

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 66.088

Клецкова
Екатерина Борисовна

Газоразрядная система барьерного типа атмосферного давления

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 02 «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Научный руководитель
Бордусов Сергей Валентинович
профессор кафедры ЭТТ
профессор; доктор технических наук

Минск 2017

ВВЕДЕНИЕ

Разряд барьерного типа атмосферного давления представляет интерес как с научной, так и с практической точки зрения. Этот тип разряда используется в конструкции озонаторов, применяется для разложения токсичных газообразных выхлопов вакуумных установок, для стерилизации медицинских инструментов, заживления ран и т.д. Его применение в технике, медицине обуславливается возможностью управляемого получения определенных плазменных частиц и достаточно простыми способами регулирования их концентраций.

Интерес представляет исследование применения разряда барьерного типа для деконтаминации биополимерных материалов, в частности, в целях борьбы с различного рода плесневыми грибами, появляющимися на объектах исторического и культурного наследия (книги, рукописи, картины и т.д.).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Цель работы:

Изучение особенностей возбуждения и поддержания разряда барьерного типа атмосферного давления, для выработки практических рекомендаций в плане разработки конструкций разрядных систем с большой площадью зоны плазмообработки.

Актуальность темы магистерской диссертации:

В газоразрядной среде находящейся в плазменном состоянии можно целенаправленно получать химически и энергетически активные частицы, существование которых в обычных атмосферных условиях затруднительно. Применение газоплазменной обработки для целей технологии в биотехнологиях, медицине и др. в настоящее время является активно развивающейся отраслью как научных исследований, так и практического применения.

Задачи исследования:

1. Подбор информации и проведение анализа конструктивных решений газоразрядной системы барьерного типа;
2. Подбор информации и анализ физико-химических характеристик разряда барьерного типа;
3. Изучение электро-физических характеристик разряда барьерного типа в атмосфере воздуха и др. молекулярных газов;
4. Исследование применения разряда барьерного типа для деконтаминации биополимерных материалов.

Область исследования:

Газоплазменная система разряда барьерного типа.

Предмет исследования:

Физико-химические характеристики разряда барьерного типа атмосферного давления в молекулярных газах.

Новизна работы:

Информация об исследованиях деконтаминации биополимерных материалов отсутствует, хотя решение этой проблемы с использованием разряда барьерного типа представляется весьма перспективным.

Положения, выносимые на защиту:

Общие сведения о свойствах и характеристиках барьерного разряда;

Модернизация исследовательского стенда для проведения необходимых исследований;

Результаты исследований оптических и электрофизических характеристик. Питание барьерного разряда с амплитудой 20 кВ, частота следования – 200 Гц, среднее значение тока – 0,1 мА, вкладываемая в разряд мощность – 2 Вт, удельная мощность – 0,3 Вт/см²;

Результаты исследований с применением барьерного разряда для деконтаминации биополимерных материалов. Время обработки – 30 мин., частота следования импульсов – 1 кГц на расстоянии 2 мм от образца до разрядной трубки. После воздействия плазмы численность микроскопических грибов и бактерий значительно снизилась.

Апробация результатов диссертации

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы были представлены на следующих научных конференциях: 12-я международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций, РТ – 2016»: Тезисы докладов – Севастополь, РФ, 2016; 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР: Тезисы докладов – Минск, 2017.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка. Объем магистерской диссертации составляет 74 страницы, включая 59 иллюстраций, 1 таблицу, библиографический список из 104 наименований, 1 приложение.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Первая глава диссертационной работы имеет обзорный характер. Рассматриваются различные типы барьерного разряда, известные на сегодняшний день.

В зависимости от смеси рабочих газов, геометрии разрядного промежутка, формы и амплитуды прилагаемого напряжения режимы горения барьерного разряда можно разделить на четыре основных группы:

- таунсендовский или темный режим;
- тлеющий;
- филаментированный;
- импульсный.

Таунсендовский барьерный разряд.

В случае слабого искажения электрического поля в зазоре режим горения барьерного разряда называют таунсендовским. Названия этого режима следует из аналогии с темным таунсендовским разрядом между металлическими электродами, когда искажение поля также мало. Отсутствие искажения поля является следствием малого пространственного заряда в зазоре. То есть поле пространственного заряда оказываются много меньше полей конденсатора, образованного металлическими электродами и диэлектрическими поверхностями. Для таунсендовского разряда характерны невысокие плотности электрического тока, поэтому в случае разряда в ячейке плазменной панели с субмиллиметровыми линейными размерами возникают статистические флуктуации числа заряженных частиц.

