., Scalmani G., et al. Energies, structures, and electronic properties of molecules in solution with the CPCM solvation model // Chem. Phys. 2003. V. 24. № 6. P. 669–681.
2. Neese F. Software update: the ORCA program system, version 4.0 // Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science. 2017. V. 8. P. 73-78.
3. Peng B., Zhang H., Shao H., Ning Z. Stability and strength of atomically thin borophene from first principles calculations // Materials Research Letters. 2017. V. 5. № 6. P. 399–407.
4. Caldeweyher E., Bannwarth C., Grimme S. Extension of the D3 dispersion coefficient model // J. Chem.Phys. 2017. Vol. 147. P. 034112.



## ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ НАНОЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ ОЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СМЕСЬЮ ПАВ- TWEEN 60 И SPAN 60

Е.Е. Тимофеева, А.С. Артамонов, Е.В. Мищенко, М.Ю. Королёва

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва,  
[timofeevaekk@mail.ru](mailto:timofeevaekk@mail.ru)

Наноэмульсии (НЭ) с размером капель дисперсной фазы 10-70 нм являются перспективными носителями для адресной доставки лекарственных средств (ЛС). Одним из важных условий для использования данных систем является их стабильность в течение длительного временного периода [1-3].

В данной работе синтез прямых НЭ проводили с помощью метода температурной инверсии фаз (ТИФ). В качестве дисперсной фазы НЭ была использована олеиновая кислота с концентрацией 25 об. %, дисперсионной среды – 0,9 мас. % раствор NaCl. Для стабилизации эмульсии использовали неионогенные поверхностно-активные вещества (ПАВ) - Tween 60 и Span 60, с суммарной концентрацией равной 12, 5 об. % от общего объема НЭ.

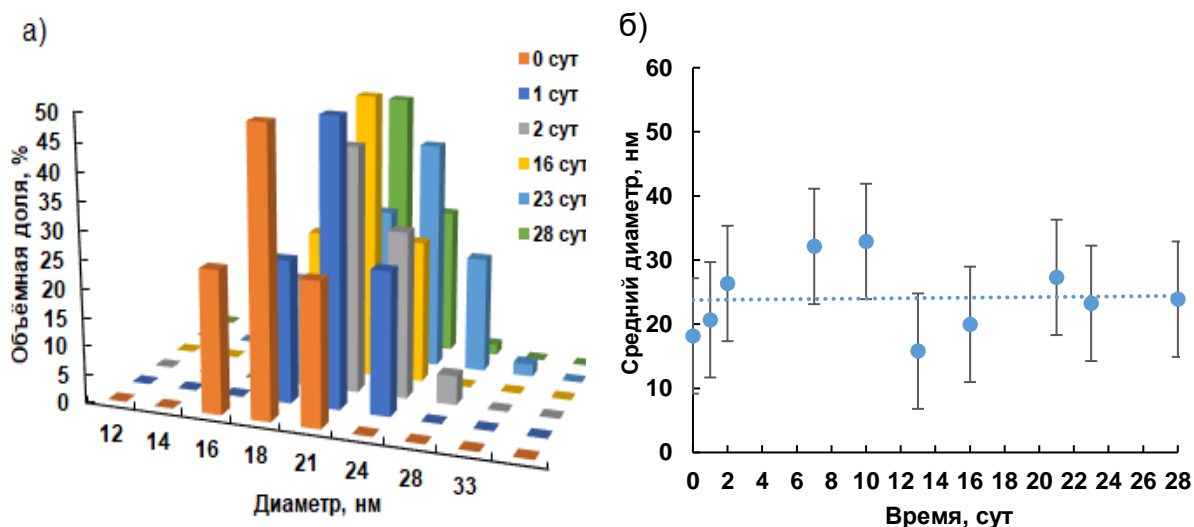


Рис. 1 а) Распределения по размерам капель дисперсной фазы в НЭ; б) Зависимость среднего размера капель в НЭ от времени.

Определение стабильности НЭ в течении времени было исследовано с помощью приборов Zeta SizerNano (Malvern) и Multiscan MS 20 (DataPhysics). Методом динамического светорассеяния было определено распределение по размерам НЭ (рис. 1а), а также получена зависимость размера капель в НЭ от времени (рис.1б). Сразу после получения в эмульсии преобладали капли размером  $18 \pm 2$  нм, на протяжении последующих 28 сут средний размер капель изменялся незначительно и составлял  $24 \pm 5$  нм. На рисунке 2 представлены зависимости пропускания и обратного светорассеяния в НЭ от времени.



Зависимости практически не изменялись с течением времени, что свидетельствует о стабильности НЭ.

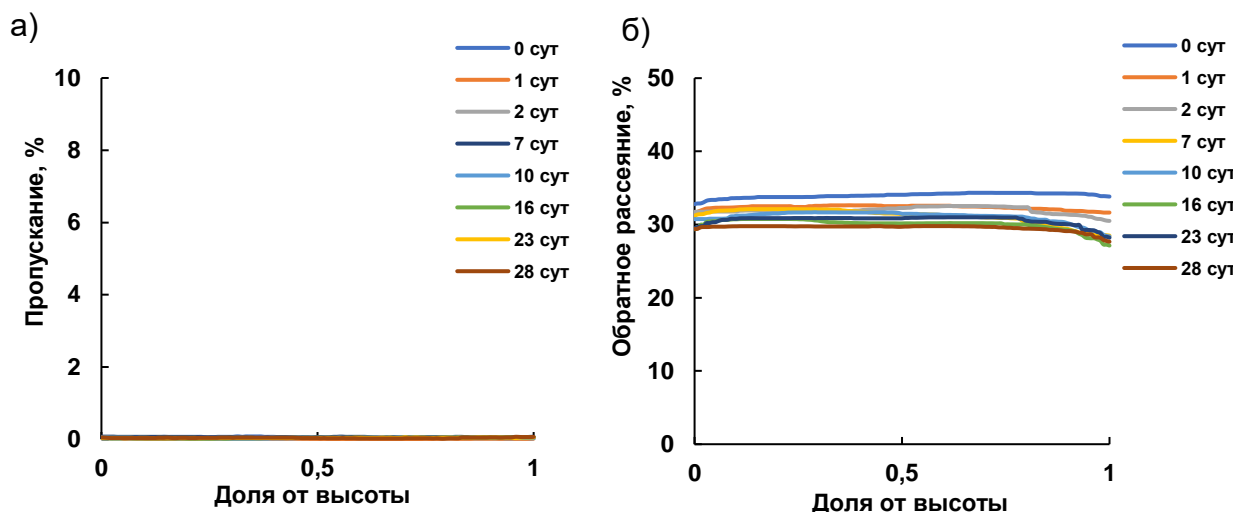


Рис. 2. Зависимости пропускания света (а) и обратного светорассеяния (б) в НЭ.

Таким образом, прямые НЭ, полученные методом ТИФ на основе олеиновой кислоты, были устойчивы более 28 сут, что позволяет рассматривать их дальнейшее применение в качестве систем адресной доставки лекарственных средств.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и МНТИ в рамках научного проекта № 19-53-06014.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королева М. Ю., Юртов Е. В. Наноэмульсии: свойства, методы получения и перспективные области применения // Успехи химии. – 2012. – Т. 81. – №. 1. – С. 21-43.
2. Koroleva M., Nagovitsina T., Yurtov E. Nanoemulsions stabilized by non-ionic surfactants: stability and degradation mechanisms // Physical Chemistry Chemical Physics, 2018. — Vol. 20. — P. 10369-10377.
3. Мищенко Е. В., Гилева А. М., Марквичева Е. А., Королёва М.Ю., Юртов Е.В. Исследование проникновения наноэмульсий в раковые клетки методом конфокальной микроскопии // Успехи в химии и химической технологии, 2018, Т. 32.

Тимофеева Екатерина Евгеньевна, бакалавр 4 года обучения.  
E-mail: timofeevaekk@mail.ru



## УСТОЙЧИВОСТЬ НАНОЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО МАСЛА СО СТЕАРАТОМ АЛЮМИНИЯ

А.Д. Широких, М.Ю. Королёва

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва,  
adshirokikh@gmail.com*

Наноэмульсии привлекают внимание исследователей в качестве носителей лекарственных препаратов. Их предлагают применять для трансдермального, парентерального, интраназального и др. способов введения благодаря более высокой скорости проникновения активных веществ по сравнению с другими способами доставки. Наноэмульсии представляют интерес в противоопухолевой терапии для адресной доставки лекарственных препаратов, в качестве носителей для вакцин и др. [1]. Для стабилизации наноэмульсий применяют неионогенные поверхностно-активные вещества (ПАВ) благодаря их низкой токсичности [2] и различные функциональные добавки [3, 4].

