

УДК 533.523.3

## Экспериментальное исследование многоострийной отрицательной короны в потоке аргона

Б. Б. Балданов, Ч. Н. Норбоев

Отдел физических проблем при Президиуме Бурятского научного центра СО РАН,  
Улан-Удэ, Россия

*Представлены результаты экспериментальных исследований многоострийной отрицательной короны при атмосферном давлении в потоке аргона. Реализован переход импульсно-периодического режима многоострийной отрицательной короны в режим тлеющего разряда.*

PACS: 52.25.-b

### Введение

В последние годы возрос интерес к исследованию неравновесной низкотемпературной плазмы атмосферного давления и способам ее генерации. Во многом это связано с перспективами применения плазменных технологий в различных областях науки и техники: очистка задымленных газов, генераторы озона, плазмохимические реакторы и др. [1—4]). Одним из эффективных способов генерации неравновесной низкотемпературной плазмы является тлеющий разряд атмосферного давления (ТРАД) на основе коронного разряда [5].

Фундаментальным свойством отрицательной короны постоянного напряжения в конфигурации электродов острие—плоскость является ее переход в режим ТРАД [6]. Для реализации ТРАД необходимо использование специальных мер стабилизации отрицательной короны, при этом удается существенно отодвинуть токовую границу появления искры в электроотрицательном [6, 7] и электроположительном газе [8—10]. В таком случае в токовой области между известными формами разряда — короной и искрой — возникает новый вид разряда: диффузный тлеющий разряд при атмосферном давлении, создающий стационарную и однородную неравновесную плазму по всему объему межэлектродного промежутка.

Для создания ТРАД наибольшее распространение получила электродная система с коронирующими остриями и плоским анодом [5, 11, 12]. Данный способ генерации ТРАД позволяет реализовать в межэлектродном промежутке высокие по сравнению с классической отрицательной короной в геометрии острие—плоскость, плотности тока  $J \sim 10 \text{ мА/см}^2$  и электрического поля  $E/N \sim 75\text{—}100 \text{ Тд}$  ( $N$  — плотность газа) [5]. Между тем основные исследования отрицательной короны проведены в относительно сложных молекулярных газах и в различных газовых смесях, что усложня-

ет анализ процессов, происходящих в коронирующем слое. В этой связи представляют интерес исследования отрицательной короны в простых (одноатомных) газах [13].

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований многоострийной отрицательной короны постоянного напряжения в потоке аргона.

### Экспериментальная техника и методика

Для исследования многоострийной отрицательной короны в потоке аргона использована специальная электродная конструкция с однорядным многоострийным катодом и плоским анодом (рис. 1). В качестве острий использовались стальные иглы диаметром 2 мм, длиной конической части 4 мм и радиусом вершины острия 30 мкм. Межэлектродное расстояние  $d$  составляло 2 см. Анод представляет собой стальную пластину шириной 3 см. Максимальное напряжение регулируемого высоковольтного источника составляло 20 кВ.

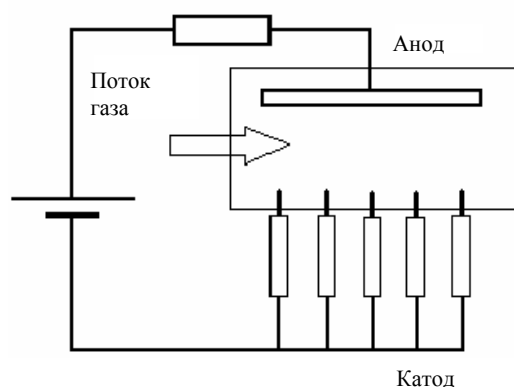


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Для стабилизации разряда использовалась методика, предложенная в работах [5, 6], согласно

которой каждое острие нагружалось регулируемым большим сопротивлением  $R$  ( $>1$  МОм). Устойчивость разряда относительно перехода отрицательной короны в искровой пробой разрядного промежутка достигалось также слабой прокачкой газа через разрядный промежуток. Расход аргона  $G$  измерялся с помощью ротаметра РМ-А-0,16 ГУЗ до  $5 \cdot 10^{-5}$  кг/с. Исследования формы, амплитуды и длительности импульсной компоненты тока и напряжения короны проводились с использованием малоиндуктивных токовых шунтов и двухлучевого осциллографа.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Многоостристая отрицательная корона в атмосфере аргона зажигается в импульсно-периодическом режиме и характеризуется регулярными импульсами тока с длительностью, лежащей в миллисекундном диапазоне [10, 14], аналогичными импульсам Тричела в воздухе [15].

