

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССАХ ГОРЕНИЯ

З.А. Мансуров

Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. ал-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

Дата поступления:

4 Августа 2019

Принято на печать:

24 Сентября 2019

Доступно онлайн:

6 Ноября 2019

АННОТАЦИЯ

В статье представлены оригинальные результаты по изучению образования и синтеза углеродных наноматериалов различного функционального назначения, полученные в Институте проблем горения: образование фуллерена в пламени; синтез углеродных нанотрубок в пламени; синтез супергидрофобной углеродной поверхности в режиме горения; образование графеновых слоев в пламенах; полная схема сажеобразования; СВС наноразмерных материалов; образование нитевидных кристаллов Al_2O_3 при СВС в системе $Al-B_2O_3-Cr_2O_3$; синтез наноразмерных катализаторов для углекислотной конверсии метана в синтез-газ.

Ключевые слова: фуллерен, углеродные нанотрубки, супергидрофобная углеродная поверхность, сажеобразование.

Введение

Исследования низкотемпературного сажеобразования в Институте проблем горения начаты в 1985 г. [1-3]. Это были исследования низкотемпературных, холоднотемпературных, сажеобразующих углеводородных пламен. По данной теме защитили кандидатские и докторские диссертации: Тулеутаев Б.К., Турешева Г.О., Машан Т.Т., Васютинская А.Г., Лесбаев Б.Т., Нажипкызы М., Ченчик Д.И., Мансуров З.А., Приходько Н.Г., Шабанова Т.А., а также PhD диссертация Ауельханкызы М.

Пламя можно рассматривать в качестве химического реактора по синтезу целевых продуктов. Основная особенность процессов на основе технологического горения заключается в том, что целевой продукт образуется в результате реакции горения, протекающей самопроизвольно при высоких температурах с большой скоростью без затрат энергии извне, т.е. за счет собственного тепловыделения. С развитием нанотехнологий возникают новые задачи по синтезу наноматериалов в режиме горения.

Сажеобразование, характерное для богатых топливом пламен, имеет важное значение в связи с проблемами экологии, производства различных материалов в качестве наполнителя [4]. В последнее время изучение механизма и кинетики сажеобразования активизировалось в связи с получением альтернативных топлив из растительного

сырья. Важно знать общие закономерности превращения топлива до сажевых частиц независимо от вида молекулярного веса топлива. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по процессам сажеобразования и предложены различные феноменологические модели [4-6]. Несмотря на это, все еще остается много неясностей в механизме сажеобразования. Даже в простых случаях, например, гомогенного пиролиза углеводородов, нет полного понимания процесса, поскольку он связан с большим количеством быстропротекающих параллельных реакций, ведущих к образованию новой твердой фазы – частиц сажи (например, время конверсии метана с молекулярной массой 16 а.е.м. в частицы сажи с молекулярной массой более 106 а.е.м. составляет 10^{-4} - 10^{-2} с). Следует обратить внимание, что эти быстро протекающие реакции идут в потоке, т.е. при интенсивном переносе масс частиц с параллельным увеличением их молекулярной массы [7].

Следует отметить, что исследования сажеобразования в последние 40 лет касались в основном экологических проблем, связанных с загрязнением воздушной среды от использования различных топлив. Известно, что сажа влияет на атмосферную видимость, глобальный климат и здоровье людей. Однако с развитием нанонауки горение в режиме сажеобразования рассматривается как метод синтеза наноматериалов.

*Ответственный автор

E-mail: zmansurov@kaznu.kz (З.А. Мансуров).

Образование фуллеренов в пламени

Фуллерены C_{60} и C_{70} были идентифицированы в 1985 г. и получены в макроскопических количествах в 1990 г., в обоих случаях методом испарения графита дугowym разрядом [8]. В пламенах ионы фуллеренов были обнаружены в 1987 г. и в 1991 г. C_{60} и C_{70} были извлечены в значительных количествах из пламени и спектроскопически идентифицированы. Ховард с сотрудниками получили значительные количества C_{60} и C_{70} в предварительно перемешанных ламинарных сажеобразующих пламенах бензола и кислорода при низких давлениях [9].

Эти данные стали основанием для разработки альтернативного метода получения фуллеренов в режиме горения углеводородов. Исследования проводились при горении предварительно перемешанного $C_6H_6/O_2/Ar$ пламени для условий, соответствующих максимальному выходу фуллеренов. Обработка экспериментальных данных по определению выхода фуллерена C_{60} выявила преимущество кольцевого электрода по сравнению с электродом в виде иглы и показала, что наибольший выход фуллерена C_{60} (~15%) наблюдался при его расположении в средней части пламени ($L = 4$ см) [10-11].

