

ДИНАМИКА УСТАНОВЛЕНИЯ ТОКА И ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ В КИСЛОРОДЕ

*Институт химии растворов РАН,
ул. Академическая, 1, г. Иваново, 153045, Россия*

1. Введение

Ранее нами были выполнены исследования процессов установления тока тлеющего разряда и интегральной интенсивности излучения для случаев слаботочного разряда в воздухе с различными полимерами в качестве химически реагирующих граничных поверхностей [1]. При этом показано, что качественно динамическое поведение слаботочного тлеющего разряда слабо зависит от химизма граничной поверхности. Сложное динамическое поведение тлеющего разряда наблюдалось и в случае стеклянной граничной поверхности, что, по-видимому, было связано с ролью адсорбционно-десорбционных процессов, развивающихся после зажигания разряда. Предполагалось, что изменения свойств плазмы при горении разряда вызываются появлением в газовой фазе десорбирующихся с граничных поверхностей электроотрицательных примесей, которыми могут стать пары воды и кислород. Цель работы – получение аналогичных данных для слаботочного тлеющего разряда в кислороде. При этом, как правило, граничной поверхностью служило стекло разрядной трубки. В этих условиях вряд ли можно ожидать увеличения электроотрицательных свойств газовой фазы из-за десорбционных процессов. Поэтому проявление любых особенностей динамического поведения свойств плазмы уже нельзя объяснить с позиций изменений электрозахватывающих свойств нейтральных компонентов газовой фазы.

2. Методика эксперимента

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Стеклянная цилиндрическая разрядная трубка 1 с внутренним диаметром 25 мм откачивалась форвакуумным насосом 6 производительностью 5 л/с. Эксперименты проводились при непрерывном потоке газа. Давление измерялось U-образным манометром с силиконовым маслом в качестве рабочей жидкости термометрическим вакууметром ВИТ-2 с датчиком ПМТ-2. Давление газа варьировало в пределах 20–800 Па при среднем токе разряда 1–7,5 мА. Интегральную интенсивность осевого излучения разряда контролировали с помощью фотодетектора ФД-256. Сигнал фотодетектора, так же как и величина силы тока в цепи, записывался двухкоординатным прибором Н-307.

При исследованиях процессов установления тока разряда и интенсивности интегрального излучения разряд предварительно зажигался с контролем требуемого среднего тока. После этого цепь питания разряда разрывалась в низковольтной части при сохранении требуемой величины эдс источника. Затем производилось замыкание низковольтной цепи и регистрировались изменения текущих значений тока разряда и интенсивности излучения.

3. Экспериментальные данные и их обсуждение

3.1. Установление тока разряда

3.1.1. Диапазон средних токов

При давлении 100–180 Па и средних токах разряда 2–6 мА кривые установления тока разряда чаще всего монотонны и без особенностей. Однако возможно появление не ярко выраженных максимумов или изломов (рис. 2). С увеличением давления максимум становится более выраженным (рис. 3). Однако при этом ход динамической зависимости может меняться при повторении процесса. Наблюдаются точки ветвления хода процесса – точки бифуркации (рис. 4, 5). Дальнейшее возрастание давления приводит не только к возникновению более острого максимума, но и к дальнейшему усложнению вида зависимости. Перед выходом на стационарное состояние наблюдается появление минимума (рис. 4). При давлении около 700 Па в диапазоне токов 2–4 мА разряд неустойчив. При среднем токе 5 мА на кривых наблюдаются всплески длительностью около 0,5 с с последующим выходом на стационарное состояние.