В данном режиме горения отрицательной короны светятся лишь кончики острий, при этом свечение межэлектродного промежутка слабое. Необходимо отметить, что при одинаковых балластных сопротивлениях  $R$  на остриях отрицательная корона зажигается вначале на крайних остриях, а затем зажигаются остальные. Такая же картина наблюдается при переходе отрицательной короны в режим ТРАД и далее при искровом пробое разрядного промежутка. Влияние данного эффекта можно устранить, увеличивая балластные сопротивления  $R$  на крайних остриях, что позволяет повысить устойчивость разряда и увеличить токовую область существования коронного разряда.

Типичные вольт-амперные характеристики (ВАХ) отрицательной короны с различным количеством острий представлены на рис. 2. Как видно из представленных результатов, увеличение числа острий и балластных сопротивлений  $R$  на крайних остриях приводит к существенному увеличению токовой области существования коронного разряда по сравнению с отрицательной короной в конфигурации электродов острие—плоскость. Предельные токи соответствуют искровому пробое разрядного промежутка.

Заметное влияние на токовую область многоостристой отрицательной короны оказывает шаг расположения острий. На рис. 3 представлена редуцированная вольт-амперная характеристика (РВАХ) многоостристой отрицательной короны в зависимости от шага расположения острий.

На РВАХ выделяются два участка с линейной зависимостью приведенного тока от напряжения — в импульсно-периодическом режиме отрицательной короны и в режиме ТРАД. Место излома РВАХ (критический ток  $I^*$ ) отождествляется с на-

чалом перехода отрицательной короны в режим ТРАД [6]. Как видно из рис. 3, с уменьшением шага увеличивается общий ток отрицательной короны. Это связано с тем что, вследствие взаимной экранировки острий [11] снижается напряженность поля в прикатодной области отрицательной короны, а объемная плотность заряда и электрическое поле в дрейфовой области короны возрастают. Когда напряженность электрического поля в дрейфовой области коронного разряда становится достаточной для интенсивной ионизации газа, при критическом токе  $I^*$  импульсно-периодический режим многоостристой отрицательной короны переходит в режим ТРАД [5, 6].

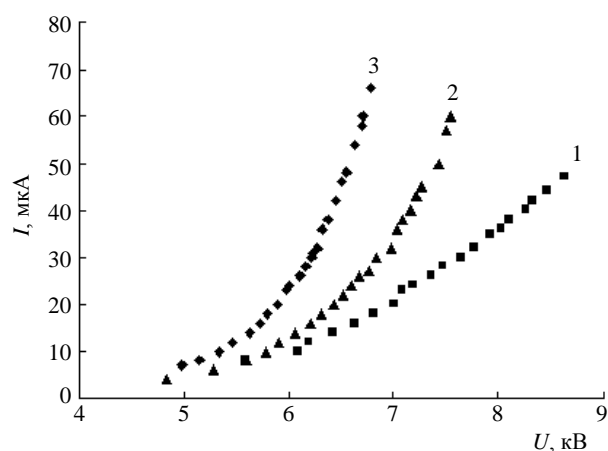


Рис. 2. ВАХ отрицательной короны: 1 — одно острие; 2 — три острия; 3 — пять острий при шаге расположения острий 3 мм

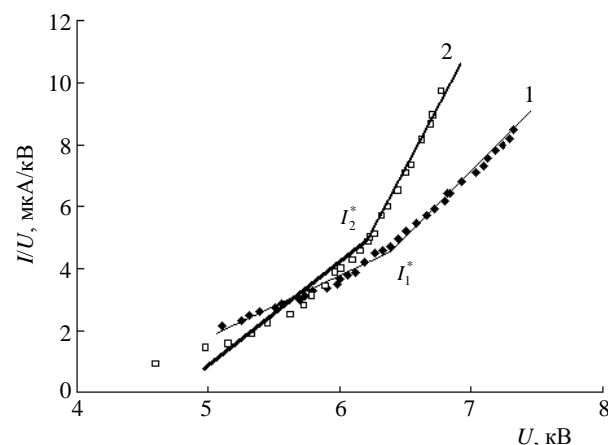


Рис. 3. ВАХ многоостристой отрицательной короны в зависимости от шага расположения острий:  $I^*$  — ток перехода отрицательной короны в режим ТРАД; 1 — шаг между остриями 3 мм; 2 — шаг между остриями 7 мм; число острий — 5; межэлектродное расстояние  $d = 2$  см

Переход многоостристой отрицательной короны в режим ТРАД происходит при небольших токах, приходящихся на отдельное острие, и сопровождается исчезновением импульсов тока и появлением светящегося положительного столба.

