



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

Наноматериалы и нанотехнологии

Сборник материалов II региональной
научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых

18 октября 2013 г.

Электронное издание

Красноярск
СФУ
2014

УДК 620.22:539.2
ББК 22.333
Н254

Ответственный за выпуск: Краев Олег Альбертович

Н254 Наноматериалы и нанотехнологии: сборник материалов II региональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 18 октября 2013 г. [Электронный ресурс] / отв. за выпуск О. А. Краев – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – Систем. требования: РС не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7638-2962-4

В сборнике представлены материалы докладов II региональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наноматериалы и нанотехнологии», прошедшей в г. Красноярске 18 октября 2013 г.

Предназначен для студентов, аспирантов и молодых ученых.

Соответствует Федеральным государственным образовательным стандартам третьего поколения.

УДК 620.22:539.2
ББК 22.333

© Сибирский
федеральный
университет, 2014

ISBN 978-5-7638-2962-4

Электронное научное издание

Подготовлено к публикации ИЦ БИК СФУ

Подписано в свет 12.02.2014 г. Заказ 31.
Тиражируется на машиночитаемых носителях.

Издательский центр
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел/факс (391)206-21-49, 206-26-59.
E-mail rio@sfu-kras.ru, <http://rio.sfu-kras.ru>

Содержание

Секция 1. Синтез и свойства наноматериалов

<i>Афанасьева А. Е.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО РАЗМЕРАМ ЧАСТИЦ НАНОУГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	6
<i>Белянина И. В., Якимов А. С.</i> МИКРОФЛЮИДНЫЕ МОДЕЛИ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ СТЕВЛОВЫХ КЛЕТОК.....	9
<i>Высотин А. В., Понаморёв Л. А.</i> ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА НАНОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК Al_2O_3 НА ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МИКРОПОРОШКЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ.....	11
<i>Габдуллина М. Р., Никифорова Д. К., Габдуллин М. Ф.</i> ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНОВОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ	14
<i>Денисов А. Н., Ходарев Д. В., Коробкова Е. А., Жеребин П. М., Климов А. И., Крутяков Ю. А.</i> ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНОГО СЕРЕБРА, СТАБИЛИЗИРОВАННОГО БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ.....	18
<i>Жданов Н. Н.</i> ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ	20
<i>Иванова З. В.</i> МИКРО- И НАНОДИСКРЕТИЗАЦИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК В ГРАДИЕНТНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ	23
<i>Исаев В. В.</i> ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТХОДОВ.....	26
<i>Лукьяненко К. А., Марьянчик Д. И., Левченко А. Г. Мелкозеров В.М.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА «УНИПОЛИМЕР» В ЭКОЛОГИИ..	29
<i>Мельникова Е. И., Колоненко А. Л., Глуценко Г. А., Осипова И. В., Жижаев А. М.</i> ГИДРИРОВАНИЕ МАГНИЯ В ПОТОКЕ ВОДОРОДНО-АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИТАНА И НИКЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ	33
<i>Никифорова В. С., Якимов А. С., Зимин А. А., Денисов И. А.</i> ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ В МИКРОФЛЮИДНЫХ УСТРОЙСТВАХ	37
<i>Федоров Л. Ю., Карпов И. В., Ушаков А. В.</i> ИК-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАНОДИСПЕРСНОГО ОКСИДА ТИТАНА, ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	40

Секция 2. Применение нанотехнологий в промышленности

<i>Костин И. В., Юрьев П. О., Громов Н. В., Саттаров И. Д.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЯ ПРИ ПЕРВИЧНОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ И ПЕРЕПЛАВЕ	44
--	----

<i>Уварова А. Ю.</i> НАНОТЕХНОЛОГИИ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ	48
---	----

<i>Юрьев П. О., Лесив Е. М., Рассказова Е. В., Костин И. В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ РАЗОВЫХ ФОРМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	51
--	----

<i>Ярмола Д. А.</i> КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ХРОМ-НАНОАЛМАЗ	54
--	----

Секция 3. Нанопотоника и нанoeлектроника

<i>Белоножко А. В., Скотников Н. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНОФОРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ	60
---	----

<i>Дранишников А. С., Кудисов А. Н.</i> БЕСКОНТАКТНАЯ УПРАВЛЯЕМАЯ МИКРОПОЛОСКОВАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СВЧ НАНОСХЕМ	64
---	----

<i>Зимин А. А., Денисов И. А.</i> МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОАЛМАЗА.....	69
---	----

<i>Пятнов М. В.</i> ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АНИЗОТРОПНОГО НАНОКОМПОЗИТА С РЕЗОНАНСНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ.....	73
--	----

<i>Саляхова М. А., Карасева И. П.</i> ФИЛЬТРУЮЩЕ-СОРБИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ С ВНЕДРЕННЫМ НАНОРАЗМЕРНЫМ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОМ	76
--	----

Секция 1. Синтез и свойства наноматериалов

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО РАЗМЕРАМ ЧАСТИЦ НАНОУГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Е. Афанасьева

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук В. П. Исаков

Сибирский федеральный университет

Одним из способов изучения распределения по размерам частиц является седиментационный анализ в центробежном поле. Прибор, в котором реализован данный способ, – дисковый анализатор размера частиц CPS DC24000, способный определить распределение размеров частиц в диапазоне от 0,01 мкм до 40 мкм. Данный прибор наиболее эффективен для частиц размером между 0,02 и 30 мкм. Анализатор измеряет гранулометрический состав, используя центробежное осаждение в оптически прозрачном вращающемся диске, который заполнен жидкостью. Скорость вращения диска может варьироваться от 600 об/мин до 24 000 об/мин, что обеспечивает достаточно широкий диапазон измеряемых значений. Осаждение стабилизируется градиентом плотности в жидкости, точность измеряемых размеров обеспечивается за счет использования известных стандартов калибровки размера перед каждым измерением. Осаждение под действием центробежной силы происходит согласно закону Стокса, который выглядит следующим образом:

$$D = \sqrt{\frac{18\eta \ln\left(\frac{R_f}{R_0}\right)}{(\rho_p - \rho_f)\omega^2 t}},$$

где D – диаметр частиц (см); η – вязкость жидкости (пуаз); R_f – конечный радиус вращения (см); R_0 – начальный радиус вращения (см); ρ_p – плотность частиц (г/мл); ρ_f – плотность жидкости (г/мл); ω – скорость вращения (рад/с); t – время, необходимое для осаждения от R_0 до R_f [1].

Измерение основано на методе дифференциального осаждения. Скорость осаждения увеличивается пропорционально квадрату диаметра частиц, поэтому частицы, размеры которых отличаются на несколько процентов, оседают со значительно отличающимися скоростями. Время, необходимое для обнаружения частиц лучом детектора, используется для вычисления размера частиц.

Для проведения анализа необходимо ввести следующие значения:

- максимальный и минимальный предполагаемые диаметры частиц исследуемого вещества, мкм;
- плотность исследуемого вещества, г/мл;
- плотность и вязкость жидкости, в которой происходит седиментация. Как правило, для измерений создается градиент из водных растворов химически чистого сахара 2 % и 8 %, 4 % и 12 % или 8 % и 24 % по массе;

- коэффициент преломления жидкости;
- данные калибровочного раствора [2].

Результаты измерений представляются в виде графиков зависимостей веса, площади поверхности, числа частиц или поглощенного света от диаметра измеряемых частиц. На рис. 1, 2, 3 приведены результаты измерений частиц наноалмазов, проведенных на дисковом анализаторе размеров частиц CPS DC24000.

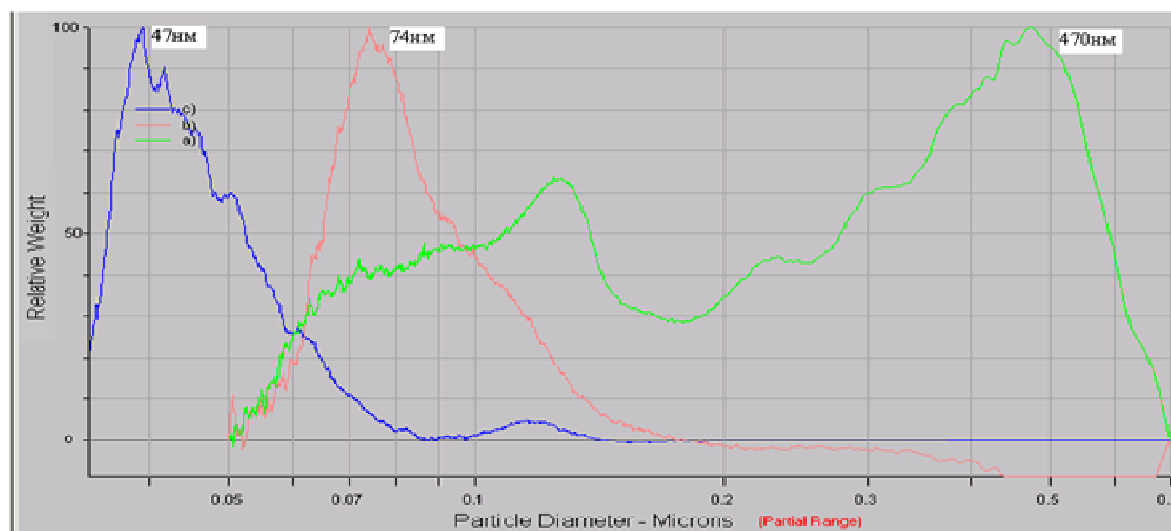


Рис. 1. Относительное распределение количества частиц наноалмазов по размерам: а) – исходный образец наноалмазов, хранившихся в водной суспензии не менее 5 лет, без обработки. Максимум размеров частиц – 470 нм; б) – после минутной обработки излучением лазера «Tsunami» (параметры излучения: $\lambda = 800\text{ нм}$, $P = 840\text{--}860\text{ мВт}$, $f = 80\text{ МГц}$, $\tau = 40\text{--}100\text{ фс}$), максимум размера частиц в этом случае 74 нм; в) – после 3 мин кавитационной обработки. Максимум размера частиц 47 нм [3]

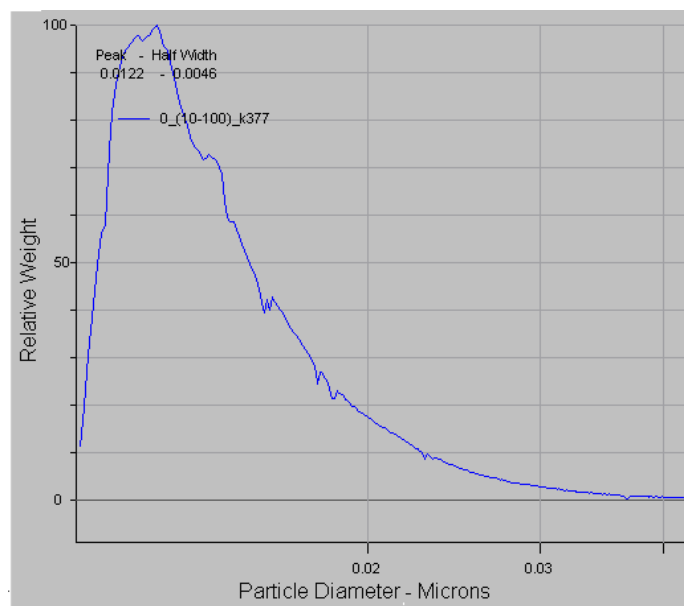


Рис. 2. Распределение НА частиц после 40 мин обработки лазером Tsunami [4]

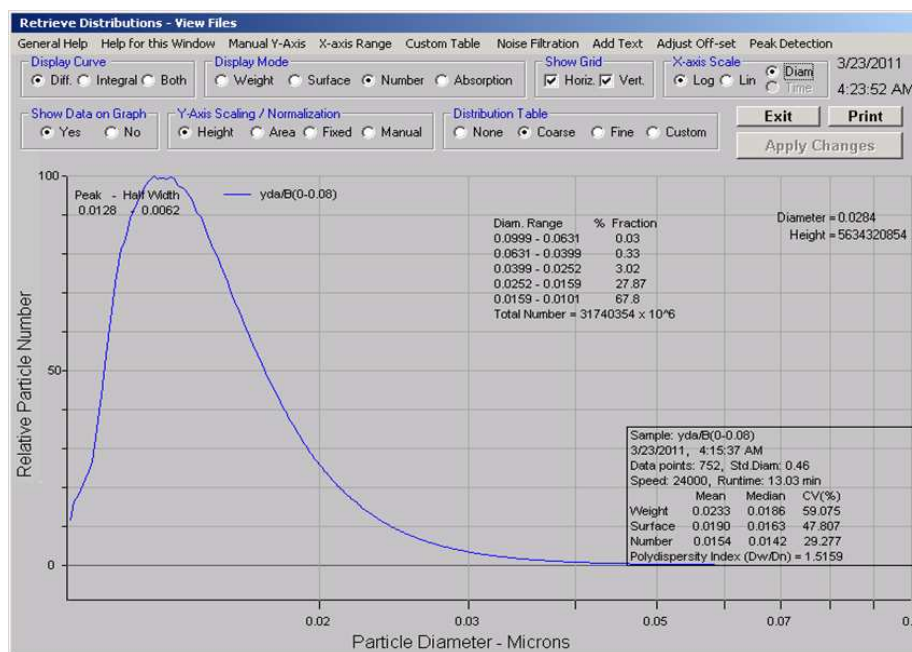


Рис. 3. Распределение количества частиц наноалмаза с Pd в зависимости от размера. Данные показали, что максимальное число наноалмазов размерами около 8 нм [5]

Дисковая центрифуга CPS DC24000 может использоваться не только для измерения распределений наноуглеродных материалов, но и в следующих областях:

- химической (полимерные латексы и эмульсии, наполнители (CaCO₃, клей, карбиды, керамические оксиды, абразивы всех типов, эмульсии типов масло в воде и вода в масле));
- фармацевтической и биологической (вирусные частицы, клетки и их фрагменты, протеиновые кластеры, липосомы, микроинкапсулированные лекарства);
- для измерения распределений полупроводников (наноабразивы всех типов);
- и др. (например, масляные эмульсии для пищевой и косметической отраслей) [6].

Список литературы

1. CPS Instruments Europe. Introduction to differential sedimentation. Режим доступа: <http://www.cpsinstruments.com>
2. CPS Instruments Europe. CPS Disc Centrifuge Operating Manual. Режим доступа: <http://www.cpsinstruments.com>
3. Шалимова А. С., Закомирный В. И. Гасанов З. Д., Новикова К. О. // тр. XII Международной научной конференции «Интеллект и наука» 2012. Г. Железногорск.
4. Лямкин А. И., Исаков В. П., Гасанов З. Д. Дезинтеграция агломератов детонационных наноалмазов высокоэнергетическими методами // VI Ставеровские чтения. 2012, Красноярск, СФУ. С. 58–60.
5. Исаков В. П., Исакова В. Г., Лямкин А. И., Солнцев А. В., Гасанов З. Д. Сб. тез. докладов. XV Харитоновские чтения. Г. Саров. 2013.
6. CPS Instruments Europe. CPS Disc Centrifuge. Nano Particle Size Analysis: General Brochure. Режим доступа: <http://www.cpsinstruments.com>

МИКРОФЛЮИДНЫЕ МОДЕЛИ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК**И. В. Беянина, А. С. Якимов**

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук П. И. Белобров

Сибирский федеральный университет, МОЛПИТ

Любой организм состоит из огромного числа клеток, похожих друг на друга, так как все клетки целого организма принадлежат одному геному. Клетка сохраняет целостность при индивидуальной упаковке хроматина в клетке [1]. Индивидуальным является распределение минорных оснований в последовательности ДНК, зависящее специфично от органа и ткани, в которых находятся клетки. Эпигенетические модификации происходят во всех фенотипических процессах и представляют собой наследуемые изменения в ходе развития клеточной пролиферации, не затрагивающие первичную структуру ДНК [2]. Когда удалось экспериментально перепрограммировать клетку, в логике эпигенетического программирования возникло много новых вопросов [3]. Эпигенетические механизмы, например, метилирование, ацетилирование, фосфорилирование, различные белки, транскрипционные факторы являются активаторами или репрессорами многих процессов, происходящих в клетке, а гены это информация, которую нужно представить определенным образом в каждой новой клетке [4]. Но существует проблема дифференцировки клеток (или специализации – главного процесса в формировании ткани и органа), которая может не зависеть от эпигенетических модификаций хроматина или от последовательности оснований в геноме. Ведь присутствуют другие, возможно, ключевые взаимодействия, являющиеся коллективными, которые делают клетку индивидуальной целостной системой.

Капли размером с клетку (cell-sized water droplet, CWD) [5] в микрофлюидных устройствах тоже образуют структуры благодаря процессам самоорганизации. Поэтому коллективное поведение клеток и их специализация являются характеристиками не самих клеток, а капель, которыми эти клетки по сути и являются. Мы считаем, что можно создать микрофлюидную модель для понимания специализации клеток, механизмов и процессов, которые определяют судьбу CWD в различных окружениях, а также прибор, на котором можно изучать все параметры этой модели.

Целью данной работы было создание элементарной модели, на которой можно проводить эксперименты, связанные с определением характерных особенностей капель жидкости, размером с клетку. Первой задаче, которую нам удалось решить, а именно, изготовлению устройства для получения капель разных размеров, посвящена данная работа. Получение капель размером с клетку в микрофлюидном чипе с различными мембранами для изучения зависимости свойств CWD от структуры воды в капле при добавлении ионов Na, K, Mg и различных белков – ближайшие задачи.

Материалы и методы. Для получения капель была изготовлена камера микрофлюидной гидродинамической фокусировки методом фрезерования из

полиметилметакрилата (ПММА). В сдавливающие каналы подавалось оливковое масло SIGMA O1514-500ML, в центральный канал подавалась вода, окрашенная перманганатом калия и чернилами для струйного принтера Epson T0482/T0332. Варьируя давление в центральном канале можно получать капли нужного диаметра (от 50 мкм до 500 мкм) и собирать их в определенные структуры.

На рис. 1 показаны характерные размеры полученных капель и разные структуры, которые они образуют. Размер канала в рассмотренном случае был 0,5 мм. При уменьшении системы в 10–15 раз и при добавлении в водную фазу поверхностно-активных веществ (ПАВ) можно получить капли, сопоставимые с характерными размерам как эукариотических, так и бактериальных клеток ($10^{-2} \div 10^{-3}$ мм).

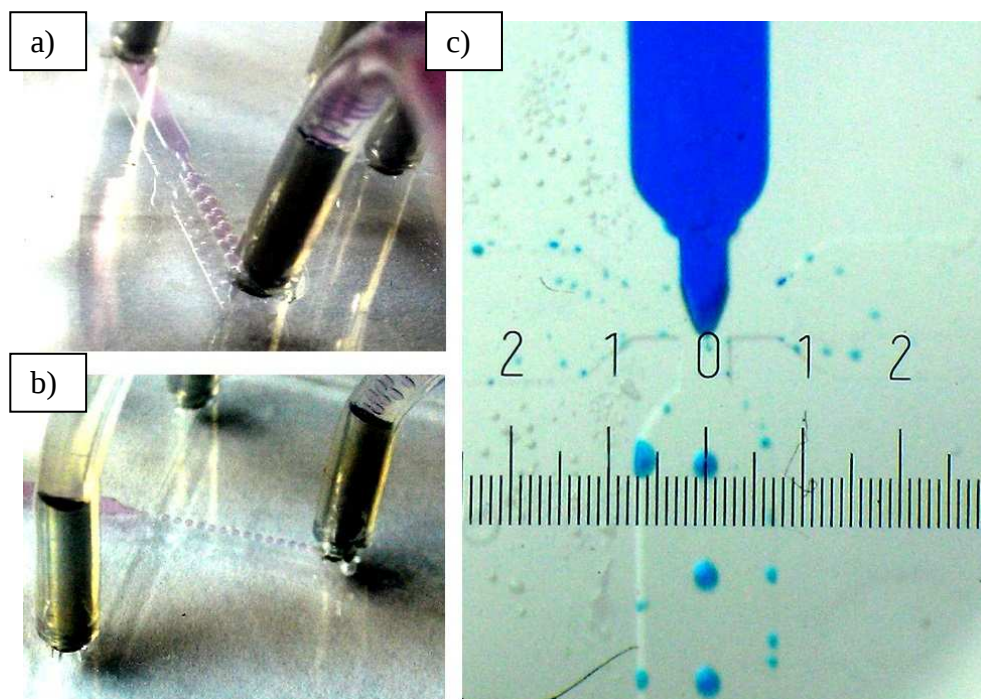


Рис. 1. Образование капель в микрофлюидном чипе (1 деление = 100 мкм): а), б) – капли одинаковых размеров сформировали разные структуры (окрашено перманганатом калия); в) – диаметр минимальной полученной капли 200 мкм, вода, окрашенная чернилами для струйного принтера Epson T0482/T0332

Обсуждение результатов. За основу были взяты работы [6, 7]. Подобные микрофлюидные устройства позволяют работать с одиночными каплями жидкости и создавать капельные модели клетки на подложке с каналами, где можно контролировать параметры всех процессов. Исследование микрофлюидной модели позволит нам найти основные коллективные параметры отличия стволовых клеток от соматических, т. е. тех клеток, которые не являются стволовыми.

Вывод. Изготовлено устройство для получения капель клеточных размеров.

Работа поддержана мега-проектом «Биолюминесцентные биотехнологии» (договор № 11.G34.31.0058) в рамках Постановления Правительства РФ № 220 от 09.04.2010 и проектом ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы», соглашение № 14.A18.21.1911.

Список литературы

1. Разин С. В., Быстрицкий А. А. Хроматин: упакованный геном. 3-е изд. 2013. 172 с.
2. Эпигенетика / отв. ред. С. М. Закиян, В. В. Власов, Е. В. Дементьева. Новосибирск. 2012. 592 с.
3. Cantone I., Fisher A. G. Epigenetic programming and reprogramming during development // Nature Structural & Molecular Biology, 20, 282–289 (2013).
4. Waddington CH. The epigenotype // Endeavor 1942; 1:18–20. Repr.: Int. J. Epidemiol. 41 (1), 10–13 (2012).
5. Hase M. and Yoshikawa K. Structural transition of actin filament in a cell-sized water droplet with a phospholipid membrane // J. Chem. Phys. 124, 104903, 2006.
6. Thorsen T., Roberts R. W., Arnold F. H. and Quake S. R. Dynamic Pattern Formation in a Vesicle-Generating Microfluidic Device // Phys. Rev. Lett., 2001, 86, 4163–4166.
7. Baret Jean-Christophe. Surfactants in droplet-based microfluidics // Lab Chip, 2012, 12, 422–433.

УДК 544.015.4: 621.762:669.71

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА НАНОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК Al_2O_3 НА ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МИКРОПОРОШКЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

А. В. Высотин, Л. А. Понаморёв

Научный руководитель: д-р техн. наук Г. А. Чиганова

Сибирский федеральный университет

Нанопорошки оксида алюминия могут быть использованы в качестве материалов для специальной электроники, оптики, компонентов керамики различного назначения. Керамические материалы на основе оксида алюминия широко применяют в различных технологических областях, в том числе в качестве высокотемпературных конструкционных материалов. Исследования фазовых превращений микропорошков Al_2O_3 с нанодисперсными добавками актуальны для различных практических приложений.

Целью данной работы было сравнение фазовых превращений Al_2O_3 при нагреве смесей нанопорошков (НП) различных видов синтеза с микропорошком оксида алюминия (глинозема), являющимся отходом глиноземного производства.

В качестве объектов исследования были выбраны НП оксида алюминия двух видов синтеза: полученный ударно-волновым методом (образец НП-1) и полученный методом электровзрыва проводника (образец НП-2), а также смеси этих нанопорошков с микропорошком глинозема. Средний размер частиц порошков составляет: для НП-1 – 70 нм, для НП-2 – 90 нм, для микропорошка глинозема – 2,6 мкм.

Дифференциальный термический анализ (ДТА) проводился на дериватографах Q-1500 и Netzsch STA 449 C. Рентгенофазовый анализ (РФА) – на порошковом дифрактометре ДРОН-4.

По данным РФА НП-1 содержит только δ - и θ - Al_2O_3 в соотношении 7:1 (рис. 1). Анализ образца НП-2 показал более разнообразный состав – помимо δ - и θ -модификаций в нем обнаруживается также наличие α -, γ -, а также аморфной фазы.

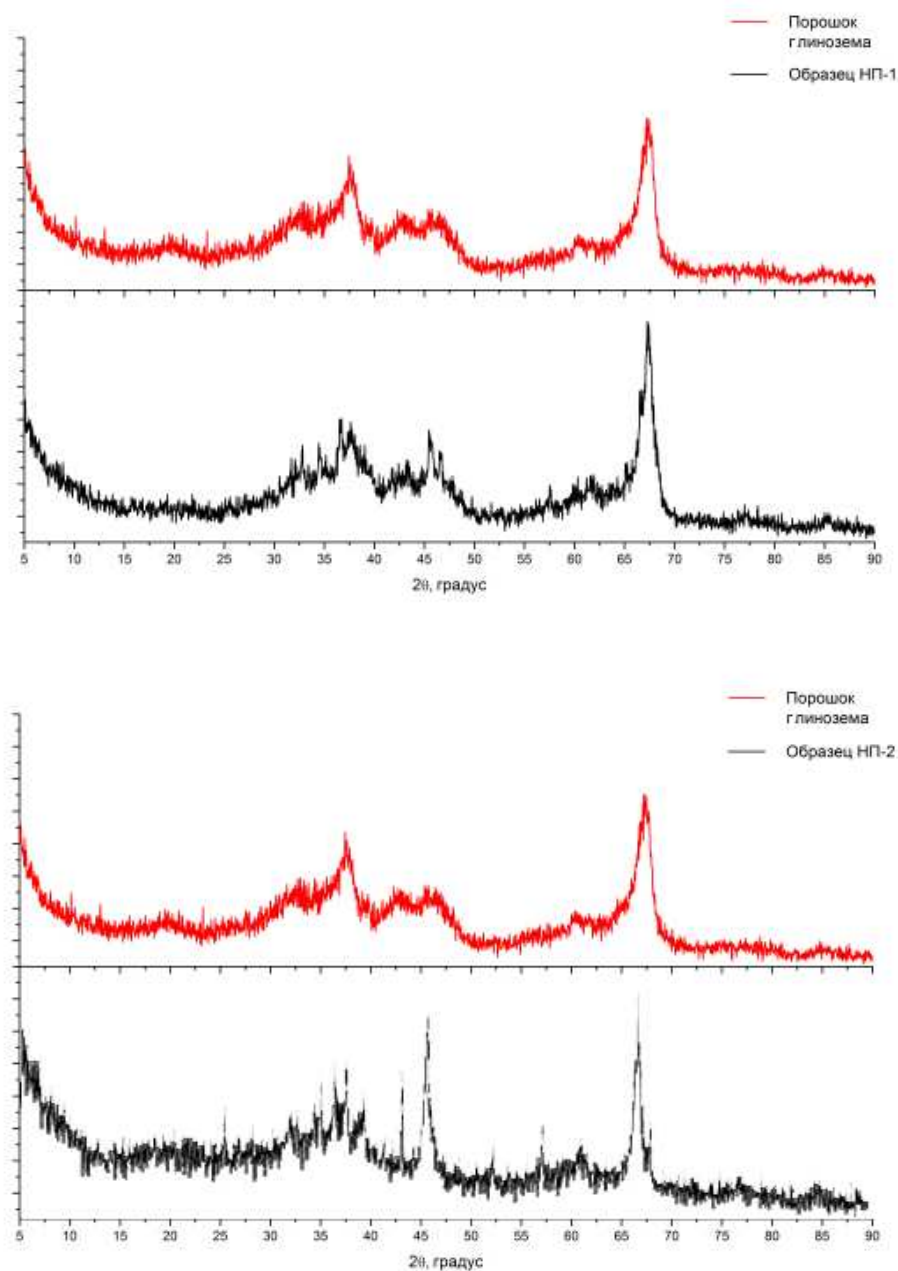


Рис. 1. Рентгенограммы образцов НП-1 и НП-2

Проведенный ДТА показал, что влияние добавки нанопорошка оксида алюминия НП-1 на фазовые превращения в глиноземе (рис. 2) проявляется в более яркой выраженности экзоэффекта в интервале 730–1 000 °С, а также в некотором уменьшении температуры максимума эффекта, соответствующего образованию α - Al_2O_3 . РФА такой смеси после термообработки показал содержание δ - Al_2O_3 и α - Al_2O_3 в соотношении примерно 5:1. Можно полагать, что появление δ -фазы обусловлено фазовым составом НП-1.

