

УДК: 661.666; 620.22

## СОЗДАНИЕ НОВЫХ ТИПОВ НАНОУГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ф.Р. Султанов, Г.Т. Смагулова

Институт проблем горения, ул. Богенбай Батыра 172, Алматы, Казахстан  
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби 71, Алматы, Казахстан

Статья посвящается 70-летию юбилею профессора, д.х.н. Мансурова З.А., значимой фигуре казахстанской науки, великому ученому современности. Мансуровым З.А. были развиты новые направления в области нанотехнологий, которые в настоящее время активно реализуются в Институте проблем горения и уже нашли свое применение и реализацию при решении ряда важнейших прикладных проблем.

### Аннотация

Исследования в области нанотехнологий и наноматериалов являются наиболее актуальным направлением современной науки. Манипуляция веществом на атомарном и молекулярном уровнях позволяет исследователям создавать совершенно новые материалы, обладающие уникальными физико-химическими свойствами. С развитием и достижениями нанотехнологий связаны решения многих проблем материаловедения, электроники и техники в целом. Среди широкого спектра наноматериалов класс углеродных наноматериалов занимает особый статус, благодаря открытию фуллеренов и углеродных нанотрубок, обладающие рядом уникальных электрических, физических, механических и оптических свойств. В работе представлены результаты исследований процессов синтеза углеродных нанотрубок на катализаторах, полученных методом solution combustion на стеклоткани, созданию на их основе гибких нагревательных элементов и получению новых типов наноструктурированных графеновых аэрогелей.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, наноматериалы, наноструктуры, фуллерены, углеродные нанотрубки, катализаторы, стеклоткани

---

### Введение

С открытием углеродных нанотрубок интерес к этому классу углеродного наноматериала возрос, практическое применение их расширяется с каждым годом. Углеродные нанотрубки (УНТ) являются объектом научного исследования в течение более чем 25 лет из-за их уникальных свойств, которые определяют их применение для многих потенциальных областей. В связи с этим наблюдается феноменальная активность научного сообщества в области получения, исследования свойств и поисков практического применения одномерных (1D) углеродных наноматериалов, в том числе и углеродных нанотрубок. Интерес ученых вызывают уникальные оптические, электрофизические, теплофизические, механические и другие свойства углеродных нанотрубок, отличающиеся от свойств объемных материалов. Именно, благодаря своим свойствам,

углеродные нанотрубки представляют огромный интерес, как для фундаментальных исследований, так и для широкого круга практических применений [1-3].

Углеродные нанотрубки благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, названы «материалом будущего» [4]. Исследования по получению и практическому применению углеродных нанотрубок являются основными направлением науки, о чем свидетельствует большое количество публикаций на эту тему, как в отечественных, так и в зарубежных изданиях [5]. Чаще всего для получения углеродных нанотрубок применяются каталитические методы синтеза. Зачастую катализатор представляет собой комплекс матрицы и активной фазы [6]. Катализаторы на основе переходных металлов из частиц металла или их соединений, таких как соли и оксиды являются наиболее эффективными в процессе синтеза углеродных нанотрубок [7]. Выбор мат-

рицы для катализаторов, его структура предопределяет свойства конечного продукта. Создание новых каталитических систем с различным составом активных фаз и матрицы позволяет получать углеродные нанотрубки различной морфологии и свойств.

Углеродные аэрогели представляют собой весьма привлекательную форму углеродных монолитов, которые имеют практическое значение, благодаря легкому весу, высокой пористости, высокой удельной площади поверхности и электрической проводимости. Такие структуры легко могут быть получены карбонизацией полимерных аэрогелей, полученных золь-гель химическими методами, а также самосборкой новейших наноматериалов, таких как углеродные нанотрубки, нановолокна, графен и их композиты. Тем не менее проблема расширения функций графеновых аэрогелей с поиском реальных сфер применения весьма актуальна и требует дальнейшего развития, а так же создания новых композитных материалов.

В работе [10] они получили композитный аэрогель на основе графена и полидиметилсилоксана, в структуре которого полимерные слои равномерно нанесены на стенки графена. Полученная структура характеризуется значительным усилением механической стойкости при сжатии, а также способностью возвращать прежнюю форму при повторных нагрузках. Композит характеризуется отличными электромеханическими свойствами, при этом сопротивление находится в линейной зависимости от сжатия аэрогеля.

Углеродные нанотрубки обладают сочетанием свойств упругости, механической стойкости и низкой плотности, тем самым они используются при получении спонжей [12, 13] и аэрогелей на их основе [14, 15]. Однако не все спонжи и аэрогели основанные на углеродных нанотрубках подвергаются структурному сжатию [16]. Или же подвергаются деформации, но с ослабевающей способностью восстанавливать структуру при циклическом воздействии на них. Группа ученых в работе [11] показала, что неэластичный аэрогель на основе углеродных нанотрубок может быть преобразован в сверхупругий материал при внедрении в него графена. Авторы [11] синтезировали аэрогель из углеродных нанотрубок и графена посредством предварительного покрытия аэрогеля на основе углеродных нанотрубок полиакрилонитрилом. После этого с помощью двух стадийного пиролиза в структуру был

внедрен графен. Плотность аэрогеля на основе углеродных нанотрубок составляла  $8,8 \text{ мг/см}^3$ , после внедрения графена увеличилась до  $14,0 \text{ мг/см}^3$ , что в свою очередь увеличило объемную фракцию с 0,0067 до 0,009 при пористости более 99%.

