

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

Пичугин Ю.П.

*Чувашский государственный университет, г. Чебоксары*

Дальнейшее совершенствование генераторов озона в основном направлено на повышение эффективности синтеза озона так и на увеличение ресурса работы. Естественно успешная реализация таких тенденций невозможна без глубокого изучения пространственно-временной структуры барьерного разряда. Формы и размеры каналов микроразряда являются его существенными параметрами, так как определяют, в конечном счете, плотность энерговклада в озонируемый газ. Определение геометрии канала представляет сложную и не до конца решенную задачу вследствие статистического характера появления микроразрядов.

Практически единственно возможным экспериментальным методом здесь является фотографирование с помощью электронно-оптического преобразователя (ЭОП), и именно этим методом получены все имеющиеся в настоящее время данные. Однако таким методом невозможно получить длительную и устойчивую картину структуры барьерного разряда, которая позволила бы использовать для исследования обычную фотоаппаратуру, а также выполнять визуальные наблюдения. С целью получения более стабильной и устойчивой картины структуры барьерного разряда при неограниченной длительности наблюдения было использовано электрогазодинамическое устройство, содержащее вращающийся диэлектрический барьер и неподвижные электроды, подключенные попарно с чередующейся полярностью к источнику высокого напряжения и все электроды, кроме одного, выполнены с возможностью скольжения по поверхности вращающегося барьера.

В лабораторных условиях был создан действующий макет такого устройства. В качестве вращающегося диэлектрического барьера использовались диски из различных материалов: стекла, стеклотекстолита и винипласта. Во всех случаях наблюдалась четкая и стабильная структура барьерного разряда. Различные геометрические измерения можно было производить непосредственно с помощью элементарных измерительных приборов (линейки, штангенциркуля и т.д.), выполненных из изоляционного материала.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

Пичугин Ю.П.

*Чувашский государственный университет, г. Чебоксары*

**Экспериментально на специальной установке исследована структура барьерного разряда. Подтверждены и выявлены ее новые существенные особенности.**

Озонаторы на основе барьерного разряда являются в настоящее время основными промышленными источниками озона. Дальнейшее совершенствование генераторов озона в основном направлено как на повышение эффективности синтеза озона, так и на увеличение ресурса работы. Естественно, успешная реализация таких тенденций невозможна без глубокого изучения пространственно-временной структуры барьерного разряда. Прежде следует отметить, что пространственно-временная структура барьерного разряда отражает механизм развития электрического пробоя в разрядном промежутке, не поняв который, вряд ли удастся целенаправленно воздействовать на процесс синтеза озона в озонаторе. Формы и размеры канала микроразряда являются его существенными параметрами, так как определяют в конечном счете плотность энерговклада в озонируемый газ. Определение геометрии канала представляет сложную и не до конца решенную задачу вследствие статистического характера появления микроразрядов. Практически единственным возможным экспериментальным методом здесь является фотографирование с помощью электронно-оптического преобразователя (ЭОП), и именно этим методом получены все имеющиеся в настоящее время данные. Например, в работе [1] разряд между диэлектрическими электродами исследовался с помощью скоростной фоторегистрации и осциллографическими методами. Это позволило разрешить процесс образования импульса в пространстве и во времени. В значительной степени современные представления о структуре разряда в озонаторе базируются на отмеченных работах.

В качестве испытательного объекта использовались неподвижные электроды с диэлектрическими барьерами. Либо оба электрода изолировались барьерами, либо только один электрод. С целью получения более объективной информации упрощалась геометрия электродов и минимизировалась их площадь. Однако, несмотря на такие мероприятия

барьерный разряд осуществляется как в обычном классическом озонаторе и имел все его характерные особенности.

Действительно, отдельный микроразряд существует десятки наносекунд и в каждой последующей серии микроразрядов их местоположение меняется. Кроме этого, испытательное устройство [1] требует для своего питания переменное высоковольтное напряжение. В каждый полупериод меняется полярность и соответственно параметры микроразряда (геометрия и интенсивность свечения канала, расстояние между микроразрядами) изменяются в соответствии с полярностью.

В таком устройстве невозможно получить длительную и устойчивую картину структуры барьерного разряда, которая позволила бы использовать для исследования обычную фотоаппаратуру, а также выполнять визуальные наблюдения. Поэтому возникает необходимость использования сложного и дорогого оборудования для изучения структуры барьерного разряда (сверхскоростные фоторегистраторы и электронно-оптические преобразователи).

