

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

УДК 621.385.833

Сигай
Олег Сергеевич

Модификация поверхности стекла в плазме диэлектрического барьерного
разряда

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 Дмитрий Анатольевич
к.т.н., доцент кафедры МНЭ

Минск 2016

ВВЕДЕНИЕ

Источники плазмы атмосферного давления и процессы, протекающие в ней, является относительно молодой областью, лежащие в основе механизмы действия еще до конца не выяснены. К достойным упоминания преимуществ плазмы при атмосферном давлении относятся отказ от вакуумного оборудования связанного с большими затратами, существенно более простая интеграция в существующие установки, более высокие нормы процесса, лучшая продуктивность на основе возможностей в in-line процессе и возможности обработки протяженных материалов. Из-за этих существенных преимуществ исследование и оптимизация атмосферных источников плазмы рассматривается в качестве очень рационального и прибыльного направления. Актуальная тенденция в технике плазмы по замене процессов пониженного давления на процессы атмосферного давления будут продолжаться до момента пока это не будет выполнимо, или не будет доказано, что в определенных случаях отказ от вакуумной техники не возможен.

Расширение диапазона параметров модульных и вместе с тем легко масштабируемых источников плазмы атмосферного давления позволяет использовать их для растущего числа разнообразных промышленных приложений. В течение последних лет целый ряд предложенных принципов генерации атмосферной плазмы были реализованы и успешно применены для прикладных областей. Включающих в себя плазменную обработку текстиля и шерсти, модификация поверхности для управления свойствами смачиваемости, разложение летучих органических соединений в отработанном воздухе (VOC), стерилизация воды, а также осаждение функциональных тонких плёнок. Промышленное применение процессов нанесения покрытия в плазме атмосферного давления до сих пор не достигнуто, так как на сегодняшний день существующие источники плазмы атмосферного давления для применения на больших площадях с высокими динамическими процедурными нормами, не обладают параметрами непрерывной эксплуатации без необходимости чистки и обслуживания.

Сегодня применение диэлектрических барьерных разрядов (DBD) при атмосферном давлении - это признанный метод для вышеназванных приложений плазмы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Обработка материалов под атмосферным давлением обеспечивает явные преимущества перед традиционной обработкой, основанной на вакуумной плазме. Плазменная обработка при высоком давлении и низкой температуре может быть использована во многих отраслях промышленности.

Цель и задачи исследования. Экспериментальное изучение систем питания и формирования диэлектрического барьерного разряда, а также процесса обработки стекла.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучение аналитических исследований особенностей формирования питающих напряжений для генерации плазмы атмосферного разряда и методов активации поверхности
2. Разработка системы питания с возможностью регулирования частоты и амплитуды выходного напряжения.
3. Разработка разрядной системы.
4. Выявление зависимостей и закономерностей формирования диэлектрического барьерного разряда.
5. Исследование режимов обработки поверхности стекла в плазме атмосферного разряда.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является разработанная система питания, разрядная система и модификация поверхности диэлектрического материала. Предметом исследования являются зависимости и закономерности процесса формирования диэлектрического барьерного разряда, а также процесс обработки поверхности диэлектрического материала.

Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики.

Работа выполнялась на кафедре микро- и нанoeлектроники БГУИР с целью разработки технологии модификации поверхности для формирования функциональных оптических покрытий в рамках хоздоговора № 14-1218 на выполнение НИР по теме «Разработка технологии формирования диэлектрических покрытий на основе кремния с применением плазмы высокой плотности» и соответствует подразделу 2.3 «Физико-химические явления и процессы на межфазных поверхностях, коллоидно-химические основы получения, превращения и применения дисперсных систем, поверхностно-активных веществ, физико-химическая механика материалов» перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на

2011–2015 годы, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585.

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

1. Алгоритм защиты импульсной системы питания обеспечивший стабильную генерацию плазмы атмосферного разряда при варьировании напряжением от 2 до 20 кВ и частотой от 20 до 130 кГц.
2. Режимы генерации атмосферного диэлектрического барьерного разряда, обеспечивающие формирование факела с протяженностью до 30 мм.
3. Экспериментальные зависимости угла смачивания поверхности диэлектрика от параметров процесса обработки.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Разработка, сборка и запуск разрядной системы и системы питания проводилась соискателем лично. Во время работы над диссертацией соискателем были выявлены зависимости и закономерности формирования диэлектрического барьерного разряда. Анализ результатов эксперимента 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 доложены на 52-й научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР, 2016.

Публикации. Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 5 опубликованных работах, представленных в материалах международных научно-практических и научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 28 наименований. Общий объем диссертации составляет 78 страниц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В **первой главе** приводится аналитическое исследование особенностей формирования питающих напряжений для генерации плазмы атмосферного

разряда и методов активации поверхности. Рассмотрены схемотехнические решения источников питания для устройств генерации плазмы атмосферного разряда.

