

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Семенова Александра Владимировича
**«ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦ
МЕЛАМИНФОРМАЛЬДЕГИДА (MF-R) В КОМПЛЕКСНОЙ ПЛАЗМЕ»**,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.04 – физическая электроника.

Актуальность исследования.

Диссертационная работа Семенова А.В. связана с физикой комплексной плазмы, в которой изучается взаимодействие плазмы низкого давления на поверхность, помещенных в неё частиц. Такая комбинация получила название «комплексная плазма». Комплексная плазма сегодня рассматривается как фундаментальное физическое явление, где подробно исследуются процессы самоорганизации, зарядки пылевых частиц, фазовые переходы в упорядоченных плазменно-пылевых структурах. Особенностью комплексной плазмы в контексте изучения взаимодействия плазмы с поверхностью является необходимость создания условий, при которых частицы должны достаточно длительное время находиться в плазме, что достигается созданием плазменно-пылевой ловушки. В случае динамической устойчивости такой ловушки частицы могут находиться в ней неограниченно долго. Частицы полимера меламин-формальдегида, которые были выбраны автором для исследований, получили широкое применение в изучении комплексной плазмы. Это позволило получить экспериментально значимые результаты о модификации поверхности частиц.

Важность таких исследований связана с бурным развитием нанотехнологий, прежде всего, создание материалов с новыми поверхностными свойствами и плазменной обработкой микрообъектов.

В связи с этим работа **А.В.Семенова**, в которой экспериментально исследовалась проблема деградации размеров и структуры поверхности частиц полимера меламин-формальдегида, помещенных в плазму, **несомненно, является актуальной.**

Защищаемые положения полностью отражают новые результаты диссертационной работы.

Новизна результатов исследований

Выделим наиболее важные, научные результаты:

1. Разработан экспериментальный метод исследования модификации поверхности частиц меламин-формальдегида в низкотемпературной плазме различных газов. Сформулированы условия и ограничения применимости метода;

2. Разработана методика исследования поверхностной структуры микрочастиц с помощью атомно-силовой микроскопии. Предложены критерии сравнения поверхностной структуры частиц до погружения в плазму и после извлечения;
3. Реализован математический метод расчета триангуляции фрактальной размерности модифицированной поверхности частиц меламин-формальдегида, анализируя изображения, полученные с помощью атомно-силового микроскопа. Рассчитана реальная площадь участков поверхности частиц, проэкспонированных в условиях комплексной плазмы. Оценена реальная площадь всей поверхности, которую приобретает частица после экспозиции в плазме при конкретных условиях;
4. Экспериментально реализован метод масс-спектрометрических исследований состава газовой среды комплексной плазмы. Сформулированы условия и ограничения применимости метода;
5. Экспериментально исследован состав и структура микрочастиц меламин-формальдегида, проэкспонированных в комплексной плазме методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Разработана методика фильтрации полученных спектров от фона подложки. Выявлены основные спектральные линии, соответствующие химическим связям в молекуле меламин-формальдегида;
6. Проведены теоретические оценки потоков энергии активных компонентов плазмы на поверхность частиц, приводящих к ее модификации в условиях комплексной плазмы. Рассчитаны температуры поверхности частиц для всех условий экспозиции упорядоченных плазменно-пылевых структур в плазме аргона, неона и смеси аргон-кислород.

Научная новизна работы заключается в том, что получены и проанализированы новые экспериментальные данные о модифицированной поверхности частиц меламин-формальдегида, составлявших упорядоченные плазменно-пылевые структуры при малых плотностях постоянного тока ($19-94 \text{ мкА/см}^2$) и низких давлениях газа (30-40 Па) в зависимости от вида плазмообразующего газа (аргон, неон, смесь аргон-кислород (Ar-90%, O₂-10%)) и времени экспозиции частиц в плазме (10, 20, 40, 60 минут). Были получены численные данные о модифицированной поверхностной структуре микрочастиц меламин-формальдегида, характере и степени изменения поверхности частиц, проэкспонированных в плазме. Проведена численная оценка реальной площади поверхности частиц меламин-формальдегида и параметра фрактальной размерности поверхности эталонных частиц и частиц, проэкспонированных в плазме при помощи математического метода аппроксимации поверхности способом триангуляции. В работе предлагается новый подход к экспериментальной возможности проведения всесторонней модификации поверхностной структуры вещества, размеры которого очень малы (от сотен нанометров до десятков

микрометров). Оценены потоки энергии активных компонентов плазмы на поверхность частиц, приводящих к ее модификации в условиях комплексной плазмы. Рассчитаны температуры поверхности частиц для всех условий экспозиции УППС в плазме аргона, неона и смеси аргон-кислорода. Впервые были получены экспериментальные данные масс-спектрометрических исследований состава газовой среды комплексной плазмы с упорядоченными плазменно-пылевыми структурами, состоящими из частиц 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.

