

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

---

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Д.В. СКОБЕЛЬЦИНА

**А.В. Аванесов, С.Г. Дамбраускас, А.Т. Рахимов, В. Б. Саенко**

**ГЕНЕРАЦИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭЛЕКТРОСИНТЕЗ ОЗОНА В БАРЬЕРНОМ  
РАЗРЯДЕ С НОВОЙ СТРУКТУРОЙ ЭЛЕКТРОДОВ**

**Препринт НИИЯФ МГУ – 2007 – 6/827**

Москва – 2007

УДК 621.3.032.35

ББК 22.345

E-mail: [V.Saenko@mics.msu.su](mailto:V.Saenko@mics.msu.su)

Preprint of Institute of Nuclear Physics № 2007-6/827

**A.V. Avanesov, S.G. Dambrauskas, A.T. Rakhimov, V.B. Saenko**  
**GENERATION OF UV RADIATION AND ELECTROSYNTHESIS OF OZONE AT**  
**THE BARRIER DISCHARGE WITH NEW ELECTRODE STRUCTURE**

Abstract

Experimental investigation of the electrical specifications of the barrier discharge with tightly reeled electrodes (at least on of them isolated) have been carried out. Source of non-equilibrant plasma based on the barrier discharge with new electrode structure can be used as compact mini-ozonizer with 5% ozone concentration in blowing through mode and as the source of SW UV radiation working on nitrogen, inert gases and air.

These sources of UV radiation and ozone are very promising for creation of new UV/ozone technologies and for using them in microelectronics, laser technique, medicine and ecology.

The investigation is executed by support grants RFBR № 07-08-00683 and SS-7101.2006.2.

**А.В. Аванесов, С.Г. Дамбраускас, А.Т. Рахимов, В. Б. Саенко**  
**ГЕНЕРАЦИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭЛЕКТРОСИНТЕЗ ОЗОНА В БАРЬЕРНОМ**  
**РАЗРЯДЕ С НОВОЙ СТРУКТУРОЙ ЭЛЕКТРОДОВ**

Аннотация

Проведены экспериментальные исследования электрических характеристик барьерного разряда с электродной структурой в виде плотной намотки двух проводов, хотя бы один из которых находился в изоляционной оболочке. Источник неравновесной плазмы на основе барьерного разряда с новой структурой электродов может использоваться как компактный мини-озонатор с концентрацией озона до 5% при продувке кислорода и как источник коротковолнового УФ-излучения при работе в азоте, инертных газах и на воздухе. Показано, что структура электродов существенно влияет на электрические характеристики барьерного разряда и эффективность процесса электросинтеза озона.

Предлагаемый источник УФ-излучения и озона перспективен при создании УФ/озонных технологий в микроэлектронике, лазерной технике, медицине и экологии

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 07-08-00683 и ИШ-7101.2006.2.

© Аванесов А.В., Дамбраускас С.Г.,

Рахимов А.Т., Саенко В.Б., 2007

© НИИЯФ МГУ, 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

1.	Введение.....	4
2.	Разработка источника неравновесной плазмы на основе барьерного разряда с новой структурой электродов для генерации УФ-излучения или электросинтеза озона.....	5
3.	Экспериментальное исследование генерации УФ-излучения и электросинтеза озона .....	8
4.	Источники УФ-излучения для исследования процессов фотокатализа....	14
5.	Заключение.....	21
6.	Литература.....	22

## 1. Введение

Устройства на основе барьерного разряда широко исследуются для электросинтеза озона и генерации УФ-излучения [1-14]. Барьерный разряд представляет собой сильнонеравновесную плазму в виде серии короткоживущих микрозарядов, следующих с частотой до 50 кГц (зависит от высоковольтного источника переменного напряжения) [14]. Получен патент на источник сильнонеравновесной плазмы на основе барьерного разряда с новой структурой электродов [1], что инициировало проведение ряда исследований как ранее [2,3], так и в настоящее время. Интерес к источникам сильнонеравновесной плазмы связан с возможностью создания эффективных озонаторов и источников коротковолнового УФ-излучения, разработкой УФ/О<sub>3</sub>-технологии для микроэлектроники [4] и широкого применения в различных областях науки и техники [5-13]. Отметим, что фирме АББ (Швейцария, ФРГ) [5] удалось сильно продвинуться в создании эксимерных УФ излучателей при зажигании барьерного разряда в эксимерных средах. Фирма считает, что произвела революцию в технологии нанесения покрытий благодаря новым эксимерным УФ излучателям и намерена существенно расширить свою деятельность в УФ сфере. Сфера использования источников УФ-излучения постоянно расширяется. Очередной интерес к технологическому использованию источников УФ-излучения связан с фотокатализом [12,13], в частности, к построению эффективных фотокаталитических устройств очистки воды и воздуха.

## 2. Разработка источника неравновесной плазмы на основе барьерного разряда с новой структурой электродов для генерации УФ-излучения или электросинтеза озона

**Барьерный разряд.** Разработан газоразрядный источник ультрафиолетового излучения на основе барьерного разряда с новой электродной структурой, рис.1, который может работать как в ламповом режиме, так и в режиме открытого разряда в излучающей среде (инертные газы и их смеси с присадками), в кислородосодержащих средах или в окружающем воздухе.

