

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
сильноточной электроники Сибирского
отделения РАН, член-корр. РАН



Н.А. Ратахин

« 16 » мая 2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Ижойкина Дмитрия Александровича «Плазменное окисление изотопов углерода в магнитном поле», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа Ижойкина Д.А. посвящена исследованию процесса разделения изотопов углерода с магнитными и немагнитными ядрами во внешнем магнитном поле в условиях низкотемпературной плазмы.

Актуальность выбранной темы работы определяется тем, что создание материалов с измененным изотопным составом является перспективным направлением современных научных исследований, имеющим важное как фундаментальное так и прикладное значения. Высокая себестоимость известных методов разделения изотопов делает актуальными исследования влияния различных внешних условий на селективные по изотопам физико-химические процессы. Использование постоянного магнитного поля для изменения скоростей плазмохимических реакций, приводящее к перераспределению изотопов с магнитными и немагнитными ядрами в продуктах реакции, является перспективным научным направлением. В частности, изотоп углерода ^{13}C , на выделение которого нацелена данная диссертационная работа, используется в медицинской диагностике и перспективен для создания нового класса полупроводниковых графеновых структур. Таким образом, исследование плазменного окисления изотопов углерода с одновременным разделением их в магнитном поле является новым перспективным для широкого применения плазмохимическим методом формирования продуктов с изменённым изотопным составом, что и определяет актуальность работы.

Диссертационная работа Д.А. Ижойкина состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка цитируемой литературы, приложения. Объем диссертации составляет 155 страниц и включает 54 рисунка, 10 таблиц. Список литературы включает 226 наименований.

Во введении показана актуальность работы, объект, предмет, цель и задачи исследования. Приведены научная новизна, научная и практическая ценность полученных результатов, положения, выносимые на защиту. Описана структура диссертации. Показаны личный вклад автора и апробация результатов работы.

В первой главе рассмотрены основные работы по магнитному изотопному эффекту, методам моделирования плазменных систем и плазмохимических процессов, диагностике низкотемпературной плазмы, разделению изотопов и нуклеации углерода в плазменных системах.

Во второй главе описаны теоретические исследования процессов в высокочастотном факельном разряде, влияющих на перераспределение изотопов в продуктах реакции окисления атомарного углерода. Приведена схема экспериментального плазмохимического реактора. Автором выделено три основных направления теоретических исследований:

1. Моделирование равновесного состава компонентов системы при помощи программных средств. Рассматривались различные наборы компонентов плазменных систем, в результате чего определена оптимальная концентрация атомарного углерода и кислорода для химических реакций окисления, селективных по изотопам углерода в магнитном поле.

2. Численное моделирование с повышенным содержанием нужных изотопов углерода распространения плазменного потока в плазмохимическом реакторе и при отборе из него пробы на основе решения уравнений Навье-Стокса при помощи специализированного программного обеспечения. По результатам моделирования установлено влияние газодинамики потока на исследуемые плазмохимические реакции.

3. Описание влияния различных процессов в низкотемпературной плазме на процесс перераспределения изотопов углерода в радикальной реакции окисления. Показано возможное влияние спинов сталкивающихся радикалов на парамагнитные явления в плазме ВЧФ-разряда.

В третьей главе описаны методы и устройства контроля параметров плазмы при проведении плазмохимических реакций в исследуемой системе. Используемые автором способы контроля дисперсности, газовой температуры плазменного потока, а также анализ эмиссионных спектров атомарного излучения компонентов плазмы являются важным средством анализа протекающих процессов.

Контроль содержания дисперсной фазы углерода в плазменном потоке во внешнем магнитном поле позволяет устанавливать возможность селекции изотопов углерода с магнитными и немагнитными ядрами. Используемая методика отработана на модельной системе. Определен гранулометрический состав дисперсной фазы.

Для оценки газовой температуры плазменного потока, оказывающей существенное влияние на эффективность селекции изотопов, автором разработано и запатентовано устройство на основе плавких элементов,

помещаемых в плазменный факел. Проведена оценка распределения газовой температуры на оси плазменного потока для смесей Ar-C и Ar-C-CO₂.

Описаны результаты исследования эмиссионных спектров атомарных компонентов в плазме ВЧФ-разряда при помощи спектральной аппаратуры. Показано изменение интенсивности свечения атомарного углерода по высоте плазменного потока, влияние содержания углекислого газа на интенсивность свечения атомарных углерода и кислорода, влияние внешнего магнитного поля на интенсивность свечения атомарного углерода. Полученные результаты подтверждают предположения автора о наличии необходимых компонентов для селективной по изотопам углерода реакции окисления.

