

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

УДК 537.523

Никитюк
Сергей Анатольевич

Система генерации плазмы атмосферного разряда для наноразмерной очистки и активации поверхности твердых тел

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 2019

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все больший интерес привлекают к себе плазменные методы модификации поверхности, в том числе и плазменная активация. Плазменные технологии основаны на простом физическом принципе - за счет внесения дополнительной энергии в систему можно изменять свойства этой системы, как за счет изменения структуры так и за счет химического синтеза с созданием новых материалов. Если нагревать газ до большой температуры или подвергнуть электронной бомбардировке, он ионизируется и переходит в насыщенное энергией четвертое агрегатное состояние – плазму.

В производстве этот принцип используется для целенаправленной модификации свойств материала. Предварительная обработка в плазме способствует существенному изменению свойств поверхности различных материалов, что позволяет точно регулировать адгезионные способности и смачиваемость поверхности. Многие химические технологии предварительной обработки сегодня можно заменить плазменной обработкой.

В зависимости от назначения обработки, ее качество может быть оценено по различным физико-химическим показателям. Одним из важнейших показателей состояния поверхности твёрдого тела для полупроводниковых технологий, а также при производстве оптических изделий является адгезия наносимой на поверхность пленки.

При действии плазмы на поверхность твёрдого тела происходят процессы ее очистки и активации. Очистка атмосферной плазмой – это процесс удаления с обрабатываемой поверхности адсорбированных газов, влаги, органических и биологических загрязнений, а также пылевидных частиц за счет воздействия плазменных потоков из таких газов как аргон, азот, водород, пары летучих химических соединений и/или воздуха.

Активация поверхности состоит в формировании химически активного поверхностного слоя за счет образования свободных радикалов в процессе обработки.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Состоит в том, что 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 наноразмерные отверстия и полости.

Цель и задачи исследования.

Разработка экспериментальной разрядной системы для генерации плазмы атмосферного разряда и разработка методики очистки и модификации поверхности твердых тел. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести аналитические исследования действия плазмы атмосферного разряда на поверхность твердых тел;
- разработать коаксиальную разрядную систему для получения диэлектрического барьерного разряда и на ее основе разработать экспериментальный комплекс для обработки поверхностей в плазме
- определить оптимальные параметры разрядной системы и системы питания;
- отработать методики обработки поверхностей различной природы в плазме диэлектрического барьерного разряда.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является разработанная система генерации плазмы атмосферного разряда и поверхность образцов обработанная в плазме. Предметом исследования являются зависимости и закономерности процесса формирования диэлектрического барьерного разряда, а также изменения свойств обработанной поверхности в зависимости от условий процесса.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Теоретическая и методологическая основа исследования.

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

Разработаны коаксиальная разрядная система и экспериментальный комплекс для обработки поверхностей. Экспериментальный комплекс состоит из: разрядной системы, системы подачи рабочего газа и системы питания. Определены оптимальные параметры разрядной системы и системы питания для формирования плазменного факела. Отработана методика обработки на основании измерения эффекта от очистки с помощью метода лежащей капли, а также атомно-силового микроскопа NT-206.

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 границы раздела фаз, без ее физического повреждения, посредством обработки в низкоэнергетической плазме атмосферного разряда.

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

1. Разработана коаксиальная разрядная система на основе диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении, позволившая сформировать плазменный факел длиной 25 мм, и диаметром 8 мм, при мощности 25 Вт, с расходом рабочего газа в диапазоне от 50 до 300 л/ч и обеспечившая температуру обработки поверхности не более 50° С в среде инертного газа.

2. Разработаны методики обработки в факеле плазмы диэлектрического барьерного разряда поверхности пластин монокристаллического кремния <111>, оптического стекла К8, нержавеющей стали AISI 304, обеспечившие при обработке в течении 30-40 с. снижение краевых углов смачивания для стали с 75° до 17°, для стекла с 44° до 7°, а так

же при обработке в течении 4 мин увеличить коэффициент трения поверхности кремния в 4.5 раза.

Теоретическая значимость диссертации заключается в установлении зависимости параметров плазменного факела от условий его формирования, а также зависимости изменения свойств поверхности от режимов обработки.

Практическая значимость состоит в том, что был разработан экспериментальный комплекс для обработки и на нем отработаны методики обработки поверхностей нержавеющей стали и стекла.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Разработка, сборка и запуск разрядной системы и системы питания, а так же обработка поверхностей проводилась соискателем лично. Во время работы над диссертацией соискателем были выявлены зависимости и закономерности формирования диэлектрического барьерного 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 не однократно представлены на республиканских и международных конференциях.