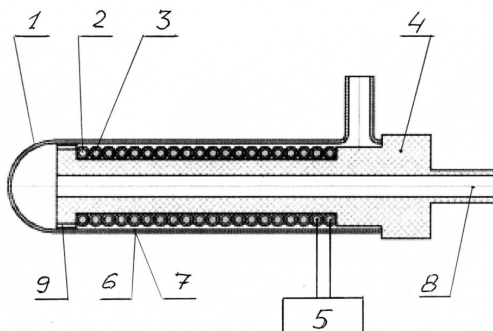


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для возбуждения барьерного разряда в кислороде (электросинтез озона) или в излучающем газе (воздух, азот, инертные газы) для генерации УФ-излучения: 1 – стеклянная колба (пробирка), 2,3 – два провода в диэлектрической оболочке, намотанные в виде катушки на стержень 4 и подключенные к источнику питания 5, 4 – диэлектрический стержень, 5 – источник высокого напряжения, 6 – щелевой промежуток порядка 1 мм, 7 – слой фотолюминофора при использовании устройства для генерации света заданной цветности, 8 – входной штуцер для продувки газа, 9 – отверстия для продувки газа.

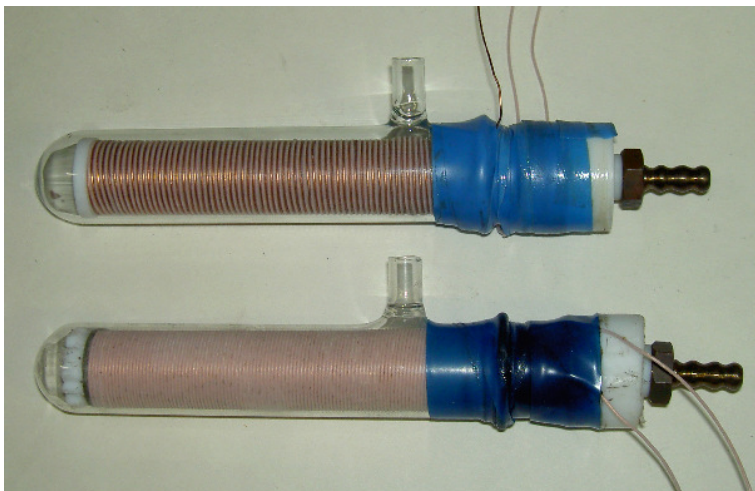


Рис.2. Опытные образцы источников неравновесной плазмы с асимметричной и симметричной разрядной ячейкой.

Газоразрядный источник УФ-излучения (рис.1) состоит из газовой камеры 1 и двух гибких электродов 2 и 3 в диэлектрической оболочке, намотанных на каркас 4 цилиндрической или прямоугольной формы. При необходимости форма каркаса может быть любой – цилиндрической или плоской. Намотка осуществляется двумя проводниками без зазора, образуя катушку. Проводники покрыты тонким диэлектриком с заданным коэффициентом диэлектрической проницаемости (симметричная разрядная ячейка) или один из проводников не изолирован (асимметричная разрядная ячейка). Между расположенными витками проводников образуются разрядные промежутки. С одной стороны катушки торцы электродов 2 и 3 изолированы, концы электродов 2 и 3 с противоположной стороны катушки подключены к высоковольтному источнику 5 переменного напряжения. Газовая камера снабжена системой протока рабочей среды в виде газовой смеси, включающей канал 8 для впуска газовой смеси и каналы 9 для протекания газовой смеси внутри газовой камеры и её последующего выпуска. Газоразрядный источник может работать и в автономном режиме с рабочей средой внутри газовой камеры. Источник УФ работает следующим образом.

Газовая камера 1 источника заполнена воздухом или рабочей смесью газов при оптимальном давлении порядка 1 атм. При подаче напряжения от высоковольтного источника переменного тока 5 на электроды 2 и 3 возбуждается барьерный разряд между расположенными рядом витками электродов. Благодаря этому образуется слой короткоживущих и периодически возникающих по мере нарастания импульса напряжения микрошнуров плазмы со временем жизни порядка 10 нс [14]. При такой схеме организации барьерного разряда резко повышается число и концентрация микроразрядов за счет использования двух гибких проводников любой заданной длины с минимальным (вблизи нуля) зазором в месте касания, намотанных двумя проводниками в виде