Тлеющий барьерный разряд.

Если при протекании больших по сравнению с таунсендовским разрядом токов в зазоре возникает однородная плазма, то такой барьерный разряд принято называть тлеющим. В тлеющем разряде протекают настолько большие электрические токи, что поле не может оставаться неискаженным. Аналогично тлеющим разрядам постоянного тока, тлеющий барьерный разряд пространственно можно разделить на область плазмы положительного столба и катодный слой. В катодном слое падает практически все приложенное напряжение, а поля в положительном столбе малы. Сильное искажение поля является следствием высоких плотностей тока в разряде.

Филаментированный барьерный разряд.

Основным режимом горения барьерного разряда атмосферного давления является его филаментированная форма. Отличие этого режима от остальных состоит в том, что разрядный ток переносится неоднородно по

сечению разряда: он переносится небольшими микроразрядами, получившими название «филамент», и прорастающими между поверхностями диэлектрических барьеров.

Импульсный барьерный разряд.

В технике высоких напряжений и технологии создания инверсии заселенности ТЕА лазеров применяются импульсные виды газовых разрядов. Отличие импульсного режима от приведенных выше состоит в однородном и быстром, за несколько десятков наносекунд, изменении плотности газоразрядной плазмы. Барьерный разряд, создаваемый короткими импульсами высокого напряжения, требует относительно малого энергозатрата. Импульсные барьерные разряды соответствуют оптимальным параметрам ионизации. Плазма импульсного разряда в одномерном приближении всегда однородна.

Во второй главе рассмотрены конструктивные решения газоразрядных систем барьерного типа, технологическое применение плазмы низкотемпературного неравновесного разряда атмосферного давления и пути управления характеристиками и параметрами разряда барьерного типа атмосферного давления.

Практически каждый из режимов горения барьерного разряда активно применяется сегодня в прикладных задачах (рисунок 1). В круг этих задач входят исторически самое первое приложение этого вида разряда – производство озона, а также создание инверсии заселенности газовых лазеров, электроплазмохимия, задачи обработки поверхностей, создание источников излучения, стерилизация медицинского оборудования и др.

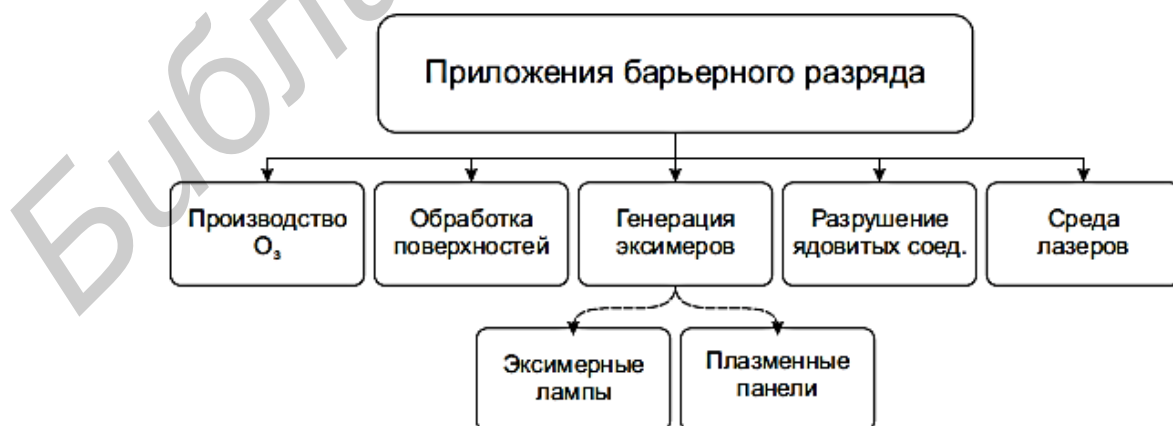
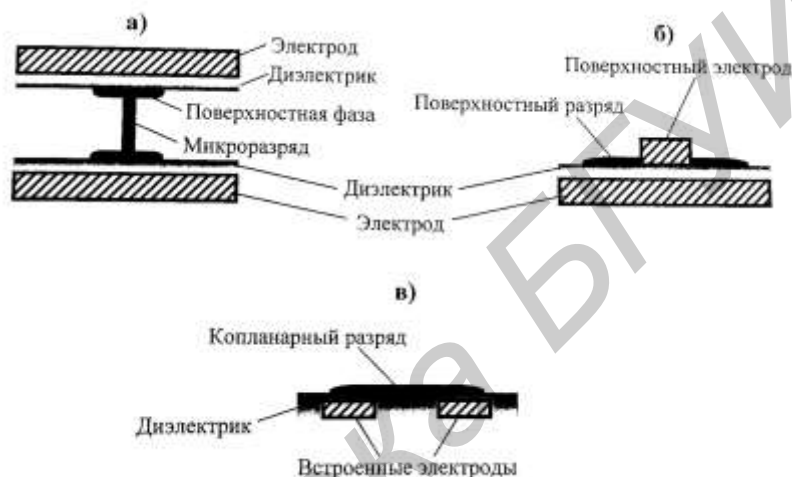