В работе [16] показана возможность получение аэрогелей на основе углеродных нанотрубок и хитозана, который служит матрицей для образования пористой структуры. Полученные аэрогели характеризуются высокими гидрофобными свойствами. При этом сорбционные характеристики по отношению к органическим растворителям достаточно высоки, что представляет собой возможность развития их дальнейшего синтеза и глубокого изучения с целью применения их в качестве водоотталкивающих сорбентов многократного использования.

Выдающиеся физические и химические свойства углеродных нанотрубок предопределяют разнообразие их потенциального применения, для расширения традиционных применений углеродного волокна, многие из них основаны на уникальных электронных и механических свойствах углеродных нанотрубок. Благодаря углеродными нанотрубками в настоящее время были получены новые классы композиционных материалов с новыми и уникальными свойствами. Модификация исходной матрицы с помощью углеродных нанотрубок улучшает механические свойства, электропроводность, химическую стабильность и т.д. Нужно отметить, что стимулирование в этой области возникает из-за универсальности этого материала, а также возможности прогнозирования свойств на основе его строго определенной и совершенной кристаллической решетки. Углеродные нанотрубки преодолевают разрыв между молекулярной сферой и макромиром. Свойства и характеристики углеродных нанотрубок не до конца исследованы и ученые только начали использовать потенциал этих наноструктур.

### Экспериментальная часть

#### *Синтез наночастиц катализаторов на стеклоткани методом solution combustion*

Сущность метода solution combustion заключается в протекании реакции с образованием в качестве конечного продукта оксида металла, при этом в качестве исходных реагентов выбирают соли металла и смешивают с органическими соединениями, смешение про-

водят на молекулярном уровне, путем приготовления раствора исходных компонентов. Затем полученную смесь подвергают воздействию высокой температуры при которой происходит процесс самовоспламенения системы. Данный метод позволяет получать катализатор в виде порошка – при проведении процесса в водной среде, либо же синтезировать наночастицы непосредственно на поверхности определенного материала (матрица) – путем пропитывания или смачивания материала матрицы растворами исходных компонентов. В качестве основы для каталитической системы использовали стеклоткань марки КТ-11.

Для приготовления пропиточных растворов для нанесения катализаторов на поверхность стеклоткани использовали соли нитрата кобальта ( $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) или хлорида железа ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и глицина ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$ ) марки ХЧ,

без дальнейшей очистки, в качестве растворителя использовали дистиллированную воду.

Для приготовления катализаторов образец стеклоткани размером  $5 \text{ см}^2$  предварительно промывался в 5 мл этилового спирта, затем высушивался при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  в муфельной печи. Затем, исходя из массы исходного образца стеклоткани пропитывали рассчитанным количеством водных растворов солей нитрата кобальта или хлорида железа и глицина.

Температура  $500\text{-}600 \text{ }^\circ\text{C}$ , достаточна для протекания инициирования экзотермической реакции разложения глицина, протекающего с повышением температуры до  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ , в результате протекания реакции на поверхности стеклоткани образуются ультрадисперсные частицы оксида металла. На рисунке 1 представлена последовательность стадий получения катализатора на основе стеклоткани.

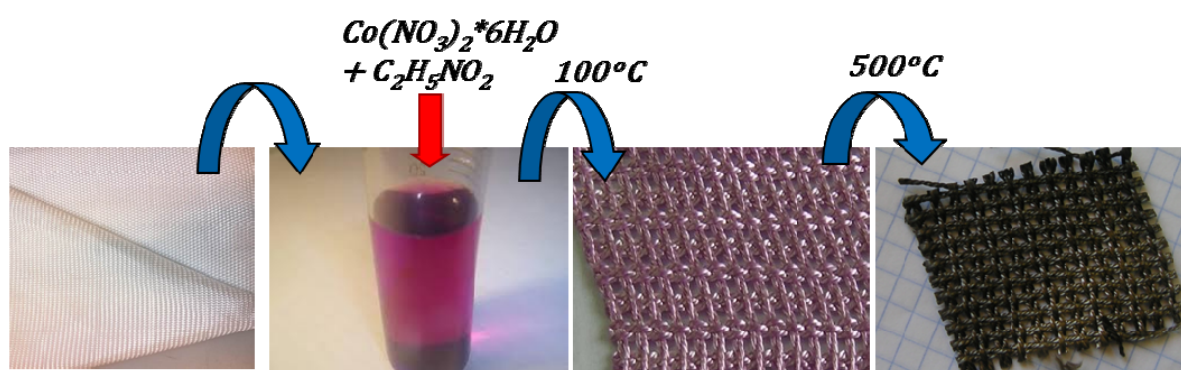


Рис. 1 – Последовательность стадий синтеза наночастиц оксидов металлов на стеклоткани методом solution combustion

Образующиеся газообразные продукты в виде  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  играют роль диспергирующих агентов и предотвращают комкование катализатора в виде оксидов металлов. Термообработка в воздушной среде, обеспечивает дополнительные молекулы кислорода, необходимые для образования оксида металла.