катушки на каркас цилиндрической или прямоугольной формы, при этом одни концы проводников изолированы друг от друга, а другие подключены к источнику знакопеременного напряжения для зажигания барьерного разряда. Предлагаемая электродная структура представляет собой емкостную нагрузку. Опытные образцы источников (рис.2) представляли собой цилиндрическую камеру из оптического стекла или кварца диаметром 2 см в форме пробирки с организацией протока газа при использовании двух штуцеров, установленных на торце пробирки и на боковой поверхности. Камера подключалась к источнику газовой среды. Электроды подключались к высоковольтному источнику переменного тока с напряжением 3-5 кВ и частотой следования импульсов до 5 кГц. Площадь электродной структуры, размещенной в газовой камере с объемом 22 см<sup>3</sup>, составляла 50 см<sup>2</sup>, электрическая ёмкость электродной структуры составляла C=230 пФ. Питание барьерного разряда осуществлялось от источника переменного напряжения, вырабатывающего импульсы чередующейся полярности, длительностью порядка 50 мкс. Для генерации УФ-излучения использовались инертные газы, азот, воздух при давлении P=1 атм. Электроды 2 и 3 представляли собой стандартные провода, покрытые слоем фторопласта, с оптимальным диаметром порядка 1 мм. В зависимости от выбора рабочей смеси газов и выбора материала газоразрядной камеры источник может работать в различных режимах: в режиме открытого разряда, в режиме эксимерной лампы, режиме люминесцентной лампы, в режиме озонатора или плазмохимического реактора. В режиме открытого разряда газовая камера отсутствует. Рабочей смесью газов служит атмосферный воздух, газовая среда лазера или любого другого фотохимического реактора. В режиме открытого разряда данное устройство может использоваться в качестве фотоионизатора в газовых лазерах с несамостоятельным разрядом. При работе в атмосферном воздухе устройство может использоваться в качестве бактерицидной лампы или мини-озонатора, а также в устройствах на основе процессов фотокатализа [12,13].

### 3. Экспериментальное исследование генерации УФ-излучения и электросинтеза озона

Экспериментальные исследования проводились на стенде «ОЗОН» [13]. Заряд, прошедший через разрядный промежуток измерялся при помощи конденсатора, включенного в цепь заземлённого электрода. Номинал конденсатора и параметры делителя напряжения, через который он подключался, выбирались так, чтобы при работе системы амплитуда напряжения на конденсаторе не превышала нескольких вольт. Поскольку рабочее напряжение газоразрядных источников плазмы в наших экспериментах обычно превышало 4 кВ, влияние измерительной схемы на систему было минимально. Емкостная связь электродов с газом позволила использовать технику измерения вольт-кулоновских характеристик и фигур Лиссажу, принятых при исследовании барьерного разряда. Построение фигур Лиссажу в координатах: напряжение– заряд ( $U - q$ ), и определение их площади позволяло определить величину активной энергии ( $E$ ), выделившейся в разрядной системе за период изменения напряжения. Характерные осциллограммы питающего напряжения и заряда, а также фигура Лиссажу представлены на рис. 3 и 4.

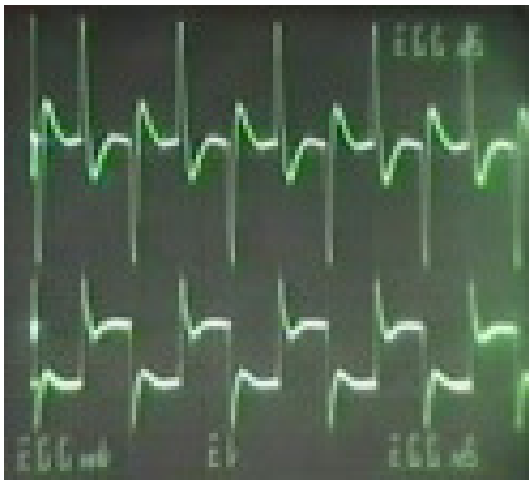


Рис.3. Характерные осциллограммы питающего напряжения (верхний луч) и заряда (нижний луч), полученные на экране осциллографа С1-91.



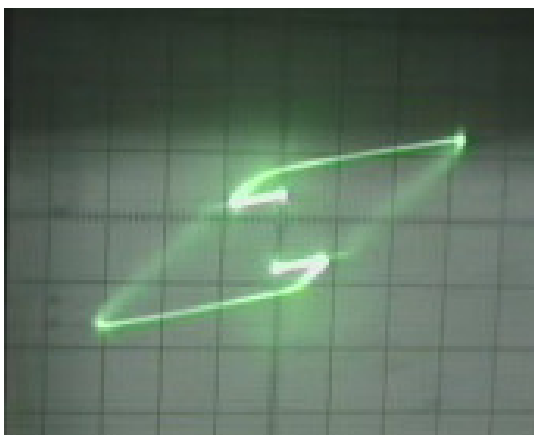


Рис.4. Характерная осциллограмма вольт-кулоновской характеристики барьерного разряда (фигура Лиссажу), полученная на экране осциллографа С1-82.

Построение фигур Лиссажу в координатах  $U - q$ , и определение их площади позволяло определить величину активной энергии ( $E$ ), выделившейся в разрядной системе за период изменения напряжения:

$$E = \oint_{\tau} I \times U dt = \oint_{\tau} U dq \quad (1)$$

Зная частоту ( $f$ ), можно определить мощность, выделяемую в разрядной ячейке:

$$P = f \times E \quad (2)$$

Последний параметр является ключевым при описании кинетики синтеза озона в разрядных системах. На рис. 3,4 представлены характерные осциллограммы.

Для проведения синтеза озона из кислорода и контроля концентрации озона, использовалась система газоподготовки, позволяющая регулировать и контролировать поток рабочего газа и давление. В газовый тракт установки была включена система измерения концентрации озона. Концентрация произведенного озона измерялась оптическим способом, по поглощению в полосе Хартли (254 нм).

