

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
М.В.ЛОМОНОСОВА»
Физический факультет

курсовая работа

На тему: Исследование взаимодействия плазмы с
различными материалами

Студента 215 группы
Андреева Глеба Игоревича

Москва - 2020

Оглавление

Введение.....	3
1 Капиллярный разряд.....	4
<p>Во второй половине 20 века в связи с исследованиями плазменных разрядов различного типа в атмосфере появились такие понятия, как "долгоживущие плазменные образования" (ДПО) и "долгоживущие светящиеся образования" (ДСО). Это светящиеся объекты, получаемые в разрядных экспериментах при создании особо ярких источников излучения, а также при исследовании воздействия плазмы на различные материалы. Под словом "долгоживущие" образования подразумевается тот факт, что время их существования (например, время свечения τ_l) намного превышает их характерное время создания при помощи какого-либо источника плазмы τ_g, т.е. $\tau_l \gg \tau_g$. Например, в случае газового разряда время жизни таких объектов больше, чем характерные времена рекомбинации заряженных частиц в плазме τ_{rec}, или прилипания электронов к ионам $\tau_{att} : \tau_l \gg \tau_{rec}$, τ_{att}, т.е. времена вложения энергии и ее диссипация в пространстве значительно различаются.....</p>	
1.1 Получение плазмоедов.....	5
1.2 Эксперименты по получению ДСО при помощи капиллярного разряда.....	10
1.3 Воздействие на металлические образцы.....	12
2 Коронный разряд.....	14
1.1 Модификация свойств почвы при помощи плазмы коронного разряда.....	15
3 ЛИТЕРАТУРА.....	18

Введение

Исследования взаимодействия плазмы с различными поверхностями представляет значительный интерес для науки и техники. С помощью плазмы производится испарение тугоплавких металлов, возможно получить тонкие пленки разнообразных материалов, изменить физические свойства поверхности.

Можно также воздействовать плазмой на органические природные материалы такие, как почва, зеленые растения и семена.

Для исследования воздействия плазмы в работе рассмотрены капиллярные и коронные разряды, экспериментальные установки которых имеются на кафедре, и эксперименты с которыми планируются.

1 Капиллярный разряд

Во второй половине 20 века в связи с исследованиями плазменных разрядов различного типа в атмосфере появились такие понятия, как "долгоживущие плазменные образования" (ДПО) и "долгоживущие светящиеся образования" (ДСО). Это светящиеся объекты, получаемые в разрядных экспериментах при создании особо ярких источников излучения, а также при исследовании воздействия плазмы на различные материалы. Под словом "долгоживущие" образования подразумевается тот факт, что время их существования (например, время свечения τ_l) намного превышает их характерное время создания при помощи какого-либо источника плазмы τ_g , т.е. $\tau_l \gg \tau_g$. Например, в случае газового разряда время жизни таких объектов больше, чем характерные времена рекомбинации заряженных частиц в плазме τ_{rec} , или прилипания электронов к ионам τ_{att} , т.е. времена вложения энергии и ее диссипация в пространстве значительно различаются.

1.1 Получение плазмOIDов

Так как при исследовании капиллярных разрядов с целью их использования для создания долгоживущих плазменных образований в основном использовались капилляры из оргстекла. Целью настоящей работы было более детальное исследование влияния материала диэлектрика на характер капиллярного разряда.

В ходе исследования плазменных разрядов различного типа, были созданы макроскопические объекты с характерными размерами от 1 мм до 100 мм, которые регистрировались и наблюдались в течение достаточного долгого времени, от миллисекунды до секунд. Эти объекты, как правило, были светящимися, поэтому появилось понятие "долгоживущие светящиеся образования" (ДСО) [1, 2], а поскольку они появлялись в исследованиях плазменных разрядов различного типа, то они получили и другое название "долгоживущие плазменные объекты" (ДПО) [3], или "плазмOIDы" различного типа. Поэтому в литературе имеется разнобой в названиях этих макроскопических объектов, из которых мы будем использовать название "долгоживущие светящиеся образования" или ДСО.

Такие объекты были исследованы в связи с созданием особо ярких источников излучения, когда в объеме появлялись плазменные формирования с большим временем жизни (до 10^{-3} с при типичных временах жизни плазмы порядка 10^{-6} с и меньше).

