ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **BY** (11) **13871**
(13) **U**
(45) **2025.12.20**
(51) МПК
H 01L 21/3065 (2006.01)

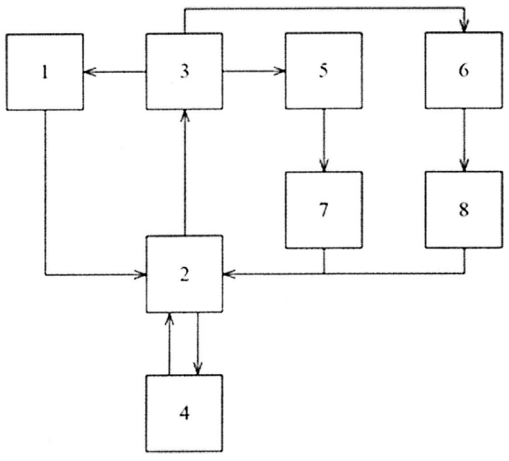
(54) УСТРОЙСТВО КОМБИНИРОВАННОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

(21) Номер заявки: u 20250137
(22) 2025.06.27
(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (BY)

(72) Авторы: Лушакова Мария Сергеевна; Мадвейко Сергей Игоревич; Тихон Олег Игоревич; Барковская Кира Николаевна (BY)
(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (BY)

(57)

Устройство комбинированного разряда для плазмохимического травления низкотемпературной плазмой пониженного давления, содержащее реакционно-разрядный модуль, СВЧ-генератор, НЧ-генератор и ВЧ-генератор, систему вакуумирования и газоснабжения, электрооборудование с системой управления и защиты, **отличающееся** тем, что НЧ-генератор и ВЧ-генераторы включены через согласующие устройства в реакционно-разрядный модуль и функционируют одновременно с СВЧ-генератором.



Фиг. 1

(56)
1. RU 2277763 C2, 2006.
2. US 10600619 B2, 2020.
3. EP 0772222 A1, 1997.

BY 13871 U 2025.12.20

Полезная модель относится к оборудованию плазменного травления полупроводниковых, диэлектрических и проводящих пленочных материалов, в частности к устройствам формирования комбинированного СВЧ и низкочастотного плазменного разрядов, и может быть использована при изготовлении полупроводниковых приборов, интегральных схем, фотошаблонов и других пленочных структур.

Известна конструкция устройства получения стационарного комбинированного разряда низкотемпературной плазмы пониженного давления [1]. Данное устройство содержит цилиндрический резонатор, систему возбуждения, генератор СВЧ-энергии, блок подачи потенциала на обрабатываемый электропроводный объект, вакуумную систему и систему напуска газа, причем цилиндрический резонатор возбуждается волноводно-щелевой антенной, свернутой в кольцо, а положительный потенциал подается на обрабатываемый объект посредством держателя, расположенного в вакуумируемой части цилиндрического резонатора. Данное устройство позволяет осуществить обработку электропроводного объекта сложной формы для увеличения его износостойкости, повышения адгезии ранее нанесенных покрытий, а также для осаждения тонких пленок из газовой фазы.

Недостатком данного устройства является ограничение в использовании для обработки только электропроводных объектов ввиду необходимости подавать непосредственно на них положительный потенциал, формирующий вокруг оконечной части объекта электростатическое поле. Такое решение не применимо для плазмохимического травления полупроводниковых и иных материалов.

Известна конструкция устройства для плазменной обработки [2] на базе электронно-циклотронного резонанса, включающая камеру, в которой формируется плазма, плазменный генератор и подложкодержатель, расположенный внутри камеры. К подложкодержателю в устройстве прилагается ВЧ-смещение. Плазменный генератор состоит из источника питания для возбуждения плазмы и модулятора мощности СВЧ, работающего по принципу включения и выключения источника питания с установленной частотой. С помощью такого метода модуляции травление полупроводниковых материалов может производиться стабильно даже при малых мощностях, при которых возможны трудности в поддержании разряда.