В четвертой главе описаны результаты разработки экспериментального стенда для проведения плазмохимического окисления углерода в магнитном поле. Разработаны устройства, упрощающие проведение исследуемого процесса. Приведены экспериментальные результаты влияния внешнего магнитного поля, силовые линии которого направлены перпендикулярно плазменному потоку, на содержание ¹³C в газовых продуктах плазмохимической реакции. Проведен анализ протекающих процессов, описано влияние внешнего магнитного поля на изотопный состав газовых продуктов плазмохимического окисления.

В заключении приведены основные результаты работы и показано направление дальнейших исследований.

Наиболее важными представляются следующие результаты, полученные в диссертационном исследовании впервые.

1. Экспериментально обнаружено влияние магнитного поля на обогащение CO по ¹³C в результате радикальных процессов в низкотемпературной плазме.

2. Разработаны устройства: для надёжного определения газовой температуры плазменного потока, для возбуждения высокочастотного факельного разряда, для отбора пробы из высокотемпературного химически реагирующего потока. Эти разработки позволили провести цикл целенаправленных исследований и получить новые достоверные научные результаты.

Практическая ценность результатов диссертации связана с разработкой инженерных основ нового перспективного метода сепарации изотопов углерода, а также методов и устройств для контроля параметров низкотемпературной плазмы.

Разработано устройство для определения газовой температуры плазменного потока, с помощью которого оценено распределение температуры высокочастотного факельного разряда по его длине.

Разработано устройство для надёжного возбуждения высокочастотного факельного разряда без механического контакта дополнительного электрода с высоковольтным электродом, что позволяет создавать герметичные плазмохимические реакторы.

Разработано устройство для отбора пробы из высокотемпературного химически реагирующего потока, в котором совмещены отбор пробы газовых продуктов плазмохимической реакции с процессом их закалки, что повышает достоверность результатов анализа химического состава плазмы высокочастотного факельного разряда.

Достоверность результатов контролируется их внутренней согласованностью и совпадением в ряде частных случаев с результатами других авторов. Достоверность лабораторных исследований обеспечивается корректным использованием современных сертифицированных и поверенных приборов и методик проведения эксперимента, многократным их повторением.

Результаты исследований Д.А. Ижойкина, отраженные в диссертации, опубликованы в 20 работах. Среди них 2 патента, 9 научных статей (7 в журналах из списка ВАК РФ, 2 статьи опубликованы в изданиях, индексируемых SCOPUS). Уровень публикаций соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Результаты работы можно рекомендовать для использования в научных и учебных организациях, в которых ведутся исследования процессов, сопровождающих течения многофазных сред при различных воздействиях, физико-химической гидромеханики, исследования динамических процессов в газофазных средах, разделения изотопов.

При рассмотрении диссертационной работы были отмечены следующие недостатки:

1. На наш взгляд, привлекаемая автором феноменологическая модель элементарных процессов в плазме, помещённой в магнитное поле с учётом спиновой динамики, не описывает количественные характеристики процесса сепарации продуктов окисления углерода в плазменном факеле высокочастотного разряда. Возможны и другие механизмы сепарации, например, за счёт различных траекторий движения изотопов в магнитном поле, и как следствие, изменения пространственной конфигурации плазменного факела ВЧ – разряда. Этот альтернативный механизм в диссертации не рассматривается и не оценивается.

2. Описание плазмохимического реактора, ВЧФ-разряда и плазмохимического стенда в целом разнесены по разным главам – глава 2 п.1, глава 3 и глава 4 п.1 соответственно. Для лучшего понимания работы следовало бы приводить это описание в рамках одной главы.

3. В работе отсутствуют данные об изучении изотопного состава дисперсной фазы углерода, которые могли бы уточнить достигаемый коэффициент разделения.

Отмеченные недостатки, в целом, не влияют на общую положительную оценку работы, ее научную ценность и полезность проведенных исследований.

Диссертация Д.А. Ижойкина выполнена на достаточно высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-

исследовательскую работу, в которой описано новое явление, представляющее интерес в связи с поиском эффективных методов разделения изотопов.

Результаты работы полностью и своевременно опубликованы в рецензируемых научных изданиях, апробированы на российских и международных конференциях.

Автореферат по содержанию и структуре отражает основное содержание диссертации.

По результатам рассмотрения работы установлено, что диссертационная работа «Плазменное окисление изотопов углерода в магнитном поле» удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а диссертант Ижойкин Дмитрий Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв составили:

заведующий лабораторией плазменной
эмиссионной электроники ФГБУН

Институт сильноточной электроники

Сибирского отделения РАН (ИСЭ СО РАН),

д.т.н., профессор



Н.Н. Коваль

заведующий лабораторией теоретической
физики ИСЭ СО РАН,

д.ф.-м.н., профессор



А.В. Козырев

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на научном семинаре ИСЭ СО РАН (протокол № 3 от 16.05.2014 г.)

Ученый секретарь ИСЭ СО РАН,
д.ф.-м.н.



И.В. Пегель