Рисунок 1 – Области применения барьерного газового разряда в современных плазмохимических технологиях

Основными параметрами, определяющими эффективность работы барьерного разряда, являются: напряжение на электродах U ; газовый зазор l (эта величина определяет характер разряда и его интенсивность); ϵ_δ – диэлектрическая проницаемость материала барьера; частота f воздействующего напряжения.

Барьерный разряд (БР) возникает в условиях, когда хотя бы один из электродов покрыт диэлектриком. Три основные конфигурации электродов представлены на рисунке 2.



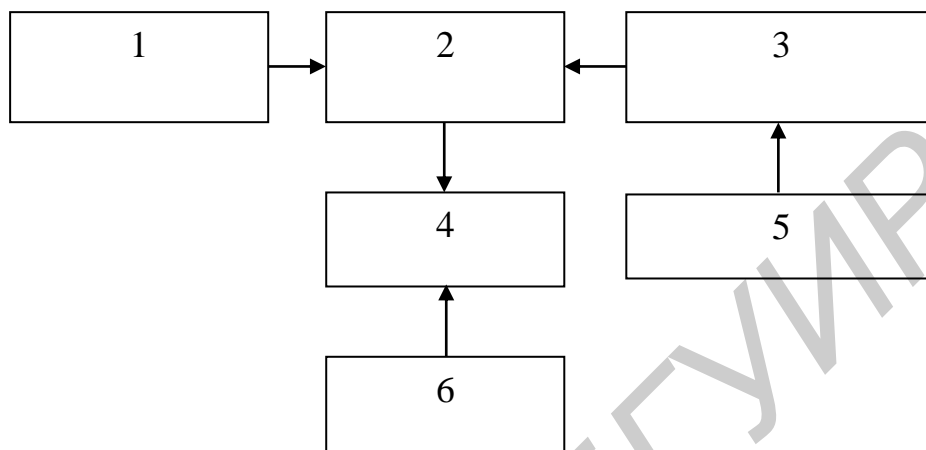
а – обычный БР, б – поверхностный БР, в — копланарный БР

Рисунок 2 – Основные конфигурации электродов БР

В первой конфигурации (см. рисунок 2, а) разряд развивается в воздушном промежутке между плоскими электродами, покрытыми диэлектриками. При расположении верхнего электрода (см. рисунок 2, б) непосредственно на поверхности диэлектрика наблюдается развитие поверхностного разряда. Последняя конфигурация (см. рисунок 2, в) также характеризуется развитием разряда по поверхности диэлектрика и состоит из одной или нескольких пар параллельных электродов, встроенных в толщу диэлектрика около поверхности. Следует отметить, что на рисунке 2.2.1, а изображена «симметричная» конфигурация электродов, однако, на практике также используется «несимметричная» конфигурация, когда только один из электродов покрыт диэлектриком.

В третьей главе рассмотрены различные методики проведения экспериментов. Описан состав исследовательского стенда, конструкция и работа газоразрядной системы барьерного типа.

Для проведения процессов программно-управляемой обработки объектов барьерным разрядом атмосферного давления разработан экспериментальный стенд [1–А], структурная схема которого показана на рисунке 3.



1 – высоковольтный регулируемый источник питания; 2 – электроразрядная система;
3 – система перемещения; 4 – объектообработки; 5 – ПЭВМ;
6 – регулируемый держатель

Рисунок 3 – Структурная схема экспериментального стенда

Система перемещения дает возможность программно-управляемого движения электрода над поверхностью объекта обработки, располагаемого на регулируемом столике. Внешний вид стенда для проведения процессов программно-управляемой обработки объектов барьерным разрядом атмосферного давления показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Общий вид экспериментального стенда барьерного разряда

Возможно осуществлять обработку плоскости поверхностей при расстоянии от разрядного электрода до обработанной поверхности в диапазоне от 1 до 8 мм. Также возможно проведение длительной процедуры обработки (в течении нескольких десятков минут), при этом разрядный электрод может перемещаться, либо может быть неподвижен (рисунок 5).