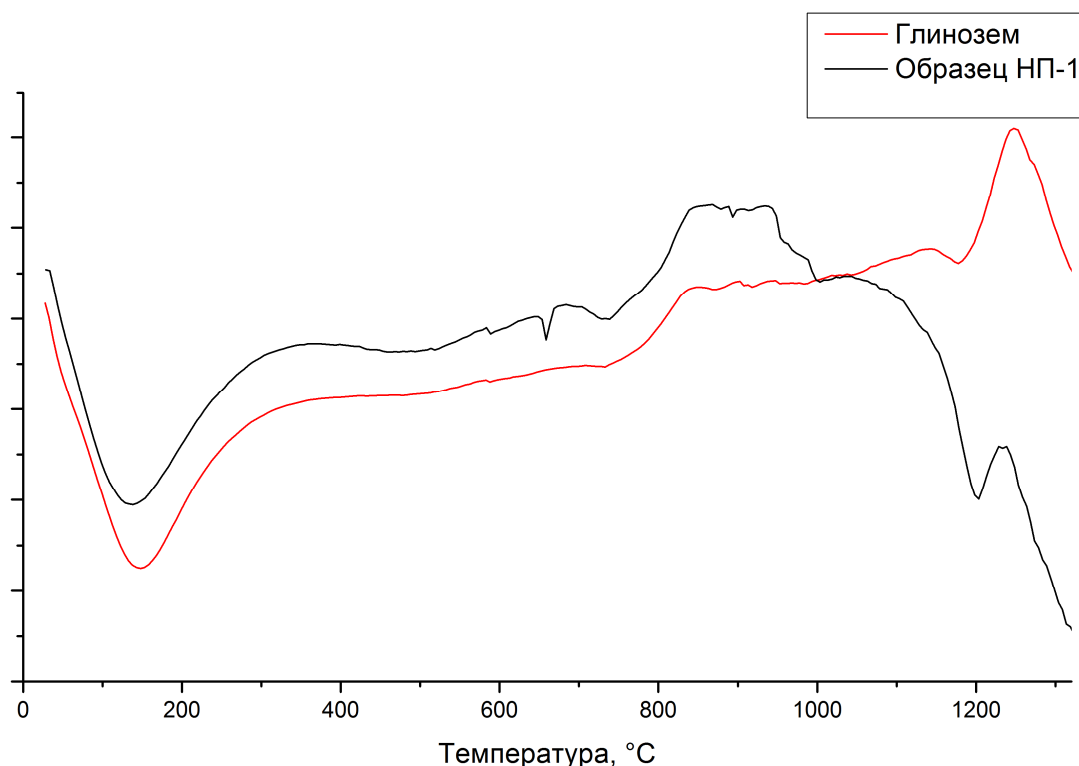


Рис. 2. Термограмма образца НП-1

Присутствие в смеси глинозема с НП-2 более разнообразного набора модификаций Al_2O_3 приводит к существенному изменению характера влияния на фазовые превращения в микропорошке глинозема.

Для данной смеси характерна более яркая выраженность экзотермического эффекта в области температур 400–700 °C, соответствующего кристаллизации γ -фазы Al_2O_3 . Кроме того, происходит смещение пика данного экзотермического эффекта в более высокотемпературную область по сравнению с микропорошком глинозема.

Данный результат противоречит традиционным представлениям о влиянии размера частиц на скорость фазовых и химических превращений в системах [1]. Такое явление замедления кристаллизации оксидных фаз при введении наночастиц, в случае если равномерное распределение определенного числа наночастиц в гетерогенной системе может препятствовать процессам кристаллизации аморфных компонентов и фазообразованию, уже описывалось в литературе [2]. Обнаруженный в [2] эффект объяснен пространственным блокированием зародышеобразования в рассмотренных системах.

Отличия фазового состава нанодисперсных добавок приводит к различию их влияния на фазовые превращения в микропорошке глинозема. Присутствие НП оксида алюминия ударно-волнового синтеза ускоряет образование δ -фазы, благодаря наличию в нанопорошке высокодисперсных хорошо окристаллизованных зародышей данной модификации Al_2O_3 . Добавка НП, полученного электровзрывным методом, оказывает малое влияние на образование δ -фазы, однако, благодаря пространственному блокированию зародышеобразования в данной системе, замедляет процесс кристаллизации γ -фазы.

Список литературы

1. Третьяков Ю. Д. Твердофазные реакции. М.: Химия, 1978. 359 с.
2. Альмяшева О. В., Гусаров В. В. Влияние нанокристаллов ZrO_2 на стабилизацию аморфного состояния оксидов алюминия и кремния в системах $ZrO_2-Al_2O_3$, ZrO_2-SiO_2 . Физика и химия стекла, 2006, т. 32. № 2. С. 224–229.

УДК 669.141.24

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНОВОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ

М. Р. Габдуллина, Д. К. Никифорова, М. Ф. Габдуллин

Научный руководитель: д-р техн. наук И. Р. Кузеев

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

В промышленности широко применяются углеродистые стали в термически обработанном состоянии, в частности после цементации, при которой используется диффузионное насыщение поверхностного слоя углеродом.

В работе С. В. Поповой, установлено, что после науглероживания в среде нефтяного пека происходит формирование фуллеренов и эндометаллофуллеренов, проникающих в подповерхностные слои, что приводит к значительному изменению свойств стальных образцов, обусловленных наноструктурированием поверхности. Так, металлофуллереновый поверхностный слой при науглероживании углеродистых сталей позволяет существенно снизить износ, увеличить прочность, повысить коррозионную стойкость.

Модифицирование поверхности осуществлялось в среде нефтяного пека, представляющего собой систему широкого углеводородного состава и отличающегося от других тяжелых остатков переработки нефти преимущественным содержанием высококонденсированных ароматических соединений. При умеренных температурах наблюдаются преимущественно процессы циклизации и поликонденсации углеводородов, входящих в состав сырья, последующей адсорбции высококонденсированных ароматических соединений поверхностью α -железа, дегидрированием адсорбированной молекулы асфальтена с дальнейшей самоорганизацией полученного графенового фрагмента в молекулу фуллерена.

Сформировавшись, фуллерены изменяют распределение напряжений в поверхностном слое, приводят к его деформации, как бы «сдвигая» отдельные атомы верхнего слоя металла. Впервые такая способность фуллеренов «зарываться» в поверхностный слой металла была обнаружена на примере серебра международной группой ученых и опубликована журнале *Physical Review Naturesx*.

Создание материала с поверхностным слоем, модифицированным наноразмерными частицами, является перспективным направлением. В настоящее время еще не до конца

изучено распределение молекул фуллеренов по глубине поверхностного слоя материалов. В связи с этим, актуальной задачей является более детальное изучение процесса формирования металлофуллеренового слоя в углеродистых сталях.

Применение энергодисперсионного спектрометра Oxford Inca Energy позволило определить химический состав образцов с модифицированным поверхностным слоем, по линии от края в глубину образца, в частности распределение углерода. Результаты микрорентгеноспектрального анализа поверхностного слоя образцов стали 20 после науглероживания в печи представлены на рис. 1.

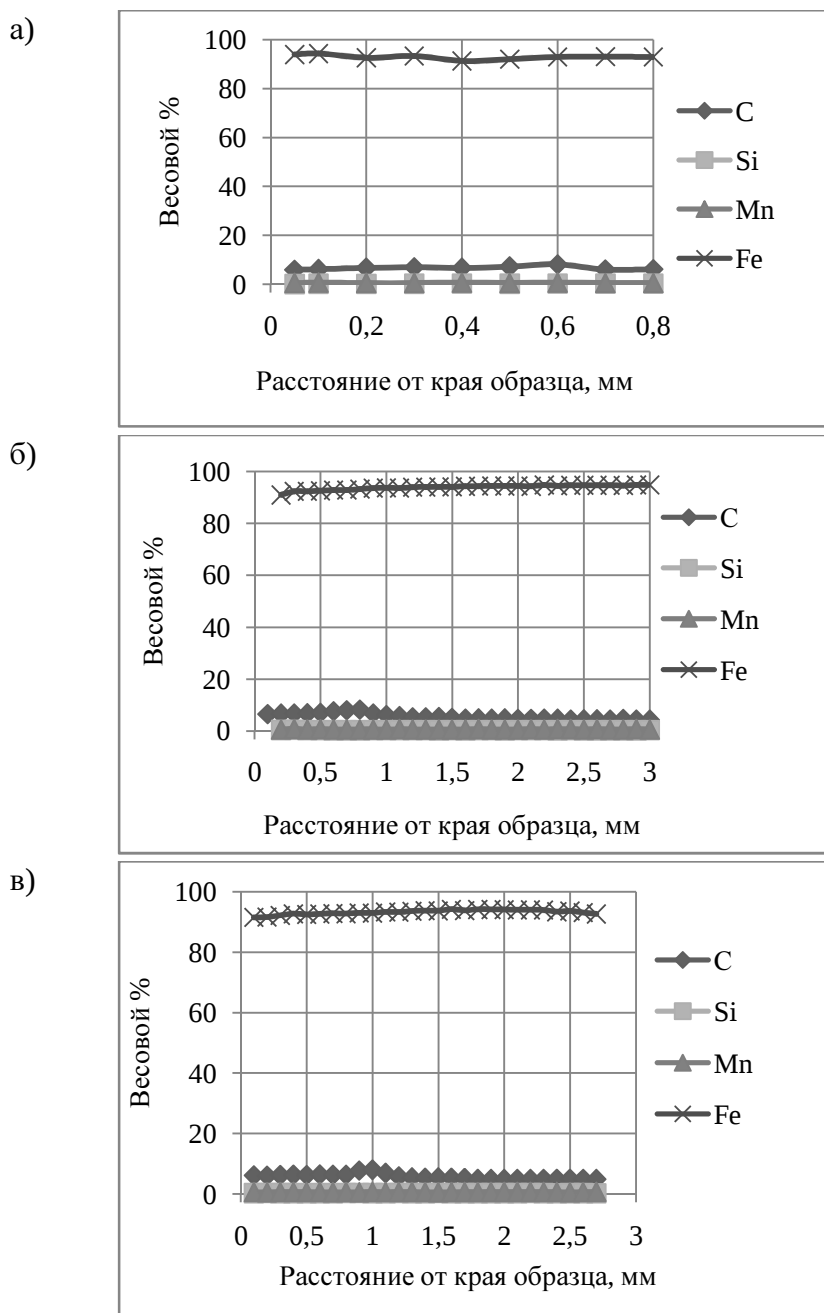


Рис. 1. Результаты микрорентгеноспектрального анализа поверхностного слоя образцов стали 20 после науглероживания в печи: а) 6 часов; б) 8 часов; в) 12 часов

Микрорентгеноспектральным анализом установлено, что глубина диффузионного слоя науглероженных образцов увеличивается с увеличением времени науглероживания, как показано на графиках на рис. 1. Распределение других элементов (Cr, Si, Fe) существенно не влияет на диффузию углерода.

Предположительно, процесс диффузии происходит по следующей схеме: образование углеродных кластеров – образование фуллеренов – поглощение фуллеренов поверхностью – движение фуллеренов вглубь материала.

Таким образом, при реализации такой схемы диффузионного насыщения следует ожидать увеличение микротвердости на соответствующем расстоянии в поверхностном слое. Графики распределения микротвердости по глубине образца приведены на рис. 2.

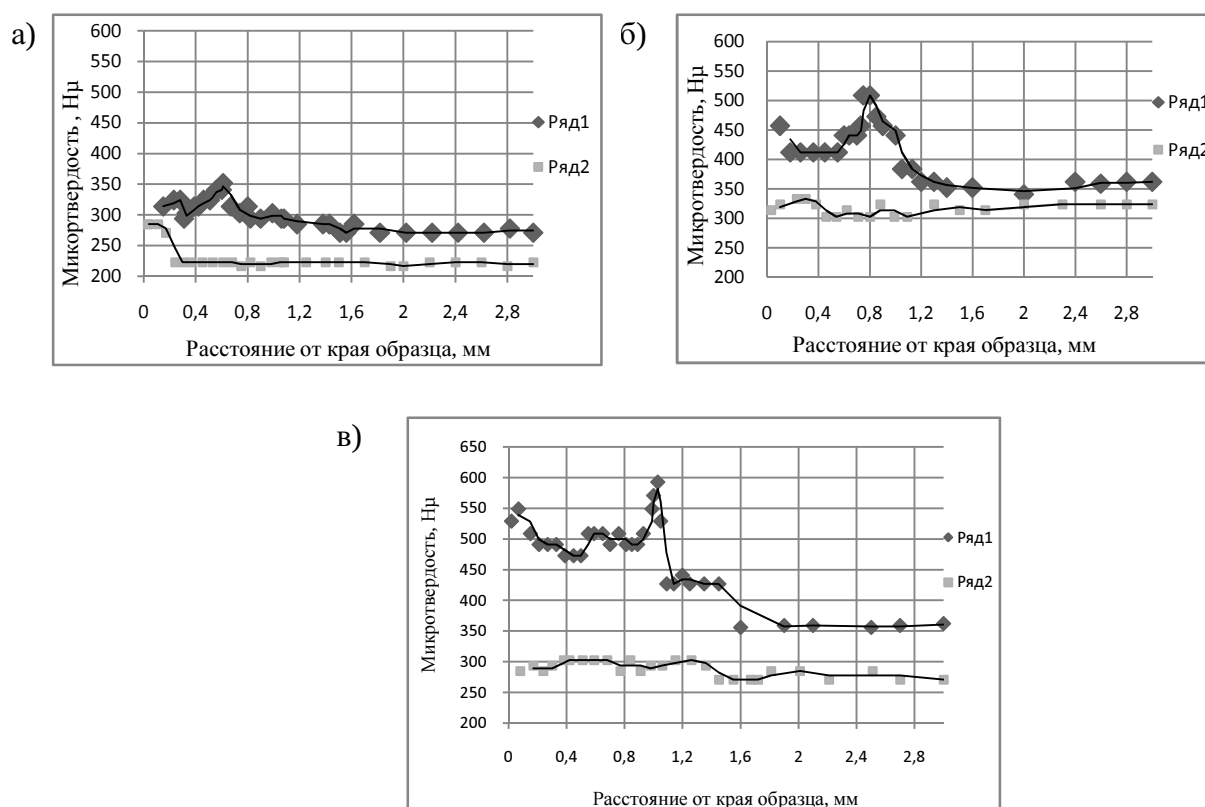


Рис. 2. Распределение микротвердости по толщине образца стали 20 (ряд 1 образцы, науглероженные в среде нефтяного пека, ряд 2 – образцы термообработанные в печи без карбюризатора).

Время выдержки: а) 6 часов; б) 8 часов; в) 12 часов

На графиках распределения микротвердости по глубине термодиффузионного слоя видно, что после науглероживания график имеет экстремум, где, вероятно, количественное содержание фуллеренов максимально. В зависимости от времени науглероживания этот экстремум наблюдается на расстоянии 0,6; 0,8; 1,0 мм соответственно.

В соответствии с распределением углерода и микротвердости была снята стружка для приготовления проб, для дальнейшего анализа количественного содержания фуллеренов по глубине металлофуллеренового слоя.

Используя методику идентификации и выделения фуллеренов C_{60} из железо-углеродистых сплавов, разработанную С. В. Поповой, были получены зависимости распределения количества фуллеренов по глубине образца стали 20.

ИК-спектральный анализ всех исследуемых проб показал наличие фуллеренов C_{60} .

Для определения содержания фуллеренов была использована методика оценки фуллеренов C_{60} в пробах из железо-углеродистых сплавов, разработанная в работе О. И. Ткаченко. В ее основе лежит зависимость интенсивности частоты колебаний в спектре от их концентрации в пробе.

Анализ распределения количества фуллеренов по сечению образца подтверждает, что глубина науглероженного слоя увеличивается с увеличением времени науглероживания (рис. 3).

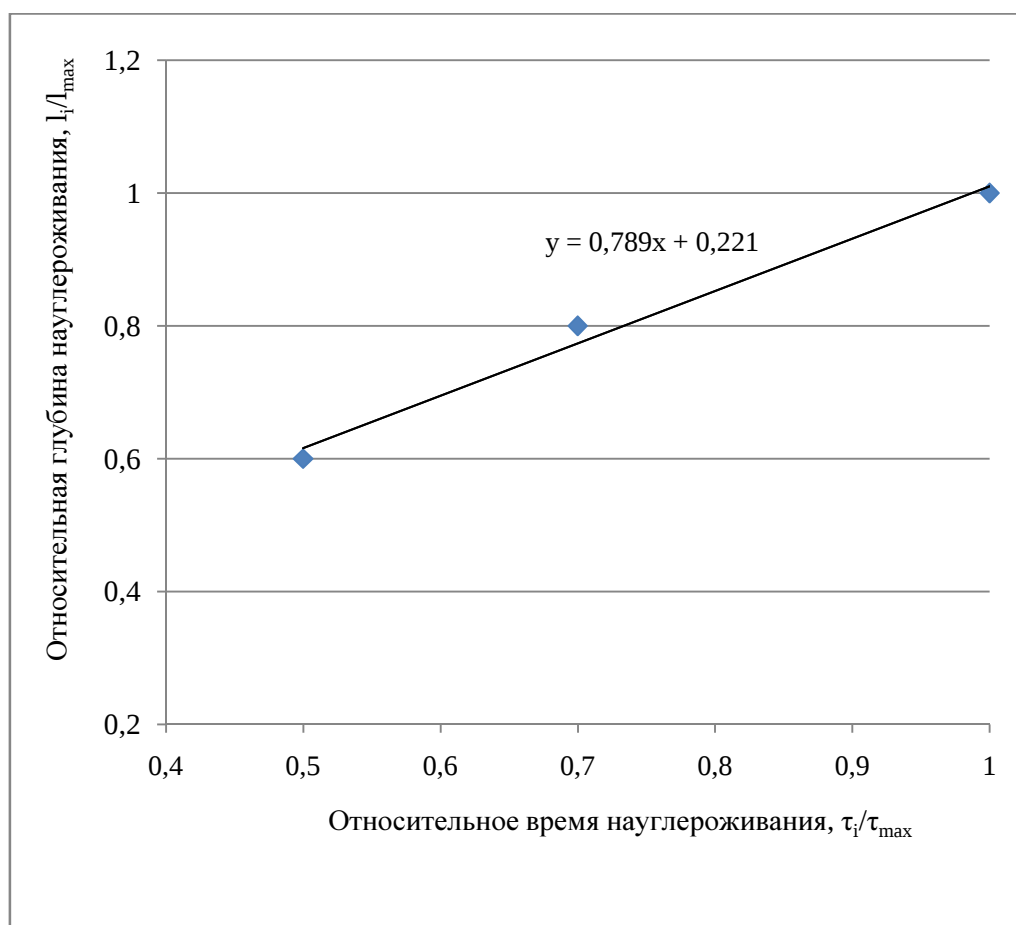


Рис. 3. Зависимость относительной глубины науглероживания от относительного времени науглероживания

Таким образом, расчет количества фуллеренов показал, что фронт, где количественное содержание фуллеренов максимально, смещается вглубь образца по мере увеличения времени науглероживания.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований впервые установлено наличие и распределение фуллеренов по глубине металлофуллеренового поверхностного слоя.

ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНОГО СЕРЕБРА, СТАБИЛИЗИРОВАННОГО БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

**А. Н. Денисов³, Д. В. Ходарев², Е. А. Коробкова³,
П. М. Жеребин¹, А. И. Климов¹, Ю. А. Крутяков^{1,3}**
Научный руководитель: д-р хим. наук Г. В. Лисичкин

¹*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова*

²*Вологодский государственный педагогический университет*

³*Группа компаний «АгроХимПром»*

Известно, что лечение инфекционных заболеваний животных подчас является весьма трудоемкой задачей, а применение многих традиционных антибактериальных препаратов, оказывающих токсическое влияние на печень, почки и кишечник, оказывается недостаточно эффективным. Нередко встречаются заболевания кишечника, вызванные инвазией простейших или другими высококонтагиозными инфекциями. Они могут проявляться конъюнктивитами, гингивитами, диареями, ринитами, отитами и прочими осложнениями. Лечение таких инфекций представляет большую трудность не только в связи со сложностью его проведения, связанной в том числе с условиями содержания животных, но и по причине высокой стоимости применяемых лекарственных средств.

С антибактериальными свойствами серебра человечество знакомо с незапамятных времен. В невысоких концентрациях серебро, оставаясь губительным для большинства бактерий и вирусов, вполне безопасно для клеток и тканей млекопитающих. Возросший в последнее время интерес к наносеребру связан, прежде всего, с появлением и распространением патогенных микроорганизмов с множественной лекарственной устойчивостью, в том числе к антибиотикам последнего поколения. В то же время, патогенные микроорганизмы, вызывающие инфекционные и воспалительные заболевания животных, не способны вырабатывать лекарственную устойчивость к коллоидному серебру, что выгодно отличает его от других действующих веществ. Помимо губительного действия на патогенные микроорганизмы коллоидное серебро способно стимулировать процессы регенерации незаживающих участков кожи (раны, ожоги, язвы, укусы насекомых, другие поражения различной, в том числе инфекционной, этиологии), что делает его незаменимым при местном лечении очаговых поражений кожных покровов и слизистых оболочек организма животного. Коллоидные частицы серебра обуславливают пролонгированное антибактериальное действие препаратов на его основе по сравнению с кратковременным эффектом, оказываемым солями серебра, четвертичными аммонийными соединениями, гуанидинами и другими антисептиками, используемыми по отдельности.

Авторами разработана серия инновационных антисептических препаратов, основным действующим веществом которых являются частицы коллоидного серебра,

стабилизированные различными биологически активными веществами – четвертичными аммонийными соединениями, амфотерными ПАВ, полимерными гуанидинами, углеводами и некоторыми другими. При создании препаратов использовались следующие соображения. Достоверно известно, что не существует специфических механизмов действия наночастиц серебра на различные виды бактерий (за исключением необходимости проникновения через дополнительную внешнюю липополисахаридную мембрану грамотрицательных бактерий). Исходя из этого можно заключить, что большинство бактерий, проявляющих резистентность к антибиотикам или не обладающих таковой, будут подвергаться губительному воздействию наносеребра. Это свойство, несомненно, является преимуществом, так как, модифицируя коллоидное серебро (наночастицы серебра) антибактериальными агентами, можно получить препараты, обладающие широким спектром активности (по сравнению с антибиотиками) в сочетании с мягким воздействием на организм (по сравнению с немодифицированным коллоидным серебром). Кроме того, в ряде случаев возможно также получение синергетического эффекта, складывающегося из эффектов как серебра, так и поверхностного биологически активного модификатора.

Одним из ярких результатов многолетних исследований физико-химических и биологических свойств препаратов наносеребра явилось создание ветеринарного лекарственного средства Аргумистин[®], в который в качестве действующего начала входит коллоидное серебро, модифицированное биологически активным хлоридом бензилдиметил[3-(миристоиламино)-пропил]аммония – действующим веществом многих традиционных антисептических лекарственных средств. Хлорид бензилдиметил[3-(миристоиламино)-пропил]аммония, действуя как типичное ПАВ, взаимодействует с клеточной мембраной, уменьшая ее стабильность и увеличивая проницаемость. Есть сведения, что по аналогичному механизму действуют и наночастицы серебра. Было показано, что совместное действие ПАВ и наночастиц приводит к взаимному увеличению антибактериальной активности. Можно предположить, что хлорид бензилдиметил[3-(миристоиламино)-пропил]аммония (свободный или находящийся на поверхности наносеребра), взаимодействуя с клеточной стенкой, ослабляет защитный липополисахаридный или пептидогликановый барьер бактерии и способствует более легкому и быстрому проникновению наночастицы внутрь бактериальной клетки. Этим можно объяснить положительное синергическое действие коллоидного серебра и хлорида бензилдиметил[3-(миристоиламино)-пропил]аммония, проявляющееся в том, что стабилизированные этим ПАВ наночастицы в отношении *E. coli* имели минимальную подавляющую концентрацию в 10 раз меньшую, чем чистое коллоидное серебро, и в 20 раз меньшую, чем само ПАВ.