Недостатками данного устройства являются возможность функционирования только при низких давлениях ввиду природы электронно-циклотронного резонанса и сложность реализации используемого конструкторского решения.

Известна конструкция плазменного устройства [3], выбранная в качестве прототипа, включающая в себя плазменную камеру, подложкодержатель, устройства введения газа и откачки, генератор микроволнового излучения с кольцевым волноводом, имеющим множество щелей, расположенных вокруг вакуумной камеры, и генератор ВЧ-мощности для подачи смещения на подложкодержатель. СВЧ-энергия подается от генератора через волновод в камеру, тем самым формируя плазму. ВЧ-мощность подается от радиочастотного источника на держатель подложки. Эта конфигурация позволяет генерировать однородную плазму высокой плотности на большой площади при низком давлении около 1 мТорр без использования магнитного поля, тем самым осуществляя травление больших подложек. Процесс травления происходит за счет бомбардирования поверхности подложки ускоренными полем смещения ионами.

Недостатком данного устройства является необходимость в поле смещения, приложенного непосредственно к обрабатываемому образцу, за счет которого происходит повышение скорости травления. Также использование ВЧ-частоты накладывает ограничение на скорость обработки.

Задачей полезной модели является повышение скорости плазмохимического травления материалов полупроводникового производства с возможностью управления энергетическими характеристиками плазмы вблизи поверхности обрабатываемого материала.

Поставленная задача решается тем, что устройство комбинированного разряда для плазмохимического травления низкотемпературной плазмой пониженного давления, содержащее реакционно-разрядный модуль, СВЧ-генератор, НЧ- и ВЧ-генераторы, систему вакуумирования и газоснабжения, электрооборудование с системой управления и защиты от перегрузок, отличается тем, что НЧ- и ВЧ-генераторы подключены к реакционно-разрядному модулю через согласующие устройства и функционируют одновременно с СВЧ-генератором, вследствие чего формируется комбинирование различных электромагнитных полей, позволяющее селективно управлять энергией и плотностью ионов плазмы комбинированного разряда.

Сущность полезной модели поясняется фигурами:

фиг. 1 - структурная схема устройства комбинированного разряда,

фиг. 2 - схема реакционно-разрядного модуля.

На фиг. 1 представлена структурная схема устройства комбинированного разряда для плазмохимического травления, содержащая СВЧ-генератор 1, реакционно-разрядный модуль 2, систему управления и защиты от перегрузок 3, систему вакуумирования и газоснабжения 4, НЧ-генератор 5, ВЧ-генератор 6, согласующие устройства 7 и 8. Использование в составе устройства нескольких источников электромагнитной энергии различной частоты (2,45 ГГц, 20-40 кГц и 13,56 МГц) позволяет в одном рабочем объеме зажигать разночастотный низкотемпературный плазменный разряд. В предложенном устройстве комбинированного разряда осуществляется передача электромагнитной энергии от СВЧ-генератора 1, от НЧ-генератора 5 и от ВЧ-генератора 6 через согласующие устройства 7 и 8 в реакционно-разрядный модуль 2, в котором в одном плазменном объеме может выполняться совместное воздействие СВЧ и низкочастотных (НЧ, ВЧ) электромагнитных полей или каждая из частот может использоваться индивидуально.

