

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

УДК 537.523

Запорожченко  
Юлия Владимировна

Обработка биологических объектов в плазме при атмосферном давлении

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1 –41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные  
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на  
квантовых эффектах»

Научный руководитель

Котов Д. А.,  
к.т.н., доцент кафедры МНЭ

Минск 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Плазма называется четвертым состоянием материи в физике, помимо твёрдого, жидкого и газообразного. Она генерируется в сильном электрическом поле. Полученный частично ионизированный газ состоит из высокореактивной смеси ионов и электронов, радикалов, возбужденных видов, электрических полей и УФ-излучения и обычно сопровождается огромным выделением тепла. Эта теплота вырабатывается за счет количества электрически генерируемых высокоэнергетических электронов и последующих процессов возбуждения, ионизации и диссоциации частиц газа.

Плазма уже несколько лет используется в медицине для стерилизации, прижигания или коагуляции или даже в эстетической медицине. Однако плазма либо генерируется в вакууме, либо очень горячая и, следовательно, не подходит для применения в данной области.

Недавние подходы в науке о плазме привели к образованию холодной атмосферной плазмы (ХАП). «Холодная» означает, что устройства ХАП обычно работают при температуре ниже  $40^{\circ}\text{C}$  или что, плазма применяется в импульсном режиме, что предотвращает нагрев ткани. Холодная атмосферная плазма может быть достигнута путем ограничения количества высокоэнергетических электронов с использованием короткого времени воздействия (-100 нс) за цикл или путем охлаждения незаряженных молекул / атомов в плазме с помощью потока газа и воздуха.

При проведении различного рода операций одной из проблем, с которой приходится сталкиваться, является остановка кровотечений. Применение холодной плазмы для ускорения процесса коагуляции крови является эффективным способом решения данной задачи, которое также решает проблемы дезинфекции раны.

Одним из больших преимуществ ХАП является то, что она не теряет свою бактерицидную (спорицидную), фунгицидную и вируцидную активность. Эти особенности в периоды глобальных проблем гигиены из-за повышения устойчивости микробов к препаратам - очень интересные возможности для новой технологии.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы магистерской диссертации.**

Последние исследования выявили, что низкотемпературная плазма эффективно инактивирует микроорганизмы на живых тканях, ускоряет сворачиваемость крови, деление клеток и заживление ран. Наибольший интерес представляет именно избирательность действия плазмы. Холодная плазма приводит к управлению клеточной адгезией, временному повышению проницаемости клеточной мембраны и стимуляции клеточного деления. При этом воздействие в разных режимах обработки низкотемпературной плазмы достаточно для полного уничтожения бактериальных клеток. Селективность воздействия плазмы на клетки млекопитающих и бактерий связана с различиями на уровне клеточного метаболизма и более высокой организацией структуры клеток, что значительно лучше защищает их от воздействия внешних факторов.

### **Цель и задачи исследования.**

Целью работы является исследование изменения свойств биологических объектов после обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести аналитические исследования действия плазмы атмосферного разряда на поверхность биологических объектов;
- поставить методику обработки поверхности биологических объектов в плазме диэлектрического барьерного разряда;
- провести экспериментальные исследования и установить зависимости величины смачивания поверхности биологического материала от параметров обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении;
- определить эффективные режимы обработки поверхности материала в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является поверхность биологического материала, обработанной в плазме. Предметом исследования являются зависимости и закономерности изменения свойств поверхности от режимов обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении.

**Область исследования.** Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 «Твердотельная

электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В результате выполнения аналитических исследований были установлены основные процессы, происходящие на поверхности при взаимодействии с атмосферной плазмой:

Очистка происходит за счет разрушения энергетическими частицами плазмы органических загрязнений поверхности и их удаления потоком газа, а также за счет десорбции газов с поверхности.

Активация поверхности заключается в том, что поверхностным атомам твердого тела для перевода их в активное состояние сообщается некоторая энергия, необходимая для обрыва связей между атомами тела и атомами внешней среды, насыщающими их свободные связи.

Разработана методика обработки биологического материала в плазме диэлектрического разряда при атмосферном давлении. Поставлены методики измерения краевого угла смачивания поверхности. Определены оптимальные параметры разрядной системы для формирования плазменного факела и проведения процесса обработки поверхности. Отработана методика обработки на основании измерения эффекта от очистки с помощью метода лежащей капли.

