

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Батукаева Тимура Саидэмиевича «Физико-химические характеристики микроволнового разряда в жидких диэлектриках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы

СВЧ-разряды используются в плазмохимии, аналитической химии, экологии, в качестве газоразрядных источников света, в плазменных преобразователях частоты, антенных переключателях. Рассматриваемый в работе микроволновый разряд в жидких диэлектриках является новым направлением исследований в области физики плазмы. Одной из ключевых проблем разрядов в жидкостях является ответ на вопрос, что первично: разряд создает газовый пузырек или разряд генерируется в уже существующем газовом пузырьке. Анализ известных результатов по СВЧ-разрядам в жидкости показал, что плазма создается в газовом пузырьке (диаметром несколько миллиметров) внутри жидкости. Пузырьки могут создаваться испарением жидкости вблизи нагретого СВЧ-полем кончика антенны или созданием искусственного барботирования путем введения дополнительных газов, а также воздействием ультразвуковых волн. Поверхность пузырьков расположена вблизи зоны высокотемпературной плазмы, что обеспечивает высокоскоростной ввод испаряемых молекул жидкостей в пузырек и создание высоких концентраций активных частиц (атомов, радикалов и заряженных частиц). Эффективность таких физико-химических процессов значительно выше традиционных плазмохимических процессов в газовых разрядах. Без решения задач диагностики и моделирования микроволновой плазмы в жидкостях невозможно дальнейшее развитие этой перспективной области физики плазмы. Поэтому тему и цель работы, посвященную детальному исследованию микроволнового разряда в жидких диэлектриках, следует признать актуальными.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Объем работы составляет 124 страницы основного текста, библиография состоит из 114 наименований. Диссертация проиллюстрирована 68 рисунками.

Во введении обозначены основные цели работы, ее актуальность, практическая значимость работы и научная новизна. Представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен аналитический обзор, показывающий особенности системы плазма-жидкость, способы создания микроволнового разряда и методы исследования. Определена цель работы, заключающаяся в изучении начальных стадий микроволнового разряда в различных жидких диэлектриках.

Вторая глава содержит описание экспериментальной установки для создания микроволнового разряда в жидком диэлектрике, методов определения физических параметров плазмы и анализа продуктов плазмохимических реакций.

Основное содержание **третьей главы** связано с изложением результатов исследования начальных стадий микроволнового разряда в растворителе Нефрас С2 80/120 и в спиртовом растворе. Показано, что на структуру микроволнового разряда в растворителе влияет конфигурация антенн, добавка молекулярного газа CO_2 , барботирование аргона и гелия.

В растворе этанола микроволновый разряд существует в импульсном режиме и с уменьшением содержания этанола на спектрах излучения появляются полосы оксида лантана (LaO).

В четвертой главе показана возможность получения водорода при атмосферном микроволновом разряде в растворителе Нефрас С2 80/120 при барботировании аргона, гелия и смеси из аргона и CO_2 , а также в водном растворе этанола, в воде при барботировании метана. Установлено, что основным продуктом на выходе из реактора является водород,

В заключении диссертант провел обобщение полученных экспериментальных данных.

Наиболее интересными, важными и новыми достижениями Батукаева Т.С. являются следующие **научные результаты**:

- Микроволновой разряд в растворителе Нефрас С2 80/120 представляет собой последовательность импульсов. Длительность каждого импульса определяется временем с момента появления пузырька с плазмой до момента его отрыва от кончика антенны.
- Микроволновый разряд в растворителе при атмосферном давлении сопровождается возникновением ударной волны.
- Впервые показано принципиальное отличие микроволнового разряда в жидкости от разрядов в газах: параметры плазмы в единичном разряде практически не зависят от мощности, но количество единичных разрядов прямо пропорционально мощности.

Научная значимость данной работы заключается в установлении начальной стадии микроволнового разряда в жидкости. Изучено изменение структуры разряда со временем в присутствии различных дополнительных газов. Исследована динамика изменения спектров излучения разряда.

Практическая значимость работы. Полученные научные результаты могут использоваться для разработки плазмохимических реакторов для генерирования микроволновых разрядов в жидкости.

Положения, выводы и рекомендации, сформированные в диссертации, являются достоверными и обоснованными. Достоверность и обоснованность основана на использовании взаимодополняющих методов диагностики, подтверждается совпадением с известными экспериментальными данными и теоретическими представлениями.

Результаты работы опубликованы в 10 статьях в реферируемых научных журналах, индексируемых в международных базах данных; в трудах международных и Российских конференций (12 тезисов доклада).

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Вместе с тем, к исследованию есть вопросы и замечания:

1. Значительный объем диссертации уделен литературному обзору: из 111 страниц основного текста 42 страницы приходится на анализ литературы.

В тексте диссертации имеются опечатки и грамматические ошибки. Например, Выводы раздела 4. Одинаковая формулировка в п.3 и п.4 : Исследована возможность получения водорода в микроволновом разряде в водном растворе этанола при атмосферном давлении над поверхностью жидкости.

2. Для исследований используются растворитель Нефрас С2 80/120, этиловый спирт и вода, но в диссертации отсутствуют их характеристики. Например. вода (рН, проводимость). Как состав воды может изменить начальные этапы возникновения микроволнового разряда в ней при атмосферном давлении? Так, при барботировании метана в воде было добавлено небольшое количество гидроксида калия (концентрация раствора - 0,025 моль/л) "...для уменьшения минимальной мощности". Какой механизм влияния гидроксида калия на изменение мощности и как эта примесь может влиять на начальные этапы возникновения микроволнового разряда?

3. Автор в заключении пишет ..., что важной особенностью данного типа разряда при реализации плазмохимических процессов является естественная закалка (быстрое охлаждение) продуктов реакции после прекращения разряда. Как влияют свойства жидкости (растворитель, спиртовой раствор, вода) на скорость заделки продуктов реакции?

4. При проведении экспериментов может быть методическая погрешность. Какая методическая погрешность при теневой съемке, при визуализации градиента плотности среды на основе Шлирен метода, при определении скорости образования газофазных продуктов и их состава?

5. В параграфе 4.2 приведены результаты исследования возможностей управления химической активностью микроволнового разряда в жидких углеводородах для получения водорода. Почему при барботировании в растворителе гелия концентрация водорода и скорость образования всех продуктов выше, чем при барботировании аргона?

Вместе с тем, указанные замечания не снижают значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.9. Физика плазмы (отрасль науки – физико-математические), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а соискатель Батукаев Тимур Саидэмиевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы.

Ведущий научный сотрудник
лаборатории 2.3 - плазмы ОИВТ РАН,
доктор физико-математических наук

Шавелкина М.Б.

17.02.2025

Контактные данные:

125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр.2

Федеральное государственное бюджетное Учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН),

Тел.:

e-mail: