

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИЗОЛИРОВАННОЙ ПОДЛОЖКИ В ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ КАТОДНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА

И.П. Смягликов¹, Н.И. Чубрик²

¹НИЦ “Плазмотег”, Физико-технический институт НАН Беларуси, ул. Купревича 10, 220141 Минск, Беларусь, ips.imaf@gmail.com

²Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Беларусь

The high-current cathodic arc in vacuum as well as in acetylene atmosphere at pressures of 0.2 to 2 Pa used for diamond-like carbon coating deposition is considered. Two cylindrical isolated probes were used to measure the floating potential and velocity of plasma. It was found that the substrate is under accelerating potential of $-(15\div 35)$ V during the discharge, and the value of potential is essentially independent of the main discharge energy and substrate spatial position. There observed floating potential ripple with amplitude of up to 20 V and frequency of 100–200 kHz for the substrate (probe) near the cathode. With increasing distance from the cathode surface the amplitude and frequency of the ripple are reduced considerably, and this decrease is more pronounced for the discharge in acetylene atmosphere (at acetylene partial pressure of 0.2 Pa the ripple amplitude is 1–5 V).

Анализ имеющихся многочисленных работ по получению алмазоподобных пленок показывает, что все исследования направлены, в основном, на изучение свойств и структуры покрытий без должного внимания к процессам, протекающим при их синтезе /1/. Комплексные исследования взаимосвязи термодинамических параметров среды и свойств покрытий с установлением закономерностей процесса, характерных для различных стадий синтеза, в настоящее время отсутствуют /2/. Настоящая работа посвящена применению зондовых методов для диагностики импульсных плазменных потоков.

Исследования проводились на экспериментальном комплексе, включающем импульсный плазменный ускоритель с магнитным сепаратором, оптико-спектральный блок многофункциональной диагностики и аппаратуру компьютерной регистрации параметров плазмы. Импульсно-периодические потоки углеродной плазмы генерировались в вакуумной камере с остаточным давлением до 10^{-3} Па с использованием четырехэлектродной системы с графитовым катодом и самовосстанавливающимся тонкопленочным токопроводом устройства поджига /3/. Эксперименты выполнены для разряда как в вакууме, так и в атмосфере ацетилена при давлении 0.2–2 Па. Емкость конденсаторной

батареи основного разряда составляла $C_3 = 2150$ мкФ при напряжении $U_3 = 200\text{--}400$ В, ток основного разряда $I_3 = 4\text{--}8$ кА, длительность импульса – около 200 мкс, частота следования импульсов 1–2 Гц.

В процессе разряда подложка подвергается воздействию заряженных частиц. Энергия этих частиц, их концентрация и заряд определяют потенциал подложки в каждой фазе разряда. Для понимания процессов, происходящих в разрядной плазме, были проведены измерения плавающего потенциала зондов известной конфигурации во время действия разрядного импульса. Характер изменения потенциала зонда во времени позволяет сделать вывод о наличии и степени поляризации плазменного потока, когда скорость самых высокоэнергетических электронов может существенно превышать скорость ионов, которая отождествляется со скоростью основного плазменного потока.