**Информационная база** исследования заключается в определении оптимальных параметров разрядной системы и системы питания для обработки.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке методики изменения свойств поверхности биологического материала, без ее физического повреждения, посредством обработки в низкоэнергетической плазме атмосферного разряда.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие основные результаты:

Разработана методика обработки в холодной плазме диэлектрического барьерного разряда поверхности костной ткани (оптимальное расстояние разрядное устройство – образец – 1 см, расход плазмообразующего газа 250 л/ч, время обработки до 80 с), которая приводит к снижению краевых углов смачивания с 78° до 20°.

**Личный вклад соискателя.** Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Обработка поверхностей и изменения свойств поверхности проводилась соискателем лично. Во время работы над диссертацией соискателем были выявлены зависимости

величины угла смачивания поверхности. Анализ результатов эксперимента по обработке проводилась совместно с научным руководителем кандидатом технических наук Котовым Д.А.

**Апробация результатов диссертации.** Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы, а также результаты прикладных исследований и разработок были не однократно представлены на республиканских и международных конференциях.

Отдельные положения, в частности методики обработки поверхностей материалов использовались в рамках проекта с БРФФИ № 17-1086Б ОТ 18.04.2017 «Отработка режимов модификации поверхности материалов различного типа в плазме диэлектрического барьерного разряда».

**Публикации.** Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 14 опубликованных работах, представленных в материалах международных научно-практических и научно-технических конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 34 наименования. Общий объем диссертации составляет 70 страниц.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены преимущества применения плазмы атмосферного разряда, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **первой главе** приводятся аналитические исследования процессов генерации плазмы атмосферного разряда, ее преимущества и особенности. Приведены основные типы разрядных систем, физические и химические принципы очистки и модификации поверхностей. Рассмотрены методики тестирования свойств поверхностей после обработки.

Во **второй главе** рассмотрены методики оценки параметров поверхности.

Для исследований была выбрана разрядная система коаксиального типа с диффузным диэлектрическим барьерным разрядом для создания «холодной» плазмы при атмосферном давлении.

Гидрофобно/гидрофильные свойства поверхности оценивались с помощью метода лежащей капли, который позволяет измерить угол смачивания поверхности. Для определения угла смачивания с помощью метода лежащей капли на поверхность наносилась капля объемом 0,01 мл, а затем производилась ее фотофиксация и с помощью программы AutoCAD определялся угол смачивания.

В **третьей главе** приведены результаты исследования зависимости длины температуры плазменного факела от параметров разрядной системы. Также были приведены экспериментальные исследования обработки биологического материала и установлены зависимости изменения гидрофильно/гидрофобных свойств поверхности костной ткани зуба от параметров разрядной системы.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были проведены аналитические исследования воздействия плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении на биологические объекты.

Для исследований была выбрана разрядная система коаксиального типа с диффузным диэлектрическим барьерным разрядом для создания «холодной» плазмы при атмосферном давлении.

Проведенные экспериментальные исследования характеристик плазменного факела, генерируемого разрядной системой и обработки биологического материала, позволили определить эффективные режимы работы экспериментального комплекса и установить зависимости изменения гидрофильно/гидрофобных свойств поверхности костной ткани зуба от них.

Разработана методика обработки в «холодной» плазме диэлектрического барьерного разряда поверхности биологического материала при расстоянии «разрядное устройство – образец» – 10 мм, расходе плазмообразующего газа в диапазоне 230-250 л/ч, времени обработке от 30 до 80 с, позволила снизить краевой угол смачивания поверхности зуба с 78° до 20°.

Таким образом, было показано, что плазма диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении может успешно применять в стоматологии для очистки и дезинфекции поверхности костной ткани зуба при его лечении, вследствие ее способности эффективно изменять свойства поверхности биологического материала при этом, не изменяя его структуры.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Y.V.Zaparozhchanka. Lateral force microscopy as a method of properties control after low-temperature plasma treatment / V.A. Lapitskaya, T. A. Kuznetsova, S. A. Chizhik, K.A. Sudzilouskaya, D. A. Kotov, S. A. Nikitiuk// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering - 2018 v. 443

2. Ю.В.ЗапорожченкоИзучение параметров факела холодной плазмы, генерируемого при атмосферном давлении/ А.В. Аксючиц, Д.А. Котов// Материалы XV Международной научной конференции «Молодежь в науке – 2.0'19» - Минск, 2019 - С. 462.