Образование углеродных нанотрубок в пламени

Наиболее перспективным способом производства углеродных нанотрубок является пламенный метод. В случае использования пламени для синтеза углеродных наночастиц часть топлива расходуется на разогрев смеси, а часть используется как реагент, что делает данный метод более экономичным по сравнению с методами, основанными на использовании электричества, пиролиза углеводородов или дугowego испарения графита [12].

В [13, 14] представлены результаты исследования диффузионного пропан-кислородного пло-

ского пламени, стабилизированного на горелке со встречными струями при атмосферном давлении. Два встречных потока образовывали плоское пламя. Пламя было окружено внешним потоком азота, поступающим из матриц горелок. Раствор катализатора ($Fe(CO)_5$ или спиртовой раствор нитрата никеля) распылялся ультразвуковым распылителем и подавался через металлическое сопло в пламя со стороны топлива. Полученные продукты осаждались на стенках реактора и улавливались в ловушках с жидким азотом. Температура в реакторе измерялась термопарой, в пламени – пирометром Iron Ultimax.

Из рис. 1 видно, что образцы содержат агломераты сажи, среди которых встречаются металлические частицы. Обнаружено, что при определенных условиях эксперимента возможно образование хорошо упорядоченных жгутов углеродных нанотрубок диаметром 20-30 нм.

Образование супергидрофобной углеродной поверхности в пламени

Проведено экспериментальное исследование осаждения сажи на подложку из кремния и никеля при горении пропан-кислородной смеси [15]. На рис. 2 показана фотография экспериментальной установки и капля жидкости на супергидрофобной поверхности.

Капля воды, нанесенная на диск, который находился в пламени в течение 4 мин, показал гидрофобность. Было обнаружено, что гидрофобность поверхности очень стабильная. Внешний угол контакта (рис. 2) лежит в диапазоне $152,4-157,1^\circ$ для всех случаев. Аналогичные капли воды были нанесены на гидрофильную поверхность кремния, который имеет внешний угол контакта $50,1^\circ$.

Для выявления влияния воздействия электрического поля на гидрофобность или гидрофильность образующейся сажевой поверхности провели исследования с воздействием электрического

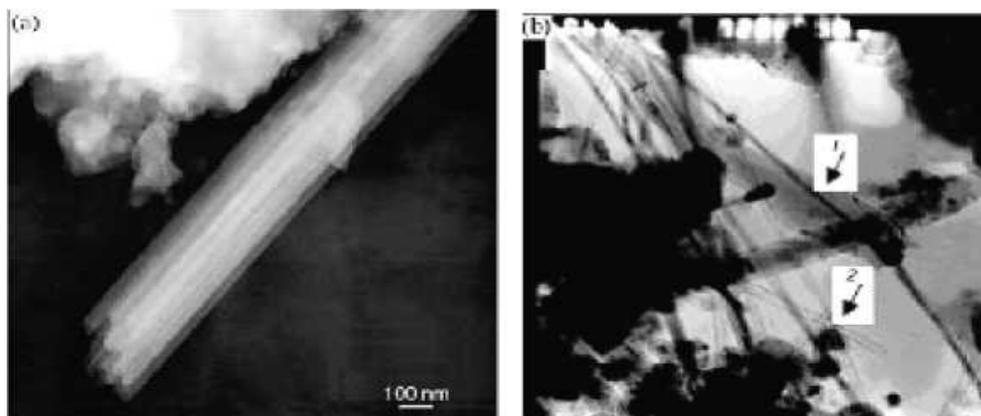


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки образца: 1 – углеродных нанотрубок; 2 – в углеродной оболочке [13].



Рис. 2. Фотография экспериментальной установки и капля жидкости на супергидрофобной поверхности [15].