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому устройству является электрогазодинамическое устройство для обработки потока газа электрическим разрядом, содержащее вращающийся диэлектрический барьер и неподвижные частичные электроды, подключенные попарно с чередующейся полярностью к источнику высокого постоянного напряжения [2,3]. Данное устройство позволяет между кромкой электрода, на которую набегают барьер, и барьером формировать длительную картину структуры барьерного разряда. Здесь каждая серия микроразрядов похожа на предыдущую серию. Так как вследствие вращения барьера и при постоянстве напряжения, геометрия и интенсивность электрического поля в каждой предпробойной стадии почти одинаковы.

К недостаткам этого устройства относится проявление относительной нестабильности развития микроразряда от серии к серии. Такая нестабильность обусловлена наличием разрядного промежутка с обеих сторон диэлектрического барьера, и разряд в одном из них оказывает влияние на развитие разряда в другом противоположном зазоре. Еще большее влияние на развитие разряда оказывает качество зарядки вращающегося барьера в разрядных промежутках соседних пар электродов. Таким образом, перечисленные разбросы, накладываясь друг на друга, приводят к колебаниям формы и размеров микроразрядных каналов. В итоге при длительных наблюдениях структуры барьерного разряда это приводит к не резкости фотографий, погрешности при измерениях диаметров каналов микроразрядов и т.д.

С целью получения более стабильной и устойчивой картины структуры барьерного разряда при неограниченной длительности наблюдения, в электрогазодинамическом

устройстве, содержащем вращающийся диэлектрический барьер и неподвижные электроды, подключенные попарно с чередующейся полярностью к источнику высокого напряжения, все электроды, кроме одного или одной пары выполнены с возможностью скольжения по поверхности вращающегося барьера.

Для усиления технического результата к вращающемуся барьеру с одной стороны непосредственно примыкает сплошной подвижный электрод.

На рис.1 схематически изображено предлагаемое электрогазодинамическое устройство, где все неподвижные электроды, кроме одного, имеют скользящий контакт с вращающимся диэлектрическим барьером. Более подробно особенности работы данного устройства изложены в [4]. На рис.2 дан пример выполнения с подвижным сплошным электродом, который непосредственно примыкает к вращающемуся барьеру.

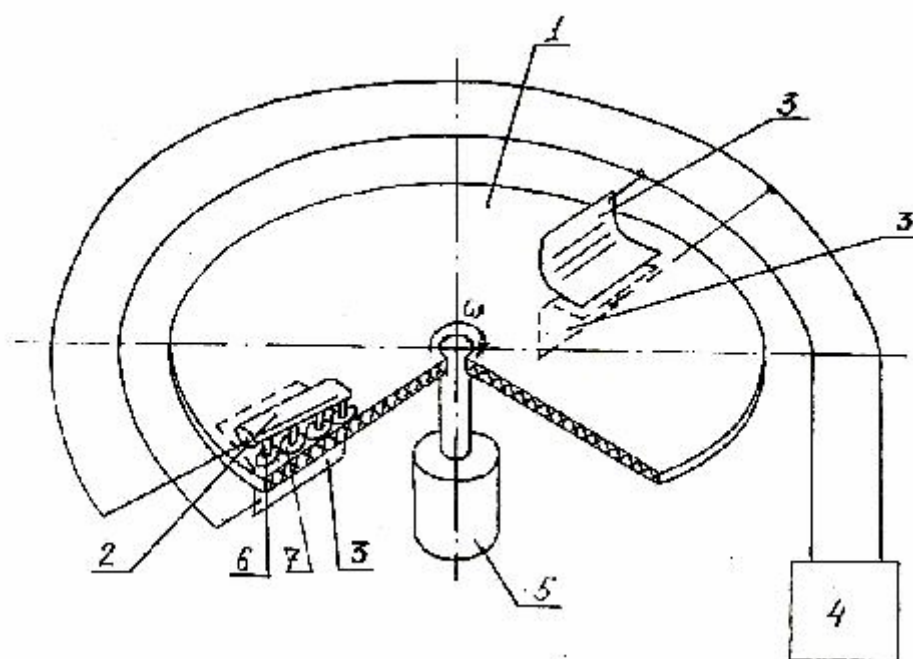


Рис.1

Устройство на рис.1 и рис.2 содержит диэлектрический барьер 1 в форме диска, электрод 2 для визуализации структуры барьерного разряда, электроды 3, имеющие скользящий контакт с барьером 1, высоковольтный источник 4 постоянного напряжения, к которому подключены электроды 2 и 3, электродвигатель 5, вращающий барьер 1, а на рис.2 и сплошной электрод 8.

