

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

Алматы 2017



КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

УГЛЕРОДНЫЕ
НАНОМАТЕРИАЛЫ

Монография

Алматы
«Қазак университеті»
2017

УДК 661
ББК 35.11
У 25

*Рекомендовано к изданию
Ученым советом (протокол № 8 от 24.04.2017)
и РИСО Казахского национального университета
имени аль-Фараби (протокол № 4 от 26.05.2017)*

Рецензент
и.о. доцента, PhD **К.К. Кудайбергенов**

Углеродные наноматериалы: монография / З.А. Мансуров, А.А. Захидов, М. Нажипкызы, Г.Т. Смагулова, Ф.Р. Султанов. – Алматы: Казак университета, 2017. – 306 с. ISBN 978-601-04-2774-7

В данной монографии исследуются уникальные макромолекулярные системы – углеродные наноматериалы, анализируются и интерпретируются современные данные об углеродных наноматериалах, имеющие высокую значимость и новизну. В конце каждой главы прилагается список литературных источников для более детального изучения читателем заинтересовавших его данных.

Может рассматриваться как справочное издание и будет полезна специалистам, включая научных сотрудников и инженеров, работающих в сфере нанотехнологии.

**УДК 661
ББК 35.11**

ISBN 978-601-04-2774-7

© Мансуров З.А. и др., 2017
© КазНУ им. аль-Фараби, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Нанотехнология как междисциплинарное направление, сформировавшееся в мировой науке и технике в последние 15-20 лет, изучает объекты, размер которых составляет примерно 0,1-100 нм, – так называемые малоразмерные объекты. Она представляет собой сложную междисциплинарную взаимосвязь трех наук – физики, химии и биологии.

Исследование состояния и тенденций развития объектов наноиндустрии в настоящее время позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективными областями нанотехнологии являются синтез, исследование и применение углеродных наноматериалов.

Благодаря своим уникальным свойствам, углеродные наноматериалы занимают ведущее положение в современном материаловедении. Ярчайшими представителями углеродных наноматериалов являются графен, углеродные нанотрубки и нановолокна, фуллерены и углеродная сажа. В 2010 году ученые А. Гейм и К. Новоселов стали лауреатами Нобелевской премии по физике за создание уникального углеродного материала – однослойного графена, что, в свою очередь, привело к созданию целого класса принципиально новых двумерных материалов с уникальными свойствами.

Развитие наноиндустрии в Республике Казахстан проходит в стремительном темпе. Казахские ученые успешно преуспели в области синтеза, исследования и поиска перспективных сфер применения углеродных наноматериалов, развития фундаментальных и прикладных исследований с использованием современного оборудования, результаты которых лежат в основе создания специальностей и курсов лекций по нанотехнологии.

В данной монографии в качестве основного объекта исследования выбраны уникальные макромолекулярные системы – углеродные наноматериалы. Монография состоит из 8 глав, которые максимально охватывают и интерпретируют современные данные об углеродных наноматериалах, имеют высокую значимость и новизну. В конце каждой главы прилагается

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ	5
1.1. Физико-химические свойства углеродных нанотрубок	5
1.2. Физико-химические свойства графена	13
1.3. Физико-химические свойства фуллеренов	16
1.4. Физико-химические свойства наноалмазов	17
Литература	19
2. НОВЫЕ СТРУКТУРЫ И ФОРМЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ	21
2.1. Углеродные нанобутоны (nanobuds)	21
2.2. Стеклоуглерод	24
2.3. Углеродная нанопена (carbon nanofoam)	25
2.4. Пиролитический углерод	27
2.5. Наноленты (nanoribbon)	29
2.6. Полые углеродные сферы, синтез и применение	31
2.6.1. Методы получения с жесткими шаблонами	33
2.6.1.1. Методы, основанные на кремниевых шаблонах	33
2.7. Углеродный нанотор	43
Литература	44
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ	47
3.1. «Магия чисел» в нанонауке	47
3.2. Математическое моделирование в нанонауке	49
3.3. Моделирование процессов образования сажевых частиц и их агрегатов	51
3.4. Математическая оценка образования трубчатых наноструктур	54
3.5. Гидродинамическая модель образования одностенных нанотрубок	56
3.6. Гидродинамическая модель образования двухстенных нанотрубок	57
3.7. Моделирование и теоретические аспекты роста многостенных углеродных нанотрубок	60
3.8. Образование спиральных углеродных нанотрубок и нановолокон	71
3.9. Механизм образования графена в каталитических процессах	73
Литература	74

