

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 9421

(13) U

(46) 2013.08.30

(51) МПК

H 05H 1/00 (2006.01)

## (54) СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ СВЧ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

(21) Номер заявки: u 20130100

(22) 2013.02.04

(71) Заявитель: Учреждение образования  
"Белорусский государственный уни-  
верситет информатики и радио-  
электроники" (ВУ)

(72) Авторы: Бордусов Сергей Валентино-  
вич; Мадвейко Сергей Игоревич; Дос-  
танко Анатолий Павлович; Польшко  
Валерий Владимирович; Цивако Алек-  
сей Александрович; Шикун Владимир  
Евгеньевич (ВУ)

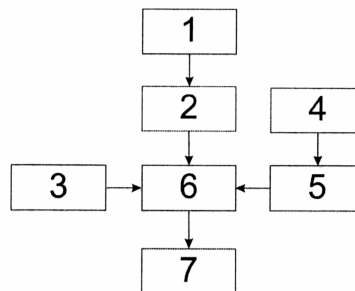
(73) Патентообладатель: Учреждение образо-  
вания "Белорусский государственный  
университет информатики и радио-  
электроники" (ВУ)

(57)

Система определения оптимального давления плазмообразующей среды для проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов, содержащая датчик измерения степени вакуума, блок вакуумметра, отличающаяся тем, что в систему дополнительно введены фотоэлектронный умножитель, который соединен с источником питания фотоэлектронного умножителя, СВЧ детекторная секция, персональный компьютер и аналого-цифровой преобразователь, который соединен с блоком вакуумметра, СВЧ детекторной секцией, фотоэлектронным умножителем и персональным компьютером.

(56)

1. Ховатсон А.М. Введение в теорию газового разряда. - М.: Атомиздат, 1980. - 182 с.
2. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 264 с.
3. Патент US 7135089, МПК H 01L, 2006.
4. Патент JP 2003045865AA, МПК H 01L 21/31, 2003.
5. Патент US 5571366A, МПК H 05H 1/00, 1996.



Фиг. 2

Полезная модель относится к области плазменной техники, в частности к системам определения оптимального давления для проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов в условиях низкого вакуума.

Для каждого конкретного процесса СВЧ плазмохимического взаимодействия газообразной ионизированной среды с поверхностью твердого тела существует определенное оптимальное сочетание разрядных условий, обеспечивающих максимальные скорости плазмохимического взаимодействия плазменных частиц с поверхностными слоями материала [1].

Одним из основных параметров проведения процессов СВЧ плазмохимического травления и очистки материалов является давление в разрядной области, при котором достигаются минимальный потенциал зажигания разряда и максимальная проводимость плазмы [2]. При этом зависимости скоростей СВЧ плазмохимического травления материалов от давления носят экстремальный характер. Наблюдающийся максимум объясняется тем, что в области низких давлений количество активных плазменных частиц мало и их поток на поверхность материала снижается по мере уменьшения давления. В сторону больших давлений поток частиц на поверхность также уменьшается ввиду затруднения процесса плазмообразования и увеличения скорости гибели активных травящих частиц в объеме за счет рекомбинационных процессов, обусловленных ростом частоты их соударений между собой, а также гибелью на стенках разрядной камеры. Определение величины давления плазмообразующей смеси, обеспечивающей максимальные скорости плазменной обработки материалов, является одной из основных задач разработки либо оптимизации технологического процесса.

В настоящее время в состав установок, предназначенных для СВЧ плазмохимической обработки материалов, входят датчик измерения степени вакуума с индикатором давления с автоматическим поддержанием заданного давления газа в вакуумной камере. В этом случае оператор СВЧ плазмохимической установки задает в вакуумной камере значение оптимального давления, которое заранее экспериментально определено для конкретного технологического процесса. Процесс выбора параметров плазмообразования в настоящее время представляет собой длительную и трудоемкую процедуру, так как осуществляется методом экспериментального подбора сочетания различных режимов обработки с последующей оценкой количественных и качественных показателей плазменного воздействия на материал. Заранее сложно учесть все факторы (количество пластин в вакуумной камере, их толщина, тип материала или тангенс угла диэлектрических потерь, изменение со временем волнового сопротивления волноводного тракта или добротности резонатора и др.), влияющие на процесс плазмообразования. Вышеперечисленные факторы могут существенно изменять значение величины давления, оптимального для конкретного технологического процесса. А отклонение давления в вакуумной камере от оптимального приводит к уменьшению скорости обработки и, как следствие, к увеличению энергопотребления установки.

