

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

УДК 66.088+533.9

Тубольцев  
Владислав Васильевич

УСТРОЙСТВО И МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ  
УСКОРЕНИЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ

**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

Барьерный разряд (БР) – это разряд в газовой среде, заполняющей промежуток между электродами, один или оба из которых покрыты диэлектриком. При приложении к электродам переменного напряжения в газе возникает электрическое поле, определяемое приложенным к электродам напряжением и зарядами на поверхности диэлектрика. Разряд возникает, если это поле превышает поле пробоя.

Широкое применение барьерного разряда в технике обуславливается возможностью возбуждения неравновесной низкотемпературной плазмы при атмосферном давлении, что значительно снижает стоимость технологических процессов с их применением и упрощает их.

В течение последнего десятилетия применение источников плазмы атмосферного давления было очень успешными в различных практических применениях, таких как очистка поверхности, их модификация и стерилизация. В последнее время интенсивно изучается возможность применения плазмы атмосферного давления для тонкопленочного осаждения и травления.

Электросинтез озона, т.е. получение озона при электрическом разряде в озонаторах, является одной из классических химических реакций в электрическом разряде. Во-первых, эта реакция одна из немногих в разряде, которая находит широкое применение в промышленности (единственный выгодный способ получения озона). Во-вторых, синтез озона, можно считать наиболее простым химическим процессом в электрическом разряде, ведущим к образованию устойчивого продукта.

В этом случае, претерпевает химическое превращение индивидуальное вещество и образует продукт являющийся практически единственным устойчивым.

Подобная простота процесса особенно важна именно при изучении химических реакций в электрических разрядах, которые, как известно, обилием побочных процессов, часто совершенно не свойственных обычному термическому методу проведения реакций.

Для химических реакций в электрических разрядах характерно взаимное влияние химических и электрических процессов.

Разряд в озонаторе атмосферного давления относится к одной из наиболее сложных форм электрического разряда (переменный ток, высокое давление, диэлектрические электроды и их активная тел в формировании разряда).

Актуальностью является обеспечение снижения стоимости готового изделия в ходе протекаемого процесса за счёт: уменьшения энергопотребляемости, уменьшения габаритных размеров оборудования, размеров площади технологических систем, высокие окислительные свойства озона.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Цель и задачи исследования**

Целью данного исследования является – является исследование эффективности метода нетермической газоплазменной активации процесса «сухого» удаления органических маскирующих плёночных покрытий с поверхности подложек интегральных микросхем.

Объектом исследования являются газовый разряд атмосферного давления.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Разработать исследовательский стенд;
2. Изучить конструктивно-технические характеристики и оптимизировать режимы работы плазменной разрядной системы атмосферного давления;
3. Исследовать влияние режимов работы плазменной разрядной системы на процесс удаления фоторезистивных защитных покрытий с поверхности кремниевых пластин;
4. Разработать рекомендации в отношении использования плазменной активации газообразной среды для целей технологии изделий электронной техники.

### **Методы исследования**

Исследования проводились путем проведения экспериментов и анализа полученных результатов. Эксперименты проводились с помощью разработанного исследовательского стенда, экспериментальные данные были получены с помощью оборудования кафедры электронной техники и технологий.

### **Практическая ценность**

Практическая ценность данной работы заключается в:

- Исследовательский стенд можно использовать для дальнейшего проведения исследований воздействия активных частиц на кремниевые пластины;
- Исследованные температурные и скоростные режимы обработки образцов позволяют подбирать режимы, исходя из задач применительно к обрабатываемой подложке;
- Исследование полученных данных обработанных пластин позволило получить зависимости качества травления от различных технологических параметров. Эти данные дают представление о том, какие параметры наиболее значительно влияют на протекаемый процесс.

## **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 удалением материала с поверхности образца 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;

27-я международная молодежная научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния» (ФКС-XXVII), Гродно, РБ, 2019;

15-я Международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций, РТ-2019», 14 — 18 октября 2019 г., Севастополь, Российская Федерация;

56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 20-22 мая 2020 года) в количестве двух работ.

## **Опубликованность результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работы в сборниках трудов и материалах международных конференций. Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 9 авторских листов. Так же, один доклад находится на стадии публикации.

## **Краткое содержание работы**

В первой главе приведено технологическое применение фоторезистивных материалов. В частности рассмотрен процесс фотолитографии и фотохимические процессы, происходящие в фоторезистах. Описана классификация фоторезистов и их основные свойства.

Во второй главе был произведен обзор процессов травления полупроводников и разделение по характеру взаимодействия, а так же описание стадий процесса травления. Описана классификация жидкостных и

сухих методов травления, а так же их характеристики и процессы. А так же, частично затронуты вневакуумные процессы травления.

В третьей главе рассмотрен механизм образования озона и приведены реакции. Исследован механизм образования озона в барьерном разряде.

В четвёртой главе были рассмотрены основные физико-химические свойства озона и его характеристики. Механизмы воздействия озона на органические и не органические вещества. А так же, методы деструкции остаточного озона

В пятой главе приведено описание наиболее распространенных конструкций озонаторов и их конструктивные особенности.

В шестой изображен макет используемого генератора озона. Описаны его параметры и конструктивные особенности. Особенности источника питания. А также, рассматриваются проведенные эксперименты и полученные, в результате этих экспериментов, данные.

В седьмой главе проводится моделирование процесса температурного режима кремниевой пластины потоком газо-воздушной смеси. Отображены полученные зависимости. На их основе был сделан вывод о работоспособности модели.

В восьмой рассмотрены экологические особенности при работе с озонатором. Приводятся нормы безопасности, которые необходимо соблюдать при проведении экспериментов.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников. Общий объем диссертационной работы составляет 62 страниц, из них страниц 57 основного текста, 33 рисунка на 18 страницах, 11 таблиц на 10 страницах, списка использованных источников из 25 наименований, включая 4 собственных публикации автора, на 9 страницах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были изучены существующие типы барьерного разряда. Рассмотрены результаты основных направлений исследований в области плазмы низкотемпературного разряда барьерного типа атмосферного давления.

Рассмотрен процесс получения озона в плазме барьерного разряда и его взаимодействия с органическими и не органическими веществами.

Обоснованы конструкционные особенности разрядной системы, разработан и использован в ходе исследований исследовательский стенд для проведения процессов травления в среде озона.

Рассмотрены основные типы конструкций разрядных систем для возбуждения разряда барьерного типа.

Исследованы влияние различных режимов обработки на эффективность травления поверхности кремниевых пластин. Приведены графические материалы, которые иллюстрируют насколько эффективен тот или иной режим обработки.

Магистерская диссертация выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности составляет 51,69%. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанные в «Списке использованных источников».