

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заместитель директора ФГБУН  
Объединенный институт высоких  
температур Российской академии наук



/А.В. Гавриков /

» сентября 2016 года.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Семенова Александра Владимировича  
«Исследование модификации поверхности частиц меламина формальдегида (MF-R)  
в комплексной плазме», представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04. 04 – «Физическая электроника»

В настоящее время поиск новых способов получения всесторонне-модифицированных поверхностных структур микро- и наноразмерных объектов с заданными свойствами является актуальной задачей для создания новых материалов, элементов медицинской техники, перспективных систем доставки лекарств в пораженные участки больных людей, активированных частиц для технологических процессов. Комплексная плазма как относительно новый объект научного исследования, стимулирует изучение процессов взаимодействия компонентов плазмы с веществом, погруженным в нее, а также плазмохимических процессов, которые могут оказывать влияние на условия существования вещества в данных условиях. Кроме того, фундаментальные исследования закономерностей физико-химических процессов, протекающих в системе плазма-полимер, требуют комплексного исследовательского подхода и во многом отстают от насущных потребностей, обусловленных необходимостью решения современных технологических и прикладных задач. Это связано, в первую очередь, со сложностью плазменных процессов, требующих для анализа их механизмов широкого набора экспериментальных данных. Частицы полимера меламина-формальдегида, представляющие из себя идеальный эталонный объект, свойства которого регламентированы их изготовителем, получили широкое применение в изучении физики комплексной плазмы. Результаты диссертационной работы А.В. Семенова, полученные при изучении модификации поверхности микрочастиц в комплексной плазме, могут служить основой для создания метода получения всесторонне поверхности-структурированных объектов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Работа содержит 124 страницы, 75 рисунков, 14 таблиц. Список использованной литературы включает 153 наименования.

Во введении автор определяет объект и цели исследования, обосновывает актуальность работы и приводит основные положения, вынесенные на защиту.

В первой главе диссертационной работы рассматривается физическое явление упорядоченных плазменно-пылевых структур, условия их существования в плазме. Рассмотрены механизмы модификации поверхности различных

полимерных материалов в низкотемпературной плазме.

Во второй главе описаны лабораторные программно-аппаратные комплексы, которые использовались в исследованиях. Изложена методика проведения экспериментальных исследований по изучению модификации поверхности частиц меламин-формальдегида в низкотемпературной плазме при различном сочетании плазмообразующего газа и времени экспозиции частиц в плазме.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований поверхностной структуры частиц меламин-формальдегида до и после погружения в плазму, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии. Приведены численные значения параметров шероховатости исследованных участков поверхности частиц. Применен математический метод триангуляции для расчета фрактальной размерности участков поверхности частиц, просканированных с помощью атомно-силового микроскопа. Рассчитана реальная площадь поверхности частиц до погружения в плазму и после экспозиции в ней при различном сочетании плазмообразующего газа и времени экспозиции. Проведена математическая оценка потоков энергии активных компонентов плазмы на поверхность микрочастиц меламин-формальдегида с учетом потенциала частиц, созданного потоками электронов и ионов. Рассчитаны температуры поверхности частиц для всех условий экспозиции в плазме аргона, неона и смеси газов аргон-кислорода.

В четвертой главе приведены результаты масс-спектрометрических исследований состава газовой среды комплексной плазмы. Описан экспериментальный лабораторный комплекс и методика проведения исследований по определению состава газовой среды комплексной плазмы с частицами.

В пятой главе приведены результаты экспериментального исследования состава микрочастиц меламин-формальдегида, проэкспонированных в комплексной плазме, методом спектроскопии комбинационного рассеяния.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные при подготовке диссертационной работы.

Научно-практическая ценность работы заключается в том, что выполнено комплексное экспериментальное исследование по выявлению закономерностей модификации поверхностной структуры сферических частиц полимера меламин-формальдегида в условиях их экспозиции в комплексной плазме.

Получены и проанализированы численные данные о модифицированной поверхностной структуре микрочастиц меламин-формальдегида, в комплексной плазме тлеющего разряда при малых плотностях постоянного тока ( $19\text{--}94 \text{ мА}/\text{см}^2$ ) и низких давлениях газа (30-40 Па) в зависимости от вида плазмообразующего газа (аргон, неон, смесь аргон-кислород ( $\text{Ar}\text{-}90\%$ ,  $\text{O}_2\text{-}10\%$ )) и времени экспозиции частиц в плазме (10, 20, 40, 60 минут). Проведена численная оценка параметра фрактальной размерности поверхностных глобул частиц меламин-формальдегида, и рассчитана площадь поверхности, которую приобретают частицы после экспозиции в плазме в сравнении с эталонными образцами. Оценены потоки энергии активных компонентов плазмы на поверхность частиц, приводящих к ее модификации в условиях комплексной плазмы. Рассчитаны температуры поверхности частиц в плазме аргона, неона и смеси аргон-кислород. Впервые получены экспериментальные данные масс-спектрометрических исследований состава газовой среды комплексной плазмы с частицами меламин-формальдегида. Впервые проведены исследования состава и структуры поверхности частиц меламин-формальдегида после их экспозиции в комплексной плазме методом

спектроскопии комбинационного рассеяния. Обнаружены изменения спектров, связанные с модификацией материала в условиях комплексной плазмы.

