

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

А.В. Волков

Разновидности систем плазменного травления и их особенности

Электронное учебно-методическое пособие

Работа выполнена по мероприятию блока 1 «Совершенствование образовательной деятельности» Программы развития СГАУ на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка магистерской программы «Технологии наноэлектроники и микросистемной техники» для направления подготовки 010900.68 «Прикладные математика и физика»
Соглашение № 1/10 от 3.06. 2013 г.

САМАРА
2013

УДК621.792(075)
ББК32.844.1я7
В 676

Автор: Волков Алексей Васильевич

Редакторская обработка А. В. Волков
Компьютерная верстка А. В. Волков
Доверстка А. В. Волков

Волков А. В. Разновидности систем плазменного травления и их особенности [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / А. В. Волков; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. и граф. дан. (0,3 Мбайт). - Самара, 2013. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены вопросы исследования и выбора технологических режимов плазменного ионно-химического травления при использовании установки “Caroline PE15”.

Электронное учебно-методическое пособие предназначено для подготовки магистров направления 010900.68 «Прикладная математика и физика» радиотехнического факультета, изучающих дисциплину «Аппаратные средства нанотехнологии и микросистемной техники» в 11 семестре.

Разработано на кафедре наноинженерии.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2013

Содержание

1. Разновидности систем плазменного травления и их особенности.....	4
1.1 Ионно-плазменное травление ИПТ.....	4
1.2 Реактивное ионное травление РИТ.....	8
1.3 Плазмохимическое травление ПХТ.....	10
1.4 Реактивное ионное травление с источником индуктивно связанной плазмы (ICP etch).....	15
Список литературы.....	17

1. Разновидности систем плазменного травления и их особенности.

1.1 Ионно-плазменное травление ИПТ

При ионно-плазменном травлении удаление поверхностных слоев материалов осуществляется за счет физического распыления ионами инертных газов или других ионов, химически не реагирующих с обрабатываемым материалом. При этом он находится в контакте с зоной плазмы, а необходимая энергия ионов обеспечивается подачей на материал отрицательного смещения. Для ионной очистки поверхности материалов (удаления адсорбированных частиц) обычно используют ионы с энергией в диапазоне от 20 до 100 эВ, а для ионного травления (удаления слоев основного материала) - от 100 до 1000 эВ. В первом диапазоне распыление осуществляется в режиме первичного прямого выбивания, а во втором - как в режиме первичного выбивания, так и в режиме линейных каскадов.

По способу возбуждения и поддержания электрического разряда системы ИПТ подразделяются на системы с разрядами постоянного тока, системы с самостоятельными ВЧ разрядами, а также системы на постоянном токе и высокой частоте с искусственным поддержанием разряда, где разряд поддерживается с помощью вспомогательных средств: термоэлектронной эмиссии, ВЧ и магнитных полей. Системы ИПТ можно классифицировать по числу электродов на двухэлектродные (диодные), трехэлектродные (триодные) и многоэлектродные (четыре и более электродов). Кроме того, по форме и расположению электродов системы ИПТ могут быть горизонтальными с плоскими электродами (планарные) и вертикальными с электродами в виде цилиндров и многогранных призм.

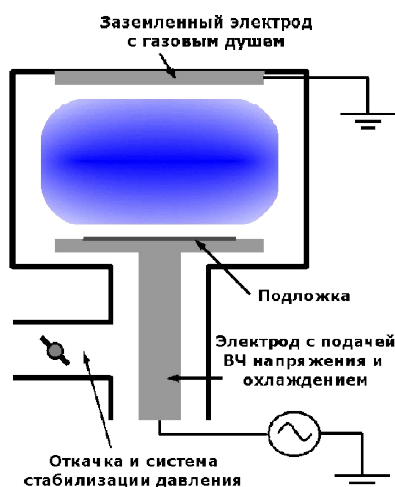


Рис 5.1. Схема реактивного ионного травления РИТ (RIE)

На рис. 5.1 показана типичная схема ионно-плазменного травления. Планарная диодная ВЧ система содержит два электрода: заземленный (анод) и ВЧ электрод (или мишень), на который подается напряжение от ВЧ генератора. В диодной ВЧ системе возможность ИПТ любых материалов (металлов, полупроводников, диэлектриков, органических соединений и др.) сочетается с простотой конструкции и большой площадью ВЧ электрода, на которой обеспечивается равномерная ионная бомбардировка.