Образующиеся наночастицы оксида металла (кобальт, железо) являются катализаторами роста углеродных нанотрубок и нановолокон на поверхности стеклоткани.

#### **Синтез углеродных нанотрубок на стеклоткани методом химического парофазного осаждения**

Для синтеза углеродных нанотрубок был использован метод химического парофазного осаждения из пропан-бутановой смеси. Реактор помещали в трубчатую печь, с регулято-

ром температуры с максимальным нагревом до  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Печь обеспечивает равномерный нагрев всей внутренней полости кварцевой трубки. Газовая смесь, используемая для синтеза углеродных нанотрубок состояла из аргона и пропан-бутановой смеси.

После того как катализатор помещали в реактор, кварцевую трубку продували аргоном. При достижении необходимой температуры реактора подавали пропан-бутановую смесь.

После окончания времени синтеза, подача пропан-бутановой смеси прекращалась. До охлаждения реактора до комнатной температуры в реактор подавали аргон. Расход газов:  $\text{Ar} - 150 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8 - \text{C}_4\text{H}_{10} - 150 \text{ см}^3/\text{мин}$ . Температура синтеза составляла  $770\text{-}780 \text{ }^\circ\text{C}$ , время синтеза – 20 мин.

**Синтез аэрогелей на основе восстановленного MECVD графена/МУНТ/хитозана**

Навеска МУНТ (0,05 г) диспергировалась в 50 мл 1% растворе уксусной кислоты при ультразвуковой обработке в течение 40 минут.

Затем при энергичном перемешивании на магнитной мешалке к полученной дисперсии добавлялся хитозан определенной массы с последующим перемешиванием смеси в течение 90 минут до полного его растворения.

После растворения хитозана к полученной однородной смеси добавлялось взвешенное количество нано-чешуек MECVD графена при энергичном перемешивании. В виду того, что данные чешуйки графена не имеют функциональных групп на своей поверхности (восстановленный графен), они являются супергидрофобными, поэтому раствор хитозана служил в качестве диспергирующего агента. Далее гомогенная смесь MECVD графена/МУНТ и хитозана разливалась по специальным контейнерам, контейнеры с содержимым замораживались в объеме жидкого азота, после чего их подвергали сублимационной сушке для удаления воды.

Для получения аэрогелей с развитой пористой структурой и повышенным содержанием углерода проводился процесс их карбонизации путем нагрева в электрической печи до 800 °С в инертной среде аргона при средней скорости нагрева 5 °С/мин.

**Результаты и обсуждение**

Стеклоткань с наночастицами оксидов металлов были исследованы различными физико-химическими методами исследования. Для установления структуры и состава оксидов металлов на стеклоткани был проведен рентгенофазовый анализ. Оксид кобальта был представлен в виде  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . В случае оксида железа образуется оксид с формулой  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В результате реакции образуются частицы  $\text{Co}_3\text{O}_4$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с размерами в пределах 30-100 на поверхности стекловолокон [8]. Катализаторы на основе наночастиц оксидов металлов – кобальт и железо были использованы для синтеза углеродных нанотрубок методом химического парофазного осаждения, основанного на разложении углеродсодержащего газообразного соединения при высокой температуре. Углеродных нанотрубки на стеклоткани с наночастицами оксидов кобальта и железа были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа для установления структуры и морфологии полученных одномерных наноматериалов на поверхности стеклоткани в результате синтеза.

На рисунке 2 представлены СЭМ и ПЭМ снимки углеродных нанотрубок, выращенных на поверхности стеклоткани с наночастицами оксида кобальта  $\text{Co}_3\text{O}_4$ .

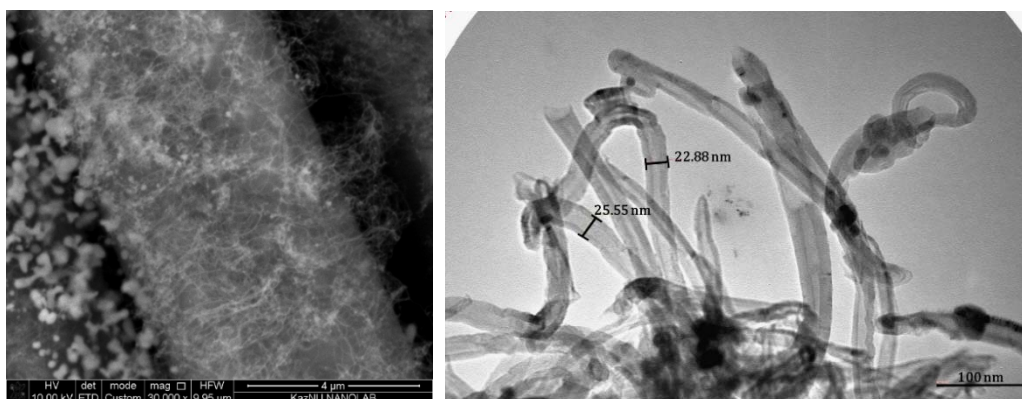


Рис. 2 – СЭМ и ПЭМ снимки углеродных нанотрубок, выращенных на поверхности стеклоткани с наночастицами оксида кобальта  $\text{Co}_3\text{O}_4$

