

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

УДК [533.51/.57+533.9.07]: 538.9

Солдатенко
Александр Вячеславович

ГАЗОРАЗРЯДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОГО
МОДИФИЦИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-38.80.02 – Оптические и оптико- электронные приборы и
комплексы

Научный руководитель:
Бордусов Сергей Валентинович
доктор технических наук,
профессор,

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире активно развиваются различные направления промышленности, в связи с чем требуется постоянно искать различные методы обработки материалов, одним из широких направлений в обработке материалов, является вакуумная ионно-плазменная технология.

Метод ионно-плазменной обработки материалов сильно отличается от большинства методов обработки, в первую очередь данный метод характеризуется изменением химического состава материала с образованием особых фазовых структур.

Данный метод имеет различные направления, некоторые из них узконаправлены и подходят для обработки конкретного материала, но есть и методы универсальные относительно обрабатываемых образцов. В первую очередь данные методы очень полезны для направления приборостроения и технологий обработки материалов. Это связано с тем, что ионно-плазменные методы обработки позволяют достигнуть заданных параметров поверхности материалов, снизить затраты на разработку нового оборудования, и повысить качество обработки. Плазменная обработка поверхностей отличается комплексным улучшением свойств обрабатываемых поверхностей и универсальностью, так как приемлема для всех видов материалов: металлов, сплавов, диэлектриков, полупроводников, тонких пленок, органических материалов, а также обеспечивает совокупности нескольких технологических процессов по предварительной обработке поверхностей.

Особенно данный метод эффективен при использовании тлеющего разряда в среде азота либо смеси азота и водорода, так как проведение процесса ионно-плазменной модификации в таких условиях позволяет получать обработанные материалы высокого качества

Для исследования процесса ионно-плазменной модификации был разработан исследовательский стенд и исследованы зависимости технологических параметров и характеристик исследуемых образцов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Ионно-плазменная модификация — это весьма обширное направление в различных ответвлениях промышленности. Данный процесс уникален по своей природе и позволяет обрабатывать детали так, что это приводит к сильным изменениям в приповерхностных слоях материала и позволяет повысить твёрдость и износостойкость у большого спектра материалов, так как данный процесс не прихотлив к материалу обрабатываемого изделия.

Всё это привело к тому, что данный метод стал крайне перспективным и исследования в этом направлении требуются вести как для изучения самого процесса модификации, так и разрабатывать новые конструктивные решения для проведения процесса. Данная работа ведёт исследования в данной области.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (научный руководитель – д.т.н., профессор Бордусов С.В.).

Цель и задачи исследования

Цель данного исследования — является разработка газоразрядной системы для проведения процесса плазменной модификации и исследование этого процесса путем исследования технологических режимов процесса и характеристик модифицированных слоёв.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Провести анализ процессов, которые происходят при модификации, определить наиболее важные технологические параметры.
2. Разработать стенд, учитывая особенности процесса и выбрать методики исследования полученных в ходе проведения модификации образцов.
3. Исследовать режимы возбуждения разряда и определить влияние давления и сорта газа в камере на электрические параметры плазмы. Исследовать распределение плазменного потенциала вне зоны разряда.
4. Изучить характеристики модифицированных слоёв и влияние температурных режимов на процесс модификации.

Методы исследования

Исследования проводились путем проведения экспериментов и исследования полученных результатов. Эксперименты проводились с помощью разработанного исследовательского стенда, данные

модифицированных образцов получались с помощью оборудования кафедры электронной техники и технологий, а именно с помощью микротвёрдомера и лазерного анализатора.

Практическая ценность

Практическая ценность данной работы заключается в:

- Исследовательский стенд можно использовать для дальнейшего проведения исследований ионно-плазменной обработки материалов;
- Исследованные температурные режимы обработки образцов позволяют подбирать температуры такого диапазона, который требуется исходя из задач применительно к обрабатываемому материалу;
- Исследования характеристик обработанных изделий позволили получить данные о зависимости характеристик материалов и технологических параметрах процесса, эти данные дают представление об том, какие технологические параметры требуется изменить в зависимости от требований к обрабатываемому материалу.

Личный вклад соискателя

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены при непосредственном участии соискателя. Научному руководителю С.В. Бордусову принадлежат постановка ряда основных задач и интерпретация полученных результатов.

Работа над модификацией образцов осуществлялась совместно с коллегами с кафедры электронной техники и технологии БГУИР.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований, включенные в диссертацию, докладывались на следующих международных и республиканских конференциях:

55-я Юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 22-26 апреля 2019 года) в количестве двух работ;

Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Инновационные материалы и технологии – 2020» (Минск, Беларусь 09-10 января 2020 года) в количестве одной работы;

IX Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники» (Гомель, Беларусь, 23 апреля 2020 года) в количестве одной работы.