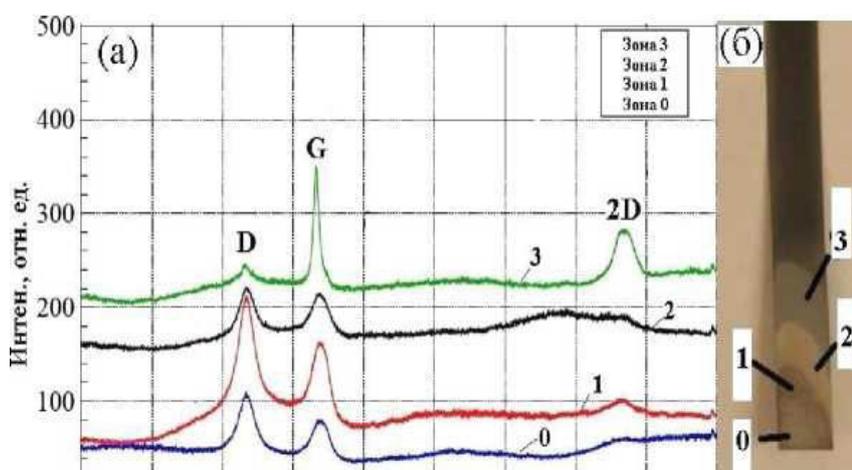


Рис. 3. Раман-спектры углеродных структур по зонам (а) и фотография никелевой подложки (б) с указанием зон сформированных углеродных структур при низком давлении.

поля. При наложении электрического поля получена сажа с углом смачивания $>170^\circ$.

Образование графеновых слоев в пламени

В работе [16] был исследован синтез графеновых слоев в бензол-кислородном пламени при низком давлении. Исследования показали, что формирование графеновых слоев происходит в предсажевой зоне, как и при атмосферном давлении. На рис. 3а представлены Раман-спектры, характеризующие углеродные структуры, формирующиеся на никелевой пластинке в зонах 0, 1, 2, 3 (рис. 3б). В зонах 0, 1 и 2 наблюдается аморфная углеродная структура, а в зоне 3 синтезируются графеновые слои. При этом зона формирования графенов при низком давлении более расширена, чем при атмосферном давлении. Выше зоны 3 формируется сажевая структура (рис. 3б).

Полная схема сажеобразования

Как известно, образование и синтез фуллеренов

в традиционном методе дугового испарения графита осуществляется при давлениях ниже 40 торр [17]. Как указано в работе [18], в асимптотических гигантских разветвленных звездах в результате газофазной конденсации образуются нано- и субнано-размерные частицы. Проведены эксперименты при давлении 0,1-2,6 мбар со схожей с астрофизической атмосферой при температурах ниже 1700 К, в которых наблюдалось образование фуллеренов. Образование фуллеренов происходит при низких давлениях, и здесь важным является учет стерического фактора. Следует учесть, что образование такой изящной молекулы C_{60} требует необходимой пространственной ориентации двух молекул C_{30} . Имеются различные модели образования C_{60} фуллеренов, одна из которых осуществляется по zipr-механизму [19]. Необходимым условием такого механизма являются низкие давления. С возрастанием давления, т.е. при переходе к атмосферному и выше, где преобладают тройные столкновения, происходит коагуляция ПЦАУ с образованием сажевых кластеров [20].



Рис. 4. Полная схема образования углеродных наночастиц при богатом углеродом топливе пламени.

Ранее Бокхорном в 1994 г. [21] была предложена феноменологическая схема реакции образования сажи в гомогенных смесях предварительно перемешанных пламени, где промежуточными продуктами являются ПЦАУ. Была показана последовательность образования продуктов горения в богатых топливом пламени: CO , H_2 , H_2O , алифатические углеводороды, ароматика с увеличением числа колец, вплоть до коронена, затем зародышеобразование сажевых частиц, их рост до размеров 50 нм. С учетом новых данных ПЦАУ можно рассматривать как основу образования фуллеренов и графенов в пламени, как предшественников образования сажевых частиц З.А. Мансуровым разработана полная схема сажеобразования [20, 22]. На рис. 4 представлена схема образования частиц сажи, дополненная стадиями образования фуллеренов и графенов. Как показано на схеме, при низких давлениях образуются однослойные графены, а при атмосферном давлении – многослойные.

Разработана схема образования фуллеренов, графенов и сажи в богатых углеводородных пламени с учетом давления. Показано, что синтез в пламени фуллеренов, графенов и углеродных нанотрубок представляет альтернативу технологии существующих методов синтеза в электрической дуге из графита.