Как видно из полученных снимков на поверхности стекловолокон с  $\text{Co}_3\text{O}_4$  в большом количестве образуются ультрадисперсные частицы оксида кобальта, являющиеся активными центрами роста углеродных нанотрубок.

Как видно из данных ПЭМ снимков, образующиеся нановолокна и нанотрубки имеют диаметр 23–25 нм и более, переплетаясь между собой, образуя трехмерную неупорядоченную структуру. Полученные одномерные углерод-

ные наноматериалы имеют хорошее сцепление с поверхностью стекловолокна за счет прочной адгезии частиц катализатора с приповерхност-

ным слоем стекловолокна УНТ переплетаясь между собой образуют прочную пленку на поверхности волокна (рис. 3).

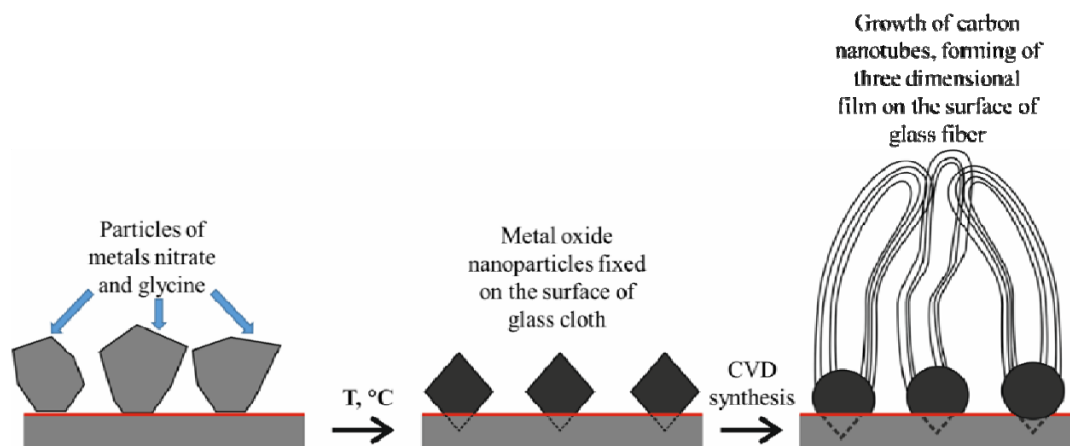


Рис. 3 – Схематическая иллюстрация образования наночастиц оксида металла на поверхности стекловолокна и рост углеродных нанотрубок

На поверхности стекловолокон с  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в большом количестве образуются ультрадисперсные частицы оксида железа, являющиеся активными центрами роста углеродных нанотрубок. Результаты ПЭМ анализа показали, что в результате синтеза были получены образцы углеродных нанотрубок с диаметрами 15-17 нм. Также в образце в небольшом количестве содержится аморфная фаза углерода. Для спиральных нанотрубок диаметр составляет около 14 нм.

Для установления электропроводящих свойств полученного материала, были измерены сопротивление и сняты вольтамперные характеристики (рис. 4а). Чистая стеклоткань является диэлектриком и не проводит электрический ток. Для образца стеклоткани с  $\text{Co}_3\text{O}_4$  площадью  $4,95 \text{ cm}^2$  сопротивление составляло  $R = 1,7 \Omega$ , соответственно удельное сопротивление равно  $R_{sp} = 0,3636 \Omega/\text{cm}^2$ . Также была исследована теплотворная способность полученной стеклоткани с УНТ (рис. 4 б).

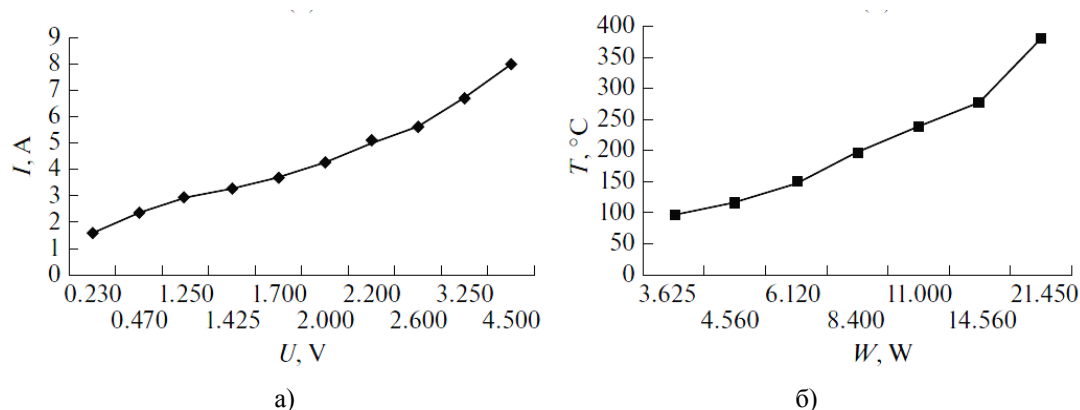


Рис. 4 – Вольтамперные характеристики стеклоткани с покрытием из УНТ на  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (а); изменение температуры образца УНТ на стеклоткани в зависимости от приложенного электрического напряжения (б)