Отличительной особенностью ДСО является их аномально большое время существования t_l (свечения), которое намного превышает время их создания газоразрядным источником τ_g , $t_l \gg \tau_g$ или, в случае их чисто плазменной природы, типичное время рекомбинации заряженных частиц в плазме τ_{rec} , $t_l \gg \tau_{rec}$.

Другой их особенностью является их автономность, то есть свойство сохранения своей формы, размера и цвета в течении большей части времени существования или наблюдения при перемещении в пространстве без взаимодействия с другими объектами.

Для проведения экспериментов по взаимодействию эрозионных разрядов с полимерными материалами используются следующие эрозионные плазменные генераторы: капиллярный, торцевой и открытый плазмотроны.

Капиллярный, или эрозионный плазмотрон – наиболее известный тип плазмотронов, для получения долгоживущей плазмы и ДСО [4]. Принципиальная схема этого плазмотрона представлена на рис. 1.

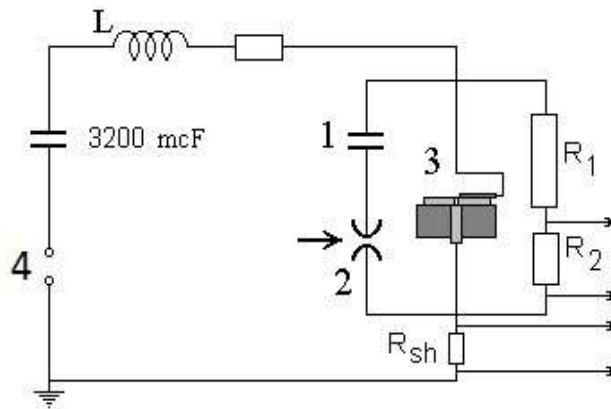


Рис. 1: Общая схема капиллярного плазмотрона. 1 – иницирующая емкость, 2 – коммутатор, 3 – капилляр, R_1 , R_2 – сопротивления делителя напряжения, R_{sh} – сопротивление шунта для определения тока разряда.

Она представляет собой цепь, включающую в себя коммутатор, емкость и разрядное устройство, в состав которого входят плоские электроды, разделенные диэлектриком с капилляром (Рис. 2).

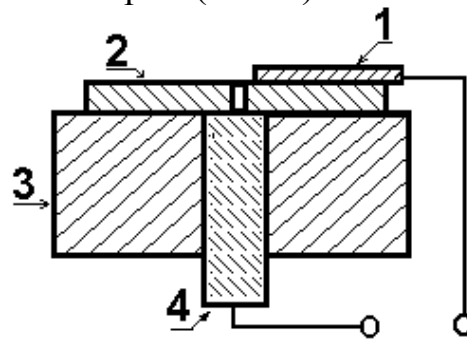


Рис. 2: Эрозионный плазмотрон. 1,4 – электроды, 2 – диэлектрическая пластина с капилляром (разрядная камера), 3 – основание плазмотрона изолятор.

Рассмотрим кратко принцип действия капиллярного плазмотрона. В начале накопительная емкость (1 рис. 1) заряжается от источника питания до напряжения порядка 300 В, при таком напряжении самопробой капилляра не наблюдается. В определенный момент от системы синхронизации подается высоковольтный импульс запуска (4 рис. 1). В результате происходит пробой капилляра, при этом накопительная емкость разряжается через капилляр, что приводит к образованию плазменного канала в капилляре. Рост тока приводит к нагреву плазмы в капиллярном разряде, при этом давление внутри капилляра возрастает и происходит выброс плазменной струи из капилляра. Процесс токового нагрева плазмы в капилляре происходит достаточно быстро (за время порядка нарастания тока), что приводит к росту скорости истечения плазменной

струи из капилляра.

Капиллярный плазмотрон обладает следующими характеристиками: длительность импульса 6 мс, энергия в импульсе 200 Дж, напряжение на разрядном промежутке 300-340 В, максимальное значение тока в импульсе 200-230 А.

Значения сопротивления делителя напряжения, используемые для снятия зависимости напряжения на разрядном промежутке от времени: R_1 – 62 кОм, R_2 – 1.2 кОм. Сопротивление шунта $R_{ш}$ – 0.013 Ом. Общая емкость накопителя C – 3.2 мФ.

Для получения разряда также использовался капилляр (Рис. 3) из различных материалов диаметром 2 мм и длиной 4-5 мм.