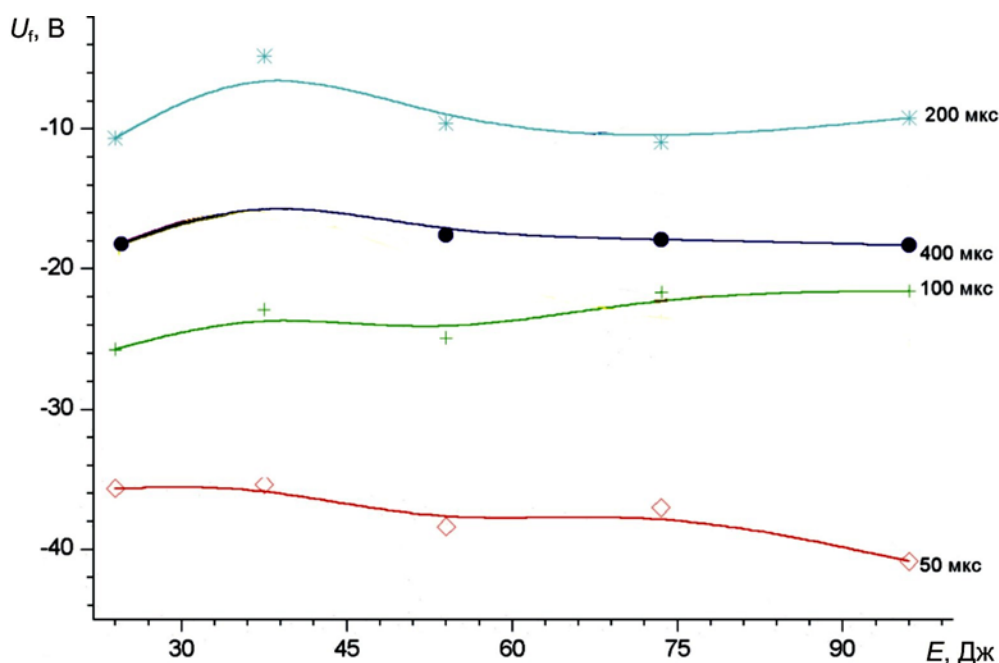


Рис. 1. Зависимость плавающего потенциала зонда от энергии конденсаторной батареи основного разряда в различные моменты времени после начала импульса тока.

Измерение потенциала зонда (подложки) осуществлялось с использованием высокоомного пробника и нормирующего дифференциального усилителя. Использовались два одинаковых цилиндрических зонда из нержавеющей стали диаметром 1 мм и длиной 20 мм (зонд I и зонд II), расположенные вблизи оси разряда на расстояниях 220 и 460 мм, соответственно. Сигнал с выхода усилителя подавался на аналого-цифровой преобразователь с частотой преобразования 10^7 с⁻¹ и

далее вводился в компьютер для последующей обработки. Запуск процесса регистрации данных производился по синхроимпульсу, поступающему от блока управления плазменного генератора. Измерения плавающего потенциала подложки U_f проведены совместно с измерением тока основного разряда I_3 . Было установлено, что в течение всего времени разряда подложка находится под ускоряющим ионы потенциалом – $(15 \div 35)$ В /4/. Причем значение потенциала подложки практически не зависит от энергии основного разряда, что отчетливо видно из **рисунка 1**, где показаны усредненные временные зависимости плавающего потенциала зонда.

Для изучения пространственно-временного распределения потенциала изолированной подложки в плазменном потоке были проведены измерения плавающих потенциалов двух идентичных зондов, установленных на оси разряда на удалении 220 мм (зонд I) и 460 мм (зонд II). На **рисунке 2** приведены характерные осциллограммы плавающих потенциалов этих зондов при разряде в вакууме и в ацетилене.