На основе полученного смарт-текстиля был изготовлен жилет для макета солдата. Для этой цели образец стеклоткани с углеродными нанотрубками площадью  $24 \text{ cm}^2$  оснастили

двумя электродами из медной проволоки и подключили к источнику питания – батарейки. А для придания эстетического вида и формы был шит чехол для из термостабильного ма-

териала. На рисунке 5 представлены фотографии макета солдата с жилетом на основе полу-

ченного электропроводящего смарт-текстиля [9].



Рис. 5 – Фотографии макета и динамика изменения температуры жилета до подключения и после подключения жилета к источнику питания

После изготовления макетов была проведена апробация полученного материала на теплотворную способность при пониженных температурах, что является моделированием поведения полученного материала при критических условиях. Для этой цели образец охладили до температуры 0 °С, при этом жилет не подключали к источнику питания, после охлаждения образец подключили к источнику питания. Температуру образца измеряли хромель-алюмелевой термопарой с помощью цифрового датчика измерения температуры. На рисунке 5 представлены фотографии макета и динамика изменения температуры жилета до подключения жилета к источнику питания и после подключения. При подключении жилета на основе стеклоткани с УНТ к источнику питания температура плавно поднялась с 0 °С до 28 °С, 36 °С и 45 °С соответственно. В данном случае целью было изготовление подогреваемого жилета для обмундирования и экипировки людей, находящихся в критических для человеческого организма температурных условиях – военнослужащие, альпинисты, спортсмены и т.д.

Синтез аэрогелей на основе восстановленного (не имеет функциональных групп на своей поверхности) MECVD графена и углеродных нанотрубок, с применением хитозана в качестве связующего, был проведен путем создания 1%-ной дисперсии уксусной кислоты с углеродными нанотрубками и графеном посредством ультразвуковой обработки и добав-

лением определенного количества хитозана, в качестве диспергирующего и химического связующего агента. Полученная гомогенная смесь помещалась в специальные контейнера, замораживалась в жидком азоте, после чего подвергалась сублимационной сушке для формирования аэрогелей, с последующей карбонизацией хитозана в инертной среде.

Карбонизованный хитозан сам по себе гидрофобный материал, но, к сожалению, значение угла смачивания его поверхности каплей воды недостаточно высоко – 109°. Использование углеродных наноматериалов в качестве добавок, способных увеличить степень его гидрофобности является одним из методов получения супергидрофобных поверхностей. В ходе работы нами были получены супергидрофобные губчатые структуры с высокой сорбционной емкостью по отношению к органическим жидкостям

Для синтеза аэрогелей с хитозаном, в качестве карбонизируемого связующего, были получены восстановленные графеновые наночешуйки методом «Microwave Enhanced Chemical Vapor Deposition» (MECVD) при 400 °С на неметаллической подложке за счет наличия дополнительного источника энергии – микроволн. Данный восстановленный MECVD графен характеризуется высокой удельной площадью поверхности – 2041 м<sup>2</sup>/г, что сопоставимо с удельной площадью поверхности графена, полученного обычным методом CVD

при 1000 °С на медной или никелевой подложке (таблица 1).

Была предпринята попытка получения композитного аэрогеля на основе восстановленного графена MECVD, МУНТ и хитозана.

Таблица 1 – Сравнение удельных площадей поверхности графена, полученного разными методами

Тип	Удельная площадь поверхности (м <sup>2</sup> /г)	Метод
Однослойный графен	2630	Теоретически
MECVD графеновые нанопластины (~2 слоя)	2041	Экспериментально
CVD графен	2039	Экспериментально
Метод сверху-вниз (≥4 слоя)	466	Экспериментально

Данные графеновые нано-чешуйки были получены методом химического парового осаждения с использованием микроволновой плазмы в качестве дополнительного источника энергии на неметаллической подложке (Microwave Enhanced Chemical Vapor Deposition). Удельная площадь поверхности полученных графеновых нано пластины составляет 2041 м<sup>2</sup>/гр.

Исследование гидрофобности полученных композитных аэрогелей показало, что при наличии восстановленного MECVD графена в структуре композитного аэрогеля, угол смачивания его поверхности каплей воды не снизился, а даже немного увеличился по сравнению с композитными аэрогелями на основе МУНТ и хитозана без графена, что говорит о супергидрофобности синтезированных аэрогелей (угол смачивания 168°) (рис. 6).