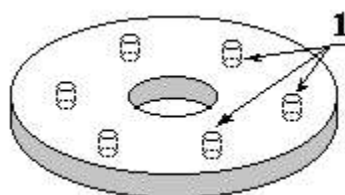


Рис. 3:
Разрядная камера
капиллярного плазмотрона.
1 – капилляры.

Нижний электрод был выполнен из сплава вольфрама с медью (ВДПМ), верхний электрод был медный, остальные элементы конструкции плазмотрона (за исключением капилляра) были выполнены из оргстекла. Запуск плазмотрона и регистрирующего осциллографа осуществлялся синхроимпульсами, поступающими с генератора импульсов Г5-15.

Измерения температуры и распределение электронной концентрации в струе плазмы, создаваемой при помощи данного плазмотрона с использованием капилляра из оргстекла были проведены в работе [5]. На Рис. 4 представлены аксиальное (Рис. 4.а) и радиальное (Рис. 4.б) распределения электронной концентрации в плазменной струе.

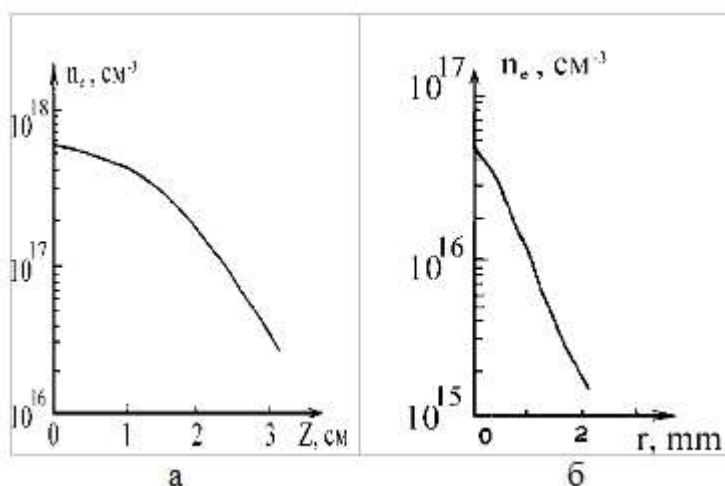


Рис. 4: Распределения электронной концентрации в плазменной струе (а – аксиальное; б – радиальное).

Как видно из приведенных зависимостей концентрация электронов изменяется вдоль оси разряда в пределах $10^{16} - 10^{18} \text{ см}^{-3}$, а в радиальном направлении в пределах $10^{15} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

На Рис. 5 представлены аксиальное (Рис. 5 а) и радиальное (Рис. 5 б) распределения температуры в плазменной струе.

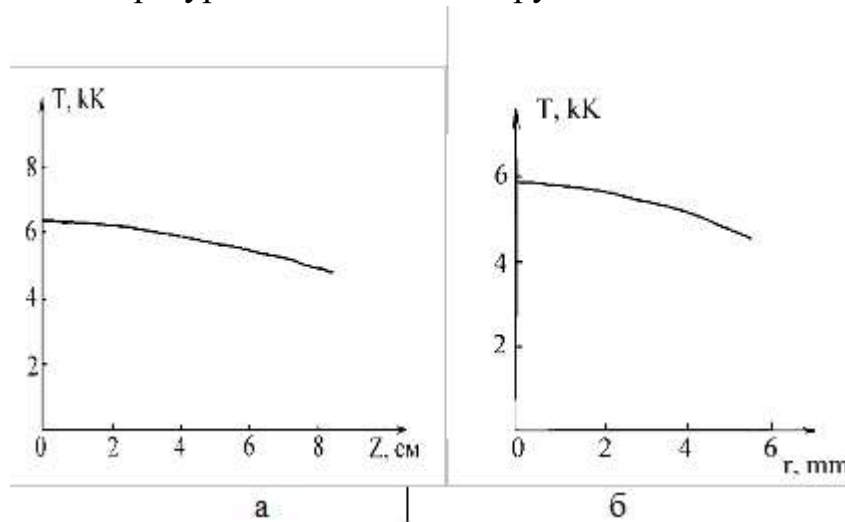


Рис. 5: Распределения температуры в струе плазмы (а – аксиальное, б – радиальное).

Как следует из приведенных графиков температура плазмы, в отличие от плотности электронов, слабо меняется как вдоль оси разряда, так и по его радиусу.