Отдельные положения, в частности методики обработки поверхностей оптических материалов использовались в рамках проектов НИОКР № 17-9006 «Система генерации плазмы атмосферного разряда для наноразмерной очистки и модификации поверхности», а так же ГБЦ № 18-3136 «Разработка технологии обработки поверхности оптических материалов в плазме атмосферного разряда»

Публикации. Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 6 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 30 наименований. Общий объем диссертации составляет 65 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. Приведены основные типы разрядных систем, физические и химические принципы очистки и модификации поверхностей. Рассмотрены методики оценки свойств поверхностей после обработки.

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 и амплитудой порядка 10 кВ. Через зону плазмообразования прокачивался инертный газ - аргон.

В **третьей главе** приведены результаты исследования зависимости длины плазменного факела от параметров разрядной системы и системы питания. А также приведены исследования зависимости краевого угла смачивания и коэффициента трения от времени обработки, расстояния между образцом и разрядной системой, и от расхода рабочего газа.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первые секунды обработки стекла происходит эффективное удаление загрязнений и очистка на атомарном уровне. При дальнейшей обработке поверхность активируется, вследствие чего смачиваемость улучшается незначительно.

Нержавеющая сталь является слабо гидрофильным веществом, так как краевой угол смачивания необработанной поверхности равен 75°. У нержавеющей стали данной марки на поверхности образуется оксидный слой из-за достаточно высокого содержания хрома (18 – 20 %). В процессе

происходит атомарная очистка поверхности, и поверхностные свойства окисла на нержавеющей стали становятся подобны поверхностным свойствам стекла. Так как нержавеющая сталь обладает решеткой, достичь большего уменьшения краевого угла смачивания сложно.

Эксперименты по исследованию изменения коэффициента трения позволили установить, что что максимальный эффект достигается не на минимальном расстоянии от края кварцевой трубки, где, как предполагается, имеется максимальная концентрация активных частиц плазмы, а на расстоянии в 25 мм, то есть на предельной длине факела. Это связано с тем, что на таком расстоянии наиболее активные радикалы бьют в поверхность монокристаллического кремния, но не нарушают целостности морфологии в сравнении с расстоянием в 5 мм. Таким образом, мы получаем атомарно чистую поверхность монокристаллического кремния.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. S.A. Chizhik. 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, Y. V. Zaporozhenko.// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering - 2018 v. 443

2. С. А. Никитюк. Обработка поверхности кремния и стекла в плазме при атмосферном давлении/ Я. В. Яцевич, Ю.В. Запорожченко, Д.А. Котов, А.Н. Осипов. С.А. Никитюк // Материалы XV Международной научной конференции «Молодежь в науке – 2.0'18» - Минск, 2018 - С. 221.

3. С.А. Никитюк. Повышение адгезии поверхности кремния, методом обработки в плазме атмосферного разряда// С. А. Никитюк, Ю. В. Запорожченко// Физика конденсированного состояния: материалы XXVI международной научно-практической конференция аспирантов, магистрантов и студентов. (Гродно, 12 мая, 2018) / ГрГУ им. Я.Купалы; редкол.: В. Г. Барсуков (гл. ред) [и др.]– Гродно : ГрГУ, 2018. – 158 с.

4. S.A. Chizhik. Increase in the silicon surface adhesion by treatment in atmospheric plasma// D.A. Kotov, T.A. Kuznetsova, Y V Zaporozhenko, 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

5. С. А. Никитюк. Исследование поверхности монокристаллического кремния после обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении./ Д.А. Котов, Ю.В. Запорожченко, Е.В. Яцевич, А.Н. Осипов. С. А. Никитюк// VIII Международная научная конференция «Материалы и структуры современной электроники» - Минск, 2018. С 54 – 56.

6. С. А. Никитюк. Коаксиальная система генерации плазмы атмосферного разряда для наноразмерной очистки и модификации поверхности твёрдых тел/ А. И. Занько, Е. В. Яцевич, С. А. Никитюк // Физика конденсированного состояния: материалы XXVI международной научно-практической конференция аспирантов, магистрантов и студентов. (Гродно, 12 мая, 2018) / ГрГУ им. Я.Купалы; редкол.: В. Г. Барсуков (гл. ред) [и др.]– Гродно : ГрГУ, 2018. – 181 с.