Важным критерием применимости наноэмульсий в медицине и фармакологии является их устойчивость. Целью данной работы являлось исследование седиментационной и агрегативной устойчивости наноэмульсий на основе углеводородного масла с добавкой стеарата алюминия. В качестве дисперсионной среды использовали физиологический раствор (0,9 мас.% NaCl), а для стабилизации наноэмульсий - смесь неионогенных ПАВ (Tween 80 и Span 80) и 0,4 мас.% стеарата алюминия. Наноэмульсии получали методом температурной инверсии фаз. Исследования устойчивости полученных систем осуществляли при температуре 25 и 4 °С.

Температура оказывала сильное влияние на кинетическую стабильность наноэмульсий. При 25 °С уже через 1,5 ч наблюдалось отслаивание водной фазы. Снижение температуры хранения до 4 °С способствовало увеличению кинетической стабильности до 4 ч. Это обусловлено снижением интенсивности броуновского движения капель и, как следствие, менее интенсивным протеканием процессов—коагуляции и оствальдова созревания.

Следует отметить, что несмотря на коагуляцию капель дисперсной фазы, наноэмульсии были устойчивы к коалесценции. На протяжении всего времени исследования в наноэмульсиях наблюдалось бимодальное распределение капель по размерам. С момента получения до окончания отслаивания водной фазы вне зависимости



от температуры хранения средние диаметры капель дисперсной фазы практически не изменялись и составляли  $205 \pm 20$  нм. При последующем редиспергировании через 2 сут наноэмульсии, из которых отслоилась большая часть водной фазы, восстанавливали свою структуру, и средний диаметр капель также сохранялся.

Таким образом, показано, что температура оказывает влияние на кинетическую стабильность наноэмульсий на основе углеводородного масла с добавкой 0,4 мас.% стеарата алюминия. При этом исследованные наноэмульсии были устойчивы к коалесценции. Несмотря на протекание коагуляции капель дисперсной фазы и последующей седиментации, средний размер капель масла оставался практически неизменным.

### Список литературы

1. Королева М. Ю., Юртов Е. В. Наноэмульсии: свойства, методы получения и перспективные области применения // Успехи химии. – 2012. – Т. 81. – №. 1. – С. 21-43.
2. Koroleva M., Nagovitsina T., Yurtov E. Nanoemulsions stabilized by non-ionic surfactants: stability and degradation mechanisms // Physical Chemistry Chemical Physics. — 2018. — Vol. 20. — P. 10369-10377.
3. Широких А. Д., Королёва М. Ю., Юртов Е. В. Влияние стеарата алюминия на стабильность наноэмульсий на основе углеводородного масла с Tween 60 и Span 60 // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. – Т. XXXIV. – С. 115-117.
4. Широких А.Д., Королёва М.Ю., Юртов Е.В. Влияние стеарата алюминия на устойчивость наноэмульсий на основе углеводородного масла // Сборник материалов VI междисциплинарного научного форума с международным участием "Новые материалы и перспективные технологии". – 2020. – Т.1. – С. 823-825.

Широких Анастасия Дмитриевна, аспирант  
E-mail: adshirokikh@gmail.com



**ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ  $Fe_3O_4$  НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАТНЫХ  
ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ЭМУЛЬСИЙ С МОНОМЕРАМИ В ДИСПЕРСИОННОЙ  
СРЕДЕ**

С.А. Широких, Е.О. Клевцова, М.Ю. Королёва

*РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, serega-teo@mail.ru*

Высокопористые полимерные материалы могут быть использованы в качестве сепараторов в литиево-ионных батареях, материалов для клеточной инженерии, сорбентов для очистки водных объектов. Перспективным методом получения таких материалов является полимеризация дисперсионной среды обратных высококонцентрированных эмульсий. Путем изменения состава фаз и параметров процесса полимеризации дисперсионной среды исходных эмульсий можно контролировать свойства получаемых высокопористых полимерных материалов [1].

Полимеризация дисперсионной среды обратных высококонцентрированных эмульсий часто проводится в условиях повышенной температуры. Поэтому для получения пористых полимерных материалов с заранее заданными свойствами полимеризацией дисперсионной среды обратных высококонцентрированных эмульсий необходимо обладать информацией об устойчивости к коалесценции таких эмульсий при температуре полимеризации. Для улучшения свойств получаемых полимерных материалов на их основе можно создать композиционный пористый материал с магнитными наночастицами в качестве наполнителя [2].

Целью данной работы было изучение влияния размера наночастиц  $Fe_3O_4$  на устойчивость к коалесценции обратных высококонцентрированных эмульсий, содержащих стирол и дивинилбензол в дисперсионной среде в объемном соотношении 9:1. В качестве дисперсной фазы полученных эмульсий использовали бидистиллированную воду, доля дисперсной фазы составляла 0,95. Эмульсии стабилизировали с помощью сорбитанмоноолета с концентрацией 0,5 об.% от общего объема эмульсии. Наночастицы  $Fe_3O_4$  с концентрацией 10 мас.% от массы сомономеров со средним размером  $10 \pm 1$ ,  $40 \pm 5$  и  $100 \pm 10$  нм добавляли в органическую фазу перед получением эмульсий.

Об устойчивости полученных эмульсий к коалесценции судили по доле отслоившейся водной фазы при  $65^\circ C$  (температуре полимеризации дисперсионной среды эмульсий). На рис. 1 показаны кинетические кривые отслаивания водной фазы из обратных



высококонтрированных эмульсий, содержащих 10 мас.% наночастиц магнетита разного размера.

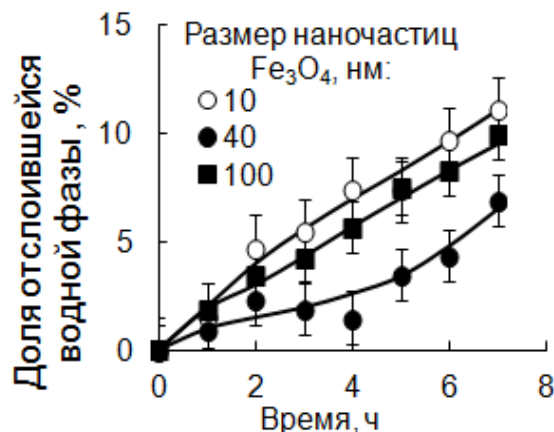


Рис. 1. Зависимость отслоившейся водной фазы от времени при 65 °C из эмульсий, содержащих наночастицы Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> разного размера

Эмульсии с наночастицами Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> размером 40 нм были более устойчивы к коалесценции при 65 °C по сравнению с эмульсиями с наночастицами размером 10 нм. Это происходило из-за того, что энергия десорбции более мелких частиц с межфазной поверхности ниже, поэтому наночастицы размером 10 нм хуже стабилизировали исходные эмульсии. С наночастицами Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> размером 100 нм эмульсии также получились менее устойчивыми, чем с наночастицами размером 40 нм. Наиболее вероятно, это происходило из-за того, что размер таких частиц был сопоставим с толщиной пленок дисперсионной среды, и при агрегировании наночастиц в наиболее тонких местах пленка могла прорываться, что приводило к коалесценции капель дисперсной фазы.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-03-00397).

### Список литературы

1. Королёва М.Ю., Щербаков В. А., Хасанова Л. Х., Ракитин А.И., Широких С.А., Юртов Е.В. // Коллоидный журнал. — 2018. — Т. 80, № 3. — С. 290-299.
2. Koroleva M.Y., Shirokikh S.A., Zagoskin P.S., Yurtov E.V. // Polymer Testing. – 2019. – Vol. 77 – P. 105931.

Широких Сергей Александрович, аспирант  
E-mail: serega-teo@mail.ru



# Нанобиотехнологии



**УГЛЕРОДНЫЕ НАНО- И МИКРОСТРУКТУРЫ: ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ В  
РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, ВКЛЮЧАЯ ОРГАНИЧЕСКИЕ**

Ю.П. Бузулуков Ю.П., А.А. Анциферова

*Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский институт»*

В настоящее время в мире производятся тысячи тонн углеродных нано- и микроструктур (УС). В основном, это фуллерены (~1500 т/год), одностенные УНТ и МУНТ (> 500 т/год), углеродные волокна, графен, наноалмазы....

Чаще всего УС используются в виде водных или иных суспензиях, в виде армирующих материалов в пластмассах или иных твёрдых средах. В то же время обнаружение, детектирование и количественные измерения концентрации УС (в первую очередь углеродных нанотрубок) в различных средах является непростой задачей. Особенно это касается измерений концентрации УС в матрицах, содержащих углерод – например, пластмассы, биологические структуры и их отходы, в связи с тем, что традиционные методы элементного анализа не могут выделить УС на фоне углерода в составе биологической или иной углеродосодержащей матрицы. В представленном докладе кратко рассмотрены достоинства и недостатки существующих методов детектирования и количественных измерений УС. Рассмотрены предложенные и запатентованные авторами методики детектирования и количественных измерений УС на основе использования естественных меток-маркеров и на основе введения в УС радиоактивной метки. Эти методики обладают высокой универсальностью и позволяют проводить количественные измерения массы/концентрации УС в образцах жидкой, газообразной и твердой среды (в том числе и органической) со значительно меньшими затратами чем для существующие методов и с высокой чувствительностью.