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 4 печатных работы в сборниках трудов и материалах международных научных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников. Общий объем диссертационной работы составляет 52 страниц, из них страниц 47 основного текста, 21 рисунок на 19 страницах, 11 таблиц на 10 страницах, списка использованных источников из 26 наименований, включая 4 собственных публикации автора.

Библиотека БГУИР

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, и приведены особенности ионно-плазменной модификации.

В первой главе основываясь на работах Тюрина Ю.М, Достанко А. П , Жадкевича М.Л. и других был проведён анализ метода ионно-плазменной модификации твёрдотельных структур

Приведены способы ионно-плазменной обработки твёрдотельных структур и обоснован выбор ионно-плазменного азотирования в тлеющем разряде. В ходе анализа выделены основные изменения структуры материала и процессы, которые происходят при обработке материала в плазме тлеющего разряда.

Так в ходе ионно-плазменной обработки материалов с использованием плазмы тлеющего разряда при подаче азота как формирующего газа, атомы азота ионизируются и транспортируются к катодной области падения, где ионы азота приобретают наибольшую энергию и бомбардируют поверхность материалов, в ходе бомбардировки материал либо диффундирует в поверхностные слои материала, либо возвращается в рабочую область.

Молекулы азота, которые попали в глубь материала формируют с атомами железа нитридные соединения, которые изначально появляются из отдельных точек и со временем сформировывают характерные модифицированные слои, которые отличаются повышенной микротвёрдостью и износостойкостью.

В ходе анализа были выделены основные интенсифицирующие технологические параметры процесса. Этими параметрами является температура и сорт газа, в основном данные параметры рассматриваются не столько с точки зрения скорости проведения процесса, сколько с толщины модифицированного слоя, но стоит учитывать, что интенсифицируя процесс ионно-плазменной модификации уменьшается конечный параметр микротвёрдости из за смены химического состава модифицированного слоя, либо из за формирования дефектных структур в связи с высокой температурой.

В разделе так же обоснованы конструкционные особенности исследовательского стенда исходя из требований к проведению процесса ионно-плазменной модификации.

Во второй главе был спроектирован исследовательский стенд для ионно-плазменной модификации.

Исследовательский стенд содержит в себе следующие функциональные системы: электродную (катод и анод), электропитание, системы напуска и откачки газа, система контроля и измерения температуры, давления и расхода

газа, так же генератор чистого водорода ГВЧ-12К, блок отчистки БОВ-1А и генератор чистого азота ГЧА-18

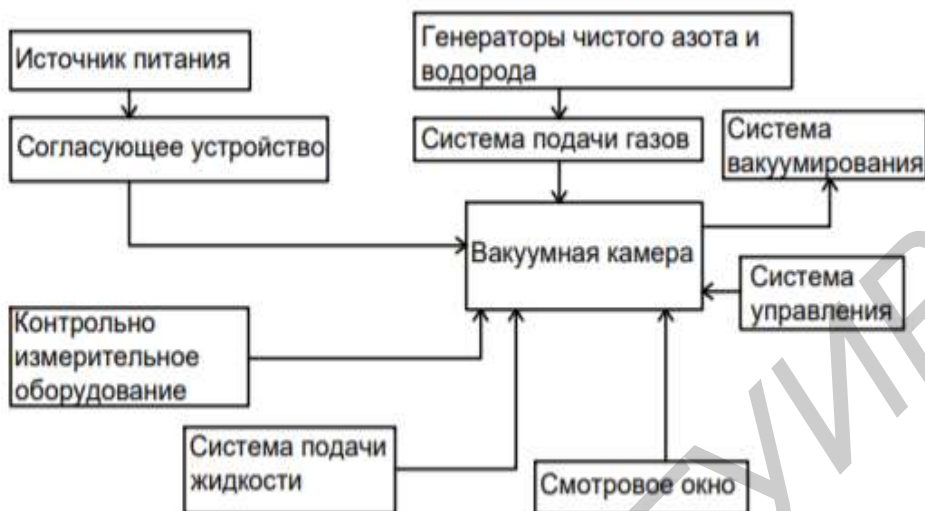


Рисунок 1 - Структурная схема исследовательского стенда

Источник питания представляет собой низкочастотный импульсный источник питания с программным управлением, ток отдаваемый в импульсную нагрузку в 2,3 А и выходным напряжением от 400 В до 1200 В.

Согласующее устройство – электронное устройство, которое обеспечивает оптимальные условия передачи энергии от источника к нагрузке.

Контрольно-измерительное оборудование обеспечивает регулируемое стабильное поддержание электрических, температурных и вакуумных характеристик разряда.