СВ-синтез наноразмерных материалов

Получение nano порошка кремния, является важной задачей для различного рода применения, включая микроэлектронику, солнечную энергетику и ракетные топлива. В работе [23, 24] такой продукт был получен методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), который является эффективной технологией по-

лучения различных материалов, отличающийся своей простотой и малыми энергозатратами. Показана принципиальная возможность получения чистого порошка кремния с высокой удельной поверхностью, но и проведен сравнительный анализ продуктов полученных на основе трех различных видов оксида кремния.

В основе метода лежит известный процесс магнийтермического восстановления оксида кремния, но проведенное в режиме самораспространяющейся реакции горения. В качестве исходного сырья использовались три разных порошка оксида кремния, различающиеся по размеру частиц и чистоте: (а) кварц казахстанского месторождения Еркен (далее по тексту кварц KZ), чистотой 98,8% и с размером частиц $d \leq 100$ мк.; (б) кварц марки Cergac, WI, USA (далее кварц Cergac), чистотой 99,9% и с размером частиц $d < 44$ мк.; и (в) нанокварц марки Untreated Fumed Silica (UFS), Cabot Corporation, MA, USA (далее кварц UFS), чистотой 99,9% и с удельной поверхностью ~ 200 м²/г.

Синтез проводился согласно следующей реакции:



Для получения чистого кремния синтезированные образцы обрабатывались 36% соляной кислотой, в течение 3 ч при нормальных условиях. На рисунке 5 видно, что характерная микроструктура (морфология и размер) синтезированного порошка кремния слабо зависит от морфологии и размера частиц исходного кварца. Во всех случаях получается очень пористая микроструктура с размером компонентов (пор и отдельных кристаллитов) больше одного микрона.

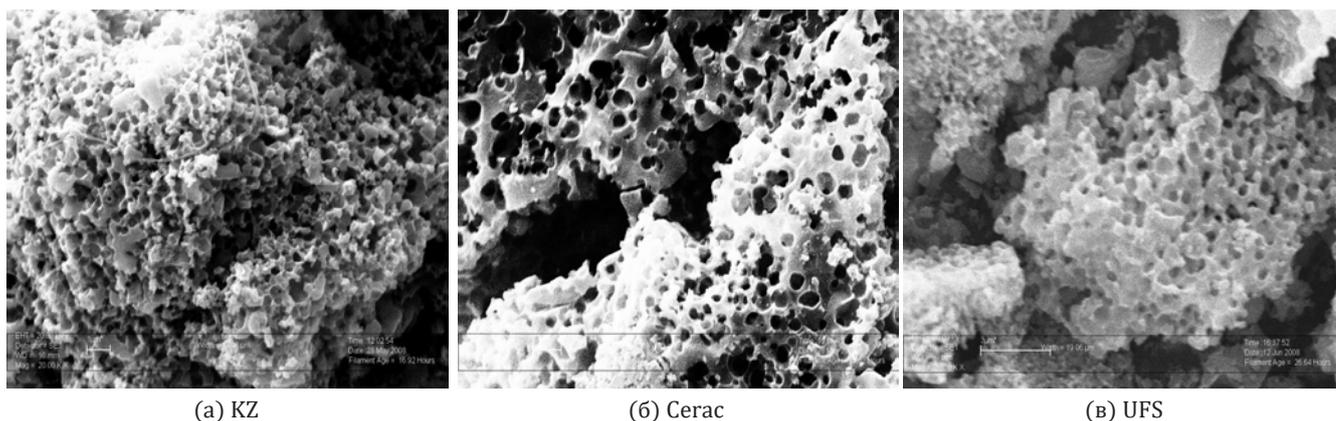


Рис. 5. Частицы синтезированного кремния после химической обработки соляной кислотой.

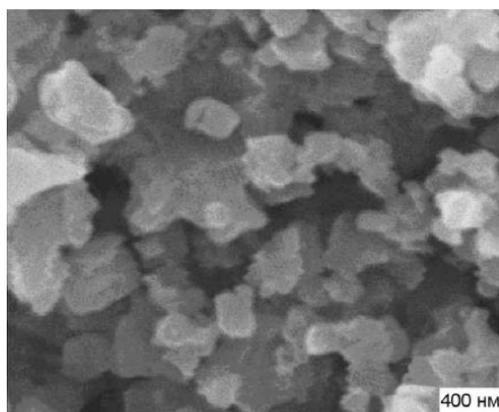


Рис. 6. Кремний после пятиминутной механической обработки.