Эффективность электросинтеза озона в барьерном разряде достаточно высока, поэтому продолжают исследования по усовершенствованию схем организации барьерного разряда за счет поиска оптимальной структуры электродов, покрытых диэлектриком. Нами предложен оригинальный способ организации барьерного разряда с повышенной плотностью микроразрядов за счет использования катушки двух изолированных проводников с практически нулевым разрядным промежутком в месте касания (рис.1). Два проводника могут быть намотаны на поверхности любых форм и размеров, что существенно облегчает возможности конструирования и масштабирования озонаторов и

источников УФ на основе такого барьерного разряда. Проведены исследования электрических параметров барьерного разряда в ксеноне (генерация УФ-излучения) и кислороде (электросинтез озона) атмосферного давления. Площадь электродной структуры, размещенной в газовой камере с объемом 36 см<sup>3</sup>, составляла 60 см<sup>2</sup>. Электрическая емкость электродной структуры составляла 150 pF. Электродная структура подключалась к источнику знакопеременного напряжения. Исследована энергетическая эффективность источников УФ и озона при изменении напряжения горения разряда в диапазоне 1 - 5 кВ и частоте следования импульсов в диапазоне 50 - 5000 Гц. При электросинтезе озона использовался проток кислорода при объемном расходе в диапазоне 0-200 л/час. Концентрация озона регистрировалась по поглощению УФ-излучения (254 нм).

Намотка электродов барьерного разряда может располагаться на плоской и достаточно тонкой пластине, что может удовлетворить требованиям создания плоского широкоапертурного источника УФ-излучения.

При работе в воздушной среде зарегистрировано ультрафиолетовое излучение в коротковолновой области, ограниченной лишь поглощением воздуха вблизи 180 нм. При работе лампы в воздушной атмосфере наблюдался фотосинтез озона. При использовании инертного газа данную конструкцию можно эффективно использовать в качестве источника ультрафиолетового излучения.

Эффективность генерации УФ проверялась по яркости высвечивания люминофора Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>:Mn ( $\lambda=525$  нм), источник был заполнен ксеноном. Зарегистрирована яркость 130 кд/м<sup>2</sup> при энергетической эффективности 1,5 лм/Вт.

При электросинтезе озона при комнатной температуре получена концентрация озона до 80 мг/л, производительность по озону достигла 1,5 г/час (рис.5), энергетическая эффективность электросинтеза озона была близка к теоретическому пределу. При охлаждении колбы до 10<sup>0</sup> С концентрация озона составила 140 мг/л при продувке порядка 1 л/час. Удельные энергозатраты на синтез озона в мини-озонаторе на основе модифицированного барьерного разряда составили 6,5 Вт\*час/г. Высокая эффективность мини-озонатора говорит о высокой концентрации и однородности возникновения микрошнуров плазмы в процессе горения барьерного разряда.

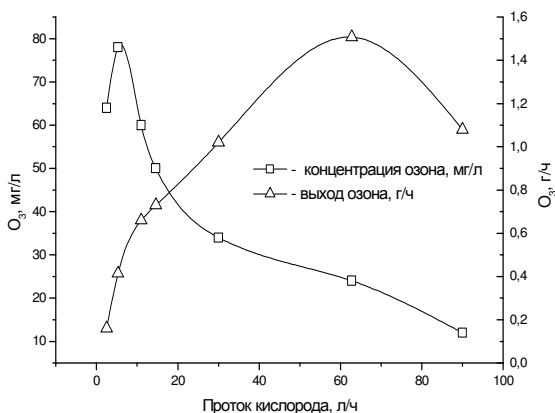


Рис.5. Концентрация озона и производительность озонатора в зависимости от объемного расхода кислорода.

Были проведены эксперименты по электросинтезу озона при использовании как симметричной, так и асимметричной разрядной ячейек.

**Симметричная разрядная ячейка.** При использовании симметричной разрядной ячейки порог зажигания разряда был достигнут при напряжении в первичной цепи устройства питания озонатора, равном 150 В, что заметно выше, чем в случае с асимметричной разрядной ячейкой.

Таблица 1. Зависимость переносимого в разряде тока и концентрации озона от напряжения в первичной цепи устройства питания симметричной разрядной ячейки:

$U_{вх,}$ В	$I_{вх,}$ мА	$[O_3], г/м^3$	$U_{вых,}$ кВ	Примечания
150	54	56	8	В процессе горения разряда на выбранном напряжении площадь фигуры Лиссажу растёт, что свидетельствует об очищении поверхности электродов и усилении горения разряда
155	60	62	8,5	
160	64	68	8,5	

165	66	70	8,5	
170	68	72	9	
175	72	72	9	

Графическая зависимость выхода озона в симметричной разрядной ячейке от питающего напряжения в первичной цепи представлена на рис. 6.