Типичная вольт-амперная характеристика данного плазмотрона с капилляром из оргстекла представлена на Рис. 6. Из этой вольт-амперной характеристики видно, что импульс тока (верхняя кривая) и напряжения (нижняя кривая) по времени имеет треугольную форму. Длительность разрядного импульса $\tau \sim 40-50 \text{ мс}$.

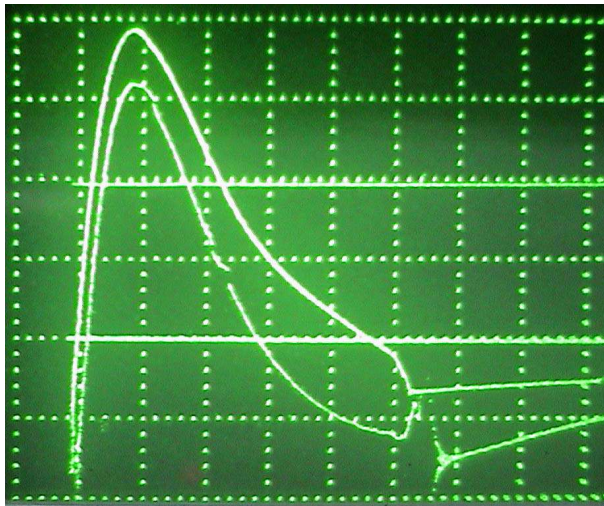


Рис. 6: Типичная вольт-амперная характеристика капиллярного плазмотрона (капилляр из оргстекла).

На Рис. 7. Представлены фотографии плазменных струй при разном материале камера капиллярного плазмотрона. Отличие материала незначительно

меняет форму цвет и длину плазменных струй.

