

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

УДК 533.9.082

Клакевич
Мария Сергеевна

Исследование влияния режимов плазмообразования на оптический
эмиссионный спектр плазмы газового разряда среднего вакуума

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии

Научный руководитель
Бордусов Сергей Валентинович
профессор, доктор технических наук

Минск 2021

ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение научно-технических достижений в производство изделий радиоэлектроники постоянно требует развития прогрессивных технологий, основанных на новых физических принципах. Одним из наиболее перспективных технологических инструментов, обладающих большой гаммой средств физического и химического воздействия на твердые тела различной природы, является плазма.

Плазма широко используется в производстве изделий электронной техники при решении ряда технологических задач. Это, в частности, нанесение и травление тонких пленок, очистка и модификация поверхностей при изготовлении приборов микро- и оптоэлектроники, а также элементов электронной аппаратуры.

В основе плазменных методов формирования тонкопленочных структур заложено воздействие на поверхность энергетически активных частиц плазмы. При этом энергия может проявляться в виде кинетической и потенциальной. В случае физического взаимодействия кинетическая энергия частиц является основной и может превышать тепловую на несколько порядков величины. Частиц приобретают способность при соударении с твердым телом физически модифицировать поверхность. Высокая потенциальная энергия частиц определяется наличием ненасыщенных химических связей, а взаимодействие таких частиц с поверхностью обработки ведет к формированию химических соединений.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Цель исследования:

Исследование влияния режимов плазмообразования на оптический эмиссионный спектр плазмы газового разряда среднего вакуума.

Актуальность темы магистерской диссертации:

В настоящее время плазменная обработка получила широкое распространение в производстве интегральных схем. По мере того, как размеры приборов и интегральных схем продолжают уменьшаться, плазменная обработка используется все чаще и чаще. Особое значение применение плазмы имеет в области обработки изделий электронной техники. В условиях сложившихся тенденции к микроминиатюризации и повышенных требований к качеству, производство нуждается в усовершенствовании технологических процессов плазменной обработки материалов электронной техники.

Задачи исследования:

- подготовка лабораторного стенда для исследования спектра плазмы при удалении фоторезиста;
- отработка методики проведения исследования спектра плазмы с помощью спектрометра SL40-2-2048ISA;
- обработка полученных результатов, анализ и выявление зависимостей исследованных параметров от режимов плазмообразования.

Объект исследования:

Плазма газового разряда среднего вакуума.

Предмет исследования:

Оптический эмиссионный спектр плазмы газового разряда среднего вакуума.

Новизна работы:

Проведена спектральная диагностика процесса удаления фоторезистивных пленок в плазме ВЧ разряда. Выявлена зависимость влияния «загрузочного» эффекта на поведение интенсивности свечения линий OI ($\lambda=777,7$ нм и $\lambda=844,6$ нм) и полосы CO ($\lambda=519,82$ нм) в процессе удаления фоторезиста в ВЧ и СВЧ разрядах.

Положения, выносимые на защиту:

- спектры ВЧ и СВЧ разрядов качественно совпадают, что указывает на то, что в случае ВЧ и СВЧ плазменной обработки основным механизмом удаления фоторезиста является взаимодействие химически активных частиц с материалом фоторезистивных покрытий;

- по данным спектральных измерений длительность периода времени, соответствующего процессу стабилизации разрядных условий и началу установления энергетического (теплого) равновесия в ВЧ разрядном объеме, с увеличением количества обрабатываемых кремниевых пластин увеличивается, так как возрастает длительность нагрева подложек до значений температур, при которых начинаются плазмохимические процессы.

Апробация результатов диссертации:

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы были представлены на следующих научных конференциях: 56-я и 57-я научные конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 9-я и 10-я Республиканские научные конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники» Гомель.

Структура и объем диссертации:

диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, библиографического списка. Объем магистерской диссертации составляет 73 страницы, включая 15 иллюстраций, 1 таблицу, библиографический список из 13 наименований, 2 приложения.

Магистерская диссертация выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности составил 64,26%. Заимствования и цитирования обозначены ссылками на публикации, указанные в «Библиографическом списке».

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Первая глава диссертационной работы носит обзорный характер. В ней рассматриваются вопросы технологического использования процессов плазменной обработки материалов.

К настоящему времени разработано большое количество разновидностей плазменно-разрядных устройств, позволяющих реализовать большинство технологических процессов производства интегральных схем. Основную роль в реализации процессов играет высокочастотная (ВЧ) плазменная технология, так как плазма ВЧ разряда является эффективным механизмом передачи мощности электромагнитного поля в газ и представляет собой чистый атомарный источник, в котором, как правило, отсутствуют металлические электроды, являющиеся источником загрязнений.

Рассмотрим некоторые характеристики и условия проведения технологических процессов микроэлектроники с использованием плазмы, возбуждаемой энергией ВЧ полей.

Плазменная очистка и активирование поверхности подложек. Перед проведением ряда технологических процессов необходимо провести очистку подложек для удаления как органических, так и неорганических загрязнений, появляющихся на предыдущих этапах технологических процессов или во время переноса подложек с одной технологической линии на другую.

Плазменная очистка поверхности подложек происходит вследствие химического взаимодействия загрязнений с ионами и радикалами активных газов с образованием летучих соединений, которые удаляются из реакционного объема в процессе откачки.

Эпитаксия. Эпитаксия – это процесс ориентирования нарастания, в результате которого образующаяся новая фаза закономерно продолжает кристаллическую решетку имеющейся фазы – подложки – с образованием переходного слоя, способствующего когерентному срастанию двух решеток по плоскости подложки со сходной плотностью упаковки атомов. Материал подложки в процессе наращивания играет роль затравочного кристалла. Большинство методов эпитаксии основано на технологии осаждения из парогазовой смеси.

Плазменное окисление. Плазменное окисление – низкотемпературный процесс, проходящий в вакууме в тлеющем разряде чистого кислорода. Плазма формируется с помощью высокочастотного либо сверхвысокочастотного разряда. При размещении подложки в области с однородной плотностью плазменного разряда и подаче на нее менее

положительного потенциала по сравнению с потенциалом плазменного разряда происходит вытягивание из последнего и адсорбция на подложке активных заряженных частиц окислителя (кислорода).

Литографические процессы. В процессе фотолитографии, которая в настоящее время находит наиболее широкое распространение в технологии производства интегральных схем (ИС), ВЧ энергия может использоваться на операциях плазменной очистки подложек, сушки слоя фоторезиста, экспонировании и удалении фоторезистивных маскирующих слоев после травления рисунка.

Плазменная очистка подложек. Плазменная очистка подложек используется для повышения адгезии наносимого фоторезистивного слоя к поверхности материала и рассмотрена выше.