В устройстве рис.1 электроды 2 и 3 расположены по обеим сторонам барьера и образуют между собой пары противоположащих электродов. Количество пар - четное число, как и в устройстве [2], обусловлено чередующейся полярностью подключения высоковольтного источника 4 для обеспечения непрерывной перезарядки вращающегося барьера 1. На рис.1 число пар минимальное равно двум. Этого достаточно для

визуального наблюдения структуры барьерного разряда. Все пары электродов, кроме одной, состоят из электродов 3 (на рис.1 такая пара одна). Отличающаяся пара электродов, предназначенная для изучения картины структуры барьерного разряда, может состоять только из электродов 2 (в случае изучения структуры барьерного разряда для озонатора с двойным разрядным промежутком; здесь происходит разряд по обеим сторонам диэлектрического барьера).

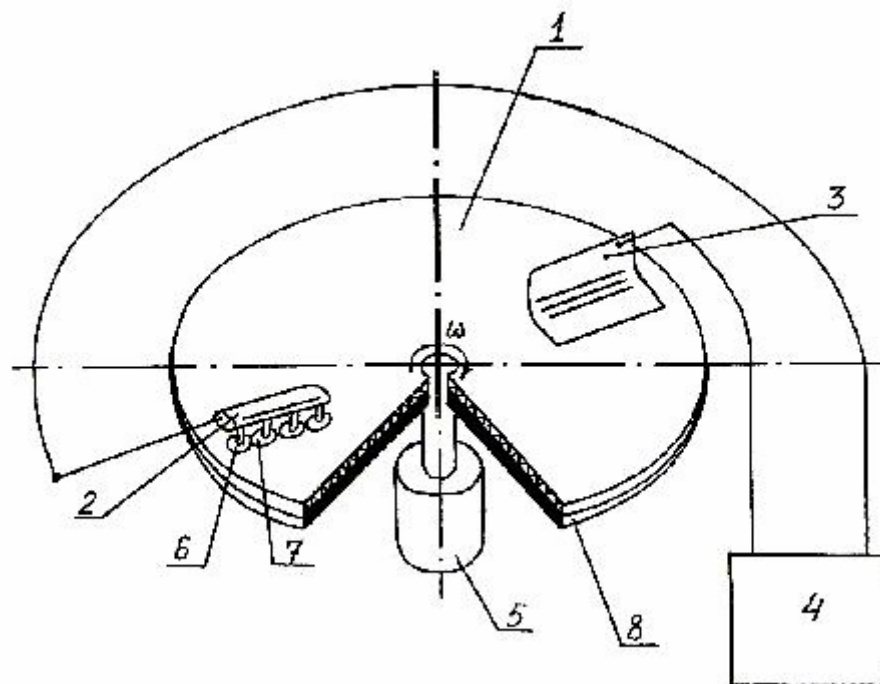


Рис.2

Во втором варианте отличающаяся пара состоит из электрода 2 и электрода 3, как представлено на рис.1 (в случае изучения структуры барьерного разряда для озонатора с одним разрядным промежутком; разряд осуществляется по одну сторону диэлектрического барьера). Пары электродов подключаются с чередующейся полярностью к высоковольтному источнику 4 постоянного напряжения.

В устройстве рис.2 электроды 2 и 3 расположены по одну сторону барьера, а с другой стороны к вращающемуся барьеру непосредственно примыкает подвижный сплошной электрод 8 и вращается вместе с барьером. Такое устройство может быть использовано только при изучении структуры барьерного разряда для озонатора с одним разрядным промежутком. Высоковольтный источник 4 постоянного напряжения одним выводом подключен к электроду 2, а другим к электроду 3.