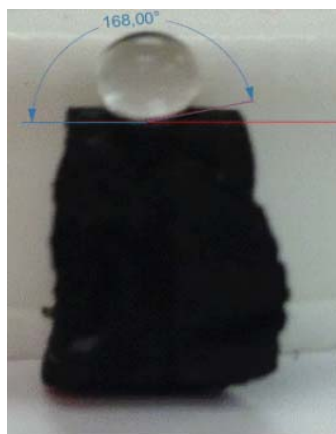


Рис. 6 – Фотография капли воды на поверхности композитного аэрогеля на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана с обозначенным углом смачивания

В качестве восстановленного графена применялись однородные графеновые наночешуйки, толщиной в два слоя, без содержания функциональных групп на своей поверхности.

Исследование механических свойств композитных аэрогелей на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана показало, что при наличии восстановленного MECVD графена в структуре образца значительно усиливается его механическая жесткость и устойчивость к нагрузкам. На рисунке 7 показано, что композитный аэрогель на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана весом 0,09 г способен удерживать на себе вес в 110 раз превышающий свой вес 10 г. Однако аэрогель на основе МУНТ и хитозана с таким же весом, без добавок графена, разрушается при данной нагрузке. Так же было установлено, что аэрогели на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана, в отличие от аэрогелей на основе восстановленного оксида графена не обладают способностью восстанавливать первоначальную форму после механического сжатия, что обусловлено формированием жесткого каркаса при карбонизации хитозана.



Рис. 7 – Фотография композитного аэрогеля на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана с нагрузкой 10 г

Снимки сканирующей электронной микроскопии поверхности композитных аэрогелей на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана представлены на рисунке 8. Поверхность аэрогеля представлена более развитой системой пор (рис. 8а), что отличается от поверхности аэрогеля на основе МУНТ и хитозана. Так же немаловажным фактом явля-

ется то, что наличие графена влияет и на средний размер пор, который значительно уменьшился от нескольких микрометров до десятка (рис. 8б). Видно, что слои графена вертикально локализованы на поверхности карбонизованного хитозана, тем самым формируя поры меньшего размера – нанопоры (рис. 8в).

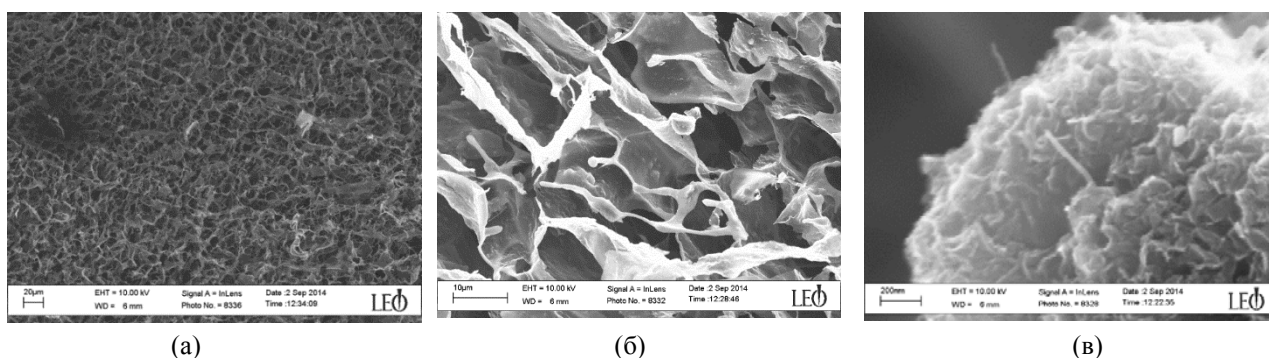


Рис. 8 – СЭМ снимки поверхности композитного аэрогеля на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана

Известно, что из-за своей низкой плотности и пористости, аэрогели на основе углеродных наноматериалов обладают высокими сорбционными свойствами по отношению к органическим жидкостям, нефтям и нефтепродуктам.

Учитывая факт, что их поверхность супергидрофобна, т.е. способна отталкивать воду, при этом сорбируя органические жидкости, появляется возможность их применения в качестве сорбентов для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды.

Данное потенциальное применение так же усиливается возможностью их регенерации и повторного использования простым отжимом, либо нагревом, при котором вся сорбированная органическая жидкость испаряется из структуры аэрогеля и улавливается.

При исследовании морфологии поверхности и сорбционных свойств композитных аэрогелей на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана было установлено, что они механически более устойчивы к внешним воздействиям по сравнению с аэрогелями на основе МУНТ и хитозана, при одинаковом содержании связующего в своей структуре. Наличие графена в структуре усиливает механическую прочность аэрогелей.

Восстановленный MECVD графен в структуре аэрогелей на основе МУНТ и хитозана так же благоприятно сказывается на их

сорбирующие свойства. Из таблицы видно, что при соотношении МУНТ к восстановленному MECVD графену 1:5, 1 г композитного аэрогеля способен сорбировать до 101,3 г дизельного топлива. Все значения сорбционной емкости композитных аэрогелей с восстановленным MECVD графеном по отношению к органическим жидкостям значительно выше по сравнению с показателями аэрогелей на основе МУНТ и хитозана (таблица 2).