Сушка слоя фоторезиста. В сообщениях о применении ВЧ энергии для сушки и задубливания фоторезистивных пленок при изготовлении ИС на кремниевых подложках указывается на высокую эффективность этого метода обработки. Процесс сушки длится несколько секунд. При этом сообщается, что при ВЧ нагреве не только резко повышается производительность, но и устраняется опасность «перегрева» фоторезиста. Улучшается также качество проявления – изображение проявляется мгновенно после погружения в проявитель

Экспонирование маскирующих слоев. Экспонирование фоторезистивного слоя – технологическая операция по формированию защитного рельефа, обеспечивающая перенос изображения с фотошаблона на пластину.

Удаление фоторезиста. Удаление фоторезиста – завершающая операция технологического процесса фотолитографии, которая во многом определяет качество выполнения последующих циклов: диффузии, окисления, металлизации. Кроме плазмохимического метода удаления фоторезиста, ВЧ энергия может быть использована при удалении фоторезистивной пленки фототермическим методом, результатом которого является окислительная деструкция пленки в кислороде или кислородсодержащих газах.

Вакуумно-плазменное травление. ВЧ разряда используется для реализации практически всех процессов вакуумно-плазменного травления, за исключением ионно-плазменного травления.

Ионно-лучевое травление (ИЛТ). Удаление поверхностных слоев при ИЛТ осуществляется в результате физического распыления энергетическими ионами инертных газов или ионами, которые химически не реагируют с обрабатываемым материалом. При ИЛТ поверхность обрабатываемого

материала не контактируют с плазмой, и последняя используется только в качестве источника ионов, осуществляющих процесс травления.

Радикальное травление (РТ). В основе процесса РТ лежат гетерогенные химические реакции, происходящие на границе двух фаз – твердой и газообразной, между свободными атомами и радикалами и активными центрами обрабатываемого материала. Обрабатываемый материал при РТ находится в зоне, отдельной от плазмы перфорированным металлическим экраном, магнитным полем, расстоянием или другими способами.

Реактивное ионно-плазменное травление (РИПТ). При проведении процессов РИПТ обрабатываемые изделия находятся в контакте с плазмой ВЧ и размещаются, как правило, на электроде, подключенном к источнику ВЧ, сверхвысокочастотного (СВЧ), низкочастотного (НЧ) либо постоянного напряжения. Возможно также их расположение в зоне разряда на заземленном подложкодержателе.

Реактивное ионно-лучевое травление (РИЛТ). В процессах РИЛТ обрабатываемый материал вынесен из зоны плазмы разряда, находится в вакууме и подвергается воздействию пучка ускоренных ионов химически активного газа, которые в процессе перезарядки, диссоциации и нейтрализации в пучке и на поверхности материала могут образовывать реакционноспособные травящие частицы и производить травление.

Плазменное травление (ПТ). В основе ВЧ плазменного травления лежат активируемые излучением плазмы, электронами и ионами гетерогенные химические реакции между свободными атомами и радикалами и поверхностными атомами обрабатываемого материала.

Радиационно-стимулированное травление. Стимуляция процессов травления материалов может осуществляться потоками ионов, электронов и излучений. При этом поток стимулирующего воздействия и поток частиц, производящих травление, генерируются независимо друг от друга и подаются к обрабатываемой поверхности. При такой организации процесса травления повышаются и количественные, и качественные показатели процесса.

Осаждение тонких пленок. Плазмохимическое осаждение. Плазмохимическое осаждение позволяет формировать пленки при очень низкой температуре подложки. Это достигается за счет реакции между газами в тлеющим разряде, который обеспечивает основное количество энергии, необходимой для протекания реакции.

Катодное распыление. При процессе осаждения тонких пленок материал, который должен напыляться, используется в качестве катода в системе с тлеющим разрядом в инертном газе, в кислороде, азоте,

инициируемым ВЧ разрядом в режиме электронного циклотронного резонанса при давлении 1-10 Па и при величине напряжения на катоде в несколько киловольт. Подложка, на которую нужно осадить пленку, располагается на аноде.

Легирование (ионная имплантация). Наиболее общим применением ионной имплантации в случае использования в качестве источников ионов ВЧ разряда является процесс ионного легирования кремния при изготовлении приборов. В качестве легирующей примеси используются ионы бора, индия, фосфора, мышьяка.

Термический отжиг. Характерной чертой термического отжига в ВЧ полях является то, что в отличие от традиционных методов нагрева, при которых тепловой поток на пластину направляется извне, вызывая при этом значительный градиент температур между нагретой поверхностью и центром пластины, при ВЧ обработке он поступает как бы от «внутреннего» источника тепла, так как пластина нагревается за счет выделения тепла в объеме материала.

Модификация поверхности. Под модификацией поверхности в данном случае подразумевается азотирование (нитрирование) поверхности Si-подложек и металлических образцов с целью получения нитридных или оксинитридных слоев. Азотирование проводится как в самом ВЧ разряде в азоте либо смеси N_2+H_2 , так и в послесвечении (т.е. вне зоны разряда).

Подводя итоги обзора использования плазмы ВЧ разряда в технологии микроэлектроники, необходимо отметить, что ее широкое применение в промышленности связано прежде всего с тем, что реализуемым на ее основе процессам присущи высокая энергетическая эффективность, селективность, большая скорость и производительность. Важным фактором является также и то, что в ВЧ разряде удастся получить параметры плазмы, близкие к оптимальным для осуществления большинства плазменных процессов.

Во второй главе рассмотрены конструктивные решения высокочастотных плазменных устройств технологического назначения.

Установка ВЧ плазменной обработки как правило имеет следующую структуру: блок обработки; генератор; блок вакуумирования; блок управления.

Блок обработки включает в себя все элементы и модули, непосредственно участвующие в процессе обработки. Сюда относятся система подачи газа, рабочая область, система терморегулирования. Блок вакуумирования поддерживает необходимое давление в рабочей области установки. Блок управления объединяет все вышеперечисленные модули в

единую систему. Он включает в себя систему датчиков, которые позволяют следить за протеканием процесса, а также систему управления.

Рассмотрим варианты технологического исполнения высокочастотных разрядных систем, применяемых для обработки поверхностей.

Установка «Отелло-43» (рисунок 2.1) позволяет проводить процесс индивидуальной обработки полупроводниковых подложек диаметром до 100 мм.

Система создания вакуума состоит из высоковакуумной части на базе паромасляного диффузионного насоса и форвакуумного агрегата, состоящего из пары механических насосов – двухроторного насоса Рутса и пластинчатороторного насоса с масляным уплотнением. Предельное давление в камере составляло $2 \cdot 10^{-3}$ Па и определялось по вакуумметру ВМБ-14. Диапазон рабочих давлений в камере в процессе экспериментов варьировался от 10^{-1} Па до 10 Па в зависимости от вида и режима работы разрядной системы. Одним из определяющих факторов реализации как процесса изотропного, так и анизотропного травления является выбор и поддержание состава смеси плазмообразующих газов, поступающих в рабочую камеру, контроль за которой осуществлялся посредством регуляторов расхода газов.

