

ВАЛЕРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ ГОСТЕВ

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники и электроэнергетики физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vgorstev@psu.karelia.ru

ЭРИК ГЕННАДЬЕВИЧ ЛЕХТО

аспирант кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
eriklekhto@yahoo.com

ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ ГЕНЕРАТОР АКТИВНОГО КИСЛОРОДА*

Плазма представляет собой уникальную комплексную среду, содержащую заряженные частицы, активные радикалы, фотоны и т. д. Для многих применений биологии и медицины интерес представляют источники холодной плазмы. Холодная плазма позволяет осуществлять «мягкое» неразрушающее воздействие на биологические ткани и жидкости при одновременно сильных бактерицидном и стимулирующем эффектах. Целью данной работы была разработка газоразрядного генератора активного кислорода. В качестве рабочего вещества для получения активного кислорода используется воздух. Анализ показал, что наиболее приспособленным для медицинских целей является газоразрядный способ получения активного кислорода. В ходе работы был создан газоразрядный генератор активного кислорода. Конструктивно прибор выполнен в виде миниатюрного устройства. Были проведены эксперименты по исследованию распределения среднемассовой температуры вдоль плазменного потока, вольт-амперной характеристики, спектра оптического излучения потока. Можно заключить, что данный генератор позволяет получать плазменный поток, с благоприятными для биологических объектов параметрами, который служит источником активных форм кислорода.

Ключевые слова: генератор плазмы, холодная плазма, активный кислород

ВВЕДЕНИЕ

Плазма является уникальной комплексной средой, содержащей заряженные частицы, активные радикалы, фотоны и т. д. Для применения в биологии и медицине интерес представляют источники холодной плазмы. Холодная плазма позволяет осуществлять «мягкое», неразрушающее воздействие на биологические ткани и жидкости при одновременно сильных бактерицидном и стимулирующем эффектах. В некоторых областях, связанных с обработкой легко воспламеняемых и легко разрушаемых веществ, также необходимо иметь плазменные потоки низких температур.

Бактерицидная обработка и консервирование могут быть осуществлены при использовании в качестве бактерицидного агента холодной плазмы. Метод отличается простотой применения, дешевизной оборудования, малой энергоемкостью.

Известно, что плазма обладает сильным бактерицидным эффектом [1], [3]. Одним из физико-химических свойств холодной плазмы является присутствие в ней в значительных концентрациях активного кислорода. Целью данной работы была разработка плазменного генератора активного кислорода. Внешний вид газоразрядного генератора показан на рис. 1.

Конструктивно генератор воздушно-плазменного потока выполнен в виде миниатюрного устройства.

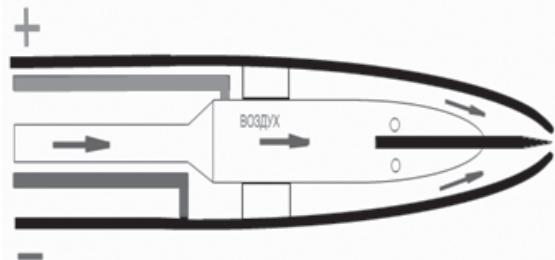


Рис. 1. Устройство газоразрядного генератора активного кислорода

Принцип действия генератора активного кислорода (рис. 1) заключается в следующем. Плазмообразующий газ, в качестве которого выступает атмосферный воздух, от внешнего источника компрессора под давлением до 1,5 атм. через входной штуцер вводится в газоразрядный генератор. Пройдя через канал внутри устройства, он поступает в разрядную камеру генератора.

Принципиальная схема генератора представлена на рис. 2. Внешний высоковольтный источник (7) питания постоянного тока создает электрический потенциал в разрядном промежутке игла – сопло генератора, необходимый для возникновения его пробоя. Прошедший через возникший разрядный канал воздух ионизируется, и таким образом на выходе генератора образуется плазменный поток.

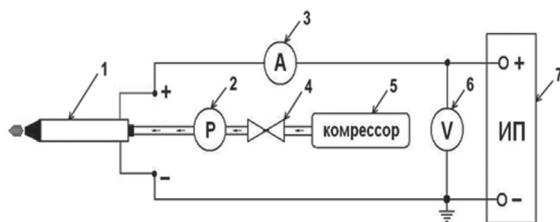


Рис. 2. Принципиальная схема генератора активного кислорода

Генератор активного кислорода включает головку (1); манометр (2) для измерения избыточного давления воздуха в разрядной камере генератора; вентиль (3), предназначенный для регулирования давления воздуха в разрядной камере; компрессор (4) для создания избыточного давления плазмообразующего воздуха; вольтметр (5) для измерения напряжения разряда; высоковольтный источник электропитания (6).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Вольт-амперная характеристика приведена на рис. 3. Пробой разрядного промежутка происходит при напряжении 2600 В. Рабочее напряжение горения разряда 1200–1400 В при силе тока 10–15 мА.