### Заключение

Проведенные исследования показали эффективность метода solution combustion для нанесения оксидов переходных металлов (кобальт, железо) на поверхность стекловолокон. Данные частицы оксидов металлов проявили хорошую каталитическую активность в процессе синтеза углеродных нанотрубок методом химического парофазного осаждения из пропан-бутановой смеси.

Проведенные исследования физико-химическими методами исследования показали, что лучшие образцы углеродных нанотрубок были получены при использовании оксида кобальта в качестве активного компонента катализатора, для которых диаметр углеродных нанотрубок составлял 23-25 нм, для углеродных нанотрубок на стеклоткани с оксидом железа диаметр составил 15-17 нм.



Таблица 2 – Количественные значения сорбции органических жидкостей композитными аэрогелями на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана (в пересчете на 1 г аэрогеля)

Тип аэрогеля (соотношение УНТ к графену)	Средняя масса адсорбированной органической жидкости, г				
	н-гексан	н-октан	бензин	дизтопливо	моторное масло
1:1	30,2	59,3	43,2	90,2	87,8
1:2	32,1	59,2	44,4	91,3	88,4
1:5	36,2	64,1	48,7	101,3	99,3
1:10	35,9	62,1	48,5	100,9	99,4

Катализаторы данного класса просты и удобны в использовании, имеют долгий срок службы, изготовление их не требует больших затрат и усилий. На основе стеклоткани с покрытием из углеродных нанотрубок был изготовлен макет гибкого нагревательного элемента. В результате исследований была разработана простая и не дорогая технология получения электропроводящей ткани. Данный смарт-текстиль можно применять в качестве основы для изготовления гибких нагревательных элементов и изделий из них. В свою очередь, полученные композитные аэрогели на основе МУНТ и хитозана являются пористыми, супергидрофобными сорбентами с высокой сорбционной емкостью по отношению к органическим жидкостям различных плотностей. Было установлено, что композитные аэрогели на основе восстановленного MECVD графена, МУНТ и хитозана проявляют более сильную механическую устойчивость к внешним нагрузкам, по сравнению с аэрогелями на основе МУНТ и хитозана. Наличие графена улучшает общую пористость системы и увеличивает сорбционную емкость образцов. Изученные свойства аэрогелей создают возможность их потенциального применения в качестве водоотталкивающих регенерируемых сорбентов для нефтей, нефтепродуктов и других органических жидкостей.

## Литература

- Riemenschneider J., Mahrholz T., Mosch J., Monner H.P. and Melcher J. Carbon nanotubes - smart material of the future: Experimental investigation of the system response // II ECCOMAS thematic conference on smart structures and materials: Materials and Processes. – Lisbon, Portugal, 2005. – P. 18-25.
- Baughman R.H., Zakhidov A.A., de Heer A.W. Carbon nanotubes – the route toward applications // *Science*. – 2002. – Vol. 297. – P. 787-792 // DOI:10.1126/science.1060928.
- Мансуров З.А. Получение наноматериалов в процессах горения // *Физика горения и взрыва*. – 2012. – Т. 48. № 5. – С. 77-86.
- Forró L., Schöenberger Ch. Carbon nanotubes, materials for the future // *Europhys. News*. – 2001. – Vol. 32, № 3. – P. 86-90.
- De Volder M.F.L., Tawfick S.H., Baughman R.H., Hart A.J. Carbon Nanotubes: Present and Future Commercial Applications // *Science*. – 2013. – Vol. 339. – P. 535-539 // DOI: 10.1126/science.1222453.
- Раков Э.Г. Пиролитический синтез углеродных нанотрубок и нановолокон // *Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева*. – 2004. – Т. XLVIII, № 5. – С. 12-20.
- Khavrus' V.A., Lemesh N.V., Gordeychuk S.V., Tripolskii A.I., Ivashchenko T.S., Strizhak P.E. Synthesis of multi-walled carbon nanotubes by pyrolysis of ethylene on metals nanoparticles (Ni, Co, Fe) // *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*. – 2008. – Vol. 6, № 3. – P. 919-929.
- Aldashukurova, G.B., Mironenko, A.V., Mansurov, Z.A., Rudina, N.A., Itshenko, A.V., Ushakov, V.A., and Ismagilov, Z.R., Carbon dioxide conversion of methane into synthesis-gas on glass cloth catalysts, *Eurasian Chem.-Technol. J.*, 2010, vol. 12, no. 2, pp. 97-103.
- Smagulova G.T., Kim S., Prikhod'ko N.G., Lesbayev B.T., Mironenko A.V., Zakhidov A.A., Mansurov Z.A. Smart Electroconductive Textile by Catalytic Deposition of Carbon Nanotubes onto Glass Cloth // *International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis*. – 2016. – Vol. 25, № 3. – P. 173-176.
- Hu H., Zhao Z., Zhou Q., Zhou Y., Qiu J. Direct polymer infiltration of graphene aerogels for the production of conductive nanocomposite // *Материалы международной конференции Carbon – Бразилия, Рио-де-Жанейро*. – 2013. – P.152-155
- Hu H., Zhao Z., Wan W., Gogotsi Yu., Qiu J. Polymer/Graphene Hybrid Aerogel with

High Compressibility, Conductivity, and “Sticky” Superhydrophobicity // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2014. – Т. 6. – С. 3242-3249.