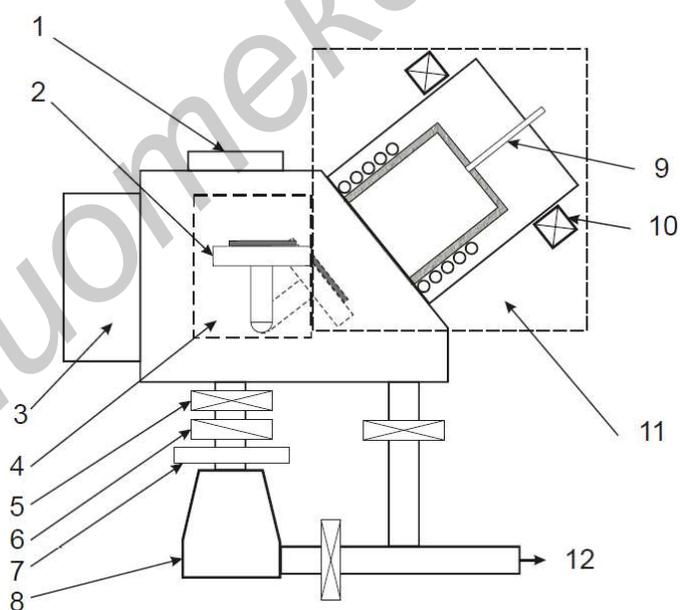


Рисунок 2.1 – Схема разрядной системы, использованной в установке травления «Отелло 43» (1 – кварцевое окно; 2 –столик рабочей камеры; 3 – загрузочная система; 4 – реактор анизотропного травления; 5 – затвор реактора; 6 – дроссельная заслонка; 7 –азотная ловушка; 8 – диффузионный насос; 9 –патрубок ввода рабочего газа; 10 – соленоид; 11 – реактор изотропного травления; 12 – магистраль к форвакуумному агрегату)

Другая схема установки плазмохимического травления представлена на рисунке 2.2. Агрегат вакуумный включает реакционную камеру травления, камеру магнетрона, регуляторы потока рабочего газа, азотную и водяную ловушки, клапана и вакуумную арматуру.

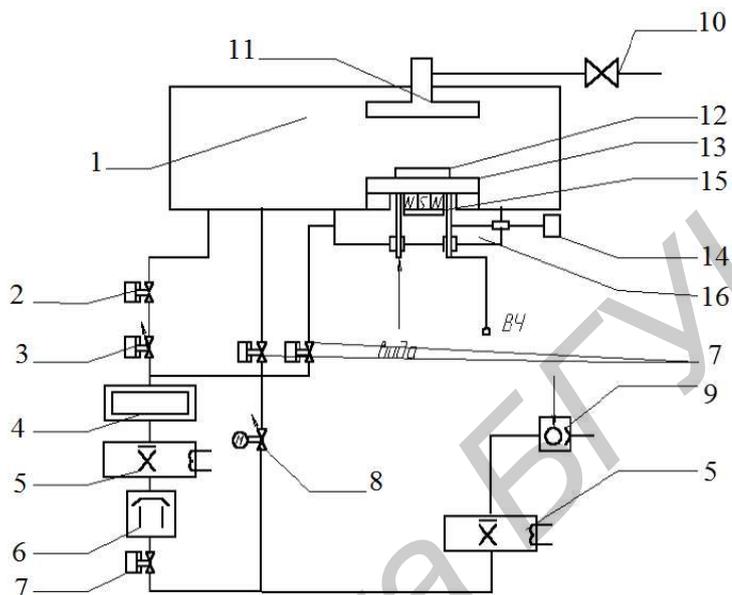
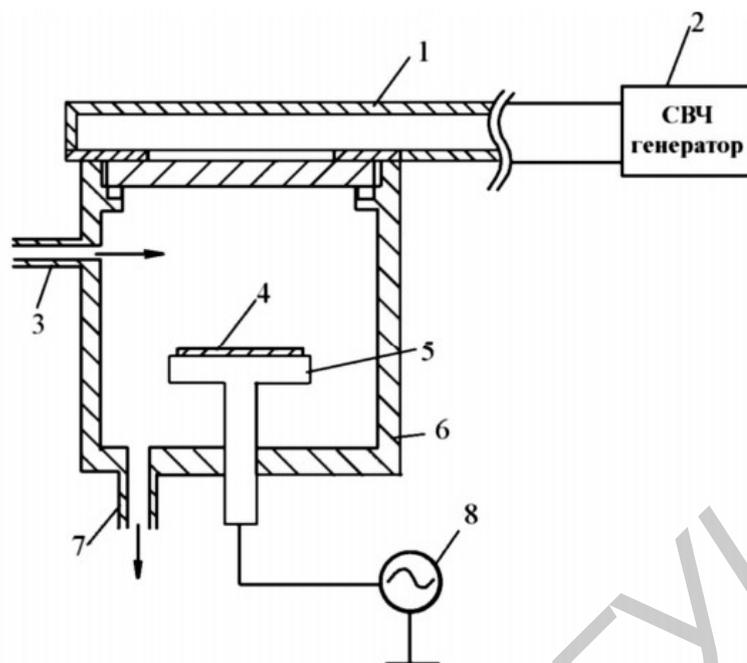


Рисунок 2.2 – Схема установки ВЧ травления (1 – реакционная камера; 2 – высоковакуумный затвор; 3 – регулятор потока высоковакуумной магистрали; 4 – азотная ловушка; 5 - водяная ловушка; 6 – паромасляный насос, 7 – вакуумный клапан, 8 – регулятор потока форвакуумной магистрали; 9 – форвакуумный насос; 10 – узел подготовки газов; 11 – заземленный электрод; 12 – подложка; 13 – потенциальный электрод; 14 – привод сканирования магнетрона; 15 – магнетрон, 16 – камера магнетрона)

В промышленности также применяется комбинированный способ, когда помимо ВЧ в рабочую область установки дополнительно вводится СВЧ напряжение. Схема разрядной системы установки такого типа изображена на рисунке 2.3.

Плазма генерируется внутри разрядной камеры при помощи ВЧ источника. Также в объем камеры вводится СВЧ энергия. Таким образом, можно организовать удаление фоторезистивной маски при помощи направленного потока реактивных ионов и потока плазмы в камере. Для этих целей используется комбинированный разряд (СВЧ + ВЧ). При этом увеличиваются скорости обработки.



- 1 – волновод; 2 – СВЧ генератор; 3 – система подачи газа;
 4 – подложка; 5 – электрод; 6 – разрядная камера;
 7 – система откачки; 8 – ВЧ генератор.