Приведены результаты нескольких экспериментальных работ проведенных с использованием авторских методик.

Бузулуков Юрий Петрович, к.б.н.  
E-mail: buzulukov@inbox.ru



**ОБ ЭКОНОМИКЕ ЭКОЛОГИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

В.В. Великанов<sup>1</sup>, А.Д. Охапкин<sup>1</sup>, Н.В. Классен<sup>2</sup>

1) *МОУ школа № 82, Черноголовка*

2) *Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка*

Год назад на 11-й конференции НОР мы докладывали о возможности замены экологически опасного производства целлюлозы путем вываривания древесной пульпы в токсичных растворах серной кислоты или щелока. Такая замена становится все более актуальной из-за растущих мировых потребностей в целлюлозе и, с другой стороны, обостряющейся необходимостью существенного улучшения экологической ситуации на нашей планете. Обычно борьба за повышение экологичности того или иного производства сопряжена с ухудшением его экономических характеристик из-за необходимости дополнительных затрат на устранение вредных воздействий этого производства на окружающую среду. Но в данном случае перевода производства целлюлозы на комбинированную электрическую и световую обработку водной пульпы с мелкодисперсными отходами деревообработки (стружками и опилками) мы сопоставительным анализом экономик традиционной технологии и предлагаемой нами приходим к заключению, что такая замена одновременно даст и экологические, и экономические выгоды. Во-первых, оказывается, что в мире производится столько отходов деревообработки, что производство из них целлюлозы способно с запасом обеспечить все мировые потребности в этом продукте. Устраняется необходимость вырубki лесов для производства целлюлозы, что одновременно с улучшением экологии снимает затраты на лесозаготовки и транспортировку древесных стволов на целлюлозно-бумажные комбинаты. Отпадает технологическая операция измельчения древесины перед вывариванием, так как в любом случае опилки и стружки будут мельче древесной щепы, получаемой дроблением. Из-за гораздо меньших размеров опилок и стружек значительно сокращается длительность технологического процесса «вымывания» продуктов разложения лигнина, так как время диффузионного переноса какого-либо компонента пропорционально квадрату расстояния этого переноса. Тем самым значительно сокращаются энергозатраты на выделение целлюлозных волокон из древесины. А вопрос транспортировки этих древесных отходов к местам их переработки радикально решается созданием сравнительно малогабаритных установок переработки опилок и стружек для размещения непосредственно на местах их образования, т.е. на лесопилках и деревообрабатывающих комбинатах. Подобный вариант решения будет выгоден для этих предприятий, так как параллельно с решением проблемы отходов, которые обычно просто



сжигаются с неизбежным вредом для экологии, возникает прибыльное производство целлюлозы, не требующее серьезных капиталовложений и больших производственных площадей. Места складирования древесных отходов на деревообрабатывающих предприятиях в любом случае есть. По нашим предварительным расчетам размещение установки переработки древесных отходов на целлюлозу с производительностью 5 – 10 кубометров отходов в сутки потребует порядка 50 квадратных метров производственной площади. Кроме того, потребуется приблизительно такая же площадь для высушивания полученной целлюлозы перед ее вывозом потребителю. Дополнительная выгода может быть получена от продажи продуктов разложения и вымывания лигнина, где преобладают ванилин, используемый в косметике, и фенолы – главные компоненты дезинфицирующих материалов. Размещение установки выделения этих веществ из водного раствора, оставшегося от переработки порции древесных отходов, потребует еще порядка 50 квадратных метров. Такого рода переработку древесных отходов особенно выгодно производить в летнее время, когда использование солнечного излучения для разложения лигнина способно существенно повысить производительность производства целлюлозы и сократить энергозатраты.

Веливанов Вячеслав Валериевич, учащийся МБОУ шк 82  
E-mail: [velikanovv482@gmail.com](mailto:velikanovv482@gmail.com)



**ТОКСИЧНОСТЬ НАНОЧАСТИЦ НИКЕЛЯ ПРИ ПЕРОРАЛЬНОМ ПУТИ ПОСТУПЛЕНИЯ**

И.В. Гмошинский<sup>1</sup>, В.А. Шипелин<sup>1,2</sup>, С.А. Хотимченко<sup>1,3</sup>

1) ФГБУН ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва, *gmosh@ion.ru*

2) Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, *v.shipelin@yandex.ru*

3) Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва

Наночастицы (НЧ) металлического никеля (Ni) и его соединений являются новыми видами продукции наноиндустрии, производство которых быстро расширяется. В пищевой промышленности НЧ Ni находят применение в составе высокоэффективных катализаторов для гидрогенизации растительных жиров, позволяющих получить продукт с низким содержанием транс-изомеров жирных кислот. Предложено использование наноразмерных форм Ni в медицине в качестве средств магнитной гипертермической терапии и тераностики. Ni-содержащие наноматериалы могут присутствовать в косметических средствах, включая тональную косметику и красители, предлагаются в качестве инсектицидов для борьбы с кровососущими насекомыми. Многообразные применения имеют НЧ Ni в электронике, фотонике и электротехнической промышленности при изготовлении электродов, элементов магнитной памяти и различных покрытий. Основными источниками экспозиции человека Ni-содержащими наноматериалами потенциально являются остаточные количества технологических вспомогательных средств – катализаторов в составе масложировой продукции, а также возможная контаминация пищи, воды и воздуха из остальных вышеперечисленных источников. При поступлении в организм НЧ Ni и его соединений (оксид, гидроксид Ni(II)) проявляют токсическое действие вследствие развития окислительного стресса, нарушения функции клеточных мембран и митохондрий, экспрессии ядерных факторов транскрипции, отвечающих за развитие апоптоза, каспаз, а также протоонкогенов. Имеются данные, свидетельствующие о наличии у Ni-содержащих наноматериалов злокачественного трансформирующего действия, а также аллергенного действия. Подавляющее большинство исследований токсичности НЧ Ni и его соединений были проведены в модельных клеточных системах *in vitro*, а также при введении в дыхательные пути экспериментальных животных. Работы, характеризующие опасность и риски НЧ Ni при пероральном пути поступления (с пищей и водой) немногочисленны, и их результаты противоречивы. Целью проведенных нами исследований явилась характеристика опасности НЧ металлического Ni двух размерных форм (со средним диаметром частиц 53,7 и 70,9 нм, далее НЧ1 и НЧ2, соответственно) в экспериментах на крысах. Использовали препараты НЧ, которые были охарактеризованы



методами трансмиссионной электронной микроскопии, энергодисперсионной спектроскопии и динамического светорассеяния. В остром эксперименте при однократном внутрижелудочном зондовом введении крысам в дозе 2000 мг/кг массы тела (м.т.) НЧ Ni вызывали гибель животных при симптомах нарушения моторики и проницаемости органов желудочно-кишечного тракта. LD50 для НЧ2 составила 1600 мг/кг м.т., что соответствовало IV классу опасности по ГОСТ 32419, тогда как токсичность НЧ1 была, по-видимому, ещё более высокой. В подостром 92-суточном эксперименте по введению крысам НЧ1 и НЧ2 в дозах 0,1; 1 и 10 мг/кг м.т. с потребляемым рационом показано влияние НЧ Ni обеих размерных форм на локомоторную активность (подвижность) животных в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт», массу внутренних органов (печени, селезенки, тимуса, головного мозга), содержание отдельных популяций лейкоцитов и тромбоцитов периферической крови, продукцию про- и противовоспалительных цитокинов и хемокинов. Влияния НЧ Ni на апоптоз клеток печени в изученном интервале доз выявлено не было. Минимальная действующая доза (LOAEL) для обеих наноразмерных форм Ni составила не более 0,1 мг/кг м.т. при оценке по таким критическим группам органов, как центральная нервная система и система иммунитета. Большинство токсических эффектов, проявляемых НЧ металлического Ni, отсутствовали при введении животным эквивалентных доз Ni в форме, легко растворимой в пищеварительном тракте (основной карбонат Ni), что указывает на наличие у частиц металлического Ni свойств «нанотоксичности», обусловленных, по-видимому, их специфическими биокинетическими характеристиками.

