

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ АДсорбЦИОННО-ДЕсорбЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ.

А.Ю Никифоров, А.И. Максимов, А.М. Манахов, В.А. Титов

Институт химии растворов РАН,

153045, г. Иваново, ул. Академическая, д.1. ayn@ihnr.polytech.ivanovo.su.

Плазменная обработка полимеров для достижения требуемых поверхностных свойств является одним из наиболее перспективных методов обработки материалов. Для расчётов, проектирования и построения реакторов плазмохимической обработки необходимо решение ряда вопросов, среди которых большое значение имеет учёт влияния нелинейности плазмохимической системы на динамику ее эволюции и тем самым на условия реализации целевых процессов. Наши предыдущие исследования показали существование диапазона параметров тлеющего разряда, контактирующего с обрабатываемым полимерным материалом, в пределах которого проявляются все особенности динамического поведения химически реагирующей плазмы, характерные для нелинейных систем, включая колебательные режимы и динамический хаос. Было также отмечено, что подобные особенности эволюции плазмохимической системы могут наблюдаться и при отсутствии полимерного материала, контактирующего с зоной плазмы. Было предположено, что причина этого в наличии десорбционных процессов, инициируемых действием плазмы. Регистрация временных зависимостей параметров плазмы в ранее проведённых работах производилась с разрешением не лучше 0.1 с., что затрудняло интерпретацию полученных результатов. Целью настоящей работы была проверка влияния десорбционных процессов на динамику установления параметров плазмы на основе более совершенной методики эксперимента с использованием аргоновой плазмы, исключающей влияние химических превращений плазмообразующего газа.