Рисунок 2.4 – Схема разрядной системы установки для обработки в плазме комбинированного разряда

Анализ конструктивных решений и способов организации процессов ВЧ плазменной обработки показал, что существует большое количество устройств ВЧ обработки, но более подробно рассмотрим установки с реакционно-разрядной камерой объемного типа на примере установки «Плазма-600Т».

В третьей главе рассматриваются технологические характеристики плазменного травления материалов в реакционно-разрядной камере объемного типа.

По виду обработки конструкция разрядной системы установки «Плазма-600Т», с которой проводилось исследование, относится к системам плазменного травления с реакционно-разрядными камерами объемного типа.

Общей особенностью всех реакторов объемного типа для плазменного травления является кассетная загрузка подложек. В то же время кассетная загрузка чрезвычайно затрудняет создание условий для проведения равномерной обработки всех подложек, находящихся в реакторе.

Чтобы достичь высокой равномерности плазмохимического удаления материалов, необходимо: вводить стабилизацию температуры; выравнивать концентрацию активных частиц в зоне генерации; вводить устройства для

фиксации положения образцов в реакционной зоне и положения реакционной зоны в реакторе; обеспечивать возможность быстрой смены или очистки реакционной камеры перед каждым циклом обработки.

Стабилизация температуры подложек в процессе обработки в реакторах объемного типа как правило не производится. На равномерность процессов обработки, связанной с распределением концентрации активных травящих частиц по диаметру объемного реактора, оказывает влияние соотношение поперечных размеров реактора и подложек. Внесение пластин в зону движения газа приведет к искажению газового потока, а взаимная экранировка пластин выразится в неравномерной доставке активных частиц к различным точкам их поверхности, что должно отрицательно сказаться на равномерности обработки.

Кроме газодинамических условий на равномерность обработки влияет равномерность распределения электромагнитного поля по длине и диаметру разрядного объема. Неравномерность поля по диаметру обусловлена скин-эффектом.

Невоспроизводимость процесса от цикла к циклу обработки возникает либо за счет разных температур стенок реакционной камеры, либо за счет откачки до различных степеней остаточных давлений, что сказывается на воспроизводимости скоростей травления материалов. При этом основную дестабилизирующую роль играют различные примеси и загрязнения, попадающие в объем реакционной камеры вместе с воздухом во время разгерметизации.

Разогрев подложек в процессе травления приводит не только к повышению скорости обработки, но и к увеличению подтравки под маску и деградации фоторезистивных масок. Следствием неодинакового и неконтролируемого перегрева подложек в ходе процесса обработки могут являться различные скорости травления, что, в случае отсутствия оперативного контроля за ходом процесса, выражается в невоспроизводимости результатов от цикла к циклу и неравномерности обработки.

Для ВЧ плазменной обработки с объемным расположением подложек является также проявление «загрузочного эффекта», выражающегося в снижении скорости травления при увеличении количества одновременно обрабатываемых подложек. Этот эффект объясняется тем, что скорость генерации активных плазменных частиц остается постоянной независимо от количества обрабатываемых подложек, в то время как плотность потока частиц на единицу площади с увеличением их количества уменьшается, что, естественно, отражается на скорости травления.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что методу плазмохимического травления материалов в ВЧ разрядных устройствах при среднем вакууме свойствен ряд недостатков, не позволяющих реализовать процессы прецизионного плазменного травления. Поэтому наиболее целесообразно использование реакторов объемного типа на операциях удаления фоторезиста и очистки поверхности подложек от органических и неорганических загрязнений.

В четвертой главе описаны методы контроля процессов плазменного травления материалов.

Одной из наиболее важных проблем практического использования плазмохимических процессов травления и удаления тонких пленок является применение точного и надежного метода контроля этих процессов.

Метод оже-электронной спектроскопии. Метод основан на высокочувствительной спектроскопии вторичных оже-электронов, эмитирующихся с поверхности твердого тела под действием бомбардировки пучком первичных моноэнергетических электронов в сверхвысоком вакууме. Энергия эмитируемого электрона определяется его энергией связи в атоме, что позволяет идентифицировать малые количества элементов, находящихся на поверхности твердого тела.

Масс-спектрометрический метод. Масс-спектрометрический метод контроля основан на разделении ионизованных атомов и молекул в зависимости от отношения массы иона к его заряду и последующим измерении соответствующих ионных токов. Масс-спектрометр обеспечивает по существу одновременную регистрацию нескольких ионов и может быть легко приспособлен к реакторам, в которых проводится вакуумно-плазменное травление того или иного вида, без существенных затрат на реконструкцию аппаратуры.

Эмиссионно-спектральный метод. Эмиссионно-спектральный метод основан на регистрации оптического спектра собственного излучения возбужденных в плазме атомов и молекул. При этом с помощью градуировочных экспериментов удается получить достаточно простые и точные выражения, описывающие связь интенсивности эмиссионных линий и скорости травления. Эмиссионно-спектральный метод может осуществляться с фильтром и оптическим детектором.

Фотометрический и интерференционный метод. Фотометрический метод основан на изменении коэффициента отражения света пленками из различных материалов. В качестве источника света может служить He-Ne-лазер, луч которого через смотровое окно направляется в вакуумную камеру, затем при помощи зеркал и микрометрических винтов юстируется на

поверхности образца, и отражается от нее, попадает в оптический детектор. Окончание травления каждого слоя многослойной структуры обнаруживается по заметному изменению коэффициента отражения.

В пятой главе представлено описание состава и работы исследовательского стенда на базе установки «Плазма-600Т».

Установка «Плазма-600Т» предназначена для плазмохимического травления слоев нитрида кремния, поликристаллического кремния, молибдена, тантала, вольфрама, титана, лежащем на двуокиси кремния алюминия – через маску фоторезиста, и удалении фоторезиста с поверхности пластин диаметром 100-150 мм, толщиной 0,2-0,5 мм.

Принцип работы установки основан на применении низкотемпературной плазмы для травления диэлектрических пленок и удаления фоторезиста с поверхности полупроводниковых пластин.

Плазма образуется в камере при разряде порядка 40-133 Па, когда к обкладкам емкости, расположенных над камерой, подается высокочастотное напряжение.

Травление пленок осуществляется в среде молекулярных газов, а удаление фоторезиста - при напуске в камеру кислорода или атмосферного воздуха.

Установка плазмохимического травления «Плазма-600Т» состоит из следующих блоков:

1. Блок обработки;
2. Блок вакуумной откачки;
3. Блок управления.

Блок обработки включает в себя корпус, в котором размещены: камера, генератор высокой частоты, вакуумметр ВТБ-1, вентилятор для охлаждения камеры и приборов генератора, устройство, распределительная панель, стабилизаторы давления и манометры, смеситель.

