

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ УГЛЕРОДА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Гамов<sup>1</sup> Д.Л., Хорохорин<sup>1,2</sup> Д.М., Роздольский<sup>1</sup> В.Г., Шикерун<sup>1</sup> К.Т.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор

<sup>1</sup>НИ Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>ФЯО «Горно-химический комбинат», Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, 53

E-mail: gdl@tpu.ru

В атомной отрасли всех стран накоплено большое количество отработанного ядерного графита, требующего переработки. Это обуславливает актуальность изучения процессов, в которых участвует углерод, а также разработки технологий переработки углеродных материалов.

Газоразрядная плазма позволяет переводить в атомарное состояние и поддерживать в неравновесном состоянии все элементы. Неравновесное возбуждение атомов на заданных уровнях энергии реагентов позволяет увеличить эффективность плазмохимических реакций. Одним из воздействий, позволяющих увеличить степень неравновесности низкотемпературной плазмы, является постоянное магнитное поле. Использование синергетического эффекта от совмещения низкотемпературной плазмы и магнитного воздействия позволит в значительной мере увеличить эффективность целевого использования подводимой энергии в плазменных технологиях.

Атомарные пары, находящиеся в низкотемпературной плазме, при её охлаждении, начинают образовывать молекулы и дисперсные частицы. Скорость этих процессов зависит от спинового состояния образующейся пары валентных электронов сталкивающихся частиц (атом - атом, атом - дисперсная частица) [1]. Известны два основных метода диагностики плазменных систем: контактные и неконтактные. Преимущества неконтактных методов связаны с малыми искажениями протекающих в плазменных условиях процессов. Например, лазерные методы диагностики гетерогенной плазмы. Однако, лазерные методы приводят к решению обратной задачи, приводящей, при высокой экспериментальной погрешности, к увеличению погрешности получаемых данных.

Контактные методы не позволяют получать данные о гранулометрическом составе конденсированной фазы в процессе её формирования в плазменной системе. Эти методы также искажают функцию распределения дисперсных частиц по размерам, если отбирать конденсированную фазу из объема, в котором возможны химические превращения или фазовые переходы. Несомненным преимуществом методов определения гранулометрического состава путем отбора пробы на подложки является возможность анализа различными прямыми методами. При этом возможна достаточно высокая точность определения размеров дисперсных частиц.

В статье приводятся и анализируются результаты исследования влияния внешнего постоянного магнитного поля на процесс формирования частиц сажи при охлаждении низкотемпературной углеродной плазмы. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон. Низкотемпературная плазма возбуждалась с помощью дугового разряда, в котором в качестве одного из электродов использовали графит цилиндрической формы. В качестве материала второго электрода использовали медь, алюминий, сталь, цинк или графит. Постоянный ток дуги устанавливали в диапазоне 15-40 А. Образующиеся дисперсные частицы осаждали на стеклянные пластинки. В дальнейшем регистрировали SEM-изображения с помощью электронного микроскопа при разных увеличениях. Гранулометрический состав определяли путем ручного подсчета количества изображений частиц разных размеров на SEM-изображениях. Анализ полученных результатов показывает следующее. Образующееся без внешнего магнитного поля конденсированная фаза представлена частицами в широком диапазоне размеров. При этом, например, частицы размерами 80-190 нм, образующиеся в смеси меди в смеси с оксидом кремния, на подложке располагаются группами, окруженными частицами размерами менее 10 нм. Частицы размерами 80-190 нм, как правило, имеет сферическую форму.

В постоянном магнитном поле, задаваемом в диапазоне 10-90 мТл, распределение дисперсных частиц по размерам более стабильно во времени. При этом распределение по размерам имеет более узкий диапазон, чем без поля, а также регистрируются отдельные дисперсные частицы неправильной формы размером менее 500 нм.

Исследования финансировались в рамках гранта РФФИ №16-08-00246.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мышкин В.Ф., Тихи М., Хан В.А., Беспала Е.В., Ленский В.Н., Гамов Д.Л. Гетерогенная плазма дугового разряда в магнитном поле // Известия высших учебных заведений. Физика. 2017. Т.60. №7. С.17-25.