Основываясь на результатах антибактериальных тестов Аргумистина[®] *in vitro*, в 2011–2013 гг. на базе нескольких ветеринарных клиник г. Москвы, ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины», животноводческих комплексов Алтайского края проводились его широкие ветеринарные испытания. Последние показали высокую эффективность в лечении упоминаемых в начале работы заболеваний, а кроме того в лечении и профилактике нагноений, случайных и хирургических ран, поверхностных и глубоких ожогов, кандидозов кожи и слизистых оболочек. Препарат

Аргумистин[®] использовался в универсальной форме в виде водного коллоидного раствора, что выгодно отличает его от сульфадиазина серебра, получить который в устойчивой водной форме невозможно. В разведенном состоянии Аргумистин[®] применялся перорально, в качестве глазных капель, интраназальных капель, капель для ушей, а в концентрированном виде для обработки десен, открытых ран, инфицированных, хирургических ран в качестве антисептика.

Наиболее показательны результаты клинических исследований при рассмотрении пяти групп проявлений заболеваний: риниты, гингивиты, конъюнктивиты, энтериты, раневые поверхности. Следует отметить, что при лечении ринитов вирусной и смешанной этиологии в 70 % случаев потребовалось назначение комплексного лечения с присоединением иммуномодуляторов и общеукрепляющих средств. Но ни у одного из наблюдаемых животных не отметились осложнений после перенесенного заболевания. Побочных эффектов в группе обследуемых не наблюдалось.

Испытания показали высокую эффективность препарата Аргумистин[®] в лечении упомянутых выше заболеваний, а кроме того в лечении и профилактике нагноений, случайных и хирургических ран, поверхностных и глубоких ожогов, кандидозов кожи и слизистых оболочек.

УКД 699.865

ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

Н. Н. Жданов

Научный руководитель: д-р хим. наук Р. М. Гарипов

Казанский национальный исследовательский технологический университет

При строительстве новых зданий и реконструкции существующего жилого фонда резко возросла потребность в теплоизолирующих материалах в связи с необходимостью приведения теплозащиты в соответствие с современными нормами [1]. Актуальность этой проблемы обусловлена также низкой среднегодовой температурой окружающей среды и значительной длительностью отопительного сезона.

Применение в строительстве традиционных теплоизоляционных материалов для утепления жилых сооружений требует применения специальных конструкций для крепления, что неэффективно, так как крепежные элементы создают своего рода «мостики холода». Использование для теплоизоляции минеральных или органических материалов в виде матов требует обязательного применения антикоррозионной защиты поверхности, использования специального гидроизоляционного покрытия, что приводит к существенному удорожанию работ. Волокнистые теплоизоляционные материалы имеют в сухом состоянии неплохие теплоизоляционные свойства. Коэффициент теплопроводности многих из них находится

в пределах 0,026–0,050 Вт/(м К) [2]. Несмотря на проведение мероприятий по гидрофобизации, открытые поры волокнистых теплоизоляционных материалов, применяемых в наружных ограждающих конструкциях зданий, доступны для проникновения влажного воздуха. При достижении точки росы из влажного воздуха конденсируется вода и удерживается в порах, приводя к увлажнению всего материала. Повышение влажности теплоизоляционных материалов приводит к увеличению теплопроводности, появлению коррозии, развитию плесневых грибков и, в конечном итоге, к снижению срока службы материала.

Одним из путей устранения существующих недостатков является применение новых высокоэффективных теплозащитных композитных материалов.

Комплексные исследования проблемы создания и применения теплоизоляционных покрытий для снижения потерь тепловой энергии позволили разработать жидкий теплозащитный состав на основе полимерной композиции, полых стеклянных или керамических микросфер и функциональных наноразмерных наполнителей.

Полые алюмоборсиликатные микросферы образуют замкнутые, наполненные воздухом поры и обеспечивают высокие теплозащитные характеристики теплозащитного покрытия. Полые стеклянные микросферы размером от 10 до 100 мкм с насыпной плотностью 0,18–0,35 г/см³ непроницаемы для паров и конденсированной влаги, благодаря чему покрытие имеет низкую водопроницаемость, которая не зависит от срока эксплуатации. Малая чувствительность теплозащитного состава к воздействию воды делает незаменимым этот вид теплоизоляции при защите теплопроводов в затопляемых местах, например, в подвалах домов.

Коэффициент теплопроводности теплозащитного материала на основе полых стеклянных микросфер составляет 0,075 Вт/(мК) [3], что является неплохим показателем, но все-таки недостаточным для конкуренции с другими теплоизоляторами. Одним из способов снижения коэффициента теплопроводности является введение в теплозащитный состав функциональных добавок. В данной статье мы проанализировали влияние наноразмерного политетрафторэтилена (флуралита) на теплофизические свойства теплозащитного покрытия на основе полых стеклянных микросфер.

«Флуралит» ТУ 2213-001-42515356-2005 – нанодисперсный порошок с малым молекулярным весом. Флуралит инертен практически ко всем химикалиям и растворителям, устойчив к ультрафиолетовому и атмосферному воздействию, не поглощает влагу.

Получение продукта состоит в обработке фторопласта марки Ф-4 нагревом, приводящей к переводу блочного полимера в мелкодисперсную фазу. Нагрев и испарение фторопласта осуществляют в реакторе с псевдокипящим слоем, создаваемым путем пропускания через слой фторопласта потока инертного газа, нагретого до определенной температуры.

По литературным данным в составе частиц наблюдаются две фторполимерные фракции с различной молекулярной массой, что обуславливает особенности термогравиметрического поведения флуралита. Рентгеновскими исследованиями обнаружено присутствие кристаллической и аморфной фаз. Кристаллическая фаза образована упаковкой спиральных фторуглеродных макромолекул. Наблюдаемые

особенности рентгеновских дифрактограмм отображают разупорядочение CF₂-группировок, связанное с их вращением вокруг оси макромолекулы. Спектроскопические исследования показали, что в составе макромолекул, в первую очередь низкомолекулярной фракции, имеются –CF₃- и –CF = CF₂-группы, последние являются концевыми и обеспечивают малые размеры макромолекул. В этом состоит отличие по микроскопическому строению макромолекул продукта «ФЛУРАЛИТ» от промышленного ПТФЭ марки Ф-4, из которого он производится. Наличие низкомолекулярной фракции, растворимой в сверхкритическом диоксиде углерода, дает возможность использовать материал для получения наноразмерных покрытий, способных обеспечить сверхгидрофобность поверхности [4].

У «Флуралита» аморфная структура, кольцевая формула строения позволяет избежать присоединения к концам молекул кислотных остатков, которые могут вызывать нежелательные химические реакции, взаимодействуя с другими материалами.

Отличие физико-химических свойств «Флуралита» от других аналогичных фторопластов дает возможность его использования при производстве тонкодисперсных материалов и плёнообразующих покрытий. Покрытие работает как антифрикционная и антипригарная защита [4].

Для определения влияния наноразмерного политетрафторэтилена на коэффициент теплопроводности теплозащитного покрытия на основе полых стеклянных микросфер было изготовлено 5 образцов с разным содержанием флуралита (0 %, 3 %, 5 %, 10 %, 12 %).

Измерение коэффициентов теплопроводности образцов (размером 10x10 см) проводили при комнатной температуре. Для измерения теплопроводности образцов использовали прибор ИТП-МГ4-100, предназначенный для определения теплопроводности строительных материалов, а также материалов, предназначенных для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при стационарном тепловом режиме [5]. Прибор обеспечивает определение коэффициента теплопроводности в диапазоне от 0,02 до 1,5 Вт/(м К).

На рис. 1 приведена зависимость коэффициента теплопроводности от количества введенного наноразмерного политетрафторэтилена.

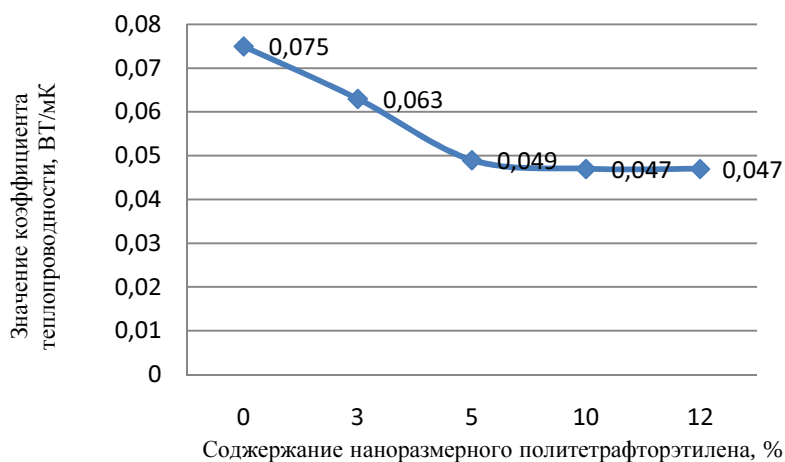


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности от количества введенного наноразмерного политетрафторэтилена

Нами показано, что применение наноразмерного политетрафторэтилена в качестве добавки, улучшающей коэффициент теплопроводности в пористой системе, эффективно. Резкое уменьшение коэффициента теплопроводности происходит при введении до 5 % наноразмерного политетрафторэтилена, далее коэффициент меняется незначительно. При введении более 12 % наблюдается появление трещин на покрытии.

Список литературы

1. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
2. Теплоизоляционные материалы и конструкции / Ю. Л. Бобров [и др.]. М.: Инфра-М, 2003. 244 с.
3. Гарипов Р. М., Жданов Н. Н., Фатхутдинов Р. Х., Уваев В. В. и др. Теплофизические характеристики увлажненных теплозащитных материалов / Вестник КНИТУ-2013 № 15. С. 49–52.
4. Бузник В. М., Гришин М. В., Вopilов Ю. Е., Игнатъева Л. Н. и др. Особенности строения порошковой формы политетрафторэтилена марки «ФЛУРАЛИТ» / Перспективные материалы-2010. № 1. С. 63–67.
5. ГОСТ 26589-94 Мастики кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний. Введ. 1996-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1996. 32 с.

УДК 537.622.4

МИКРО- И НАНОДИСКРЕТИЗАЦИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК В ГРАДИЕНТНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ

З. В. Иванова

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доц. ВАК, Б. В. Васильев

Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева

Синтез пленок осуществлялся методом термического вакуумного осаждения монометалла на подложку ($p \approx 10^{-6}$ торр). Процессы формирования пленок как в однородных условиях (одинаковая температура подложки во всех ее точках), так и в тепловом поле градиента температуры (неоднородные условия) изучались на пленках ферромагнитных металлов (Fe, Co, Ni). В качестве подложек использовались слюда или кварцевое стекло толщиной 0,1–0,2 мм и линейными размерами 5–20 мм, а также сколы кристаллов MgO, NaCl, KCl, LiF/NaCl размером 1×2 см. Толщина пленок контролировалась методами рентгеновского флуоресцентного анализа, а также интерференционным и резонансным методами.

Неоднородные условия синтеза формировались путем нагрева одного края (центра) подложки и охлаждения другого края (периферии) [1, 2]. Градиент температуры теплового поля вдоль подложки создавался проволочным нагревателем и тепловой медной маской с дискообразным отверстием.

Структурные исследования проводились на электронном микроскопе.

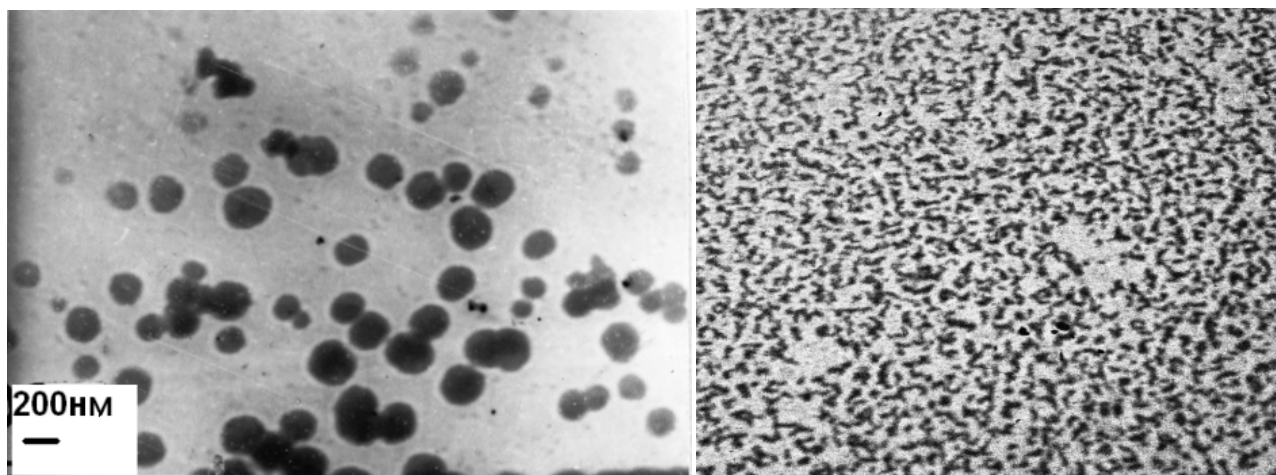
При непрерывной конденсации металла и толщине осадка, меньшей критической ($d < d_{кр}$) на подложке формируется клиновидная сплошная пленка. При этом в области большего нагрева, откуда происходит сток тепла, пленка является структурно более однородной и крупнокристаллической. На периферии же, куда стекает тепло, пленка более мелкозернистая и менее однородная. Откуда следует, что при нормальном осаждении атомарного пучка металла на подложку и постоянной скорости конденсации скорость роста и формирования пленки в более нагретых областях пленки меньше, чем на периферии, т. е. формирование пленки в неоднородном температурном поле зависит как от массопереноса, так и от интенсивности поступления атомов вещества и тепла к подложке. В отсутствие же градиента температуры скорость роста пленки по координате постоянна.

По достижении конденсируемой пленкой критической толщины ($d = d_{кр}$) происходит превращение сплошной клиновидной пленки в пленку островкового типа, которое осуществляется посредством процессов, связанных с образованием и развитием пористости в пленке. При этом свойства пленки в приграничных областях металл-пора резко отличаются друг от друга, т. е. наблюдаются скачки модулей упругости, электропроводности, остаточных напряжений, оптических свойств и т. д. Различаются и тепловые свойства. В области поры возникает локальный перегрев по сравнению с областью заполненной металлом из-за его высоких теплопроводности и теплоотдачи. В целом с возникновением микропор при некоторой средней температуре в пленке самопроизвольно появляются перегретые места и области с пониженной температурой.

В результате на внешнее НТП накладывается тепловое поле, обусловленное неоднородным распределением металла по подложке, что приводит к быстрому росту размера микропор, их коалесценции, образованию макропор и трещин. Пористая пленка как бы стягивается в металлические островки. При этом видоизменяется и направление стоков вещества. Если на начальной стадии, стадии утончения сплошной пленки массоперенос осуществляется на большие расстояния ($\sim 1\text{--}2\text{ см}$) из наиболее нагретых областей пленки на периферию, то теперь в ходе развития пористости и формирования островковой пленки массоперенос осуществляется и между островками на расстояние порядка толщины исходной пленки. При этом островки малого размера («горячие») поглощаются более крупными («холодными»).

Для ферромагнитных монометаллов (Fe, Co, Ni) величина $d_{кр}$ лежит в интервале толщин 5–50 нм и зависит от физико-технологических условий синтеза пленок (степени пересыщения, скорости конденсации, температуры подложки, типа подложки, градиента температур, структуры пленки, ее однородности по толщине и т. д.). В результате этого превращения на подложке может быть получен однослойный и плоский ансамбль, изолированных частиц железа микронного размера.

Дискретное осаждение отдельных порций металла на подложку с временной задержкой порядка 30–60 с в НТП способствует образованию не сплошной пленки ферромагнитных монометаллов, т. е. изначально при дискретном осаждении формируется рыхлая, неоднородная и не сплошная пленка с развитой поверхностью, состоящая из отдельных металлических зерен размером 1–10 нм (рис. 1).



а

б

*Рис. 1. Однослойные ансамбли частиц железа. Непрерывная (а) и дискретная (б) конденсация металла на подложку. Толщина отдельного слоя (дискретная конденсация) порядка 10 нм.
Общая толщина осадка 60 нм*

Таким образом, используя режимы непрерывной или дискретной конденсации на подложке возможно формирование ансамблей с частицами разного поперечного размера и поверхностной плотности.

Если на подложку с ансамблем частиц производить дополнительное осаждение металла в НТП при повышенных температурах ($t_n \geq 300^\circ\text{C}$), то влияние атомарного пучка приводит к уменьшению концентрации частиц в ансамбле и увеличению их размера. При этом частицы приобретают неправильную форму, образуя в ансамбле некую сетчатую структуру, состоящую из фигур замкнутой формы, которая в дальнейшем превращается в пленку с сильно развитой поверхностью.

В заключении можно констатировать, что неоднородное температурное поле в значительной степени влияет на процесс формирования осадка 3d-металлов на поверхности подложки. Возрастает продолжительность стадии коалесценции металлических островков и уменьшается скорость роста пленки. Тем самым появляется возможность управления эволюционными процессами, происходящими в ансамблях островков и, соответственно, параметрами роста пленки. Эта возможность основана на том, что на стадии коалесценции ансамбль островков вступает в своеобразное взаимодействие с обобщенными диффузионно-тепловыми полями, образующимися на поверхности подложки, и потоками атомов, конденсируемых на нее.

Список литературы

1. Васильев Б. В. V1 Международная конференция «Современные методы и технологии создания и обработки материалов», г. Минск, 2011. С. 63–67.
2. Васильев Б.В. 1VМеждународная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов», г. Москва, 2011. С. 518–520.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ОТХОДОВ

В. В. Исаев

Научный руководитель канд. техн. наук В. Е. Редькин

Сибирский федеральный университет

Получение любого материала из отходов всегда будет очень актуальным и полезным, так как решаются как минимум две проблемы: устранение нехватки необходимого материала и уменьшением суммарного количества отходов. Такой материал будет дешевле его аналогов. Цена стружки в десятки раз меньше стоимости основного материала. Предлагается использовать измельченную стружку в качестве основного компонента или добавок в матрицы композиционных материалов.

Для исследования и разработки материала, была взята стружка после фрезерования корпусов режущего инструмента – фрез для обработки древесины. Материал корпуса – алюминиевый деформируемый сплав Д16 (ГОСТ 4784-97) [1].

Таблица 1

Общие данные [2]

Марка	Д16
Классификация	Алюминиевый деформируемый сплав
Применение	для силовых элементов конструкций самолетов, кузовов автомобилей, труб и т. д.; для деталей, работающих при температурах до –230 °С.

Таблица 2

Химический состав в % материала Д16 [2]

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей	-
до 0,5	до 0,5	0,3–0,9	до 0,1	до 0,15	90,9–94,7	3,8–4,9	1,2–1,8	до 0,25	прочие, каждая 0,05; всего 0,15	Ti + Zr < 0,2

Примечание: Al – основа; процентное содержание Al дано приблизительно.

В первоначальном виде стружка малоприспособна для создания композиционного материала – крупные частицы не обеспечат нужные характеристики. Поэтому стружку нужно измельчить каким-либо образом. В данной работе использовалось механическое измельчение с помощью конусной инерционной дробилки КИД-30. Если необходимы более мелкие частицы, можно сделать несколько проходов, т. е. пропускать через дробилку уже измельченные частицы.

В результате измельчения получается порошок алюминия. Однако он содержит частицы разного диаметра. Используя такой порошок, мы не сможем в достаточной степени регулировать необходимые характеристики. Поэтому необходимо разделить порошок на разные группы по размерам. В данной работе использовался ситовый анализ [3]. Результаты просеивания представлены на рис. 1.

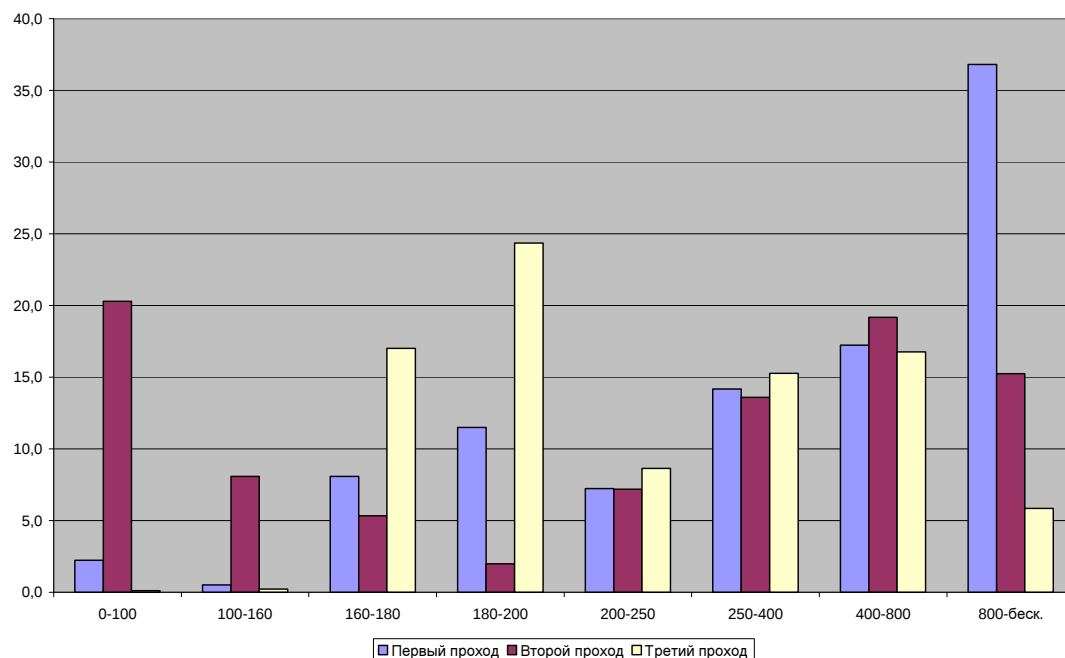


Рис. 1. Сравнение распределения массы частиц по размерам всех проходов. По вертикальной оси отложены граммы, по горизонтальной – диапазоны размеров в микронах

После просеивания были получены три группы порошка: от 800 микрон, от 200 до 800 микрон, до 200 микрон. На рис. 2 показаны фотографии стружки и порошки после 1-го, 2-го и 3-го проходов.

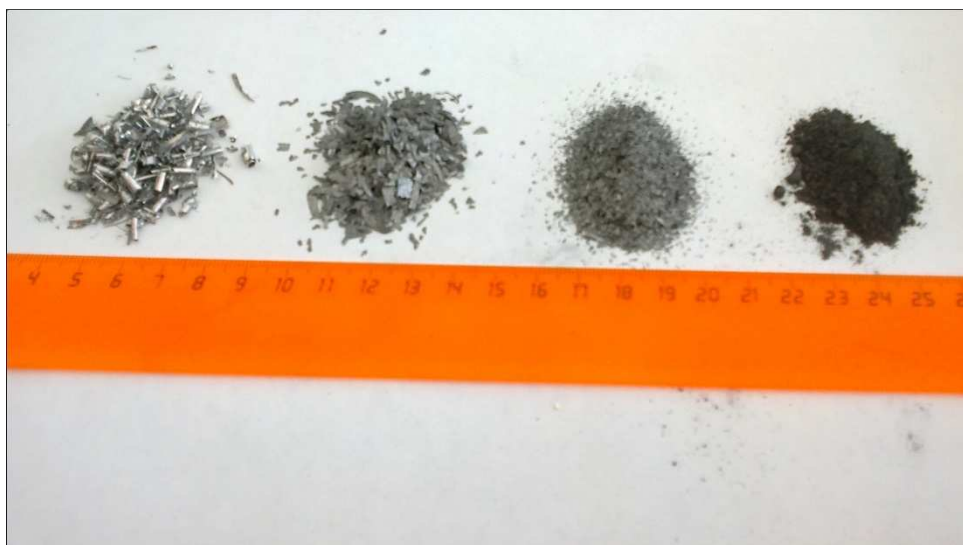


Рис. 2. Фотография стружки (крайняя слева) и порошков всех трех проходов

Полученный порошок может быть рекомендован для упрочнения или модифицирования композиционных материалов на металлической и полимерной матрице.

В работе был предложен композиционный материал следующих составов: 1 состав (Fe 10 %, Pb 5 %, Cu 20 %, остальное алюминиевый порошок) и 2 состав (Fe 20 %, Pb 2 %, Cu 10 %, остальное алюминиевый порошок). Для данных составов использовался порошок второй группы (от 200 до 800 микрон).

Цилиндрические образцы по 4 заготовки каждого состава (13 мм диаметром и высотой 15 мм) получали методами порошковой металлургии [4]. Прессование осуществляли с помощью винтового механического прессы (усилие 6–8 т). Спекание производили в камерной электропечи сопротивления (СНОЛ-1,6.2,5.1,9-ИЗ) в воздушной атмосфере. Предполагается, что при спекании кислород еще больше прореагирует с алюминием на поверхности частиц порошка с образованием пленки оксида алюминия, что придает заготовкам большие термическую и механическую прочности. Режим спекания: в течение первых 25 мин печь нагревалась до 400 °С, после чего в течение 90 мин образцы выдерживались при этой температуре. Затем печь была выключена, и образцы охлаждались вместе с печью. Усадка полученных образцов по диаметру составила – 2,4 %, что говорит об увеличении линейных размеров в результате образования оксидов алюминия, меди, железа и свинца. Процентное содержание оксидов в образцах не устанавливалось (рис. 3).



Рис. 3. Спеченные образцы. Крайний слева – образец 1 состава. Остальные – образцы 2 состава

Предложена методика испытания полученных образцов на износостойкость на установке, разработанной в проблемной лаборатории ультрадисперсных материалов [5].

Список литературы

1. Машиностроительные материалы: крат. справ / под ред. В. М. Раскатова. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1980. 511 с.
2. Марочник стали и сплавов.

Режим доступа: http://www.splav.kharkov.com/mat_start.php?name_id=1438

3. ГОСТ 18318-94 (ПОРОШКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ.ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ СУХИМ ПРОСЕИВАНИЕМ).
4. Анциферов В. Н., Бобров Г. В., Дружинин Л. К. и др. Порошковая металлургия и напылённые покрытия / под ред. Б. С. Митина. М.: Металлургия, 1987. 792 с.
5. Патент на полезную модель № 61423 [РФ], G 01 № 3/56. Машина трения / В. Е. Редькин, А. В, Турушев, К. В, Авдеев. № 2006137590; заявл. 24.10.06; опубл. в Бюл. 27.02.07, № 6.

УДК 539.217.1:544.723.5

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА «УНИПОЛИМЕР» В ЭКОЛОГИИ

К. А. Лукьяненко, Д. И. Марьянчик, А. Г. Левченко, В. М. Мелкозеров

Научные руководители: д-р физ.-мат. наук П. И. Белобров,
канд. техн. наук С. И. Васильев

Сибирский федеральный университет

В Институте нефти и газа СФУ разработан полимерный композит серии «Униполимер» с уникальными характеристиками, которые нашли широкое применение в нефтегазовой отрасли [1]. Безотходная технология производства композита основана на физико-энергетическом и химическом способах получения высокочастотных вспененных композиционных материалов из синтезированных полимерных смол, поверхностно-активных веществ и катализаторов отверждения с последующей химической реакцией поликонденсации. Композит изготавливается в виде гранул, крошки, порошка, матов, бонов, фильтров и других формовочно-сорбирующих изделий.