Схема планарной диодной системы постоянного тока аналогична схеме планарной ВЧ системы, только вместо ВЧ генератора используется источник постоянного напряжения и нет необходимости в согласующем устройстве. Область применения диодных систем постоянного тока ограничена ИПТ проводящих материалов, рабочие давления лежат в диапазоне 1.33—13.3 Па, а размеры электродов и межэлектродные расстояния такие же, как у диодных ВЧ систем. Травление материалов в диодных системах постоянного тока осуществляется в аномальном тлеющем разряде при напряжении на катоде 1 - 2 кВ. В таких системах скорости ионно-плазменного травления органических масок в несколько раз ниже, чем в ВЧ системах, что позволяет проводить травление проводящих слоев на большую глубину.

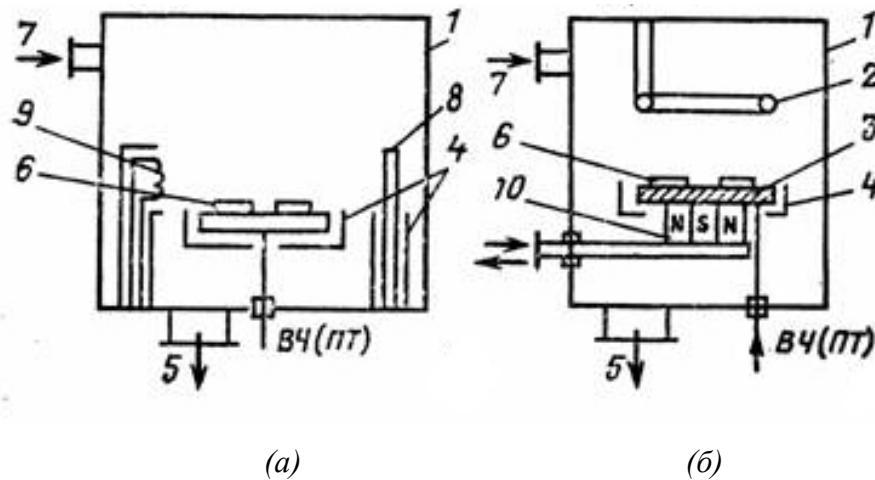


Рис. 5.2. Системы РИТ: а - триодная; б - планарная магнетронная. Обозначения: 1 - камера; 2 - заземленный электрод; 3 - ВЧ (ПТ) электрод; 4 - заземленный экран; 5 - откачка; 6 - обрабатываемые пластины; 7 - напуск газа; 8 - анод; 9 - термокатод; 10 - магнитная система.

Триодная система ИПТ состоит из трех независимо управляемых электродов: термокатода, анода и мишени, на которой размещаются обрабатываемые пластины (рис. 5.2,а). После откачки рабочей камеры до давления 10^{-4} Па катод разогревается до температуры, достаточной для достижения высокой плотности тока термоэлектронной эмиссии. Затем в камеру напускается инертный газ и между термокатодом и анодом подается напряжение около 50 В, что приводит к зажиганию дугового разряда. На мишень

может подаваться как постоянное отрицательное напряжение при травлении проводящих материалов, так и ВЧ напряжение при травлении диэлектриков. В триодной системе процессы образования плазмы и травления разделены, что позволяет управлять энергией ионов с помощью напряжения на мишени. К недостаткам триодной системы следует отнести трудность получения однородной плазмы из-за малого размера термокатода по сравнению с холодным катодом диодной системы, что приводит к неравномерности травления образцов по поверхности мишени. Наличие термокатода также ограничивает ресурс работы триодной системы до его смены.