Так как получаемый во всех случаях кремний представлял собой сильно пористую, губчатую структуры с высокой удельной поверхностью, было логично предположить возможность получения мелкодисперсного (субмикронного – нано!) порошка кремния при последующей механической обработке, в ходе которой предполагалось разбить тонкие мостики каркаса. В результате 5 минутной обработки в высокоэнергетической мельнице (Glen Mills Inc., USA) был получен субмикронный порошок кремний с размером частиц около 300 нм (рис. 6).

Образование нитевидных кристаллов Al_2O_3 при СВ-синтезе в системе $Al-B_2O_3-Cr_2O_3$

В [25] проведен СВ-синтез системы $Cr_2O_3-B_2O_3-Al$ и $Cr_2O_3-B_2O_3-Mg$. Характерный рентгенофазовый спектр синтезированного продукта показан на рис. 7. По данным РФА идентифицированы бориды хрома и оксид алюминия. Видно, что незначительная часть алюминия взаимодействовало с атмосферой воздуха с образованием AlN .

Результаты электронно-микроскопического исследования продуктов горения системы $Cr_2O_3-B_2O_3-$

Al , свидетельствуют об образовании нитевидных кристаллов из окиси алюминия в боридной матрице (рис. 7). На рис. 7, а, б видны волокна прямой, скрученной и волнистой форм, на рис. 7, в – нитевидные кристаллы, имеющие разветвленную структуру. Анализ на сканирующем электронном микроскопе показал образование волокон $\alpha-Al_2O_3$ длиной около $l = 10-25$ микрон и диаметром $d = 200-500$ нм. Волокна не упорядочены. Различные значения диаметра волокон следует из-за самотурбулентности роста системы, а именно роста температуры, диффузии, скорости химической реакции [26]. Процесс образования и особенности механизма роста усов и волокон оксида алюминия исследованы в работах [27-29]. Алюминий, как следует из приведенной литературы, может служить концентратором роста нитевидных кристаллов, который осуществляется по механизму «пар-жидкость-кристалл».

Синтез наноразмерных катализаторов для углекислотной конверсии метана в синтез-газ

Разработаны катализаторы оксидов металлов (CoO , NiO) на основе стеклоткани. Использовалась $Na-Si$ -стеклоткань марки КС-11-ЛА (88) (температурный интервал работы стеклоткани данной марки составляет $1000-1200$ °С). Оксиды металлов Ni и Co наносились на поверхность стеклотканной матрицы методом “solution combustion” (SC), который является одним из вариантов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [30-33].

Были синтезированы низкопроцентные (не более 1%) образцы методом SC.

Раствором из азотнокислых солей кобальта, никеля и глицина пропитывали стеклоткань размером 5×5 см с учетом ее влагоемкости, затем образец подсушивали в течение 30 минут на воздухе при температуре 100 °С. Как показали проведенные физико-химические исследования, образование наночастиц с размерами от 10 до 50 нм происходи-

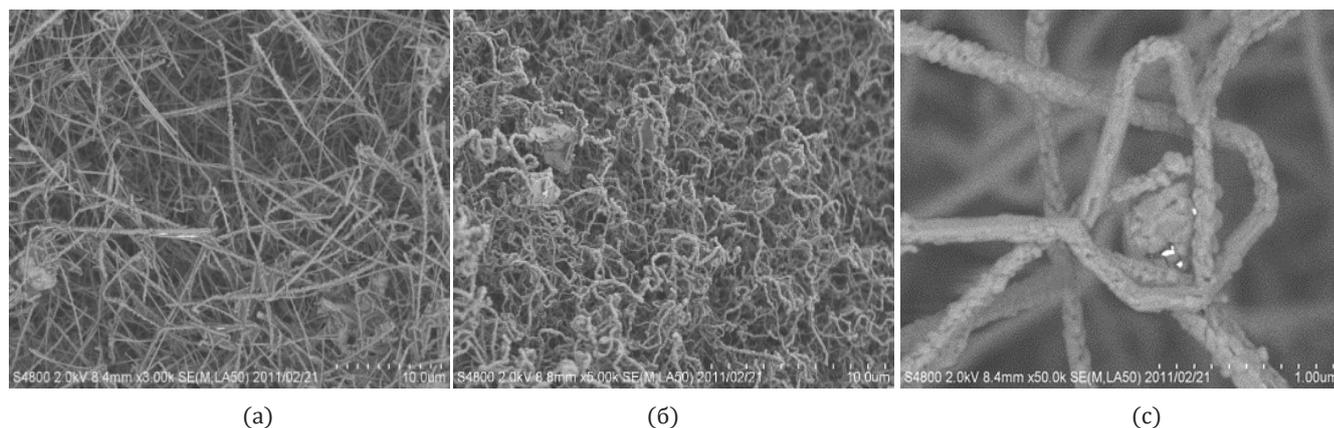


Рис. 7. СЭМ снимки системы $\text{Sr}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_3\text{-Al}$, где (а) общий снимок поверхности конечных продуктов, (б) прямая, волнистая и скрученная формы нитевидных кристаллов, (в) разветвление нескольких кристаллов [25, 26].