С помощью клапанов блока осуществляется подача газа в камеру, а с помощью натекателя обеспечивается поддержание давления в камере в процессе обработки пластин, а также необходимая концентрация кислорода. На передней панели установки размещены элементы индикации и управления: стрелочные приборы, кнопки и выключатели, световые индикаторы, позволяющие устанавливать и поддерживать заданный режим обработки.

Блок обработки соединяется с блоком вакуумной откачки вакуумным переходом. Электросвязи осуществляются жгутами.

Блок вакуумной откачки включает в себя насос НВР-5Д с производительностью 1,25 л/с.

Блок управления обеспечивает включение/выключение установки, а также изменение режимов плазмообразования.

Функциональная схема установки представлена на рисунке 5.1.

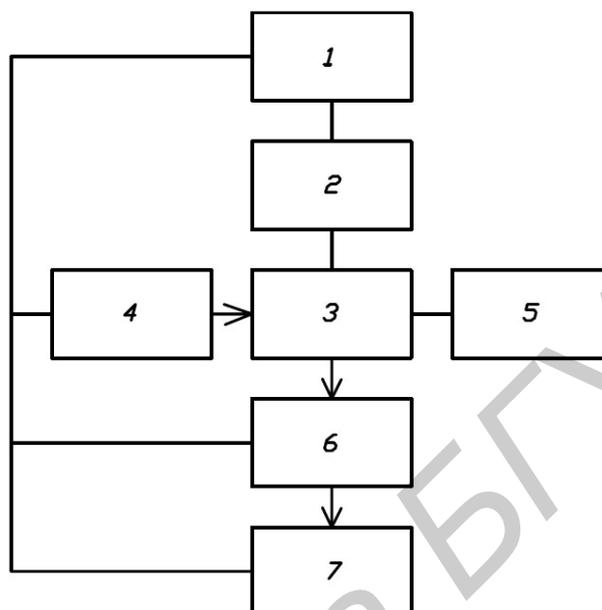


Рисунок 5.1 – Функциональная схема плазменной установки «Плазма-600Т» (1 - блок управления; 2 – ВЧ генератор; 3 – реакционная разрядная камера; 4 – система напуска газа; 5 – вакуумметр ВТБ-1; 6 – клапан вакуумной системы; 7 – вакуумный насос НВР-5Д)

Спектральный анализ плазмы производится с использованием спектрометра SL40-2-2048ISA. Спектрометр изображен на рисунке 5.2. Спектрометры серии SL40-2-2048ISA - это малогабаритные двухканальные анализаторы спектра. Спектрометр SL40-2-2048ISA имеет в своем составе два независимых спектральных канала (спектрографа), конструктивно расположенных в одном корпусе, и встроенный линейный детектор. Каждый из спектрографов построен по оригинальной оптической схеме с использованием асферических зеркал и ахроматизированных объективов. Спектрографы имеют фокусное расстояние 40 мм и относительное отверстие 1/4.9. В обоих каналах спектрометра могут использоваться дифракционные решетки с различным числом штрихов, что позволяет варьировать регистрируемый спектральный диапазон и получаемое спектральное разрешение.



Рисунок 5.2 – Спектрометр серии SL40-2-2048ISA

Структурная схема стенда для проведения исследований процессов плазмохимической обработки «Плазма-600Т» приведена на рисунке 5.3.

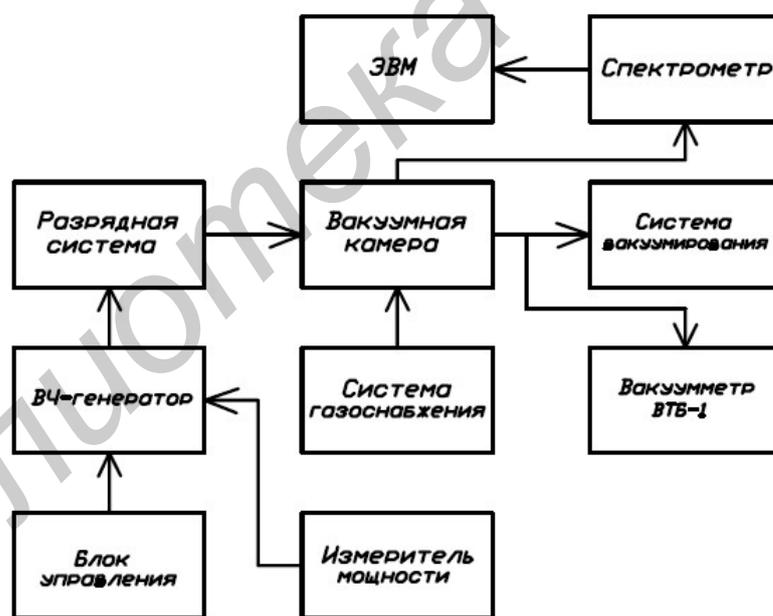


Рисунок 5.3 – Структурная схема стенда для проведения исследований процессов плазмохимической обработки «Плазма-600Т»

В шестой главе приведены результаты исследования влияния режимов плазмообразования на оптический эмиссионный спектр плазмы газового разряда среднего вакуума.

При исследовании и контроле различных плазменных процессов обработки поверхности важно иметь информацию о компонентном составе плазмы и его изменении во времени. Такую информацию в значительной мере позволяет получить метод эмиссионной спектроскопии.

Проведение спектральных исследований осуществлялось с использованием спектрометра SL-40-2048 ISA. Регистрация спектра проводилась в диапазоне длин волн 189-1097 нм. Спектрометр имеет широкий рабочий спектральный диапазон 189-1097 нм, достаточную разрешающую способность 0,6 нм и абсолютную погрешность по шкале длин волн не более 1 нм.

