

## О повышении предельного тока тлеющего разряда атмосферного давления в потоке аргона

© Б.Б. Балданов, Ц.В. Ранжуров

Институт физического материаловедения СО РАН,  
670047 Улан-Удэ, Россия  
e-mail: baibat@mail.ru

(Поступило в Редакцию 23 апреля 2013 г.)

Исследовано формирование тлеющего разряда атмосферного давления в электродной системе многоострыйный катод — плоский анод в потоке аргона. Показано, что секционирование катода, наличие индивидуальных балластных сопротивлений на коронирующих остриях позволяют существенно расширить токовую область существования разряда и значительно увеличить предельный ток ТРАД. Установлено влияние формы некоронирующего электрода на величину предельного тока разряда.

Одним из эффективных способов генерации неравновесной низкотемпературной плазмы является тлеющий разряд атмосферного давления (ТРАД) формируемого на основе коронного разряда [1]. Для получения ТРАД требуется использование специальных мер стабилизации отрицательной короны, при этом удается существенно отодвинуть токовую границу появления искры в электроотрицательном [2,3] и в электроположительном газе [4,5]. 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 [2]. Основными преимуществами реализованного ТРАД в сравнении с барьерным и коронным разрядами являются: высокая объемная однородность горения, экономичность, возможность масштабирования конструкции в широких пределах.

Для создания ТРАД наибольшее распространение получила электродная система с коронирующими остриями и плоским анодом, которая характеризуется большой надежностью и виброустойчивостью по сравнению с протяженными проволочными системами. Данный способ генерации ТРАД позволяет реализовать в межэлектродном промежутке высокие по сравнению с классической отрицательной короной в геометрии острие—плоскость, плотности тока  $J \sim 10 \text{ mA/cm}^2$  и электрического поля  $E/N \sim 75\text{--}100 \text{ Td}$  ( $N$  — плотность газа) [2]. Уникальные свойства реализованного разряда стимулируют исследования, направленные на выяснение условий, позволяющих получить большую мощность и максимально высокую эффективность генерации плазмы (см., например, [6–9]).

Основной целью настоящей работы являются выяснения условий достижения максимальных значений предельного тока, соответствующего переходу ТРАД в искровой пробой разрядного промежутка.

На рис. 1 представлена схема разрядной камеры с четырьмя катодными секциями, каждая из которых имела длину 14 и ширину 7.5 см. Длина секционированного ка-

тода составляет 28 см. Разряд создавался в специальной электродной конструкции с многоострийным секционированным катодом и плоским металлическим анодом. Радиус закругления острия иголок составляет  $30 \mu\text{m}$ , количество острий в катодной секции  $N = 26$ , которые расположены на расстоянии  $h = 18 \text{ mm}$  друг от друга. Для стабилизации разряда каждое острие нагружалось регулируемым большим сопротивлением  $R (> 1 \text{ M}\Omega)$ . Анод представляет собой плоскую металлическую пластину площадью  $S = 726 \text{ cm}^2$ . Разряд зажигался с применением регулируемого высоковольтного источника ВС-20-10 ( $U = 20 \text{ kV}$ ). Устойчивость разряда относительно перехода отрицательной короны в искровой пробой разрядного промежутка достигается также слабой прокачкой газа через разрядный промежуток. Газ продувался перпендикулярно направлению электрического тока. Скорость прокачки газа  $v$  на входе в разрядную камеру варьировалась в пределах  $0.45\text{--}2.24 \text{ m/s}$ .

В импульсно-периодическом режиме отрицательной короны генерационные зоны вблизи коронирующих острий ярко выражены, а свечение межэлектродного промежутка слабое. При переходе отрицательной короны в режим ТРАД, разряд наблюдается в виде однородных самостоятельных разрядов, заполняющих большую часть разрядной области и перекрывающих все межэлектродное расстояние. Поперечное сечение плазмы тлеющего разряда наблюдается в виде расширяющихся цилиндрических каналов, вершины которых располага-