В большинстве СВЧ плазменных установок технологического назначения используются СВЧ-магнетроны средней мощности. СВЧ-магнетрон является токовым прибором, и его запитывают одно- или двухполупериодным выпрямленным напряжением. СВЧ-излучение при таких условиях питания генерируется импульсно с частотой следования пачек СВЧ-импульсов 50 или 100 Гц. При этом частота следования импульсов сигнала оптического свечения СВЧ-разряда равна частоте следования пачек импульсов сигнала СВЧ-излучения электромагнитной энергии, генерируемой СВЧ-магнетроном, что дает возможность контролировать процессы начала генерации СВЧ-разряда и его окончания без использования специальной высокоточной СВЧ измерительной аппаратуры.

Экспериментально установлено, что длительность периода задержки начала оптического свечения импульса СВЧ-разряда по отношению к началу генерации СВЧ-энергии зависит от давления газа и носит экстремальный характер. Сопоставительный анализ дан-

ных технологических экспериментов и результатов изучения условий СВЧ-плазмообразования позволил выявить корреляционную зависимость между максимально достижимой при определенных разрядных условиях скоростью СВЧ плазмохимического удаления материала и временем задержки СВЧ-пробоя газоразрядного объема. Варьируемым (подготовочным) параметром в данном случае служит давление в разрядной области СВЧ-плазмотрона.

В качестве примера на фиг. 1 приведены полученные экспериментально зависимости скоростей плазмохимического травления монокристаллического кремния в объеме СВЧ-разряда в атмосфере  $\text{CF}_4$  и времени задержки СВЧ-пробоя от давления газа и аналогичные зависимости для процесса удаления фоторезистивных покрытий с поверхности кремниевых подложек в атмосфере  $\text{O}_2$ . Результаты исследований были положены в основу разработанной системы определения оптимального давления плазмообразующей среды для проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов.

Аналоги описываемой полезной модели представлены в [3, 4, 5].

По своей технической сущности и достигаемому техническому результату к предложению заявителя наиболее близким является патент US 7135089 "Method and apparatus for plasma processing" [3]. Устройство содержит блок поддержания давления в вакуумной камере, который контролирует давление среды в вакуумной камере с заданным давлением во время подачи газа в разрядную область. Недостаток аналога, препятствующий получению технического результата, который обеспечивается заявленной полезной моделью, заключается в том, что отсутствует возможность экспресс-диагностики плазмообразования во всем диапазоне давлений и выбора оптимального для обработки материалов давления в вакуумной камере.

Для проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов представляет интерес экспресс-диагностика в целях определения оптимального давления в вакуумной камере и, как следствие, оптимизации технологических режимов, что увеличивает эффективность процесса СВЧ плазмохимической обработки материалов.

Задача предлагаемой разработки состоит в создании системы для ускоренного определения оптимального давления в вакуумной камере с целью повышения эффективности проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов.

Сущность заявленной полезной модели заключается в создании системы для определения давления в вакуумной камере, при котором скорость проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов максимальна.

Для достижения указанного выше технического результата регистрируются сигнал СВЧ-излучения электромагнитной энергии, генерируемой СВЧ-магнетроном, в волноводном тракте и сигнал интегрального оптического свечения СВЧ-разряда. Сигналы в синхронном режиме подаются на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), подключенный к персональному компьютеру. На мониторе персонального компьютера производится синхронная визуализация регистрируемых сигналов. Путем плавного регулирования расхода, подаваемого в плазмообразующую камеру газа от минимума до максимума, в условиях постоянной скорости откачки обеспечивается изменение величины рабочего давления в разрядной области. В процессе изменения давления производится сопоставительный анализ временных характеристик интегрального оптического импульса СВЧ-разряда и сигнала огибающей импульса СВЧ-излучения в волноводном тракте. Оптимальным для проведения СВЧ плазмохимического процесса обработки материалов считается то давление в вакуумной камере, при котором наблюдается минимальное время запаздывания начала импульса интегрального оптического излучения СВЧ-разряда по отношению к началу импульса сигнала СВЧ-излучения электромагнитной энергии, генерируемой СВЧ-магнетроном. При таком давлении плазмообразующей среды процессы СВЧ плазмохимического удаления материала с поверхности твердого тела будут протекать с максимальной скоростью.