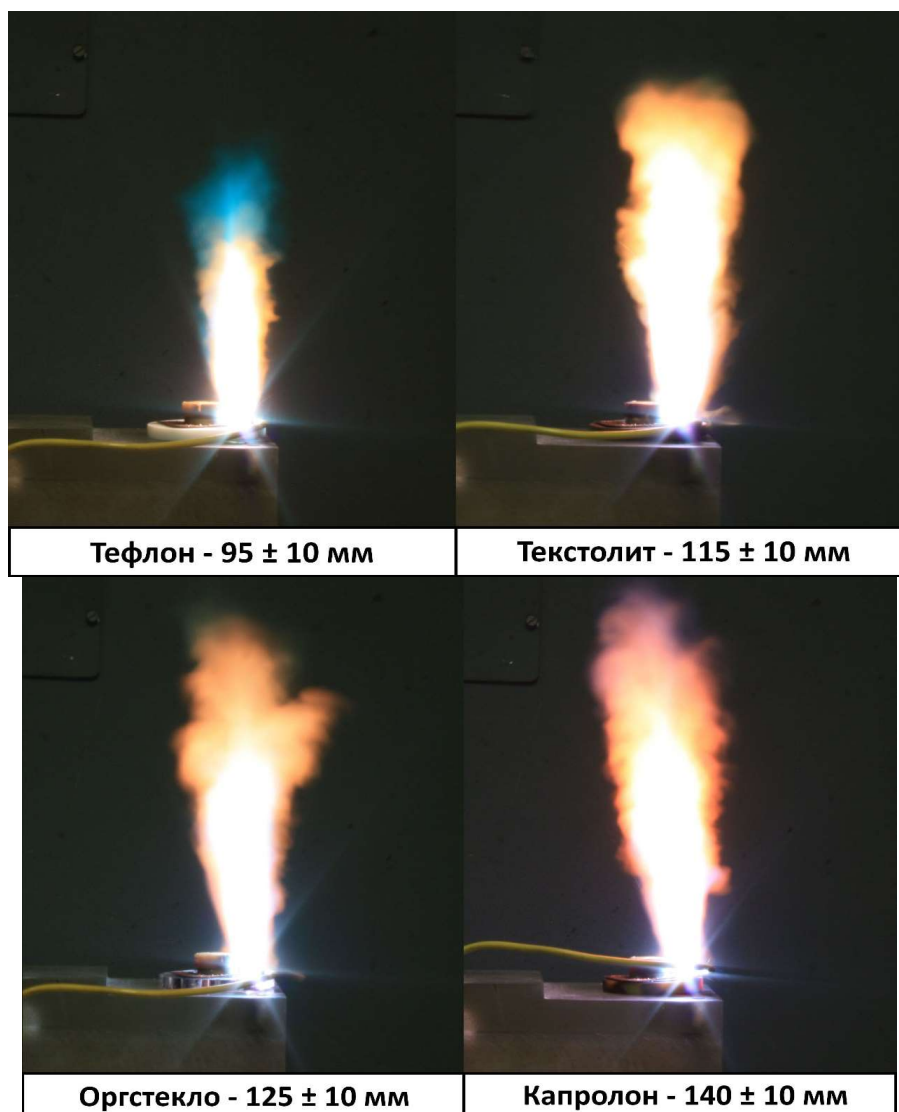


Рис. 7: Фотографии плазменных струй при разном материале камера капиллярного плазмотрона.

1.2 Эксперименты по получению ДСО при помощи капиллярного разряда

В работе [5] были проведены эксперименты по исследованию взаимодействия плазменной струи, созданной эрозионным капиллярным разрядом (параметры которого, приведены ранее), с тонкими проволочками, размещенными в струе (см. рис. 10) В качестве исследуемого объекта использовался припой ПОС 61 диаметром 1.5 мм, состав которого: Sn – 59-61%, Pb – 39-41%.

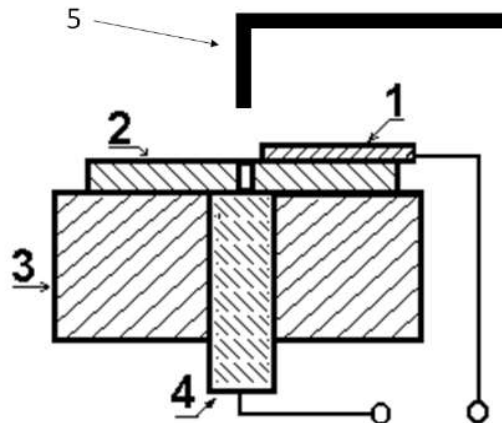


Рис. 8: Схема эрозионного плазмотрона. 1,4 – электроды, 2 – диэлектрическая пластина с капилляром (разрядная камера), 3 – станина плазмотрона из оргстекла, 5 – металлическая проволока (припой ПОС-61).

При взаимодействии плазменной струи с проволокой, нижняя часть ее резко нагревалась, плавилась, и ее материал вылетал вместе с плазменной струей в виде светящихся объектов. Типичный пример фотографии таких объектов показан на рис. 9. Экспозиция каждого кадра при съёмке фотоаппаратом составляет 3 с. Что делает невозможным оценить время свечения образующихся частиц на основании аналогичных фотографий. По фотографиям можно оценить только время, за которое ДСО достигает наивысшей точки своей баллистической кривой. Для получения более точных оценок времени свечения ДСО в дальнейшем использовалась видеокамера с частотой следования 30 кадров в секунду.

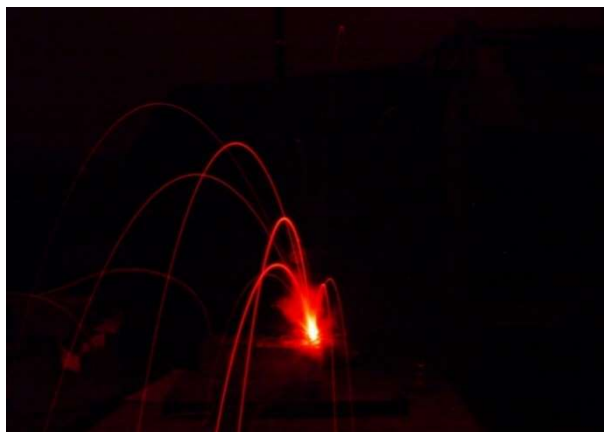


Рис. 9: Фотография треков частиц, образующихся при взаимодействии капиллярного разряда с проволокой.

При проведении дальнейших исследований светящиеся объекты падали на белые листы бумаги, оставляя на них следы в виде следов капель и звезд группы линий из центра (см. рис. 10). В некоторых случаях были обнаружены сплошные сферы и разрушенные бесформенные кусочки металла.



Рис. 10: Фотография следов после того как ДСО прыгала по поверхности бумаги.