Полимерный композит «Униполимер» предназначен в первую очередь для сбора нефтепродуктов с поверхности грунта и водной поверхности, он является гидрофобным (почти не впитывает воду) и олеофильным (впитывает нефть и нефтепродукты). Композит не тонет в полностью насыщенном состоянии и сорбирует: бензин, дизельное топливо, керосин, машинное масло, мазут, неподготовленную нефть, товарную нефть, метанол, неполярные жидкости, растворители, агрессивные соединения.

Как видно из табл. 1, полимерный композит серии «Униполимер» можно использовать многократно. Насыщенный композит после выжимки готов к повторному применению, т. е. он не загрязняется нефтью и нефтепродуктами. Экологическая безопасность композита «Униполимер» подтверждена Паспортом безопасности «Поропласты Композиционные» РПБ 581719.22.29284.

Время и скорость сорбции нефти (табл. 1) или других полимерных жидкостей композитом зависит от химического состава и вязкости разлитых жидкостей, температуры окружающей среды.

Таблица 1

Основные технические и эксплуатационные характеристики полимерного композита серии «Униполимер» при комнатной температуре [2]

Свойство	Значение
Плотность исходного сорбента	4–25 кг/м ³
Влажность	0–6 %
Плавучесть	100 %
Сорбирующая способность	43–67 г нефти/г сорбента
Скорость сорбции	0,8–1,5 мм нефти/с
Степень очистки грунта и водной поверхности	98–99,5 %
Возврат собранной нефти (нефтепродуктов) после выжимки	95–97 %
Рабочая температура	–25 + 300 °C
Десорбция	0 %
Биоразлагаемость	100 %
Пористость сорбента	47–88 %
Использование как субстрата для бактериального нефтяного окисления	Положительно

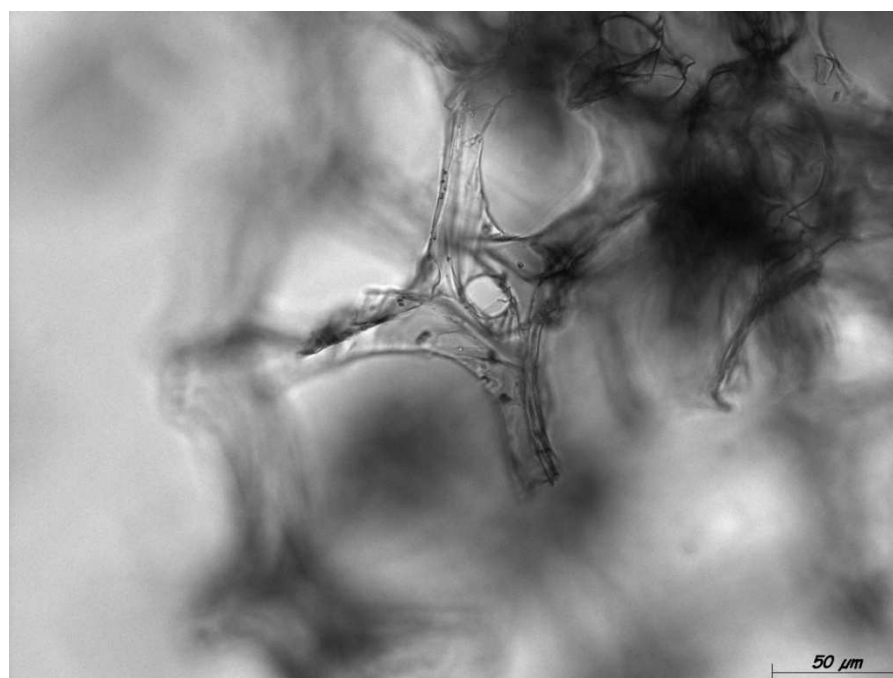


Рис. 1. Структура исходного композита плотностью ~6 кг/м³

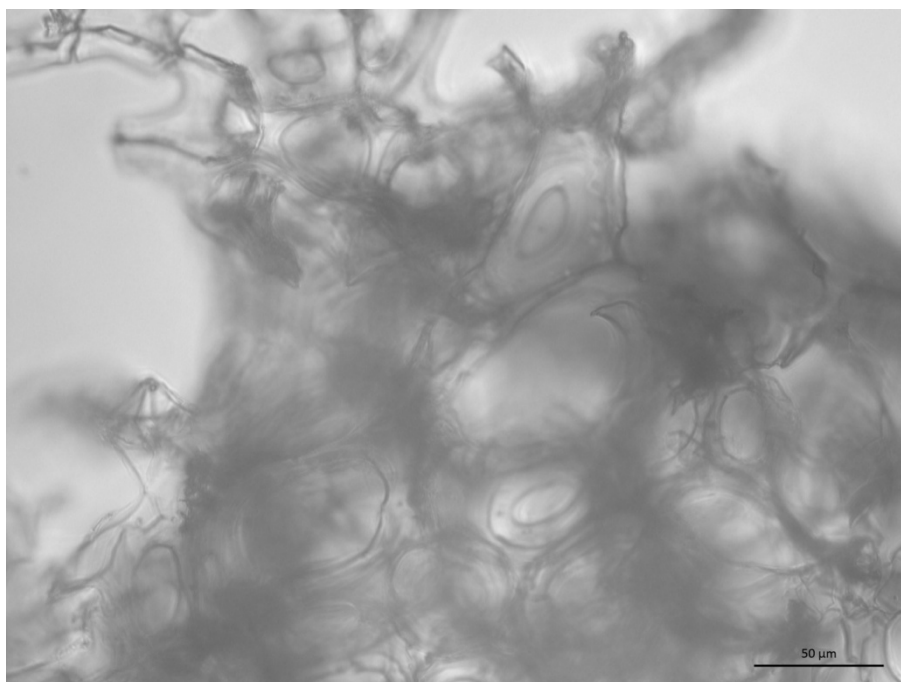


Рис. 2. Структура прессованного композита с плотностью $\sim 25 \text{ кг/м}^3$

При нагревании сорбционная емкость уменьшается, физические размеры сокращаются, а прочность повышается. Температура самовоспламенения нефти и нефтепродуктов в сорбированном виде превышает 290°C .

На рис. 1 представлена микрофотография исходного композита, обладающего ярко выраженной губчатой структурой. Прессованный композит, представленный на рис. 2, отличается более плотной, почти слоистой структурой и меньшим размером пор.

Оценка распределения пор по размерам представлена на рис. 3.

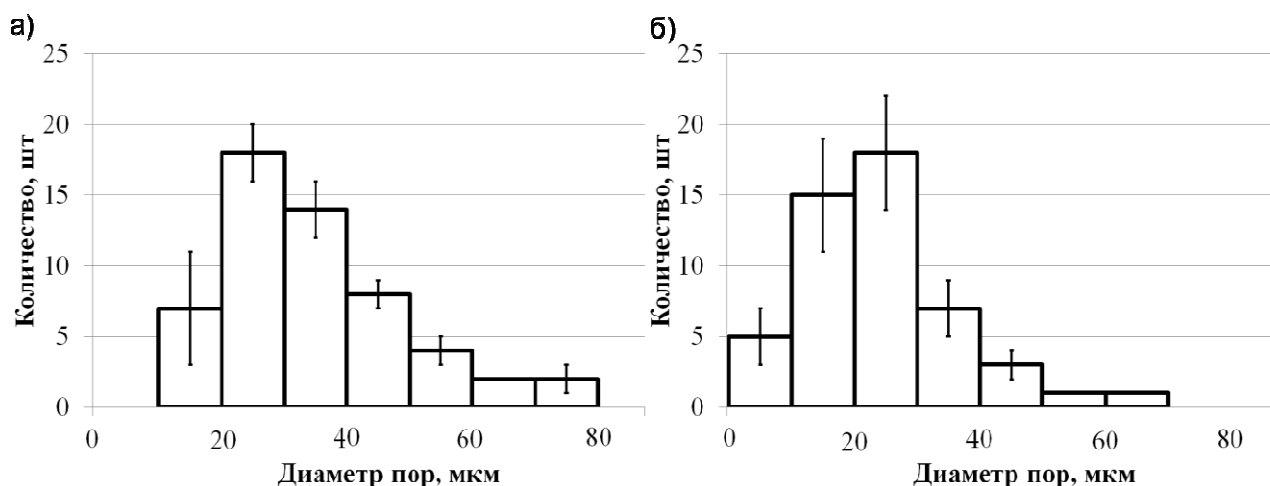


Рис. 3. Гистограммы распределения пор по размерам: а) исходный композит; б) прессованный композит. Погрешность измерения – $2,5 \text{ мкм}$

Видно, что в обоих композитах наибольшее количество пор имеют средний диаметр 20–30 мкм. Однако в исходном композите имеются поры также большего радиуса, а в прессованном в основном присутствуют поры меньшего радиуса, чем 20–30 мкм. Полимерный композит является относительно однородной средой, поровое пространство которого представлено капиллярными макропорами.

Такие уникальные характеристики, как мы предполагаем, существуют благодаря механизму сорбции, который является результатом смачивания «Униполимера» нефтью. Мы называем это эффектом низкоразмерной капиллярной конденсации. Детальное изучение этого эффекта является предметом наших дальнейших исследований.

Помимо использования в качестве сорбента, полимерный композит можно также использовать в качестве материала для рекультивации почв [3]. Например, внедрение композита в загрязненную дизельным топливом почву при концентрации 10 г композита на каждый кг почвы позволяет выращивать овес на такой почве. При этом продуктивность овса будет составлять порядка 90 % от его продуктивности на чистой почве.

Другим способом применения полимерного композита является его использование в качестве теплоизоляционного материала для домов или в качестве покровного настила для почвы на северных территориях, что позволит снизить стоимость разработки таких вечномёрзлых почв, поскольку существенно сокращается глубина промерзания грунта.

Мы предполагаем, что существует еще один способ использования полимерного композита «Униполимер» для экологии. Это использование композита в качестве «авоськи» при транспортировке нефти. Суть в том, чтобы заполнить нефтевоз «Униполимером» и затем заполнить нефтью. В случае аварии при механическом повреждении оболочки нефтевоза вытечет только небольшая часть нефти, в то время как основной объем останется внутри нетронутым. Это позволит многократно снизить ущерб для окружающей среды.

Таким образом, в работе представлены результаты использования полимерного композита «Униполимер» в экологии. Показана возможность его различного применения для уменьшения ущерба окружающей среде в случае техногенных и природных аварий, связанных с нефтью и нефтепродуктами. Также показана возможность использования «Униполимера» при биоремедиации почв.

Благодарим В. М. Мелкозерова, основного патентообладателя и разработчика серии полимерных сорбентов «Униполимер-М», за полезные замечания и предоставление образцов сорбента для экспериментов. Работа частично поддержана мега-проектом «Биолюминесцентные биотехнологии» (договор № 11.G34.31.0058) в рамках Постановления Правительства РФ № 220 от 09.04.2010 и проектом ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы», соглашение № 14.A18.21.1911.

Список литературы

1. Пат. 2411267РФ, МКИ Композиция для карбамидного пенопласта / С. И. Васильев, В. М. Мелкозеров // Б.И. 2011. № 4.
2. Мелкозеров В. М., Васильев С. И. Охрана окружающей среды и рациональное недропользование при разработке, эксплуатации нефтяных месторождений, транспортировке

нефти и нефтепродуктов. Германия, издательство Lambert Academic Publishing, 2011. 286 с.

З. Левченко А. Г., Витковский М. И., Федотова А. С., Куркин В. А. Рекультивация почв сельскохозяйственного назначения с применением сорбента «Униполимер-М» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2013.

УДК 66.088

ГИДРИРОВАНИЕ МАГНИЯ В ПОТОКЕ ВОДОРОДНО-АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИТАНА И НИКЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ

Е. И. Мельникова¹, А. Л. Колоненко², Г. А. Глущенко², И. В. Осипова², А. М. Жижаяев³

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф. Г. Н. Чурилов

¹*Сибирский федеральный университет*

²*Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН*

³*Институт химии и химической технологии СО РАН*

Введение

Сегодня мы живем в мире, где стремительное развитие технологий приводит к большим энергозатратам. Сжигание углеводородов ведет к постепенному ухудшению экологической ситуации. В связи с этим нам необходимы экологически безопасные методы получения энергии. Подходящим кандидатом выступает водород, который можно использовать в качестве топлива для топливных элементов. Он примечателен тем, что при его использовании в конечном итоге мы получаем экологически чистый продукт – воду. Но существуют препятствия, ограничивающие широкомасштабное применение водорода в энергетике. Одним из таких препятствий является нерешенная задача эффективного хранения водорода.

Одним из наиболее перспективных способов является хранение в связанном состоянии в виде металлгидридных систем, отличающихся высокой объемной плотностью водорода (0,09–0,19 г/см³). Использование металлгидридных систем позволяет управлять давлением и скоростью выделяющегося водорода [1]. Одной из серьезных проблем можно считать большие временные затраты при гидрировании без использования катализаторов и особых технологических приемов.

Известно, что гидрид магния способен запасать довольно большое количество водорода (7,6 вес.%). При совмещении процессов гидрирования и механического размола магния, вплоть до наноразмерного состояния, в присутствии катализатора, существенно увеличивается скорость получения гидридов. Также, как показано в работе [2], совмещение процессов получения наночастиц магния в потоке углеродно-гелиевой плазмы, содержащей Ni, приводит к быстрому получению гидрида магния.

Действительно, эффективность гидрирования существенно зависит от температуры.

Проведем оценку влияния температуры:

$$\nu = \nu_0 e^{\frac{-E_{bar}}{kT}} \quad - \text{уравнение аррениусовского типа,} \quad (1)$$

где ν – частота перескока атома через барьер; ν_0 – частота колебаний атома в минимуме ($\approx 10^{12-13}$ Гц); E_{bar} – барьер; k – постоянная Больцмана; T – температура.

Если $E_{bar} = 1$ эВ ($\equiv 11\,604$ К) и $kT = 300$ К, то

$$e^{\frac{-E_{bar}}{kT}} = e^{\frac{-11604}{300}} \approx e^{-12} \approx 10^{-4}$$

Если $E_{bar} = 1$ эВ ($\equiv 11\,604$ К) и $kT = 5\,500$ К, то

$$e^{\frac{-E_{bar}}{kT}} = e^{\frac{-11604}{5500}} \approx e^{-2} \approx 10^{-1}$$

Таким образом, при использовании плазмы частота перескоков молекулярного водорода увеличивается на 3 порядка, т. е. скорость диффузии и гидрирования увеличивается значительно. Работа посвящена исследованию влияния Ni и Ti на сорбционные свойства гидроксида магния, полученного в потоке аргонной плазмы в атмосфере водорода.

Экспериментальная часть

Были синтезированы порошки Mg-Ni-H₂ (образец Mg 27-3-2) и Mg-Ti-H₂ (образец Mg 27-5-2). Для генерации плазмы использовался одноструйный плазмотрон, плазмообразующий газ – аргон [3]. Водород вводился в процессе синтеза. Распыляемым электродом являлся монолитный образец сплава Mg с Ni или Ti.

Были исследованы водородсорбционные характеристики синтезированных образцов, гидрированных как в процессе синтеза, так и под давлением. Перед дегидрированием образцы очищали от сорбированных из воздуха газов путем выдерживания в вакууме при температуре 20–100 °С в течение 10 мин. Образцы, гидрированные в процессе синтеза, помещали в ячейку и подвергали дегидрированию путем нагревания. Для осуществления следующего цикла сорбции в ячейку с образцом подавали водород под давлением 3 МПа и выдерживали в течение 10 мин при температуре 400 °С. После охлаждения и стабилизации температуры в сосуде с жидким азотом ячейку помещали в индуктор и нагревали до 600 °С со скоростью 10 °С/мин. По разнице показания давления до и после нагрева регистрировали количество выделившегося водорода.

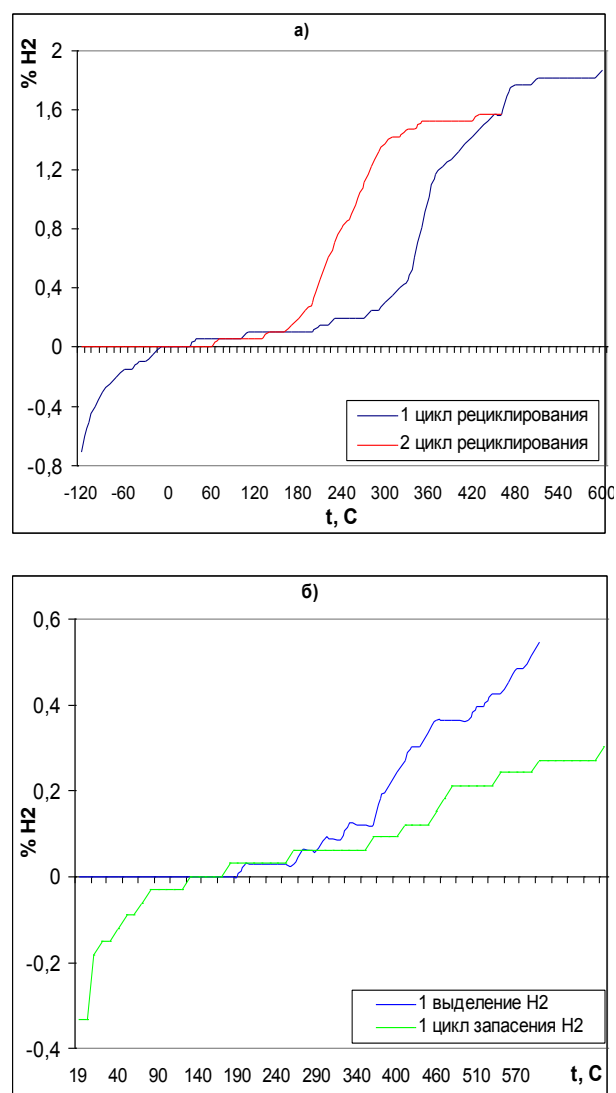


Рис. 1. а) – зависимость выхода водорода от температуры при дегидрировании для образца Mg-Ti-H₂ после первого цикла рециклирования (кривая синего цвета) и после второго цикла рециклирования (кривая красного цвета); б) – зависимость выхода водорода от температуры при дегидрировании для образца Mg-Ni-H₂ после плазмохимического синтеза (кривая голубого цвета) и после первого цикла рециклирования (кривая зеленого цвета)

Далее был проведен рентгенофазовый анализ полученного образца Mg-Ni при помощи порошкового дифрактометра ДРОН-4. На рис. 2 представлена рентгенограмма, которая показывает, что данный образец содержит следующие фазы: Mg (рефлексы соответствующие $2\Theta = 32.2, 34.4, 36.6^\circ$ и др.) и Ni (рефлексы соответствующие $2\Theta = 44.5, 51.8$ и 76.4°), и в незначительных количествах, присутствуют фазы MgO (рефлексы соответствующие $2\Theta = 42.8, 62.2, 74.5$ и 78.4°) и Mg₂Si (рефлексы соответствующие $2\Theta = 24.1, 27.8, 39.9^\circ$ и др.). На рентгенограмме композитных наночастиц Mg-Ni, гидрированных под давлением (рефлексы соответствующие $2\Theta = 27.9, 35.7, 39.9^\circ$ и др.), присутствуют дифракционные максимумы, соответствующие MgH₂.

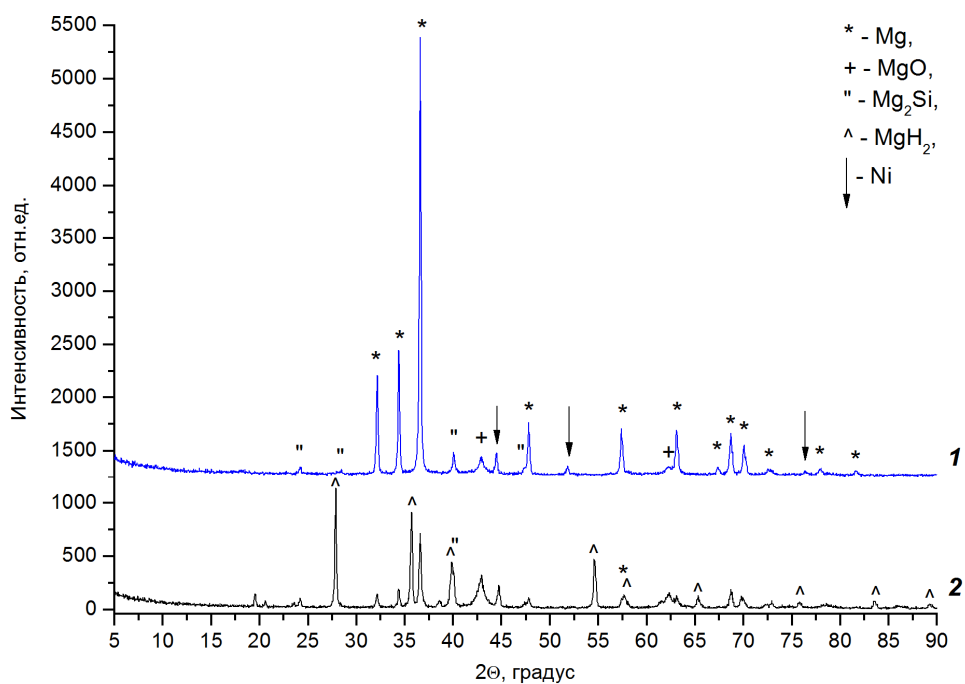


Рис. 2. Рентгенограммы композитных наночастиц Mg-Ni, синтезированных в аргоновой плазме:
1 – до гидрирования под давлением, 2 – после гидрирования под давлением

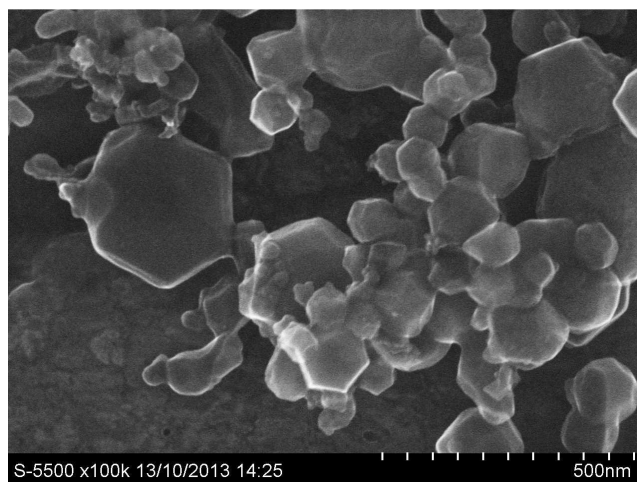


Рис. 3. Фотография синтезированного порошка Mg27-3-2, полученная с помощью РЭМ

Результаты и обсуждение

При гидрировании в процессе синтеза образец Mg 27-3-2 запасает 0,55 вес.% водорода, а при гидрировании под давлением только 0,3 вес.%. По сравнению с ним образец Mg 27-5-2, наоборот, запасает большую часть при гидрировании под давлением, а именно 1,8 вес.%, а при гидрировании в процессе синтеза – 0,51 вес.%.

Анализ зависимостей, характеризующих выход водорода от температуры при дегидрировании, показал, что при скорости нагрева 10 °C/мин, высвобождение водорода не происходит одновременно.

Таблица 1

Название образца	Величина выхода водорода, вес. %	Температура начала разложения гидрида, °С	Температура окончания разложения гидрида °С
Mg27-3-2	0,55	290	600
	0,3	310	470
Mg27-5-2	0,51	310	510
	1,8	290	510

Выводы

Исследована каталитическая активность Ni и Ti в процессах гидрирования и дегидрирования Mg. В результате проведенных исследований показано, что процесс гидрирования совмещенный с процессом образования нанодисперсных частиц приводит к большему выходу гидрида (0,55 вес.%) при введении никеля в качестве катализатора. Образцы, полученные при введении титана в качестве катализатора более эффективно гидрируются под давлением (1,8 вес.%). Также показано, что гидрирование в плазме происходит быстрее, чем при механоактивационном синтезе в атмосфере водорода [4].

Работа выполнена при частичной поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (заявка № 2012-1.2.2-12-000-2003-015; заявка № 2012-1.2.1-12-000-2004-2205) и РФФИ № 12-03-31439, проект фундаментальных исследований НАН Беларуси и СО РАН № 24.

Список литературы

1. Шалимов Ю. Н., Кудряш В. И., Гусев А. Л. Проблемы применения водорода энергетике. С.70.
2. Гребенникова Н. В., Глущенко Г. А., Внукова Н. Г., Осипова И. В. И др. Journal of Siberian Federal University. Перспективы применения нанокмпозитов на основе углерода, содержащих Mg, Ni, Ti для хранения водорода. С. 412.
3. Sichenko D. P., Vnukova N. G., Lopatin V. A., Glushchenko G. A. and other. A Facility for Atomic Emission Spectral Analysis and Methods for Spectrum Processing.
4. Клямкин С. Н. Металлогидридные композиции на основе магния как материалы для аккумуляирования водорода. С. 51.

УДК 57.087.3

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ В МИКРОФЛЮИДНЫХ УСТРОЙСТВАХ

В. С. Никифорова, А. С. Якимов, А. А. Зимин, И. А. Денисов

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук П. И. Белобров

Сибирский федеральный университет, МОЛПИТ

Микрофлюидные устройства находят широкое применение в биологии и медицине, представляя собой перспективную динамично развивающуюся прикладную отрасль [1–3].

Одним из ключевых факторов, определяющих работу микрофлюидных чипов, является их геометрия, влияющая на распределение концентрации реагирующих веществ и на эффективность их смешения. Часто оказывается необходимым проводить контроль распределения концентрации активных веществ в различных точках канала чипа, не повредив его. В то же время, ряд применяемых в микрофлюидных устройствах веществ окрашены в видимой области спектра. Например, ФМН (флавин-моноклеотид) имеет оранжевый цвет и используется в аналитических чипах, принцип действия которых основан на биолуминесценции. Насыщенность окрашивания коррелирует с концентрацией активного вещества, поэтому с помощью ПЗС матрицы можно получить фотографии чипов, несущие информацию о концентрационном профиле веществ в его каналах и реакторах. Первичные данные зависят от записывающего устройства и представлены в цветовом пространстве RGB, которые для получения аналитического сигнала должны быть переведены в подходящее цветовое пространство, например в HSV (Hue, Saturation, Value). Величина параметра насыщенности S в таком случае может быть использована в качестве аналитического сигнала.