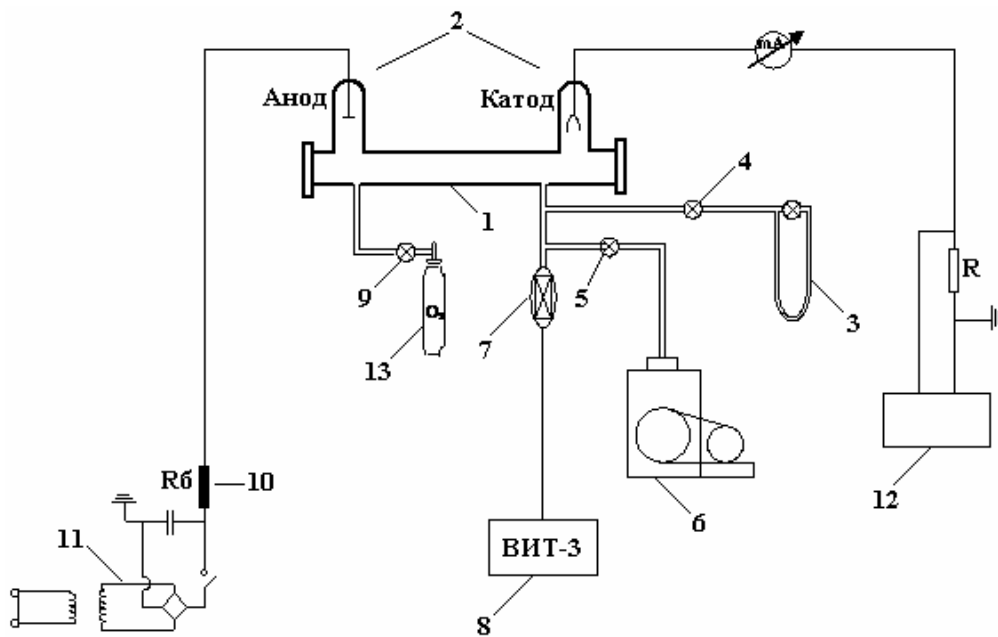


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

- 1 – газоразрядная трубка, $d = 25$ мм; 2 – электроды; 3 – масляный манометр;
 4, 5 – вакуумные краны; 6 – насос; 7 – датчик термоманного вакуумметра;
 8 – вакуумметр; 9 – кран для напуска газа в систему; 10 – балластное сопротивление;
 11 – источник питания; 12 – потенциометр; 13 – баллон с кислородом

