

ИНИЦИАЦИЯ ОБЪЕМНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБКЕ С ПОМОЩЬЮ СЛАБОТОЧНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА В АРГОНЕ

© 2023 г. Б. Б. Балданов^{а,*}

^аИнститут физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

*e-mail: baibat@mail.ru

Поступила в редакцию 17.02.2023 г.

После доработки 29.03.2023 г.

Принята к публикации 02.07.2023 г.

Экспериментально получен самостоятельный объемный тлеющий разряд при атмосферном давлении в атмосфере аргона. Объемный тлеющий разряд реализуется в электродной системе, состоящей из тонкой металлической проволоки и металлической сетки с диэлектрическим барьером, и зажигается с помощью вспомогательного разряда – слабotoчного поверхностного разряда, инициируемого на торце стеклянной трубки по поверхности диэлектрика между катодом в форме острия и цилиндрическим металлическим анодом.

DOI: 10.31857/S0032816223060083, EDN: FTKLUN

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для генерации пространственно-однородной неравновесной плазмы при атмосферном давлении используются различные типы газовых разрядов (коронные разряды, разряд с микрополым катодом, капиллярный разряд, различные типы диэлектрических барьерных разрядов) [1–7]. Тлеющий разряд атмосферного давления (ТРАД) является одним из эффективных и перспективных источников, при этом разряд выгодно отличается как простотой геометрии разряда, так и электрического оборудования. Возможности ТРАД представляют особый интерес для биомедицинских применений из-за равномерности свечения разряда и относительно низкого напряжения, необходимого для поддержания разряда.

В большинстве исследований ТРАД формируется при малых (миллиметровых) межэлектродных промежутках [8–10]. В данных условиях преобладающими являются процессы, происходящие в катодном слое микроуразрядов. И за счет нелокальных эффектов в плазме микроуразрядов можно получить распределения электронов по энергиям, содержащие большие концентрации высокоэнергетичных электронов при низких температурах газа. Однако с увеличением тока разряда растет и температура газа, вследствие чего режим устойчивого горения микроуразрядов ограничен областью малых токов и простых газо-

вых смесей. Другая проблема связана с тем, что плазма микроуразрядов имеет небольшие размеры, что существенно сужает область применения разряда.

Одним из основных ограничений является то, что с повышением давления тлеющий разряд становится неустойчивым вследствие перехода разряда в искровой или дуговой разряды [11]. Для повышения устойчивости диффузного тлеющего разряда при атмосферном давлении используются специальные геометрии электродов и различные способы возбуждения газовой среды [12–15]. Необходимо отметить, что в атомарных газах и других легких газах при высоких давлениях тлеющие разряды более устойчивы [16].

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Схема экспериментального газоразрядного источника объемной неравновесной (холодной) плазмы представлена на рис. 1.

Газоразрядная камера 5 представляет собой стеклянную трубку длиной 125 мм и диаметром 12 мм. Разрядная камера содержит тонкий металлический провод – катод 1 (диаметр 1 мм) с заточенным концом с радиусом закругления острия 25 мкм. Катод установлен на оси изолятора 4 в диэлектрическом (политетрафторэтилен) корпусе, имеющем форму цилиндра диаметром 7 мм. Анод 2 представляет собой металлический ци-