Рисунок 5 – Барьерный разряд атмосферного давления

Разработанная конструкция экспериментального стенда позволяет проводить обработку объектов в условиях атмосферного давления как в среде воздуха, так и в других газах (к примеру, N_2 , Ar) [2–А].

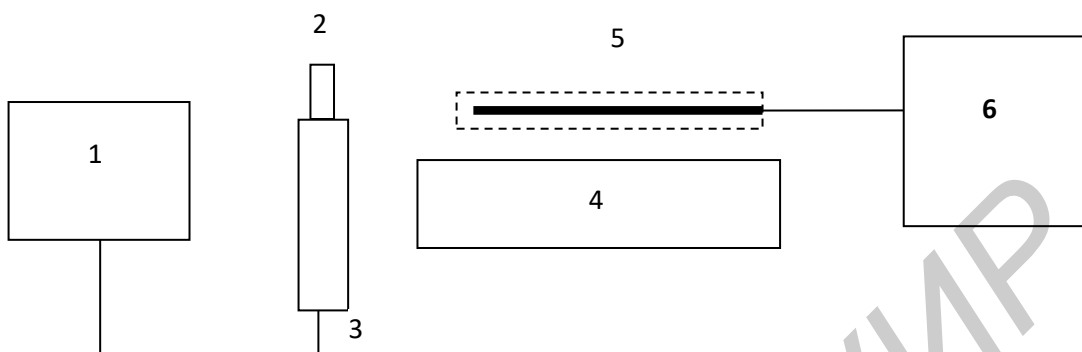
В четвертой главе описаны экспериментальные исследования электрофизических и оптических характеристик разряда барьерного типа, представлены результаты данных исследований.

Диагностика плазмы, используемой в технологическом процессе для обработки различных материалов, необходима для определения оптимальных режимов ее воздействия на материалы, а также с целью оперативного контроля изменения состава плазмы вследствие поступления в плазменную среду продуктов деструкции материала, участвующих в последующих плазмохимических реакциях. В частности, при обработке термолабильных материалов, таких как композиты на основе биополимеров, необходимо контролировать термодинамические параметры плазмы, чтобы исключить возможность термического нагрева образца и последующей его деструкции.

Для диагностики низкотемпературной неравновесной плазмы используются оптико-спектроскопические, зондовые, лазерные методы, СВЧ-диагностика. Наиболее приемлемыми являются методы эмиссионной спектроскопии, позволяющие контролировать состав и термодинамические параметры плазмы в процессе обработки материалов, без внесения каких-либо возмущений в плазменный объем.

Схема проведения электрофизических экспериментов приведена на рисунке 6. Питание барьерного разряда производилось от источника высоковольтных импульсов амплитудой 20 кВ и частотой следования 200 Гц.

Среднее значение тока, протекающего через разряд, составляло 0,1 мА, вкладываемая в разряд мощность – 2 Вт. Удельная мощность составляла 0,3 Вт/см².



- 1 – осциллограф С8-13; 2 – цилиндрический измерительный зонд;
 3 – осциллографический зонд; 4 – заземлённый электрод;
 5 – высоковольтный изолированный электрод;
 6 – генератор высоковольтных импульсов

Рисунок 6 – Схема проведения электрофизических экспериментов на установке с барьерным разрядом

Результаты снятия электрических характеристик представлены на рисунке 7.