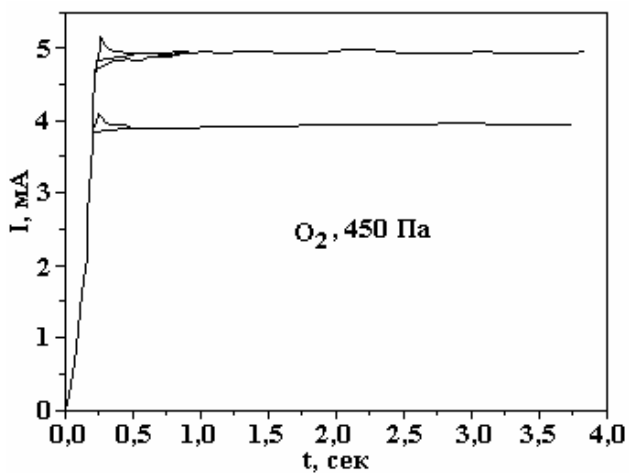


Рис. 2. Установление тока тлеющего разряда в кислороде

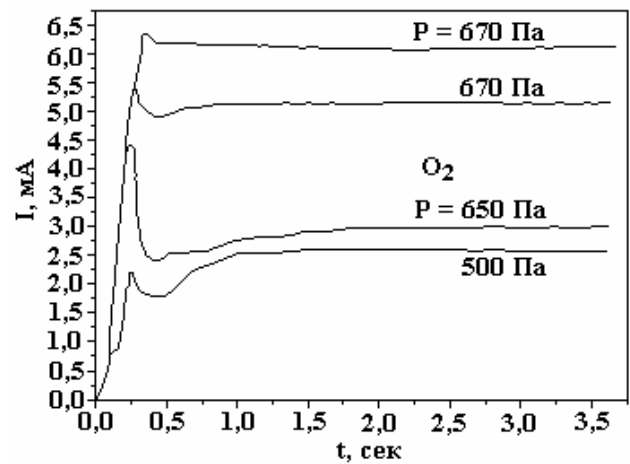


Рис. 3. Кривые установления тока тлеющего разряда в кислороде

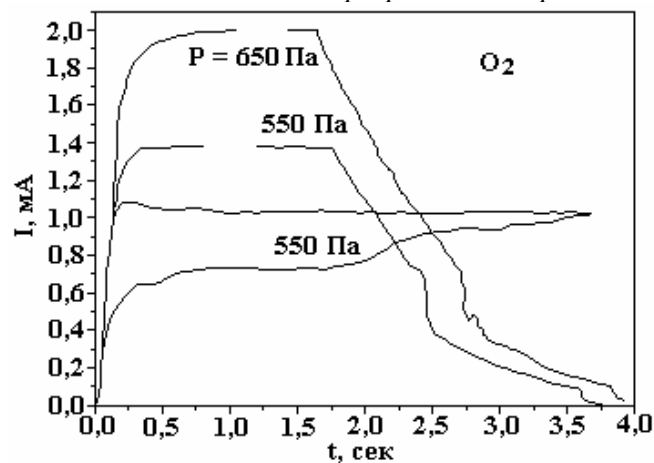


Рис. 4. Кривые установления тока и погасания тлеющего разряда в кислороде

3.1.2. Диапазон малых токов

Кривые установления тока разряда при малых токах в пределах 0,5–2 мА исследовались при давлениях от 100 до 700 Па.

В диапазоне давлений от 100 до 350 Па стационарное состояние в системе, как правило, устанавливается приблизительно за 0,5 с, причем динамическая кривая не имеет особенностей. Однако, если при фиксированных значениях давления и эдс источника зажигание разряда повторять с временным интервалом от 2 до 10 мин, асимптотическое стационарное состояние сохраняется, но путь к нему меняется. Время достижения стационарного состояния возрастает, а на динамической кривой появляется точка бифуркации. При этом на новом участке динамической кривой может появиться плато длительностью около 1 с. Новую эволюционную кривую можно трактовать как отображение возникновения нового стационарного состояния, которое примерно за 1 с становится неустойчивым, и система переходит в прежнее, более устойчивое стационарное состояние (рис. 5). Повышение давления до 500–600 Па не приводит к принципиальному усложнению динамических кривых. При этом кривые могут монотонно выходить на стационарное состояние или проходить через максимум. Наиболее интересно, на наш взгляд, то, что эволюционный путь к одному стационарному состоянию может очень меняться при повторениях эксперимента. Отметим также, что особенности в виде изломов и всплесков могут наблюдаться и на кривых погасания разряда (рис. 4, 5). Для их получения в процессе стационарного горения разряда цепь питания размыкается в низковольтной части. После этого ток разряда падает по мере разрядки конденсаторов фильтра источника питания. Всплески и изломы на кривых погасания могут исчезнуть при повторениях эксперимента, если пауза между последовательными зажиганиями превышает 5 мин.

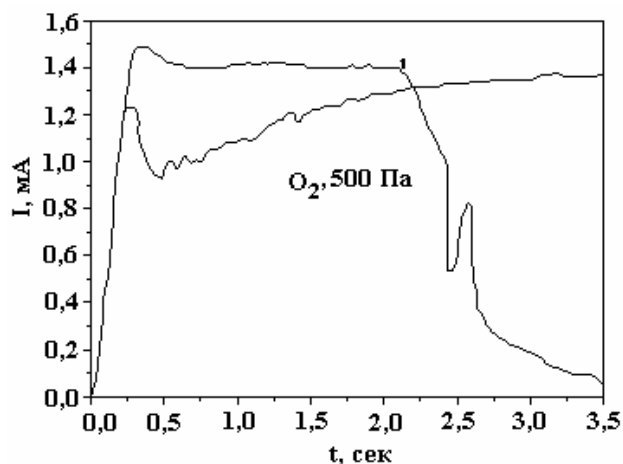


Рис. 5. Кривые установления тока и погасания тлеющего разряда в кислороде

3.2. Установление интенсивности излучения тлеющего разряда в кислороде

При давлении в пределах 50–150 Па и токах 1–5 мА вид кривых эволюции интегральной интенсивности излучения следующий. Интенсивность излучения после зажигания разряда, как правило, проходит через максимум, причем его положение соответствует времени 0,5–1,0 с при очень медленном спаде интенсивности, превышающем несколько секунд (рис. 6).