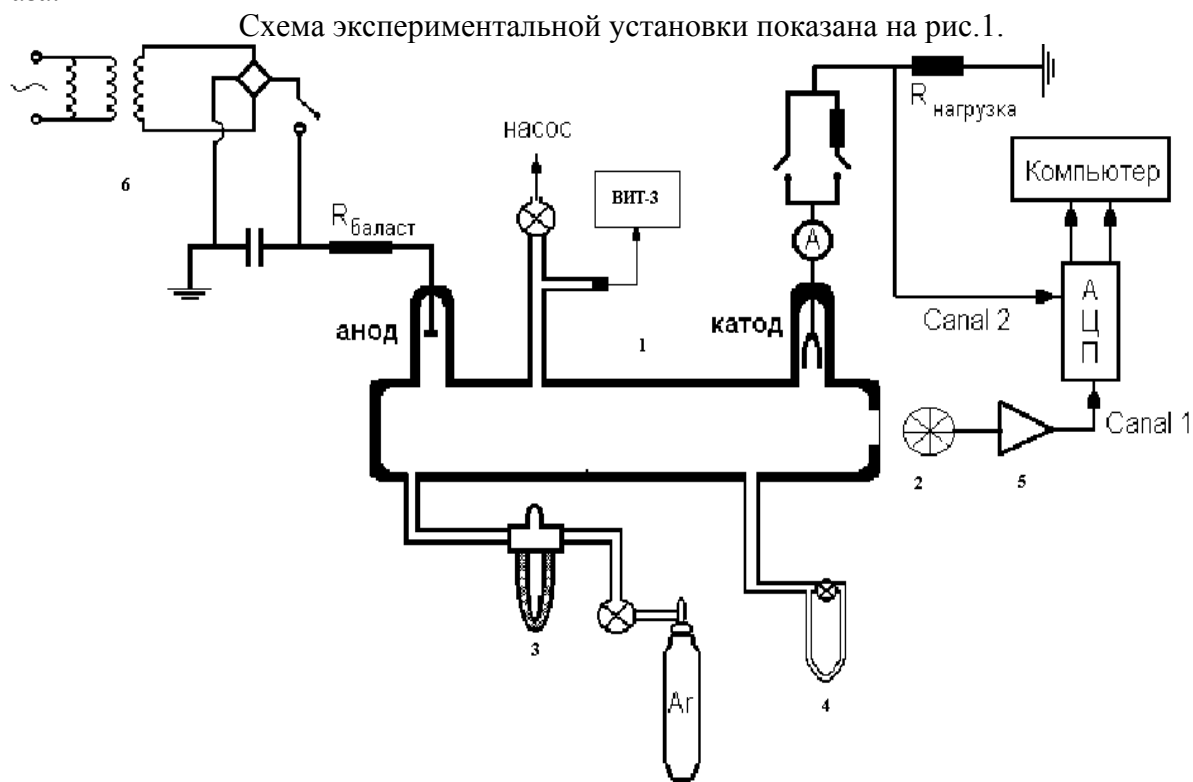


Рис.1 Схема установки. 1-Разрядная трубка, 2- фотодатчик, 3- ротаметр, 4- манометр, 5- усилитель, 6- блок питания.

Тлеющий разряд зажигался в цилиндрической стеклянной разрядной трубке (1) с внутренним диаметром 24 мм. Токи разряда могли изменяться в пределах 2.5-25 мА, давление аргона варьировалось в диапазоне 0.1–6 мм.рт.ст., а поток от 80 до 220 л/ч. В качестве регистрируемых параметров использовались ток разряда и интенсивность осевого интегрального излучения. Интенсивность излучения контролировалась с помощью фотодетектора ФД-27 (2), с инерционностью порядка 10^{-5} с. Скорость подачи аргона в систему измерялась масляным ротаметром (3). Давление аргона фиксировалось масляным манометром (4) и параллельно прибором ВИТ-3. Сигналы фотодатчика и ток разряда подавались на 2 канала АЦП, переводились в цифровую форму с частотой дискретизации 5 кГц и записывались на компьютер.

Временная зависимость тока разряда и интегральной интенсивности излучения регистрировалась после зажигания разряда в процессе установления его стационарного состояния, а также при модуляции тока разряда с помощью добавочного балластного сопротивления.

Пример зависимости этих величин от времени для давления аргона 1.33 мм.рт.ст. представлен на рис.2. Подчеркнем, что появление максимума тока разряда и интенсивности излучения не связано с временем формирования плазмы после пробоя. Время, отвечающее максимуму кривых, изменяется в пределах $0.11 \div 0.115$ сек., в то время как время, отвечающее амбиполярной диффузии зарядов к стенкам в указанных условиях составляет около 10^{-4} с. Установление нового стационарного состояния плазмы при модуляции тока разряда имеет аналогичный вид. Кроме того, появление максимумов совершенно не наблюдалось при установившихся токах разряда, превышающих 15мА. Зависимость высоты всплеска тока от давления газа имеет экстремальный характер (рис.3).