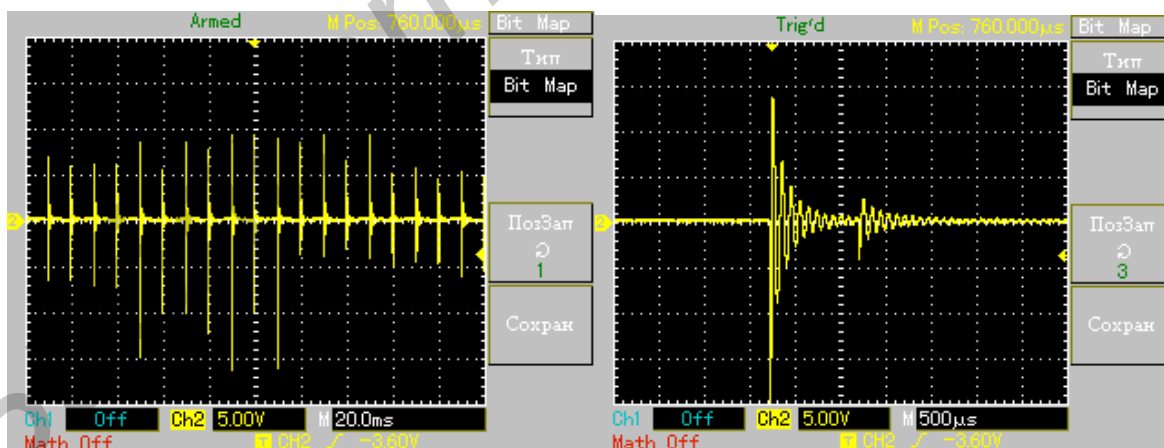


Рисунок 7 – Электрические характеристики барьерного разряда

Спектры излучения плазмы барьерного разряда в воздухе в области 250 – 1100 нм были представлены молекулярными полосами первой (1+) и второй (2+) положительных систем N₂. Значение газокинетической

температуры плазмы T_g составило порядка 390 К. Спектр излучения плазмы барьерного разряда представлены на рисунке 8.

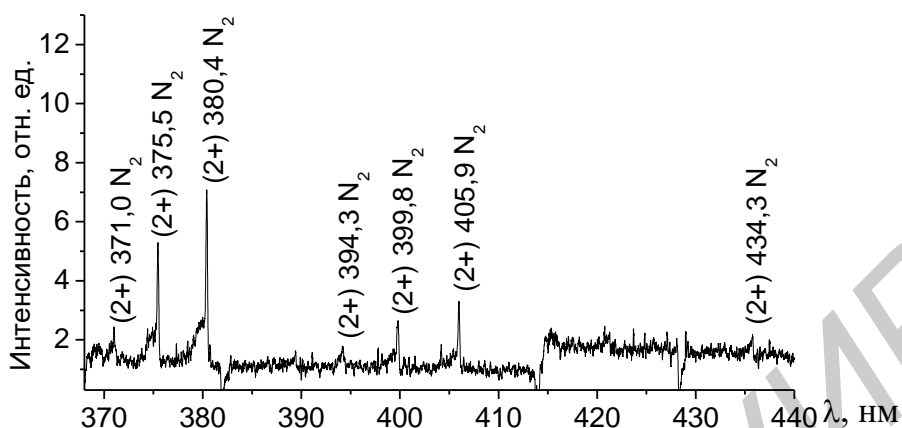


Рисунок 8 – Спектр излучения плазмы барьерного разряда в воздухе

Диагностика плазмы барьерного разряда осуществлялась без временного разрешения, по усредненным по времени эмиссионным спектрам, содержащим интегральную информацию о плазменном образовании в направлении наблюдения.

В пятой главе описаны экспериментальные исследования применения газоразрядной системы барьерного типа для деконтаминации биополимерных материалов, представлены результаты данных исследований.

Для изучения влияния плазменного воздействия на жизнеспособность грибов-колонизаторов бумаги проводили оценку выживаемости мицелия и спор грибов рода *Aspergillus* после обработки низкотемпературной газоразрядной плазмой в режимах при атмосферном давлении. В качестве модельных образцов полимеров использовали фильтровальную бумагу с нанесенными микроблоками агаризованной питательной среды, инокулированной спорами грибов рода *Aspergillus*, обладающих повышенной способностью выделять в окружающую среду органические кислоты (*A. niger*) и красно-оранжевые пигменты (*A. versicolor*).

На рисунке 9 представлены ИК спектры диффузного отражения образцов необработанной и обработанной в плазме барьерного разряда контаминированной грибными спорами бумаги.

