

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПЛАЗМЫ ВЧ-ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА

Ижойкин Д.А., Беспала Е.В., Ушаков И.А.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н, профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bespala_evgeny@mail.ru

Интенсивное развитие нанотехнологий, атомной промышленности, микроэлектроники, космической техники привело к необходимости качественного улучшения конструкционных материалов. Необходимость создания новых материалов, уникальных по своим свойствам (химической чистоте, физической стойкости, заданного изотопного состава), потребовало новых технологических решений. Большинство технологий в рамках традиционных подходов достигли предела совершенствования [1]. Изотопное конструирование может дать новый прорыв в технологии.

Способы получения материалов и веществ измененным изотопным составом, как правило, дорогостоящи и малопроизводительны. Поэтому разработка новых высокоэффективных технологий сепарации смесей изотопов является актуальной.

Одним из возможных путей решения этой задачи является использование изотопных эффектов в плазмохимических процессах в низкотемпературной плазме. В статьях [2, 3] показана возможность плазменной сепарации изотопов углерода с немагнитными и магнитными ядрами, находящихся в магнитном поле. Дальнейшая разработка данного метода требует знания поля температуры в плазме. Наиболее важным из них является температурное поле вдоль плазменного канала. Без информации о распределении температур невозможно проводить моделирование и оптимизацию процесса разделения изотопов.

Задача - экспериментальное определение газовой температуры плазмы по высоте плазменного разряда, создаваемого ВЧ-факельным плазмотроном.

Уровень развития средств диагностики низкотемпературной плазмы осложняет измерения температуры газового потока. Для оценки параметров плазмы с высокой точностью требуется сложное и дорогостоящее оборудование. К наиболее используемым методам измерения газовой температуры плазменного потока можно отнести: измерение доплеровского уширения линий и скорости звука в канале разряда, использование рассеянного монохроматического излучения лазера, измерение температуры плазмы по её энтальпии [4].

Результаты, получаемые при использовании этих методов, зависят от плотности плазмы, степени ионизации, электронной температуры и размера канала электрического разряда.

Решение поставленной задачи достигалось тем, что для определения газовой температуры плазмы применялось разработанное нами устройство в виде отрезка цилиндрической кварцевой трубы. На нем закреплялись тонкие образцы металлических проводов с разными температурами плавления. Плавкие материалы располагаются с возможностью самопроизвольного удаления плавящейся части. Для этого рабочие части проволок размещали по центру канала низкотемпературной плазмы. Закрепленные части плавких материалов располагали вне отрезка цилиндрической кварцевой трубы. Это устройство позволяет фиксировать факт превышения заданного значения газовой температуры в разных точках плазменного потока, по температурам плавления металлических проводов [5].

Схема устройства для измерения температуры плазмы приведена на рисунке 1.

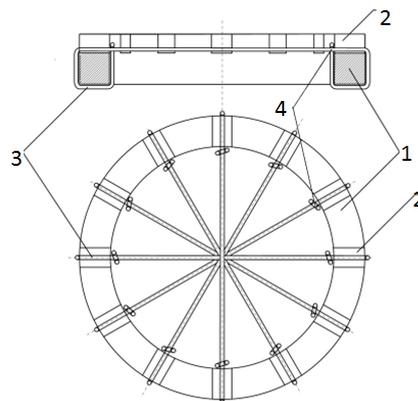


Рис.1. Схема устройства для измерения газовой температуры низкотемпературной плазмы.

В корпусе 1, выполненного из кварцевого стекла, сделаны прорезы в форме радиально ориентированных желобов 2. В пронумерованных желобах 2 уложены концы проводов 3 из различных материалов, температуры плавления которых известны. Концы каждого металлического провода 3 охватывают с двух сторон стенку корпуса 1, на не менее чем один оборот для фиксации металлических проводов 3 и закреплены петлями 4 на этих же проводах 3 с внутренней стороны корпуса 1.

В качестве материалов использовались металлы и их сплавы с известной температурой плавления. Температура плавления была указана в паспорте, прилагаемом заводом-изготовителем. Нами были выбраны образцы проводов

следующих материалов: алюминий (температура плавления 1173 К), латунь Л63 (температура плавления 1173 К), бронза БрБ2 (температура плавления 1228 К), медь (температура плавления 1358 К), нихром х20н80 (температура плавления 1473 К), нержавеющая сталь 12х18н10 (температура плавления 1753 К), титан (температура плавления 1941 К), рений (температура плавления 3455 К), вольфрам (температура плавления 3695 К).