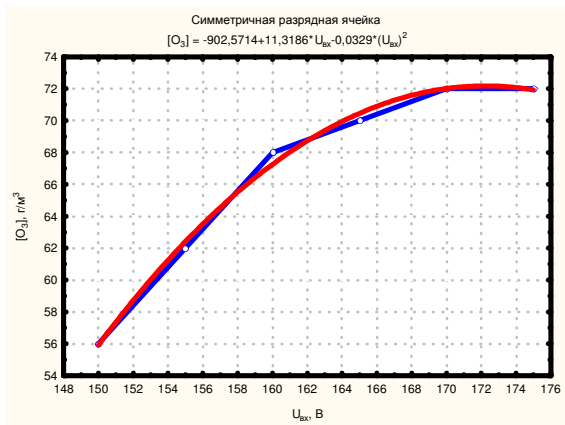


Рис. 6. График зависимости выхода озона в симметричной разрядной ячейке от питающего напряжения в первичной цепи.

**Асимметричная разрядная ячейка.** Результаты с асимметричной разрядной ячейкой подтвердили полученные ранее экспериментальные и теоретические выводы о повышении выхода озона и понижении напряжения зажигания разряда по сравнению с симметричной разрядной ячейкой.

Таблица 2.

Зависимость переносимого в разряде тока и концентрации озона от напряжения в первичной цепи устройства питания асимметричной разрядной ячейки:

$U_{вх}$ , В	$I_{вх}$ , мА	$[O_3]$ , г/м³	$U_{ввых}$ , кВ	Примечания
85	32	2	4,5	
90	36	6	5	Единственное напряжение, при котором разряд горит устойчиво

95	40	26	5,3	
100	44	36	5,5	
105	46	40	5,7	
110	Произошёл пробой			

Графическая зависимость выхода озона в асимметричной разрядной ячейке от питающего напряжения в первичной цепи представлена на рис. 7.

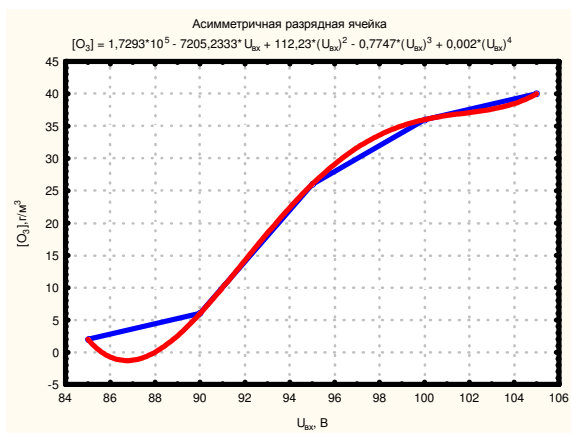


Рис. 7. График зависимости выхода озона в асимметричной разрядной ячейке от питающего напряжения в первичной цепи.

По итогам исследований электрических параметров барьерного разряда была сконструирована новая конструкция разрядной ячейки в симметричном (диэлектрик-диэлектрик) и асимметричном (диэлектрик-проводник) вариантах. Полученные посредством данной ячейки экспериментальные результаты показали, что в обоих случаях зажигание разряда происходит при более низких значениях напряжения, питающего первичную цепь, чем в случае использования традиционной ячейки барьерного разряда с плоскими электродами при сравнимых значениях разрядного промежутка. Особенно заметны снижение напряжения зажигания и увеличение концентрации озона в случае использования асимметричной разрядной ячейки.

#### 4. Источники УФ-излучения для исследования процессов фотокатализа.

В отделе микроэлектроники НИИЯФ МГУ [1-3] накоплен достаточно большой опыт по созданию источников УФ-излучения на основе различных схем газового разряда в связи с работами в области квантовой электроники, микроэлектроники, а также в связи с разработкой плазменных плоских дисплеев. Отметим, что требования к источникам УФ для процессов фотокатализа достаточно мягкие, но требуют определенных конструктивных особенностей:

1. Интенсивность УФ-излучения вблизи  $\lambda = 330$  нм должна составлять  $10^{10}$ - $10^{14}$  фотонов/см<sup>2</sup> в непрерывном или квазинепрерывном (импульсно-периодическом) режимах.
2. Источник должен быть широкоапертурным с площадью  $S \geq 10$  см<sup>2</sup> и плоским с толщиной порядка 3 мм.
3. Источник должен работать как в стандартных условиях (220 В, 50 Гц), так и в условиях питания от автомобильного источника постоянного тока с напряжением 12 В.
4. Источник должен удовлетворять требованиям промышленного использования, т.е. быть экономичным, эффективным, иметь длительный ресурс работы.

При определенной модернизации для фотокаталитических устройств различного назначения может подойти система (плоский источник УФ), известная как плазменная панель, разработанная для плазменных телевизоров [9]. Подобная модернизация была проведена для создания эффективного процесса электросинтеза озона при заполнении газоразрядной щелевой полости кислородом [13]. На рис.8 представлена схема разрядной ячейки копланарной геометрии. Известно, что плотность излучающей матрицы должна быть высокой и обеспечить достаточную однородность излучения.

В соответствии с работой [1] были созданы опытные образцы источников УФ-излучения (рис.11) и проверена их работа от стандартных источников питания (рис.12).