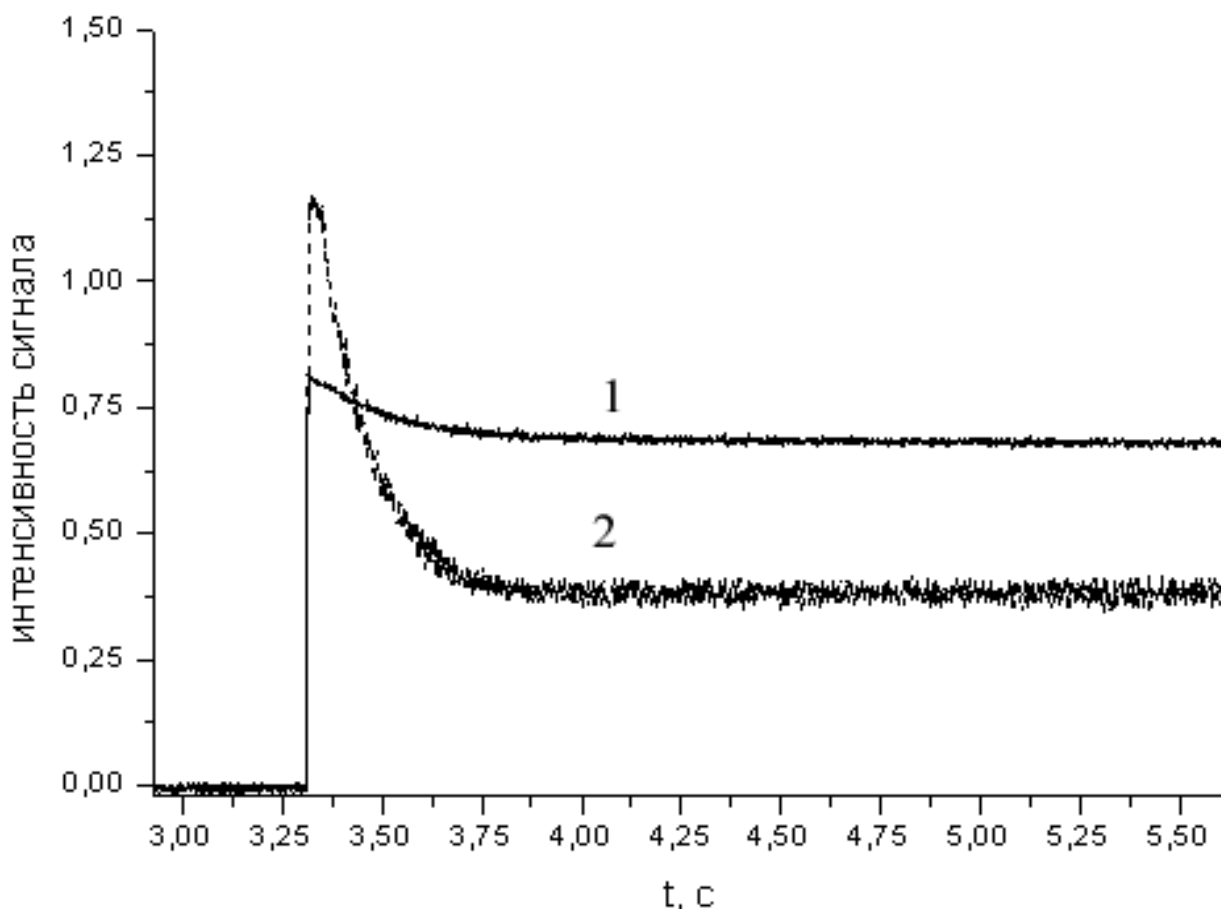


Рис.2. Зависимость интегральной интенсивности излучения разряда - (1) и тока разряда (мА*100) - (2) от времени. Давление 1.33 мм.рт.ст., стационарный ток 3.5 мА.

