

УДК 547.917/.918

З.А. Мансуров

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

E-mail: zmansurov@kaznu.kz

Современные разработки в области синтеза наноматериалов в режиме горения

Аннотация. Предложена схема конверсии топлива с образованием фуллеренов и сажи с учетом давления в богатых углеводородных пламенах. Показано, что для образования фуллеренов важным является соответствующая пространственная ориентация ПЦАУ, возможная при низких давлениях. Исследовано влияние электрического разряда на эффективность выхода фуллеренов в предварительно перемешанном бензол/кислород/аргонного пламени. Установлено, что электроны, эмитируемые с игольчатого электрода, распространяются в объеме конуса и в меньшей степени оказывают влияние на внешние края пламени, а электроны, эмитированные с кольцевого электрода, обрабатывают не только внутреннюю область, но и края пламени, что создает условия для роста фуллеренов. Изучено образование гидрофобной сажи в диффузионном пропан-кислородном пламени на кремниевой и никелевой подложках при атмосферном давлении и определены условия образования супергидрофобной сажи на никелевой подложке в результате воздействия электрического поля. Установлено, что наложение электрического поля, независимо от материала подложки, сужает область осаждения сажи на подложке и в диаметре 2,5 – 3 см от центра образуется супергидрофобная сажевая поверхность с углом смачивания свыше 170° . Синтез углеродных нанотрубок осуществлен на микроволновом плазмохимическом реакторе. Полученные нанотрубки исследованы на электронном микроскопе и СЭМ – изображения пленок углеродных нанотрубок показывает, что нанотрубки произвольно распределены на подложке и дезориентированы. Было установлено, что скорость роста зависит от количества подаваемого метана. Изучены фотоэлектрические свойства солнечных элементов покрытых наночастицами оксида никеля синтезированных в противоточном пламени пропана. Наночастицы оксидов никеля способствуют эффективному поглощению световой энергии. Нанесение на поверхность кремниевого солнечного элемента наночастиц оксида никеля привело к повышению выходного напряжения холостого хода до 4-7%, тока короткого замыкания – до 20-28%, что в совокупности привело к повышению КПД солнечных элементов на 2-3%.

Ключевые слова: ПЦАУ, фуллерены, углеводородных пламена, углеродные нанотрубки, наночастицы оксида никеля.

Академик Ш.Ш. Сарсембинов видный ученый в области физики твердого тела и организатор высшего образования. Шамиш Шарипович заведовал 34 года кафедрой физики твердого тела, был деканом, проректором КазНУ им аль-Фараби, основал новое научное направление в физике полупроводников: управление электронными свойствами полупроводников с некристаллической структурой и совместно с учениками разработал физические основы модификации электронных свойств некристаллических полупроводников. Результаты этой многолетней

научно-исследовательской работы изложены в одноименной монографии. Шамиш Шарипович в последние годы занимался подготовкой республиканской программы по развитию нанонауки и нанотехнологий в Республике Казахстан и организацией нанотехнологической лаборатории в КазНУ. В 2008 г. стал первым директором Национальной нанотехнологической лаборатории открытого типа.

Шамиш Шарипович был человеком исключительно светлого мироощущения, любил природу, гордился детьми, радовался успехами учени-

ков и друзей. В 1992 г. Он рекомендовал меня на должность проректора по науке. Как хорошо сказала Бэла Ахмадулина: «Друзей моих прекрасные черты появятся и растворятся снова». В памяти остался его образ, каким он был всю жизнь, – талантливым, вдохновенным, тактичным, счастливым.

Введение

Пламя можно рассматривать в качестве химического реактора по синтезу целевых продуктов. Еще в каменном веке человек научился применять горение на практике. В области практического использования процесса горения можно выделить два очень важных направления: энергетическое и химико-технологическое. В первом случае используют тепло реакции горения и очень часто, но не всегда, энергию расширяющихся газообразных продуктов. Во втором случае представляет интерес сам продукт горения, который является целевым веществом химико-технологического процесса [1].

Что касается химико-технологического направления, то оно развивалось в отрыве от теории горения, в основном, химиками-технологами и металлургами и свелось к разработке отдельных процессов. К сожалению, объем, и уровень исследований здесь недостаточно высоки и не соответствуют актуальности и большому значению этой проблемы [1, 2].

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 в режиме горения наноматериалов.

Значительный интерес научных и технических кругов к изучению способов получения, структуре и свойствам наноразмерных систем обусловлен многообразием и уникальностью вариантов их практического применения. Малый размер структурных составляющих – обычно до 100 нм – определяет отличие свойств наноматериалов от массивных аналогов [3-5].

М. Ендо в 1976 г. наблюдал образование углеродных волокон при пиролизе бензола [6], а Ииджима в 1991 г. обнаружил углеродные нанотрубки (УНТ) при дуговом разряде графита [7] и это

было началом эры УНТ, которые благодаря уникальному сочетанию различных свойств привлекательны как с точки зрения фундаментальной, так и прикладной науки [8, 9].

В статье представлены оригинальные результаты по разработке углеродных наноматериалов различного функционального назначения, которые были получены в Институте проблем горения:

- синтез фуллеренов в пламени;
- синтез супергидрофобной углеродной поверхности в режиме горения;
- синтез углеродных нанотрубок химическим осаждением из плазмы;
- улучшение параметров кремниевых солнечных элементов с применением на-ночастиц оксидов никеля, синтезированных в пламени.

Синтез фуллеренов в пламени

Сообщение в начале 1985 года об обнаружении молекулы C_{60} стало настоящей сенсацией. Структура фуллерена C_{60} , предложенная Р. Смолли, похожа на футбольный мяч, поэтому его иногда называют, футболен, а C_{70} напоминает мяч для игры в регби. Фуллерены C_{60} и C_{70} были идентифицированы в 1985 году и получены в макроскопических количествах в 1990 г., в обоих случаях методом испарения графита дуговым разрядом [10]. 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 [11].

Нами предложена схема конверсии углеводородных топлив в полициклические ароматические углеводороды (ПЦАУ), фуллерены и сажи при горении богатых топливом пламен (рис.1).