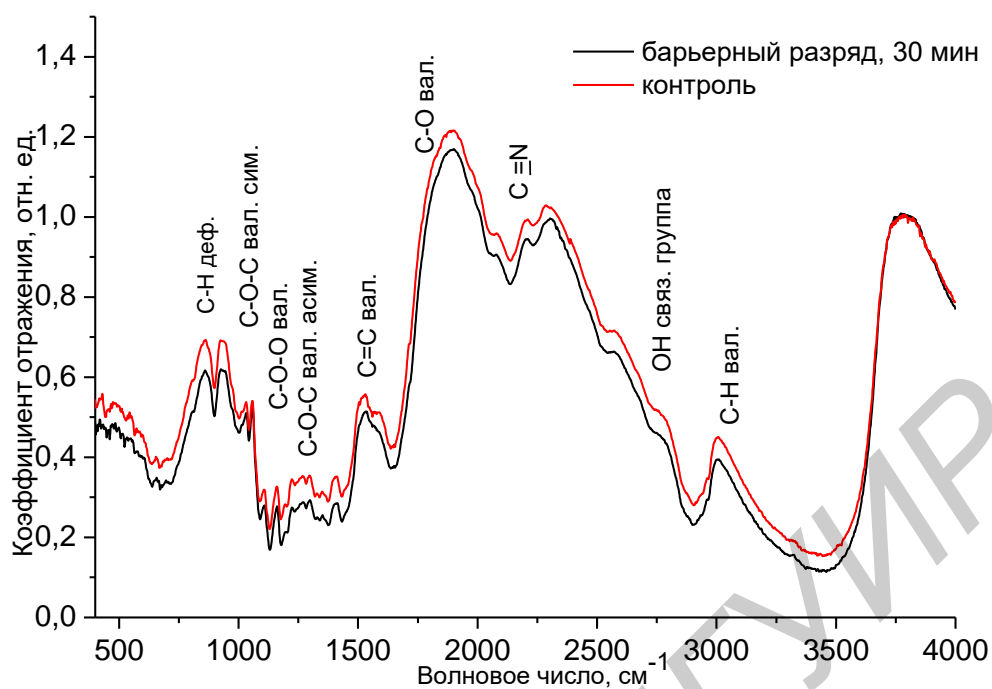


Рисунок 9 – ИК спектры диффузного отражения поверхности контаминированной грибными спорами бумаги до и после обработки плазмой барьерного разряда в течение 30 мин

Анализ результатов, полученных при использовании различных источников плазмы для деконтаминации биополимерных материалов, показал, что воздействие воздушной плазмы барьерного разряда при атмосферном давлении является наиболее эффективным способом плазменной очистки контаминированных грибными спорами биополимеров, что объясняется спецификой механизмов возбуждения и поддержания микроразрядов, в которых реализуются оптимальные условия для формирования высокой концентрации активных компонент (радикалов OH и атомов кислорода OI), обеспечивающих эффективное (до 90%) снижение количества жизнеспособных спор грибов рода *Aspergillus* (*A.niger* и *A.versicolor*), при этом локальный нагрев образца не наблюдается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате написания магистерской диссертации были изучены существующие типы барьерного разряда. Рассмотрены основные сферы применения плазмы низкотемпературного неравновесного разряда барьерного типа атмосферного давления.

Также модернизирован экспериментальный стенд для плазменной обработки биополимерных материалов, позволяющий возбуждать барьерный разряд атмосферного давления в среде молекулярных газов при удельном энергокладе $0,3 - 0,6 \text{ Вт/см}^2$. Для расширения диапазона энергетического воздействия на контаминированные микроскопическими грибами образцы полимерных материалов модернизирована установка на основе барьерного разряда атмосферного давления, поддерживаемого последовательностью пакетов высокочастотных импульсов, что позволяет расширить диапазон регулировки режимов горения разряда для обработки образцов, трудно поддающихся стерилизации и требующих повышенного энергоклада.

Определены термодинамические параметры используемой для деконтаминации материалов плазмы барьерного разрядов. Установлено, что в исследуемом диапазоне рабочих режимов значение газокинетической температуры плазмы барьерного разряда составило порядка 390 К.

Изучено влияние низкотемпературной плазмы на биологические свойства микроскопических грибов, выделенных из очагов плесневого поражения музейных предметов и произведений искусства на биополимерной основе. Показано, что жизнеспособность микромицетов в значительной степени зависит от длительности плазменного воздействия.

Результаты исследований опубликованы в виде тезисов на научных конференциях.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1–А. Клецкова, Е. Б. Экспериментальная установка для проведения процессов программно-управляемой обработки объектов барьерным разрядом атмосферного давления / Е. Б. Клецкова, А. Л. Барахоев (научный руководитель С. В. Бордусов) // 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 2017 г. / БГУИР. – Минск. – 2017. – [в печати].

2–А. Клецкова, Е.Б. Исследовательский стенд для изучения физико-технических характеристик барьерного разряда / Е.Б. Клецкова (научный руководитель С.В. Бордусов) // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2016): материалы 12-й Международной молодежной научно-технической конференции, Севастополь, 14-18 ноября 2016 г. / Севастопольский нац. Технический ун-т; редкол.: Ю.Б. Гимпилевич [и др.]. – Севастополь. – 2016. – С. 178.