Гмошинский Иван Всеволодович д.б.н.  
E-mail: gmosh@ion.ru



**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ БИОПОЛИМЕРОВ  
КОЛЛАГЕНА И ХИТОЗАНА**

Н.А. Доронина<sup>1</sup>, А.А. Приданникова<sup>1</sup>, И.С. Цебрук<sup>2</sup>, Н.В. Классен<sup>2</sup>

1) ГБОУ МО «Сергиево-Посадский физ-мат лицей», Сергиев Посад

2) Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка

Биополимеры коллагена и хитозана играют важные роли в функционировании живых систем. Белки коллагена составляют не менее трети общей массы биоматериалов человеческого организма. За счет сильно выраженных пьезоэлектрических свойств эти белки, составляющие основу стенок кровеносных и прочих капилляров млекопитающих, в значительной мере определяют процессы переноса питательных веществ и передачи информационных сигналов. Хитозан является модификацией хитина – биополимерного полисахарида, который является главным конструкционным элементом членистоногих, грибов и многих бактерий. По распространенности на нашей планете хитин занимает второе место после целлюлозы. Для человеческого организма важна функция хитина и хитозана как сильного адсорбента, который используется как лечебное средство в случае необходимости убрать из организма какие-либо вредные вещества (например, при пищевых расстройствах одна из эффективных лечебных процедур - проглотить некоторое количество хитозана). Поэтому изучение реакций коллагена и хитозана на различного рода внешние воздействия является эффективным способом понять механизмы, управляющие их функциями, и научиться регулировать поведение этих биополимеров в нужном направлении. Исследование влияния лазерных воздействий на характеристики коллагена и хитозана стимулируется еще и тем, что, например, лазерная активация коллагена приводит к многократно ускоренному связыванию молекул коллагена между собой. В частности, это выразилось в обнаруженном ранее Н.В. Классеном и А.М. Варпетян более чем стократном ускорении сращивания перепиленной кости свиньи (а эти животные по генетической структуре весьма близки к человеку) при облучении лазером зоны разреза с введенной туда водной суспензией коллагена.

В нашей работе с помощью оптической микроскопии изучаются преобразования в водных суспензиях коллагена и хитозана, индуцированные лазерным облучением. Обнаружены признаки активации межполимерных взаимодействий, выражающиеся в сверхструктурной коагуляции полимеров под действием лазерного облучения. Прилагаемое одновременно с лазерным облучением к такого рода суспензиям электрическое поле изменяет картину этих сверхструктур. Усиление притягивательных взаимодействий между биополимерами при лазерном облучении можно объяснить возбуждением межатомных связей на внешних сторонах этих полимеров, в результате чего



возбужденные связи на боковых сторонах обращенных друг к другу биомолекул перекрываются и образуют межмолекулярную боковую связь. Помимо ускоренного восстановления целостности поврежденных участков биологических тканей такого рода лазерная активация межмолекулярных связей может оказаться эффективным средством интенсификации процессов роста белковых кристаллов. Белковые кристаллы необходимы для изучения внутреннего устройства белковых молекул, без понимания которого невозможно эффективное управление функциями организма, в котором белки играют решающую роль. Но из-за слабости водородных связей, определяющих взаимодействия между боковыми сторонами белков, такие кристаллы растут очень медленно (порядка месяца). Это сильно тормозит расшифровку устройства белков и, соответственно, остро необходимо для разработки эффективных приемов лечения тех или иных болезней понимание способов управления их функциями. Активирующее боковые связи лазерное облучение белков и составление их смесей с хитозаном в качестве сильного адсорбента – возможные пути ускорения формирования белковых кристаллов. Еще один путь, применяемый в нашей работе, - введение в суспензию коллагена некоторых видов наночастиц, способных связываться с боковыми сторонами белков и образовывать благодаря этому упорядоченные белковые сверхструктуры.

Доронина Надежда Алексеевна, учащаяся Сергиево-Посадского физмат лицея  
E-mail: [n.a.doronina2005@gmail.com](mailto:n.a.doronina2005@gmail.com)



**ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО НАНОСЕЛЕНА НА ПАТОМОРФОЗ  
ДОБРОКАЧЕСТВЕННОЙ ГИПЕРПЛАЗИИ ПРОСТАТЫ**

Ю.Н. Иванычева<sup>1</sup>, Г.И. Чурилов<sup>3</sup>, С.А. Анисимова<sup>2</sup>, И.В.Обидина<sup>4</sup>

1) Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова, Julnic79@mail.ru

2) Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова, genchurilov@yandex.ru

3) Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова, anisimovasvetla@yandex.ru

4) Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова, inna.obidina@mail.ru

В настоящее время нанотехнологии переживают период бурного роста во всех отраслях науки и техники, в том числе и в медицине. В этой связи представляет особый интерес изучение влияния наночастиц, нанопрепаратов на течение различных заболеваний.

Цель исследования заключалась в изучении влияния ультрадисперсного селена на патоморфоз доброкачественной гиперплазии предстательной железы.

Материалы и методы. Исследование проводили в виварии РязГМУ на белых беспородных крысах самцах. Гиперплазию предстательной железы вызывали введением внутримышечно омнадрена 1 раз в неделю в течение 6 недель. На 45 день был осуществлен контроль модели данной патологии. Далее естественный патоморфоз данной болезни сравнивали с патоморфозом, протекающим на фоне перорального приема разных концентраций селена в ультрадисперсной форме (0,1 мг/кг и 0,001 мг/кг).

Затем простаты самцов фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина, заливали парафином, окрашивали гематоксилином, эозином и пикрофуксином по стандартной методике. Перед заливкой в парафин предстательную железу взвешивали на торсионных весах.

Сравнительный анализ естественного патоморфоза гиперплазированной простаты самцов и лекарственного патоморфоза под действием наноселена в дозировке 0,001 мг/кг продемонстрировал обратное развитие патологии, в группе с наноселеном в дозировке 0,1 мг/кг в периферических железах преобладают очаги пролиферации эпителия с тяжёлой дисплазией, большая часть пролиферативного центра состоит из кистозно расширенных ацинусов, строма представлена множественными деструктивными изменениями, вплоть



до фибриноидного некроза. В группе крыс, получавших наноселен в дозировке 0,1 мг/кг, отмечалась максимальная потеря массы тела, крысы были апатичны и малоподвижны. В среднем вес гиперплазированной простаты в группе 811,6мг, при естественном патоморфозе – 599,4мг, под действием наноселена 0,1 мг/кг и 0,001 мг/кг – 710,2мг и 584,3 мг соответственно. Показатели веса простаты подвергли статистической обработке по Стьюденту. При сравнении веса гиперплазированной предстательной железы и веса простаты с патоморфозом в группе приема наноселена в дозировке 0,1 мг/кг разница в весе оказалась статистически недостоверна.

По результатам исследования был сделан вывод, что наноселен в дозировке 0,001 мг/кг оказывает положительное влияние на патоморфоз гиперплазированной предстательной железы, наноселен в дозировке 0,1 мг/кг приводит к выраженным изменениям со стороны железистой паренхимы и стромы, вызывает в них очаговые негативные структурные изменения. Дозировка наноселена 0,1 мг/кг в целом может быть определена как препятствующая регрессу исследуемой патологии, что в рамках эксперимента было подтверждено биохимическим анализом крови на предмет содержания супероксиддисмутазы и малонового диальдегида.

Иванычева Юлия Николаевна, к.б.н., ст. преподаватель  
E-mail: Julnic79@mail.ru



## ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУР ИЗ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ РАСТЕНИЙ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

С.Н. Кузнецов<sup>1</sup>, А.А.Кожевников<sup>1</sup>, И.С. Цебрук<sup>2</sup>, Н.В. Классен<sup>2</sup>

1) ГБОУ МО «Сергиево-Посадский физ-мат лицей», Сергиев Посад

2) Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка

Солнечная энергетика - перспективная альтернатива экологически вредному сжиганию углеводов. Препятствие массовой замене теплоэлектростанций солнечными батареями – высокая себестоимость производимой электроэнергии. С другой стороны, природой созданы устройства преобразования солнечного света в энергию, по эффективности (более 90 %) превосходящие полупроводниковые батареи. Это системы фотосинтеза растений, размещенные в их зеленых компонентах (листьях, травинках, стеблях водорослей и т.д.).

В данной работе использовались микрочастицы растертых зеленых листьев растений. Они формировали гель зелёного цвета. Размер микрочастиц составлял от 10 до 100 мкм. В наших экспериментах использовались непрерывные полупроводниковые лазеры (синий, зеленый и красный). Интенсивность лазерного пучка регулировалась от 0,3 до 1 Вт/см<sup>2</sup>. Зеленый гель наносился на предметное стекло микроскопа между алюминиевыми электродами с расстоянием между ними 10 мм. При лазерном облучении геля на расположенном над ним экране наблюдалась картина рассеяния прошедшего света. Одновременно регистрировались постоянная и переменная разности потенциалов между электродами.

При облучении зеленого геля красным или синим лазером на экране возникает значительное расширение луча, прошедшего через образец. Это расширение указывает на существенное измельчение компонентов зеленой массы.