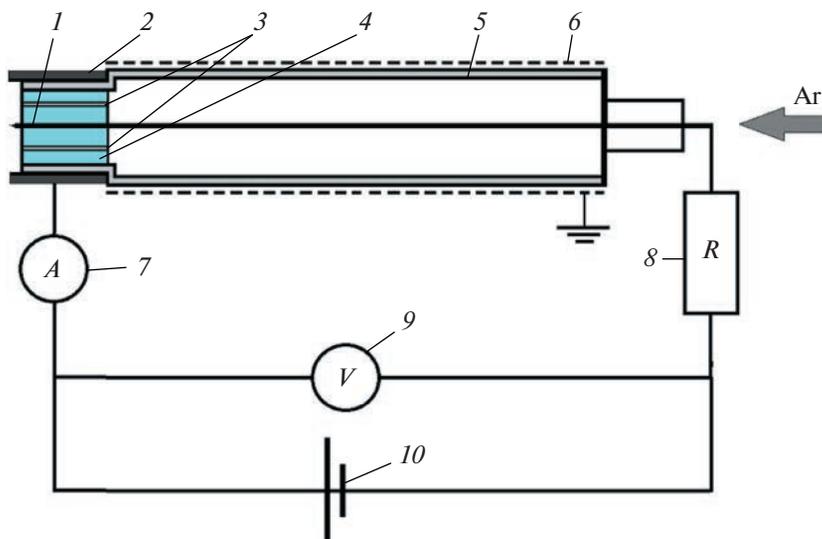


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – тонкий металлический провод – катод, 2 – цилиндрический анод, 3 – проходные отверстия для прокачки газа, 4 – цилиндрический изолятор (политетрафторэтилен), 5 – стеклянная трубка, 6 – сетчатый металлический электрод, 7 – амперметр, 8 – балластное сопротивление, 9 – вольтметр, 10 – источник питания.

линдр длиной 10 мм и внутренним диаметром 13 мм, коаксиально охватывающий катод-острие. Изолятор 4 снабжен продольными проходными отверстиями 3 для подачи аргона.

Для стабилизации разряда катод-острие нагружается регулируемым балластным сопротивлением 8. Стеклянную колбу 5 коаксиально охватывает заземленная металлическая сетка 6. От регулируемого высоковольтного источника 10 подается постоянное напряжение до 20 кВ. Величина балластного сопротивления 8 во внешней цепи варьируется от 10 до 63 МОм. Расход аргона $G < 2.8 \cdot 10^{-2}$ кг/с.

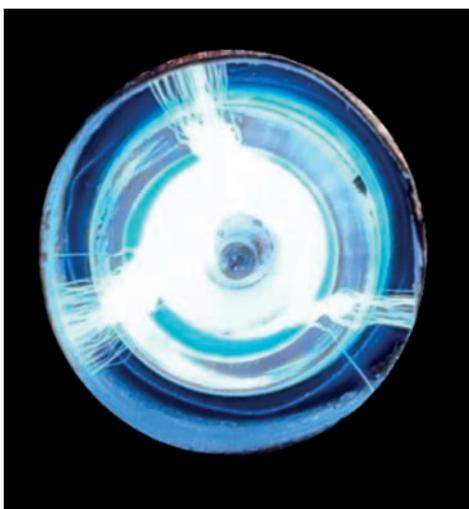


Рис. 2. Слаботочный поверхностный разряд. Ток разряда $I = 0.45$ мА.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Самостоятельный объемный тлеющий разряд атмосферного давления реализуется в трехэлектродной системе и зажигается с помощью вспомогательного разряда (рис. 2). Вспомогательный разряд представляет собой слабоочный поверхностный разряд, инициируемый на торце стеклянной трубки по поверхности диэлектрика между катодом-острием 1 (рис. 1) и цилиндрическим металлическим анодом 2 (рис. 1) при подаче высокого напряжения ($U = 11.2$ кВ) на катод.

Визуально поверхностный разряд представляет собой слабоочные стримерные разряды в форме тонких токовых нитей, радиально расходящиеся от катода-острия в направлении цилиндрического металлического анода. Интенсивность и количество возникновения стримерных разрядов увеличивается с увеличением приложенного напряжения.

При инициации слабоочного поверхностного разряда на торце стеклянной трубки (рис. 2) одновременно зажигается объемный однородный тлеющий разряд в электродной системе, состоящей из тонкой металлической проволоки 1 и металлической сетки 6 с диэлектрическим барьером 5, в качестве которого используется стеклянная трубка толщиной $d = 4$ мм (рис. 3а).

На рис. 3а представлена фотография самостоятельного объемного тлеющего разряда атмосферного давления в коаксиальной геометрии электродов.

Как видно, тлеющий разряд полностью заполняет полость стеклянной трубки, при этом свече-