Генераторы чистого азота и водорода представляют собой тройку специализированных устройств который позволяют получать водород и азот максимально возможной чистоты.

Система подачи газов предназначена для подачи рабочих газов N_2 , H_2 , $N_2 + H_2$ в разрядный промежуток при давлении 65...500 Па.

Система вакуумирования отвечает за вакуумирования рабочей камеры до достаточного давления. Откачку вакуумной камеры осуществляет форвакуумный механический насос Н1 марки ВНМ-18Г производительностью 18 л/с.

Смотровое прозрачное окно исследовательского стенда позволяет проводить как визуальный контроль процесса плазменной модификации, так и проводить спектральный анализ плазмы внутри рабочей области.

Система управления представляет собой стойку управления направляющую напряжение на исполнительные механизмы, устройства и

узлы исследовательского стенда, так же позволяет управлять процессом вакууммизации камеры.

Система подачи жидкости отвечает за прокачку жидкости воды через рубашку вакуумной камеры для охлаждения данной камеры, позволяя избегать перегрева.

В качестве вакуумной камеры используется камера серийной установки ННВ 6.6 – И1. Отличительной особенностью данной камеры является наличие сплошной рубашки водяного охлаждения.

Второй частью раздела является описание методики проведения процесса и оборудования, которое использовалось в ходе получения характеристик модифицированных слоёв. В качестве измерителя микротвёрдости выступал микротвёрдомер измеряющий микротвёрдость методом Виккерса и лазерный анализатор использующий метод атомно-эмиссионной спектроскопии.

В третьей главе исследованы электрические режимы возбуждения газового разряда и влияние давления и сорта газа на данные режимы, определены минимальные требования к напряжению в зависимости от характеристик газа.

В ходе экспериментов было установлено, что наилучшим диапазоном напряжения отдаваемого в плазму является диапазон от 400 до 1000 В, ток отдаваемый в импульсной нагрузке удерживать в 2 А, так как при увеличении тока процесс может остановиться, так как разряд пытается перейти из тлеющего в дуговой в связи с чем меняется форма импульсов.

Давление и сорт газа сильно влияют на минимальное напряжения питания, в ходе проведения исследований был получен график, отражающий зависимость напряжения источника и давления и сорта газа.

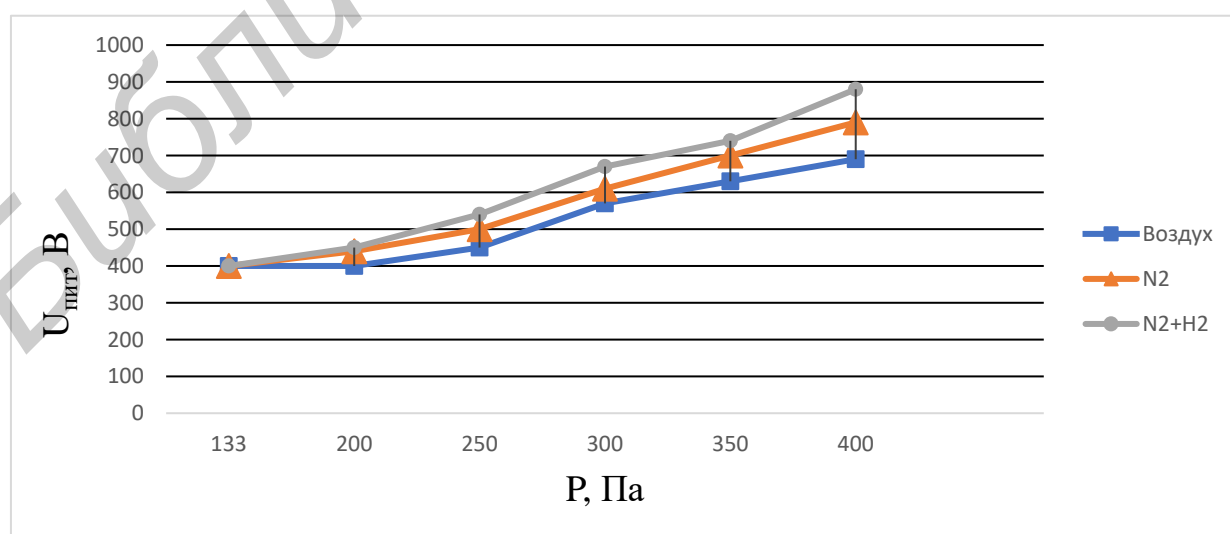


Рисунок 2 - Значения напряжений питания разряда в зависимости от давления и среды плазмообразования

Так же было определено распределение плазменного потенциала вне зоны разряда, путем использования зонда и удаления его от катода по вертикальному и горизонтальному направлению к стенкам камеры.