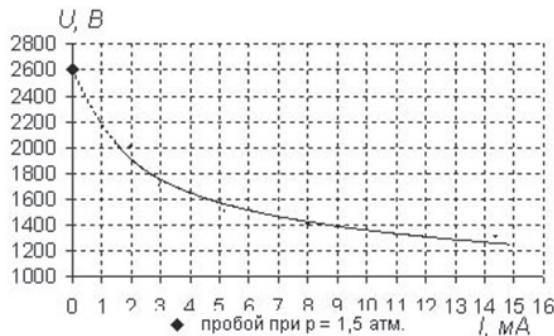


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика генератора активного кислорода

Были проведены эксперименты по исследованию распределения среднемассовой температуры вдоль плазменного потока. Измерение производилось зондовым методом, в качестве зонда использовался микродатчик температуры, которым служило полупроводниковое макротермосопротивление МТ-54. Размер макротермосопротивления составляет $0,9 \times 1,0$ мм.

График распределения среднемассовой температуры по длине плазменного потока приведен на рис. 4. Начало отсчета расстояния велоось от выхода сопла газоразрядного генератора. Эксперимент проводился при температуре окружающей среды $T_{комн.} = 22^{\circ}\text{C}$, напряжении горения разряда $U = 1400$ В и давлении в разрядной камере $p = 1,5$ атм.

Как показали результаты исследования, среднемассовая температура плазменного факела равна 43°C в центре и 34°C на границе факела.

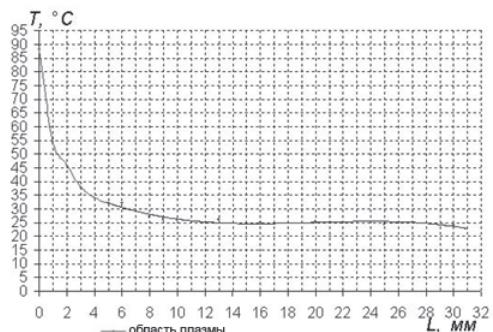


Рис. 4. Распределение температуры воздушно-плазменного потока

Измерение плотности потока энергии излучения микроплазменной струи в УФ-диапазоне производилось с помощью УФ-радиометра «ТКА-ПКМ»/12. Конструктивно данный прибор состоит из двух функциональных блоков: фотометрической головки и блока обработки сигнала, связанных между собой гибким многожильным кабелем. В фотометрической головке расположены три фотоприемных устройства на различные спектральные диапазоны УФ (A, B, C). Измерение плотности потока энергии излучения проводилось в продольном направлении на расстоянии 3 см от выходного сопла газоразрядного генератора при напряжении разряда $U = 1400$ В и давлении воздуха в разрядной камере $p = 1,5$ атм. Результаты проведенных измерений представлены в таблице.

Плотность потока энергии излучения

Спектральный диапазон, нм	Плотность потока энергии излучения, Вт/м ²
315–400 (А-область)	$1,6 \pm 0,2$
280–315 (В-область)	$3,1 \pm 0,2$
200–280 (С-область)	$4,6 \pm 0,6$

Исследование спектра оптического излучения потока производилось с помощью многоканального высокоскоростного триггерного спектрометра AvaSpec-2048FT.

Регистрация производилась как в видимой области спектра, так и в УФ-диапазоне в продольном направлении по отношению к плазменному факелу с использованием в качестве плазмообразующего газа воздуха. Зарегистрированный в эксперименте спектр излучения приведен на рис. 5.