Освещение проводилось и лазерами, и облучателем ОУФК-01, имитирующим солнечный свет. В первые минуты облучения на электродах возникало постоянное напряжение в несколько десятков милливольт, а переменное напряжение отсутствовало. После нескольких минут облучения постоянное напряжение спадало практически до нуля, а одновременно с этим спадало переменное напряжение. Красный и синий лазеры в начале облучения создавали постоянное напряжение порядка 30 милливольт. После 250 – 300 секунд обработки начинались быстрый спад постоянного напряжения и одновременно столь же быстрый подъем переменного сигнала, который достигал через несколько минут амплитуды в несколько десятых вольта. В общих чертах обработка



солнечным облучателем походила на воздействия красным и синим лазерами, но интервал перехода от постоянной к переменной фотоэдс был значительно дольше (порядка 1000 секунд), а амплитуда переменного сигнала доходила до 0,25 – 0,3 в.

Изучение структуры зеленого геля в поляризационно – оптическом микроскопе показало, что в нем при облучении возникают оптически анизотропные частицы размерами от 10 до 100 микрон. Электронная микроскопия обнаружила также нано- и микро-кристаллы карбоната кальция. Сочетание результатов оптической и электронной микроскопий показывает, что серьезные изменения зеленого геля при оптической обработке создаются красным и синим светом, который резонансно поглощается молекулами хлорофилла, играющими главную роль в фотосинтезе. На этом основании мы предлагаем следующий механизм оптически индуцированных превращений геля. При поглощении красных или синих фотонов молекулами хлорофилла высвобожденные из них электроны переводятся на наружные стороны тилакоидных мембран, а внутри тилакоидов создается высокая плотность положительных зарядов. В результате их взаимного отталкивания тилакоидные оболочки лопаются, превращаясь в пластинки с противоположно заряженными сторонами. Под действием взаимного притяжения противоположных зарядов эти пластинки объединяются в стопки, которые и формируют анизотропные частицы, регистрируемые оптической микроскопией. При сохранении в этих стопках способностей хлорофилла и белков тилакоидных мембран разделять носители зарядов в зеленом геле его освещение будет создавать нарастающую электродвижущую силу. При достижении ею некоторого порога происходит сброс чрезмерной плотности зарядов (например, локальный электрический пробой). После этого снова начинается накопление зарядов и т.д.. Тем самым постоянная ЭДС заменяется на переменную.

Таким образом, воздействиями оптического излучения на гель зеленой массы растений получены системы ориентированных нано- и микро-агломератов с тилакоидными мембранами. В этих процессах обнаружена генерация значительной фотоэдс, которая позволяет проектировать экономичные и эффективные солнечные батареи на основе преобразованных растительных компонентов.

Кузнецов Степан Николаевич, учащийся Сергиево-Посадского физмат лицея  
E-mail: [stepanever@gmail.com](mailto:stepanever@gmail.com)



## ОБ ИНЖЕНЕРИИ ЭКОЛОГИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

А.Д. Охапкин<sup>1</sup>, В.В. Великанов<sup>1</sup> Н.В. Классен<sup>2</sup>

1) *МОУ школа № 82, Черноголовка*

2) *Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка*

На прошлогодней конференции НОР мы представляли доклад о получении волокон целлюлозы из древесных материалов экологически безопасным методом, основанным на обработке древесной пульпы электрическим полем и световым облучением. Резкое обострение проблем климатических катаклизмов требует срочных мер по улучшению экологической обстановки.. С одной стороны, для решения этой задачи требуется значительное расширение производства целлюлозы, предназначенной для замены наносящих серьезный вред окружающей среде синтетических полимеров в упаковках, конструкционных деталях, посуде, мебели и т.д. Но, с другой стороны, само по себе современное производство целлюлозы, основанное на обработке древесной пульпы токсичными растворами серной кислоты и щелока, наносит серьезный вред природе. Кроме того, в нынешнем производстве целлюлозы используется деловая древесина и расширение такого производства потребует расширения лесных вырубок. Это весьма нежелательно, так как именно леса являются главным фактором улучшения климатической обстановки и требуется не уменьшение, а увеличение их площадей.

В этой связи в этой работе мы изучаем возможности обеспечения быстро возрастающих потребностей в целлюлозе переработкой древесных отходов, образующихся при деревообработке (опилки и стружки). Данный доклад посвящен инженерной стороне этой деятельности, а во второй нашей работе, представленной на этой конференции, показывается, что производимых в данное время древесных отходов вполне достаточно для полного обеспечения потребностей в целлюлозе. А помимо явных экологических выигрышей такая реорганизация производства целлюлозы принесет и существенные экономические выгоды.

Наши эксперименты показывают, что переход в производстве целлюлозы от переработки деловой древесины к древесным отходам выгоден как экологически, так и экономически. Во-первых, значительно меньшие размеры опилок и стружек, возникающих при деревообработке, по сравнению с компонентами древесной пульпы, используемой при вываривании целлюлозы, значительно уменьшает время отделения волокон целлюлозы от лигнина в водной среде и при химических, и при электрических, и при



световых воздействиях. Это объясняется, в частности, квадратичной зависимостью от размеров фрагментов древесины времени диффузионного вывода в раствор молекул, образующихся при разложении лигнина. Вторая причина, ускоряющая процесс очистки целлюлозы при нашей методике – заметное увеличение интенсивности электрических и оптических воздействий на внутренние области древесных фрагментов при уменьшении их размеров.

Сопоставительное изучение производительности очистки целлюлозы при обработке водной пульпы с опилками постоянным и переменным электрическим током показало, что для сетевого тока частотой 50 герц скорость очистки в несколько раз больше, чем при обработке постоянным током с той же вводимой в раствор энергией. Но при электрической обработке неподвижных взвесей древесных опилок было установлено, что при объемной концентрации древесины порядка 50 % скорость обработки через несколько минут существенно медленнее. Это можно объяснить насыщением водного раствора продуктами разложения лигнина. Решение этой проблемы возможно организацией электрической и световой очистки целлюлозы в проточной воде. Кроме того, для ускорения очистки целлюлозы целесообразно совмещение методик электрической и световой обработки древесной пульпы. В докладе представлены схемы технических решений организации участков по выделению волокон целлюлозы из древесных отходов с одновременным вводом в пульпу электрического и светового воздействия через встроенные в емкость с пульпой системы электроконтактов и световодов.

Охапкин Артем Денисович, учащийся МБОУ шк 82  
E-mail: artokh10@gmail.com



**СРАВНЕНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ СОД1 И ЦИТОХРОМА С ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОН-РАДИКАЛУ СУПЕРОКСИДА В ПРИБЛИЖЕНИИ КONTИНУАЛЬНОЙ СРЕДЫ РАСТВОРИТЕЛЯ**

Е.А. Попова<sup>1</sup>, А.В. Рябых<sup>2</sup>, О.А. Маслова<sup>3</sup>, С.А. Безносюк<sup>4</sup>

1) Алтайский государственный университет, Барнаул, *yekaterina.p0115@gmail.ru*

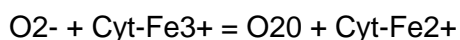
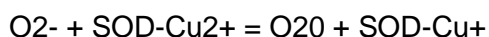
2) Алтайский государственный университет, Барнаул, *ryabykh.642@gmail.com*

3) Алтайский государственный университет, Барнаул, *maslova\_o.a@mail.ru*

4) Алтайский государственный университет, Барнаул, *bsa1953@mail.ru*

В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования процесса дезактивации супероксид-иона ферментами цитохромом с и супероксиддисмутазой (СОД) в рамках теории функционала плотности с использованием гибридного функционала B3LYP [1] и континуальной модели среды CPCM [2] с применением базисного набора 6-31+G(d,p) в программном комплексе ORCA [3].

В процессах, которые происходят при дыхании аэробных организмов, неизбежно возникают химически активные формы кислорода. К их числу относится супероксидный ион-радикал O<sub>2</sub><sup>-</sup>. Защиту клеток организма от избыточного образования активных форм кислорода обеспечивают антиоксиданты и редокс-ферменты. К этим ферментам относятся супероксиддисмутазы (СОД) и цитохром с [4,5]. Супероксиддисмутаза, в активном центре которой находятся катионы Cu<sup>2+</sup> и Zn<sup>2+</sup>, получила название СОД1. Реакцию нейтрализации супероксид-иона ферментами можно представить схемами:



Следовательно, для СОД1 и цитохрома с можно выделить некоторые общие свойства: наличие переходных металлов в активном центре; одноэлектронный процесс восстановления катиона металла в процессе дезактивации супероксид-иона; осуществление процесса дезактивации супероксид-иона во внутренней среде митохондрий. Известно, константа скорости реакции второго порядка дезактивации *in vitro* супероксида СОД1 на четыре порядка больше, чем в случае цитохрома с [6].