Целью настоящей работы является анализ применимости HSV-преобразования цветового пространства RGB для определения концентрационного профиля модельного красителя в микрофлюидном устройстве путем построения и анализа двухфакторной поверхности отклика S на концентрацию красителя и глубину канала. Существует и другие схемы параметризации пространства RGB, однако анализ их применимости находится за пределами настоящей работы.

Экспериментальная установка приведена на рис. 1, а. Исследуемый чип был закреплен на коннекторе и подключен к системе ввода-вывода тестируемого вещества посредством трубочек. Изображения были получены на сканере hp scanjet g4010 с отключенной автоматической фотокоррекцией, затем были обработаны программой Koncentrator, свободно доступной на нашем сайте (<http://molpit.com/?page=47>), которая позволяет переводить пиксели выделенного участка на фотографии из формата RGB в формат HSV, формируя таблицу данных. Чип состоит из 19 отсеков, глубина которых варьируется в пределах от 0,10 мм до 1,00 мм с шагом 0,05 мм. Отсеки соединены между собой последовательно, что позволяет одновременно оценить два фактора, влияющих на насыщенность S : концентрацию раствора и толщину слоя жидкости. Были использованы чернила для струйного принтера Epson T0482/T0332 в качестве модельного красителя в связи с его значительным интервалом изменения насыщенности цвета S . Точная концентрация важна для исследования метода в целом и его возможного применения в аналитических целях. Измеряя насыщенность в каждом отсеке при фиксированной исходной концентрации раствора можно построить экспериментальную двухфакторную поверхность отклика, которая позволит оценить влияние обоих факторов на насыщенность. «Идеальная» двухфакторная поверхность отклика должна показывать линейную зависимость насыщенности от концентрации при постоянной глубине канала и представлена для демонстрационных целей на рис. 1, b.

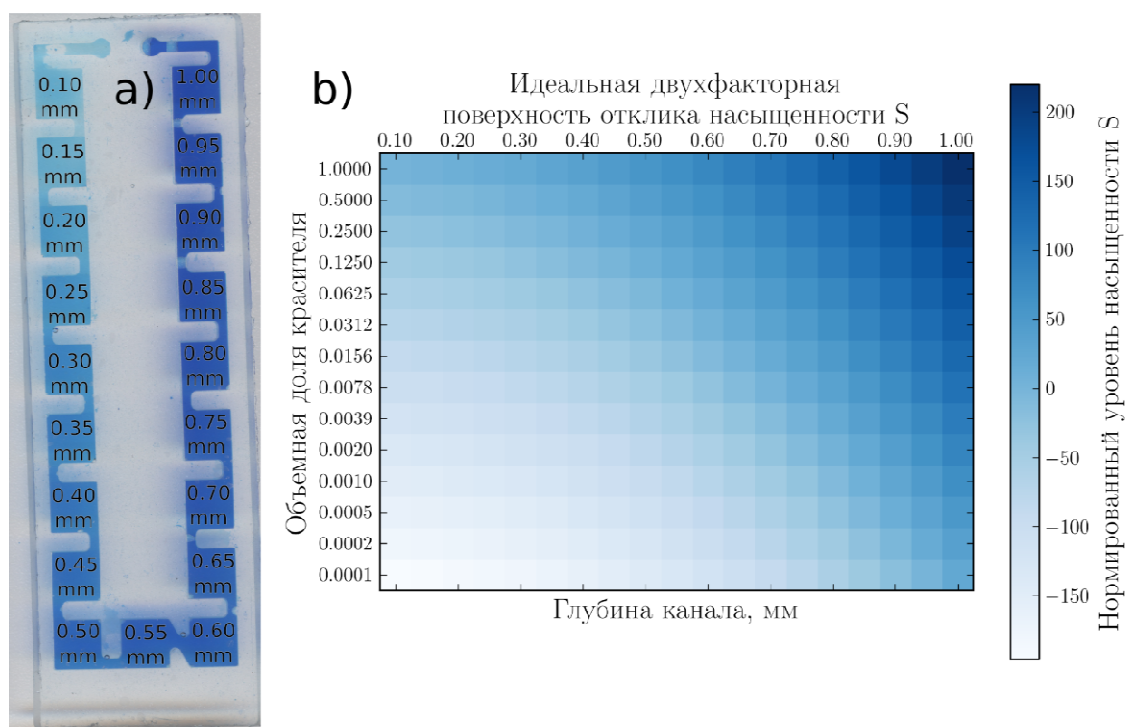


Рис. 1. Экспериментальная установка (а) и «идеальная» поверхность отклика (б)

На рис. 2 представлена экспериментальная двухфакторная поверхность отклика насыщенности на концентрацию красителя и глубину канала.

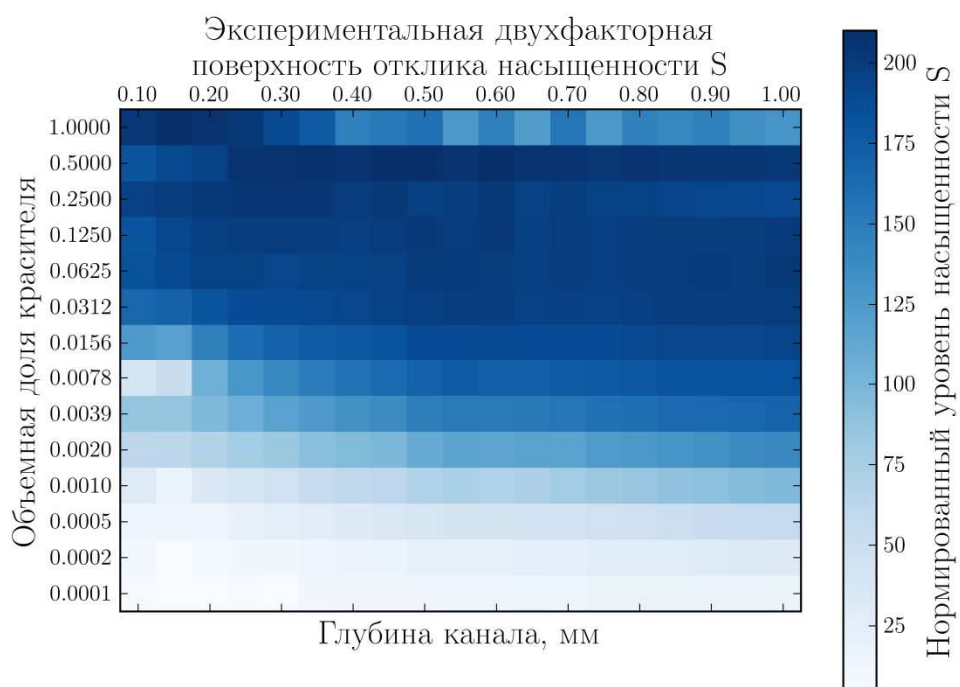


Рис. 2. Экспериментальная двухфакторная поверхность отклика насыщенности

Экспериментальное измерение такой двухфакторной поверхности позволит оценить применимость метода для оценки концентрационного профиля в микрофлюидных устройствах. Как видно из рис. 2, зависимость насыщенности от концентрации и красителя и глубины канала нелинейна и позволяет использовать для аналитических целей только центральный участок поверхности. При малой глубине канала (0,10–0,15 мм) рабочая область метода крайне мала и позволяет проводить измерения концентрации в интервале объемных долей красителя 0.0078–0.2500. Размер допустимой рабочей области плавно возрастает по мере увеличения глубины канала, сдвигая предел обнаружения вниз. Тем не менее, при концентрации красителя выше 0.2500 метод неприменим из-за резко нелинейного хода концентрационной зависимости насыщенности. В то же время, при достаточной толщине слоя жидкости предел обнаружения продолжает неуклонно снижаться.

Список литературы

1. Issadore D., Westervelt R. M. Point-of-care Diagnostics on a Chip. Springer, 2013.
2. Bharadwaj R., Singh A. Autonomous Lab-on-a-Chip Technologies // Auton. Sens. Networks Collect. Sens. Strateg. Anal. Purp. 2013. № July 2012. P. 217–235.
3. Figeys D., Pinto D. Lab-on-a-chip: a revolution in biological and medical sciences. // Anal. Chem. 2000. P. 330–335.

УДК 543.42:539.231(06)

ИК-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАНОДИСПЕРСНОГО ОКСИДА ТИТАНА, ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Л. Ю. Федоров, И. В. Карпов, А. В. Ушаков

Научный руководитель: д-р техн. наук А. А. Лепешев

Сибирский федеральный университет

Вакуумный дуговой разряд (ВДР) является эффективным методом напыления тонких пленок и синтеза наночастиц и наноматериалов на их основе. Одно из главных достоинств ВДР – возможность сохранения стехиометрии вещества при его испарении и переносе на подложку, что широко используется для напыления материалов сложного состава. С помощью ВДР легко испаряются и напыляются тугоплавкие материалы (например, углерод, тугоплавкие металлы и ряд керамик). Формирование кластеров и наночастиц является важным и неотъемлемым аспектом ВДР, существенно влияющим на процесс синтеза и свойства частиц.

Развитая поверхность частиц и особые химические свойства делают НП оксида титана незаменимым материалом в химии, где они могут использоваться либо в качестве самостоятельного адсорбента или катализатора, либо могут быть нанесены на материал, используемый в таком качестве [1].

Однако, следует подчеркнуть, что необходимо научиться управлять фазовым составом НП, так как в качестве адсорбентов и катализаторов, как правило, используется α -окись титана. Поэтому возникает необходимость проведения комплексных исследований по синтезу НП требуемого фазового и фракционного состава, так как при других условиях синтеза (например, сгорание титана в атмосфере кислорода) образуются β -фазы НП оксида титана. НП оксида титана используется также в производстве красителей для лаков, пластмасс и как активатор при спекании [1].

Ввиду высокой температуры плавления, из-за наличия большого количества фаз и высокой сорбционной способности оксида титана предпочтительнее других является вакуумный плазменно-дуговой синтез НП, как дающий порошок наибольшей чистоты и с требуемыми физико-химическими и физико-механическими характеристиками. Такие методы как золь-гель технология, взрыв проволоки в атмосфере кислорода, плазмохимический и др. дают либо низкую чистоту порошка и несферическую форму частиц, либо низкое значение удельной поверхности и загрязнение порошка частицами металла, либо большой разброс в размерах частиц. Метод вакуумного плазменно-дугового синтеза НП свободен от этих недостатков. Поэтому в настоящей работе представлены исследования синтеза НП титана и оксида титана в дуговом разряде низкого давления.

Экспериментальные образцы порошков оксида титана приготавливались по технологии, подробно описанной в [2, 3].

Был проведен ИК-спектральный анализ образцов на двухлучевом спектрометре «Спекорд 75 JR» в интервале частот 1 000–4 000 см^{-1} . Порошок наносился на кристалл бромистого калия. Результат анализа, представленный на рис. 1, свидетельствует о том, что в образце присутствует значительное содержание влаги (две широких асимметричных линии поглощения с максимумом соответственно 3 374,5 и 1 450 см^{-1}), и незначительное содержание углекислого газа.

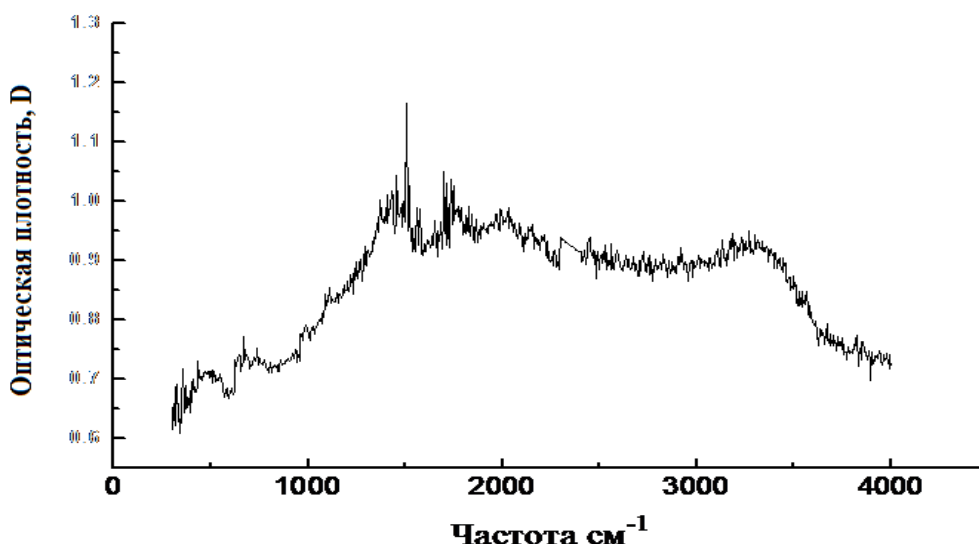


Рис. 1. ИК-спектр поглощения НП оксида титана после контакта с атмосферой

Как показывают выполненные измерения порошок оксида титана, полученный в дуговом разряде низкого давления, имеет размер менее 10 нм с очень узким распределением частиц по размерам. Величина удельной поверхности позволяет сделать предположение, что на поверхности частиц высажен конденсат значительно меньшего размера, чем основной порошок. Этот конденсат образует довольно пористую «шубу» вокруг частиц [1], и в основном определяет химическую активность порошка. Этим объясняется высокая сорбционная активность порошка по отношению к атмосферной влаге. Благодаря высокой степени ионизации, становится возможным регулирование фазового состава НП от нестехиометрии по неметаллу вплоть до нестехиометрии по металлу. Результаты исследований по окислению электродугового порошка титана на воздухе показали, что снижение размера частиц приводит к уменьшению реакционной способности порошка при комнатной температуре.

Список литературы

1. Ушаков А. В. Получение ультрадисперсных порошков в плазме дугового разряда низкого давления: дис. канд. техн. наук: 05.16.06. Красноярск, 2002. 135 с.
2. Ушаков А. В., Карпов И. В., Лепешев А. А. Особенности синтеза нанопорошков нитрида титана в плазменной среде дугового разряда низкого давления. Материаловедение. 2012. № 3. С. 48–51.
3. Ушаков, А. В., Карпов И. В., Лепешев А. А. и др. Установка для синтеза нанопорошков в плазме дугового разряда низкого давления // Ремонт, восстановление, модернизация. 2012. № 9. С. 41–45.

Секция 2. Применение нанотехнологий в промышленности

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЯ ПРИ ПЕРВИЧНОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ И ПЕРЕПЛАВЕ

И. В. Костин, П. О. Юрьев, Н. В. Громов, И. Д. Саттаров

Научные руководители: д-р. техн. наук С. В. Беляев,
канд. техн. наук А. И. Безруких

Сибирский федеральный университет

В работе проведена оценка влияния модифицирующей способности комплексных углеродсодержащих модификаторов и модификаторов с нанофазным углеродом, в сравнении со стандартной лигатурой $AlTi_3B$, на структуру и механические свойства алюминия технической чистоты марки А8.

Свойства и качество модифицированных и композиционных алюминиевых сплавов (однородность химического состава, отсутствие примесей и неметаллических включений, прочность, пластичность и т. п.), эксплуатационные, технологические свойства литых изделий определяются свойствами сплава, из которого они изготовлены, а свойства сплава напрямую зависят от чистоты шихты, режимов литья, модифицирующих добавок, вводимых в расплав и технологии модифицирования.

В ходе работы исследовали модифицирующую способность комплексных углеродсодержащих модификаторов и стандартной лигатуры $AlTi_3B$ в сравнении с модификаторами, содержащими в составе наноструктурированный скрытокристаллический графит ГЛС-2А и чистый нанофазный углерод, на структуру и механические свойства алюминия технической чистоты марки А8. Работа является продолжением проводимых ранее исследований [1].

Объектом исследования являются пробы алюминия марки А8, модифицированного комплексными углеродсодержащими модификаторами различного состава. Химический состав алюминия технической чистоты марки А8 приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав алюминия марки А8 (ГОСТ 11069-2001) процентах

Марка	Примесь, не более								Прочие примеси (каждой в отдельности)	Алюминий, не менее
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ga	Ti		
А8	0,10	0,12	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	99,80

Таблица 2

Состав комплексных модификаторов и модификаторов с наночастицами углерода

№ образца	Состав модификатора	Концентрация, % углерода от массы расплава
00	Без модифицирования	-
1	СБС+Ti+C	0,02
2	СБС+Ti+ГЛС2А+С	0,02
3	СБС+Ti+ГЛС2А+С	0,05
4	СБС+Ti+ГЛС2А+С	0,1
5	БС+Ti+C	0,02
6	БС+Ti+ГЛС2А+С	0,02
7	БС+Ti+ГЛС2А	0,05
8	БС+Ti+ГЛС2А	0,1
10	Лигатура AlTi ₃ B	-
1.1	Al + наночастицы углерода (10 %)	0,1
1.2	Al + наночастицы углерода (10 %)	0,05

Таблица 3

Состав и количество модифицированного возврата при переплаве

№ образца	Состав	Концентрация, % углерода от массы расплава
11	Al, модифицированный модификатором № 1	14
33	Al, модифицированный модификатором № 3	14
55	Al, модифицированный модификатором № 5	14
66	Al, модифицированный модификатором № 6	14
77	Al, модифицированный модификатором № 7	14
88	Al, модифицированный модификатором № 8	14

Химический состав и размер частиц наночастицы углерода определены на электронном микроскопе JEOLJSM4001F (табл. 4).

Таблица 4

Элементный состав точечных спектров наночастицы углерода, полученных на электронном микроскопе

Количество, %	С	О	Всего
Среднее значение	94,78	5,22	100,00

На рис. 1 приведена оценка размера частиц наночастиц углерода в составе модификатора. Из фотографии видно, что более 90 % частиц имеют размер от 50 до 200 Нм.

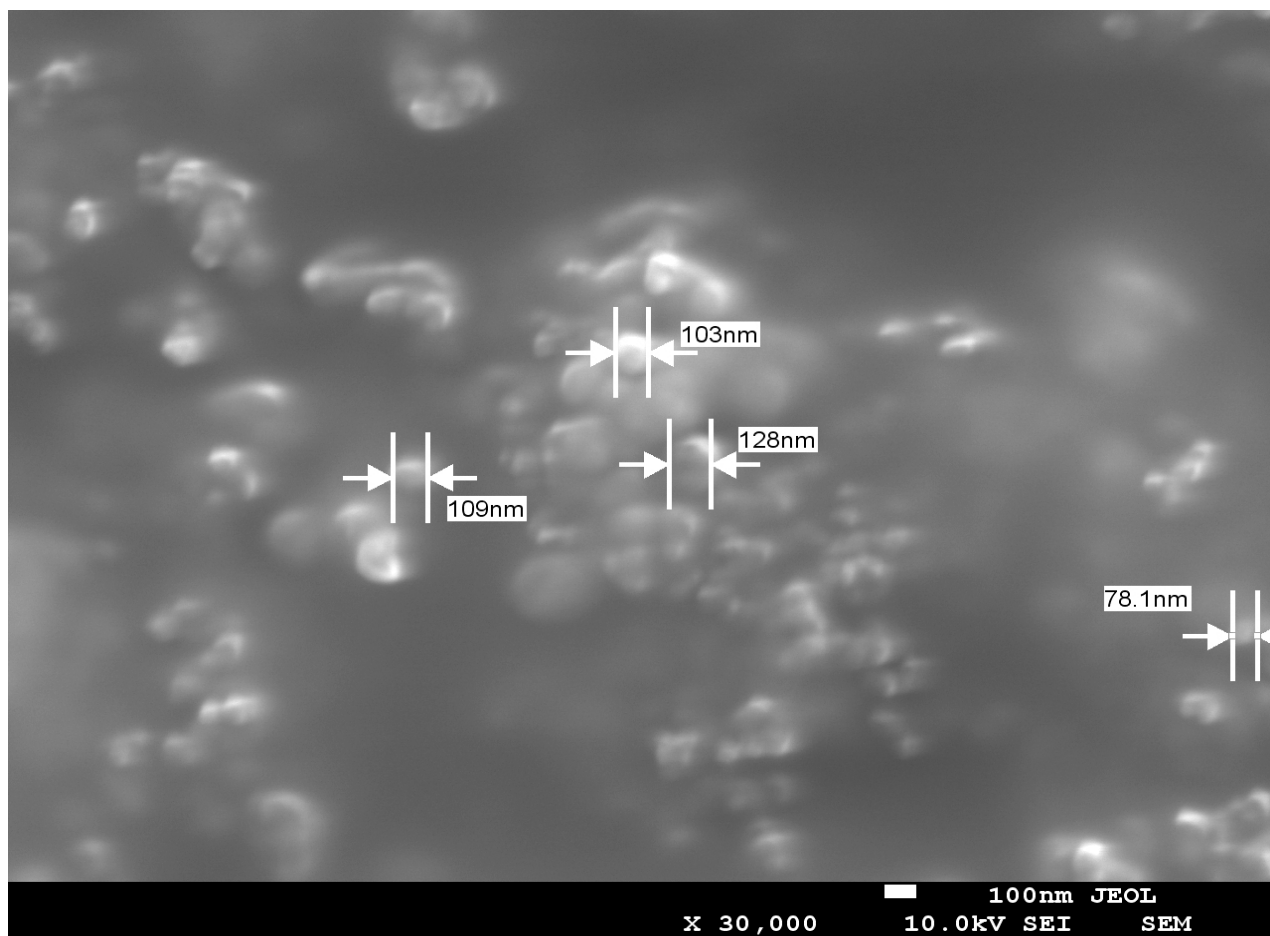


Рис. 1. Оценка размера частиц наночастиц углерода, использованного в составе модификатора

Модификаторы получали в виде брикетированных таблеток диаметром 20 мм и высотой 40–50 мм прессованием в металлической матрице.

Для исключения газонасыщения расплава остаточными газообразными примесями в составе модификатора, полученные модификаторы перед вводом в расплав в течение 15 мин прокачивали в муфельной печи при $T = 400^{\circ}\text{C}$.

Так как ввод комплексных модификаторов в порошкообразном состоянии приводит к увеличению газосодержания, ввод таблетки модификатора производили при помощи колокольчика в жидкий расплав, поэтому для выравнивания его концентрации по всему объему производили интенсивное перемешивание и выдержку в течении 15 мин перед разливкой при температуре 850°C [2].

Полученные образцы исследовали по трем основным механическим свойствам (предел прочности, предел текучести, относительное удлинение). В табл. 5 представлены полученные данные.

Таблица 5

Механические свойства проб

№ образца	Предел прочности (σ_b), МПа	Предел текучести, (σ_T), МПа	Относительное удлинение (δ), %
00	56,57	34,89	38,24
1	74,16	35,13	45,43
2	75,5	47,71	24,65
3	68,21	48,3	21,89
4	60,23	35,38	37,54
5	76,5	40,89	40,38
6	76,5	45,7	23,48
7	82,79	48,18	48,7
8	77,73	41,61	29,21
10	73,96	40,59	47,9
1.1	53,71	35,44	17,09
1.2	68,29	36,94	36,91

На следующем этапе исследовали возможность сохранения эффекта модифицирования при переплаве (табл. 6).

Таблица 6

Механические свойства проб

№ образца	Предел прочности, σ_b , МПа	Предел текучести, σ_T , МПа	Относительное удлинение, δ , %
11	63,91	30,24	29,56
33	56,55	35,14	22,48
55	56,16	36,04	23,93
66	56,09	34,3	24,44
77	57,24	37,02	19,19
88	56,47	36,72	25,55

Таким образом, можно констатировать, что исследование механических свойств алюминия, модифицированного комплексными модификаторами системы Ti-B-C (№ 1–8), подтвердило результаты предыдущих исследований. Предел прочности на разрыв увеличился в среднем на 5–20 МПа, предел текучести на 5–13 МПа.

Для образцов № 2, 3, 6, 8 предел прочности и предел текучести увеличились, а относительное удлинение уменьшилось от 11–17 МПа, что свидетельствует о возможности наличия в данных образцах литейных дефектов.

Сравнение образцов № 1 и № 7 с алюминием модифицированным заводской лигатурой KBM AlTi3B1 дало практически одинаковый результат из чего можно сделать вывод, что эти лигатуры могут быть использованы в качестве замены для лигатуры KBM, что позволит

значительно сэкономить электроэнергию и исходные материалы, необходимые для производства лигатуры Al-Ti-B сплавлением.

Таким образом, введение чистого нанофазного углерода не оказало значительного влияния на изменение структуры и свойств алюминия.

Вторичное модифицирование привело к снижению относительного удлинения в среднем на 7–20 %. Предел прочности и предел текучести практически не изменились по сравнению с исходным алюминием.

Список литературы

1. Мамина Л. И., Баранов В. Н., Безруких А. И., Ширай А. М. и др. Модифицирование алюминия технической чистоты комплексом наноструктурированных компонентов // Труды одиннадцатого съезда литейщиков России 2013. С. 120–127.
2. Напалков В. И., Махов С.В. Легирование и модифицирование алюминия и магния // МИСиС. 2002.

УДК 629.33:539.2

НАНОТЕХНОЛОГИИ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

А. Ю. Уварова

Научный руководитель: ст. науч. сотр. З. А. Саматов

*Филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
в г. Чистополе*

Сейчас с уверенностью можно утверждать, что одним из наиболее перспективных, а также многообещающих направлений развития современной науки является нанотехнология. Исходя из самого названия «нанотехнология» можно заключить, что данное научное направление работает с объектами, размеры которых измеряются нанометрами.

Перспективы использования нанотехнологий в автомобилестроении не совсем выражены. Однако радует то, что наноматериалы уже используются в автомобильной промышленности, хотя большинство из них еще находится в стадии разработки.

Исцарапанная поверхность автомобиля не только плохо выглядит, но и ухудшает аэродинамические свойства машины, а в следствии экономии топлива. Нанотехнологии применяются и в производстве краски, чтобы сделать её более стойкой к внешним воздействиям. Очень интересная и полезная идея в этой сфере была введена в 2003 г. компанией Daimler-Crysler. Они стали использовать прозрачный лак в процессе окрашивания кузовов автомобилей марки Mercedes-Benz, серии S, E, SL, CL, а также SLK, который содержит керамические наноразмерные частицы, около 20 нм. Благодаря этому покрытию улучшилась стойкость ко всем внешним воздействиям.

Нанотехнологии коснулись и автокосметики. Их использование позволило создать улучшенные полироли и шампуни. Наноразмерные частицы лучше заполняют царапинки и различные структурные повреждения лакокрасочного покрытия. А благодаря очень плотной сетке поперечно-межмолекулярных связей наночастиц, полироль образует на поверхности покрытия износостойкий защитный слой.