Из рис. 1 видно, что ПЦАУ могут конвертироваться либо в сажу, либо в фуллерены, в зависимости от условий горения. Следует отметить, что определением параметров является величина давления.

Как известно образование и синтез фуллеренов в традиционном методе дугового испарения графита осуществляется при давлениях ниже 40 торр [12].

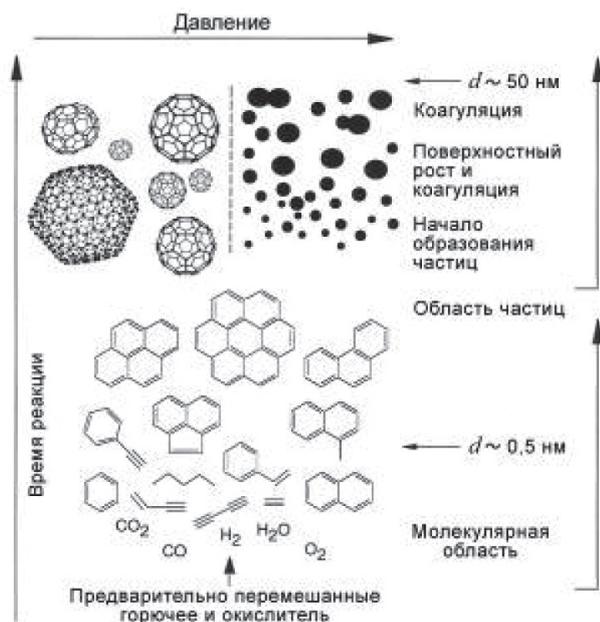


Рисунок 1 – Схематическое изображение эволюции конверсии углеводородных топлив в полициклические ароматические углеводороды (ПЦАУ) при горении богатых топливом пламени

Как указано в [13] в асимптотических гигантских разветвленных звездах в результате газо-фазной конденсации образуются нано и субнаногабаритные частицы. Проведены эксперименты при давлениях 0,1-2,6,7 мбара, схожие с астрофизической атмосферой при температурах ниже 1700 К, при которых наблюдалось образование фуллеренов.

Образование фуллеренов происходит при низких давлениях, и здесь важным является соответствующая пространственная ориентация, требующая учета сферического 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 zipper-механизму [14] (рис. 2).

Необходимым условием такого механизма являются низкие давления. С возрастанием давления, т.е. переходе к атмосферному и выше, где преобладают тройные столкновения, происходит коагуляция ПЦАУ, с образованием сажевых кластеров. Ховардом было показано, что максимум образования фуллеренов сдвинут вправо относительно максимума образования сажи. Им же при детальном исследовании образования

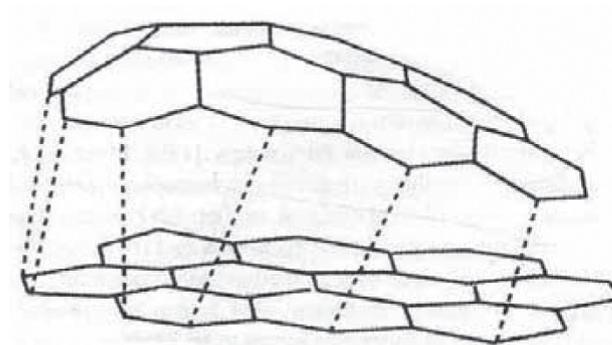


Рисунок 2 – Модель образования пяти- и шестичленных колец через связь двух ПЦАУ с помощью механизма «застежка-молния» [14]

фуллеренов из пламени бензола показано, что имеется второй максимум образования фуллеренов на расстоянии 70 мм от матрицы горелки [15].

Эти данные стали основанием для разработки альтернативного метода получения фуллеренов в режиме горения углеводородов.

В работах [16, 17] исследовано влияние газового разряда, вида электрода и межэлектродного расстояния на эффективность выхода фуллеренов в процессе горения.

Исследования проводились при горении предварительно перемешанного $C_6H_6/O_2/Ag$ пламени для условий, соответствующих максимальному выходу фуллеренов [16]. 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).

На рис. 3 показано электронно-микроскопические снимки фуллерен содержащей сажи.

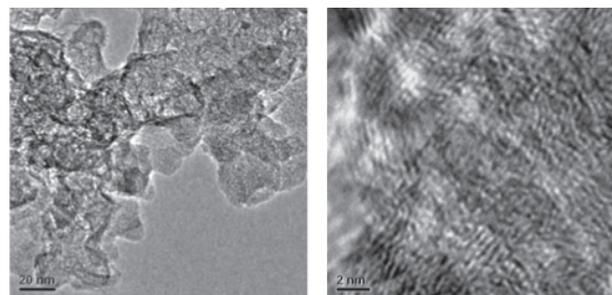


Рисунок 3 – Электронно-микроскопические снимки фуллерен содержащей сажи

Авторы [18] установили, что если нагревать периферийную зону бензольного пламени каким-нибудь внешним источником, например, лазерным лучом, которое не просто сжигает сажу, а создает такие же условия как и в середине пламени, то концентрация фуллеренов увеличивается.

С целью повышения выхода фуллеренов были проведены исследования по воздействию ацетилен – кислородного пламени на разные зоны по высоте бензол – кислородного пламени с применением кольцевой горелки.

Исследования показали, что воздействие по периферии бензол – кислородного пламени внешним ацетилен – кислородным пламенем приводит к повышению его температуры только в верхней части на 50°C. Установлено, что интенсификация процесса формирования фуллеренов происходит на границе соприкосновения ацетилен – кислородного и бензол – кислородного пламени. Положительное влияние ацетиленового пламени заключается в повышении температуры реакционной зоны основного бензол – кислородного пламени на 50°C, в повышении степени ионизации, а также в интенсивном переводе имеющихся ПЦАУ в бензол – кислородном пламени в фуллерены [19].

Синтез супергидрофобной углеродной поверхности в режиме горения

Проведено экспериментальное исследование осаждения сажи на подложку из кремния и никеля при горении пропан – кислородной смеси [20, 21]. На рисунке 4 показана фотография и схематическое изображение экспериментальной установки.

