

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ВНУТРИ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА

Беспала Е.В., Титов Е.С.

Научный руководитель: проф. Мышкин В.Ф.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: bespala_evgeny@mail.ru

В современных условиях расширяется сфера применения изотопов. Поэтому актуальна задача разработки новых энергоэффективных способов сепарации изотопов. Это связано с высокой себестоимостью современной изотопной продукции и сложностью технологических операций. Для многих применений традиционные способы разделения (центрифужный, газодиффузионный, электромагнитный) не эффективны. Одной из актуальных задач атомной отрасли является выделения радиоактивного изотопа углерода ^{14}C из облученного ядерного графита уран-графитовых ядерных реакторов (ПУГР, РБМК).

Нами изучается процесс выделения радионуклида ^{14}C из облученного графита. Исследования проводятся на модельных смесях стабильных изотопов путем их плазмохимической сепарации в магнитном поле. Во внешнем магнитном поле спины неспаренных валентных электронов радикалов прецессируют. Характерные частоты парамагнитного резонанса для изотопных модификаций радикалов отличаются. Ранее нами была показана возможность увеличения концентрации изотопной модификации ^{13}CO с 1.1% до 1.7% в магнитном поле 0.2 Тл (или 1,1 Тл), прикладываемом на участок разрядного канала с заданным интервалом температур, в результате плазмохимического окисления в условиях недостатка кислорода [1]. Это показывает, что газофазные радикальные процессы в низкотемпературной плазме, находящейся в магнитном поле, также селективны по изотопам.

Однако в конечный эффект разделения могут вносить другие изотопные эффекты, не связанные с магнитными явлениями в смеси изотопов, например, термодиффузия. Для оценки влияния процесса термодиффузии необходимо знать распределение температурного поля внутри плазмохимического реактора. При этом предполагается, что источником низкотемпературной плазмы является высокочастотный факельный разряд (ВЧФ).

Поскольку ВЧФ является частным случаем емкостного разряда, то в качестве расчетной модели использовали электрическую цепь Неймана, описанную в работе [2]. Для упрощения вычислений пренебрегали неоднородностью газового разряда. Размеры факельного шнура подбирали исходя из экспериментальных данных. При этом считали, что в качестве плазмообразующего газа используется аргон, подающийся в плазмохимический реактор постоянной ширины при атмосферном давлении. Методом конечно-разностных элементов решали уравнение переноса для вычисления электронной концентрации и средней энергии заряженных частиц. Для определения газовой температуры ВЧФ совместно решали уравнение Навье-Стокса и уравнение конвективного теплопереноса. При этом значения вязкости, плотности, удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности газа получали из решения уравнения переноса. Термическое разрушение высоковольтного электрода и фазовые превращения в приэлектродных областях не учитывались.

По результатам расчета с помощью программного комплекса ANSYS получено распределение температуры внутри плазмохимического реактора при различных частотах и мощности питающего напряжения. Путем решения нестационарного уравнения переноса получено распределение величины газовой температуры по длине плазменного шнура. Приведены зависимости концентрация электронов и ионов по оси плазмохимического реактора. Результаты расчета согласуются с экспериментальными данными измерения газовой температуры с помощью зондов с различной температурой плавления [3] и измерений относительной интенсивности линий вращательных переходов различных молекул.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Myshkin V.F., Khan V.A., Plekhanov V.G., Izhoikin D.A. and Bepala E.V. Spin isotope separation under incomplete carbon oxidation in a low-temperature plasma in an external magnetic field // Russian Physical Journal, 2015. Vol. 57. №10. P.1442–1448.
2. Нейман М.С. Курс радиопередающих устройств. — М., 1965.
3. Ижойкин Д.А. Диссертация на соискание уч.ст. к.ф.-м.н., Томск: ТГУ, 2014.