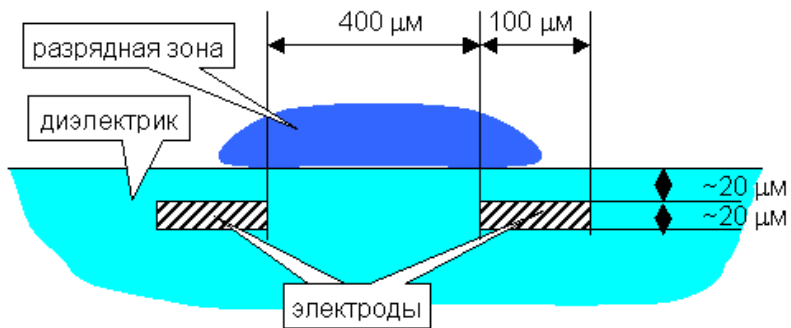


Рис. 8. Разрядная ячейка копланарной геометрии, см. [13].



Рис.9. Экспериментальные образцы газоразрядных устройств на основе барьерного разряда [7].

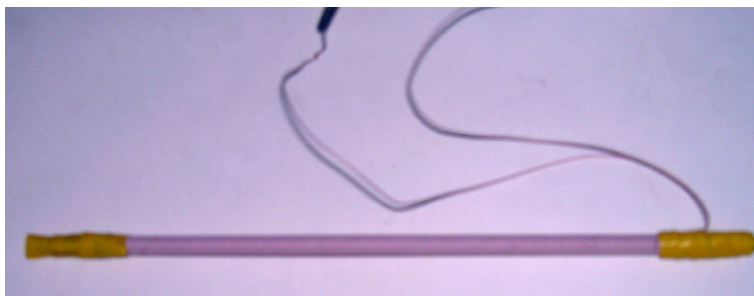


Рис.10. Свечение микроразрядов (плазмы) барьерного разряда.

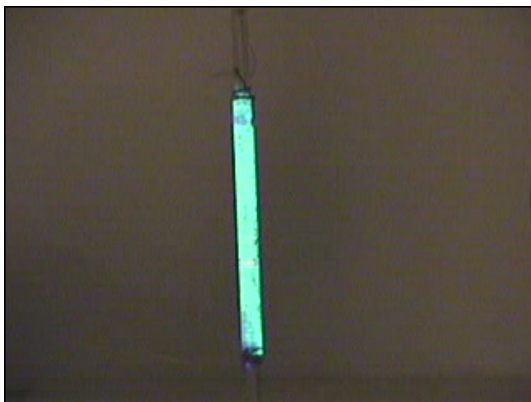


Рис.11. Свечение люминофора (зеленый цвет), нанесенного на поверхность электродной структуры, под воздействием УФ-излучения микроразрядов (плазмы) барьерного разряда.

Для питания барьерного разряда разработаны различные высоковольтные источники переменного тока (рис. 12, 13). Кроме того, исследована возможность использования электронных импульсных преобразователей (итальянская фирма «Siet», рис. 14), предназначенных для питания рекламных неоновых трубок. К источнику УФ-излучения в окружающем воздухе (рис. 10) подключался именно этот преобразователь.

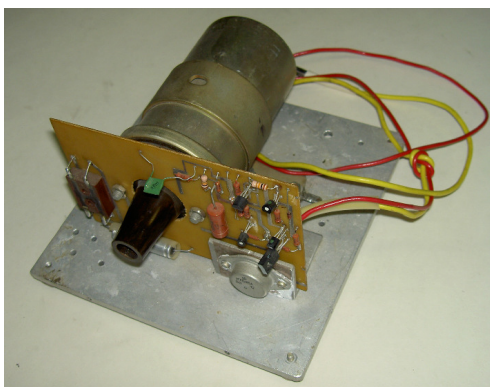


Рис. 12. Источник высоковольтного переменного напряжения на основе автомобильной катушки зажигания с частотой до 1 кГц. Блок питания с входным напряжением 12 В использовался для питания устройств на основе барьерного разряда (мини-озонаторы, источники УФ-излучения, экспресс-стерилизаторы).



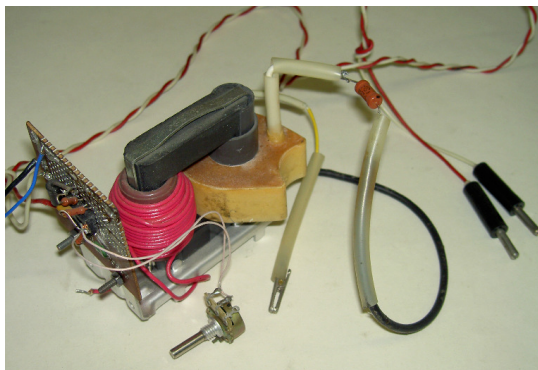


Рис. 13. Источник высоковольтного переменного напряжения на основе строчного трансформатора с частотой следования до 20 кГц. Блок питания с входным напряжением 220 В, 50 Гц использовался для питания устройств на основе барьерного разряда (мини-озонаторы и источники УФ-излучения).



Рис. 14. Промышленный электронный преобразователь для питания барьерного разряда – высоковольтный источник переменного напряжения с частотой 27 кГц. Мощность преобразователя 30 Вт.



Рис. 15. Пример горения лампы ИФП-150 (ксенон, кварцевая колба) при подключении к электронному конвертору (рис. 14). Наблюдается интенсивный фотосинтез озона.

