

Исследование отражательного разряда с полым катодом при напуске углеводорода

В.Я.Мартенс, Е.Ф.Шевченко

Северо-Кавказский государственный технический университет
355029 Россия, Ставрополь
e-mail: vmartens@yandex.ru, generalbox@inbox.ru.

Проведено исследование отражательного разряда с полым катодом при потоках пропана $45 - 200 \text{ atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$ и токах разряда $0.1 - 0.4 \text{ A}$. Показано, что через некоторый промежуток времени, зависящий от разрядного тока и давления пропана, наблюдается рост разрядного напряжения, что объясняется образованием на катодах покрытий из продуктов диссоциации молекул углеводорода. Электрический пробой указанных покрытий может являться причиной образования катодных пятен и кратковременного перехода тлеющего разряда в дуговой, о чем свидетельствуют осциллограммы разрядного тока и напряжения. Определено время работы разряда, по истечению которого необходима очистка разрядной камеры. Сделаны выводы о возможности эксплуатации источника ионов на основе отражательного разряда с полым катодом и напуском углеводорода для технологических приложений.

Введение

Ионный источник на основе отражательного разряда с холодным полым катодом позволяет синтезировать алмазоподобные пленки аморфного гидрогенизированного углерода ($a\text{-C:H}$) [1], широко востребованные в микро- и нанoeлектронике благодаря ряду их уникальных свойств [2,3]. Как было установлено в процессе эксплуатации такого источника [1], напуск углеводорода в качестве плазмообразующего газа приводит со временем к нарушению стабильности горения разряда, чего не наблюдается при работе на воздухе и аргоне. Данное обстоятельство требует детального изучения особенностей работы отражательного разряда с полым катодом при напуске углеводорода и решения проблемы эффективного использования технологических ионных источников на его основе.

Техника и методика эксперимента

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Разрядная камера, образована полым катодом 1, цилиндрическим анодом 2 и катодом-отражателем 3 с отверстием диаметром около 4 mm . Магнитное поле с индукцией около 80 mT в разрядной камере создавалось постоянным кольцевым магнитом 4. Для ограничения плазмы, проникающей через

эмиссионное отверстие в катоде-отражателе, на расстоянии 20 mm от него устанавливался коллектор 5, имеющий потенциал корпуса экспериментальной установки. Практически под таким же потенциалом находились катоды разрядной камеры. Пропан (C_3H_8) напускали в полый катод, расход газа $Q = 45 - 200 \text{ atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$. Давление в вакуумной камере составляло не более 0.1 Pa . Разряд поддерживался в непрерывном режиме. Ток разряда I_d регулировался в диапазоне $0.1 - 0.4 \text{ A}$. В качестве источника питания б использовался стабилизатор тока БПР-30-01. Измерение тока и напряжения разряда проводилось с помощью мультиметров MXD-4660A.

Для исследования влияния напуска углеводорода на условия поддержания разряда снимались зависимости напряжения горения разряда от времени $U_d(t)$ при фиксированных I_d и Q . Перед снятием каждой зависимости проводилась механическая очистка разрядной камеры и ее тренировка при напуске воздуха в течение 30 min .

Для исследования стабильности горения разряда проводилось снятие осциллограмм тока и напряжения разряда с использованием компьютерного двухканального осциллографа (программы «Oscilloscope 2.51», «Snagit 7»).

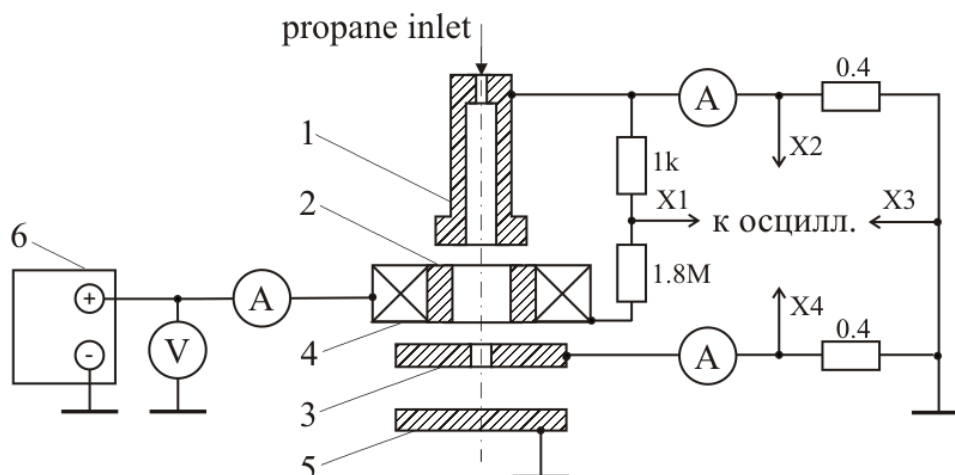


Рис.1. Схема измерений: 1 – полый катод, 2 – анод, 3 – катод-отражатель, 4 – магнит, 5 – коллектор, 6 – источник питания.