В четвёртой главе были изучены характеристики исследуемых образцов, проведены исследования температурных режимов образцов и их влияние на процесс модификации.

Экспериментальным путем были найдены три основных температурных режима, каждый из них по-своему влияет на процесс. Исходя из исследований, низкотемпературный режим оптимален для увеличения микротвёрдости материала, так как этот температурный диапазон позволяет получать самую высокую микротвёрдость. Более высокие температуры имели меньший параметр микротвёрдости, но ссылаясь на работы других исследователей было определено, что данные температурные режимы оптимальны относительно толщины исследуемого слоя.

Изучены характеристики модифицированных слоёв в зависимости от различных технологических параметров. Исследования показали, что при определённых параметрах источника и температуры образца, можно достигнуть увеличения микротвёрдости поверхностных слоёв в несколько раз. Придание других свойств материалу требует определённой настройки источника питания и выбор одного из температурных режимов, относительно обрабатываемого материала и требований к времени и микротвёрдости.

Было установлено что у стали 40X наблюдался высокий рост микротвёрдости, в то же время исследуемые образцы стали Р6М5 такого роста не имеют, а количество растворённого меньше, в то же время при анализе литературы упоминалось, что процесс модификации так же повышает износостойкость материала, параметр износостойкости более важен для Р6М5 уже имеющий достаточную микротвёрдость и более важным становится параметр толщины слоя, который напрямую зависит от сорта газа, давления газа и температурного режима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ионно-плазменная модификация в тлеющем разряде – современный технологический процесс модификации поверхностей твёрдых тел для придания им определённых физико-химических свойств – является одним из самых эффективных и надежных способов повышения качества и долговечности изделия.

Анализ существующих данных и сопоставление данных с экспериментальными исследованиями позволяет проводить данный процесс с правильно подобранными технологическими параметрами, для любых материалов.

Применительно к импульсному низкочастотному тлеющему разряду в протоке газов N_2 , N_2+H_2 и воздуха определены граничные значения величин напряжений возбуждения и поддержания разряда.

Обоснованы конструкционные особенности разрядной системы, разработан и использован в ходе исследований исследовательский стенд для проведения процессов ионно-плазменной модификации

Исследовано влияние давления и сорта газа на электрические режимы возбуждения разряда, что позволяет, регулируя параметр давления и изменяя сорт газа влиять на изменение микротвёрдости слоя и интенсификацию процесса.

Исследовано распределение плазменного потенциала вне зоны разряда, путем исследования потенциала с помощью зонда.

Исследовано влияние температуры образца на получаемую микротвёрдость модифицированного слоя материала. Выделены три основных температурных диапазона 400 – 500 °С, 500 – 580 °С, 600 °С и выше. Определено что низкотемпературные режимы положительно влияют на конечную микротвёрдость, но тоже время среднетемпературные и высокотемпературные режимы превосходят низкотемпературный режим в толщине модифицированного слоя.

Изученные характеристики модифицированных материалов дают понимание относительно того, на сколько эффективен тот или иной режим обработки применительно к обрабатываемому материалу. Так сталь 40X отлично модифицировалась при использовании максимального значения частоты и напряжения, и использовании низкотемпературном диапазоне, микротвёрдость при этом возрастала с 217 HV до 700 HV. В то же время сталь Р6М5 лишь немного изменила свою микротвёрдость, но учитывая применяемость данной стали и её изначальную микротвёрдость, данному материалу более важно повысить толщину модифицированного слоя, путем увеличения температуры образца и использования примеси водорода в газе.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ АВТОРА

1. Солдатенко, А. В. Исследовательский стенд для изучения процессов плазменной модификации материалов // Материалы 55-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Мн.: Минск, Республика Беларусь, 22-26 апреля 2019 года- БГУИР, 2019. – С. 365-366.
2. Солдатенко, А. В, Моисеев А. А. Конструктивно-технические особенности источников питания для процессов плазменной модификации // Материалы 55-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Мн.: Минск, Республика Беларусь, 22-26 апреля 2019 года- БГУИР, 2019. – С. 367.
3. Солдатенко, А. В. Влияние технологических параметров на процесс модификации твёрдотельных структур в плазме тлеющего разряда// Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых “Инновационные материалы и технологии - 2020”, учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» Минск, Республика Беларусь, 09-10 января 2020 года- БГТУ, 2020. – С. 512-514.
4. Солдатенко, А. В. Низкочастотный генератор для ионно-плазменной модификации материалов в плазме импульсного тлеющего разряда // Материалы IX Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов “Актуальные вопросы физики и техники”, учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» Гомель, Республика Беларусь, 23 апреля 2020 года- ГГУиФС, 2020. – С. 131-133.