

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

УДК 538.971

Хамаде  
Башар Заид Сары

Генератор плазмы диэлектрического барьерного разряда для модификации  
поверхности твердых тел

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1 –41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы»

Научный руководитель

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

Минск 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Керамические подложки (ситалл, поликор, высокоглиноземистой керамики 22ХС (ВК-94-1) и др) обладают высокой механической прочностью, что делает их долговечными и стойкими к внешним воздействиям, поэтому они используются в микроэлектронике для создания гибридных интегральных систем (ГИС) и силовой электронике в технике специального и космического назначений.

Для создания на их поверхности топологии ГИС ее необходимо очистить. Очистка химическим жидкостным методом не идеальна, и нет необходимой активации поверхности. Поэтому мы предложили новый метод очистки, не в химическом растворе (в кислоте их чистить), а в плазме атмосферного разряда. Поэтому перед нанесением функциональных слоев мы обрабатываем подложку в плазме так, как она позволяет делать атомарную очистку поверхность, то есть очистку и активацию, что подтверждается растеканием жидкости, и показывает повышение адгезии, что и подтверждается, в результате нашей работы.

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 частиц, электрических полей и УФ-излучения и обычно сопровождается выделением тепла.

«Холодная» плазмой называется плазма при обработке в которой объект не нагревается выше  $40^{\circ}\text{C}$ . Это достигается применением импульсного режима ее питания. «Холодная» атмосферная плазма может быть достигнута путем ограничения количества высокоэнергетических электронов с использованием короткого времени воздействия (менее 100 нс) за цикл, а также протоком рабочего газа.

Дипломный проект выполнен самостоятельно, проверен в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности составляет 81,25%. Результат проверки представлен в Приложении А.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

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

Для развития прикладных нанотехнологий необходимо гибкое и оперативное управление свойствами границы раздела фаз, особенно поверхности твердого тела, что реализуется путем ее очистки и модификации. Возможности традиционной обработки наноструктур в жидкости ограничены из-за физического эффекта поверхностного натяжения. Плазменная обработка таких ограничений не имеет и способна проникать в нано размерные отверстия и полости, а также обеспечить атомарную чистоту поверхности.

### **Цель и задачи исследования.**

Целью является разработка методики очистки и активации поверхности керамических подложек в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении для увеличения гидрофильных свойств.

– провести аналитические исследования модификации поверхности керамических подложек для микроэлектроники;

– поставить методики измерения краевого угла смачивания поверхности керамических подложек;

– разработать методику обработки поверхности керамических подложек в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении;

– определить эффективные режимы обработки поверхности керамических подложек в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении.

**Объект** исследования – это поверхность твердого тела и режимы ее обработки в плазме при атмосферном давлении.

**Предмет исследования** – это зависимости и закономерности гидрофильно/гидрофобных свойств поверхности керамических подложек 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 03 «Нанотехнологии и наноматериалы».

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

В результате выполнения аналитических исследований были установлены основные процессы, происходящие на поверхности при

взаимодействии поверхности керамических подложек с атмосферной плазмой:

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 керамических подложек 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 поверхности на основании эффекта смачивания от параметров процесса плазменной обработки.

**Информационная база** исследования заключается в определении эффективных параметров плазмы генерируемой разрядной системой и соответственно режимов обработки в ней, для очистки и активации поверхности керамических подложек.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в построении методики обработки поверхности керамических подложек в плазме при атмосферном давлении и установлении зависимостей ее эффективности от условий проведения.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

На защиту выносятся следующие основные результаты:

С использованием экспериментального комплекса генерации аргоновой плазмы атмосферного разряда в коаксиальной конфигурации с диаметром зоны активного воздействия 10 мм обработаны подложки из ситалла (СТ-50), поликора (ВК-100), и шлифованной и глазурированной керамики 22ХС (ВК-94-1) при расходе рабочего газа 178л/ч, расстоянии торца разрядного устройства – подложка 10 мм, мощности разряда 15 и 50 Вт, что позволило снизить угол смачивания поверхности, и, соответственно, повысить пропорционально адгезию, ситалловой подложки в 7,6 раз за 60 секунд (с 46° до 6°) для ситалла СТ-50, в 6 раз (с 59° до 9,5°) для поликора ВК-100 за 50 секунд, в 6,5 раз (с 48° до 7°) для шлифованной подложки из корундовой керамики ВК-94 за 60 секунд и в 6,6 раз (с 81° до 12°) для глазурированной подложки ВК-94 за 90 секунд.

Теоретическая значимость диссертации заключается в установлении зависимостей изменения свойств поверхности от режимов обработки, выявлении зависимостей и угла смачивания от времени обработки, расхода

плазмообразующего вещества, расстояния до обрабатываемой подложки и мощности разряда.

Практическая значимость состоит в том, что плазма диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении позволяет очистку и активацию поверхности керамического материала.