ло при прокаливании образцов в термостате при температуре 400-450 °С в течение 1 ч, что сопровождалось (в случае использования концентраций активного компонента $\geq 1\%$) слабо различимым голубоватым свечением.

На рис. 8, а представлено трехмерное изображение отдельных частиц катализатора 1.0-КС-0/100, взятых с подложки с помощью ультразвукового диспергатора.

ПЭМ снимок катализатора 0,8-КТ-60/40 (рис. 8, б) показал присутствие частицы кобальта и никеля размером 5-20 нм на поверхности стеклоткани.

Изучены зависимости конверсии исходных веществ, метана и углекислого газа, а также выхода целевых продуктов реакции (водорода и монооксида углерода) от температуры и времени катализа. Образец ИК1 показал достаточно высокую активность: установлено, что выход синтез-газа достигает 32% H_2 и 46% CO при температуре 745 °С. Конверсия CH_4 составляет 30%, CO_2 – 80% при этой же температуре.

Образцы катализаторов с нанесенным оксидом кобальта проявляют высокую активность в реакции углекислотной конверсии метана. Следует отметить, что в сравнении с промышленным катализатором ГИАП-18 стеклотканевый катализатор ИК1 зауглероживается значительно медленнее, и после 3 ч работы степень зауглероживания для ИК1 не превышала 0,5%.

Заключение

Синтез в пламени фуллеренов и углеродных нанотрубок представляет собой альтернативу существующим методам синтеза в электрической дуге из графита. СВС нанопорошков оксидов металлов и катализаторов является альтернативой общепринятой технологии получения неорганических веществ и материалов.

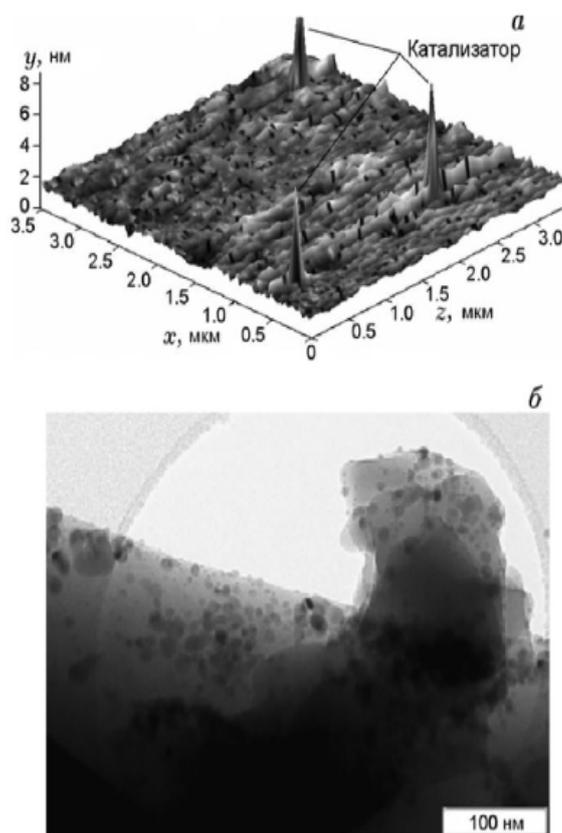


Рис. 8. Трехмерное изображение частиц катализатора 1.0-КС-0/100 (а), полученное на атомно-силовом микроскопе, и ПЭМ-снимок катализатора 0.8-КТ-60/40 (б) [26, 33].

Все эти процессы отличаются использованием химической энергии процессов горения вместо электрической; простотой оборудования, благодаря отсутствию внешних источников тепла; большой скоростью процесса.