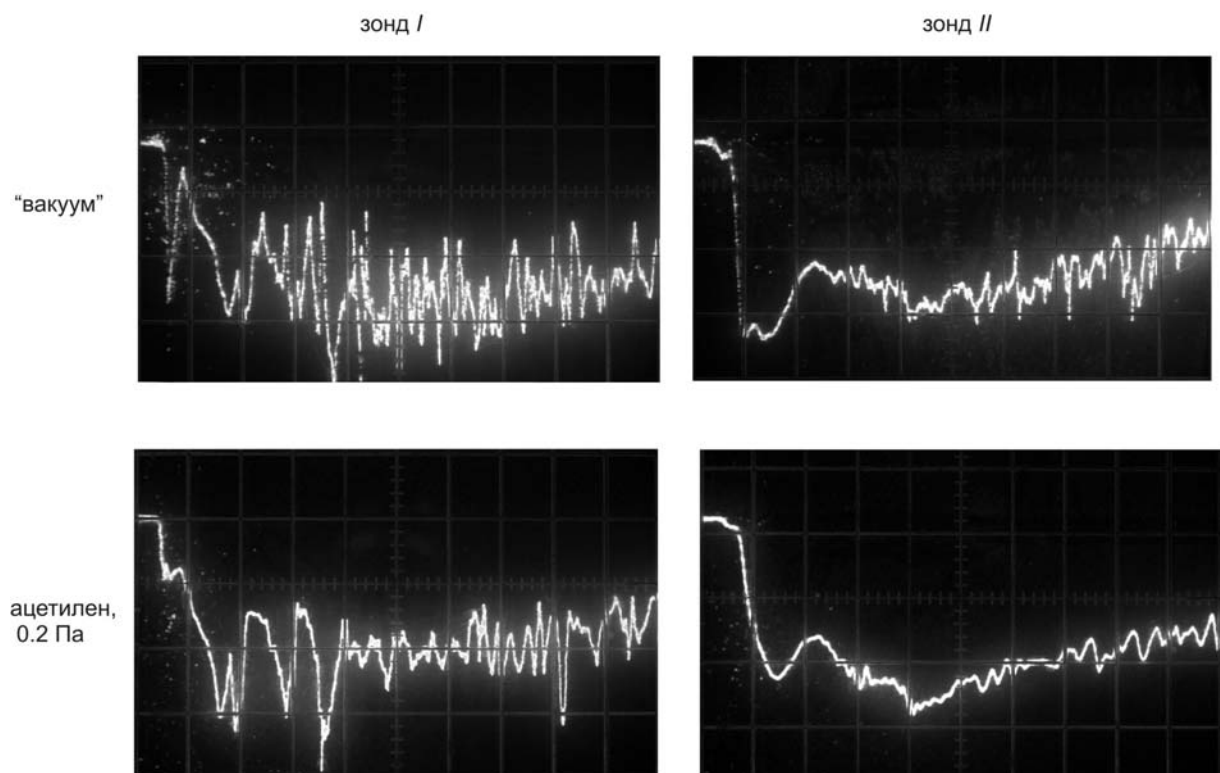


Рис. 2. Характерные осциллограммы плавающих потенциалов разноудаленных зондов при разряде в вакууме и в ацетилене (временное разрешение 20 мкс/клетку, усиление 10 В/клетку).

Из анализа полученных осциллограмм можно сделать следующие выводы. На временной зависимости плавающего потенциала вблизи катода (зонд *I*) наблюдаются пульсации с амплитудой до 20 В и частотой 100–200 кГц, соответствующей флуктуациям интенсивности светового импульса плазмы. При этом пульсации плавающего потенциала более выражены при разряде в вакууме. При большем удалении от поверхности катода (зонд *II*) амплитуда и частота этих пульсаций заметно снижаются, причем это снижение более сильное при разряде в ацетилене. Так при парциальном давлении ацетилена в разрядной камере 0.2 Па амплитуда пульсаций составляет 1–5 В.

Следует отметить, что плавающий потенциал на ближнем зонде начинает наводиться через 8–10 мкс и через 16–18 мкс – на дальнем, причем измеряемая временная задержка очень слабо зависит от давления ацетилена в разрядной камере. Это соответствует скорости плазменного потока от 20 до 40 км/с. Более точные измерения скорости исследуемого плазменного потока /5/ позволяют сделать вывод о том, что потенциал изолированной подложки начинает наводиться сначала самыми высокоэнергетическими электронами частично поляризованного плазменного потока, а затем уже собственно плазмой.

References

1. **Robertson J.** Materials Science and Engineering, 37(2002) 129–281.
2. **Grill A.** Diamond and Related Materials, 8(1999) 428–434.
3. **Smyaglikov I.P., Zolotovskiy A.I., Tatur V.G., and E.I. Tochitsky.** J. High Temperature Material Processes, 8, Issue 4 (2006) 617–624.
4. **Smyaglikov I.P., Chubrik N.I., Goncharik S.V., Azharonok V.V., Krat'ko L.E., Chekan N.M.** J. High Temperature Material Processes, 14, Issue 4 (2010) 151–158.
5. **Smyaglikov I.P., Chekan N.M., Chubrik N.I., Goncharik S.V.** Proc. VII Int. Conf. “Plasma physics and plasma technology”. – Minsk, Belarus. – September 17-21, 2012 (to be published).