Время экспозиции воздействия пламени варьировалась от 4 до 10 мин.

На поверхности подложки идет осаждение сажи с толщиной в среднем 1-1,5 мкм. На поверхности подложки визуально можно наблюдать разделение осевшей сажи на три зоны. Центральная серая зона (1) окружена коричневой зоной (2), которая, в свою очередь, была охвачена черной внешней закопченной зоной (3). Электронно-микроскопические снимки сажи взятых с поверхности подложки, показали, наличие нанобисеров ($d = 20-30$ нм) концентрация которых преобладает в коричневой зоне. При этом средний размер сажевых частиц увеличивается от центра к краю.

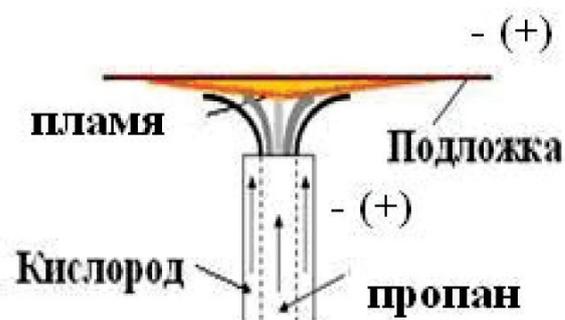


Рисунок 4 – Схема и фотография экспериментальной установки

Из полученного спектра комбинационного рассеяния установлено, что в образце наблюдается несколько модификаций углерода. Пики КР в районе 1350 см^{-1} (D – аморфный) и 1590 см^{-1} (G – графитовый) соответствуют

фазе аморфного углерода, который наблюдали в [21].

Были сделаны фотографии капель жидкости на супергидрофобной (рис. 5 а) и гидрофильной поверхности (рис. 5 б).

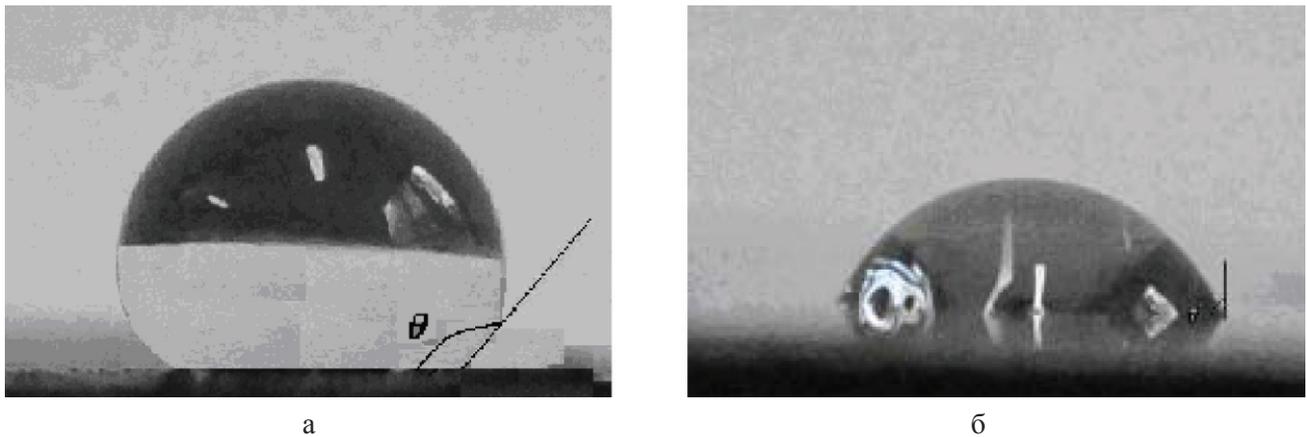


Рисунок 5 – Капля жидкости на супергидрофобной (а) и гидрофильной поверхности (б)

Капля воды, нанесенная на диск, который был в пламени, представленная на рис. 5 а показывает гидрофобность. Нами было обнаружено, что гидрофобность поверхности очень стабильная. Внешний угол контакта θ (схематически изображенного на рис. 5 а) 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 $50,1^\circ$, как показано на рис. 5 б.

Для выявления влияния воздействия электрического поля на гидрофобность или гидрофильность образующейся сажевой поверхности провели исследования с воздействием электрического поля. При наложении электрического поля получена сажа с углом смачивания $> 170^\circ$. При наложении электрического поля напряжением 1 кВ и более пламя визуально претерпевает изменения, оно становится ярче, наблюдается периодическое проскакивание искрового разряда и на подложке происходит обильное образование сажи. Без наложения электрического поля пламя растекается по поверхности подложки. С наложением электрического поля пламя распространяется в форме цилиндра с диаметром в 1,5 см.