Литература

- [1]. З.А. Мансуров, Б.К. Тулеутаев, Р.Х. Салахов, В.Т. Попов, Ю. Королев. Получение сажи в режиме холодных пламен метана // Сборник работ по химии. – Алма-Ата, 1985. – Вып. 10. – С. 158-163.
- [2]. З.А. Мансуров, В.И. Пестерев, Д.У. Бодыков. Применение низкотемпературной ИК-спектроскопии в изучении холодных пламен // Тезисы докладов научно-практического семинара по электрофизике горения. – Караганда, 1987. – С. 103.
- [3]. З.А. Мансуров, В.И. Пестерев, В.Т. Попов, Д.А. Касымбекова, Б. Тулеутаев. Синтез полиароматических соединений в условиях горения метана // «Химические синтезы на основе одноуглеродных молекул»: тезисы докладов Всесоюзной конференции. – М., 1987. – С. 111-112.
- [4]. Теснер П.А. Образование сажи при горении // Физика горения и взрыва. 1979. Т. 15, № 2. С. 3-14.
- [5]. Wagner H. G. Soot formation in combustion // 17 Symp. (Intern.) on Combustion. Pittsburgh: The Combustion Inst., 1979. P. 3-19.
- [6]. Wang H. Formation of nascent soot and other condensed-phase materials in flames // Proceedings of the Combustion Institute, 2011. Vol. 33. P. 41-67.
- [7]. Мансуров З.А. Сажеобразование в процессах горения // Физика горения и взрыва. 2005. Т. 41, № 6. С. 137-156.
- [8]. Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C., Curl R.F., and Smalley R.F. C_{60} : Buckminsterfullerene // Nature. 1985. Vol. 318, No. 6042. Pp. 162-164.
- [9]. Howard J.B. Fullerenes formation in flames // 24th Sympos. (Intern.) on Combustion. 1992. Vol. 24, No. 1. Pp. 933-946.
- [10]. Мансуров З.А. Образование сажи полициклических ароматических углеводородов, фуллеренов и углеродных нанотрубок при горении углеводорода // Инженерно-физический журнал. 2011. Т. 84, № 1. С.116-149.
- [11]. Мансуров З.А., Лесбаев Б.Т., Приходько Н.Г., Машан Т.Т., Кутлукмамбетова Г.Д. Образование фуллеренов в пламенах углеводородов // «Горение и плазмохимия»: материалы II Междунар. симп. – Алматы, 2003. – С. 226-231.
- [12]. W. Merchan-Merchan, A.V. Saveliev, L. Kennedy, W.C. Jimenez. Combustion synthesis of carbon nanotubes and related nanostructures // Progress in energy and combustion science 2010. – V. 36. – P.696-727.
- [13]. Мансуров З.А., Ченчик Д.И., Лесбаев Б.Т., Приходько Н.Г. Исследования параметров противоточного пламени для выбора условий синтеза углеродных нанотрубок // «Горение и плазмохимия»: материалы V Междунар. симп. – Алматы, 2009. – С. 106-108.
- [14]. Мансуров З.А. Получение наноматериалов в процессах горения // Физика горения и взрыва. 2012. Т. 48, № 5. С. 77-86.
- [15]. Назипкызы М., Мансуров З.А., Пури И.К. и др. Получение супергидрофобной углеродной поверхности при горении пропана // Нефть и газ. 2010. Т. 5, № 59. С. 27-33.
- [16]. Mansurov Z.A., Prikhodko N.G., Auyelkhankey M., Lesbayev B.T., Nazhipkyzy M. Synthesis of single and few layer graphenes in flames // 7th European Combustion Meeting 2015. 30 March - 2 April 2015. Budapest, Hungary, 2015. P. 118-119.
- [17]. Kratschmer W., Lamb L., Fostiropoulos K., Huffman D. Solid C: a new form of carbon // Nature. 1990. Vol. 347. P. 354.
- [18]. Jager C., Huisken F., Lamas J.I., Henning Th. Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Carbonaceous Solids in Gas-Phase Condensation Experiments // Astrophys. 2009. No. 696. P. 706-712.
- [19]. Ahrens J., Bachmann M., Baum Th., Griesheimer J., Kovacs R., Weilm Eünster P., Homann K.-H. // Int. J. Mass Spectrom. 1994. Vol. 138. P. 133-148.
- [20]. Mansurov Z.A. Soot formation. Almaty: Kazakh University. 2015. – 167 p.
- [21]. Soot Formation in Combustion / Ed. Bockhorn H. Berlin, Heidelberg, Springer, 1994. P. 596.
- [22]. Mansurov Z.A., Complete scheme for fullerene, graphene and soot formation in Flame // Eurasian Chem.-Technol. J. – 2018. – V.20, №4. – p.277-281.
- [23]. Ж.С. Ермакова, З.А. Мансуров, А.С. Мукасян. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез субмикронного порошка кремния // Горение и Плазмохимия, Т.7, №1. – С.1-6.
- [24]. Mansurov Z.A., Yermekova Zh., Mukasyan A. Influence of precursor morphology on the microstructure of silicon carbide nanopowders produced by combustion synthesis // Ceramics International. – Vol. 36 (8). – 2010. – P.2297-2305.
- [25]. Абдулкаримова Д.С., Вонгай И.М., Мансуров З.А., Одавара О. Получение боридных композитов методом СВС // VI Международный симпозиум «Физика и химия углеродных материалов/ Наноинженерия». – Алматы, 2010. – С.116-118.
- [26]. Мансуров З.А. Получение наноматериалов в процессах горения // Физика горения и взрыва. – Т.48, №5. – 2012. – С.77-86.
- [27]. H.Chen, Y.Cao, X.Xiang, J.Li, C.Ge Fabrication of β - Si_3N_4 nano-fibers // Journal of Alloys and Compounds, 325 (2001). L1-L3
- [28]. Longland P.L., Moulson A.I.-J. Mater. Science, 1978. – Vol.13, № 10. – P.2279-2284.
- [29]. Valcalcer V., Souto A., Guitian F. Development of single-crystal α - Al_2O_3 fibers by Vapor-Liquid-Solid deposition (VLS) Adv.Mater. 1998,10, №2.
- [30]. Mykasyan A.S., Dinka P. International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis, 2007, Vol. 16, №1, p.23-35.
- [31]. Benjaram M. Reddy, Gunugunuri K. Reddy, Ibram