При переходе на аноде фиксируется анодный слой в виде светящейся пленки, характерный для тлеющего разряда. Токовая область существования ТРАД с увеличением числа острий существенно увеличивается (рис. 4).

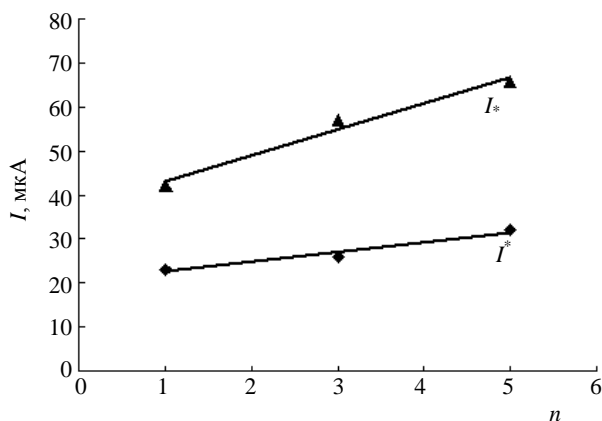


Рис. 4. Токовая область существования тлеющего разряда атмосферного давления в зависимости от числа острий. Межэлектродное расстояние  $d = 2$  см;  $I^*$  – ток перехода импульсно-периодического режима многоострийной отрицательной короны;  $I_*$  — ток перехода в искру

### Заключение

Увеличение балластных сопротивлений  $R$  на коронирующих остриях, уменьшение шага расположения острий и наличие слабой прокачки газа через разрядный промежуток позволяют стабилизировать разряд и увеличить токовую область существования многоострийной отрицательной короны в аргоне.

Экспериментально реализован переход импульсно-периодического режима многоострийной

отрицательной короны в режим тлеющего разряда атмосферного давления, который сопровождается исчезновением импульсов тока, появлением светящегося положительного столба в разрядном промежутке и светящейся пленки на аноде, свидетельствующая об образовании анодного слоя, характерного для тлеющего разряда.

### Литература

1. Верещагин И. П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Eliasson B., Kogelschatz U.// J. de Chimie Physique. 1986. V. 83. P. 279.
3. Non-thermal plasma techniques for pollution control// Part A. NATO ASI Series. 1993.
4. Masuda S.// Pure and Appl. Chem. 1998. V. 60. P. 727.
5. Акишев Ю. С., Дерюгин А. А., Каральник В. Б. и др.// Физика плазмы. 1994. Т. 20. № 6. С. 571, 585.
6. Акишев Ю. С., Грушин М. Е., Кочетов И. В. и др.// Там же. 2000. Т. 26. С. 172.
7. Акишев Ю. С., Грушин М. Е., Каральник В. Б. и др.// Там же. 2003. Т. 29. № 2. С. 198.
8. Акишев Ю. С., Грушин М. Е., Каральник В. Б., Трушкин Н. И.// Там же. 2001. Т. 27. № 6. С. 550.
9. Акишев Ю. С., Анонин Г. И., Каральник В. Б. и др.// Там же. 2004. Т. 30. № 9. С. 835.
10. Дандарон Г.-Н. Б., Балданов Б. Б.// Там же. 2007. Т. 33. № 3. С. 273.
11. Козлов Б. А., Соловьев В. И.// ЖТФ. 2006. Т. 76. Вып. 7. С. 1.
12. Козлов Б. А., Соловьев В. И.// Там же. 2007. Т. 77. Вып. 7. С. 70.
13. Белевцев А. А., Биберман Л. М.// Изв. АН СССР. Сер. Энергетика и транспорт. 1981. № 3. С. 104.
14. Дандарон Г.-Н. Б., Балданов Б. Б.// Прикладная физика. 2007. № 1. С. 85.
15. Trichel G. W.// Phys. Rev. 1938. V. 54. P. 1078.

Статья поступила в редакцию 1 августа 2008 г.

## Experimental research of a multipoint of negative corona

B. B. Baldanov, Ch. N. Norboev

Department of Physical Problems at Presidium of the Buryat Centre of Science of the SB RAS, Ulan-Ude, Russia

*Results of experimental researches multipoint a negative corona are submitted at atmospheric pressure in a stream of argon. Transition of a pulsed-periodic regime multipoint a negative corona in a glow-discharge mode is realized.*

PACS: 52.25.-b