

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD)
по специальности «6D074000 – Наноматериалы и нанотехнологии»

УТЕГЕНОВ АЛМАСБЕК УЛУБЕКОВИЧ

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ПОЛУЧЕННЫХ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕ СЛОЖНОГО СОСТАВА

Общая характеристика работы. В диссертационной работе представлены результаты экспериментальных работ по исследованию процесса синтеза наноматериалов углерода в пылевой плазме электрических разрядов смеси различных газов и исследованию их свойств. В работе применены современные экспериментальные методы синтеза, в том числе синтез в газовых разрядах, также исследования свойств наночастиц, в частности определения размеров наночастиц на основе метода динамического рассеянного света, электронная микроскопия и спектроскопия комбинационного рассеяния.

Актуальность темы.

Во многих экспериментальных работах для синтеза наночастиц используют плазму газового разряда в роли универсальной среды, где с помощью разных манипуляций параметров разряда возникает ряд возможностей для управления процессом синтеза.

Известно, что после синтеза частиц в высокочастотном газовом разряде (ВЧ), плазма становится комплексной (содержащей пылевую компоненту). Основными сложностями при синтезе наноматериалов в плазменной среде является появление свободного от частиц пространства в плазме, что в свою очередь приводит к неравномерному росту наночастиц по объему. В литературе данное свободное от частиц пространство называется «войдом». Здесь и далее «войд» используется для описания пустоты в плазменно-пылевом образовании с наночастицами.

Более того, в работе приводятся результаты экспериментальных работ по исследованию размера наночастиц на стадии их синтеза. На основе данной работы лежит использование метода динамического рассеяния света для определения размера наночастиц углерода. Основным отличием данной работы является то, что ранее данный метод определения размеров наночастиц использовался только с применением жидких сред. Данная работа уникальна тем, что впервые была разработана методика определения размеров наночастиц в газовых средах.

Также, на сегодняшний день большой интерес в мире вызывает уникальный международный проект – Международный экспериментальный термоядерный реактор (ITER), направленный на строительство первого международного экспериментального термоядерного реактора, крупнейшего в мире токамака. Целью проекта ITER является демонстрация технологической возможности использования термоядерной энергии в промышленных масштабах. В этом отношении достигнуты определенные успехи: сверхвысокие температуры и достаточное время удержания в принципе уже обеспечивают положительный энергетический баланс термоядерных реакций. Высокая температура (около 150 млн. градусов) плазменного шнура в термоядерных реакторах является одним из основных условий для осуществления синтеза легких ядер. Для предотвращения контакта такой высокотемпературной плазмы со стенками реактора и дивертора ее удерживают в центре тороидальной камеры с помощью магнитного поля. Однако, во время срыва плазменного шнура, выделенный мощный импульсный поток плазмы, взаимодействует с поверхностью внутрикамерных материалов реактора.

На сегодняшний день можно выделить следующие основные проблемы, играющие ключевую роль во взаимодействии плазмы с материалом лицевой стенки реакторов, это – образование пыли из-за эрозии материалов; накопление радиоактивного трития в материалах вакуумной камеры. Накопление пыли и ее осаждение, наноструктурированные пленки в объеме реактора играют негативную роль. Во-первых, это приводит к неустойчивости плазмы и зарождению срывов, во-вторых, к накоплению трития.

В связи с вышеизложенным можно сделать заключение, что исследования характеристик наночастиц, синтезированных в плазменной среде электрических разрядов и сопутствующие вопросы, являются **актуальными** для формирования основ теории образования наноматериалов в плазме сложного состава.

Цель работы. Синтез углеродных наноматериалов в пылевой плазме электрических газовых разрядов и исследование их свойств.

Объектами исследования являются синтезированные наночастицы углерода, полученные плазмохимическим методом в плазме высокочастотного (ВЧ) разряда смеси инертного и углеродосодержащего газов и свойства плазмы, а также наноструктурированные углеродные продукты эрозии мишени, полученные в установке импульсного плазменного ускорителя.