Ganesh Jose M.F. Ferreira, Journal of Materials Science Letters, 2009, Vol. 44, p.2743-2751.

- [32]. Mansurov Z.A., Aldashukurova G., Mironenko A.V., Rudina N.A., Itshenko A.V., Ushakov V.A., Ismagilov Z.R. Carbon dioxide conversion of methane into synthesis-gas on glass cloth catalyst // Eurasian Chem.-Technol. Journal. – 2010. – V. 12 (2). – P. 151-156.
- [33]. Mansurov Z.A., Aldashukurova G., Mironenko A.V., Yashnik S.A., Kuznetsov V.V., Ismagilov Z.R. Synthesis gas production on glass cloth catalysts modified by Ni and Co oxides // Journal of Energy Chemistry, – 2013. – №22. – P.811-818.

Жану процесінде наноматериалдарды алу

З.А. Мансуров

Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр көшесі 172, Алматы, Қазақстан
эл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,
эл-Фараби даңғ. 71, Алматы, Қазақстан

АНДАТПА

Мақалада, әр түрлі мақсатта қолданылатын көміртекті наноматериалдарды синтездеу және түзілуі бойынша Жану проблемалары институтында алынған жаңа нәтижелер келтірілген: жалында фуллерен түзілуі; жалында көміртекті нанотүтікшелер синтезі; супергидрофобты көміртекті бетті жану режимінде синтездеу; жалында графен қабаттарының түзілуі; күйе түзілудің толық сызбанұсқасы; наноразмерлі материалдардың өздігінен жану синтезі (ӨЖС); Al_2O_3 талшықты кристалдарының ӨЖС кезінде $Al-B_2O_3-Cr_2O_3$ жүйесінде

түзілуі; метанның көмірқышқылды синтез-газға конверсиясына наноөлшемді катализаторларды синтездеу.

Obtaining nanomaterials in combustion processes

Z.A. Mansurov

Institute of Combustion Problems, Bogenbai Batyr str., 172, Almaty, Kazakhstan
Al-Farabi Kazakh National University, ave. Al-Farabi 71, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

The article presents the original results on the formation and synthesis of carbon nanomaterials for various functional purposes, obtained at the Institute for Combustion Problems: Formation of fullerene in a flame; Synthesis of carbon nanotubes in a flame; Synthesis of superhydrophobic carbon surface in combustion mode; Formation of graphene layers in flames; Complete soot formation scheme; SHS of nanoscale materials; Formation of Al_2O_3 whiskers during SHS in the $Al-B_2O_3-Cr_2O_3$ system; Synthesis of nanoscale catalysts for the carbon dioxide conversion of methane to synthesis gas.