12. Kim K.H., Youngseok Oh., Islam M.F. Graphene coating makes carbon nanotube aerogels superelastic and resistant to fatigue // Nature Nanotech. – 2012. – Т. 10. – С. 1-5.

13. Aliev A.E. Giant-stroke, superelastic carbon nanotube aerogel muscles // Science. – 2009. – Т. 323. – С. 1575-1578.

14. Bryning M.B. Carbon nanotube aerogels // Adv. Mater. – 2007. – Т. 19. – С. 661-664.

15. Kim K.H., Vural M., Islam M.F. Single wall carbon nanotube aerogel-based elastic conductors // Adv. Mater. – 2011. – Т. 23. – С. 2865-2869.

16. Sultanov F.R., Mansurov Z.A., Daulbayev Ch., Urazgaliyeva A.A., Bakbolat B., Pei Sh.Sh. Study of sorption capacity and surface morphology of carbon nanomaterials/chitosan based aerogels // Eurasian Chemico-Technological Journal. -2016. –V.18. –P.19-24.

---

## CREATION OF NEW TYPES OF NANOCARBON COMPOSITE MATERIALS

**F.R. Sultanov, G.T. Smagulova**

Institute of Combustion Problems, Bogenbay Batyr st., 172, Almaty, Kazakhstan  
Al-Farabi Kazakh National University, al-Farabi ave. 71, Almaty, Kazakhstan

### Abstract

Investigations in the field of nanotechnology and nanomaterials are most relevant directions of modern science. Manipulation with material on the atomic and molecular levels allows researchers to create entirely new materials that have unique physicochemical properties. With development and achievements in the field of nanotechnology, many problems of materials science, electronics and engineering in general are solved. Among a wide range of nanomaterials, the class of carbon nanomaterials occupies a special status, thanks to the discovery of fullerenes and carbon nanotubes, which have a number of unique electrical, physical, mechanical and optical properties. The paper presents studies results of carbon nanotubes synthesis on catalysts received by solution combustion method on fiberglass and creation on this basis flexible heating elements and obtaining of nanostructured graphene based aerogels. The paper is dedicated to the 70th anniversary of the Professor, Doctor of chemical sciences, Zulkhair Mansurov, who is a significant figure in Kazakhstan science, outstanding modern scientist. Professor Mansurov developed new directions in the field of nanotechnologies, which actively implemented at the Institute of Combustion Problems and have already been applied and implemented in solving a number of major applied problems.

**Keywords:** nanotechnology, nanomaterials, nanostructures, fullerenes, carbon nanotubes, catalysts, fiberglass

---

## НАНО-КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НОВЫХ ТИПОВ

**Ф.Р. Султанов, Г.Т. Смагулова**

Жану проблемалар институты, Бөгенбай Батыр 172, Алматы, Қазақстан  
Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, әл-Фараби 71, Алматы, Қазақстан

### Аннотация

Нанотехнологиялар және наноматериалдар зерттеулері қазіргі таңда ғылымның ең өзекті бағыты болып табылады. Атом және молекула деңгейде затпен айла-шарғы жасау зерттеушілерге жаңа бірегей физико-химиялық қасиеттермен материалдарды алуға мүмкіндік береді. Нанотехнологиялар дамуы мен және жетістіктері материалтану, электроника және жалпы технологиялардың көптеген проблемаларын шешуге болады. Бірегей электрикалық, физикалық, механикалық және оптикалық қасиет-

тері үшін көміртекті наноматериалдар ерекше мәртебеге ие, олардың ішінде фуллерендер және көміртекті нанотүтікшелердің орны ерекше. Жұмыста икемді жылыту элементтерін алу процесі қарастырылған, ол үшін шынматаның бетінде solution combustion әдісі арқылы катализаторларды алады және көміртегі нанотүтікшені өсіреді. Сонымен қатар нанокұрылымды графен аэрогельдерді алу жұмыстары қарастырылды. Мақала профессор, химия ғылымдарының докторын, қазақстандық ғылым, біздің заманымыздың ұлы ғалым маңызды қайраткеріне Мансұров З.А. 70-жылдығына арналған. Мансұров З.А. нанотехнология саласында жаңа бағыттарды дамытуға көмектесті, қазіргі таңда бұл бағыттар Жану проблемалар институтында жүзеге асырылуда.

**Түйінді сөздер:** нанотехнологиялар, наноматериалдар, нанокұрылымдар, фуллерендер, көміртегі нанотрубкалар, катализаторлар, шыны толшығы