Построение компьютерных моделей взаимодействия СОД1 и цитохрома с в рамках одной модели и выбор одинаковых параметров континуальных сред растворителей позволяет сравнить их антиоксидантную активность. Для построения компьютерной модели были выбраны диэлектрические среды вода и белок с параметрами  $\epsilon=80,4$ ,



$n_2=1,769$  и  $\epsilon=4$ ,  $n_2=2.5$ , соответственно. Методика описана в работе [7]. При анализе данных компьютерного моделирования процесса дезактивации супероксид-иона цитохромом с и СОД1 в приближении полной «заморозки» ядерных координат было установлено, что:

Энергия активации переноса электрона как цитохромом с, так и СОД1 повышается при увеличении диэлектрической проницаемости среды.

Энергия активации переноса электрона цитохромом с в средах (белок, вода) имеет более высокие значения (0,50 эВ и 0,785 эВ), чем в случае СОД1 (0,345 эВ и 0,427 эВ). Следовательно антиоксидантная активность цитохрома с несколько ниже, чем у СОД1. Это доказывает экспериментальные данные.

#### Библиографический список

Becke A.D. Perspective on "Density functional thermochemistry. III. The role of exact exchange" // J. Chem. Phys. 1993. V. 98. P. 5648.

Cossi M., Rega N., Scalmani G., et al. Energies, structures, and electronic properties of molecules in solution with the CPCM solvation model // Chem. Phys. 2003. V. 24. № 6. P. 669–681.

Neese F. Software update: the ORCA program system, version 4.0 // Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science. 2017. V. 8. P. 73-78.

Szilagyi I., Labadi I., Hernadi K., et al. Superoxide dismutase activity of a Cu-Zn complex-bare and immobilised // New Journal of Chemistry. 2005. V. 29. P. 740-745.

Владимиров Ю.А., Проскурнина Е.В., Алексеев А.В. Молекулярные механизмы апоптоза. Структура комплекса цитохрома С с кардиолипином // Биохимия. Т. 78. 2013. С. 1391–1404.

Takahashi M., Asada K. A Flash-Photometric Method for Determination of Reactivity of Superoxide: Application to Superoxide Dismutase Assay // J. Biochem. 1982. Vol. 91. P. 889–896.

О.А. Маслова, А.В. Рябых, С.А. Безносюк, А.А. Шмелькова. Компьютерное моделирование переноса электрона супероксид-иона на комплексы меди в континуальных диэлектрических средах // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. Т. 17. № 1. С. 105-111.

Попова Екатерина Александровна, аспирант  
E-mail: yekaterina.p0115@gmail.ru



**НАНООБЪЕКТЫ В КОСМЕТОЛОГИИ. ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ МИЦЕЛЛЯРНОЙ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОВЕРХНОСТНО-  
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО И СТАТИЧЕСКОГО РАССЕЙЯНИЯ  
СВЕТА**

Савченко Е.Ю.<sup>1</sup>, Толмачева Е.В.<sup>1</sup>, Дунаева В.И.<sup>1</sup>, Курьяков В.Н.<sup>2</sup>

1) РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва, [katesav.26@mail.ru](mailto:katesav.26@mail.ru)

2) Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, [vladimir.kuryakov@ipng.ru](mailto:vladimir.kuryakov@ipng.ru)

Поверхностно-активными веществами (ПАВ) называют вещества, молекулы которых имеют дифильное строение. То есть в них одновременно присутствуют гидрофобные (неполярные) и гидрофильные (полярные) группы. По поведению в растворах все ПАВ делят на истинно растворимые (неспецифические) и коллоидные (специфические). Коллоидные, или специфические ПАВ при определенной концентрации в растворе образуют гетерогенные системы, которые относятся к числу лиофильных термодинамически устойчивых дисперсных систем (ассоциативные, или мицеллярные коллоиды).

Минимальная концентрация ПАВ, при которой осуществляется переход от истинного раствора к гетерогенной системе за счет образования мицелл (ассоциатов молекул ПАВ), называется критической концентрацией мицеллообразования (ККМ). Значение ККМ является важнейшей характеристикой любого коллоидного ПАВ. Экспериментально ККМ определяют по положению точки излома на кривой зависимости, например, поверхностного натяжения, электропроводности, плотности, вязкости или интенсивности рассеянного света от концентрации ПАВ. При превышении концентрации выше ККМ молекулы ПАВ в растворе собираются в мицеллы сферической формы. Характерный размер таких мицелл порядка нескольких нанометров. При дальнейшем увеличении концентрации строение мицелл изменяется, они приобретают эллипсоидальную, а затем пластинчатую форму. Более ста лет мицеллы являются объектами исследования, но их структура и физико-химические свойства все еще не полностью изучены [1-2].

Благодаря наличию мицеллярных структур растворы ПАВ обладают особыми свойствами. Они способны обеспечивать коллоидное растворение практически нерастворимых лиофобных веществ (солюбилизация). А также обеспечивают стабилизирующее действие растворов полноценных ПАВ, что является одной из причин мощного действия. ПАВ широко используются в различных отраслях, а особенно в



косметологии. Они могут выступать как стабилизаторы косметических эмульсий, компоненты пенообразующих составов. Кроме того, их активно используют при разработке очищающих средств — пенки, гели, мыла и шампуни, Предназначенных для всех типов кожи.

Мицеллы можно отнести к объектам наномира. Актуальной является задача измерения их размера. Одним из методов, позволяющих их это сделать, является метод динамического рассеяния света (ДРС). Метод динамического рассеяния света (Dynamic Light Scattering, DLS) позволяет из анализа флуктуаций интенсивности рассеянного света определять размер частиц в жидких средах. Данный метод позволяет измерить размеры частиц до 0,5 нм и применим для измерения размеров мицелл ПАВ [3].

В работе представлены результаты исследований методом динамического и статического рассеяния света четырех водных растворов ПАВ (додецилсульфата натрия) с концентрациями 0.001, 0.005, 0.01 и 0.5 моль/л соответственно. Для данных образцов измерены интенсивность рассеянного света, электропроводимость и средний размер мицелл. Сделана оценка ККМ. Проведено сравнение полученных результатов с результатами, опубликованными другими авторами. Параллельно были изучены растворы мицеллярных вод торговых марок: Чистая линия и Черный жемчуг. Радиус мицелл в исследованных мицеллярных водах составил 4 нм.

[1] Micelle Formation and Micellar Size by a Light Scattering Technique Keizo OGINO, Tomoaki KUBOTA, Hirotaka UCHIYAMA, and Masahiko ABE

[2] Nagarajan, R.; Romsted, L.S. Eds. One hundred years of micelles: evolution of the theory of micellization. Surfactant science and technology: retrospects and prospects. Taylor and Francis: New York, 2014, pp. 3-52.

[3] Динамическое рассеяние света // Photocor URL: <https://www.photocor.ru/theory> (дата обращения: 07.11.2021).

Савченко Екатерина Юрьевна  
E-mail: katesav.26mail.ru



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕСТРОЕК БИОЛОГИЧЕСКИХ СУСПЕНЗИЙ  
НИЗКОЧАСТОТНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ**

Д.С. Семенова<sup>1</sup>, И.С. Цебрук<sup>2</sup>, Н.В. Классен<sup>2</sup>

1) ГБОУ МО «Сергиево-Посадский физ-мат лицей», Сергиев Посад

2) Институт физики твердого тела РАН, Черногловка

Системы биологических полимеров в водных коллоидных растворах занимают основную часть объемов живых организмов от насекомых до человека. Их поведением в различных условиях определяются главные характеристики жизнедеятельности живых существ. С другой стороны, биологические системы являются самыми высокоорганизованными природными структурами и понимание взаимосвязи механизмов их формирования и функциональных параметров позволило бы оптимальным образом выстраивать искусственные системы с наперед заданными свойствами для решения тех или иных задач техники и биомедицины. Из литературы хорошо известно, что и вода, и биополимеры, и их суспензии характеризуются высокими уровнями электрической активности. Поэтому изучение поведения биосуспензий в электрических полях разных частот перспективно для получения детальной информации о свойствах отдельных компонентов биоорганизмов и способах регулирования их функционального поведения. Данная работа посвящена изучению поведения биосуспензий в электрических полях акустического частотного диапазона. Взаимная электрическая активность молекул воды и биополимеров способствует образованию различных вариантов взаимосвязанных систем биомолекул и неорганических наночастиц при посредничестве воды. Основным фактором такого посредничества – формирование молекулами воды гидратных оболочек вокруг практически любых погруженных в воды нано- и микро-объектов. Диэлектрические восприимчивости молекул воды, связанных в таких оболочках с поверхностями таких объектов, и свободных молекул различаются более чем в десять раз. Поэтому при наложении на такую систему внешнего электрического поля за счет резкого скачка диэлектрической проницаемости на границе гидратной оболочки возникает поверхностный электрический заряд, который оказывает сильное влияние на поведение наноразмерных объектов в водной среде. В частности, при сближении противоположно заряженных нанообъектов действующее между ними на больших расстояниях кулоновское притяжение заменяется на отталкивание при сближении таких частиц на расстояние порядка размера гидратной оболочки. В итоге образуется равновесное положение этих нанообъектов на расстоянии, соответствующему балансу сил притяжения и отталкивания. Отклонение частиц от такого расстояния вызывает возвращающие силы, в результате чего могут возбуждаться колебания типа колебаний двух атомов, связанных в молекулу. Но за