Предложена, разработана и исследуется новая газоразрядная структура на основе двойного разряда для генерации интенсивного УФ-излучения [9].

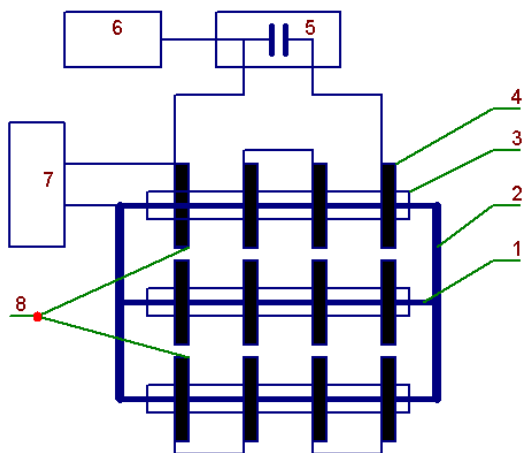


Рис.16. Принципиальная схема импульсно-периодического широкоапертурного источника ультрафиолетового излучения на основе матрицы микрошнуров плазмы: 1 - стержневые поджигающие электроды, 2 - металлическая пластина, 3 - диэлектрическая пленка-изолятор, 4 - кольцевые электроды, 5 - емкостной накопитель энергии, 6 - высоковольтный выпрямитель, 7 - генератор поджигающих импульсов или высоковольтный источник переменного напряжения для зажигания квазинепрерывного барьерного разряда, 8 - щелевые разрядные промежутки.

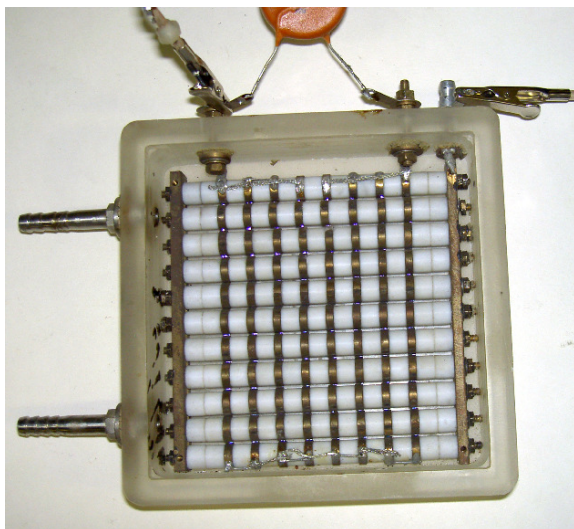


Рис.17. Свечение барьерного разряда при подключении источника (рис.14) с рабочей частотой 27 кГц. Предусмотрена возможность подключения второго разрядного контура для режима интенсивного излучения матрицы Z-микроспинчей.

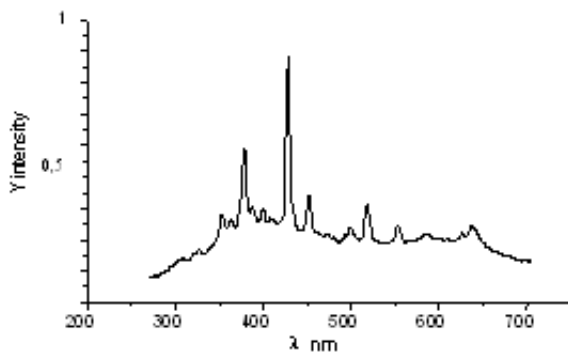


Рис.18. Характерный спектр барьерного разряда, горящего в воздухе.

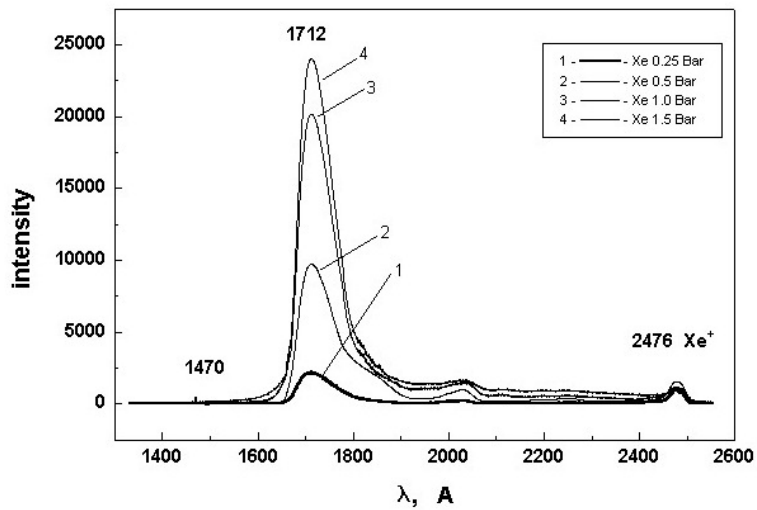


Рис.19. Характерный спектр барьерного разряда, горящего в ксеноне.