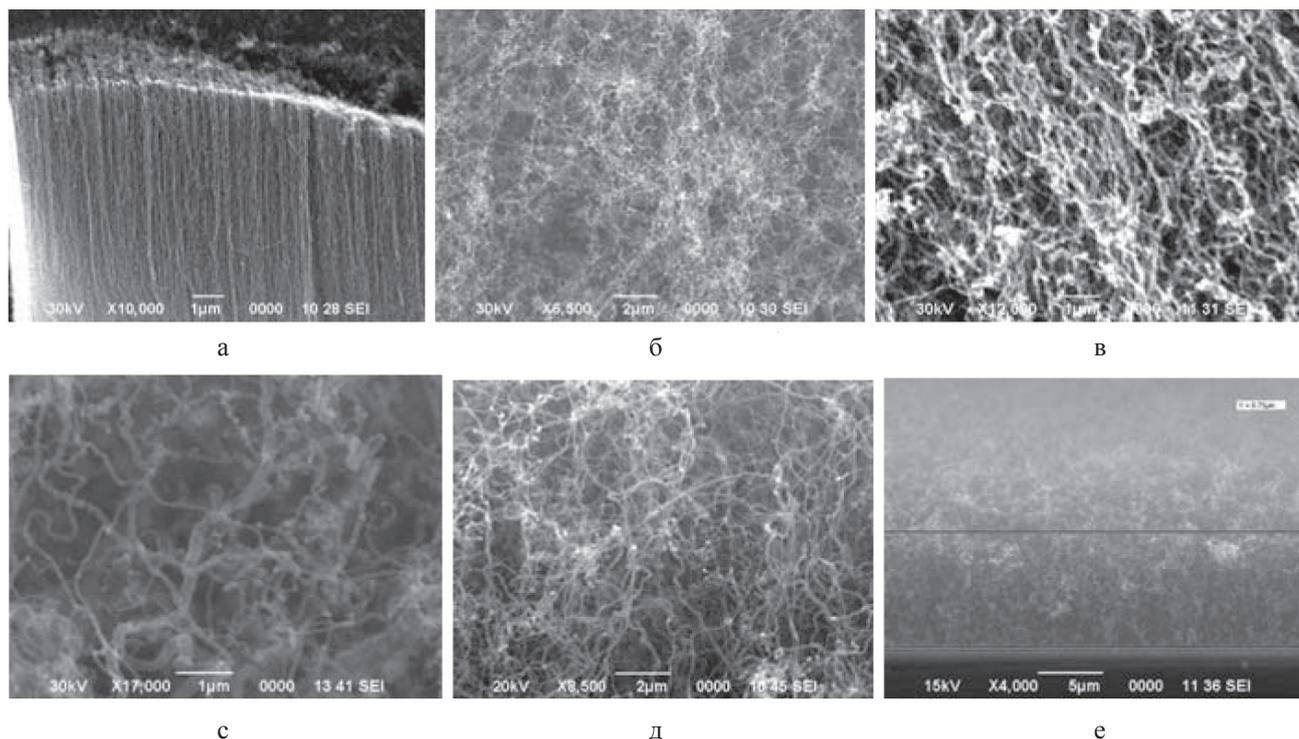
При этом сажистая поверхность получается шероховатой. Наложение электрического поля способствует увеличению толщины углеродного гидрофобного слоя. При этом общая площадь гидрофобной поверхности сужается.

Синтез углеродных нанотрубок химическим осаждением из плазмы [22]

Синтез УНТ был осуществлен на микроволновом PECVD реакторе микроволновом PECVD

реакторе SEKI AX5200S. Нагрев подложки обеспечивался 3.5 кВт радиочастотным источником напряжения. Внешний источник прямого напряжения (Sorensen DCS600-1.7E) использовался для обеспечения электрического смещения между подложкой и электрически заземленными стенками камеры. Температура поверхности подложки измерялась двухволновым Williamson (model 90). Подложка располагалась на толстой молибденовой шайбе (5.08 см в диаметре, 3.30 мм толщиной), используемой для концентрирования плазмы прямо над образцом.

Типичные СЭМ-изображения выращенных пленок УНТ показаны на рис.6. Из рисунка видно, что нанотрубки – 40–100 нм в диаметре, длина превышает несколько десятков микрометров. Четко видно, что выращенные УНТ содержат некоторое количество углеродистых частиц, слипшихся со стенками нанотрубок при использовании малого количества метана, как показано на рис. 6 (д, е). Также из cross-section-СЭМ-изображения пленок УНТ мы отметили, что нанотрубки произвольно распределены на подложке и дезориентированы за исключением Рис. 6а, где УНТ ориентированы вертикально. Установили, что скорость роста находится в огромной зависимости от количества метана. Например, скорость роста изменялась от 1.34 мкм/мин при скорости потока метана 10 сксм до более чем 14 мкм/мин при скорости потока метана, поднявшемся до 50 сксм. Это значение скорости превосходит опубликованное в [22]. Связь между скоростью роста и отношением метана к водороду показана на рис. 6. Ясно, что скорость потока метана увеличивает количество углерода в область роста и, следовательно, скорость роста [22].



а, б, в, с, д, е представляют УНТ, выращенных при 10, 20, 40 и 50 сксм (стандартных кубических сантиметров) скоростях потока метана.

Рисунок 6 – Углеродные нанотрубки, полученные при различной толщине кобальта и порций метана

Раман-спектры были измерены для исследования качества кристаллов и структуры УНТ. Рамановские спектры показывает УНТ, выращенных на кремниевых подложках с использованием кобальта в качестве катализатора с толщиной порядка 120 нм при различном отношении метана к водороду (20 и 50 сксм). Раман-спектры (длина возбуждения 473 нм) всех образцов показывают пик D-полосы в районе 1300 см^{-1} и пик G-полосы в районе 1580 см^{-1} , что свидетельствует о «многостенности» наших УНТ (MWCNT – Multi-Walled Carbon Nanotubes) [9].

Улучшение параметров кремниевых солнечных элементов с применением наночастиц оксидов никеля, синтезированных в пламени [23]

Малое КПД современных солнечных батарей объясняются тем, что значительное количество света, покидает ее поверхность без преобразования, а также происходит неравномерная трансформация световых волн [24]. Если покрыть поверхность солнечного элемента плотно сгруппированными квантовыми точками, то такая система может поглощать даже один единствен-

ный фотон и при правильном концентрировании квантовых точек различных размеров, можно значительно увеличить мощность солнечных элементов [25].

Настоящая работа посвящена изучению фотоэлектрических свойств солнечных элементов покрытых наночастицами оксида никеля синтезированных в противоточном пламени пропана.

Метод синтеза наночастиц в пламенах углеводородов имеет свои преимущества, часть топлива расходуется на разогрев системы, а часть используется в качестве реагента, что более экономично по сравнению с методами с использованием электричества – пиролиз или дуговое испарение. Основным преимуществом является то, что среднее время полного превращения топлива в узкой зоне фронта пламени составляет $10^{-3} / 10^{-6}$ секунды, что обеспечивает почти мгновенное образование «заданного» продукта.

В данной работе приводятся результаты исследований кинетики наночастиц оксида никеля в пропан – кислородном пламени на встречных потоках.