Описанное выше устройство для измерения температуры вдоль оси высокочастотного плазмохимического реактора непригодно из-за необходимости использования тугоплавких материалов для его фиксирования вдоль потока. Поэтому при экспериментальном определении температуры плазменного потока, создаваемого высокочастотным факельным разрядом, использовался модифицированный вариант плазмохимического реактора. Схема плазменного стенда приведена на рисунке 2.

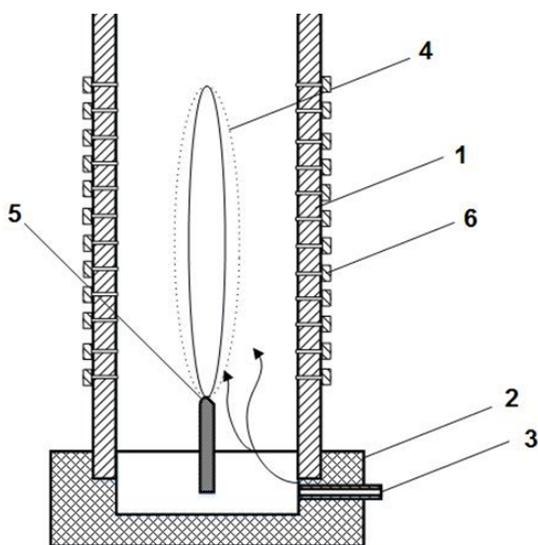


Рис.2. Схема экспериментального стенда

Модифицированный плазмохимический реактор 1, выполненный из кварцевого стекла, запрессовывался в держатель 2. Держатель 2 выполнен из фторопласта и снабжен двумя патрубками 3 для тангенциальной подачи плазмообразующего газа. ВЧ-факельный разряд представлял собой плазменный столб 4, возбуждаемый с поверхности электрода 5, к которому приложено синусоидальное ВЧ напряжение. Плазмохимический реактор 1 был снабжен диаметрально противоположными сквозными отверстиями 6 по всей длине. Расстояние между отверстиями 10 мм.

Через патрубок 3 подавали плазмообразующий газ - аргон. Через плазмохимический реактор натягивались отрезки металлических проводов. Каждая проволока пронумеровывалась. С помощью специального устройства зажигался

факельный разряд 5 без внесения дополнительного электрода в реактор. Далее осуществляли визуальное наблюдение за состоянием проволоки в канале высокочастотного разряда. По данным о расположении расплавленных проводов оценивали максимальную газовую температуры плазменного потока.

Полученные данные о распределении температурного поля плазмы высокочастотного факельного разряда приведены на рисунке 3. Точность определения распределения газовой температуры достаточна для моделирования физико-химических процессов.

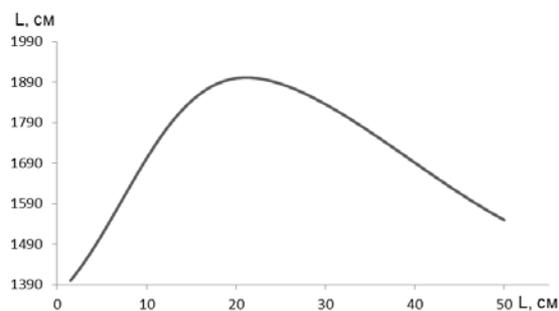


Рис.3. Распределение температуры вдоль оси

Распределение температуры по высоте плазменного потока позволяет оптимизировать процесс сепарации изотопов и увеличить коэффициент разделения изотопов.

Список литературы

1. Сурис А.Л. Плазмохимические процессы и аппараты. М.: Химия, 1989. – 304 с.
2. Мышкин В.Ф., Ижойкин Д.А. и др. // Известия вузов, 2013. - Т.56. - №4-2. – С. 205-207.
3. Мышкин В.Ф., Ижойкин Д.А. и др. // Известия вузов, 2012. – Т.55. - №11-2. - С. 348-352.
4. Каренгин А.Г. Физика и химия газоразрядной плазмы: учебное пособие / А.Г. Каренгин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 104 с.
5. Патент 122173 РФ. МПК G01K 11/00. Устройство для определения газовой температуры плазменного потока/И.А. Ушаков, В.Ф. Мышкин, Д.М. Ижойкин // Заяв. 30.05.2012; Опубл. 20.11.2012. Бюл. №32.