В планарной магнетронной системе ИПТ (рис. 5.2,б) под плоским ВЧ электродом (мишенью) размещены постоянные магниты, форма полюсов которых определяет геометрию замкнутой зоны у поверхности мишени в виде вытянутой буквы «О». Наличие у мишени замкнутого магнитного поля дает возможность локализовать плазму в непосредственной близости у мишени и повысить плотность ионного тока на мишень. Для обеспечения равномерности ионно-плазменного травления в системе предусмотрено сканирование магнитного поля по диаметру мишени с помощью перемещения магнитной системы. Наличие магнитного поля с индукцией $0.10—0.12$ Тл позволяет проводить ионно-плазменное травление при давлении $1-10$ Па, обеспечивая энергию ионов 250 эВ при плотности ионного тока ~ 6 мА/см². Таким образом, в планарной магнетронной системе при высоких скоростях травления материалов резко уменьшается возможность их радиационного повреждения вследствие низких энергий ионов.

Скорости ИПТ материалов при одинаковых условиях различаются не более чем в 2 - 3 раза, поэтому селективность ИПТ обычно не превышает 2 - 3, что в большинстве случаев недостаточно для проведения размерной обработки материалов. Топография получаемого профиля при ионно-плазменном травлении рабочего материала (подложки) через проявленную защитную маску определяется зависимостью скорости травления от угла падения ионов, переосаждением распыляемого материала и отражением ионов при больших углах падения.

По своему механизму процесс ионно-плазменного травления должен обладать высокой анизотропией, однако низкие стойкость масок и селективность травления материалов, сильная зависимость скорости травления от угла падения ионов, затрудненный выход распыленного материала из глубоких канавок при используемых рабочих давлениях ограничивают показатель анизотропии в диапазоне 5 - 10.

Равномерность моно-плазменного травления определяется равномерностью распределения плотности ионного тока по поверхности мишени или катода. В диодных ВЧ системах и системах постоянного тока с планарными и коаксиальными электродами

неравномерность травления обычно не превышает 5 - 10%, за исключением краевых участков шириной 20 - 30 мм. В триодных системах неравномерность травления составляет 10 -20 % из-за изменения плотности плазмы, а следовательно, и плотности ионного тока вдоль поверхности мишени. В магнетронных системах зона травления локализована и имеет небольшую ширину, поэтому для обеспечения равномерности ионно-плазменного травления производят перемещения зоны травления относительно мишени за счет сканирования магнитной системы. При этом неравномерность травления составляет также 5 -10 % .

Процессы ИПТ всегда сопровождаются образованием радиационных дефектов, которые подразделяются на дефекты смещения, связанные со смещением атомов в решетке материала и образованием вакансий, и ионизационные дефекты, обусловленные ионизацией атомов решетки. К числу частиц, способных вызывать радиационные повреждения в обрабатываемых материалах при ионно-плазменном травлении, относятся ионы, электроны, нейтральные атомы и фотоны. Внедрение заряженных частиц в твердое тело вызывает ионизацию атомов решетки и возбуждение их электронных оболочек. В металлах с их высокой электропроводностью ионизация, вызванная облучением заряженными частицами, очень быстро (за время 10^{-16} - 10^{-19} с) нейтрализуется электронами проводимости, и этот процесс не приводит к каким-либо заметным изменениям электрофизических свойств металлических пленок. В полупроводниках под действием бомбардировки энергетическими частицами и излучения резко возрастает электропроводность. Однако этот эффект тоже не является длительным и устойчивым, и после прекращения облучения электропроводность возвращается к начальному уровню. Только в диэлектриках наблюдаются глубокие и устойчивые изменения электрофизических и химических свойств.

Перечисленные выше ограничения привели к тому, что в настоящее время процессы ИПТ практически не используются для размерного травления материалов, но находят широкое применение для планаризации (сглаживания) и очистки их поверхностей. В то же время высокая эффективность очистки поверхности материала от различных загрязнений и адсорбированных газов, простота реализации и возможность интеграции в одной вакуумной камере с процессами и устройствами осаждения делают ионно-плазменное травление незаменимым для предварительной очистки подложек в одном вакуумном цикле перед нанесением функциональных слоев. Кроме этого, процессы ИПТ становятся конкурентоспособными и даже предпочтительными при травлении слоев меди и никеля в печатных платах больших размеров.