Устройство работает следующим образом. Постоянное напряжение от высоковольтного источника 4 подают с чередующейся полярностью на каждую из пар электродов рис.1 и на каждый электрод 2 и 3 рис.2. Из-за чередующейся полярности подключения высоковольтного источника 4 осуществляется перезарядка

диэлектрического барьера 1. К очередной паре подходит заряд на поверхности диэлектрического барьера 1, который остается от перезарядки предыдущей парой электродов. Полярность такого заряда определяется полярностью предыдущей парой электродов и она противоположна полярности приложенного напряжения к последующей паре. При достаточной напряженности электрического поля в зазоре между вращающимся барьером и передней кромкой электрода 2, на которую набегают барьер, возникает барьерный электрический разряд. Такой разряд носит фронтальный характер и состоит из отдельных серий микрозарядов, а каждый микрозаряд длится десятки наносекунд. В следующей серии микрозаряды зажигаются в тех же местах, так как условия для создания серий всегда одинаковы (постоянное напряжение источника питания, одинаковая полярность и остаточные следы микрозарядов предыдущей серии: электродные пятна на электроде 2).

В предлагаемом устройстве более стабильному повторению картины микрозарядов, по сравнению с устройством [2], способствует использование электродов 3, имеющих скользящий контакт с вращающимся барьером 1. В этом случае перезарядка поверхности движущегося барьера будет более однородной из-за практического отсутствия газоразрядных процессов на границе электрод-барьер. Таким образом, ликвидируется влияние на перезарядные процессы пробивного напряжения, напряжения гашения газоразрядного промежутка так и их статистических характеристик. Более идеальной перезарядка будет в устройстве рис.2. Со стороны барьера, где расположен подвижный сплошной электрод 8, перезарядный ток определяется только емкостной составляющей. В этом случае электрическая цепь состоит из высоковольтного генератора 4, электрода 2, исследуемого разрядного промежутка, барьерной емкости - определяемой площадью барьерного разряда и электрическими характеристиками барьера - (толщиной и диэлектрической проницаемостью), непосредственно токопроводящим сплошным электродом 8, второй барьерной емкостью - определяемой площадью скользящего контакта и электродом 3. В этом устройстве при формировании барьерного разряда создаются условия наиболее близкие к самому распространенному случаю из озонаторов: первый электрод, барьер, разрядный промежуток, второй электрод.

Ожидаемая картина структуры барьерного разряда представлена на рис.1 и рис.2. Разряд носит фронтальный характер и состоит из нескольких параллельных микрозарядов. Каждый микрозаряд должен состоять из двух основных частей: цилиндрического канала 6 и пятна на диэлектрическом барьере 7. Причем каждое пятно ограничено окружностью и соприкасается с соседним пятном.

В лабораторных условиях был создан действующий макет

электрогазодинамического устройства (рис.1 и рис.2) для визуального наблюдения структуры барьерного разряда. В качестве вращающегося диэлектрического барьера использовали диски из различных материалов: стекла, стеклотекстолита и винипласта. Во всех случаях наблюдалась четкая и стабильная структура барьерного разряда, фотографии которой представлены на рис.3, рис.4, рис.5.

Различные геометрические измерения можно было производить непосредственно с помощью элементарных измерительных приборов (линейка, штангенциркуль и т.д.), выполненных из изоляционного материала.

Большая часть экспериментальных результатов получена на установке, выполненной по монтажной схеме рис.2 со сплошным поверхностным электродом. При этом для съемок использовался цифровой фотоаппарат, позволяющий фиксировать все области разряда.

На рис.3 и рис.4 представлены фото структуры барьерного разряда, где сверху металлический электрод отрицательной полярности (катод).

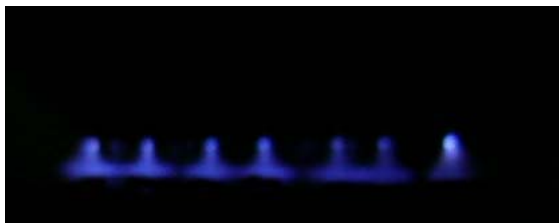


Рис.3

На рис.3 длина разрядного промежутка 3 мм. Каждый канал состоит из трех основных частей: ярко светящегося пятна на металлическом электроде, столба разряда и расширенной части, прилегающей к барьеру. Здесь диаметр столба не более 1 мм, диаметр пятна прилегающего к барьеру 6 мм, а его высота примерно 1 мм. На рис.4 длина разрядного промежутка 1 мм. В этом случае столб практически отсутствует.