Обоснованность результатов

Все полученные в диссертации результаты являются новыми и обладают высокой **достоверностью**. Это подтверждается применением современной техники эксперимента, высоким уровнем автоматизации, компьютерной обработки результатов экспериментов, аналитических расчетов и численного моделирования, тщательным анализом результатов измерений и детальным сравнением всех полученных результатов с известными данными других авторов (где такое сравнение было возможным). Результаты диссертационной работы Семенова А.В. получили одобрение специалистов в области физики плазмы при их апробации на международных конференциях.

Научная и практическая ценность работы заключается в том, что результаты исследований могут служить экспериментальной базой для развития теории комплексной плазмы с целью 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. Кроме того, 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 в условиях микрогравитации при использовании закрытых газоразрядных камер и трубок.

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

В первой главе диссертационной работы рассматривается физическое явление упорядоченных плазменно-пылевых структур, условия их существования в плазме, влияние внутренних и внешних условий на вид плазменно-пылевых структур. Рассмотрены механизмы модификации поверхности различных полимерных материалов в низкотемпературной плазме.

Во второй главе детально рассмотрена работа экспериментальной установки, на которой были проведены основные исследования. Изложена методика проведения экспериментальных исследований по изучению модификации поверхности частиц меламина-формальдегида (MF-R), входивших в состав упорядоченных плазменно-пылевых структур в низкотемпературной плазме при различном сочетании плазмообразующего газа и времени экспозиции частиц в плазме.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований поверхностной структуры частиц меламина-формальдегида до и после погружения в плазму, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии. Приведены численные значения параметров шероховатости поверхности частиц меламина-формальдегида до погружения в плазму и после извлечения из нее. Применен математический метод триангуляции для расчета фрактальной размерности участков поверхности частиц, просканированных с помощью АСМ. Рассчитана реальная площадь поверхности у частиц до погружения в плазму и после экспозиции в ней при различном сочетании плазмообразующего газа и времени экспозиции частиц в плазме. Проведена математическая оценка потоков энергии активных компонентов плазмы на поверхность микрочастиц меламина-формальдегида, приводящих к ее модификации в условиях комплексной плазмы. Рассчитаны температуры поверхности частиц для всех условий экспозиции УППС 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 меламина-формальдегида.

В пятой главе приведены результаты экспериментального исследования состава микрочастиц меламина-формальдегида, проэкспонированных в комплексной плазме, методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Описана методика фильтрации полученных спектров от фона подложки. Выявлены основные спектральные линии, характерные для материала меламина-формальдегида.

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

Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации. Результаты диссертации прошли широкую апробацию, многократно докладывались на международных,

всероссийских и региональных конференциях. По теме диссертации опубликовано 10 работ, из которых 7 - в ведущих рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, входящих в перечень ВАК РФ.

По диссертации имеется ряд замечаний:

1. В параграфе 3.3 приведены оценки потоков электронов и ионов на поверхность частиц, которые должны приводить к ее модификации. Рассчитанные температуры поверхности частиц были оценены в 324 и 330 °К. Фактически это соответствует температуре стенки разрядной трубки. Однако известные данные о температуре плавления меламин-формальдегида указывают на температуру порядка 345-355°C, что существенно выше.
2. На стр.87 в таблице 7 говорится, что максимальный поток энергии J_{out} , уходящий с поверхности частицы соответствует плазме в аргоне, что должно приводить к уменьшению степени деградации поверхности частицы. Однако при оценке размеров частиц меламин-формальдегида с помощью РЭМ (стр.77) диаметр частицы в аргоновой плазме уменьшился на 5%, а в неоновой плазме порядка 1.9% .

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, ее научного уровня, практической значимости, достоверности и новизны основных результатов и выводов. Считаю, что диссертационная работа «Исследование модификации поверхности частиц меламин-формальдегида (MF-R) в комплексной плазме» является законченным научным исследованием. По содержанию она полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 N 842, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор - Семенов Александр Владимирович заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

Д. ф.-м. н. заведующий сектором электронной микроскопии, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Полищук Владимир Анатольевич

23.09.2016

197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49 Университет ИТМО,
e-mail:vpvova2010@yandex.ru, +7-905-280-0459

Подпись _____
устанавливаю
Специалист ОК
Университета ИТМО