Полученные автором работы результаты исследований, могут служить экспериментальной базой для развития теории комплексной плазмы, для определения новых свойств упорядоченных плазменно-пылевых структур в зависимости от компонентного состава плазмы, условий их формирования и зарядки, а также процессов деструкции вещества в данных условиях, что является важным для широкого круга практических задач.

Практическая ценность работы заключается в применении способа всесторонней поверхностной модификации в низкотемпературной плазме инертных газов для малых (микро- и наноразмерных) объектов и веществ, которые невозможно всесторонне модифицировать другими способами и методами. Результаты масс-спектрометрических исследований состава газовой среды комплексной плазмы важны для экспериментального изучения комплексной плазмы при использовании закрытых газоразрядных камер и трубок.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, в частности, в Объединенном институте высоких температур РАН, в Санкт-Петербургском и Петрозаводском государственных университетах, Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, Институте Общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Физико-энергетическом институте им. А. И. Лейпунского, Московском физико-техническом институте, НИЦ "Курчатовский институт".

Основные результаты и выводы диссертации являются достоверными и обоснованными. Это обеспечивается выбором объектов и комплексным характером исследования, корректностью использованных экспериментальных методик и воспроизводимостью результатов измерений, применением современных методов математической обработки экспериментальных данных, сопоставлением с литературными данными по проблеме исследования, опорой на современные физические представления.

Диссертационная работа Семенова Александра Владимировича «Исследование модификации поверхности частиц меламин-формальдегида (MF-R) в комплексной плазме» представляет собой законченное научное исследование, выполненное по актуальной тематике на высоком экспериментальном и теоретическом уровне.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В главе 2 не указано, какие параметры плазмы измерялись и какие методы для этого были использованы.
2. При рассмотрении потоков энергий на поверхность частиц не указано, какие параметры плазмы измерены, а какие оценены, например, концентрации метастабильных атомов аргона и неона, концентрации атомарного кислорода.
3. При описании параметров экспериментов по модификации поверхности микрочастиц автором не приводятся данные о концентрации электронов и ионов, а также концентрации отрицательных ионов для смесей аргон-кислород.

Приведенные выше замечания не снижают общей высокой оценки работы, не влияют на сделанные выводы и на положения, выносимые на защиту.

Результаты диссертационной работы опубликованы в открытой печати, обсуждались на конференциях и симпозиумах. По теме диссертации опубликовано 10 работ, из которых 7 - в ведущих рецензируемых отечественных и зарубежных

журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Результаты исследований были доложены на 15 российских и международных конференциях и выставках.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

В целом диссертационная работа «Исследование модификации поверхности частиц меламин-формальдегида (MF-R) в комплексной плазме» выполнена на высоком научном уровне, по объему выполненных исследований, установленным закономерностям, новизне и значимости основных положений, выносимых на защиту, удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (включая п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 24.09.2013 года), а ее автор Семенов Александр Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 - «Физическая электроника».

Диссертационная работа Семенова А. В. и отзыв на эту работу рассмотрены и одобрены на научном семинаре Отделения № 1.2 низкотемпературной плазмы Объединенного института высоких температур Российской академии наук (протокол №1 от 07.09.2016 г.).

Главный научный сотрудник лаборатории  
плазменно-пылевых процессов НИЦ-1 ОИВТ РАН,  
д.ф.-м.н., профессор

*Васильев* Л. М. Василяк

Ведущий научный сотрудник лаборатории  
плазменно-пылевых процессов НИЦ-1 ОИВТ РАН,  
к.т.н., ст.н.с.

*Молотков* В. И. Молотков

Заведующий отделением  
низкотемпературной плазмы ОИВТ РАН,  
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН

*Петров* О. Ф. Петров

#### Сведения о составителях отзыва:

Василяк Леонид Михайлович, д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории плазменно-пылевых процессов НИЦ-1 ОИВТ РАН, почтовый адрес: 119034, Москва, Лопухинский пер., д.1а, кв.9, тел.:8-4956950115, адрес электронной почты: vasilyak@ihed.ras.ru

Молотков Владимир Иванович, к.т.н., ст.н.с., ведущий научный сотрудник лаборатории плазменно-пылевых процессов НИЦ-1 ОИВТ РАН, почтовый адрес: 121471, Москва, ул. Маршала Неделина, д.40, кв.104, тел.:8-4954468107, адрес электронной почты: molotkov@ihed.ras.ru

Адрес организации: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2,  
тел. (495) 485-8345, e-mail: amirovraliv@yandex.ru

Подписи Л.М. Василяка, В.И. Молоткова и О.Ф. Петрова заверяю.  
Ученый секретарь ОИВТ РАН, д.ф.-м.н.

Р. Х. Амиров