## 5. Заключение

По итогам исследований электрических параметров барьерного разряда была сконструирована и запатентована новая конструкция разрядной ячейки в симметричном (диэлектрик-диэлектрик) и асимметричном (диэлектрик-проводник) вариантах. Полученные посредством данной ячейки практические результаты показали, что в обоих случаях зажигание разряда происходит при более низких значениях напряжения, питающего первичную цепь, чем в случае использования традиционной ячейки барьерного разряда с плоскими электродами при сравнимых значениях разрядного промежутка. Особенно заметны снижение напряжения зажигания и увеличение концентрации озона в случае использования асимметричной разрядной ячейки.

Рассмотрена возможность использования источников УФ-излучения в технологических установках на основе фотокатализа. Предлагаемый УФ излучатель допускает линейное масштабирование, что позволяет создавать как мини-приборы, так и крупногабаритные технологические установки. Излучающая поверхность может принимать любую форму (плоскую, цилиндрическую и т.д.) с любой заданной апертурой. В отличие от других УФ-источников могут быть реализованы чрезвычайно высокие дозы УФ-радиации в диапазоне 100 - 400 нм на поверхности или в поглощающем газовом объеме. Снимается ряд проблем, связанных с компоновкой источника УФ-излучения с фотохимическим реактором или облучаемой поверхностью, что особенно важно при переходе к коротковолновому излучению с длиной волны менее 200 нм.

Полученные результаты могут найти применение в быстро развивающейся технологии, основанной на процессах фотокатализа. Ожидаемый эффект: создание новых эффективных технологий, обладающих достаточной простотой, требующих умеренных затрат на изготовление и эксплуатацию. Ожидается ускорение фотохимических процессов за счет оптимизации параметров УФ-излучения и повышение эффективности за счет особенностей применяемого УФ-излучателя.

## 6. Литература.

1. Рахимов А.Т., Саенко В.Б. Газоразрядный источник ультрафиолетового излучения или озона. Патент РФ № 2285311 от 10.10. 2006.
2. А.В.Аванесов, Д.Г.Волошин, С.Г.Дамбраускас, А.Т.Рахимов, В.Б.Саенко. Опытные образцы источников УФ-излучения и озона на основе различных газоразрядных схем. Препринт НИИЯФ МГУ –2006-20/819, 32 стр.
3. А.В.Аванесов, А.Т.Рахимов, В.Б.Саенко. Динамика и структура образования микрошнуров плазмы в барьерном разряде. Препринт НИИЯФ МГУ – 2007-5/826, 14 стр.
4. J.R. Woodworth and P.F. McKay. J. Appl. Phys. 58(9), p. 3364.
5. Элиассон Б., Г. Эсром Г., У. Когельшатц У. Новые УФ-излучатели для промышленных применений. Обзор АББ, № 3, 1991, с. 21-28. (Kogelschatz U. et. al. Dielectric-Barrier Discharges. Principle and Applications. ICPIG XXIII, July 17 – 22, 1997, Toulouse, France).
6. Рахимов А.Т., Саенко В.Б. и др. "Газоразрядная лампа" Патент РФ № 21200152 от 16.12.1996.
7. Рахимов А.Т., Саенко В.Б. и др. Бактерицидные установки для медицины на основе плазменных источников УФ и озона. - Конверсия, 1993, № 6, с.41-44.
8. Рахимов А.Т., Саенко В.Б. и др. Физико-технические принципы экспресс-водоподготовки с использованием источников озона и ультрафиолета. Второй международный конгресс "Вода: экология и технология" (ЭКВАТЕК - 96), тезисы докладов, Москва, 1996. с.187.
9. Рахимов А.Т., Саенко В.Б. и др. Исследование генерации в газовых разрядах интенсивного ультрафиолетового излучения для эффективного возбуждения люминофоров. – Москва, 1997. Препринт НИИЯФ МГУ № 97- 49/500.
10. Рахимов А.Т., Саенко В.Б. и др. Плазменный источник ультрафиолетового излучения для биотехнологии // Сборник трудов 7-го Международного семинара-презентации инновационных научно-технических проектов "Биотехнология-2003". 24-25 ноября 2003 г., Пушино. - стр. 131 (рус). - стр. 211 (англ.)
11. Пармон В.Н. Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии. Ред. К.И. Замараев, В.Н. Пармон. Новосибирск: Наука, 1991.
12. Савинов Е.Н. «Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха». Соросовский образовательный журнал, том 6, № 11, 2000, стр.52-56.
13. Гибалов В.И., Рахимов А.Т., Саенко В.Б. и др. Синтез озона в копланарном барьерном разряде // Журнал физической химии. – 2000. - № 6. - с.1141-1143.
14. Самойлович В.Г., В.И. Гибалов, К.В. Козлов. Физическая химия барьерного разряда. М., изд. МГУ, 1989, с. 21-23.

**Алексей Вадимович Аванесов  
Станислав Георгиевич Дамбраускас  
Александр Турсунович Рахимов  
Владимир Борисович Саенко**

**ГЕНЕРАЦИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭЛЕКТРОСИНТЕЗ ОЗОНА В БАРЬЕРНОМ  
РАЗРЯДЕ С НОВОЙ СТРУКТУРОЙ ЭЛЕКТРОДОВ**

Препринт НИИЯФ МГУ – 2007 – 6/827

Работа поступила в ОНТИ 07.08.2007 г.