Предмет исследования. Размеры (диаметр) углеродных наночастиц синтезированных в плазме ВЧ разряда смеси газов аргон-ацетилен, геометрическая форма плазменно-пылевого облака из наночастиц углерода,

поверхностные свойства продуктов эрозии кандидатного материала первой стенки стенки термоядерных энергетических реакторов (ТЯЭР).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

– синтезировать наночастицы углерода в ВЧ разряде и исследовать зависимости геометрических форм плазменно-пылевого облака из наночастиц от параметров наложенного дополнительного постоянного поля.

– разработать систему определения размеров наночастиц углерода на ранней стадии их образования плазмохимическим методом в ВЧ разряде смеси газов аргон-ацетилен на основе метода динамического рассеяния света.

– исследовать процесс взаимодействия импульсного плазменного потока с графитовой мишенью с целью получения сильноразвитых наноструктурированных поверхностей на установке импульсного плазменного ускорителя (ИПУ, НИИЭТФ при КазНУ им. Аль-Фараби).

– проанализировать поверхности продуктов эрозии кандидатного материала первой ТЯЭР с помощью СЭМ и Раман спектроскопии.

Методы исследования. При решении задач, необходимых для достижения поставленной цели, использовались следующие методы: для синтеза углеродных наноматериалов применялся метод газофазного осаждения в плазме ВЧ разряда. Для определения размеров наночастиц на ранней стадии их развития применялся метод динамического рассеяния света. Для изучения поверхностных свойств, полученных наноструктурных образований, которые являются следствием эрозии кандидатного материала, в экспериментах на импульсном плазменном ускорителе (наночастицы и нанопленки) используются методы электронной, оптической микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Исследование свойств пылевой плазмы из наночастиц в газовом разряде выполнено на основе видео фиксации плазменно-пылевых образований. Для управления пространственными характеристиками пылевой плазмы из наночастиц ВЧ разряда использовалось дополнительное электростатическое поле, создаваемое с помощью источника постоянного тока.

Положения, выносимые на защиту:

– Увеличение отрицательного электростатического поля при синтезе наночастиц углерода в ВЧ разряде смеси газов аргон-метан приводит к увеличению дисперсности углеродных наночастиц.

– Разработанная система по определению размеров наночастиц углерода в плазме ВЧ разряда смеси газов аргон-ацетилен на основе метода динамического рассеяния света показала, что в промежутке времени декореляции 5,3-20 мкс диаметр наночастиц углерода варьируется от 5,3 до 20 нм.

– Взаимодействие импульсного плазменного потока с поверхностью кандидатного материала первой стенки термоядерного реактора, помимо наночастиц, приводит к появлению фрактальных наноструктурированных материалов.

Новизна работы. Новизна и оригинальность работы заключается в том, что в ней впервые:

– разработан метод управления пространственными характеристиками пылевых частиц микро- и нано- размеров в плазме газового ВЧ разряда.

– использован метод динамического рассеяния света для определения размеров наночастиц углерода на ранней стадии их синтеза в плазме высокочастотного газового разряда смеси газов аргон-ацетилен.

– наряду с наночастицами, получены наноструктурированные материалы с фрактальными поверхностями на установке импульсного плазменного ускорителя.

Научно-практическая значимость работы. Полученные в диссертационной работе результаты представляют ценность для развития технологии при разработке реактивных плазменных систем, предназначенных для синтеза наноматериалов. Изучение процессов взаимодействия плазмы с синтезированными наночастицами позволяет определить структурные характеристики плазменно-пылевых образований, а также их особенностей. Кроме того, исследование свойств наночастиц на ранней стадии их синтеза в плазме инертного и реактивного газов является актуальной задачей, поскольку во многих случаях свойства наноматериалов определяются после проведенных экспериментов посредством электронной микроскопии и т.п.