Реактор горелки представляет собой полый цилиндр диаметром 150 мм и высотой 82 мм,

изготовленный из нержавеющей стали. Две горелки установлены соосно напротив друг друга. Расстояние между горелками 1,8 см. Горелки представляют собой два цилиндра, вставленные друг в друга. По внутреннему цилиндру навстречу друг другу подаются топливо и окислитель. В качестве топлива использовался пропан, а окислителя кислород. Диаметр видимого фронта пламени был 30-35 мм. С одной стороны на штативе закреплен механизм, на которой крепиться алундовая трубочка и термопара, которая позволяет плавно перемещать вертикально вдоль оси горелки. Трубочка используется для подачи проволоки для образования наночастиц оксида никеля. Термопара и трубочка располагаются на одном уровне, что позволяет замерять температуру пламени в области в которой образуются частицы оксида никеля. Расстояние между соплами горелок и термопарой замерялось с помощью катетометра, точность прибора составляет 0,001 мм.

Для синтеза наночастиц оксида никеля использовалась пропан – кислородная пламя и нихромовая проволока, в качестве подложки. Расход пропана 120 см³/мин, а кислорода 38,3 см³/мин. Пропан и кислород подавались отдельно, навстречу друг другу, поджигается пламя, которая затем примет кольцеобразную форму. При взаимодействии пропана и кислорода образуется диффузионное пламя, которая условно разделена на три зоны: кислородное, топливное и зона где протекают основные химические реакции горения. Нихромовая проволока с диаметром 0,3 мм, вставляется в алундовой трубке. В свою очередь алундовая трубочка закреплена на механизм, который позволяет плавно перемещать нихромовую проволоку по вертикальной оси горелки. Для измерения температуры использовалась хромель – алюминиевая термопара, которая располагаются на одном уровне с трубочкой, что позволяет замерять температуру пламени, в области которой находится проволока. Время экспозиции варьировали от 5 до 30 секунд и до 2 минут.

Противоточная пропан – кислородная пламя образуется при диффузионном горении, которая осуществляется при отдельной подаче горючего и окислителя. Фронт диффузионного пламени разделяет потоки топлива и окислителя. Положение фронта пламени и скорость сгорания в нем (и соответственно длина факела) определяются

интенсивностью диффузии горючего и окислителя и продуктов сгорания. Градиент температуры достигают 1300 К/см. На рисунке 7 показаны, что под воздействием кислорода происходит окисление никеля до оксида (III) никеля. Затем оксид (III) никеля испаряется и двигается по потоку вдоль проволоки, попадая в зону топлива с более низкой температурой и другими химическими свойствами, где происходит его восстановление до оксида (II) никеля с последующим наращиванием наночастиц оксида никеля [26].

В результате, время нахождения в пламени проволоки сильно влияет на процессы синтеза. Полученные результаты электронно-микроскопических исследований показывают, что обработка пламенем нихромовой проволоки в течение 5 секунд приводит к образованию на ее поверхности наночастиц оксидов никеля, увеличение времени нахождения в пламени проволоки приводит к получению наночастиц со средним размером 100 нм. Росту наночастиц никеля способствуют нановыступы никеля образующихся после травления азотной кислотой в течение 20 минут. Полученные снимки позволили установить, что частицы имеют разнообразную форму, от кубической до сферической, и кристаллическую структуру, в которой основной фазой является ромбоэдрический оксида никеля.

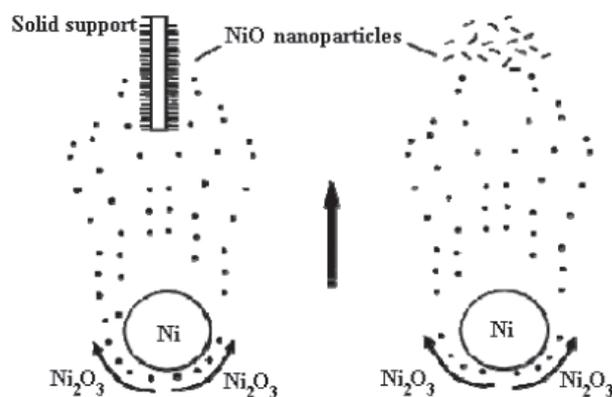


Рисунок 7 – Механизм образование наночастиц оксида никеля в противоточном пламени

На рисунке 8 показаны электронно-микроскопические снимки нихромовой проволоки обработанной в кислородной зоне диффузионного противоточного пропан – кислородного пламени в течение 2 мин.

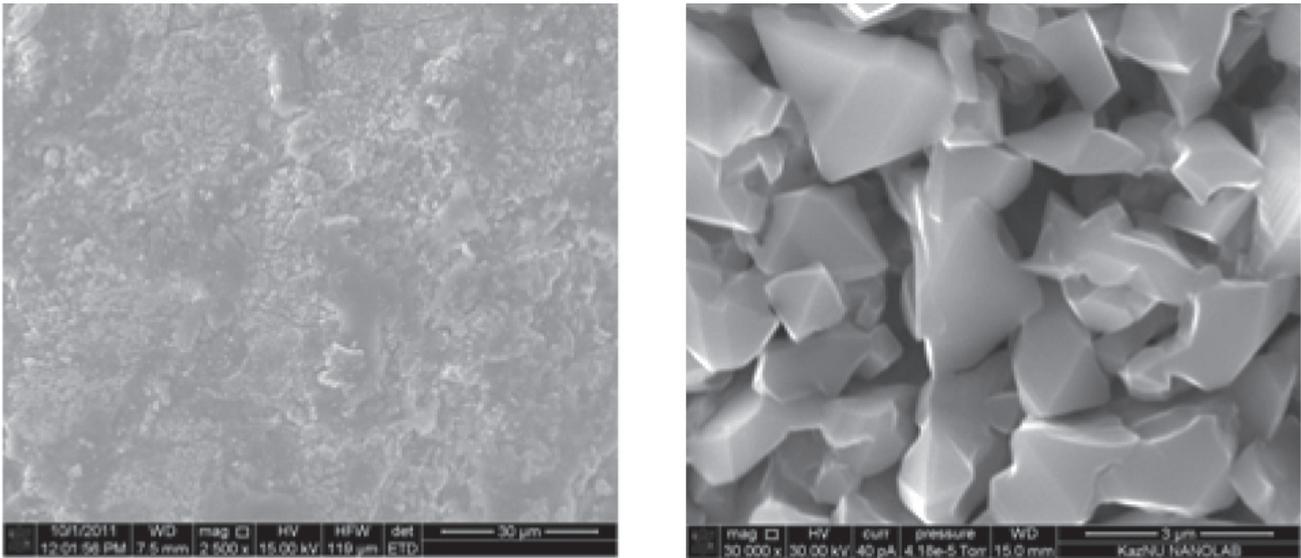


Рисунок 8 – Нихромовая проволока, обработанная в кислородной зоне диффузионного противоточного пропан-кислородного пламени в течение 2 мин

Полученные результаты электронно-микроскопических исследований показывают, что обработка пламенем нихромовой проволоки в течение 2 минут приводит к образованию на ее поверхности наночастиц оксидов никеля, средний размер которых 100 нм.

