

# 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  $4 \text{ mm}$ . Магнитное поле с индукцией около  $80 \text{ mT}$  в разрядной камере создавалось постоянным кольцевым магнитом 4. Для ограничения плазмы, проникающей через

эмиссионное отверстие в катод-отражателе, на расстоянии  $20 \text{ mm}$  от него устанавливался коллектор 5, имеющий потенциал корпуса экспериментальной установки. Практически под таким же потенциалом находились катоды разрядной камеры. Пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) напускали в полый катод, расход газа  $Q = 45 - 200 \text{ atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$ . Давление в вакуумной камере составляло не более  $0.1 \text{ Pa}$ . 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  $30 \text{ min}$ .

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

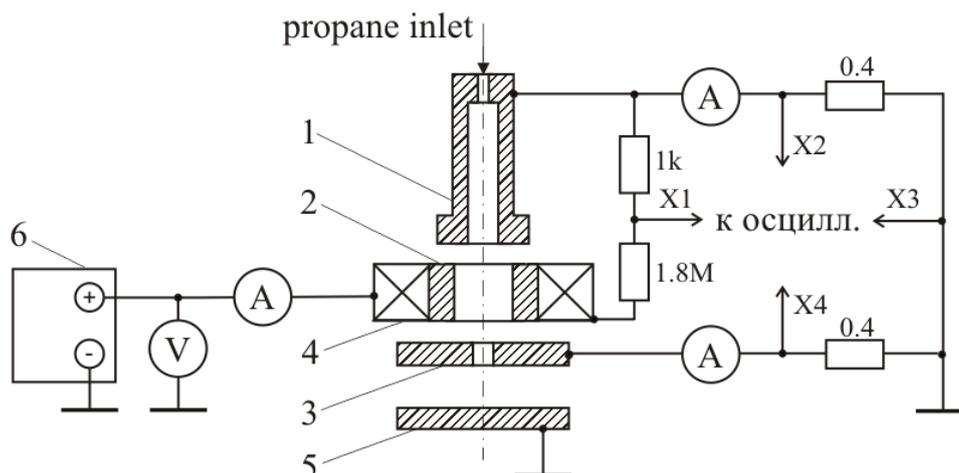


Рис.1. Схема измерений: 1 – полый катод, 2 – анод, 3 – катод-отражатель, 4 – магнит, 5 – коллектор, 6 – источник питания.

Для синхронного осциллографирования напряжения горения и полного тока разряда сигналы снимались 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 катоде-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 В (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.

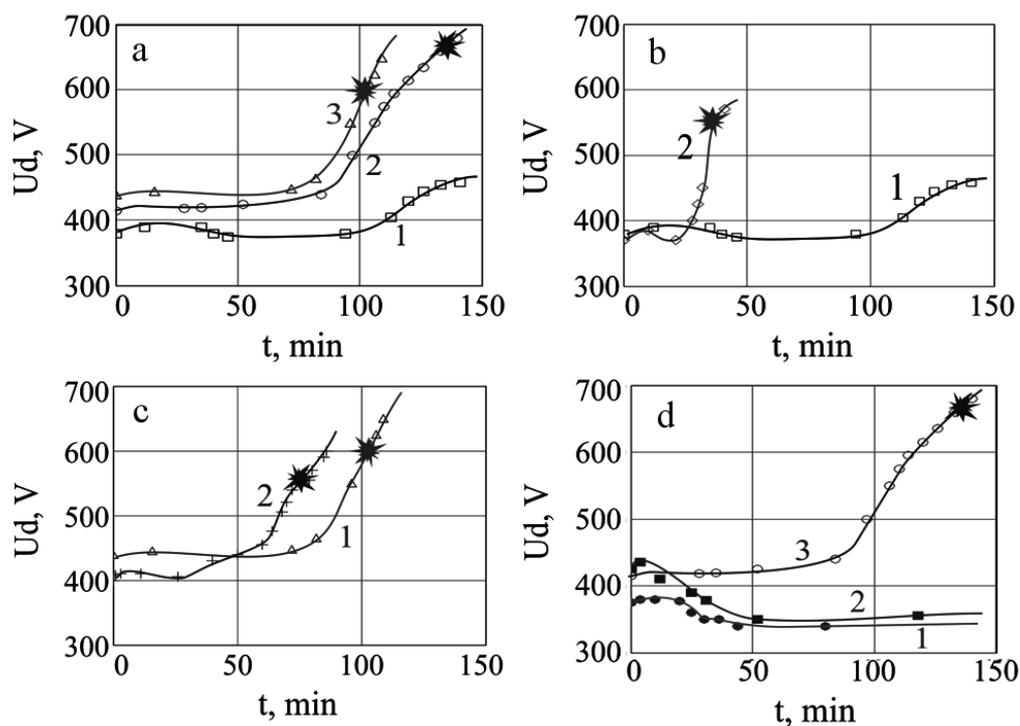


Рис.2. Зависимости напряжения горения разряда от времени его работы на пропане:

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.

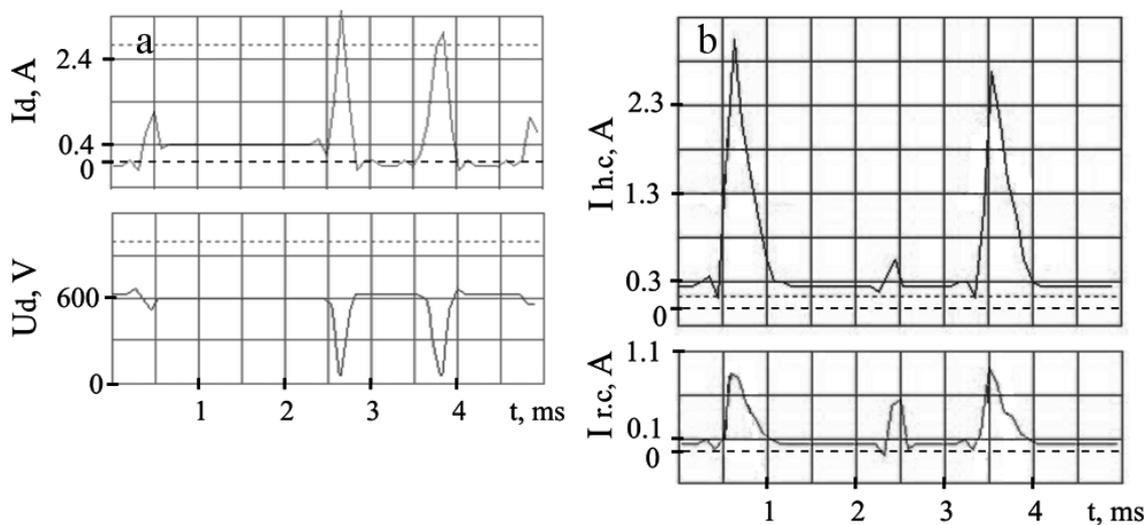


Рис.3. Осциллограммы тока  $I_d$  и напряжения горения разряда  $U_d$  (а) и токов на полый  $I_{h.c.}$  и отражательный  $I_{r.c.}$  катоды (б) через 100 min работы при  $I_d = 0.4 \text{ A}$ ,  $Q = 85 \text{ atm}\cdot\text{cm}^3/\text{h}$ .

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. 9<sup>th</sup> international conference on modification of materials with particle beams and plasma flows (9<sup>th</sup> CMM): proceedings. Tomsk, 2008. 96 p.
- [2] J.Robertson, Materials Science and Engineering 37, 180 (2002).
- [3] O.R. Monteiro 33<sup>rd</sup> 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.