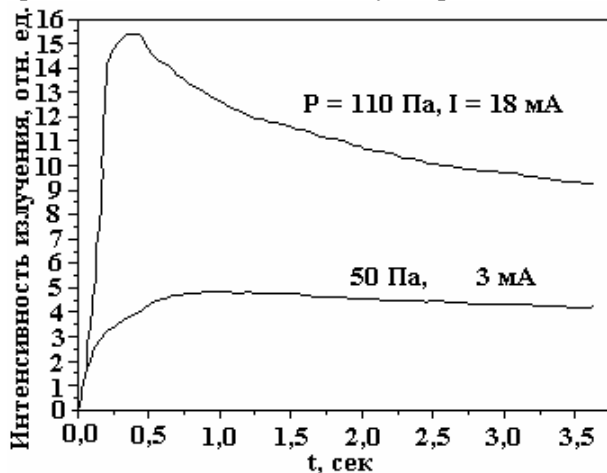


Рис. 6. Кривые установления интегральной интенсивности излучения тлеющего разряда в кислороде

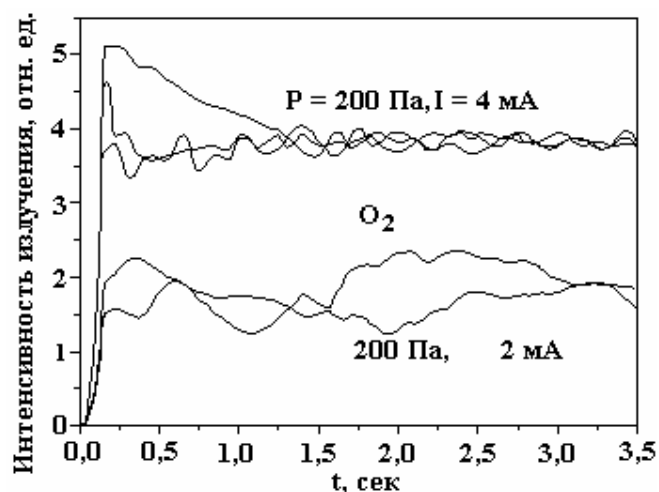


Рис. 7. Кривые установления интегральной интенсивности излучения тлеющего разряда в кислороде

При давлении 200–300 Па эволюционная кривая может иметь достаточно сложный характер с выходом на стационарное состояние в течение 3–4 с (рис. 7). Повторение эксперимента приводит к одному асимптотическому состоянию, но эволюционные пути могут различаться практически с момента зажигания.

4. Выводы

Установление тока и интегральной интенсивности излучения тлеющего разряда пониженного давления в кислороде обнаруживает особенности, заключающиеся в появлении максимумов и минимумов на динамических кривых, точек бифуркации и в возникновении колебательного режима. Сопоставление полученных данных с описанными в литературе для других условий экспериментов [1, 2] приводит к выводу, что отмеченные особенности динамического поведения системы, выражающие проявление ее нелинейных свойств, качественно мало зависят от природы как газовой фазы, так и граничных поверхностей. Следовательно, механизм возникновения нелинейных свойств такой плазмы должен иметь достаточно универсальный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутепов А.М., Максимов А.И. Динамическое поведение химически реагирующей плазмы пониженного давления. Теоретические основы химической технологии. 1998. Том. 32. № 4. С. 1–11.
2. Закомолдин Ю.В., Максимов А.И. Релаксационные колебания в тлеющем разряде постоянного тока, вызванные иницируемыми плазмой химическими превращениями // Электронная обработка материалов. 2006. № 1. С. 44–49.

Поступила 29.06.06

Summary

It was shown that the transition of the discharge current and optical radiation of the low pressure glow discharge to a steady state demonstrate the extremums, the bifurcation points and oscillations. On the basis of the experimental date it was assumed universal mechanism of such dynamics origin.