

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

УДК 537.525

DOI: 10.17223/00213411/62/3/138

*В.В. ДЕНИСОВ, Ю.Х. АХМАДЕЕВ, Н.Н. КОВАЛЬ, С.С. КОВАЛЬСКИЙ, Н.Н. ПЕДИН, В.В. ЯКОВЛЕВ***ГЕНЕРАЦИЯ ПЛАЗМЫ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА С КОМБИНИРОВАННЫМ НАКАЛЕННЫМ И ПОЛЫМ КАТОДОМ***

Представлены результаты исследования импульсных режимов горения несамостоятельного дугового разряда с комбинированным накалимым и полым катодом. Измерены основные характеристики разряда при токах до 350 А и напряжении горения разряда до 200 В в диапазоне рабочих давлений 0.2–1 Па. Показано, что увеличение рабочего давления приводит к повышению тока разряда в результате газового усиления, вызванного улучшением процессов утилизации энергии быстрых электронов в процессах ионизации газа. Максимальный полученный ток разряда в атмосфере азота при давлении 0.8 Па составил 550 А при напряжении горения разряда до 200 В и максимальной импульсной мощности до 80 кВт. Концентрация плазмы в центре камеры объемом $\approx 0.2 \text{ м}^3$ составила величину около $4 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$ при плотности ионного тока из плазмы около 6.5 мА/см^2 и импульсной мощности разряда 18 кВт.

Ключевые слова: несамостоятельный дуговой разряд, низкое давление, накалимый катод, полый катод, импульсный режим горения, вольт-амперная характеристика.

Введение

Импульсные режимы генерации плазмы имеют ряд преимуществ перед стационарными разрядами в процессах модификации поверхности материалов и изделий. К таким преимуществам относятся возможности контроля плотности потока мощности на подложку за счет плавной регулировки коэффициента заполнения разрядного импульса, независимой регулировки всех параметров обработки, изменения зарядового состава плазмы и другие [1]. Это приводит к широкому набору инструментов для конструирования пучково-плазменных образований с заданными свойствами [2], определяющих возможности инженерии поверхности материалов в таких средах. Импульсные режимы генерации плазмы в аномальном тлеющем разряде при давлениях 50–1000 Па успешно используется для химико-термической обработки сталей [3]. Однако в плазме разрядов низкого (≈ 1 Па) давления скорость процесса азотирования может быть значительно, в 2–3 раза, выше [4]. Перспективными для генерации импульсной плазмы при низком давлении являются системы, позволяющие получать значительные (десятки-сотни ампер) токи, а значит, и повышенные значения концентрации плазмы. К таким разрядам относятся дуговые разряды [5] и, в частности, несамостоятельный дуговой разряд с комбинированным накалимым и полым катодом [6]. На основе этого разряда создан плазменный источник с накалимым и полым катодом «ПИНК» [7], позволяющий проводить ионно-плазменную обработку поверхности металлических изделий на стадиях очистки, нагрева, азотирования и плазменно-ассистированного напыления функциональных покрытий. Данный источник плазмы позволяет получать в стационарном режиме горения разряда концентрации заряженных частиц до 10^{17} м^{-3} .

Целью данной работы было исследование основных разрядных характеристик несамостоятельного дугового разряда с накалимым и полым катодом в импульсных режимах горения и особенностей генерации плазмы в них.

Описание экспериментальной установки

Для исследования импульсного несамостоятельного дугового разряда использовался экспериментальный стенд (рис. 1), собранный на основе промышленной ионно-плазменной установки ННВ-6.6-И1. На двери вакуумной камеры объемом 0.2 м^3 располагался плазменный источник с накалимым катодом «ПИНК» с диаметром полого катода 90 мм и длиной 300 мм, подробно описанный в [6]. Для уменьшения явления замагничивания электронов в магнитном поле, создаваемом током накала, в качестве накалимого катода использовалось четыре проволочных катода диаметром 0.8 мм из вольфрама, соединенные параллельно [8]. Один из электродов-держателей накалимого катода был напрямую соединен с полым катодом. Разрядное напряжение подавалось

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 16-48-700079 p_a и 18-38-00836 мол_a).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>