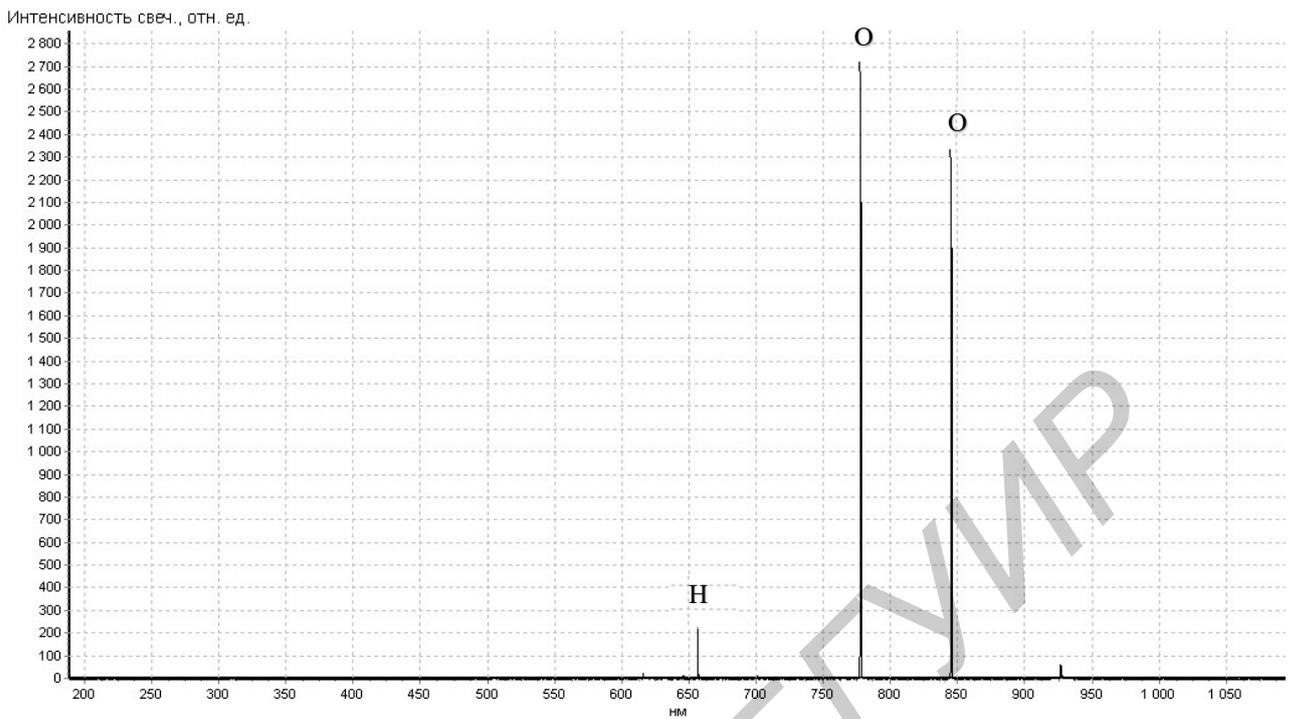
Эксперименты показали, что энергетическая характеристика картины спектров ВЧ разряда в значительной степени зависит от режимов плазмообразования.

Спектроскопия газового ВЧ разряда в O_2 показала, что наиболее интенсивными линиями являются линии атомарного кислорода с длинами волн $\lambda = 777,7$ нм и $\lambda = 844,6$ нм. При увеличении мощности генератора интенсивности названных линий монотонно возрастают. Уменьшение давления кислорода в разрядной камере приводит к росту интенсивности практически всех наблюдаемых линий.

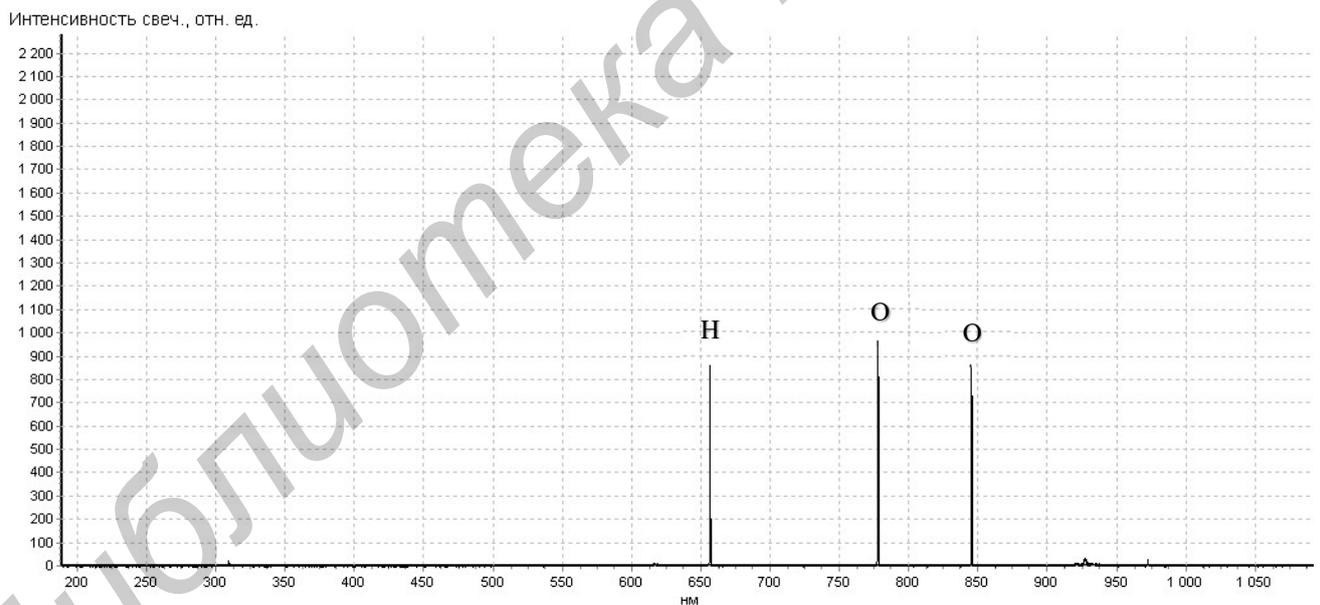
При обработке пластин с фоторезистом в O_2 интенсивности полос и линий кислорода уменьшаются, при этом увеличивается интенсивность линии Н и появляются полосы ОН и СО системы Ангстрема.

Спектральная диагностика плазменных процессов в атмосфере воздуха показала схожий результат, как и при обработке в атмосфере кислорода. При увеличении мощности интенсивности всех линий спектра возрастают. Уменьшение давления воздуха в разрядной камере приводит к росту интенсивности практически всех наблюдаемых линий. Причем также как и в атмосфере кислорода одной из ярко выраженных линий является линия кислорода с длиной волны $\lambda = 777,7$.

Спектральная диагностика плазменных процессов показала, что контроль за удалением фоторезиста можно проводить как по изменению интенсивности полосы СО ($\lambda = 519,82$ нм), так и по линиям О ($\lambda = 777,7$ нм, $\lambda = 844,6$ нм).