Для синхронного осциллографирования напряжения горения и полного тока разряда сигналы снимался с разъемов X_1 (1 канал) и X_2 и X_4 (2 канал). Для раздельного синхронного осциллографирования токов полого катода и катода-отражателя сигнал снимался с разъемов X_2 (1 канал) и X_4 (2 канал). Осциллограммы фиксировались непрерывно со скоростью 50 кадров в секунду и поступали в память компьютера.

Результаты и их обсуждение

Прежде всего, следует отметить, что через некоторый промежуток времени после начала работы на углеводороде наблюдается резкий рост U_d (рис. 2) в отличие от работы на воздухе (рис. 2d, кривая 1). Рост U_d , по-видимому, вызван образованием катодного покрытия из продуктов диссоциации молекул углеводорода в разряде и ухудшением условий горения разряда. С увеличением I_d (рис. 2a) и давления пропана в разрядной камере, которое можно регулировать путем изменения Q (рис. 2b) или диаметра эмиссионного отверстия в катод-отражателе (рис. 2c), скорость роста покрытий возрастает. При малом $Q = 45 \text{ atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$ (рис. 2d, кривая 2) в наблюдаемом диапазоне времени роста U_d не наблюдалось.

На кривых, представленных на рис. 2, специальным знаком отмечены минимальные U_d и t , начиная с которых проявляются разрядные неустойчивости. Осциллограммы

неустойчивостей представлены на рис. 3. Регистрировались резкие положительные скачки I_d до 3 А и отрицательные скачки U_d до 30 – 40 V (рис. 3a). Приведенные осциллограммы свидетельствуют о переходе на доли ms тлеющего разряда в дуговой. Соотношение между токами на полый катод и катод-отражатель при развитии дуги в большинстве случаев то же, что и в тлеющем разряде (рис. 3b).

Причиной возникновения катодного пятна дугового разряда является в данном случае зарядка катодного покрытия ионами, повышение напряженности электрического поля и последующий пробой покрытия [4]. Режим работы с образованием катодных пятен нежелателен при технологическом использовании ионного источника ввиду возможности попадания продуктов эрозии материала катодов в синтезируемые пленки.

Визуальные наблюдения электродов разрядной камеры после работы на пропане свидетельствуют об образовании на них покрытий в виде пленок и уплотненного порошка, состоящего, очевидно, из различных модификаций и соединений углерода. На аноде, который находится внутри кольцевого магнита, указанные выше покрытия имеют магнитные свойства. Это можно объяснить осаждением на аноде продуктов распыления и испарения ферромагнитного материала катодов.