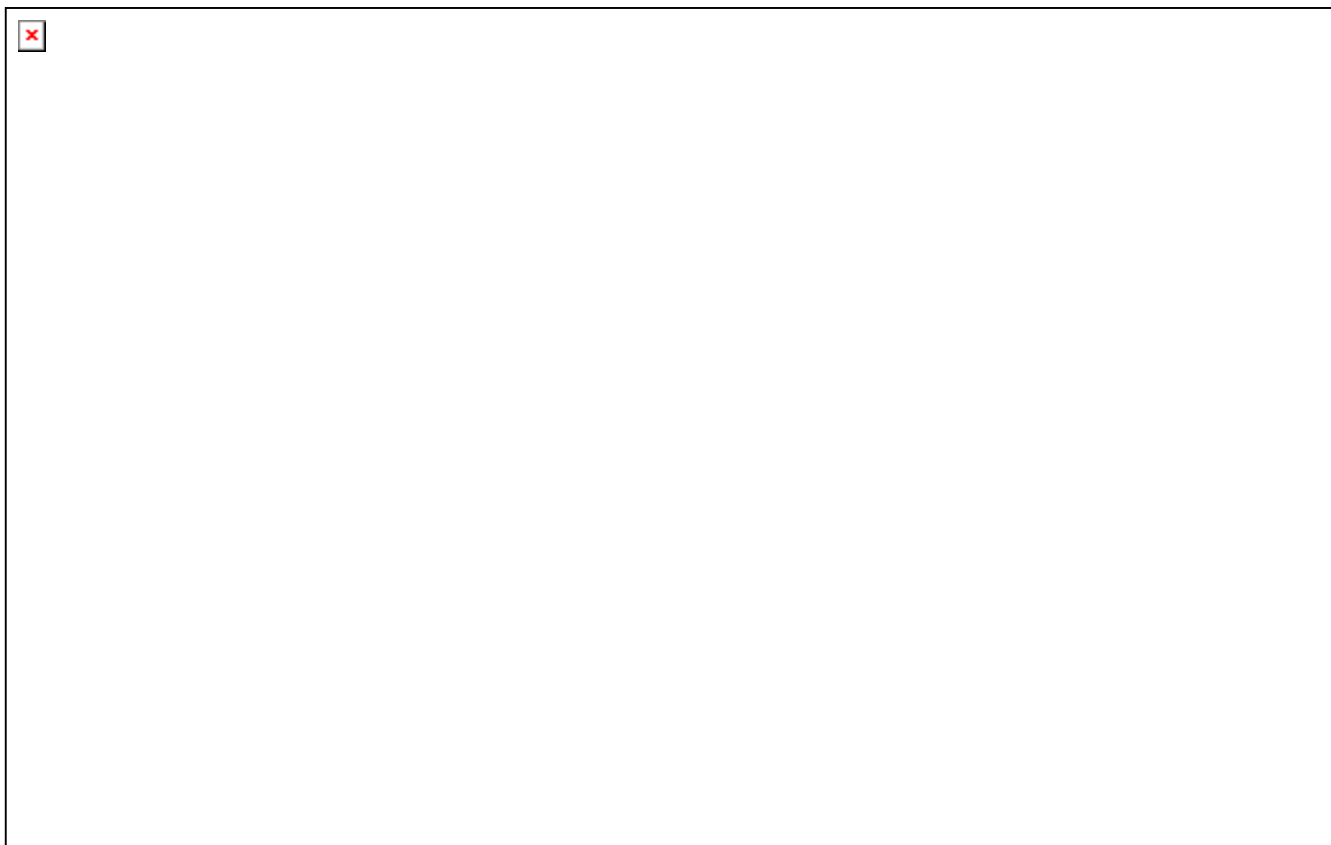


Рис.3. Зависимость высоты максимума тока разряда от давления аргона. Стационарный ток разряда 5 мА.