Необходимость подобных исследований на национальном уровне связана с широким прикладным применением результатов работы в таких областях как управляемая термоядерная энергетика, нанотехнологии и наноматериалы, новые конструкционные материалы для нужд нефтегазовой и горно-металлургической промышленности, приборостроение, сверхплотные интегральные схемы и др, которые являются приоритетными направлениями научно-технологического и индустриально-инновационного развития Казахстана.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждаются публикациями в журналах дальнего зарубежья с высоким импакт-фактором и в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, в трудах международных научных конференций ближнего и дальнего зарубежья, также патентом РК на изобретение.

Личный вклад автора заключается в том, что весь объем диссертационной работы, выбор метода исследования, решения задач, модернизация экспериментальной установки выполнены автором самостоятельно. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными консультантами.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 34 печатные работы: 7 в журналах из Перечня ККСОН МОН РК для опубликования основных результатов диссертации на соискание степени PhD и 5 статей в журналах дальнего зарубежья с импакт-фактором, входящих в международный информационный ресурс Web of Knowledge (Thomson Reuters, США) и Scopus (Elsevier, Нидерланды); 21 работ в материалах Международных научных конференций и 1 патент РК на изобретение.

Апробация работы и публикации. Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

- на международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби Элемі» (2014 г., КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы);
- на 7-ом международной конференции по физике пылевой плазмы «ICPDP-2014» (2014г., г. Нью-Дели, Индия);
- на 22-ом Еврофизической конференции по атомной и молекулярной физике ионизованных газов «ESCAMPIG-XXII» (2014г., г. Грейфсвальд, Германия);
- на международной конференции по физике сильно-связанных кулоновских систем «SCCS-2014» (2014г., г. Нью-Мехико, США);
- на 14-ом международном семинаре по физике пылевой плазмы (2015г., г. Аубурн, шт. Алабама, США);
- на 8-ом международной конференции по физике плазмы и плазменных приложений «PPPT-8» (2015г., г. Минск, Беларусь);
- на 23-ем международной конференции по явлениям в ионизованных газах «ICPIG» (2015г., г. Яссы, Румыния);
- на 15-ом международной конференции по физике неидеальной плазмы «PNP-15» (2015г., г. Алматы);
- на 42-ой конференции Европейского физического общества по физике плазмы «EPS-XXXXII» (2015г., г. Лиссабон, Португалия);
- на 21-ом международном симпозиуме по синтезу тяжелых ионов «HIF-2016» (2016г., г. Астана);
- на 9-ой международной научной конференции «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование» (2016г., г. Алматы);

– на 24-ой международной конференции по явлениям в ионизованных газах «ICPIG» (2016г., г. Ешторил, Португалия);

– на 8-ой международной конференции по физике пылевой плазмы «ICPDP-2017» (2017г., г. Прага, Чехия);

– на международной конференции по физике сильно-связанных кулоновских систем «SCCS-2017» (2017г., г. Киль, Германия).

– на международной конференции «JSAP-2017» (2017г., Япония).

Связь темы диссертации с планами научных работ. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами фундаментальных научно-исследовательских работ: грант МОН РК «Оптимизация режимов работы термоядерных энергетических реакторов на основе комплексного изучения свойств пылевой пристеночной плазмы» 2012-2014 гг., шифр 1115/ГФ4, «Получение и модификация наноструктурных функциональных материалов в плазменно-пылевых средах» 2012-2014 гг., шифр 0182 ПЦФ-2014-ОТ, «Влияние процессов пылеобразования и свойств пристеночной плазмы с пылинками на режимы работы термоядерных энергетических реакторов» 2015-2017 гг., шифр 3112/ГФ4, «Исследование свойств низкотемпературной комплексной плазмы в целях разработки метода манипуляции частицами микро и нано размеров» 2015-2017 гг., шифр 3097/ГФ4.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения и списка использованных источников из 161 наименований, содержит 108 страниц основного компьютерного текста, включая 71 рисунок и 4 таблиц.