1.2 Реактивное ионное травление РИТ

При проведении реактивного ионно-плазменного травления (синоним – реактивного ионного травления) обрабатываемые образцы находятся в контакте с плазмой и размещаются на электроде, подключенном к источнику ВЧ напряжения. Удаление материала происходит как за счет физического распыления ускоренными ионами химически активных газов, так и в результате химических реакций между свободными атомами и радикалами, образующими в плазме, и поверхностными атомами обрабатываемого материала. При проведении РИТ физический и химический механизмы не являются независимыми: физическое распыление активирует поверхность материала, повышая скорость химических реакций, которые, в свою очередь, ослабляют химические связи поверхностных атомов, увеличивая тем самым скорость физического распыления. Поэтому скорости соответствующих процессов складываются неаддитивно, то есть количество материала, удаленного при одновременном протекании обоих процессов, больше суммы парциальных скоростей химической реакции и физического распыления.

Соотношение вкладов химического и физического механизмов при РИТ в каждом конкретном случае определяется видом рабочего газа, энергией ионов, вводимой в разряд мощностью, давлением рабочего газа, типом и геометрией реактора. В низкотемпературной плазме степень ионизации обычно не превышает десятых долей процента, тогда как степень диссоциации, определяющая концентрацию нейтральных химически активных частиц (ХАЧ), достигает нескольких десятков процентов. Поэтому в случае высокой активности ХАЧ к обрабатываемому материалу и образования летучих стабильных продуктов взаимодействия основной вклад в РИТ вносит химический механизм. Однако при невысокой химической активности свободных атомов и радикалов к обрабатываемому материалу или при образовании нелетучих продуктов реакции основной вклад в травление материала вносит процесс физического распыления. Если энергия бомбардирующих поверхность ионов становится меньше 100 эВ, вклад физического распыления в травление материала будет несущественным (коэффициент распыления меньше 0.1 атом/ион), в этом случае травление переходит в плазменное. Так как энергия ионов, бомбардирующих материал, сильно зависит от вида рабочего газа, уровня ВЧ мощности и геометрических параметров системы травления, то в некоторых случаях в одной и той же системе могут быть реализованы процессы реактивного ионно-плазменного травления и плазменного травления.

Процессы РИТ проводят в горизонтальных диодных и триодных ВЧ системах с плоскими параллельными электродами (рис 5.1), а также в вертикальных диодных ВЧ системах с коаксиальными электродами в виде многогранной призмы и цилиндра. Во всех

системах обрабатываемые пластины располагаются на электродах, к которым подводится ВЧ напряжение.

Зависимость скорости РИТ от операционных параметров в каждом конкретном случае зависит от того, какой механизм – физический или химический – вносит определяющий вклад в скорость процесса. Увеличение вкладываемой мощности во всех случаях приводит к росту скорости травления, что обусловлено соответствующим влиянием мощности на скорость генерации как нейтральных ХАЧ, так и ионов. Влияние давления рабочего газа на скорость РИТ сочетает признаки плазменного и ионного плазменного процессов. Начальное возрастание скорости травления с ростом давления можно объяснить увеличением числа энергетических и химически активных частиц, связанным с повышением концентрации молекул рабочего газа. Однако с ростом давления уменьшается средняя энергия электронов, поэтому эффективность диссоциации и ионизации снижается. Соответственно, начинает снижаться и РИТ. Кроме этого, с увеличением давления уменьшается длина свободного пробега ионов и энергия ионов, бомбардирующих поверхность обрабатываемого материала. При давлении выше 100 Па характеристики РИТ приближаются к характеристикам плазменного травления.

Если стадия доставки энергетических и химически активных частиц является лимитирующей, то скорость РИТ при постоянном давлении возрастает с увеличением расхода рабочего газа, достигает максимума, что связано с увеличением эффективности доставки химически активных частиц к поверхности обрабатываемого материала. При дальнейшем увеличении расхода газа наступает такой момент, когда химически активные частицы будут уноситься потоком газа и откачиваться, не успев вступить в реакцию с обрабатываемым материалом. Следовательно, скорость травления будет уменьшаться при больших расходах рабочего газа. Наличие загрузочного эффекта отмечается в процессах РИТ с доминированием химического механизма. Примерами таких процессов являются травление алюминия и сплавов на его основе в хлорсодержащей плазме, кремния во фторсодержащей плазме, титана, молибдена, вольфрама, ниобия и тантала во фторсодержащей плазме .