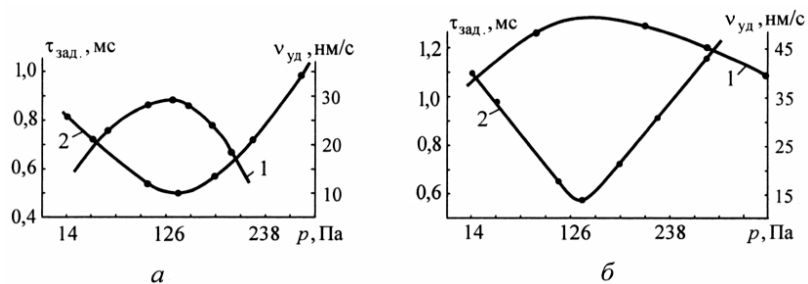
Поставленная задача решается тем, что система определения оптимального давления плазмообразующей среды для проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов содержит датчик измерения степени вакуума, блок вакуумметра и отличается тем, что в систему введены фотоэлектронный умножитель, который соединен с источником питания фотоэлектронного умножителя, СВЧ детекторная секция, персональный компьютер и аналого-цифровой преобразователь, который соединен с блоком вакуумметра, СВЧ детекторной секцией, фотоэлектронным умножителем и персональным компьютером.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления полезной модели с получением вышеуказанного технического результата, поясняются фигурой.

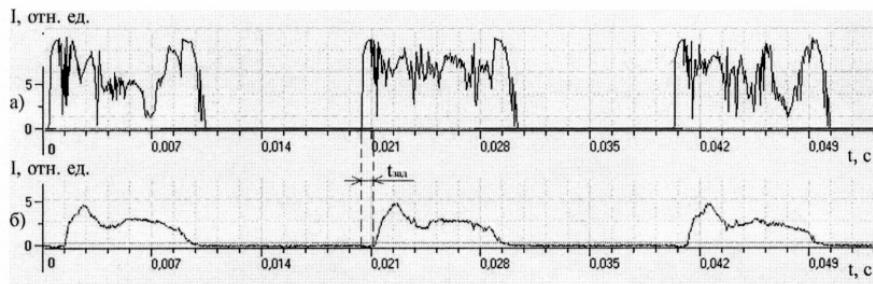
На фиг. 2 представлена схема предлагаемой системы определения оптимального давления плазмообразующей среды для проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки.

Предлагаемая система определения оптимального давления плазмообразующей среды для проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов содержит датчик измерения степени вакуума 1, блок вакуумметра 2, СВЧ детекторную секцию 3, источник питания фотоэлектронного умножителя 4, фотоэлектронный умножитель 5, аналого-цифровой преобразователь 6, персональный компьютер 7.

Система определения оптимального давления плазмообразующей среды для проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов работает следующим образом. Сигнал СВЧ-излучения электромагнитной энергии, генерируемой СВЧ-магнетроном, регистрируемый СВЧ детекторной секцией 3, которую размещают в волноводном тракте, сигнал интегрального оптического свечения СВЧ-разряда, регистрируемый фотоэлектронным умножителем 5, а также сигнал, снимаемый с выхода блока вакуумметра 2, синхронно подаются на аналого-цифровой преобразователь 6. Для визуализации и анализа регистрируемые сигналы в цифровом виде с аналого-цифрового преобразователя поступают на персональный компьютер 7. Напускается рабочий газ в вакуумную камеру. Включается СВЧ-магнетрон. Начинается генерация СВЧ-энергии. Устанавливается максимальное давление, при котором возбуждается стабильный СВЧ-разряд. Путем плавного регулирования расхода подаваемого в плазмообразующую камеру газа в сторону минимума в условиях постоянной скорости откачки обеспечивается изменение величины рабочего давления в разрядной области. В процессе изменения давления производится сопоставительный анализ временных характеристик интегрального оптического импульса СВЧ-разряда и импульса СВЧ-излучения электромагнитной энергии, генерируемой СВЧ-магнетроном. Для наглядности на фиг. 3 представлены формы импульсов регистрируемых сигналов, где а - формы импульсов сигнала СВЧ-излучения электромагнитной энергии, генерируемой СВЧ-магнетроном; б - формы импульсов сигнала оптического свечения СВЧ-разряда. В процессе изменения давления определяются временные интервалы задержки  $t_{\text{зад}}$  возбуждения разряда по отношению к началу генерации СВЧ-мощности, подводимой к плазмотрону. Регистрируется давление, при котором этот интервал  $t_{\text{зад}}$  является минимальным. При таком давлении процессы СВЧ плазмохимического удаления материала с поверхности твердого тела будут протекать с максимальной скоростью и, соответственно, с минимальными затратами энергетических и материальных ресурсов.



Фиг. 1



Фиг. 3