На рисунке 9 представлены снимки с атомно-силового микроскопа, с поверхности кремниевой подложки покрытыми наночастицами оксида никеля, которые получены в кислородной зоне диффузионного противоточного про-

пан – кислородного пламени в течении времени – 5 секунд.

Как видно из рисунка (а, б) изображения атомно-силового микроскопа, на поверхности кремниевой подложки нанесена наночастицы оксида никеля, с средним размером 50 нм. На поверхности кремниевой подложки 1 (100 нм) большая, 4 средних (70 нм) и 10 маленьких (50 нм) наночастиц при увеличении 10 мкм. На рисунке 10 (в) показана высота и ширина наночастиц характерных для средних и выше средних размеров.

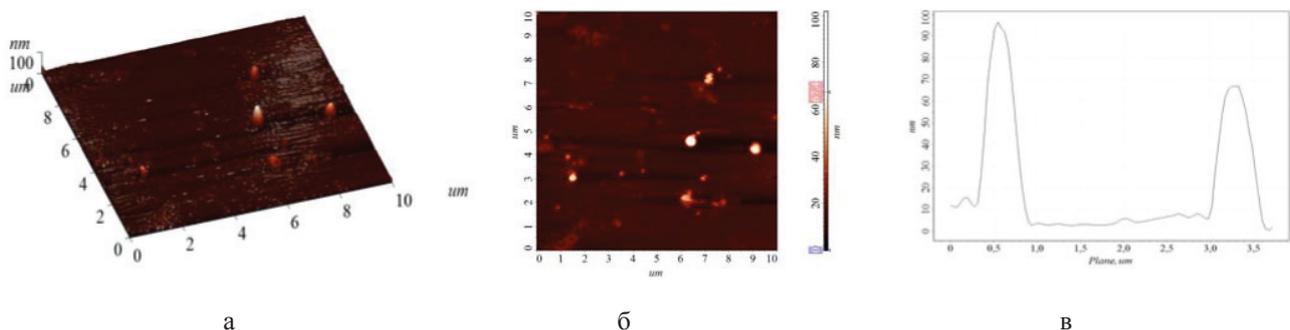


Рисунок 9 – Поверхность кремниевой подложки, покрытой наночастицами оксида никеля, которые получены в кислородной зоне диффузионного противоточного пропан-кислородного пламени в течение 5 сек

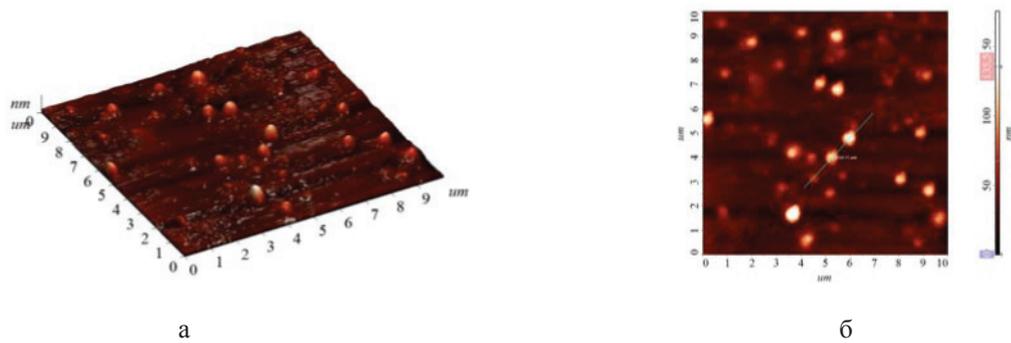


Рисунок 10 – Поверхность кремниевого диска с нанесением наночастиц оксида металла, которая была обработана в кислородной зоне диффузионного противоточного пропан-кислородного пламени в течение 10 сек

На рисунке 10 показаны изображения кремниевого диска с нанесением наночастиц оксида никеля, время экспозиции: 10 сек. Из рисунка видно, что с увеличением размера частиц растет также и его ширина.

Распределение наночастиц по размерам, показывает рост размеров наночастиц от времени. Линейная зависимость роста размера наночастиц от времени, показывает эффективный первый порядок протекание химической реакции. Скорее всего скорость химической реакции зависит от поступающих концентрации оксида никеля.

Для исследования изменения выходных характеристик использовали кремневые солнечные элементы, с активной областью 1 cm^2 . Для получения равномерного покрытия из наночастиц на поверхности солнечного элемента, предварительно создавалась суспензия наночастиц в этаноле в ультразвуковой бане [23, 26]. Для покрытия одного солнечного элемента требовалась до 0,1 мл суспензии. Изначально проводилось измерение тока короткого замыкания и напряжения холостого хода солнечного элемента без нанесения покрытия. Не изменяя условий эксперимента были измерены ток короткого замыкания и напряжения холостого хода с нанесенной наноксидной пленкой.

Измерения для каждого образца проводили с интервалом времени в 30 мин в течении 3 часов. Значения тока и напряжения регистрировали мультиметром (с точностью $\pm 0,5\%$). Исследования влияния наночастиц оксидов никеля на эффективность повышения выходной мощности кремневых солнечных элементов проводили при трех разных плотностях на поверхности; низ-

кая плотность – $4 \cdot 10^4 \text{ cm}^2$, средняя плотность – $6 \cdot 10^4 \text{ cm}^2$, высокая плотность – $8 \cdot 10^4 \text{ cm}^2$.