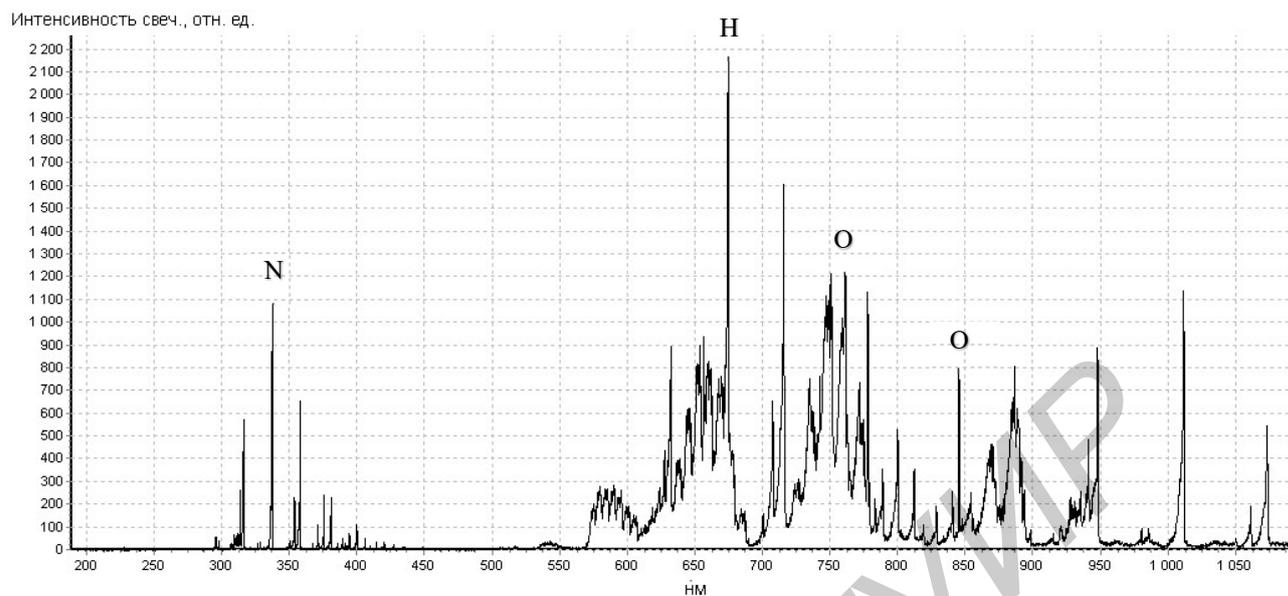


а)

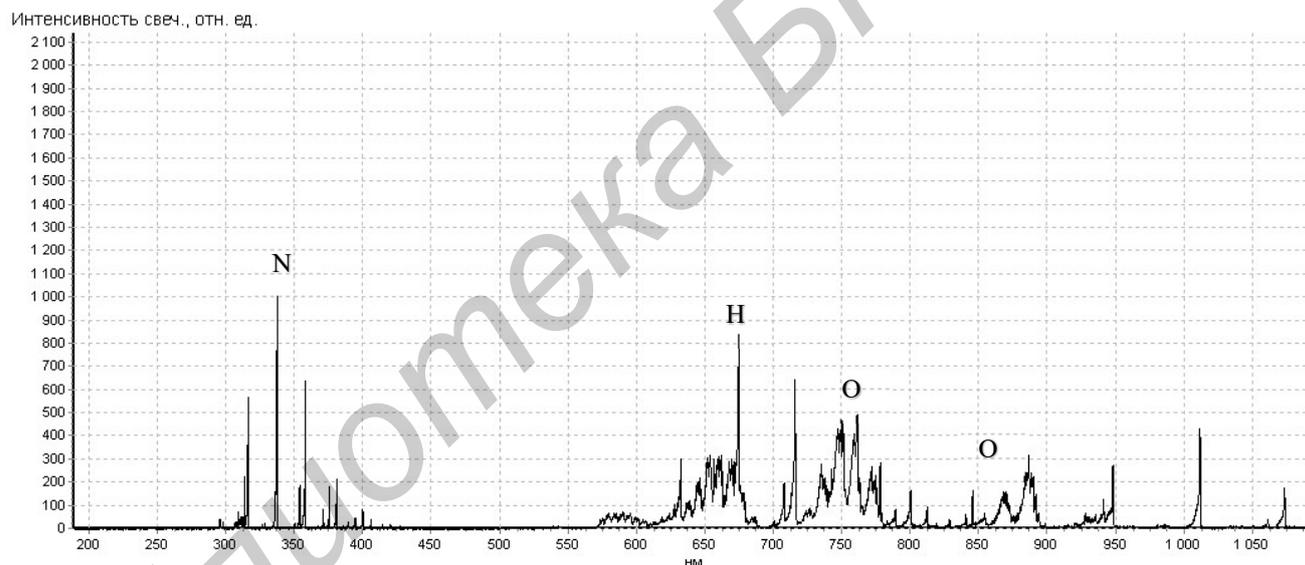


б)

Рисунок 6.1 – Вид спектров ВЧ разрядов в O_2 , камера пустая (а) и при удалении фоторезиста с 2-х кремниевых пластин $\varnothing 76$ мм (б) (Давление $p = 140$ Па; мощность $W = 700$ Вт)



а)



б)

Рисунок 6.2 – Вид спектров ВЧ разрядов в атмосфере воздуха, камера пустая (а) и при удалении фоторезиста с 2-х кремниевых пластин Ø 76 мм (б) (Давление $p = 140$ Па; мощность $W = 700$ Вт)

На рисунках 6.3 и 6.4 приведены зависимости интенсивности свечения линии кислорода ($\lambda=777,7$ нм) от давления в разрядной камере и мощности генератора соответственно.

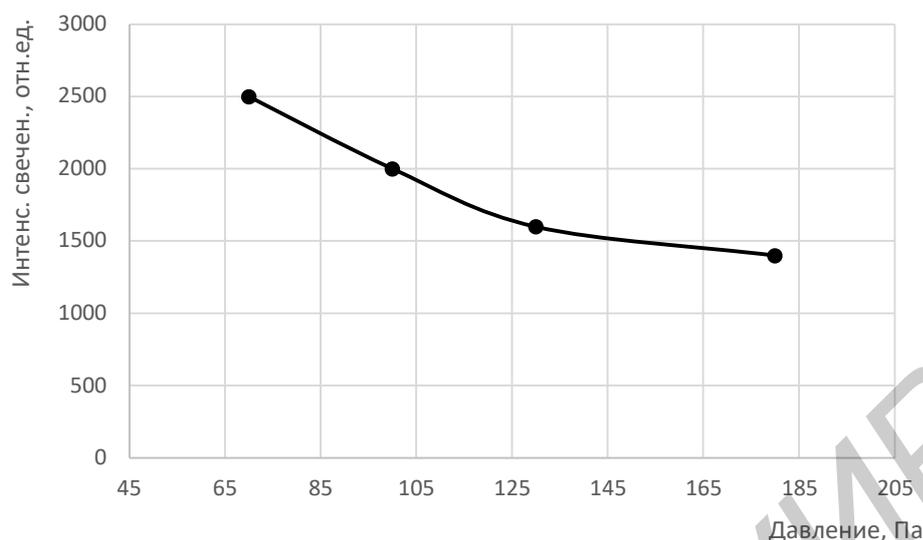


Рисунок 6.3 – Зависимость интенсивности свечения линии кислорода OI ($\lambda=777,7$ нм) от давления в разрядной камере воздуха без пластины с фоторезистом