3. Y.V.Zaparozhchanka. Increase in the silicon surface adhesion by treatment in atmospheric plasma// D.A. Kotov, T.A. Kuznetsova, V.A. Lapitskaya, G.B. Melnikova, S.A. Chizhik, E.V. Yatsevich, S. A. Nikitiuk // Plasma Physics and Plasma Technology: IX International conference (Minsk, 17-21 september, 2018) /B.I. Stepanov Institute of Physics National Academy of Sciences of Belarus – Minsk, 2018. – 49 p

4. Ю.В.Запорожченко. Исследование поверхности монокристаллического кремния после обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении / Е. В. Яцевич, Д. А. Котов, Ю. В. Запорожченко, С. А. Никитюк, А. Н. Осипов // VIII Международная научная конференция «Материалы и структуры современной электроники» (10 — 11 октября 2018 г.) БГУ : Минск, 2018. – С.54–57.

5. Ю.В. Запорожченко. Обработка поверхности кремния и стекла в плазме при атмосферном давлении / Е. В. Яцевич, Ю. В. Запорожченко, С. А. Никитюк, Д. А. Котов, А. Н. Осипов // Материалы XV Международной научной конференции «Молодежь в науке – 2.0'18» (29 октября – 1 ноября 2018, Минск) – С.221–228.

6. Ю.В. Запорожченко.Изменение адгезионных свойств поверхности кремния после обработки в плазме атмосферного разряда / Е. В. Яцевич, Ю. В. Запорожченко, А. В. Аксючиц // Физика конденсированного состояния: материалы XXVII международной научно-практической конференция аспирантов, магистрантов и студентов. (Гродно, 18 апр. 2019) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. Е. Герман (гл. ред.) [и др.] – Гродно : ГрГУ, 2019. – С.145–146.

7. Ю.В. Запорожченко. Управление поверхностными свойствами полимеров в плазме атмосферного разряда / Е. В. Яцевич, Ю. В. Запорожченко, А. В. Аксючиц // Физика конденсированного состояния: материалы XXVII международной научно-практической



конференция аспирантов, магистрантов и студентов. (Гродно, 18 апр. 2019) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. Е. Герман (гл. ред.) [и др.] – Гродно : ГрГУ, 2019. – С.180–182.

8. Ю.В. Запорожченко. Изменение поверхностных свойств полиметилметакрилата и политетрафторэтилена в плазме при атмосферном давлении / Е. В. Яцевич, Ю. В. Запорожченко, М. С. Вербицкая, Д. А. Котов // Материалы XVI Международной научной конференции «Молодежь в науке – 2.0'19» (14 октября – 17 октября 2019, Минск) – С.508–511.

9. Ю.В.Запорожченко. Модификация свойств поверхности стекла обработкой в плазме атмосферного разряда / Е. В. Яцевич, Н. В. Жидкина, М. С. Вербицкая, А.В. Аксючиц // Физика конденсированного состояния: материалы XXVIII международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов. (Гродно, 17 апр. 2020) / грГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. Е. Герман (гл. Ред.) [И др.] – Гродно : ГрГУ, 2020. – С.49–52.

10. Ю.В.Запорожченко. Повышение адгезии поверхности кремния, методом обработки в плазме атмосферного разряда / Ю.В. Запорожченко, С.А. Никитюк// Физика конденсированного состояния: материалы XXVI международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов. (Гродно, 12 мая. 2018) / грГУ им. Я. Купалы; редкол.: А. Е. Герман (гл. Ред.) [И др.] – Гродно : ГрГУ, 2018. – С.158.

11. Y.V.Zaparozhchanka. Managing the surface properties of materials of display technology by means of treatment in atmospheric discharge plasma/ D.A. Kotov, A.V. Aksyuchits, A.N. Osipov, S.V. Pancev// EuroDisplay 2019, Society for Information Display

12. Ю.В. Запорожченко. Управление гидрофильными свойствами поверхности кремния, методом обработки в плазме атмосферного разряда // 54-я научная конференция студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР, Минск – 2018

13. Ю.В. Запорожченко. Изменение адгезионных свойств поверхности кремния после обработки в плазме атмосферного разряда / Ю.В. Запорожченко, А.В. Аксючиц // 55-я научная конференция студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР, Минск - 2019

14. Ю.В. Запорожченко. Управление поверхностными свойствами полиметилметакрила в плазме диэлектрического барьерного разряда / Ю.В. Запорожченко, М.С. Вербицкая, Н.В. Жидкина // 56-я научная конференция студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР, Минск – 2020. – С.52