Равномерность РИТ определяется, в основном, двумя факторами: равномерностью доставки химически активных частиц к поверхности и равномерностью распределения температуры. Преобладание влияния того или иного фактора на равномерность травления определяется лимитирующей стадией конкретного процесса.

Разрешение РИТ целиком определяется его анизотропией. Чем выше показатель анизотропии, тем с меньшими искажениями размеров переносит он рисунок с маски на слой рабочего материала и тем более он подходит для получения субмикронных размеров.

Анизотропия травления определяется направленным воздействием энергетических и химически активных частиц на поверхность материала. При РИТ электромагнитное поле, создаваемое ВЧ напряжением, приложенным к электродам, обеспечивает бомбардировку материала заряженными частицами перпендикулярно его поверхности (если подложки расположены на электродах), что увеличивает скорость травления по нормали к поверхности относительно скорости бокового травления. Однако в травлении участвуют не только заряженные частицы, но и свободные атомы и радикалы, движение которых не столь упорядочено. Поэтому РИТ обладает меньшей анизотропией, а следовательно, меньшей разрешающей способностью по сравнению с чисто ионными процессами.

Подобно ионно-плазменному процессу, РИТ вызывает нарушения структуры поверхностных слоев обрабатываемых материалов, загрязнение их поверхностей распыленными частицами электродов, деградацию электрофизических параметров обрабатываемых слоев и границ раздела между слоями, ухудшение рабочих параметров создаваемых приборов. Однако существенный вклад химического механизма в РИТ значительно уменьшает вышеперечисленные опасности по сравнению с процессами чисто ионного травления. Например, если скорость удаления материала в результате химической реакции достаточно высока, то нарушенные ионной бомбардировкой слои успевают стравиться, прежде чем дефекты диффундируют из них в глубь материала. Для устранения нежелательных изменений электрофизических параметров обрабатываемых слоев, границ раздела между слоями и рабочих характеристик приборов образцы после процессов РИТ можно подвергнуть восстанавливающему отжигу.

1.3 Плазмохимическое травление ПХТ

При плазмохимическом травлении обрабатываемый образец помещается непосредственно в область химически активной плазмы, располагаясь на специальном подложкодержателе и находится обычно под плавающим потенциалом. Основными частицами, участвующими в процессе плазменного травления и влияющими на него, являются свободные атомы, радикалы, ионы и электроны. Вклад этих частиц в плазменное травление различен: химически активные частицы, т. е. свободные атомы и радикалы, вступают в химическую реакцию с поверхностными атомами материалов и удаляют поверхностные слои в результате образования летучих продуктов реакции, а электроны и ионы активируют эту реакцию, увеличивая скорость травления. Активирующее воздействие ионов и электронов определяется энергией, с которой они бомбардируют обрабатываемую поверхность. Значение этой энергии зависит от потенциала обрабатываемой поверхности относительно плазмы. Вследствие различия в подвижности электронов и ионов на поверхности, находящейся в плазме (если она не заземлена и на нее

не подается напряжение), возникает отрицательный плавающий потенциал, который зависит от мощности, вкладываемой в разряд, давления и вида газа и при плазменном травлении обычно не превышает нескольких десятков вольт (к плазменному травлению относятся процессы, в которых энергия ионов не превышает 100 эВ). Таким образом, величина разности потенциалов между плазмой и обрабатываемой поверхностью не может обеспечить заряженным частицам энергию, достаточную для эффективного физического распыления (при 100 эВ коэффициент распыления не превышает 0,1 атом/ион). Но в то же время энергия ионов и электронов достаточна для разрушения химической связи между поверхностными атомами материала, активации химической реакции и стимулирования процессов десорбции образующихся продуктов. В результате скорость травления возрастает. Кроме этого, положительные ионы сами обладают химической активностью и могут вступать в реакцию. В большинстве случаев вклад химической реакции между ионами и материалом в плазмохимическом травлении незначителен по сравнению с вкладом химической реакции с участием нейтральных активных частиц. Это объясняется тем, что концентрация ионов в плазме ($10^9 - 10^{11} \text{ см}^{-3}$) значительно ниже концентрации нейтральных активных частиц ($10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$).