4. ПРОИЗВОДСТВО И КОММЕРЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ	
УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ И АКТИВНЫХ УГЛЕЙ	77
4.1. Основные методы получения активных углей	78
4.2. Физико-химические, механические и адсорбционные свойства активных углей	84
4.3. Классификация активных углей и их ассортимент	86
4.4. Технология активных углей на основе отходов растительного сырья	90
4.5. Биосорбция с использованием активных углей	91
4.6. Очистка сточных вод от пестицидов	93
Литература	94
5. ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ	
В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ	95
5.1. Углеродные наноматериалы в суперконденсаторах	95
5.1.1. Графен и композиты на его основе в суперконденсаторах	100
5.1.2. Углеродные нанотрубки и композиты на их основе в суперконденсаторах	102
5.1.3. Новые формы углеродных наноматериалов и композиты на их основе в суперконденсаторах	105
5.1.4. Применение углеродных наноматериалов в псевдоконденсаторах	109
5.2. Углеродные наноматериалы для литий-ионных батарей	112
5.2.1. Графен и композиты на его основе для литий-ионных батарей	114
5.2.2. Углеродные нанотрубки и композиты на их основе для литий-ионных батарей	117
5.2.3. Новые формы углеродных наноматериалов и композиты на их основе для литий-ионных батарей	119
5.3. Углеродные наноматериалы при изготовлении перезаряжаемых литий-серных батарей с высокой энергетической емкостью	121
Литература	130
6. УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ГАЗОВ	135
6.1. Исторические аспекты хранения газов	135
6.2. Адсорбционные свойства перспективных углеродных наноматериалов	143
6.3. Адсорбция и хранение водорода в углеродных наноструктурах	146
6.4. Особенности сорбции инертных газов	154
6.5. Аэрогели на основе углеродных наноматериалов как перспективный материал для хранения водорода	158
Литература	173
7. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ	
УГЛЕРОДА	178
7.1. Классификация композиционных материалов	178
7.2. Структура композиционных материалов	185

7.3. Композиты на основе углеродных наноматериалов -----	192
7.4. Наноматериалы, применяемые в полимерно-композиционных материалах -----	202
7.5. Трехмерные ультрапористые и легковесные системы на основе углеродных наноматериалов -----	207
7.6. Углеродные нанотрубки в текстиле -----	218
Литература -----	235

8. БИОНАНОМАТЕРИАЛЫ И ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В МЕДИЦИНЕ

8.1. Дизайны лекарств от СПИДа -----	243
8.2. Иммунотоксины как мишени клеток-убийц -----	245
8.3. Лекарства можно использовать для доставки при помощи липосом -----	249
8.4. Искусственная кровь спасает жизни -----	251
8.5. Генная терапия поможет откорректировать генетические нарушения -----	254
8.6. Общая медицина становится персонализированной медициной -	256
8.7. Конструирование самосборки скелетов ДНК -----	257
8.8. Циклические пептиды образуют нанотрубки -----	259
8.9. Слитные белки собираются в удлинённые (растянутые) структуры -----	261
8.10. Небольшие органические молекулы самособираются в большие структуры -----	262
8.11. Большие объекты могут подвергаться самосборке -----	264
8.12. Биологические свойства материалов на основе оксида графена	266
8.13. Трибологическое поведение GO-биоматериалов -----	269
8.14. Применение GOBM в био-трибологических системах -----	271
8.15. Применение фуллеренов в медицине и фармакологии -----	273
8.16. Современные разработки Института проблем горения в области наноматериалов для биомедицины -----	274
Литература -----	298
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	302

Научное издание

Мансуров Зулхаир Аймухаметович
Захидов Анвар Абдулахатович
Нажипкызы Меруерт
Смагулова Гаухар Толбаевна
Султанов Файль Разифович

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

Монография

Редактор Г. Бекбердиева
Компьютерная верстка А. Алдашевой
Дизайн обложки А. Калиевой

ИБ № 11174

Подписано в печать 25.08.2017. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Печать цифровая. Объем 19,1 п.л. Тираж 500 экз. Заказ №4354.
Издательский дом «Қазақ университеті»
Казахского национального университета им. аль-Фараби,
050040, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71, КазНУ.
Отпечатано в типографии издательского дома «Қазақ университеті».