С каждым годом цены на топливо растут и, следовательно, мы все больше предъявляем требования к экономичности двигателей, а также к снижению токсичности выхлопов автомобилей. Наночастицы, добавленные в топливо, помогают увеличить эффективность его сгорания, также снижается количество выбрасываемых в атмосферу вредных веществ. **Если добавить наночастицы в масло, ресурс двигателя увеличится, износ деталей снижается в 1,5–2 раза.** Нанотехнологии играют главную роль в процессе преобразования токсичных газов в нетоксичные.

Автомобильные конструкторы ведут активный поиск материалов, которые станут альтернативой стали и чугуна. Наиболее перспективным в данной сфере считается модифицированный нанокompозитными материалами пластик. Теоретически этот вид пластика упростит процесс производства деталей двигателя. Прочность полимера очень близка к аналогичным характеристикам металлов, но пластик меньше весит и более устойчив к коррозии.

Автомобиль на водородных элементах – Американцы планируют довести эту технологию до готовности к 2015 г. Эта нанотехнология планирует сыграть решающую роль. Хранить водород гораздо безопаснее не в баллонах под огромным давлением, а в нанопористых материалах – сейчас они в разработке.

Фары также должны резко поменять свой облик в ближайшие годы. Модные сегодня ксеноновые лампы могут быть вытеснены лампами на светодиодах, производимых с применением нанотехнологий. В более отдаленной перспективе – источники света на квантовых точках, нанокристаллах полупроводника.

Стекла. В этой сфере проходят испытания электрохромной системы. Эту систему планируется использовать для покрытия боковых, салонных зеркал. Светопропускная способность стекла меняется и становится с эффектом затемнения. Это достигается благодаря определенной химической обработке.

Шины одни из первых узлов авто в которых стали применяться наноструктурированные материалы. Технический углерод начали использовать в качестве пигмента и укрепляющего элемента автомобильных покрышек. Увеличить пробег автопокрышек, изготовленных на основе нанополимеров, на 15 % удалось немецкой компании Lanxess. Инженеры BMW добились ошеломляющего результата при разработке сажевого нанофильтра для своих дизельных двигателей – он способен удерживать до 99 % вредных веществ.

Ученые Стэнфордского университета разработали аккумуляторную батарею, у которой анод изготовлен из нанонитей кремния, а катод из мезопористого сульфида лития. Такой наноаккумулятор имеет емкость в 4 раза выше своего аналога литий-ионного аккумулятора.

Нанотехнологии коснулись также подвески автомобиля, а в частности амортизаторов. Добавление в специальную жидкость наночастиц магнетита (оксида железа) с особым покрытием превращает ее в феррожидкость, вязкость которой можно изменять с помощью магнита. Данный материал уже нашел свое применение в автомобилестроении. Из него изготавливают регулируемые по высоте амортизаторы.

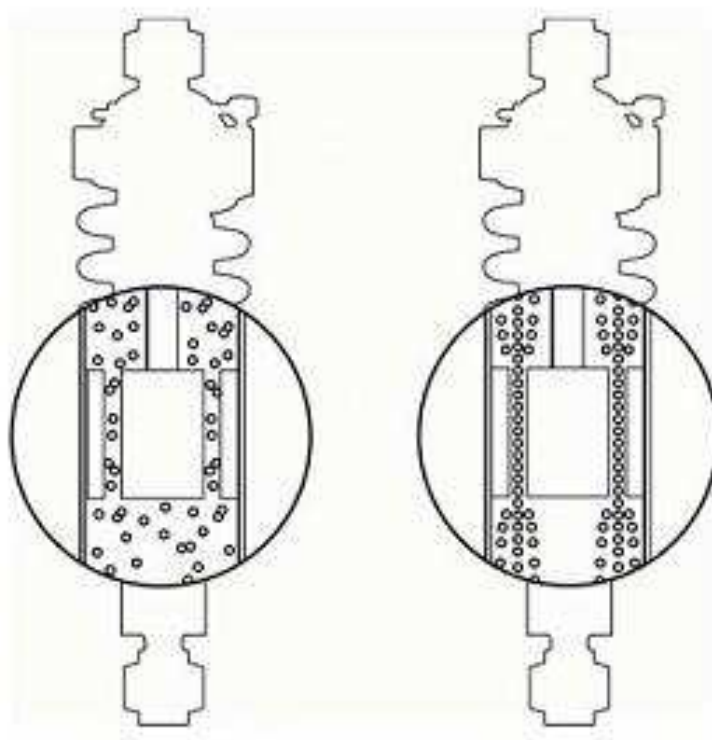


Рис. 1

Что касается России, то в 2011 г. на базе «Ижевского машиностроительного завода» было запущено серийное производство пружин, созданных с применением нанотехнологий.

По данным, общемировые затраты на нанотехнологические проекты сейчас превышает 9 млрд долларов в год. **На долю США приходится примерно треть всех мировых инвестиций в нанотехнологии. Другие главные инвесторы на рынке нанотехнологий – Европейский Союз и Япония.** К сожалению, Россия стала развивать нанотехнологии на 10 лет позже стран-лидеров. И до недавнего времени нанотехнологии почти не финансировались. Но на данный момент Россия не отстает от мировых лидеров – по объему государственных инвестиций в нанотехнологии Россия на втором месте после стран Европы, но по уровню собственного производства российским компаниям еще рано соревноваться в экономической эффективности новых технологий.

Скорее всего в ближайшем будущем большинство, если практически не все, детали автомобиля будут подвержены вмешательству нанотехнологий. Можно только догадываться как будет выглядеть автомобиль через несколько десятков лет. Нанотехнологии – это ключ ко всем отраслям науки и производства.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ РАЗОВЫХ ФОРМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

П. О. Юрьев, Е. М. Лесив, Е. В. Рассказова, И. В. Костин

Научные руководители: д-р техн. наук С. В. Беляев, канд. тех. наук Е. М. Лесив

Сибирский федеральный университет

По данным World Steel Association мировое производство чугуна в августе 2013 г. по сравнению с августом 2012 г. увеличилось на 6,65 %, до 97,7 млн. т [1]. По итогам декабря 2012 г. мировое производство чугуна достигало 87,25 млн. т, что на более чем десять млн. тонн меньше мирового выпуска на текущий период, что говорит о перспективах увеличения выпуска чугуна на конец 2013 г. [2]. Основными продуцентами чугуна на август 2013 г. являются: Китай (59,9 млн. т), Япония (7,14 млн. т), Россия (4,34 млн. т), Индия (4,16 млн. т), США (2,4 млн. т) и т. д. (по данным World Steel Association) [1].

В современном мире уже длительное время обозначилась тенденция к улучшению качества получаемой продукции во всех сферах мировой промышленности, поэтому при высоком выпуске чугунолитейной продукции необходимо соблюдать качество получаемых изделий, минимизируя такие основные дефекты как пригар, наросты, раковины, ужимины, недоливы и др. [3].

Противопригарные покрытия являются наиболее эффективным средством для получения отливок без пригара и дефектов. При их нанесении на поверхность форм и стержней создается буферный защитный слой с заданными физико-механическими свойствами. При правильном выборе и применении покрытий достигается значительное улучшение качества поверхности получаемых отливок, товарный вид и в итоге их конкурентоспособность.

Основными материалами, используемыми в противопригарных покрытиях на водной основе, являются графит, глины, огнеупорные оксиды. Наноструктурирование основных материалов проводилось в мельнице планетарного типа АГО-2, соотношение «мелющие тела: материал» = 3:1. Уменьшение среднего фракционного состава представлено на рис. 1, для ГЛС-2 с 17,85 мкм до 3,34 мкм, для бентонита марки БП1Т1 с 2,42 мкм до 6,14 мкм. Для огнеупорного оксида наноструктурирование не использовалось, так как средний размер частиц составил 0,67 мкм.

В качестве мер повышения качества чугунолитейной продукции, и уменьшения дефектности получаемых отливок были использованы наноструктурированные составы для разовых литейных форм (табл. 1).

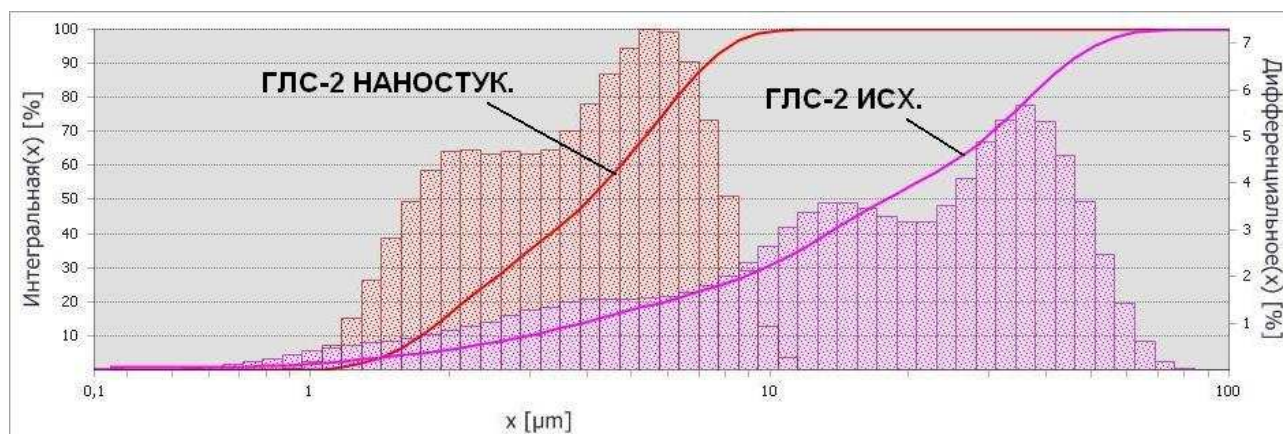


Рис. 1. Фракционный состав ГЛС-2

Таблица 1

Противопригарные упрочняющие наноструктурированные составы для литейных форм

№ (на отливке)	Составы покрытий
1	Графит ГЛ-1 (н)*, графит ГЛС-2 (н), бентонит БП1Т1 (н), огнеупорный оксид, вода
2	Графит ГЛС-2 (н), бентонит БП1Т1 (н), огнеупорный оксид, сухой акрил, вода
3	Бентонит БП1Т1 (н), огнеупорный оксид, сухой акрил, вода
4	Графит ГЛС-2 (н), бентонит БП1Т1 (н), диспергатор, вода, лигносульфонат технический
5	Графит ГЛС-2 (н), графит ГЛС-2 (о)*, бентонит БП1Т1 (н), диспергатор, вода, лигносульфонат технический
8	Без окраски
*(н) – наноструктурированный, (о) – обогащенный	

Данные составы были опробованы на заводе ОАО «Сибэлектротерм» (г. Новосибирск) при окраске разовой литейной формы «плита» массой 100 кг. Размеры отливки 1 000х300 мм, толщина – 150 мм. Форму окрашивали кистью покрытиями с рабочей плотностью 1,4 г/см³, после чего форму просушивали обдувкой воздуха в течение 5 мин. Заливку форм проводили чугуном марки СЧ20 (ГОСТ 1412-85), температура 1 400 °С. После выбивки формы визуально изучали качество поверхности на такие дефекты как пригар, наросты, просечки, раковины, недоливы и др.



Рис. 2. Качество поверхности отливки окрашенной различными наноструктурированными покрытиями (маркировки 1–8 на рисунке соответствуют номерам составов в табл. 1)

Анализ качества поверхности отливки позволил сделать вывод, что наноструктурированные покрытия № 2 и № 4 обеспечивают самое высокое качество поверхности чугуновых отливок: отсутствие шероховатости и поверхностных дефектов. В ходе эксперимента было выявлено, что наибольшую ценность для производства имеет покрытие № 4, показавшее полное отсутствие пригара (рис. 3). Поверхности отливки окрашенной составами № 1 и № 3 характеризуются минимальной шероховатостью поверхности, отсутствием поверхностных дефектов, но с высокой степенью пригара (рис. 3).



Рис. 3. Пригар отливки, окрашенной различными наноструктурированными покрытиями (маркировки 1–8 на рисунке соответствуют номерам составов в табл. 1)

В состав покрытий № 1, № 2, № 3, № 4 входит бентонит (черногорского месторождения) с высоким содержанием монтмориллонита, который повышает проникающие свойства противопопригарной краски, повышает кроющую способность, тем самым улучшая качество поверхности отливок. Краски имеют минимальную газотворность и достаточную прочность в нагретом состоянии, чтобы предотвратить проникновение газов в

металл в момент контакта с ним и до образования корки затвердевшего металла. Покрытия характеризуются высокой степенью адгезии к форме – поверхность покрывается равномерно по всей площади отливки. Быстрое высыхание покрытия в потоке теплого воздуха позволяет сократить время между нанесением дополнительных слоев при необходимости. Покрытия не растрескиваются и не осыпаются с поверхности модели после высыхания.

В состав покрытия № 5 также входит бентонит (ожидалось высокое качество поверхности, как при использовании покрытий № 1–4), но полученные результаты показали, что поверхность, окрашенная данным составом, характеризуется высокой степенью шероховатости и дефектами поверхности (наплывы). Это объясняется присутствием в составе покрытия обогащенного графита, в химическом составе которого присутствует повышенное содержание серы, что негативно влияет на чугун при его переизбытке в сплаве, затрудняя графитизацию, увеличивая хрупкость и ухудшая жидкотекучесть чугуна.

На основе полученных результатов качества поверхности при литье в разовые формы, используя в качестве противопригарно-упрочняющих покрытий различные наноструктурированные составы, разработанные коллективом специалистов на кафедре «Литейное производство» Сибирского федерального университета, было выявлено, что составы покрытий № 2 и № 4 предоставляют высокое качество поверхности получаемой продукции, исключая поверхностные дефекты и шероховатость. Этот эффект достигнут путем уменьшения фракционного состава основных материалов, используемых в составах противопригарных покрытий.

Список литературы

1. Режим доступа: <http://www.worldsteel.org/statistics/BFI-production.html>
2. Режим доступа: <http://minprom.ua/news/133594.html>
3. Гиршович Н. Г. Справочник по чугунному литью // Машиностроение, 1978.
4. Могилев В. К., Панченко А. Н., Суло В. Н. Свойства теплоизоляционных покрытий кокилей при производстве отливок // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2007 № 03.

УДК 621.793.3

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ХРОМ-НАНОАЛМАЗ

Д. А. Ярмола

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, В. П. Исаков

Сибирский федеральный университет

Ресурс большинства видов механизмов, узлов и пар трения в значительной степени определяется долговечностью сохранения эксплуатационных свойств поверхности сопряженных пар. Один из самых известных способов улучшения физико-механических свойств

поверхности – это ее гальваническая (электрохимическая) модификация осаждением инородной металлической пленки с нужными для эксплуатации параметрами. Наиболее важные из них – износостойкость, коррозионная стойкость, равномерность покрытия по толщине (обеспечивается высокой рассеивающей способностью электролита). Однако современная техника предъявляет все более высокие требования к парам трения, и обычные металлические пленки из индивидуальных металлов или их сплавов часто не отвечают им.

В последние годы наибольший интерес вызывает новое поколение гальванических покрытий – электрохимические композиционные покрытия (КЭП). Известно, что введение твердых дисперсных частиц (оксидов, нитридов, боридов, карбидов, классических алмазов) в электрохимические покрытия повышает их микротвердость и износостойкость. Причины этого – уменьшение размеров кристаллов (доменов) осаждаемого металла и наличие в покрытии большого количества сверхтвёрдых частиц. Осаждаемые с металлом микрочастицы играют роль центров кристаллизации, поэтому чем меньше размер частиц, тем больше диспергируется кристаллическая структура покрытия. Микротвердость (и связанная с ней износостойкость) металла растет пропорционально $d^{-0.5}$, где d – размер кристалла [1].

Наиболее часто КЭП получают из суспензий, содержащих твердую фазу в количестве 50–200 г/л. КЭП обычно осаждают при непрерывном перемешивании суспензии, в результате чего частицы твердой фазы постоянно находятся во взвешенном состоянии, и осаждение идет быстрее. Выбор способа перемешивания определяется формой изделия, условиями электролиза и экономической целесообразностью. Перемешивание может осуществляться как механически, так и с помощью воздуха, а также циркуляцией электролита [4].

Была выбрана хромовая матрица. Это связано, в первую очередь, со многими уникальными свойствами собственно хромовых покрытий: высокой твердостью (до 11 000 МПа), износостойкостью. Хром термостоек, причем сохраняет твердость вплоть до температур 350–400 °С. Обладает высокой коррозионной стойкостью, в том числе при высокой температуре. Устойчив в холодных растворах серной и азотной кислот, в окисляющих растворах, не тускнеет в серосодержащей атмосфере при 400–450 °С. Обеспечивает очень хорошее сцепление с поверхностью стали или подслоя (обычно никеля или меди), практически не отслаивается. Имеет низкий коэффициент трения по металлам, особенно со смазкой, пригоден в качестве антифрикционного материала [3].

Поддержанию наноалмазов во взвешенном виде в электролите помогают газовыделение и тепловая конвекция в процессе получения металл-алмазных КЭП. Не требуется дополнительного перемешивания [2].

Особый интерес представляют КЭП с упрочняющими частицами, относящимися к классу сверхтвёрдых материалов, такими как ультрадисперсный алмаз (УДА) и вюрцитоподобный нитрид бора (ВНБ). Сверхтвёрдым материалам кроме высокой твердости присущи высокие износостойкость, теплопроводность, коррозионная устойчивость, низкий коэффициент трения. Поэтому КЭП на основе хрома с УДА обеспечивают значительное повышение эксплуатационных свойств по сравнению с покрытиями из чистого электролитического хрома. В настоящее время возможность использования ВНБ в электролитических хромовых покрытиях мало изучена [2].

Частицы УДА имеют сложную структуру: ядро (порядка 4 нм) из классического кубического алмаза и углеродную оболочку вокруг ядра из переходных рентгеноаморфных структур углерода толщиной 0,4–1 нм. Эта оболочка, включая кроме атомов углерода гетероатомы, насыщена широким спектром разнообразных, преимущественно кислородсодержащих функциональных групп [1].

Поддержанию наноалмазов во взвешенном виде в электролите помогают газовыделение и тепловая конвекция в процессе получения металл-алмазных КЭП. Не требуется дополнительного перемешивания [3].

Для получения КЭП на основе хрома применяют различные электролиты: стандартный без добавок, стандартный с различными добавками, разбавленный стандартный, тетрахроматный и саморегулируемый. Все эти электролиты в качестве основного компонента содержат соединение шестивалентного хрома – хромовый ангидрид, образующее в водном растворе хромовую кислоту, не существующую в безводном состоянии. Частое применение получили наиболее простые электролиты, так называемые стандартные (хромовый ангидрид и серная кислота) [4].

Была поставлена цель: нанести КЭП на различные поверхности (рис. 3). В отфильтрованный электролит была введена паста модифицированных наноалмазов, предварительно продиспергированных в 365 мл. воды. Концентрация модифицированных наноалмазов в электролите составила 13 г/л. Раствор прорабатывали током при катодной плотности тока 15–20 А/дм².

Состав электролита следующий:

Никеля сульфат – 250 г/л;

Никеля хлорид – 20 г/л;

Натрия сульфат – 90 г/л;

Магния сульфат – 80 г/л;

Кислота борная – 30 г/л.

Температура электролита составляла 60–80 °С, показатель pH 4–5. Схематичное изображение установки для осаждения покрытий показана на рис. 1.

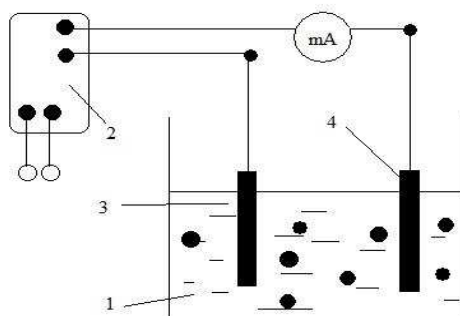


Рис. 1. Схема установки для осаждения КЭП. 1 – электролит; 2 – источник питания; 3 – анод; 4 – образец

Катод в данном опыте представлял собой деталь, на которую требуется нанести КЭП. Анодом являлась свинцовая пластинка. Положительные ионы (ионы хрома) — двигались к катоду. На отрицательном катоде восстановитель окислялся, образующиеся свободные электроны переходили по внешней цепи к положительному аноду, где они участвовали в реакции восстановления окислителя. В образовании композиционного покрытия при электролизе суспензии следует выделить три важные стадии (рис. 2): 1) встреча частиц с поверхностью катода; 2) задержка (адгезия, налипание или адсорбция) частиц на этой поверхности; 3) зарастание частиц, оказавшихся на поверхности — катода, матрицей. Нарушение или создание препятствий протеканию одной из указанных стадий будет отражаться на составе покрытий.

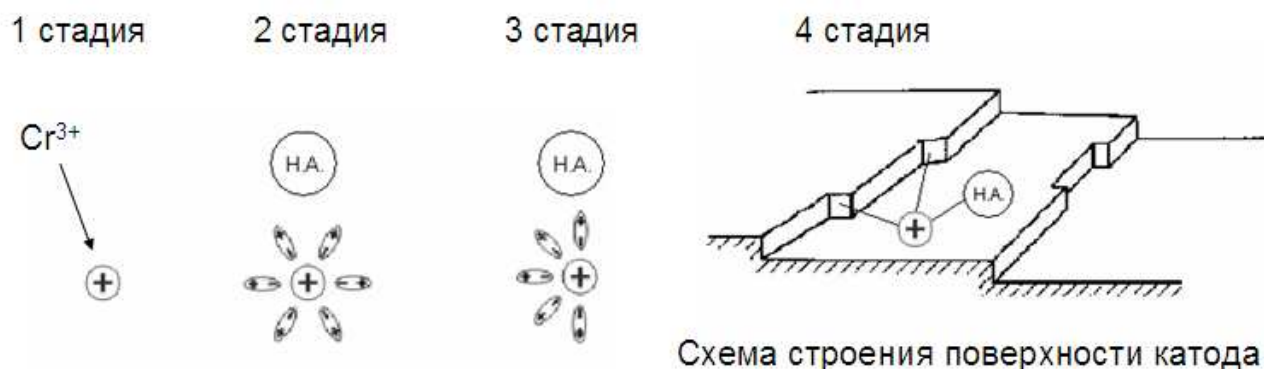


Рис. 2. Наши представления о стадиях процесса образования покрытия

Хромирование выполняют с нерастворимыми свинцовыми анодами, поскольку хромовые аноды растворяются с образованием трехзарядных ионов хрома, избыток которых портит электролит. Недостатком свинцовых анодов является образование на них темно-коричневой пленки (даже корки) из малорастворимой хромовокислой соли свинца и пероксида свинца (3-PbO_2 , который образуется при взаимодействии анода с выделяющимся на нем кислородом. В результате этого увеличивается напряжение на электролизере и ухудшается распределение тока (особенно при локальном образовании корки). Наряду с выделением кислорода, на аноде происходит окисление трехзарядного хрома до шестивалентного, но выход этого процесса по току невысок.

Лучше себя ведут свинцовые аноды, содержащие сурьму или олово (5–8 %) либо сурьму вместе с оловом. Образующаяся на таких анодах пленка обладает достаточной проводимостью. Аноды же из чистого свинца приходится время от времени (обычно раз в смену) подтапливать в 10 %-й соляной кислоте либо (лучше) в 10 %-м растворе NaOH с добавлением 100 г/л калия-натрия виннокислого, после чего их очищают металлическими щетками. В случае длительных перерывов электролиза такие аноды извлекают из раствора и держат в воде [4].



Рис. 3. Пример детали с нанесенным покрытием

Список литературы

1. Долматов В. Ю., Буркат Г. К. Ультрадисперсные алмазы в гальванотехнике. Физика твердого тела, 2004, т 46, вып. 4.
2. Шкатов В. В., Шатов Ю. С., Щеренкова И. С. Влияние дисперсных сверхтвердых частиц на морфологию поверхности и эксплуатационные свойства электролитических хромовых покрытий, Конденсированные среды и межфазные границы, 2013, т. 15, № 2. С. 195–199.
3. Электрохимическое нанесение композиционных хром-наноалмазных покрытий. В. П. Исаков, А. И. Лямкин, Д. Н. Никитин. Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета.
4. Прикладная электрохимия. учеб. для вузов / под ред. докт. техн. наук проф. Л. П. Томилова. 3-е изд., перераб. М.: Химия, 1984. 520 с.: ил.

Секция 3. Нанопотоника и наноэлектроника

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНОФОРНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А. В. Белоножко, Н. В. Скотников

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф. С. В. Смирнов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Полупроводниковый диод белого свечения – перспективное направление в области электроники, а именно светотехники. Он позволяет значительно понизить потребление электрической энергии, используемой на освещение, следовательно, такой диод является энергетически эффективным устройством.

Принято считать, что одно из основных преимуществ светоизлучающих диодов (СИД) по сравнению с традиционными источниками света состоит в более продолжительном сроке службы. И теперь, когда применение различных светотехнических устройств достигло огромных масштабов, вопрос качества и стабильности их параметров с течением времени наработки приобретает большое значение. В настоящее время самым эффективным и экономичным способом является метод получения белого света с помощью кристалла синего светодиода и нанесенного на него слоя желтого люминофора [1]. Для того чтобы выяснить, как влияет люминофорный слой на деградацию белого светодиода, испытывались синий и белый светодиод фирмы KnightBright на основе GaN. С помощью нагревательного элемента увеличивали внешнюю температуру светодиода и измеряли вольт-амперные характеристики с интервалом в 30 градусов с помощью измерительного комплекса «Метроном-03». Семейство этих зависимостей для синего и белого светодиода представлено на рис. 1.

Из графика зависимости видно, что при увеличении температуры ток, протекающий, через р-п-переход, увеличивается. Из этого можно сделать вывод, что повышенные температуры ускоряют процесс деградации.

Из полученных значений вольт-амперных характеристик (рис. 1) для синего и белого светодиодов возьмем значение прямого тока при фиксированном напряжении $U = 1,8$ В, для каждой температуры испытания. По данным табл. 1, 2, 3, 4 построим графики зависимости увеличения прямого тока светодиодов с увеличением температуры.

Из графика на рис. 2 видно, что при увеличении температуры, подаваемой на светодиод при испытаниях, прямой ток увеличился в несколько раз по сравнению с прямым током до испытаний.