В ходе дальнейших исследований установлено, что для генерации плазмы атмосферного разряда необходимо использовать высоковольтные импульсные системы питания.

Во **второй главе** рассмотрены этапы разработки экспериментального комплекса.

В качестве источника атмосферной плазмы рассматривается разрядное устройство коаксиального типа. Диэлектрический барьерный разряд формируется между двумя электродами, разделенными диэлектрической прослойкой. Электрод под высоким потенциалом располагался в кварцевом изоляторе, снаружи которого закреплен второй электрод. Генерируемый разряд может существовать в виде диффузного или стримерного. Обработку проводят путем перемещения образца через зону плазменного факела, формируемого за счет прокачки рабочего газа в зоне плазмообразования. Питание осуществлялось переменным напряжением с частотой 20–130 кГц с амплитудой порядка 10 кВ. Через зону плазмообразования прокачивался инертный газ - аргон.

В **третьей главе** рассмотрены методики оценки протяженности плазменного потока и приведены результаты экспериментов по определению параметров плазменного факела.

Приводятся зависимости протяженности плазменного потока от значения потенциала на высоковольтном электроде и частоты питающего сигнала. В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что при значении коэффициента заполнения 65%, не изменном расходе газа и в зависимости от частоты сигнала наблюдаются ярко выраженные максимумы и минимумы длины плазменного факела. Все это говорит о том, что существует ряд частот, при которых достигается максимальное количество возбужденных состояний атомов в газе, что оказывает существенное влияние на эффективность обработки в плазме атмосферного разряда.

Установлено, что оптимальным для генерации плазмы атмосферного разряда является диапазон частот 20–40кГц, 60–80кГц.

Так же было определено, что с уменьшением диаметра диэлектрической трубки длина плазменного факела увеличивается, при сохранении тех же условий «зажигания» атмосферного разряда в диапазоне частот, указанных выше.

В **четвёртой главе** приводятся результаты исследований режимов обработки поверхности стекла в плазме диэлектрического барьерного разряда.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы над магистерской диссертацией был проведен аналитический обзор разрядных систем для генерации плазмы атмосферного разряда. Рассмотрены методы построения импульсных преобразователей. Выполнено сравнение достоинств и недостатков различных топологий. Проведен анализ функциональных типов импульсных источников питания и методики их расчета.

Рассчитан и изготовлен блок управления ИИП, в качестве высоковольтного преобразователя выбрана двухтактная топология. Схема управления позволяет регулировать напряжение на выходе импульсного преобразователя в пределах от 2 кВ до 20 кВ.

Проведено моделирование динамических характеристик газового канала разрядного устройства с целью снижения сопротивлению потока. На основе моделирования была разработана и собрана экспериментальная разрядная система. Экспериментально подтверждено, что экспериментальная разрядная система обеспечивает создание условий равномерного протекания газа в разрядной зоне с минимальной турбулентностью.

В ходе экспериментов было установлено, что с уменьшением диаметра трубки длина плазменной струи увеличивается. Определили значения и диапазоны частот и напряжений, при которых наблюдаются характерные для аргона минимумы и максимумы длины плазменного факела.

Во время продолжительных экспериментов алгоритм защиты импульсной системы питания обеспечил стабильную генерацию плазмы атмосферного разряда при варьировании напряжением и частотой. В результате обработки поверхности стеклянных образцов установили зависимость уменьшения угла смачиваемости при увеличении времени обработки.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. О. С. Сига́й, А. С. Григорьев, Т. В. Гарелик, П. М. Пашковский, В. С. Бабицкий Применение диэлектрического барьерного разряда в технологиях нанесения тонких плёнок диоксида кремния / Физика конденсированного состояния материалы XXIII международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Гродно 16 апр. 2015) ГрГУ им. Я. Купалы, физ.-тех. факультет. В. Г. Барсуков (гл. ред) [и др.] Гродно:ГрГУ 2015–224с.

2. О.С. Сига́й Система питания устройства генерации плазмы атмосферного разряда / 51-я научная конференция студентов, аспирантов, магистрантов, Минск: БГУИР, 2015.

3. О.С. Сига́й Модификация поверхности материалов в плазме атмосферного разряда // А.С. Григорьев, Гарелик Т. В., Пашковский П.М., Бабицкий В.С., Сига́й О.С. // Конференция «Молодежь в науке – 2015».

4. О. С. Сига́й, А. С. Григорьев, Т. В. Гарелик, П. М. Пашковский, В. С. Бабицкий Изменение гидрофильных свойств поверхности методом обработки в плазме атмосферного разряда / Физика конденсированного состояния материалы XXIV международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Гродно 21 апр. 2016) ГрГУ им. Я. Купалы, физ.-тех. факультет. В. Г. Барсуков (гл. ред) [и др.] Гродно:ГрГУ 2016–224с.

5. О. С. Сига́й Система генерации плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении / 52-я научная конференция студентов, аспирантов, магистрантов, Минск: БГУИР, 2016.