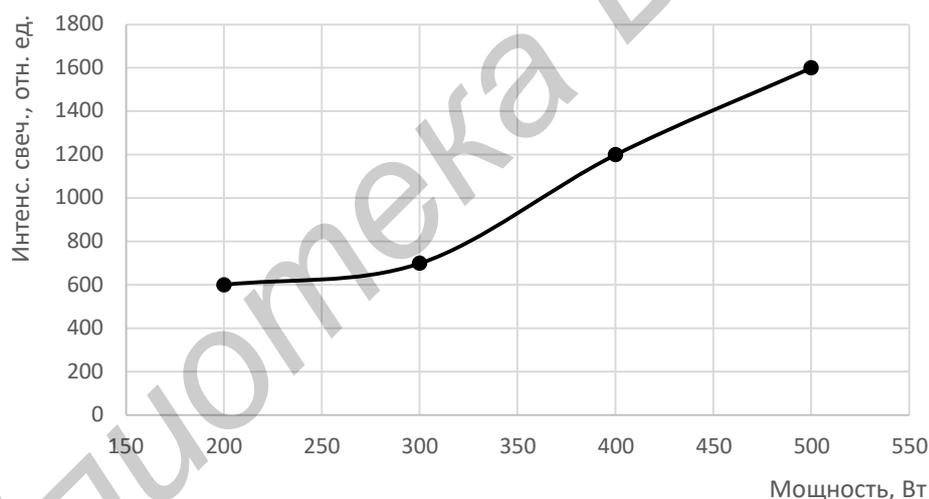


Рисунок 6.4 – Зависимость интенсивности свечения линии кислорода OI ($\lambda=777,7$ нм) от мощности ВЧ генератора в разряде воздуха без пластины с фоторезистом

На рисунке 6.5 приведена зависимость характера изменения отношения интенсивности свечения линии кислорода OI ($\lambda=844,6$ нм), взятой из эмиссионного спектра при наличии в плазме пластин с фоторезистом к интенсивности свечения этой же линии без фоторезиста в процессе удаления фоторезистивных пленок в кислородном СВЧ и ВЧ разряде в зависимости от числа кремниевых пластин.

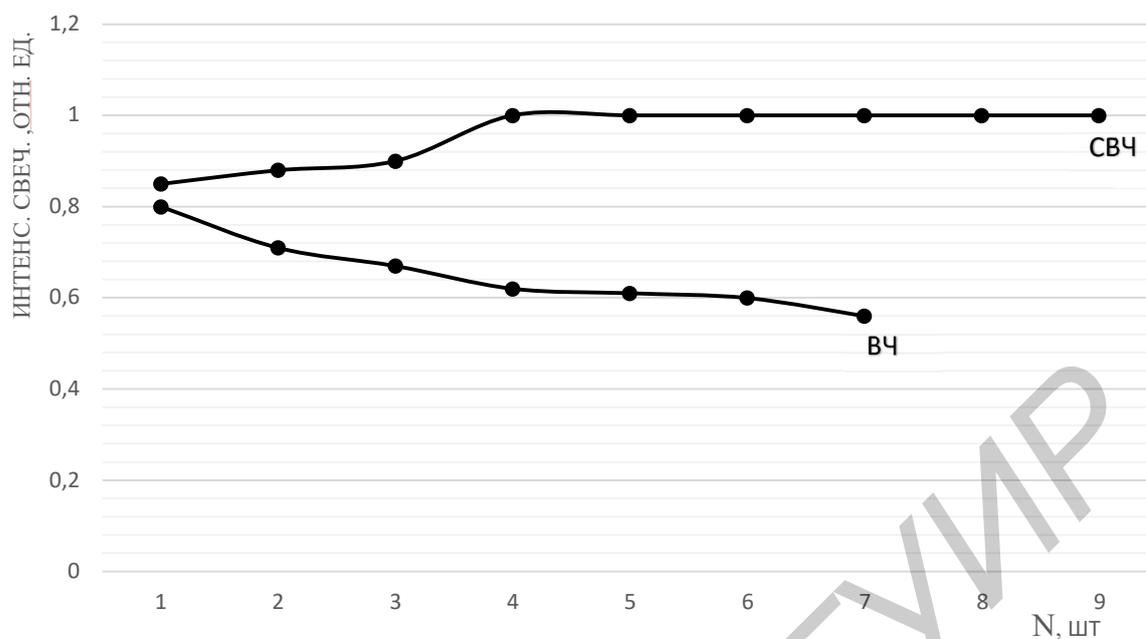


Рисунок 6.5 - Зависимость характера изменения отношения интенсивности свечения линии кислорода OI ($\lambda=844,6$ нм), взятой из эмиссионного спектра при наличии в плазме пластин с фоторезистом к интенсивности свечения этой же линии без фоторезиста в процессе удаления фоторезистивных пленок в кислородном СВЧ и ВЧ разряде в зависимости от числа кремниевых пластин

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были изучены технологическое использование процессов плазменной обработки материалов, конструкции вакуумно-плазменных систем технологического назначения, технологические характеристики плазменного травления материалов в реакционно-разрядной камере объемного типа.

Подготовлено описание состава и работы исследовательского стенда на базе установки «Плазма-600Т». Составлены теоретическая и экспериментальная часть лабораторной работы по изучению спектра плазмы при удалении фоторезиста на установке «Плазма-600Т».

Проведена спектральная диагностика процесса удаления фоторезистивных пленок в плазме ВЧ разряда. Изучалось влияние режимов плазмообразования на оптический эмиссионный спектр плазмы. Установлено влияние «загрузочного» эффекта на поведение интенсивности свечения линий OI ($\lambda=777,7$ нм и $\lambda=844,6$ нм) и полосы CO ($\lambda=519,82$ нм) в процессе удаления фоторезиста в ВЧ и СВЧ разряде.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Клакевич, М.С. Анализ процессов плазмохимической обработки материалов в проточных туннельных реакторах при среднем вакууме / М.С. Клакевич (научный руководитель С.В. Бордусов) // IX Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники»: тезисы докладов - Гомель, 2020 - С. 53-55.

2-А. Клакевич, М.С. Методика проведения спектральных исследований на установке «Плазма-600Т» / М.С. Клакевич (научный руководитель С.В. Бордусов) // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР / БГУИР. – Минск. – 2020 - С. 338-339

3-А. Клакевич, М.С. Особенности спектральной диагностики процессов удаления фоторезистивных пленок в плазме ВЧ и СВЧ разрядов / М.С. Клакевич (научный руководитель С.В. Бордусов) // X Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники»: тезисы докладов - Гомель, 2021 - [в печати].

4-А. Клакевич, М.С. Методы контроля процессов плазменного травления материалов / М.С. Клакевич (научный руководитель С.В. Бордусов) // 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР / БГУИР. – Минск. – 2021 – С. 190-193.