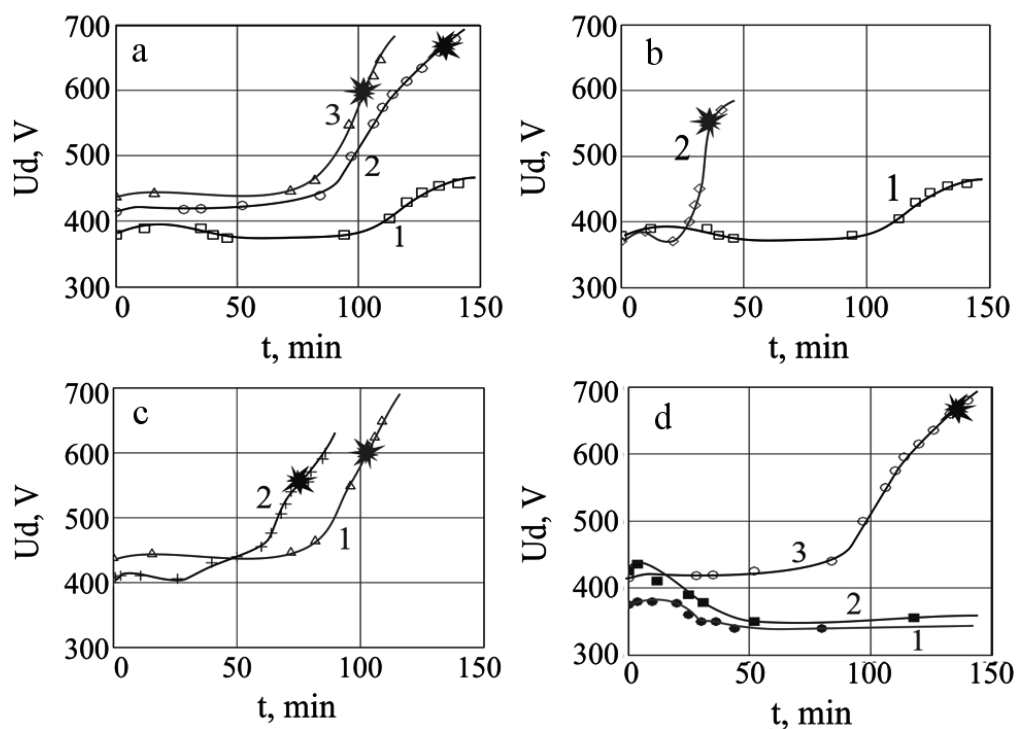


Рис.2. Зависимости напряжения горения разряда от времени его работы на пропане:

a – $Q = 85 \text{ atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$, I_d , A: 1 – 0.1, 2 – 0.2, 3 – 0.4;

b – $I_d = 0.1 \text{ A}$, Q , $\text{atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$: 1 – 85, 2 – 200;

c – $I_d = 0.4 \text{ A}$, $Q = 85 \text{ atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$, диаметр эмиссионного отверстия, mm: 1 – 5.5, 2 – 3.5;

d – $I_d = 0.2 \text{ A}$, Q , $\text{atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$: 1 – 85 (воздух), 2 – 45, 3 – 85.

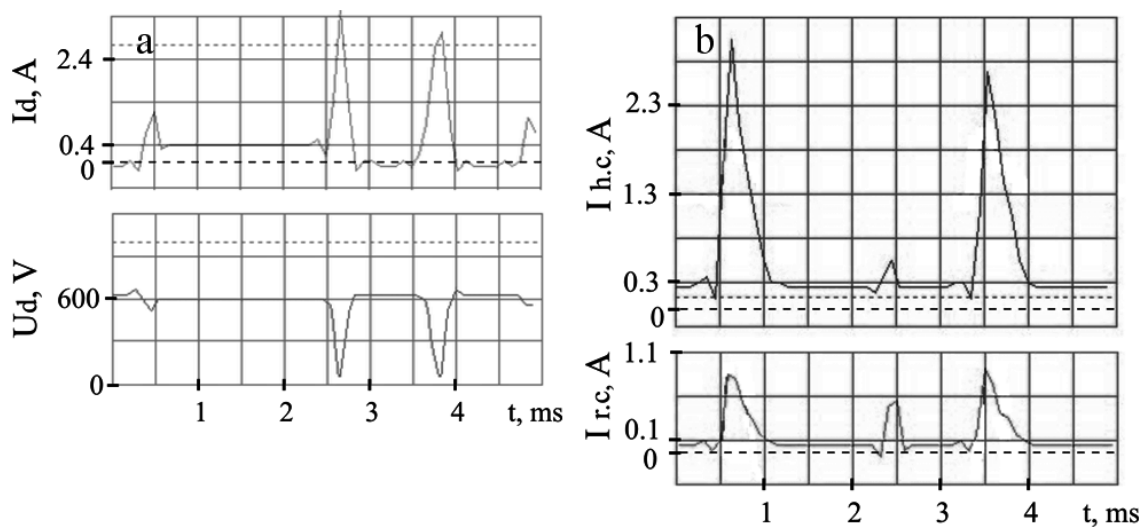


Рис.3. Осциллограммы тока I_d и напряжения горения разряда U_d (a) и токов на полый $I_{h.c.}$ и отражательный $I_{r.c.}$ катоды (б) через 100 min работы при $I_d = 0.4 \text{ A}$, $Q = 85 \text{ atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$.

Проведенные исследования показали возможность работы при малых I_d и Q в течение времени около 2.5 h без чистки разрядной камеры. При сравнительно больших I_d и Q источник ионов может использоваться с более частым проведением очистки. Следует

отметить, что выбор малых Q и I_d накладывает ряд ограничений на диапазон технологических возможностей источника ионов ввиду снижения интенсивности ионного потока.

Список литературы

- [1] V.Ya. Martens, B.M. Sinelnikov, E.F. Shevchenko, V.A. Tarala. 9th international conference on modification of materials with particle beams and plasma flows (9th CMM): proceedings. Tomsk, 2008. 96 p.
- [2] J.Robertson, Materials Science and Engineering 37, 180 (2002).
- [3] O.R. Monteiro 33rd IUVSTA Workshop and IV Brazilian Meeting on Diamond, Diamond-Like, Nanotubes, Nitrides and Silicon Carbide, Sao Paulo, Brazil, 2001.
- [4] Г.А.Месяц, Эктоны. Ч. 2, Екатеринбург, Наука, 1994.