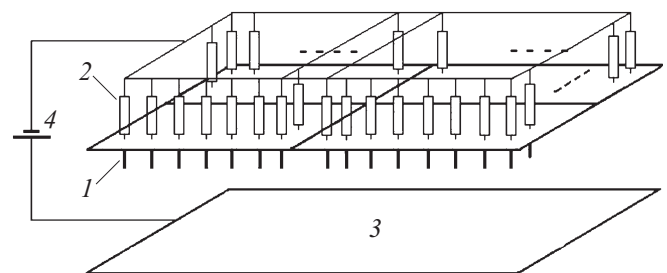
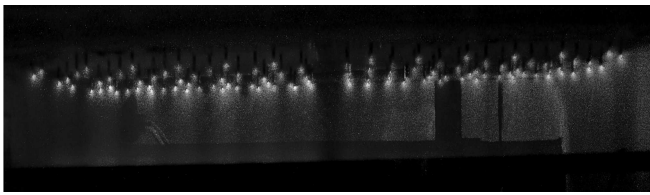
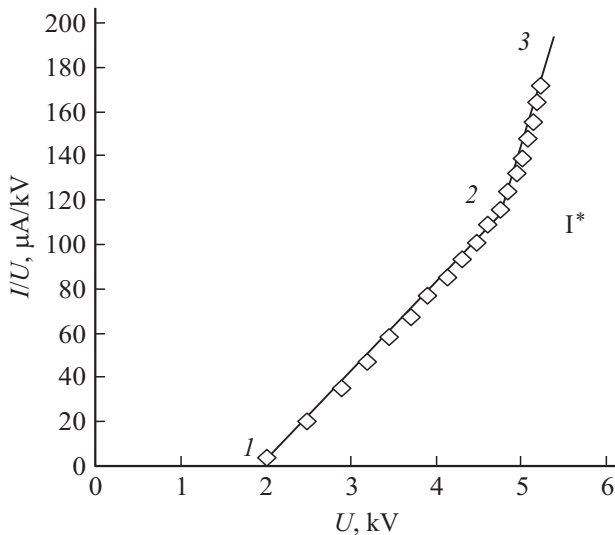


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — катод, 2 — балластные сопротивления, 3 — анод, 4 — источник питания.



**Рис. 2.** Фотография свечения тлеющего разряда атмосферного давления. Межэлектродное расстояние  $d = 2$  см.



**Рис. 3.** РВАХ тлеющего разряда атмосферного давления (величина тока пересчитана на одно острие):  $I^*$  — критический ток перехода. Межэлектродное расстояние  $d = 2$  см.

лись в области острий, а основание около плоского анода (рис. 2).

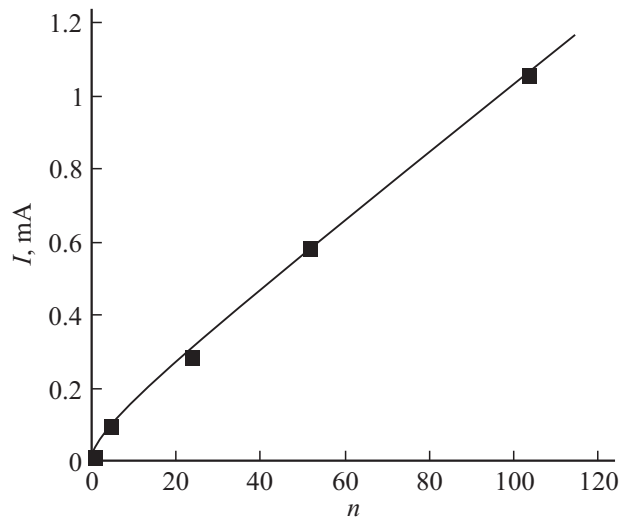
На редуцированной вольт-амперной характеристике (РВАХ) можно выделить два участка с линейной зависимостью приведенного тока от напряжения — в импульсно-периодическом режиме отрицательной короны (участок 1–2, на рис. 3) и в режиме ТРАД (участок 2–3, на рис. 3), место пересечения двух экстраполированных прямых отождествляется с началом перехода режима коронного разряда в режим тлеющего разряда [2]. Как видно, включение ионизации в дрейфовой области разрядного промежутка приводит к более крутому нарастанию тока с напряжением в режиме тлеющего разряда атмосферного давления по сравнению с режимом коронного разряда. После критического тока  $I^*$ , соответствующего излому РВАХ, свечение разряда однородно заполняет весь разрядный промежуток, что характерно для классического тлеющего разряда.