Генерацию энергетически и химически активных частиц для осуществления плазменного травления производят в реакторах, которые в зависимости от вида конкретного процесса должны удовлетворять определенным требованиям. В первую очередь, должны обеспечиваться заданные скорость и равномерность процесса при приемлемых мощности разряда и расходе рабочего газа. Таким требованиям удовлетворяют реакторы с объемным расположением подложек в плазме и реакторы диодного типа, в которых подложки размещают на плоских электродах.

На рис 5.3 показана схема ПХТ диодного типа. Подложка размещается на заземленном электроде. ВЧ напряжение подводится к противоположному электроду. Для подачи реакционных газов в зону разряда используется подвод газа через т.н. газовый душ в нагруженном электроде.

При зажигании емкостного разряда, происходит разложение газовой смеси на электроны, ионы и активные радикалы. Травление происходит большей частью за счет активных радикалов. Ионная бомбардировка подложки, расположенной на заземленном электроде, минимальна из-за существенной асимметрии разряда.

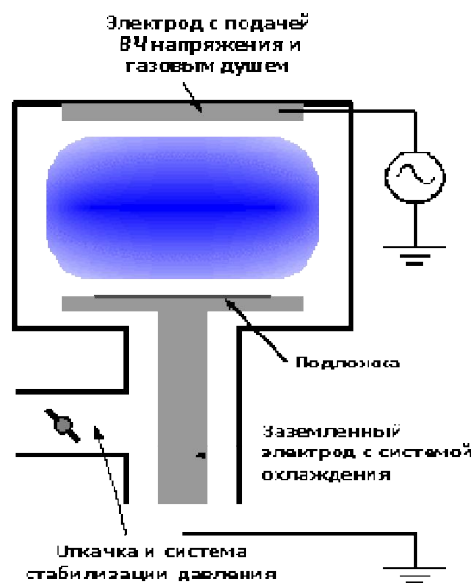


Рис 5.3. Схема плазмохимического травления ПХТ (PE)

Общей чертой всех реакторов объемного типа является кассетная загрузка подложек. Одновременно в реакторе может обрабатываться 20-100 подложек. Высокая производительность установок - их главное достоинство. В то же время кассетная загрузка подложек имеет существенные недостатки. Во-первых, это большая суммарная площадь обрабатываемой поверхности и, как следствие, возможность проявления загрузочного эффекта. Во-вторых, для получения стабильных результатов травления при обработке пластин партиями необходима высокая точность поддержания рабочих параметров от цикла к циклу, что является сложной технической задачей.

Основными рабочими параметрами, определяющими характеристики процесса плазменного травления, являются: мощность, вкладываемая в разряд, рабочее давление, расход газа и способ его подвода к обрабатываемой поверхности, температура подложек, состав используемого газа.

При проведении ПХТ важен выбор не только рабочего газа, но и добавок к нему, которые, не принимая непосредственного участия в процессе травления, могут существенно увеличить эффективность использования основного газа. Основным механизмом влияния газа-добавки на скорость ПХТ является увеличение концентрации ХАЧ в реакторе, которое может реализоваться через:

- уменьшение вероятности рекомбинации ХАЧ на стенках реактора;
- увеличение скорости генерации ХАЧ.

Последний механизм может реализоваться как через появление дополнительных каналов диссоциации молекул при взаимодействии с возбужденными частицами газодобавок, так и через увеличение скорости диссоциации электронным ударом при изменении электрофизических параметров плазмы.

Наличие эффекта увеличения скорости травления при подаче на обрабатываемый материал смещения как отрицательной, так и положительной полярности свидетельствует о том, что процесс ПХТ одинаково эффективно активируется как ионной, так и электронной бомбардировкой. Хотя оба этих фактора затрудняют адсорбцию ХАЧ, они оказывают стимулирующее действие на химическую реакцию на поверхности и десорбцию продуктов взаимодействия. При подаче положительного смещения определенную роль могут играть отрицательные ионы, которые рекомбинируют на поверхности с образованием нейтральных ХАЧ.