При этом было сделано предположение, что звездам соответствуют объекты с оболочкой заполненной паром, которые при падении на бумагу разрушались, а их энергия передавалась разлетающимся каплям жидкости-конденсирующегося пара.

Для анализа вылетающих ДСО рядом с экспериментальной установкой располагались ванночки с водой, в которые ДСО и падали.

После серии экспериментов были обнаружены частицы двух типов: первые, которые находились на дне ванны, и вторые, которые плавали на поверхности воды.

Те сферы, которые находились на поверхности жидкости, представляют собой полые частицы (пузыри) с металлическим шариком внутри, радиус которого раза в 3-4 меньше радиуса полый сферы. При попытке достать полые сферы из ванны, они разрушались. Это свидетельствует о том, что толщина оболочки достаточно тонкая и хрупкая. Иногда наблюдалось, что при падении сферы в воду оболочка разрушалась, она оставалась на поверхности воды, а на дно кюветы падал металлический шарик.

1.3 Воздействие на металлические образцы

Принципиальная схема и общий вид капиллярного разрядника использованного в эксперименте представлены на Рис. 11. Зажигание разряда сопровождается абляцией стенки капилляра, вещество которой служит в качестве рабочего тела и определяет химический состав образующейся плазмы. Выделение энергии и, как следствие, повышение давления внутри капилляра, приводит к вытеснению плазмы и формированию плазменной струи, истекающей из капилляра в атмосферу воздуха. Разрядный импульс формируется источником на основе стандартной схемы емкостного накопителя. Параметры разрядного импульса были выбраны следующим образом. Длительность импульса ~ 10 мс. Потребление энергии составляет около 200 Дж. Значения сопротивления делителя напряжения, используемые для снятия зависимости напряжения на разрядном промежутке от времени: R_1 - 62 кОм, R_2 - 1,2 кОм. Сопротивление шунта: R_{sh} - 0,0013 Ом. Общая емкость накопителя: $C=3,2$ мФ.

Плазменная струя направлялась на образцы из сплава олова и свинца, истого олова, чистого свинца и чистой меди. В ходе эксперимента обнаружены крупные до 2 мм в диаметре люминесцирующее гетерогенные структуры - долгоживущие плазменные образования (ДПО). ДПО были получены на основе сплава олова и свинца, чистого олова, чистого свинца и чистой меди. Были определены условия, при которых время жизни объектов с оболочкой и ядром

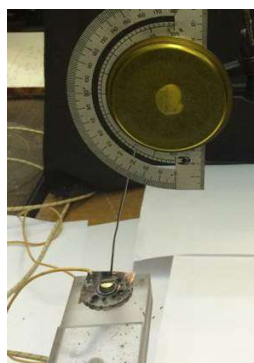


Рис. 11: Капиллярный плазмотрон, транспорт и проволока, расположенная под определенным углом.

пара достигает 4 секунд. На Рис. 11 представлена установка для определения положения проволоки относительно вертикали, чтобы измерить зависимость количества ДПО и их размера от угла. Эксперименты проводились в различных условиях, а именно: для следующих диаметров канала плазмотрона: 1мм; 2,5мм; 4,3мм; для различных углов действия струи на металлическую мишень: 0°; 35°; 60°; 90°. Угол отсчитывался от вертикали.

Для данных экспериментов получено до семи десятков плазменных образований. Для комбинаций условий, таких как 1мм, 90°; 2,5мм, 0°; 4,3; 35° - где соответственно первое из значений диаметр канала плазмотрона, а второе

значение угол действия струи на металлическую мишень удалось получить наибольшее количество ДПО, в среднем от 19 до 37 образований. Размер полученных образцов составлял приблизительно 1-2мм в диаметре.

Было обнаружено, что, когда плазменная струя взаимодействует с материалами, смоченными различными жидкостями, изменяется количество ДПО и их размер. В частности, глицерин приводит к увеличению, как количества, так и размера ДПО, при этом получалось в среднем 25-43 образований, а размеры от 1,5 до 3мм. А при смачивании спиртом, наоборот, снижались эти характеристики, а именно количество ДПО в среднем 8-17 образований, а размеры от 0,7мм до 1,3мм.