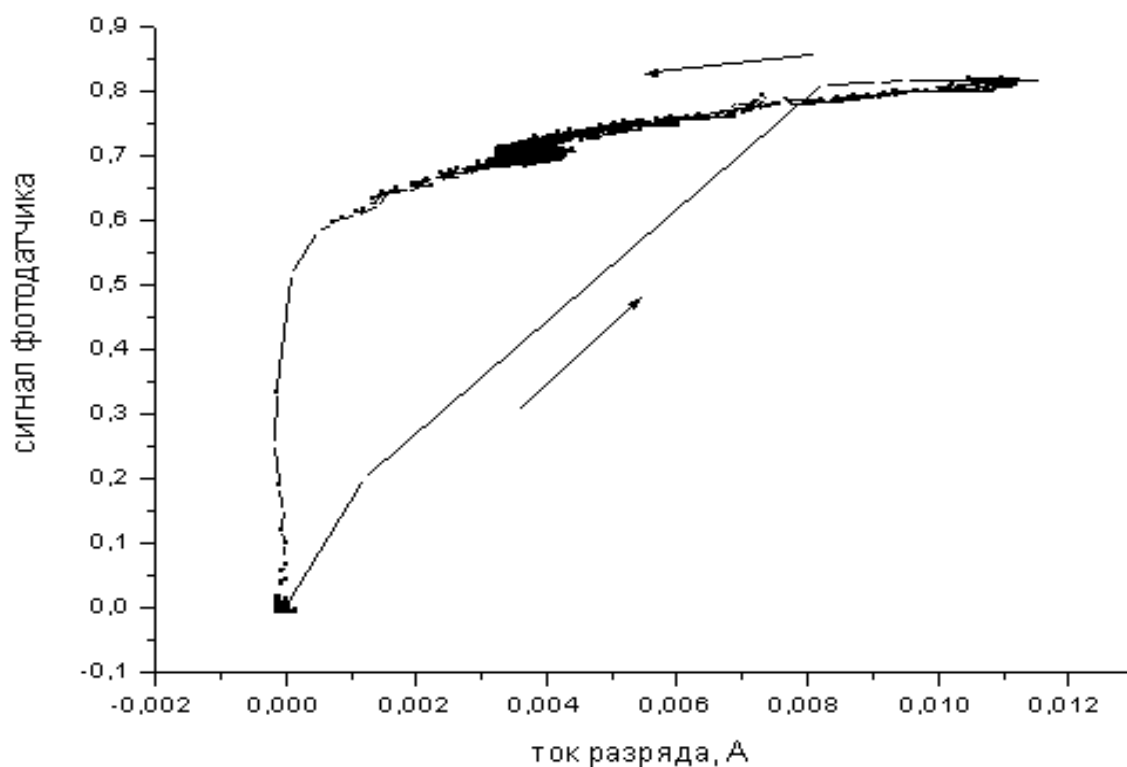
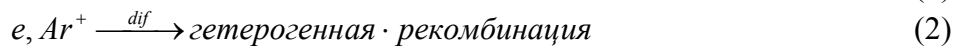


Рис.4 Фазовая диаграмма установления стационарного состояния разряда. Давление аргона 1 мм.рт.ст. Стационарный ток разряда 4мА. Направление стрелок соответствует ходу эволюции системы. Массив точек вблизи тока 4мА отвечает стационарному состоянию.

Пример фазовой диаграммы эволюции плазмы связывающей ток разряда и интегральную интенсивность излучения, показан на рис.4. На нижнем начальном участке

кривой первая точка (10^{-3} с), соответствующая горению разряда, описывает состояние плазмы исходного газа. Уже следующая зарегистрированная точка описывает состояние плазмы, в которой появились продукты десорбции и изменились условия баланса зарядов, а с ними напряженность продольного поля и все характеристики плазмы. Левая крайняя область диаграммы отвечает максимальным значениям тока разряда и интенсивности интегрального излучения. После этого система эволюционирует к стационарному состоянию, но уже по другой ветви кривой.

Описанные выше результаты могут быть качественно объяснены на основе модели, предполагающей десорбцию со стенок разрядной трубки под действием ионной бомбардировки молекул, способных образовывать отрицательные ионы в процессе диссоциативного прилипания электронов. Модель проиллюстрирована приведенными ниже уравнениями на примере десорбции кислорода.



За время не более 10^{-3} с устанавливается квазистационарное состояние плазмы, причем плазмообразующим газом является аргон, ибо десорбционные процессы еще не успевают развиваться. Дальнейшая эволюция системы определяется накоплением отрицательных ионов, контролирующей эффективностью диффузии электронов, а с ней – напряженность продольного поля и связанные с ней свойства плазмы. Несложно видеть, что в этой модели характерное время выхода на стационарное состояние контролируется временем жизни атомов кислорода, зависящим от свойств поверхности. Наблюдаемые в эксперименте времена выхода на стационарное состояние близкие к 1 с., соответствуют ожидаемым в модели временам.