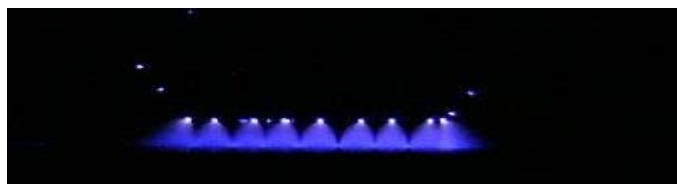


Рис.4



Рис.5

Структура барьерного разряда при положительном металлическом электроде представлена на рис.5. Здесь наблюдается более густое расположение каналов и менее выражены области, прилегающие к барьеру. Приведенные фотографии показывают сложное строение канала микроразряда. В связи с этим, встает вопрос - какая область канала наиболее интенсивно синтезирует озон? В работе [5] приведены такие экспериментальные исследования на специальной модели озонатора. Было показано, что наиболее производительной по озону является расширенная часть канала микроразряда, прилегающая к диэлектрическому барьеру. Кроме этого, структура барьерного разряда сильно зависит от полярности металлического неизолированного электрода. Соответственно надо сказать, что эффективность синтеза озона также будет различной.

В связи с этим были проведены эксперименты по синтезу озона в зависимости от полярности электродов. Для этого использовалось устройство, представленное на рис 2. Пространство, прилегающее к электроду, который установлен с зазором, герметизировалось с помощью фторопластовых скользящих прокладок. В результате было получено, что при всех одинаковых параметрах, производительность по озону при отрицательном неизолированном электроде в 2,5 раза выше, чем при положительной полярности.

В результате большого количества экспериментальных данных были получены различные зависимости. Одна из них  $l_k=f(U)$  представлена на рис.6. Здесь  $l_k$  - среднее расстояние между каналами,  $U$  - приложенное напряжение. Даны две кривые при различной полярности неизолированного электрода для разрядного промежутка равного 3 мм.



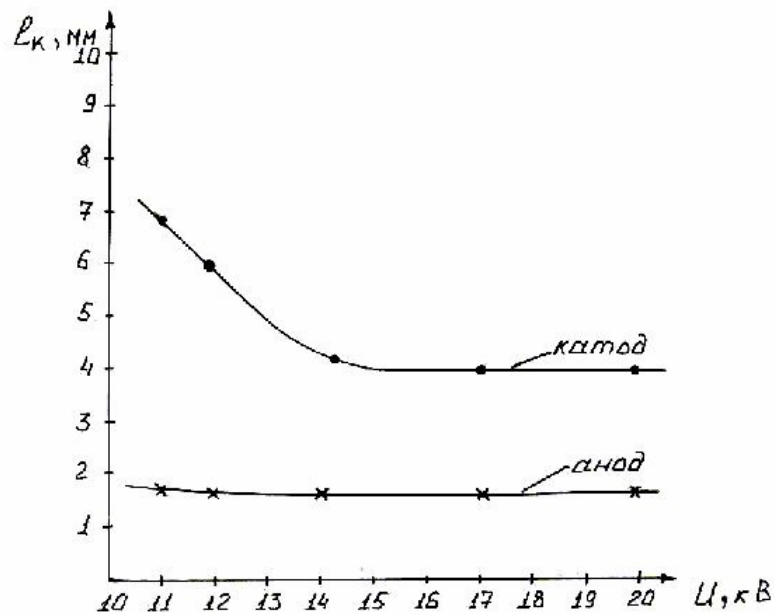


Рис.6

В заключении необходимо отметить, что разработанная аппаратура позволяет резко повысить объем экспериментального материала по структуре барьерного разряда. Это в дальнейшем неизбежно повлияет на проектирование и разработку генераторов озона. С другой стороны искусственно созданные условия для осуществления барьерного разряда предполагают использование данных экспериментов только в первом приближении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Багиров М.А., Курбанов М.А., Шкилев А.В. и др. // ЖТФ. 1971. Т.ч1, № 6. С.1287.
2. Патент Российской Федерации № 2027664 кл.С 01В 13/11, 1995.
3. Ю.П. Пичугин // Материалы 20-й конференции "Генераторы озона и озонных технологий", М.2000,с.43-50.
4. Патент Российской Федерации №22001126 кл.С01В 13/11 2003г.
5. Ю.П. Пичугин // Материалы 25-го Всероссийского семинара "Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии", М.2003,с.36-47.