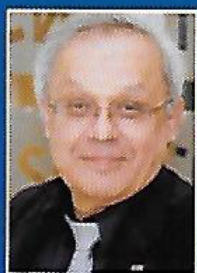


МАНСУРОВ Зулхаир Аймухаметович

Генеральный директор РГП «Институт проблем горения», д.х.н., профессор кафедры «Химической физики и материаловедения» КазНУ им. аль-Фараби. Лауреат Государственной премии Республики Казахстан в области науки и техники за цикл работ «Фундаментальные исследования химических основ процессов горения» (1992); Первый Лауреат Государственной премии им. К.И. Сатпаева за лучшие научные исследования по естественным наукам – научное открытие (2002). Областью исследований З.А. Мансурова являются: кинетика и механизм горения углеводородов, сажеобразование в процессах горения, нанотехнологии, переработки тяжелого углеводородного сырья.

Автор 690 научных статей и тезисов докладов, 5 монографий, 6 учебников, 3 учебных пособий, более 30 авторских свидетельств и патентов СССР и РК. Под его научным руководством защищено 38 кандидатских, 9 PhD и 8 докторских диссертаций.

Является главным редактором «Евразийского химико-технологического журнала», журнала «Горение и плазмохимия».



ЗАХИДОВ Анвар Абдулаходович

Кандидат физико-математических наук, профессор физики, материаловедения, заместитель директора Института UTD-Nano TechInstitute, University of Texas at Dallas, Ричардсон, Техас, США. Награда Американского физического общества (2009), «Медаль Капицы за научное открытие» Российской академии естественных наук (2006), Премия NanoVic Австралии (2006), Nano-50 Award Small Magazine (2005), Азиатско-американский инженер года (2002). Области научных интересов: углеродные нанотрубки и фуллерены, фотонные кристаллы, наноструктурированные термоэлектрики, фотоэлементы, молекулярные электронные устройства, спектроскопия молекулярных кристаллов, проводящих полимеров, сверхпроводимость, теория низко размерных органических тел,

методы нанотехнологий и др. Редактор of International Journal of Nano science (World Scientific), Член редакционной коллегии журнала International Journal Molecular Materials (секция C «Molecular Crystals and Liquid Crystals Science and Technology»), редактор для специального выпуска статей, посвященных профессору Hiroo Inokuchi.



НАЖИПҚЫЗЫ Меруерт

Кандидат химических наук, и.о.доцента кафедры химической физики и материаловедения КазНУ им. аль-Фараби, ведущий научный сотрудник лаборатории «Синтез углеродных наноматериалов в пламени» (Институт проблем горения). В 2010 году защитила кандидатскую диссертацию на тему «Образование фуллеренов C₆₀ и гидрофобной сажи в углеводородных пламенах».

Автор более 76 работ, в числе которых 8 учебных пособий, 4 учебника, 2 электронных учебника. Обладатель стипендии Президента Республики Казахстан «Болашак» (2012). Обладатель государственной научной стипендии для талантливых молодых ученых (2016). Обладатель званий «Лучший преподаватель Вуза-2016». Проходила научные стажировки в университетах: Реддинг (Великобритания, 2012-2013), Сардар Пател (Индия, 2013), Сюррей (Великобритания, 2015), Назарбаев Университет (Казахстан, 2016), Васеда (Япония, 2017).

М. Нажипқызы является членом редакционной коллегии журналов: «Universal Journal of Applied Science», «Eurasian Chemico-Technological Journal», «Advances in Materials Chemistry».



СМАГУЛОВА Гаухар Толбаевна

Доктор философии (PhD) по специальности «Нанотехнологии и наноматериалы». В 2016 году защитила диссертацию на тему «Producing of carbon nanotubes film and their application». Прошла научные стажировки в 2013 г. в США (University Texas at Dallas, Richardson) под руководством проф. Захидова Анвара Абдулаходовича и в 2016 г. в Японии (Waseda University, Tokyo) под руководством проф. Suguru Noda. Преподаватель кафедры химической физики и материаловедения факультета химии и химической технологии КазНУ им. аль-Фараби, научный сотрудник лаборатории «Синтез углеродных наноматериалов в пламени». Ответственный секретарь ежеквартального издания Института проблем горения «Бюллетень ИПГ», член редколлегии научно-популярного сборника «Наука: день сегодняшний, завтрашний».



СУЛТАНОВ Фаиль Разифович

Доктор философии (PhD) по специальности «Наноматериалы и нанотехнологии». В 2016 г. успешно защитил диссертацию PhD на английском языке по теме «Получение и исследование графеновых аэрогелей». Проходил полугодовую научную стажировку в «Центре Перспективных материалов» при Хьюстонском Университете (г. Хьюстон, Техас, США). Является преподавателем кафедры химической физики и материаловедения факультета химии и химической технологии КазНУ им. аль-Фараби.