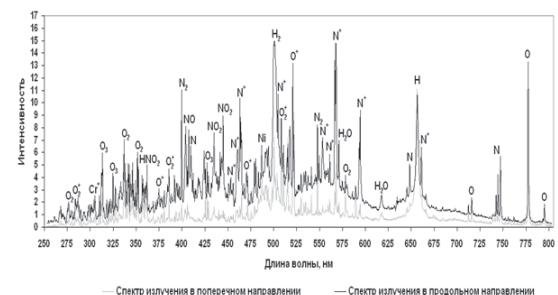


Рис. 5. Спектр излучения плазмы генератора активного кислорода

В случае использования воздуха в качестве плазмообразующего газа в зарегистрированных спектрах были обнаружены интенсивные линии O, O+, N, N+, полосы молекул O₂, O₂+, O₃, N₂, NO, а также атомарные линии элементов материала электродов [3], [4], [7], [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно заключить, что газоразрядный генератор позволяет получать плазменный поток с благоприятными для биологических объектов параметрами, который служит источником активных форм кислорода.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития Петрозаводского государственного университета на 2012–2016 годы, Минобрнауки РФ, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009–2013)», государственные контракты № 14.740.11.0895, № 14.740.11.0137, № 16.740.11.0562, № 14.740.11.1157, № 14.B37.21.0755, № 14.B37.21.0747, № 14. B37.21.1066, а также в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России и заказом Департамента научных и научно-педагогических кадров университету на оказание услуг № 2.3282.2011 и № 2.2774.2011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зейдель А. Н., Прокофьев В. К., Райский С. М. Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1977. 800 с.
2. Ильясова Н. В. Атлас пламенных, дуговых и искровых спектров элементов. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 120 с.
3. Козлов Н. П., Пекшев А. В., Камруков А. С. Плазменные аппараты для медицины // NO-терапия: теоретические аспекты, клинический опыт и проблемы применения экзогенного оксида азота в медицине. М., 2001. С. 57–60.
4. Мисун Ф. А., Гостев В. А. Первый опыт и перспективы применения низкотемпературной плазмы в офтальмологии / Материалы II Евразиатской конференции по офтальмохирургии. Ч. 2. Екатеринбург, 2001. С. 333–334.
5. Пирс Р., Геддон А. Отождествление молекулярных спектров / Под ред. С. Л. Мандельштама, М. Н. Аленцева. М.: ИЛ, 1949. 240 с.
6. Стриганов А. Н., Свентицкий Н. С. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов. М.: Атомиздат, 1966. 900 с.
7. Baughman J. M., Mootha V. K. Buffering mitochondrial DNA variation // Nature genetics 2006. 38. 11, 1232–1233.
8. Moreno-Loshuertos R. et al. 2006 Differences in reactive oxygen species production explain the phenotypes associated with common mouse mitochondrial DNA variants // Nature genetics. 38, 11, 1261–1268.

Gostev V. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Lekhto E. G., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

GAS-DISCHARGE ACTIVE OXYGEN GENERATOR

Plasma is a unique complex medium containing charged particles, active radicals, photons etc. The sources of cold plasma constitute a particular pragmatic interest for such sciences as biology and medicine. Cold plasma allows realization of “soft” non-destructive applications on biological tissues and liquids. They also have strong bactericidal and stimulating effects. The aim of this study was to develop a gas-discharge generator of active oxygen. The working medium for the active oxygen generator is air. The analysis showed that the most adapted method for comprehensive medical use is a gas-discharge method of active oxygen provision. A gas-discharge active oxygen generator was created. Structurally, the generator is designed as a miniature device. Experiments, described in this paper, were conducted to study the distribution of bulk temperature along the plasma flow, the current-voltage characteristics, and the optical spectrum of the flow. It was concluded that the generator produces a flow of plasma with favourable parameters for biological objects. The plasma flow of the generator serves as a source of active oxygen forms.

Key words: plasma generator, cold plasma, active oxygen

REFERENCES

1. Zeydel' A. N., Prokof'ev V. K., Rayskiy S. M. *Tablitsy spektral'nykh liniy* [Tables of Spectral Lines]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 800 p.
2. Il'yasova N. V. *Atlas plamennykh, dugovykh i iskrovых spektrov elementov* [Atlas of the flame, arc and spark spectra of the elements]. M., Gosgeoltehizdat Publ., 1958. 120 p.
3. Kozlov N. P., Pekshev A. V., Kamrukov A. S. Plasma devices for medicine [Plazmennye apparaty dlya meditsiny]. NO-terapiya: teoreticheskie aspekty, klinicheskij opyt i problemy primeniya ekzogennogo oksida azota v meditsine [NO-therapy: theoretical aspects, clinical experience, and problems of exogenous nitric oxide application in medicine]. Moscow, 2001. P. 57–60.
4. Misun F. A., Gostev V. A. First experience and perspectives of low-temperature plasma in ophthalmology [Pervyy opyt i perspektivy primeniya nizkotemperaturnoy plazmy v oftal'mologii]. *Materialy II Evroaziatskoy konferentsii po oftal'mokhirurgii. Ch. 2* [Materials of the II Eurasian Conference on ophthalmology. P. 2]. Ekaterinburg, 2001. P. 333–334.
5. Pirs R., Geddon A. *Otozhdestvlenie molekulyarnykh spektrov* [The identification of molecular spectra]. Moscow, IL Publ., 1949. 240 p.
6. Striganov A. N., Sventitskiy N. S. *Tablitsy spektral'nykh liniy neytral'nykh i ionizovannykh atomov* [Tables of spectral lines of neutral and ionized atoms]. Moscow, Atomizdat Publ., 1966. 900 p.
7. Baughman J. M., Mootha V. K. 2006. Buffering mitochondrial DNA variation // Nature genetics 38. 11, 1232–1233.
8. Moreno-Loshuertos R. et al. 2006 Differences in reactive oxygen species production explain the phenotypes associated with common mouse mitochondrial DNA variants // Nature genetics. 38, 11, 1261–1268.

Поступила в редакцию 26.11.2012