Улучшение характеристик солнечного элемента напрямую зависит от плотности наночастиц оксида никеля на его поверхности. Лучшие результаты получены при высокой плотности наночастиц оксидов никеля после обработки поверхности солнечного элемента импульсным отжигом. Повышение выходного напряжения до 4-7%, тока короткого замыкания до 20-28%, повышение КПД солнечных элементов на 2+3%, при коэффициенте заполнения элемента 0,75.

Вольтамперные характеристики показывают что наноксидное покрытие существенно повышает фототок и ЭДС холостого хода. При мощности падающего излучения в 100 мВт/см^2 , максимальная эффективность солнечного элемента при нанесении наночастиц оксидов никеля на его поверхность достигает 11,2%.

Таким образом проведенные исследования показали, что варьируя размерами наноксидов металлов можно «настроить» их на поглощение света в определенном спектре, т.е создать квантовые точки настроенные на захват в диапазоне всего спектра солнечного света, что приводит к существенному повышению КПД солнечных элементов.

Заключение

Разработана схема образования фуллеренов и сажи в богатых углеводородных пламенах с учетом давления, показано, что синтез в пламени фуллеренов и углеродных нанотрубок представляет альтернативу технологии к существующим методам синтеза в электрической дуге из графита. Изучено образование гидрофобной

сажи в диффузионном пропан – кислородном пламени. Установлено, что при наложении электрического поля образуется супергидрофобная сажевая поверхность с углом смачивания свыше 1700. Синтез углеродных нанотрубок осуществлен в микроволновом плазмохимическом реакторе. Изучены фотоэлектрические свойства солнечных элементов покрытых наночастицами оксида никеля, синтезированных в противоточном пламени пропана. Нанесение на поверхность кремниевого солнечного элемента наночастиц оксида никеля, привело к повышению выходного напряжения холостого хода до 4-7 %, тока короткого замыкания до 20-28 %, что в совокупности привело к повышению КПД солнечных элементов на 2-3 %.

Литература

- 1 Ксандопуло Г.И., Дубинин В.В. Химия газофазного горения. – М.: Химия, 1987.
- 2 Мержанов А.Г. Процессы горения и взрыва в физикохимии и технологии неорганических материалов // Успехи химии. – 2003. – Т. 72. – №4. – С. 323-345.
- 3 Drexler К.Е. Nanosystems: molecular machinery, manufacturing and computation / New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- 4 Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения / под ред. П.П. Мальцева. – М.: Техносфера, 2008.
- 5 Smith W.F., Hashemi J.. Foundations of materials science and engineering / 5th Edition McGraw-Hill, 2010.
- 6 Oberlin A., Endo M., Koyama T. Filamentous growth of carbon through benzene decomposition // Cryst. Growth. – 1976. – Vol. 32, № 3. – P. 335-349.
- 7 Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon // Nature. – 1991. – Vol. 354. – P. 56-58.
- 8 Endo M., Strano M.S. and Ajayan P.M. Potential applications of carbon nanotubes / Jorio, Ado; Dresselhaus, Gene; Dresselhaus, Mildred S. (Eds.) Carbon nanotubes // Topics in Applied Physics. – 2008. – Vol. 111. – P. 13-61.
- 9 Mansurov Z.A. Some applications of nanocarbon materials for novel devices / R. Gross et al (eds.), Nonoscale-Devices – Fundamentals, Springer, 2006. – P. 355-368.
- 10 Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C., Curl R.F., and Smalley R.F. C60: Buckminsterfullerene // Nature. – 1985. – Vol. 318, №. 6042. – P. 162-164.
- 11 Howard J.B. Fullerenes formation in flames // Symposium (International) on Combustion. – 1992. – Vol. 24, № 1. – P. 933-946.
- 12 Фуллерены: учебное пособие / Л.Н. Сидоров, М.А. Юровская и др. – М.: Издательство «Экзамен», 2005. – 688 с.
- 13 Jäger C., Huisken F., Lamas Jansa I., Henning Th. Formation of polycyclic aromatic hydro-carbons and carbonaceous solids in gas-phase condensation experiments // The Astrophysical journal. – 2009. – № 696. – P. 706-712.
- 14 Ahrens J., Bachmann M., Baum Th., Griesheimer J., Kovacs R., Weilmünster P., Homann K.-H. Fullerenes and their ions in hydrocarbon flames // Intern. J. of Mass Spectrometry and Ion Processes. – 1994. – Vol. 138. – P. 133-148.
- 15 Grieco W.J., Lafleur A.L., Swallow K.C., et al. Fullerenes and ПАН in low-pressure premixed benzene/oxygen flames // Symposium (International) on Combustion. – 1998. – Vol. 27, № 2. – P. 1669-1675.
- 16 Mansurov Z.A., Prikhodko N.G., Mashan T.T., Lesbaev B.T. The study of influence of electric field on soot formation at low pressure // Химическая физика. – 2006. – Т. 25, № 10. – С. 18-22.
- 17 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.
- 18 Bachman M., Wiese W., Homann K.-H. Thermal and chemical influences on the soot mass growth // Symposium (International) on Combustion. – 1994. – V. 25, № 1. – P. 635-643.
- 19 Приходько Н.Г. Особенности образования фуллеренов и нанотрубок при горении углеводородов в электрическом поле: дис. ... д-ра хим. наук / КазНУ им. аль-Фараби. – Алматы, 2010.
- 20 Нажипкызы М., Мансуров З.А., Пури И.К., Шабанова Т.А., Цыганова И.А. Получение супергидрофобной углеродной поверхности при горении пропана // Нефть и газ. – 2010. – №5 (59). – С. 27-33.
- 21 Levesque A., Binh V.T., Semet V., Guillot D., Filit R.Y., Brookes M.D. et al. Mono disperse carbon nanopearls an a foam-like arrangement: a new carbon nano-compound for cold cathodes // Thin Solid Folms. – 2004. – Vol. 308-14. – P.464-465.
- 22 El-Shazly M. Duraia, Mansurov Z.A. and Tokmoldin S.Zh. Preparation of carbon nanotubes with different morphology by microwave plasma

enhanced chemical vapour deposition // *Phys. Status Solidi C* 7. – 2010. – №. 3–4. – P.1222– 1226. / DOI 10.1002/pssc.200982962

23 Mansurov Z.A. Auyelkhanzy M., Lesbayev B.T., Chenchik D.I., Dikhanbayev K.K., Prikhodko N.G., Taurbayev T.I., Saveliev A.V. Increase of the power of solar elements based on nano-particles of nickel oxides synthesized in flame // *Advanced Materials Research*. – 2012. – Vol. 486. – P.140-144.