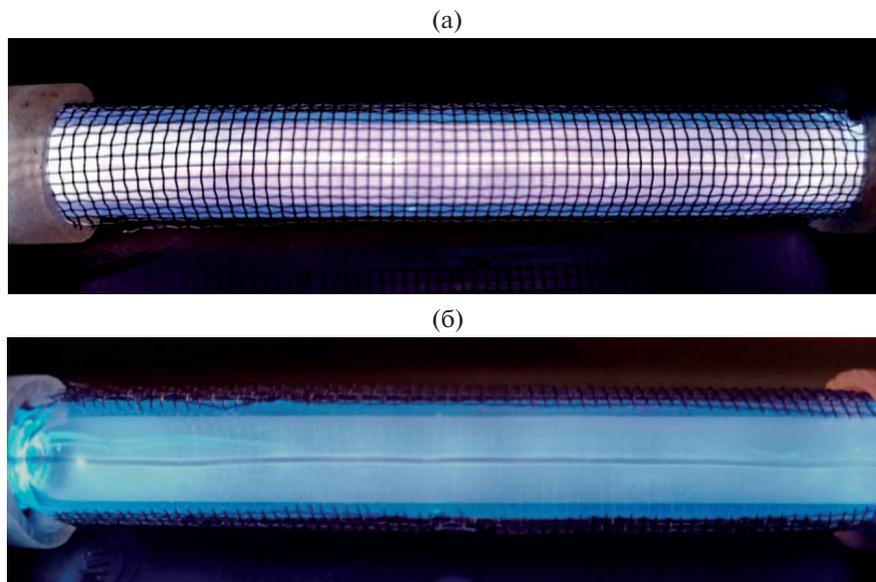


Рис. 3. Фотография самостоятельного объемного тлеющего разряда атмосферного давления.

ние по всему объему является достаточно однородным и равномерным (рис. 3б).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально реализован объемный самостоятельный тлеющий разряд атмосферного давления на постоянном токе в трехэлектродной системе, в которой в качестве вспомогательного разряда используется слаботочный поверхностный разряд между катодом в форме острия и цилиндрическим металлическим анодом.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (научная тема 0270-2021-0001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roth J.R., Rahel J., Dai X., and Sherman D.M. // J. Phys. D. 2005. V. 38. P. 555. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/38/4/007>
2. Temmerman E., Akishev Yu., Trushkin N., Leys Ch., Verschuren J. // J. Phys. D. 2005. V. 38. № 4. P. 505. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/38/4/001>
3. Becker K.H. History of Non-Equilibrium Discharges – Corona Discharges. Series in Plasma Physics: Non-equilibrium air plasmas at atmospheric pressure. London: IOP Publishing, 2005.
4. Dudek D., Bibinov N., Engemann J., and Awakowicz P. // J. Phys. D. 2007. V. 40. P. 7367. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/40/23/017>
5. Iza F., Kim G.J., Lee S.M., Lee J.K., Walsh J.L., Zhang Y.T., Kong M.G. // Plasma Process. Polym. 2008. V. 5. № 4. P. 322. <https://doi.org/10.1002/ppap.200700162>
6. Tynan J., Law V.J., Ward P., Hynes A.M., Cullen J., Byrne G., Daniels S., Dowling D.P. // Plasma Source Sci. Technol. 2010. V. 19. P. 015015. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/19/1/015015>
7. Locke B.R., Shih K.-Y. // Plasma Source Sci. Technol. 2011. V. 20. P. 034006. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/20/3/034006>
8. Becker K., Kersten H., Hopwood J., Lopez J.L. // Eur. Phys. 2010. V. 60. P. 437. <https://doi.org/10.1140/epjd/e2010-00231-4>
9. Arkhipenko V.I., Callegari T., Safronau Y.A., Simonchik L. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2009. V. 37. P. 1297. <https://doi.org/10.1109/TPS.2009.2020905>
10. Arkhipenko V.I., Kirillov A.A., Safronau Y.A., and Simonchik L. // Eur. Phys. J. D. 2010. V. 60. P. 455. <https://doi.org/10.1140/epjd/e2010-00266-5>
11. Kunhardt E.E. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2000. V. 28. P. 189. <https://doi.org/10.1109/27.842901>
12. Korolev Yu.D. // Russian Journal of General Chemistry. 2015. V. 85. P. 1311. <https://doi.org/10.1134/S1070363215050473>
13. Akishev Yu.S., Deryugin A.A., Elkin N.N., Kochetov I.V., Trushkin N.I. // Plasma Physics Rep. 1994. V. 20. P. 437.
14. Акушев Ю.С., Дерюгин А.А., Кочетов И.В. // Физика плазмы. 1994. Т. 20. № 6. С. 585.
15. Семенов А.П., Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В. // ПТЭ. 2020. № 2. С. 149. <https://doi.org/10.1134/S0020441220020050>
16. Fridman A. Plasma Physics and Engineering. New York: Taylor and Francis, 2004.