Влияние поперечного магнитного поля связано с изменением траектории движения электрона (закручивания в спираль) и увеличением частоты столкновений, приводящих к образованию ХАЧ.

Селективность ПХТ зависит от операционных параметров процесса. Рост интенсивности ионной бомбардировки с ростом вкладываемой мощности приводит к снижению селективности. Селективность существенно увеличивается с ростом давления и расхода газа, характер этого влияния обусловлен тем, что ПХТ кремния обычно происходит в диффузионной области, а SiO_2 – в кинетической. Значительного увеличения селективности можно достичь при добавлении к фторсодержащим газам кислорода, который уменьшает рекомбинацию атомов фтора и повышает скорость травления кремния. Увеличение интенсивности ионной бомбардировки приводит к росту скорости процесса, протекающего в кинетическом режиме, а рост площади обрабатываемой поверхности сказывается только на скорости реакции в диффузионной области. Влияние частоты ВЧ поля связано со снижением скорости травления оксида кремния из-за изменения условий ионной бомбардировки.

При производстве ИМС с субмикронными размерами элементов ПХТ может быть применено только для формирования топологии в пленках толщиной более 0.5 мкм. Это обусловлено значительным подтравливанием под маскирующий слой, при этом величина подтравливания в некоторых случаях равна глубине травления. При ПХТ показатель анизотропии обычно не превышает 2 - 4, что ограничивает предельное разрешение процесса на уровне 1.0—0.7 мкм. При требовании прецизионного травления плазменное травление может быть применимо, пока отношение ширины линии к толщине слоя превышает 5:1. Наличие анизотропии при плазменном травлении обусловлено природой

пограничного слоя между плазмой и поверхностью обрабатываемого материала. Его природа такова, что заряженные частицы в нем вследствие разности потенциалов между поверхностью и плазмой движутся по траекториям, перпендикулярным поверхности материала. Но все же основную роль в плазменном травлении играют незаряженные активные частицы (ионы и электроны только стимулируют их реакции), а они, вследствие хаотичности движения, и вызывают подтравливание под маскирующий слой. Увеличение анизотропии, и, следовательно, разрешения плазменного травления, возможно при снижении рабочего давления. При этом увеличивается длина свободного пробега активных частиц и при небольших размерах окон в маскирующем слое, сравнимых с его толщиной (примерно 0,5 мкм), вероятность попадания активных частиц на боковые стенки подвергаемых травлению элементов значительно снижается. Диапазон рабочих давлений при плазменном травлении определяется характеристиками используемого для возбуждения плазмы разряда. Наиболее перспективным в этом плане является СВЧ разряд, позволяющий проводить процесс при давлениях меньше 0.1 Па, однако при этом снижается скорость травления материалов.

В настоящее время при изготовлении ИМС и полупроводниковых приборов ПХТ применяется для многих материалов, к числу которых в первую очередь относятся кремний и его соединения, молибден, титан, тантал, вольфрам и др. С точки зрения влияния на обрабатываемые структуры при ПХТ могут проявляться следующие особенности:

1. Увеличение шероховатости обрабатываемой поверхности, которое может быть связано, во-первых, с загрязнениями (выделение твердых продуктов разложения исходных газов, распыление электродов и конструкционных материалов реактора а т.д.) и, во-вторых, с переосаждением основного травимого материала, которое проявляется, преимущественно, при высоких скоростях травления. Для устранения первой причины необходимо правильно подбирать рабочие среды, использовать химически инертные по отношению к плазмообразующему газу конструкционные материалы реакторов, по возможности снижать потенциалы электродов. Исключение переосаждения основного материала может быть достигнуто выбором оптимального соотношения между скоростью травления и потоком рабочего газа.

Появление радиационных дефектов, связанное с ионной бомбардировкой и ультрафиолетовым облучением. При плазмохимическом травлении радиационные дефекты, как правило, незначительны и, в случае необходимости, могут быть легко устранены отжигом при 400 - 500 °С.