24 Nakayama K, Tanabe K, Atwater NA. Plasmonic nanoparticle enhanced light absorption in

GaAs solar cells // *Appl Phys Lett*. – 2008. – Vol.93. – P.121904.

25 Mokkapati S, Beck FJ, Polman A, Catchpole KR. Designing periodic arrays of metal nanoparticles for light-trapping applications in solar cells // *Appl Phys Lett*. – 2009. – Vol.95. – P.053115.

26 Kuznetsov I.A., Greenfield M.J., Mehta Y.U., Merchan-Merchan W., Salkar G., Saveliev A.V., Increasing the solar cell power output by coating with transition metal-oxide nanorods // *Applied Energy*. – 2011. – Vol. 88. – P.4218–4221.

З.А. Мансуров

Жану режиміндегі қазіргі кездегі наноматериал саласындағы жұмыстар

Көміртекті бай жалында фуллерендер мен күйенің түзілуінің конверсиялық сызбанұсқасы ұсынылды. Фуллерендердің түзілуіне төменгі қысым мен ПЦАК орналасуы әсер ететіні анықталды.

Фуллерендердің эффективті шығуына алдын ала араластырылған бензол/оттек/аргон жалынына электрлік өрістің әсері зерттелді. Инеден шыққан электрондар конустық көлемде шашырайды және де жалынның ішкі шетіне аз мөлшерде әсер ететіні анықталды. Ал сақиналы электродтардан шыққан электрон тек қана ішкі аймақты ғана емес, сонымен қатар жалынның шетін қамтиды. Бұл фуллерендердің өсуіне әсер етеді. Гидрофобтық күйе диффузиондық пропан – оттек жалынында кремний және никель табақшаларында атмосфералық қысымда зерттелінді және никель табақшасының үстінде гидрофобтық күйеге электр өрісінің әсері анықталды. Электр өрісінің әсері күйенің түзілуіне табақша материалына байланысты емес екені анықталды. Күйе түзілу аймағы кемиді, центрден диаметрі 2,5 – 3 см аралығында 1700 бар асагидрофобтық күйе түзіледі. Көміртекті нанотүтікшелер микротолқынды плазмохимиялық реакторда алынды. Көміртекті бөлшектер метанды аз мөлшерінде қолданғанда, нанотүтікшелердің қабырғаларына жабысқан түрінде болады. Нанотүтікшелер электронды микроскопта зерттелді және алынған СЭМ – қабықша суреттері нанотүтікшелердің табақша бетінде кездейсоқ бағытта орналасқаны көрсетеді. Нанотүтікшелердің өсу жылдамдығы берілетін метан мөлшеріне бағынышты екені анықталды. Қарама-қарсы пропан жалынында алынған никель оксидті нанобөлшектері бар күн элементтерінің фотоэлектрлік қасиеттері зерттелді. Никель оксидті нанобөлшектер күн энергиясының эффективті жұту қабілетін өсіреді. Кремний күн элементтерінің үстіне никель оксидті нанобөлшектерді отырғызғанда, оның бос жүріс кернеуі 4-7 %, қысқа тұйықталған ток 20-28 % және күн элементтерінің жалпы пайдалы әсер коэффициенті 2-3 % өсіреді.

Түйін сөздер: ПЦАК, фуллерендер, көмірсутекті жалын, көміртекті нанотүтікшелер, наночастицы никель қышқылының нанобөлшектері.

Z.A. Mansurov

Recent developments in the synthesis of nanomaterials in the combustion regime

Proposed scheme of conversion of fuel with the formation of fullerenes and carbon black taking into account the pressure in the fuel-rich flames. It is shown that the formation of fullerenes is important to the corresponding spatial orientation PAH, possible at low pressures.

Investigated the influence of an electric discharge on the efficiency of output of fullerenes in premixed benzene / oxygen / argon flame. It is established that the electrons emitted from the needle electrode, distributed in the volume of a cone, and to a lesser degree of influence on the outer edges of the flame, and the electrons emitted from the annular electrode is treated not only the inner region, but also the edge of the flame, which creates conditions for growth fullerenes. Studied the formation of hydrophobic soot in the diffusion of propane – oxygen flame on the silicon and nickel substrates at atmospheric pressure and defined conditions for the formation of superhydrophobic carbon black on a nickel substrate from exposure to electric fields. It is established that the imposition of an electric field, regardless of the substrate material, deposition of soot narrows the field to the substrate, and a diameter of 2.5 – 3 cm from the center formed a diesel particulate superhydrophobic surface with wetting angle from above 1700. Synthesis of carbon nanotubes carried out on microwave plasma-chemical reactor. The resulting nanotubes were studied by electron microscope and SEM – images of films of carbon nanotubes shows that the nanotubes are randomly distributed on the substrate and disoriented. It was found that the growth rate depends on the amount of methane suppressed. Studied the photovoltaic properties of solar cells coated with nickel oxide nanoparticles synthesized in counterflow propane flame. Nanoparticles of nickel oxides contribute to the efficient absorption of light energy. Surfacing on the surface of a silicon solar cell of nickel oxide nanoparticles led to an increase in the output circuit voltage up to 4-7%, short circuit current up to 20-28%, which together led to an increase in solar cell efficiency by 2-3%.

Keywords: PAH, fullerenes, hydrocarbon flames, carbon nanotubes, nickel oxide nanoparticles.