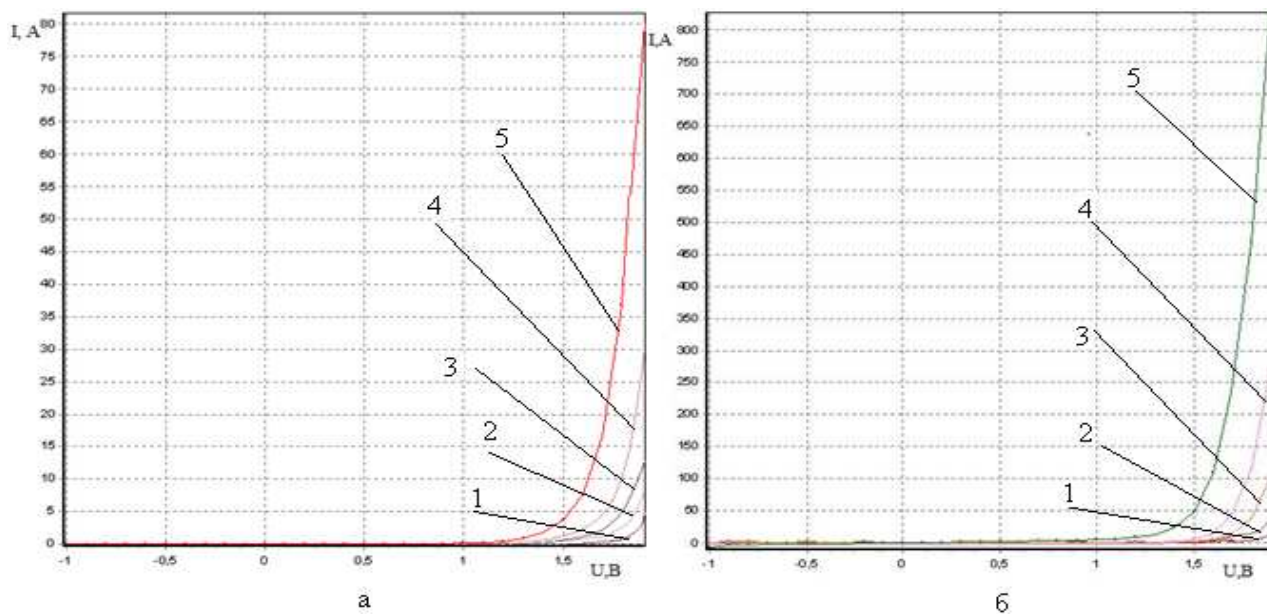


Рис. 1. а) ВАХ синего светодиода от температуры: 1 – ВАХ при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – ВАХ при $T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – ВАХ при $T = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – ВАХ при $T = 115\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – ВАХ при $T = 145\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 б) ВАХ белого светодиода от температуры: 1 – ВАХ при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – ВАХ при $T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – ВАХ при $T = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – ВАХ при $T = 115\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – ВАХ при $T = 145\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблица 1

Зависимость прямого тока от температуры

I, нА	T, °C
5	25
7,5	55
13	85
29	115
80	145

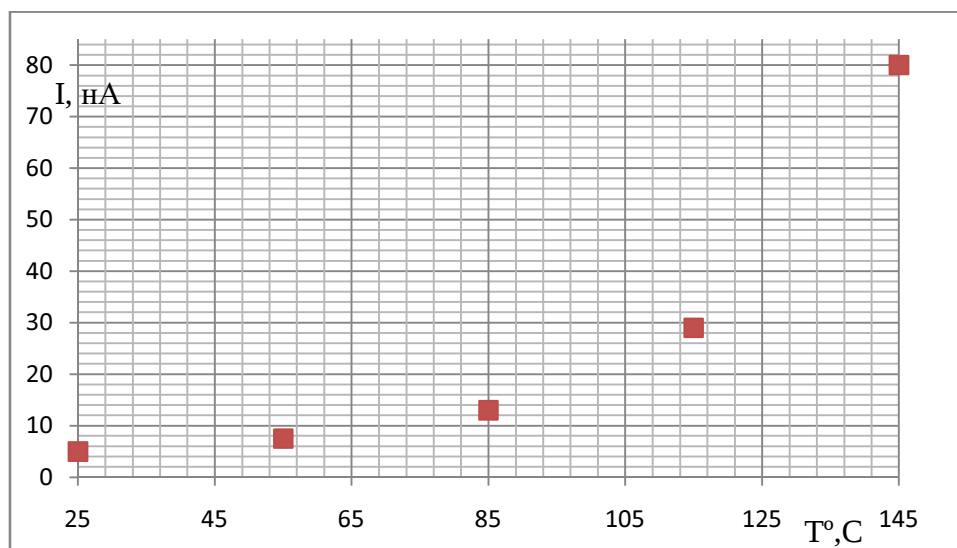


Рис. 2. Зависимость прямого тока синего светодиода от температуры

Таблица 2

Зависимость прямого тока от температуры

I, нА	T, °C
10	25
40	55
100	85
270	115
830	145

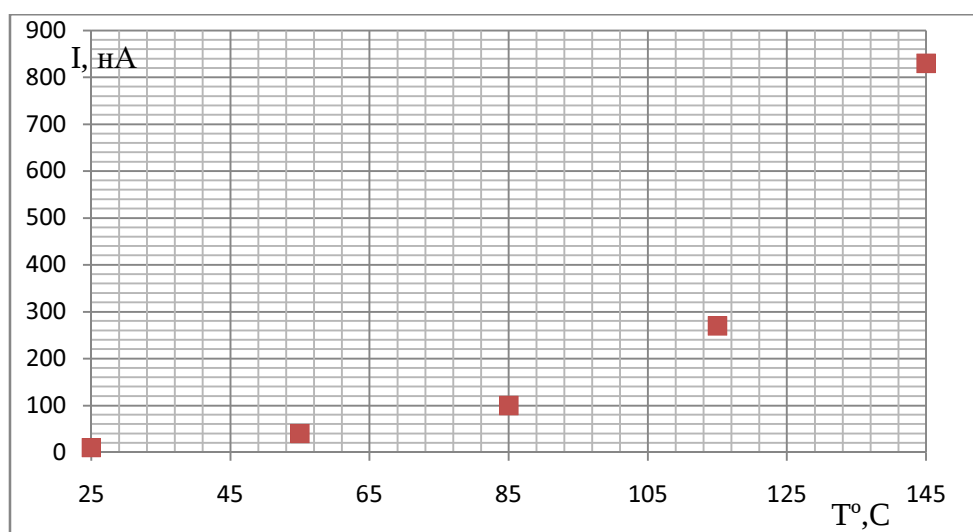


Рис. 3. Зависимость прямого тока белого светодиода от температуры

На графике на рис. 3 видно, что при увеличении подаваемого тока и времени наработки прямой ток через светодиод при фиксированном напряжении увеличивается. Ток, подаваемый на светодиод при испытаниях, превысил допустимое значение в десятки раз раз. Соответственно, прямой ток вырос почти в 83 раза.

Для количественной оценки деградации красных и синих светодиодов введем величину, называемую коэффициентом деградации, который определяется по следующей формуле:

$$k = \frac{\Delta I}{\Delta I_0} | \Delta U = const, \quad (1)$$

где: ΔI_0 – изменение тока на участке ВАХ, в диапазоне напряжений ΔU , до испытаний;

ΔI – изменение тока на участке ВАХ, в диапазоне напряжений ΔU ;

ΔU – диапазон напряжений, на котором измеряется коэффициент деградации (для данных светодиодов $\Delta U = 1.4 \div 1.8$).

Таблица 3

Результаты расчетов коэффициентов деградации для синего светодиода

$T, ^\circ\text{C}$	$\Delta I_0, \text{нА}$	$\Delta I, \text{нА}$	k
25	1	1,5	1,5
55	1	2,9	2,9
85	1	4	4
115	1	9	9
145	1	35	35

Таблица 4

Результаты расчетов коэффициентов деградации для белого светодиода

$T, ^\circ\text{C}$	$\Delta I_0, \text{нА}$	$\Delta I, \text{нА}$	k
25	5	6	1,2
55	5	15	3
85	5	31	6,2
115	5	102	20,4
145	5	428	85,6

Построим график зависимость коэффициента деградации от времени испытаний:

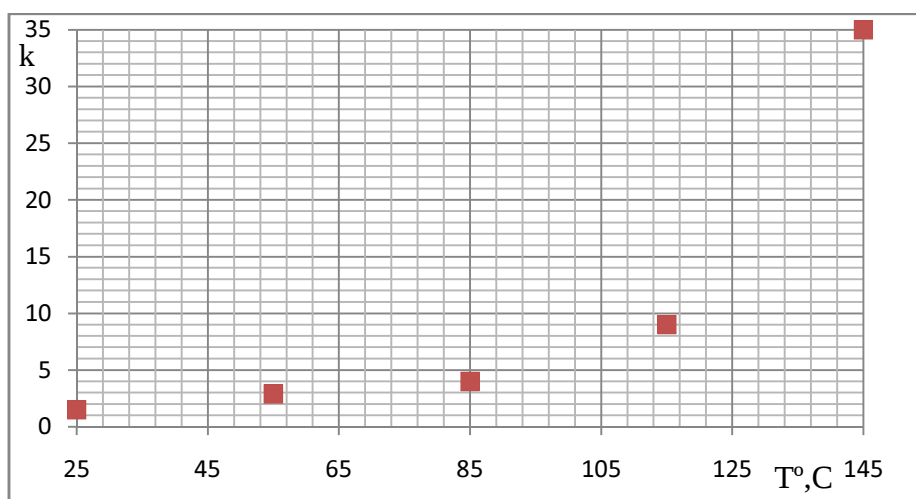


Рис. 4. Зависимость коэффициента деградации синего светодиода от температуры испытаний

Из графика зависимости, представленного на рис. 4, можно судить о степени деградации синего светодиода. К концу испытаний коэффициент деградации достиг значения 35, что свидетельствует о том, что в данном светодиоде имеют место процессы деградации.

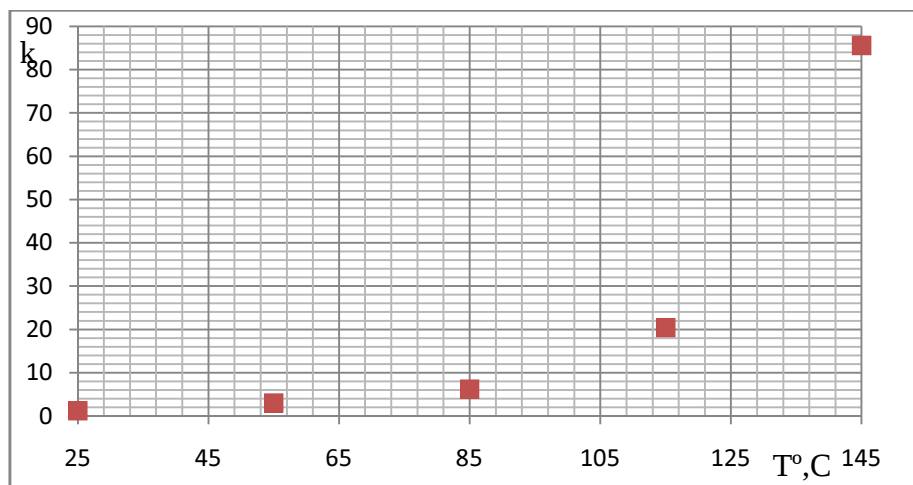


Рис. 5. Зависимость коэффициента деградации белого светодиода от времени испытаний

Из графика зависимости, представленного на рис. 5, можно судить о степени деградации белого светодиода. К концу испытаний коэффициент деградации достиг огромного для светодиода значения, равного 84,6, что свидетельствует о том, что в данном светодиоде процессы деградации выражены сильнее, чем в синем. Следовательно, одной из причин деградации в белом светодиоде является слой люминофора, нанесенный на кристалл синего светодиода.

Список литературы

1. Шуберт Ф. Светодиоды: пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. С. 496

УДК 621.385.6

БЕСКОНТАКТНАЯ УПРАВЛЯЕМАЯ МИКРОПОЛОСКОВАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СВЧ НАНОСХЕМ

А. С. Дранишников , А. Н. Кудисов

Научный руководитель: канд. техн. наук А. Ф. Копылов

Сибирский федеральный университет

В любой области науки и техники важным вопросом всегда является вопрос об объектах, подлежащих реализации в этой области, иными словами, об элементной базе рассматриваемой области. Аналогичный вопрос актуален и для современной наноэлектроники. Целью настоящей работы является информирование научной общественности СФУ, интерес которой лежит в области нанотехнологий, о некоторых

возможностях реализации большого класса радиоэлектронных устройств с использованием этих технологий.

Дело в том, что в области сверхвысоких частот (СВЧ), в частности, в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн, существуют определенные проблемы при реализации тех или иных элементов устройств, связанные с выполнением размеров этих элементов, а также подложек устройств с размерами, которые относятся к классу «наноразмеров» – от 0,1 мкм и менее. Эти проблемы, на наш взгляд, как нельзя лучше могут быть решены с использованием различных элементов нанотехнологических процессов. В частности, частотный диапазон наиболее удобной и часто используемой на СВЧ линии передачи – микрополосковой – можно увеличить до 100 ГГц при использовании диэлектрических подложек толщиной 100 нм. Частотный диапазон работы активных элементов традиционного типа (транзисторы, диоды, микросхемы традиционных схемотехнических решений) также очень существенно увеличивается, что дает дальнейшую возможность использовать хорошо отработанную относительно низкочастотную схемотехнику при реализации этих элементов и устройств.

На рис. 1 показана схема классификации возможных направлений создания и развития устройств СВЧ нанoeлектроники (так, как она представляется нам). Эта схема включает три возможных направления реализации СВЧ наносхем:

- на основе традиционных элементов (транзисторы, диоды и др.), размер которых соизмеримы с сотнями, десятками и единицами нанометров;
- нетрадиционные элементы СВЧ схем, выполненные на основе модифицированных или оригинальных схемотехнических подходов (например, ряд устройств на основе замедленных волн в полупроводниковых СВЧ структурах, или на основе каких-либо иных принципов – с использованием магнитных полей и т. п.);
- СВЧ элементы и устройства с использованием принципов функциональной электроники (волны носителей заряда, геликоновые и иные волны в полупроводниках или других материалах с особыми свойствами).

Из этих трех выделенных направлений реализации СВЧ наносхем наиболее близким к выходу при реализации, конечно, является первое, основанное на использовании хорошо отработанных схемотехнических решений в относительно низкочастотной области. Например, простое уменьшение размеров активных элементов (транзисторов) дает сразу существенное увеличение широкополосности, верхней рабочей частоты и резкое улучшение других параметров схем на основе нанотранзисторов. По аналогии с микросхемами, где рабочие размеры элементов соизмеримы с сотнями, десятками и единицами микрон, при использовании элементов с рабочими размерами порядка сотен, десятков и единиц нанометров, такие схемы следует называть «наносхемы». Очень важным при реализации таких СВЧ наносхем традиционного типа является то, что их применение весьма широко в вычислительной технике, что делает производство таких наносхем практически сразу рентабельным в мировом масштабе, так как такие схемы позволят резко улучшить качественные показатели компьютерных элементов систем по быстродействию, памяти, скорости передачи данных за счет увеличения широкополосности схем.

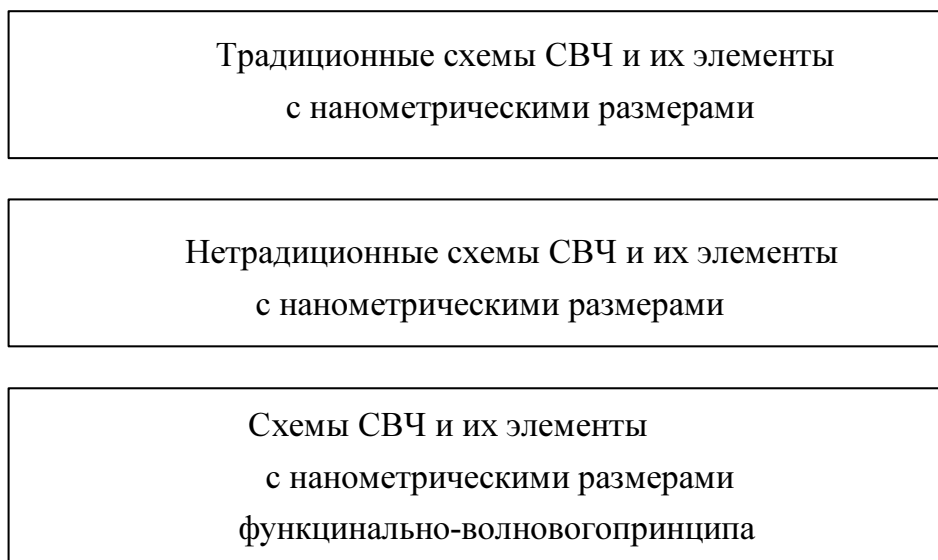


Рис. 1. Схема классификации возможных направлений создания и развития устройств СВЧ нанoeлектроники

Второе направление реализации СВЧ наносхем основано на использовании известных свойств материалов, в частности полупроводников в несколько нетрадиционном плане. К таким использованиям следует отнести, например, представленные в настоящем докладе линии передачи на полупроводниковой подложке. Они разработаны достаточно хорошо [1–7] и в настоящее время находятся на стадии оптимизации их электрофизических и геометрических параметров для соответствующих применений в СВЧ диапазоне [9].

Третье направление реализации СВЧ наносхем, которое можно назвать функциональной нанoeлектроникой, основывается, как и функциональная микроэлектроника [8], на использовании волновых или иных процессов в теле или на поверхности образцов материалов, обладающих теми или иными особыми свойствами (такими, как, например, пьезокристаллы, полупроводники с теми или иными эффектами, магнитные материалы с особыми свойствами). Это наиболее сложное, дорогостоящее и длительное по отношению к реальному выходу устройств направление реализации СВЧ наносхем; оно, вероятно, невозможно без масштабных фундаментальных исследований, которые в обозримом будущем вряд ли будут по средствам нашей стране.

Мы предлагаем к реализации наиболее близкий нам элемент СВЧ наносхем, показанный на рис. 2. Эквивалентная схема такой линии представлена, например, в [1]. Предлагаемый в настоящей работе вариант УМПЛ не содержит управляющих контактов и определен нами как бесконтактная управляемая микрополосковая линия (БУМПЛ). Эта конструктивная особенность отличает БУМПЛ от описанной ранее нами же [2–5] управляемой микрополосковой линии (УМПЛ), содержащей пару управляющих контактов (например, омических или Шоттковских) для подачи на них напряжения постоянного тока для осуществления изменения (управления) параметрами активного слоя полупроводника и, соответственно, параметрами распространения электромагнитных СВЧ волн в линии.

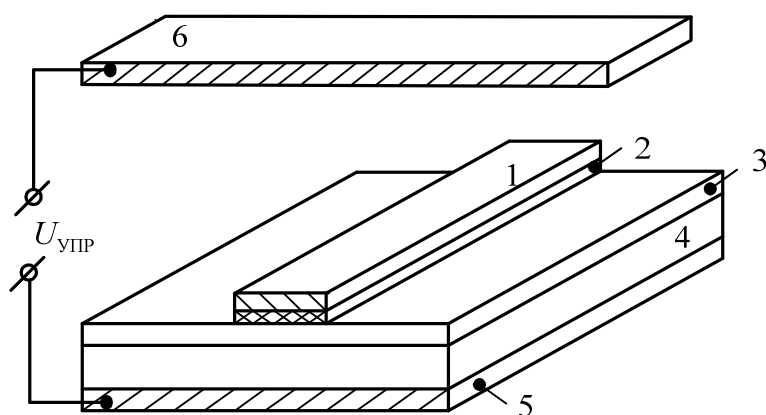


Рис. 2. Бесконтактная управляемая микрополосковая линия передачи на полупроводниковой подложке

Как и в ранее предложенных на основе УМПЛ ряде активных СВЧ элементов [1–7], в предлагаемом варианте вместо построения устройств на основе дискретных СВЧ элементов, объединенных далее в некую схему, выполняющую определенную функцию (например, фазовращателя, аттенюатора и т. п.), предполагается использовать подход, основанный на использовании универсального базового элемента («функционального элемента»). На основе такого элемента возможно построение устройства, выполняющего конечную функцию в силу физических особенностей принципов его работы, а не на основе объединения дискретных элементов в общую схему. Классическим примером базового элемента функциональной электроники, например, является пьезоэлектрический резонатор, который выполняет частотоизбирательные функции не из-за того, что содержит индуктивность и емкость, соединенные последовательно или параллельно между собой, а в силу своих природных физических свойств. Применение подходов и устройств функциональной электроники, на наш взгляд, позволяет избежать решения сложных схемотехнических проблем при реализации СВЧ микро- и наносхем, особенно в коротковолновой части этого диапазона. Такие подходы в СВЧ электронике были известны и ранее, и в своё время их характеризовали общим термином «функциональная электроника» [8].

На рис. 2 показана бесконтактная УМПЛ. Она содержит: отрезок микрополосковой линии передачи 1, образующий к активному полупроводниковому слою арсенида галлия либо контакт Шоттки, либо МДП-структуру 2, активный слой полупроводника 3, сформированный на полуизолирующей полупроводниковой подложке 4. Подложка 4 имеет металлизацию 5 обратной стороны, которая, кроме заземления по СВЧ, несет также функцию одного из управляющих по постоянному току электродов. Над рабочей частью поверхности микрополосковой линии 1 расположен второй управляющий по постоянному току электрод 6. Такая конструкция и расположение второго управляющего электрода 6, естественно, носит схематичный характер и требует детального уточнения при реализации того или иного функционального элемента на основе БУМПЛ. Управление параметрами

распространяющейся в БУМПЛ СВЧ волны осуществляется подачей между электродами 5 и 6 управляющего напряжения постоянного тока $U_{упр}$.

На основе БУМПЛ возможна реализация целого ряда пассивных СВЧ устройств: частотоизбирательных структур типа резонаторов и фильтров с управляемой добротностью [2, 3]; смесителей сигналов СВЧ в интегральном исполнении [4]; электрически управляемых аттенюаторов, фазовращателей и весовых устройств управления амплитудами и фазами для фазированных антенных решеток (ФАР) [5]; корректоров фазочастотных характеристик и частотных характеристик дельта-ГВЗ (изменения группового времени запаздывания) [6, 7].

На наш взгляд, предложенный вариант позволяет решить ряд схемотехнических проблем, возникающих при проектировании пассивных элементов СВЧ твердотельных интегральных схем с нанометрическими размерами (СВЧ наносхем), в частности, проблемы, связанной со сложностью реализации в нанометрическом диапазоне геометрических размеров традиционных в схемотехническом плане пассивных элементов – диодов, индуктивностей, емкостей, согласующих и других СВЧ элементов, а также проблемы, связанной с формированием управляющих контактов, линий и других элементов, необходимых для осуществления управления параметрами СВЧ устройств, и их существенным влиянием на характеристики линий передачи СВЧ.

Список литературы

1. Kopylov A., Kopylova N. The Microstrip Transmission Line on Semiconductor Substrate. Numerical Simulation Technique for Modeling of Control Mechanism and Parameters / LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, 2012. 52 P. ISBN 978-3-659-22648-9.

2. Попов А. Р., Копылов А. Ф., Пеньков В. М. Резонатор сантиметровых волн с управляемой добротностью: сб. тез. докл. X Всесоюзной научной конф. по СВЧ электронике. Минск, т. 2, 1983, С. 78–79.

3. Попов А. Р., Копылов А. Ф., Шестаков А. А. Интегральный СВЧ фильтр с управляемой АЧХ: сб. тез. докл. Всесоюзной научно-технич. конф. «Проблемы интегральной электроники СВЧ». Ленинград, 1984, С. 85.

4. Попов А. Р., Копылов А. Ф., Пеньков В. М., Фенькова Н. Б. Интегральный СВЧ смеситель на арсениде галлия: сб. тез. докл. Всесоюзной научно-технич. конф. «Проблемы интегральной электроники СВЧ». Ленинград, 1984, С.183

5. Копылов А. Ф. Использование управляемой линии передачи для реализации весового устройства ФАР: материалы 46-й научно-технич. конф., посвящ. Дню радио «Актуальные проблемы развития радиотехники, электроники, связи». Ленинград, 1991, С. 16–17.

6. Копылов А. Ф., Мисливченко А. С. Разработка модели электронно-управляемого СВЧ корректора группового времени запаздывания: сб. научн. ст. «Современные проблемы радиоэлектроники». Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2007. С. 214–216.

7. Копылов А. Ф., Копылова Н. А. Моделирование частотных характеристик ГВЗ в управляемой микрополосковой линии передачи на полупроводниковой подложке // Материалы 22-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и

телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2012). Севастополь. Вебер. 2012. С. 528–529. ISBN 978-966-335-374-6.

8. Попов А. Р., Копылов А. Ф., Никитин В. В., Дегилевич С. Н. Функционально-волновые устройства обработки информации на СВЧ / В Кн.: Автоматизация устройств и систем сверхвысоких частот. Материалы Всесоюзного совещания-семинара. Красноярск, 1984, С. 70–75.

9. Копылов А. Ф., Ярыгина О. Л. Оптимизация электрофизических параметров управляемой микрополосковой линии передачи на полупроводниковой подложке / Сб. научн. Ст. «Современные проблемы радиоэлектроники». Красноярск: Сибирский федеральный университет; 2009. в публикации.

УДК 621.318.14-492.2

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОАЛМАЗА

А. А. Зимин, И. А. Денисов

Научный руководитель д-р физ.-мат. наук П. И. Белобров

Сибирский федеральный университет, МОЛПИТ

Согласно данным ЭПР и ЯМР, наночастицы алмаза размером порядка 5 нм обладают парамагнитными свойствами. Экспериментально наблюдаемые неспаренные электроны характеризуются так называемым парамагнитным инвариантом [1], не связанным с примесными атомами и состоянием поверхности наноалмаза [1–3]. Явление парамагнитного инварианта проявляется в наличии независящего от метода синтеза и модификации поверхности ЭПР-сигнала, обладающего постоянной шириной линии и g-фактором. Парамагнитный инвариант проявляет себя и в других подвергнутых механической обработке диамагнитных материалах, таких как Si, Ge, SiC и соединения вида $A^{IV}B^{VI}$ [4].

Из данных ЯМР однозначно следует, что в наночастицах алмаза неспаренные электроны локализованы в подповерхностном слое на атомах, не связанных с примесями [2], что исключает объяснение наблюдаемого парамагнетизма с помощью примесных NV-центров. Электронная порошковая дифракция, снятая как на больших ансамблях наночастиц, так и на четырех отдельных наноалмазах, указывает на хорошую кристалличность и отсутствие каких-либо диффузных колец и следов гексагональной фазы, отвечающей графитоподобным соединениям [5]. Таким образом, все атомы углерода в наноалмазе являются насыщенными.