2 Коронный разряд

Коронный разряд — слабый слабосветящийся разряд, который появляется в окрестности острия, проволоки, где поле резко усилено. Только в этой области происходит ионизация газа, и он светится. Электрическая цепь замыкается потоком заряженных частиц, которые рождаются в зоне вблизи острия и вытягиваются уже относительно слабым полем к другому электроду. Корона возникает при давлениях порядка атмосферного, в воздухе около проводов высоковольтных линий, около громоотводов и мачт кораблей. Для образования короны требуется достаточно высокое напряжение (10-30 кВ), которое зависит от внешних условий.

Когда приложенное напряжение V меньше напряжения зажигания короны V_k , в цепи можно зарегистрировать несамостоятельный ток порядка 10^{-14} А. Это вытягиваются ионы, возникающие под действием космических лучей и естественной радиоактивности. Зажигание короны проявляется не только в виде свечения у коронирующего электрода, которое может быть не заметным человеческому глазу, но и в виде скачкообразного возрастания тока до значения порядка 10^{-6} А. В воздухе при комнатной температуре и атмосферном давлении $V_k \sim 5-25$ кВ. С увеличением напряжения корона происходит в искровой или дуговой разряд с образованием ярко светящегося канала.

Электрическое поле на острие электрода усиливается. В сильном поле фоновые электроны, образованные при торможении космических лучей в атмосфере и при распаде радона в почве Земли, ускоряются и на некотором расстоянии от острия ионизуют воздух. Возникает плазма. Из закона сохранения количества заряда и большого числа образующихся заряженных частиц следует, что плазма является квазинейтральной, то есть число отрицательно заряженных частиц в ней приблизительно равно числу положительно заряженных частиц.

1.1 Модификация свойств почвы при помощи плазмы коронного разряда

Перспективным способом использования коронного разряда является активация почвы. При такой активации улучшается электропроводность почвы и ее состав [7].

Схема экспериментального устройства представлена на Рис.12. Экспериментальная установка состоит из кюветы, наполненной почвенными образцами полевой влажности (песок, чернозем, глина) и электрической цепи. Верхний электрод - игла, диаметром 0.9 мм (с радиусом кончика-0.2 мм) или 2 мм (с радиусом кончика -0.4 мм) был помещен на высоте 5-15 мм над поверхностью влажной почвы. В условиях когда не возникал электрический пробой на нижний электрод, покрытый исследуемым материалом. Расстояние между электродами в случае многоэлектродной системы составляло 11 мм.

Электроды находились под положительным или отрицательным потенциалом. Кюветы были выполнены из металла или диэлектрика. Металлические кюветы были следующими: цилиндрические диаметром \varnothing 130 мм, высотой 18 мм, и прямоугольные 37×70×122 мм; диэлектрическая пластмассовая кювета была прямоугольной 45×95×130 мм. Ток в разряде измерялся миллиамперметром A_1 , напряжение измерялось цепью, состоящей из сопротивления R_1 и миллиамперметра A_2 . Были измерены вольт-амперные характеристики разряда над поверхностью почвы и представлены результаты в координатах A - V^2 (Ампер-Вольт квадратная характеристика удобная для анализа электрических свойств коронного разряда введена в работе [7] на основе теории коронного разряда[5] .

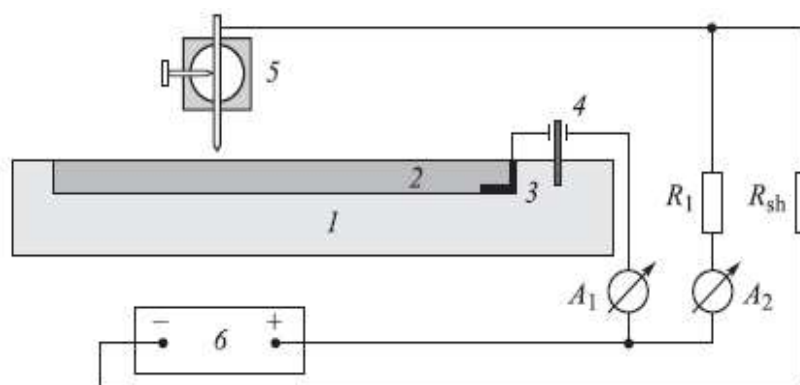


Рис. 12: Принципиальная схема экспериментальной установки. 1-кювета, 2-жидкость (вода, спирт, керосин), 3-анод, 4-подставка, 5- катод, 6- источник питания



Рис. 13: Фотография многоигльчатого капиллярного плазмотрона.