1.4 Реактивное ионное травление с источником индуктивно связанной плазмы (ICP etch)

Реактивное ионное травление с источником индуктивно связанной плазмы (в английской литературе - Inductively Coupled Plasma Etch, Reactive Ion Etching with Inductive Plasma, или ICP Etch, RIE/ICP), представляет собой развитие стандартной технологии реактивного ионного травления. Типовая схема такой установки представлена на рис. 5.4.

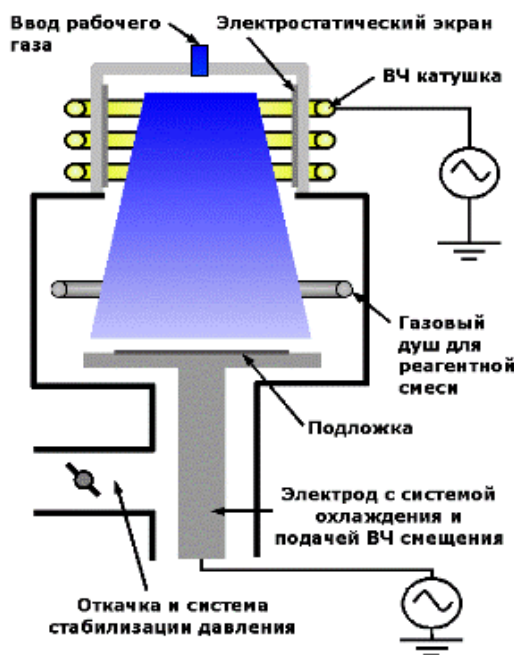


Рис 5.4. Схема реактивного ионного травления с источником индуктивно связанной плазмы (ICP Etch)

В конфигурации ICP Etch для создания плазмы используется индуктивный разряд. Мощность, вкладываемая в индуктивный разряд, определяет плотность плазмы и, как следствие, плотность активных радикалов и ионов. Подложка размещается на электроде, к которому подводится ВЧ напряжение для создания электрического смещения. Величина смещения электрода подложкодержателя определяет энергию и поток ионов на поверхность подложки.

Плотность плазмы, создаваемой индуктивным источником, достигает значений $>10^{11} \text{ см}^{-3}$ и существенно превышает плотность плазмы в стандартных РИТ системах. Соответственно, скорости травления в ICP Etch системах оказываются выше, чем скорости в сопоставимых РИТ конфигурациях. Независимое управление энергией ионов в ICP Etch системах позволяет значительно улучшить параметры селективности и управления профилем травления.

Основным преимуществом ICP Etch системы является использование отдельного управления плотностью плазмы и потоком ионов на поверхность подложки, что позволяет существенно расширить диапазон технологических параметров плазмохимического травления.

Список литературы

1. Берлин, Е., Вакуумная технология [Текст]/ Е. Берлин, С. Двинин, Л. Сейдман.- М.: Техносфера, 2007.-176с.
2. Guilet, S. Optimization of a $Cl_2 - H_2$ Inductively coupled plasma etching process adapted to nonthermalized InP wafers for the realization deep ridge heterostructures. [Текст]/ S Guilet, S. Bouchoule., C. Jany, C.S Corr, P. Chabert.//J. Vac. Sci. Technol B.-2006.-№24(5). P. 2381-2387.
3. Agarval, R., Fabrication of vertical mirrors using plasma etch and KOH:IPA polishing. [Текст]/R. Agarval, S. Samson, B. Bhansali.//Journal of micromechanics and microengineering.- 2007.-N17.P.25-35
4. Кузьмичёв, А.И., Характеристики импульсного магнетронного разряда при питании от емкостного накопителя энергии. [Текст]/ А.И. Кузьмичёв, Ю.И. Мельник, В.Ю. Куликовский, П. Богач, Л. Ястрабик.// Изв. АН (Москва). Сер. Физическая.-2003. -Т. 67. -№ 9.- С.1272-1278.
5. Park, Si-Young., Fabrication of nanowires with high aspect ratios utilized by dry etching with SF6:C4F8 and self-limiting thermal oxidation on Si substrate. [Текст] /Si-Young Park, Sandro J. Di, Giacomo Anisha R., Paul R. Berger.//J. Vac. Sci. Technol B-2010.-№28(4).-P.192-198.