С учетом вышеизложенных фактов сложно объяснить существование неспаренного электрона в полностью насыщенной углеродной системе, поскольку любой четко локализованный электронный дефект (например, F-центр) неизбежно влечет появление характерного оптического поглощения, не наблюдаемого экспериментально. Такой электрон неизбежно должен быть коллективным. В работе [6] проведен расчет электронной структуры

наноалмазных кластеров и оптимизация их геометрии вплоть до 2,1 нм в рамках метода DFT на уровнях теории LDA и GGA с базисом DZP. Расчет показал, что ВЗМО оптимизированных кластеров наноалмаза локализуется преимущественно в подповерхностном слое. Проведенный первопринципный расчет электронной структуры кластеров наноалмаза состава $C_{78}H_{64}$, $C_{123}H_{100}$ и $C_{211}H_{140}$ методом DFT на уровне теории R-B3LYP с базисом 6-31G(d,p) в программном пакете GAMESS [7] показывает аналогичный сдвиг локализации волновых функций при введении параметрического сжатия поверхности (рис. 1).

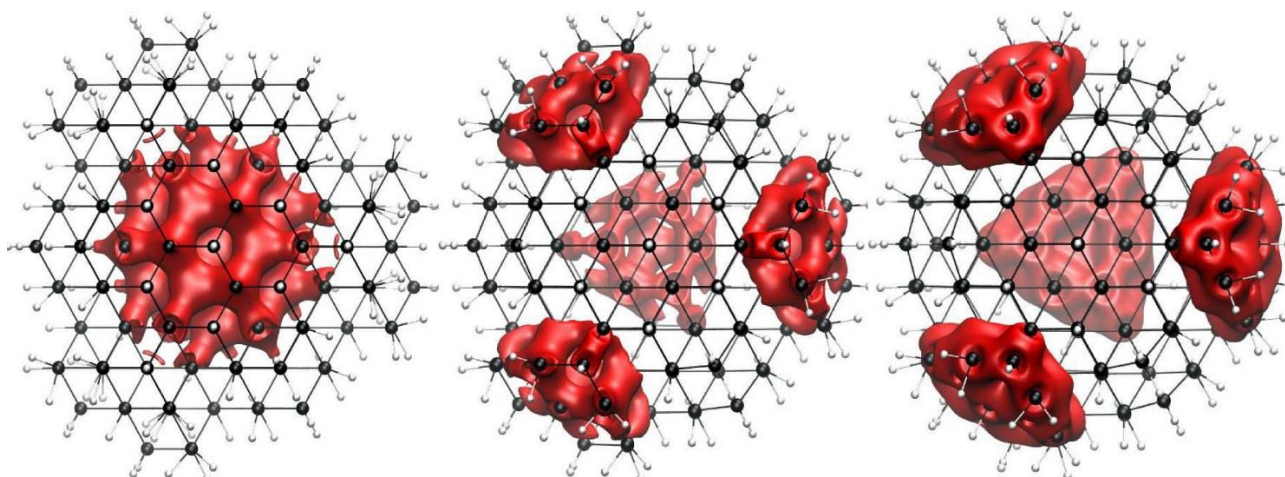


Рис. 1. изоповерхности первой связывающей МО кластера $C_{211}H_{140}$ по мере увеличения деформации поверхностного слоя (слева направо деформация растет)

Причина выхода верхней связывающей МО на поверхность предположительно заключается в сжатии поверхностного слоя в ходе самосогласования электронно-ядерной волновой функции, или, другими словами, сжатия поверхности под действием «поверхностных сил»: величина Лапласова давления для сферического наноалмаза размером 5 нм составляет величину порядка 240 МПа [8]. Таким образом, можно сделать предположение о локализации неспаренных электронов в наноалмазе в подповерхностном слое на соответствующим образом локализованных связывающих молекулярных орбиталях. На рис. 1 приведены изоповерхности первой связывающей МО кластера $C_{211}H_{140}$ по мере увеличения деформации поверхностного слоя. Как видно из рис. 1, сжатие поверхности приводит к смещению локализации МО в сжимаемую область. Такое поведение связывающих МО наночастиц алмаза позволяет качественно объяснить возможность существования локализованных в подповерхностном слое решений, что согласуется с экспериментально определенным расположением неспаренного электрона.

Существование неспаренного электрона в системе с закрытой электронной оболочкой может быть объяснено с позиций спонтанного нарушения симметрии волновых функций. Возникновение синглетной неустойчивости решений в методах, работающих с усредненным полем на примере метода Хартри-Фока, было рассмотрено, например,

в работе [9] на примере π -электронной модели молекул циклических полиенов. Если различать решения ограниченного (RHF) и неограниченного (UHF) методов Хартри-Фока, то под спонтанным нарушением симметрии стоит понимать переход системы в новое эффективное основное состояние, обладающее меньшей симметрией, меньшей энергией и большим порядком, чем исходное решение, отвечающее симметрии гамильтониана в RHF [10, 11]. В термодинамическом пределе спонтанное нарушение симметрии резко снижает вклад квантовых флуктуаций, однако при рассмотрении конечных систем пренебречь такими флуктуациями нельзя. Спонтанное нарушение симметрии в квантовых точках, которой, строго говоря, и является наноалмаз, может привести к появлению ряда эффектов, обусловленных сильно коррелированными электронами. К ним относится так называемая кристаллизация электронов (образование молекул Вигнера), проявляющаяся в двумерном случае в локализации электронов на концентрических кольцах. В отсутствие внешнего магнитного поля движение электронов по этим кольцам может быть описано моделью жесткого ротора, однако в сильных полях кольца «вращаются» независимо друг от друга [11]. Стоит отметить, что волновые функции наноалмаза, локализованные в подповерхностном слое, образуют квазидвумерную систему.

Нарушение симметрии в локализации волновых функций наноалмаза связано в первую очередь с нарушением пространственной симметрии ядерного вклада в кулоновский потенциал. В пользу «ядерной» причины нарушения симметрии в локализации волновых функций говорит и факт возникновения фундаментально идентичного парамагнитного инварианта в других диамагнитных материалах при их деформации [12]. По-видимому, в отсутствие внешнего магнитного поля нарушение пространственной симметрии волновых функций наноалмаза не приводит к возникновению нескомпенсированной спиновой плотности. Включение внешнего магнитного поля (необходимого для проведения ЭПР и ЯМР) может нарушать симметрию спиновой плотности, и это степень этого нарушения, вероятно, зависит от величины приложенного поля. На рис. 2 показана спиновая плотность молекулярной квантовой точки при спонтанном нарушении симметрии в отсутствие внешнего магнитного поля (а) и во внешнем магнитном поле с индукцией 3Т (b) по данным работы [10]. Из представленных данных видно, что спонтанное нарушение симметрии при включенном магнитном поле приводит к перераспределению спиновой плотности. Мы предполагаем, что механизм возникновения экспериментально наблюдаемого неспаренного электрона в наноалмазе имеет подобную природу и связан со спонтанным нарушением симметрии распределения спиновой плотности во внешнем магнитном поле. Подтверждение или опровержение данной гипотезы требует проведения дальнейших расчетов.

Работа поддержана мега-проектом «Биолюминесцентные биотехнологии» (договор № 11.G34.31.0058) в рамках Постановления Правительства РФ № 220 от 09.04.2010 и проектом ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы», соглашение №14.A18.21.1911.

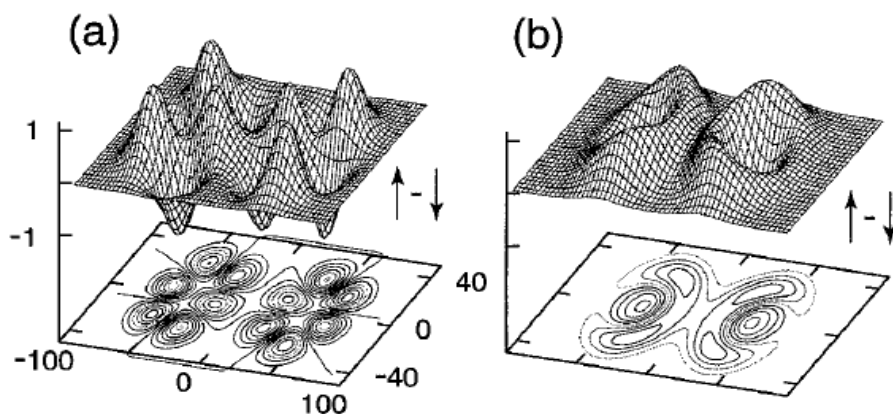


Рис. 2. Суммарная спиновая плотность 12-электронной молекулярной квантовой точки при величине магнитного поля $B = 0$ (a) и $B = 3T$ (b) из работы [10]

Список литературы

1. Belobrov P. I. et al. Paramagnetic properties of nanodiamond // Dokl. Phys. 2001. Vol. 46, № 7. P. 459–462.
2. Fang X. et al. Nonaromatic Core-Shell Structure of Nanodiamond from Solid-State NMR Spectroscopy // J. Am. Chem. Soc. 2009. Vol. 131, № 4. P. 1426–1435.
3. Shames A., Panich A. Defects and impurities in nanodiamonds: EPR, NMR and TEM study // J. Phys. Chem. Solids. 2002. Vol. 63. P. 1993–2001.
4. Walters G. K., Estle T. L. Paramagnetic Resonance of Defects Introduced Near the Surface of Solids by Mechanical Damage // J. Appl. Phys. 1961. Vol. 32, № 10. P. 1854.
5. Bursill L. A., Fullerton A. L., Bourgeois L. N. Size and Surface Structure of Diamond Nano-Crystals // Int. J. Mod. Phys. B. 2001. Vol. 15, № 31. P. 4087–4102.
6. Jiang J. et al. Structure dependent quantum confinement effect in hydrogen-terminated nanodiamond clusters // J. Appl. Phys. 2010. Vol. 108, № 9. P. 094303.
7. Schmidt M.W. et al. General atomic and molecular electronic structure system // J. Comput. Chem. John Wiley & Sons, Inc., 1993. Vol. 14, № 11. P. 1347–1363.
8. Zerilli F. J., Jones H. D. Surface energy and the size of diamond crystals // AIP Conf. Proc. 1996. Vol. 370. P. 163.
9. Čížek J. Stability Conditions for the Solutions of the Hartree–Fock Equations for Atomic and Molecular Systems. Application to the Pi-Electron Model of Cyclic Polyenes // J. Chem. Phys. 1967. Vol. 47, № 10. P. 3976.
10. Yannouleas C., Landman U. Spontaneous Symmetry Breaking in Single and Molecular Quantum Dots // Phys. Rev. Lett. 1999. Vol. 82, № 26. P. 5325–5328.
11. Yannouleas C., Landman U. Symmetry breaking and quantum correlations in finite systems: studies of quantum dots and ultracold Bose gases and related nuclear and chemical methods // Reports Prog. Phys. 2007. Vol. 70, № 12. P. 2067–2148.
12. Walters G. K., Estle T. L. Paramagnetic Resonance of Defects Introduced Near the Surface of Solids by Mechanical Damage // J. Appl. Phys. 1961. Vol. 32, № 10. P. 1854–1859.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АНИЗОТРОПНОГО НАНОКОМПОЗИТА С РЕЗОНАНСНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ

М. В. Пятнов

Сибирский федеральный университет

Исследование свойств нанокompозитов является очень перспективной задачей. Причина этого заключается в том, что свойства таких сред могут отличаться от свойств матрицы и отдельных частиц [1]. Вызывают интерес композиты, состоящие из одинаковых металлических наночастиц, распределённых в диэлектрической матрице. Особенностью такой структуры является то, что материалы наночастиц и матрицы не имеют резонансных особенностей, однако нанокompозит характеризуется эффективной диэлектрической проницаемостью с резонансными особенностями. Одной из наиболее распространённых моделей эффективной диэлектрической проницаемости является модель Максвелла-Гарнетта. Такой нанокompозит позволяет получить в оптическом диапазоне как малые ($n \leq 1$), так и сверхбольшие ($n \gg 1$) значения показателя преломления [2].

Перспективным направлением исследований является изучение свойств фотонных кристаллов, в которые в качестве дефекта внедрен слой нанокompозита. В работе [3] исследуются особенности спектров пропускания и отражения скалярного фотонного кристалла с анизотропным нанокompозитом. Спектры холестерического жидкого кристалла с изотропным дефектным слоем нанокompозита изучены в [4]. В этих работах показано, как можно эффективно использовать уникальные оптические свойства материала для управления спектрами фотонных кристаллов.

Рассматривается нанокompозит с металлическими частицами в форме эллипсоидов вращения. Все наночастицы ориентированы вдоль оси x , в результате чего нанокompозит имеет свойства одноосного кристалла. Эффективная диэлектрическая проницаемость представляется в виде диагонального тензора с компонентами $\varepsilon_x = \varepsilon_{\parallel}$, $\varepsilon_y = \varepsilon_z = \varepsilon_{\perp}$, где

$$\varepsilon_{\perp, \parallel} = \varepsilon_d \left[1 + \frac{f}{(1-f)L_{\perp, \parallel} + \varepsilon_d / (\varepsilon_m - \varepsilon_d)} \right]. \quad (1)$$

Здесь f – фактор заполнения, т. е. доля наночастиц в матрице, ε_d и $\varepsilon_m(\omega)$ – диэлектрические проницаемости соответственно матрицы и металла, из которого изготовлены наночастицы, ω – частота излучения. $L_{\perp, \parallel}$ – фактор деполяризации, учитывающий влияние формы наночастиц:

$$L_{\parallel} = \frac{1}{1-\xi^2} \left(1 - \xi \frac{\arcsin(\sqrt{1-\xi^2})}{\sqrt{1-\xi^2}} \right),$$

$$L_{\perp} = \frac{1}{2} (1 - L_{\parallel}), \quad (2)$$

ξ – отношение длин экваториальной и полярной полуосей наноэллипсоида. В работе рассматривается композит с вытянутыми частицами.

Размер наночастиц значительно меньше длины волны и глубины проникновения поля в материал. Диэлектрическая проницаемость металла, из которого изготовлены наночастицы, была задается в приближении Друде:

$$\varepsilon_m(\omega) = \varepsilon_0 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma)}, \quad (3)$$

где ε_0 – постоянная, учитывающая вклады межзонных переходов, ω_p – плазменная частота, γ – величина, обратная времени релаксации электронов.

Уникальные оптические свойства рассматриваемой среды возникают из-за плазмонного резонанса металлических наночастиц. Его частотой можно управлять, варьируя форму и размер включений. Если форма наночастиц отлична от сферической наблюдается два плазмонных резонанса. Эти резонансы соответствуют поляризациям, имеющим параллельную (параллельная поляризация) и перпендикулярную (перпендикулярная поляризация) ориентацию вектора напряженности электрического поля относительно упорядоченных длинных осей эллипсоидов. Наличие двух плазмонных резонансов приводит к тому, что спектр пропускания структуры принимает вид (рис. 1). Запрещённые зоны соответствуют частотам плазмонных резонансов. Для круговой поляризации существуют оба резонанса, поэтому наблюдаются две зоны, максимальная глубина которых равна среднему глубин запрещённых зон для волн с параллельной и перпендикулярной поляризациями.

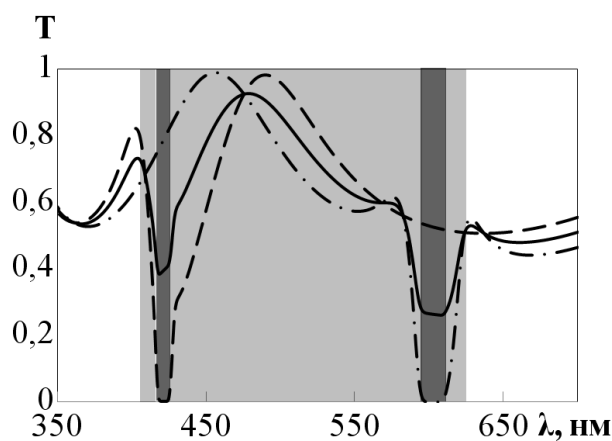


Рис. 1. Спектр пропускания нанокомпозита для параллельной поляризации (пунктирная линия), перпендикулярной поляризации (штрихпунктирная линия), циркулярной поляризации (сплошная линия). Три зоны на спектре пропускания для круговой поляризации: зона I (белые полосы), зона II (серые полосы), зона III (тёмные полосы). Фактор заполнения $f = 0.01$

Композит с наночарами не изменяет поляризацию света, проходящего сквозь него. Иная ситуация наблюдается для анизотропного композита. Свет с параллельной и перпендикулярной поляризациями проходит сквозь него, не изменив плоскости поляризации. Однако, свет любой другой линейной или круговой поляризации соответствует обоим плазмонным резонансам, и в спектре пропускания наблюдаются две запрещённые зоны. На спектре пропускания для круговой поляризации существуют три зоны частот, в которых поляризация меняется различным образом. В зоне I нет резонансных особенностей, и поляризация не претерпевает изменений.

В зоне II, по причине поглощения ортогональной компоненты, свет круговой поляризации приобретает параллельную или перпендикулярную поляризацию в зависимости от того, какую он имеет частоту. Наноккомпозит для частот зоны III подобен фазовой пластинке. Так поляризационные свойства здесь напрямую зависят от параметров наноккомпозита. Изменяя толщину слоя, мы варьируем разность фаз и тем самым управляем поляризацией. При этом траектория изменения поляризации на сфере Пуанкаре принимает вид трохойды, которая представляет собой траекторию точки, жёстко связанной с окружностью, катящейся без скольжения по прямой (рис. 2).

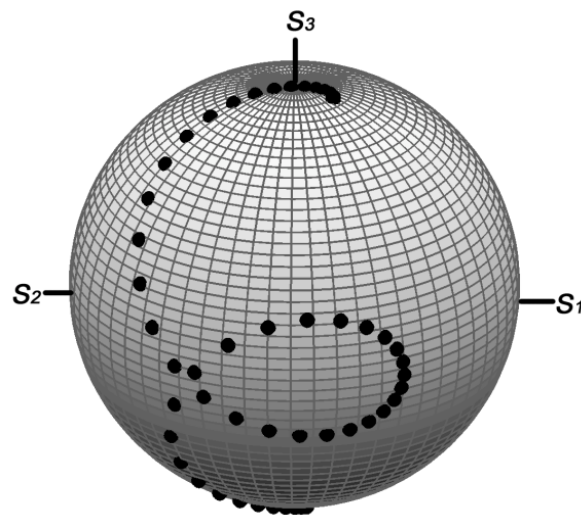


Рис. 2. Динамика поляризации по мере распространения света сквозь наноккомпозит.

Длина волны $\lambda = 516$ нм (зона III). Фактор заполнения $f = 0.03$

Разность фаз компонент вектора напряженности электрического поля E_x - E_y в зависимости от толщины меняется незначительно. Установлено, что она сильно зависит от фактора заполнения наноккомпозита f . Увеличивая f всего на несколько процентов можно добиться значительного увеличения радиуса трохойды. Соответственно можно получить на выходе из наноккомпозита свет совершенно иной поляризации.

Установлено, что набег фазы волны круговой поляризации на выходе из наноккомпозита в зависимости от длины волны падающего излучения имеет резонансный характер. Частоты резонансов соответствуют частотам плазмонных резонансов наноккомпозита (рис. 3).

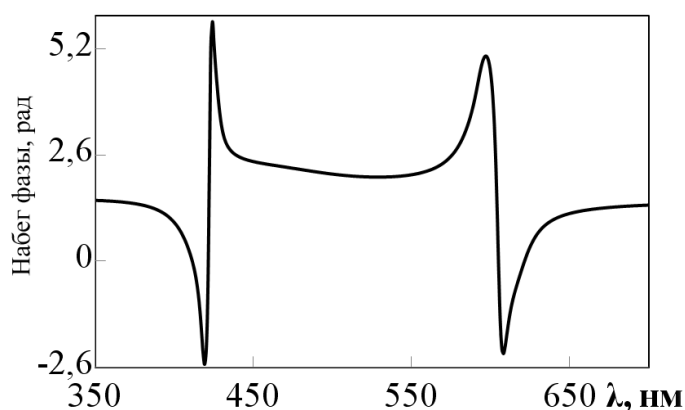


Рис. 3. Набег фазы волны правой круговой поляризации на выходе из структуры, $f = 0.01$

Список литературы

1. Хлебцов Н. Г. Квантовая электроника 38, 504 (2008).
2. Ораевский А. Н., Проценко И. Е.. Письма в ЖЭТФ 72, 541 (2000).
3. Моисеев С. Г., Остаточников В. А., Семенцов Д. И. Квантовая электроника 42, 557 (2012).
4. Ветров С. Я., Пятнов М. В., Тимофеев И. В. ФТТ 55, 1585 (2013).

УДК 541.145

ФИЛЬТРУЮЩЕ-СОРБИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ С ВНЕДРЕННЫМ НАНОРАЗМЕРНЫМ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОМ

М. А. Саляхова, И. П. Карасева

Научный руководитель д-р техн. наук И. Ш. Абдуллин

Казанский национальный исследовательский технологический университет

В последние годы интенсивно развиваются исследования и разработка защитных материалов нового поколения и изделий из них с использованием наносистем. Наиболее часто в фотокаталитическом процессе используется диоксид титана как один из самых химически и термически стабильных и нетоксичных продуктов. Наноразмерные неорганические оксиды могут использоваться для обеззараживания материалов, загрязненных опасными токсичными веществами, в том числе отравляющими веществами, а также для очистки воздуха от примесей паров и газов токсичных химических веществ.

Эффект фотокаталитического окисления на нанокристаллических структурах некоторых оксидов металлов является одним из перспективных методов очистки воздуха от примесей токсичных химических веществ. Диоксид титана анатазной формы является эффективным фотокатализатором, на поверхности которого под воздействием УФ излучения могут быть окислены практически любые органические соединения.

В лаборатории ОАО «КазХимНИИ» разработана технология получения материала фильтрующего типа с внедренным фотокатализатором – фотокаталитически активным диоксидом титана анатазной кристаллической структуры с размером частиц 10–15 нм. Слой катализатора формируется на поверхности текстильного материала по золь-гель технологии. В качестве фотокатализатора использовался кристаллический порошкообразный диоксид титана, полученный в Институте катализа им. Г. К. Бореского Сибирского отделения РАН. Для приготовления титан-силикатного комплекса (ТС-комплекса) порошкообразный диоксид титана предварительно переводили в водно-дисперсную систему, в которую затем вводили гидрозоль наноразмерного диоксида кремния (кремнезоль).

Введение наноразмерного диоксида кремния повышает адсорбционные свойства ТС-комплекса за счет увеличения удельной поверхности катализатора.

Чтобы исключить стадию перевода порошкообразного диоксида титана в водную систему, при получении ФСМ использовали водную дисперсию наноразмерного диоксида титана, полученную в лаборатории КазХимНИИ. Использование водной дисперсии наноразмерного диоксида титана привело к увеличению фотокаталитической активности фильтрующе-сорбирующего материала.

Было установлено, что фильтрующе-сорбирующий материал с внедренным фотокатализатором способен разлагать примеси вредных веществ под действием ультрафиолетового или солнечного света.

Фотокаталитическую активность ФСМ измеряли в реакции окисления газо-воздушной смеси органических веществ под действием УФ излучения по изменению концентрации ацетона, этилацетата, бензола, м-ксилола, аммиака в герметичной камере, испытания проводились в лаборатории «Корпорации «Росхимзащита».

Для определения фотокаталитической активности ФСМ и полученных образцов диоксида титана разработана также методика, основанная на определении степени разложения (изменения концентрации) раствора индикатора метилового оранжевого в присутствии материала с внедренным фотокатализатором или образца диоксида титана при облучении УФ светом. Концентрацию раствора метилового оранжевого определяли путем измерения его оптической плотности на фотоэлектроколориметре.

Защитные свойства материала ФСМ в одном слое, толщина которого составляла 26 мкм, поверхностная плотность 145 г/м², оценивали по «Методике определения времени защитного действия СИЗ при воздействии паров химически опасных агрессивных веществ», разработанной в ОАО «КазХимНИИ» для оценки защитной мощности пакетов материалов. Зараженные парами токсичных веществ образцы освещали ультрафиолетовым светом лампы Philips, 365 нм, 15 Вт и определяли количество вещества, прошедшего через материал за определенное время. Площадь образца материала составляла 7 см², скорость прохождения газо-воздушной смеси над образцом – 0,005 л/мин. Результаты определения времени защитного действия материала при воздействии паров гидразина и диметилформамида, газообразных диоксида серы, сероводорода и аммиака с концентрацией 5 и 10 ПДК при облучении ультрафиолетовым светом представлены в табл. 1.

Время защитного действия образца ФСМ при воздействии паров токсичных веществ при
облучении УФ светом

Химическое вещество	Время защитного действия образца, мин, при концентрации химического вещества в паровоздушной смеси	
	5 ПДК	10 ПДК
Гидразин	96	80
Диметилформамид	125	92
Диоксид серы	29	18
Сероводород	25	21

Исследована возможность разложения паров иприта фильтрующе-сорбирующим материалом с внедренным фотокатализатором. Образцы материала были заражены ипритом в специальной камере. Содержание вещества на образцах составило $0,006 \text{ мг/см}^2$, затем часть образцов облучали ультрафиолетовым светом, другая часть оставалась в темноте. Через каждые 15 мин определяли остаточное содержание вещества на образцах материала. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при облучении УФ светом образцов материала фильтрующего типа с внедренным фотокатализатором разложение паров иприта происходит в 10 раз быстрее, чем без облучения.

Испытания показали, что разложение высокотоксичного продукта происходит без использования специальных дегазирующих растворов, т. е. имеет место процесс самодегазации при УФ облучении.

Установлено также, что материал с внедренным диоксидом титана обладает антибактериальными свойствами – разрушает грамположительные спорообразующие бактерии *Bacillus subtilis* при облучении УФ светом.

Фильтрующе-сорбирующий материал обеззараживает сорбированные на его поверхности высокотоксичные химические вещества без дополнительной обработки (дегазации), т. е. ФСМ обладает самодегазирующимися и антибактериальными свойствами. Защитный фотокаталитически активный фильтрующе-сорбирующий материал с внедренным наноразмерным диоксидом титана может быть использован для изготовления специальной защитной одежды, для обеспечения жизнедеятельности человека в условиях замкнутых систем, для создания микроклимата в хранилищах и складских помещениях.