**Личный вклад соискателя.** Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Обработка поверхностей керамических подложек и изменения свойств поверхности проводилась соискателем лично. Во время работы над диссертацией соискателем были выявлены зависимости величины угла смачивания поверхности от времени обработки, расхода плазмообразующего вещества, расстояния до обрабатываемой подложки и мощности разряда. 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 представлены на республиканских и международных конференциях.

**Публикации.** Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 3 опубликованных работах, представленных в Международной конференции «Взаимодействие излучения с твердым телом» Молодёжь в науке 2023 и 59-я Научная Конференция БГУИР.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трёх глав, заключения и списка использованных источников, включающего 51 наименование. Общий объем диссертации составляет 60 страниц. Работа содержит 28 рисунков.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современный способ разработки методики очистки и активации поверхности керамических подложек в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении для увеличения гидрофильных свойств.

В **первой главе** приводится аналитическое исследование модификации поверхности керамических подложек для микроэлектроники, В ходе дальнейших исследований установлено, что для очистки керамических подложек применяются методы жидкостной химии, которые не обеспечивают максимальной очистки поверхности, в то же время появились новые методы очистки с применением плазмы атмосферного разряда, а также оборудование для их проведения.

Во **второй главе** рассмотрен экспериментальный комплекс для генерации плазмы диэлектрического барьерного разряда используя Ag высокой чистоты (ТУ–6–21–12–94) с потоком от 50 до 300 л/ч.

Исследования проводились с применением разработанного в БГУИР системы генерации плазмы атмосферного разряда. Установлен наилучший поставленный нами метод измерения краевого угла смачивания- метод лежащей капли (угол контакта измеряется с использованием изображения неподвижной капли в точках пересечения между контуром капли и проекцией поверхности).

В **третьей главе** приведены результаты экспериментальных исследований зависимости параметров факела от расхода рабочего газа, а так же влияния плазмы атмосферного разряда на поверхностные свойства керамических материалов.

В результате проведенных экспериментальных исследований оптимальным расстоянием на котором надо обрабатывать керамические подложки является 10мм при расходе газа 178 л/ч.

Установлено, что использованный метод очистки и активации в факеле плазмы диэлектрического барьерного разряда является эффективным как с позиции повышения гидрофильности, так и с точки зрения энерго- и ресурсосбережения, а также были установлены эффективные режимы воздействия плазмой диэлектрического барьерного разряда на поверхности образцов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения аналитических исследований было установлено, что для очистки керамических подложек для микроэлектроники применяются методы жидкостной химии, которые не обеспечивают максимальной очистки поверхности, в то же время появились новые методы очистки с применением плазмы атмосферного разряда, а также оборудование для их проведения.

Исследования проводились с применением разработанного в БГУИР системы генерации плазмы атмосферного разряда и поставленной нами методики измерения угла смачивания поверхности водой методом лежащей капли.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что оптимальным расстоянием на котором надо обрабатывать керамических подложек является 10мм.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что использованный метод очистки и активации в факеле плазмы диэлектрического барьерного разряда является эффективным как с позиции повышения гидрофильности, так и с точки зрения энерго- и ресурсосбережения, а также были установлены эффективные режимы воздействия плазмой диэлектрического барьерного разряда на поверхности образцов. Краевой угол смачивания снизился в 7,6 раз за 60 секунд (с  $46^\circ$  до  $6^\circ$ ) для ситалла СТ-50, в 6 раз (с  $59^\circ$  до  $9,5^\circ$ ) для поликора ВК-100 за 50 секунд, в 6,5 раз (с  $48^\circ$  до  $7^\circ$ ) для шлифованной подложки из корундовой керамики ВК-94 за 60 секунд и в 6,6 раз (с  $81^\circ$  до  $12^\circ$ ) для глазурированной подложки ВК-94 за 90 секунд, что говорит о повышении работы сил адгезии. Установлено, что наилучшие параметры для обработки керамических подложек находится в диапазоне 30-90 секунд.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. А.В. Аксючиц, Д.А. Котов, Б.З. Хамаде, Е.К. Железнова Изменение гидрофильных свойств керамических подложек при обработке в плазме атмосферного давления // Материалы 15-й Международной конференции ВИТТ – 2023, Минск, Беларусь 26 – 29 сентября 2023 г. – Минск, БГУ, 2023. – С.39-41.

2. Хамаде Б. З., Железнова Е. К., Аксючиц А. В., Котов Д. А. Изменение гидрофильных свойств диэлектрических материалов при обработке в плазме атмосферного давления // Молодежь в науке – 2023 : тезисы докладов XX Международной научной конференции молодых ученых, 20–22 сентября 2023 г. – Минск : Беларуская навука, 2023. – С. 646-648.

3. Б.З. Хамаде, Д.А. Котов. Технология холодной атмосферной плазмы и ее применение для обработки поверхности и нанесения покрытий // 58-я Научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов –2022, Минск, Беларусь апрель 2022 года. – С.185-187.