счет значительно больших масс этих нанообъектов резонансные частоты таких колебаний должны лежать не молекулярном диапазоне терагерцового уровня, а в области акустических частот. Наши эксперименты по наблюдениям перестроек в водных коллоидных растворах наночастиц и биополимеров хитозана и коллагена подтвердили изложенные выше соображения. На некоторых значениях акустических частот происходят значительные перестройки с образованием периодических микроструктур. Кроме того, при наличии в растворе нескольких агломератов из наночастиц и биополимеров при некоторых частотах, которые можно считать резонансными, в этих агломератах наблюдаются синхронные структурные перестройки. Это свидетельствует о том, что между однотипными нано- и микро-агломератами в водной среде возможны скоррелированные во времени перестройки, определяемые их взаимобменом электрическими сигналами резонансных частот. Например, по такому механизму может осуществляться коррелированное поведение между клеточными структурами, расположенными в разных участках организма.

Семенова Дарья Сергеевна, учащаяся Сергиево-Посадского физмат лицея  
E-mail: darya0505@bk.ru



## УСТОЙЧИВОСТЬ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СУСПЕНЗИЙ НАНОЧАСТИЦ

В.В. Чурилова<sup>1</sup>, Г.И. Чурилов<sup>2</sup>, С.Д. Полищук<sup>1</sup>, Д.Г. Чурилов<sup>1</sup>

1) Рязанский агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, [veronicka.churilova@yandex.ru](mailto:veronicka.churilova@yandex.ru)

2) Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, [genchurilov@yandex.ru](mailto:genchurilov@yandex.ru)

Исследовалось поведение синтетических наночастиц (НЧ) диоксида титана, оксида цинка и цинка в модельной деионизированной воде. Кинетические исследования проводили методом спектрофотометрии, спектрометр UV 2550 (Japan). Максимальное поглощение света отмечено при длине волны 195 нм. Суспензии наночастиц готовили в концентрации 100 мг/л. Ультразвуковое диспергирование раствора, проводили ультразвуковым диспергатором Sonopulse HD 3100 (Италия) в течение 10 мин. Коэффициент поглощения определяли в течение 5 дней. Статистический анализ был выполнен в STATISTICA 10 (США). Химический и гранулометрический состав наночастиц был определен с помощью электронного сканирующего микроскопа JSM-6010 и просвечивающего микроскопа JEM 2100. Наночастицы получены в НИТУ «МИСиС» путем химического осаждения гидроксидов металлов из солевых растворов с последующим их низкотемпературным восстановлением в потоке водорода и последующей пассивацией. Способность к агрегированию наноматериалов важно с экологической точки зрения, поскольку именно оно определяет их аэро- и гидродинамические характеристики в разных средах. Если наночастицы быстро агрегируют, то они менее опасны для организмов, чем одиночные наночастицы, поскольку агрегат наночастиц диаметром больше 200нм не может попасть внутрь клетки.

Скорость и динамика осаждения в воде наночастиц металлов и оксидов металлов отличаются. НЧ оксида цинка осаждаются гораздо медленнее чем диоксида титан. Отличаются и другие физико-химические характеристики наноматериалов, которые необходимо учитывать для прогнозирования их токсических свойств при синтезе или оценке экологических рисков. Важной характеристикой являются примеси токсичных металлов, заряд поверхности наноматериалов, многие наночастицы обладая токсическим эффектом имеют аномально высокий заряд.

Дана экологическая оценка толерантности организмов к воздействию НЧ.



Токсичность и негативные последствия контакта наночастиц металлов размером 20-80 нм не выявлены ни в лабораторных опытах, ни в полевых. Такие наночастицы не проявляют негативных действий на бактерии, подземных беспозвоночных (черви), наземных автотрофов (высшие растения). И только при концентрациях 1000г/т развитие и рост живых систем подавляется. Реакционная способность НЧ в естественных условиях зависит как от типа почвы, так и от размера наночастиц. В диапазоне до 20 нм НЧ гораздо более реакционноспособны, и они снижают выживаемость микроорганизмов. Их негативное действие, обусловлено не токсичностью самих частиц, а их разрушительному действию на все процессы метаболизма.

Наночастицы оксида цинка, диоксида титана относятся к III умеренному классу токсичности, но они накапливаются в живых системах, продлевая время взаимодействия с ними, что отражается на выживаемости микроорганизмов. Большое количество биоповреждений выявлено от действия НЧ оксида цинка в ряду подземные беспозвоночные (черви), высшие растения, бактерии.

Наночастицы способны изменять микробиологическую и ферментативную активность почв, вступая во взаимодействие с живыми организмами, находящимися в этой среде. Токсичность наночастиц Zn, ZnO, TiO<sub>2</sub> оценивалась на бактериях в зависимости от размера и растворимости наночастиц. Суспензии наночастиц TiO<sub>2</sub> были не токсичны даже при дозе 1000 г/т семян или почвы. Образцы почвы, содержащие ZnO токсичны, что видимо было вызвано растворенными ионами Zn. Низкая агрегативная устойчивость в исходных растворах, растворимость, биоаккумуляция делают оксид цинка опасным для живых систем.

Чурилова Вероника Вячеславовна, ассистент кафедры  
E-mail: veronicka.churilova@yandex.ru



# **Организация науки и образования в сфере нанотехнологий**



**НБИКС, ЗЕЛЕННЫЕ И ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО  
РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ В 21ОМ ВЕКЕ**

Г.Е. Кричевский

ООО «Колетекс», г. Москва

В настоящее время сформировался признанный ведущими экспертами мира набор (кластер) прорывных технологий, способных обеспечить устойчивое развитие цивилизации в 21ом веке без ущерба для окружающей нас природной среды. В этот кластер входят НБИКС, зеленые и природоподобные технологии. Они определяют синергию генерации инноваций по экспоненциальной скорости при одновременном отсутствии негативной нагрузки на природу. НБИКС уже является кластером, объединяющим прорывные нано-, био-, инфо-, когно-, социогуманитарные технологии. Среди этих технологий не все зеленые и природоподобные. Но многие отвечают требованиям этих технологий. Особенно много зеленых и природоподобных технологий среди био- и когнитивных. В реальных проектах, особенно мега и мета уровней, всегда возникают междисциплинарные задачи, которые решают коллективы специалистов разных направлений с использованием набора вышеперечисленных технологий. Целевой функцией таких проектов является экономичность, экологичность с отсутствием негативной нагрузки на природу. Последнее требование достигается использованием зеленых технологий. Базовые требования к зеленым технологиям были впервые сформулированы (12 принципов) по отношению к зеленой химии. Эти принципы сводятся к тому, что химические технологии можно назвать зелеными, если при их реализации не образуются токсичные выбросы, они не взрыво- и пожароопасны, реализуются в водной среде, при комнатной температуре, с использованием катализаторов и с высоким выходом конечного продукта. По этим зеленым лекалам работают в мире многие крупные концерны, средние и малые предприятия, особенно в технологически развитых странах. Этому способствуют национальные и международные стандарты. В средней и долгой перспективе зеленые технологии экологичны, поскольку не приходится затрачиваться на очистку от вредных отходов стоков и выбросов в атмосферу. Зеленые технологии по существу отменяют экологические технологии, нацеленные на очистку от вредных выбросов. Принципы зеленой химии в настоящее время распространились на большую часть других технологий (зеленая энергетика, зеленый текстиль, зеленая формация и др.). Природоподобные технологии – это рукотворные технологии, подсмотренные в природе и переведенные на технологический и инженерный язык (бионика). Природоподобными технологиями человек занимается с начала цивилизации (одомашнивание животных, окультуривание полезных растений, использование огня, производство вина, пива, кисломолочных продуктов и т.д.). В настоящее время природоподобные технологии заняли заметное место среди



прорывных технологий (солнечная и ядерная энергетика, биотопливо, репаративная и клеточная медицина, генная инженерия, бионическая архитектура, современное материаловедение). Все природоподобные технологии по определению зеленые, поскольку природа сама себе не вредит. Но не все зеленые технологии являются природоподобными.