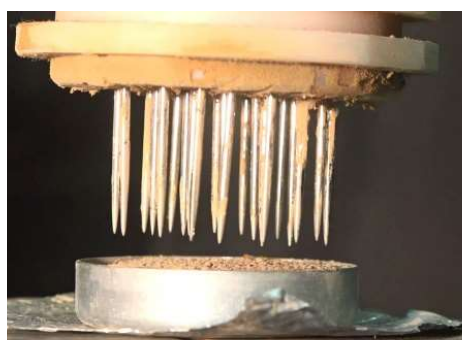


Рис. 14: Секция воздействия многоигльчатого коронного разряда на объект. Расстояние между иглами и почвой 7 мм.

Десятки повторений эксперимента взаимодействия почвы с коронным разрядом показали стабильное и существенное изменение их характеристик, таких, как электропроводность, магнитная восприимчивость, порозность, которые могут приводит к улучшению свойств почвы, определяющих рост растений [7].

Исследуемые образцы: чернозем; песок; глина. Время воздействия плазмы на поверхность составляла 40-60 секунд, температура воздуха и почвы до проведения эксперимента 23С.

Исследование почвенных характеристик осуществлялось через сутки после эксперимента, при той же температуре образцов и воздуха, поэтому можно не учитывать изменения почвенных свойств, вызванных нагревом образцов.

В результате эксперимента выявлены изменения значений электропроводности обработанных образцов по сравнению с контролем, причем при отрицательной полярности коронного разряда (нижний электрод заземлен, потенциал на игле) электропроводность увеличивается заметнее (Рис.15), чем при положительной полярности (потенциал на нижнем электроде, игла заземлена) (Рис.16).

Исследование почвенных характеристик осуществлялось через сутки после эксперимента, при той же температуре образцов и воздуха, поэтому можно не учитывать изменения почвенных свойств, вызванных нагревом образцов.



Рис. 15: Изменение электропроводности образцов при положительной полярности коронного разряда



Рис. 16: Изменение электропроводности образцов при отрицательной полярности коронного разряда

3 ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов А.П., Тимофеев И.Б., Чувашев С.Н., Быцкевич С.П. Эволюция структуры и параметров плазменной струи с импульсной инжекцией в атмосферу. Теплофизика Высоких Температур. 1990. Т. 28. Вып. 3. с. 583-589.
2. Александров А.Ф., Исаев К.Ш., Черников В.А. Излучение и химический состав эрозионной плазмы, истекающей в воздух. Теплофизика Высоких температур. 1990. Т. 28. Вып. 5. с.833-842.
3. Кунин В.Н., Плешивцев В.С., Фуров Л.В. Эксперименты по исследованию природы шаровой молнии. Теплофизика Высоких температур. 1997. Т.35. № 63. С.866-870.
4. Авраменко Р.Ф., Бахтин Б.И., Николаева В.И., Поскачеева Л.П., Широков Н.Н. Экспериментальное исследование плазменных образований, инициируемых эрозионным разрядом. Журнал Технической Физики. 1990. Т.60, вып.12, с. 73-78.
5. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. М: Интеллект, 2009.– 692 с.
6. Bychkov V.L., Chernikov V.A., Osokin A.A., Stepanov A.I., Stepanov I.G. Modeling of Artificial Ball Lightning with a Help of Capillary Discharge. // IEEE Trans. Plasma Sci. vol. 43, N. 12, 2015, P. 4043-4047. DOI: 10.1109/TPS.2015.2478441.
7. Бычков В. Л., Бикмухаметова А. Р., Дешко К. И., Михайловская Т. О., Черников В. А., Шваров А. П. Исследования воздействия плазмы на свойства дисперсных сред с органическими объектами. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-Математика 2019. № 4 С. 77-89. DOI: 10.18384/2310-7251-2019-4-77-89
8. Bychkov V. L., Chernikov V. A., Volkov S. A., Bychkov D.V., and Kostiuk A. A. // Transactions on Plasma Science. 2011, V. 39, N. 2. P.2640-2641.
9. Bychkov V. L., Chernikov V. A., Volkov S. A., Bychkov D.V., and Kostiuk A. A. Multi-Electrode Corona Discharge Over liquids IEEE Transactions on Plasma Science, 2011, V.39, Issue 2.p.2642-2643.