Увеличение количества острий и наличие индивидуальных балластных сопротивлений на остриях, а также секционирование катода позволяют значительно увеличить предельный ток разряда и соответственно существенно расширить токовую область существования

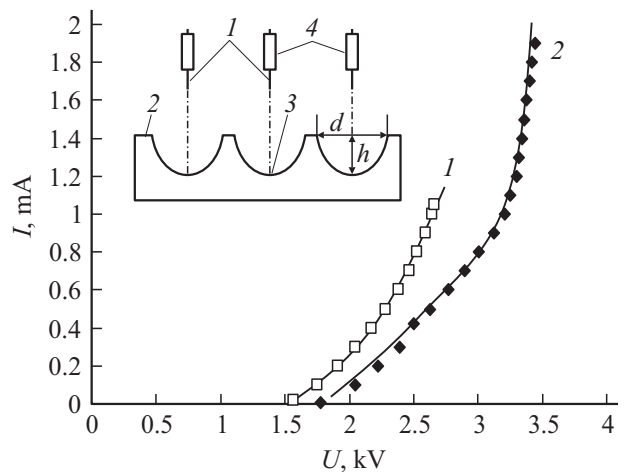
ТРАД (рис. 4) по сравнению с отрицательной короной в конфигурации электродов острие–плоскость.

Дальнейшему повышению предельного тока препятствует переход ТРАД в искровой пробой разрядного промежутка. Поскольку искровой разряд возникает в результате локального усиления напряженности поля во внешней области разряда и определяется плотностью ионного пространственного заряда, ее уменьшение за счет расширения профиля тока возможно при использовании некоронирующих электродов различной формы [6].

На рис. 5 представлена ВАХ ТРАД со сплошным 1 и с профилированным 2 анодом. Как видно рис. 5, при наличии на поверхности плоского металлического анода



**Рис. 4.** Зависимость предельного тока тлеющего разряда атмосферного давления от количества коронирующих острий  $n$ . Межэлектродное расстояние  $d = 2$  см.



**Рис. 5.** ВАХ ТРАД со сплошным 1 и с профилированным 2 анодом. Межэлектродное расстояние  $d = 1$  см. На врезке — схема экспериментальной установки: 1 — катодные острия, 2 — профилированный анод, 3 — сферические углубления, 4 — балластные сопротивления.

небольших сферических углублений  $З$ , центры которых совпадают с вертикальной осью катодных острий  $I$  (см. врезку на рис. 5), предельный ток ТРАД возрастает практически в 2 раза в сравнении с предельным током ТРАД со сплошным анодом.

### Список литературы

- [1] *Акишев Ю.С., Дерюгин А.А., Каральник В.Б.* и др. // Физика плазмы. 1994. Т. 20. № 6. С. 571.
- [2] *Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Кочетов И.В.* и др. // Физика плазмы. 2000. Т. 26. № 2. С. 172.
- [3] *Афанасьев С.Б., Лавренюк Д.С., Петрушенко И.Н.* и др. // ЖТФ. 2008. Т. 78. Вып. 7. С. 30.
- [4] *Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Каральник В.Б., Трушкин Н.И.* // Физика плазмы. 2001. Т. 27. № 6. С. 550.
- [5] *Дандарон Г.-Н.Б., Балданов Б.Б.* // Физика плазмы. 2007. Т. 33. № 3. С. 273.
- [6] *Козлов Б.А., Соловьев В.И.* // ЖТФ. 2006. Т. 76. Вып. 7. С. 1.
- [7] *Козлов Б.А., Соловьев В.И.* // ЖТФ. 2007. Т. 77. Вып. 7. С. 70.
- [8] *Смирнов С.А., Баранов Г.А.* // ЖТФ. 2001. Т. 71. Вып. 7. С. 30.
- [9] *Балданов Б.Б.* // Физика плазмы. 2009. Т. 35. № 7. С. 603–610.