Для примера конвергенции (взаимодействия) нано-, био-, зеленых и природоподобных технологий вкратце опишем разработанную технологию биосинтеза наночастиц благородных и тяжелых металлов  $NpsMe$  в ООО «КОЛТЕКС» (научный руководитель – автор текста).

Аналогом, прототипом в природе этого биосинтеза является набор реакций, возникающих в структуре растений, когда они извлекают из почвы или водоемов водорастворимые соли благородных и тяжелых металлов. Катионы металлов диссоциирующих солей восстанавливаются до нольвалентных атомов, которые далее агрегируют до наночастиц по схеме:  $Me^{n+} \xrightarrow{ne^-} Me^0 \rightarrow NpsMe$ .

В качестве биовосстановителей выступают метаболиты растений (сахара, полисахариды, аминокислоты, белки). По очень близкой схеме происходит биосинтез наночастиц металлов, когда катионы металлов сталкиваются с клетками микроорганизмов. Сначала они прикрепляются к стенке мембраны клетки, а затем проникают внутрь клетки, где и происходит биосинтез наночастиц. Следовательно, биосинтез наночастиц металлов можно проводить с помощью растений, их биомассы, извлеченных из растений метаболитов или микробиологически с помощью микроорганизмов. Мы выбрали использование биополимеров в качестве биовосстановителей, которые также выполняют роль биореактора (в форме гидрогеля) и коллоидного биостабилизатора нанодисперсии. В результате формируется сразу выпускная форма гидрогеля, в котором распределены наночастицы металлов, пригодные для использования в медицине.

Наночастицы благородных и тяжелых металлов обладают уникальными свойствами, что способствует их широкому практическому использованию:

1. Универсальные биоцидные свойства (подавляют рост и убивают все виды патогенных клеток), что позволяет их использовать в качестве антисептиков, противораковых препаратов, ранозаживляющих.
2. Уникальные оптические свойства, проявляют плазмонный эффект; используются в качестве цветных индикаторов раковых клеток, в оптических приборах, в солнечных батареях.
3. Высокие каталитические свойства позволяют использовать наночастицы в катализе органических соединений.



4. Способность убивать патогенные микроорганизмы позволяют использовать наночастицы металлов в фильтрах для очистки воды и воздуха.

Наночастицы благородных и тяжелых металлов, производимые на производственной базе ООО «КОЛТЕКС» используются для производства ранозаживляющих гелей и аппликаций, которые широко применяются в медицинской практике (хирургия, онкология, проктология, гинекология, стоматология).

В перспективе наночастицы благородных и тяжелых металлов можно использовать в качестве противовирусных и антибактериальных препаратов для подавления инфекционных заболеваний.

Кричевский Герман Евсеевич, проф  
E-mail: gek20003@gmail.com



## ПОДГОТОВКА НАНОТЕХНОЛОГОВ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Н.В. Семакина

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,  
Ижевск, nadezhda\_semakina@mail.ru*

Подготовка нанотехнологов в Удмуртской республике ведется в Ижевском государственном техническом университете имени М.Т. Калашникова при кафедре «Нанотехнологии и микросистемная техника». В настоящее время кафедра готовит выпускников по следующим направлениям и специальностям:

28.03.01 – «Нанотехнологии и микросистемная техника», программа «Компоненты микро- и наносистемной техники», уровень бакалавриата;

28.04.01 – «Нанотехнологии и микросистемная техника», программа «Компоненты микро- и наносистемной техники», уровень магистратура.

Область профессиональной деятельности выпускников кафедры включает совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на теоретическое и экспериментальное исследование, математическое и компьютерное моделирование, проектирование, технологию производства и эксплуатацию материалов, приборов и устройств nano- и микросистемной техники различного функционального назначения, разработку и применение процессов нанотехнологии и методов нанодиагностики.

Объектами профессиональной деятельности выпускников кафедры являются материалы и компоненты nano- и микросистемной техники, приборы и устройства на их основе, процессы нанотехнологии и методы нанодиагностики, оборудование процессов синтеза, диагностики и испытания материалов и компонентов nano- и микросистемной техники.

Виды профессиональной деятельности, к которым готовятся выпускники кафедры, освоившие программу обучения – научно-исследовательская и проектно-конструкторская.

Выпускники кафедры могут работать на следующих предприятиях: ОАО «ИЭМЗ «Купол»; ОАО «Ижевский радиозавод»; ОАО «ИжМАШ»; ОАО «АКСИОН Холдинг»; Концерн «Наноиндустрия»; ЗАО «НТ-МДТ»; ООО «НТИЦ АпАТЭК-Дубна»; ГК по атомной энергии «РОСАТОМ»; НПО «Квант»; Фонд «Сколково» и др.

Большинство из сотрудников кафедры составляют ученые из Института механики Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН (Институт механики УдмФИЦ УрО РАН). Основными специальными дисциплинами являются:

- Моделирование и проектирование микро- и наносистем
- Компьютерные технологии в научных исследованиях



- Конструирование микро- и наносистем
- Актуальные проблемы современной нанотехнологии
- Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии
- Материаловедение наноструктурированных материалов
- САПР микро- и наносистем
- Физические основы микро- и наносистемной техники
- Химия наноматериалов и наноструктур
- Процессы микро- и нанотехнологии
- Физика наносистем
- Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем
- Корпускулярно-зондовая нанотехнология и диагностика и др.

В этом учебном году сотрудники кафедры прошли повышение квалификации в АНО ВО «Университет Иннополис» по дополнительной профессиональной программе «Цифровые технологии в преподавании профильных дисциплин» и актуализировали рабочие программы преподаваемых дисциплин с включением цифровых технологий. Так, например, содержание дисциплины «Химия наноматериалов и наноструктур» (рис. 1) было дополнено разделом «Квантово-химическое моделирование как метод исследования наносистем и наноматериалов» (рис. 2).



Рис.1. Студенты на практическом занятии по углеродным наноматериалам

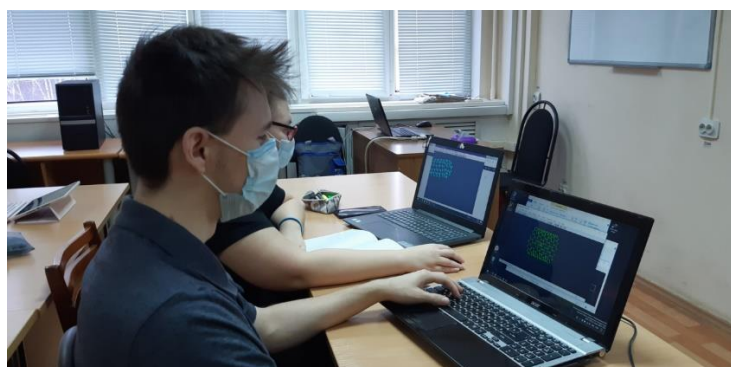




Рис. 2. На лабораторном занятии «Построение моделей нанотрубок разной структуры и расчёт их параметров»

Кроме образовательной и научно-исследовательской работы со студентами кафедра проводит профориентационную работу среди школьников [1-3] и курсы повышения квалификации учителей Удмуртской республики в области основ нанотехнологий [4, 5]. Сотрудники кафедры знакомят школьников и учителей с нанотехнологическим оборудованием: АСМ; СЗМ; Комплексная система измерений Nanotest 600; Бесконтактный оптический профилометр NewView 6300. Рассказывают о возможностях соответствующих методов исследования для изучения свойств и составов наноматериалов.



Рис. 3. Учителя и ученики на экскурсии в Институте механики УдмФИЦ УрО РАН

### Литература

1. Семакина Н.В. Опыт преподавания нанохимии в лицее // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. В 5 т. Т. 5 : тез. докл. – Екатеринбург: Уральское отделение Российской академии наук, 2016 г.– С. 52.

2. Semakina, N.V. Nanotechnology-oriented system of natural science education in secondary schools // Int. J. Nanotechnol., 2017.Vol. 14, Nos. 7/8, pp.680–689. DOI: 10.1504/IJNT.2017.083442

3. Семакина Н.В. Опыт организации междисциплинарной проектно-исследовательской деятельности школьников // Сборник тезисов VIII ежегодной конференции Нанотехнологического общества России, Москва, 31.03.2017, 174–178.

4. Семакина Н.В. Повышение квалификации учителей по направлению нанотехнологии // Сборник тезисов IX ежегодной конференции Нанотехнологического общества России, Москва, 05.04.2018. – С. 116 –118.



5. Семкина Н.В. Курсы повышения квалификации для учителей // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. В 6 т. Т. 4: тез. докл. – Санкт-Петербург, 2019 г. – 436 с.

Семкина Надежда Владимировна, к.т.н., доцент  
E-mail: nadezhda\_semakina@mail.ru