В реакционно-разрядном модуле 2 с помощью системы вакуумирования и газоснабжения 4 создается пониженное давление в рабочей области, куда поступает электромагнитная энергия от СВЧ-генератора 1 через кольцевой резонатор с волноводно-щелевым аппликатором. В рабочей области реакционно-разрядного модуля 2 организована емкостная разрядная система, к изолированному потенциальному электроду которой подключены НЧ-генератор 5 и ВЧ-генератор 6 через согласующие устройства 7 и 8. Совместное энергетическое воздействие вышеперечисленных генераторов в рабочем пространстве в среде плазмообразующих газов при пониженном давлении формирует плазму комбинированного разряда. К реакционно-разрядному модулю 2 подключена система управления и защиты от перегрузок 3, которая регулирует функционирование СВЧ-генератора 1, НЧ-генератора 5 и ВЧ-генератора 6. Изменяя режимы работы генератора 1, возможно управлять энергетическими составляющими комбинированного разряда, в частности концентрацией активных частиц. Работа НЧ-генератора 5 и ВЧ-генератора 6 совместно либо индивидуально позволяет формировать направленный перпендикулярно поверхности обрабатываемого материала поток активных частиц, являющийся дополнительным источником управления характеристиками плазмы комбинированного разряда, позволяющим повышать скорость травления материалов, при этом располагать их на заземленном электроде. Также применение НЧ-генератора 5 и ВЧ-генератора 6 совместно позволяет получить возможность управления широким диапазоном характеристик плазменного разряда, таких как плотность и температура электронов, тем самым обеспечить значительную реактивность и применимость комбинированного разряда. Реализовать совместную работу НЧ-генератора 5 и ВЧ-генератора 6 возможно при подключении их к изолированному потенциальному электроду реакционно-разрядного модуля 2 через согласующие устройства 7 и 8, представляющие собой резонансные контуры, блокирующие воздействие других частот.

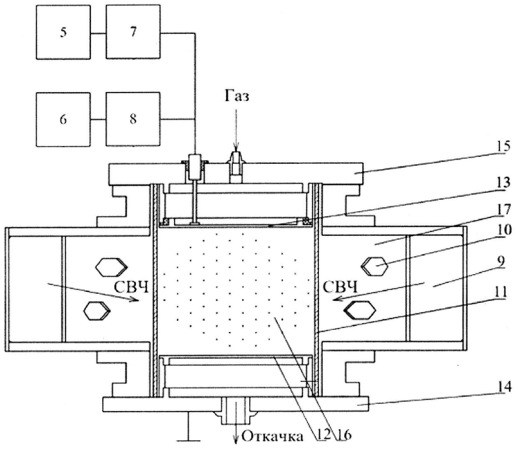
В устройство включена система вакуумирования и газоснабжения 4, которая предусматривает возможность дистанционного управления блоком дозирования и смешивания

газов. Сверхвысокочастотная энергия передается в вакуумируемую часть реакционно-разрядного модуля 2 по прямоугольному волноводу от СВЧ-генератора 1. Низкочастотная составляющая от НЧ-генератора 5 и ВЧ-генератора 6 подается на изолированный потенциальный электрод 13 (фиг. 2) емкостной разрядной системы реакционно-разрядного модуля 2. Для управления устройством комбинированного разряда и согласования совместной работы разночастотных источников питания в состав устройства комбинированного разряда входят система управления и защиты от перегрузок 3 и согласующие устройства 7 и 8. Фазовая разность между мощностью различных источников питания контролируется путем регулировки фазовой задержки сигнала запуска. Данное решение позволяет ионам приобретать в процессе плазменной обработки большую энергию и большую направленность, по сравнению с воздействием только плазмы СВЧ-разряда, что является положительным фактором при травлении материалов по отношению к анизотропии процесса.

Устройство комбинированного разряда имеет следующий принцип работы (фиг. 2). Плазменный разряд формируется в рабочей области 16 реакционно-разрядного модуля 2 устройства комбинированного разряда. СВЧ разрядная система сформирована согнутым в кольцо прямоугольным волноводом 9, внутренняя поверхность и торцевые стенки которого образуют цилиндрическую резонаторную камеру 17. Поступление электромагнитной энергии СВЧ составляющей комбинированного разряда осуществляется через щелевые излучатели 10, выполненные на внутренней стенке волновода 9. СВЧ плазменный разряд формируется в соосной с резонаторной камерой 17 цилиндрической вакуумируемой реакционной камере 11, выполненной из прозрачного для СВЧ-волн материала и закрытой с торцов металлическими крышками 14 и 15. На нижней металлической крышке вакуумной камеры 14 расположен подложкодержатель 12, являющийся регулируемым заземленным электродом, который вместе с регулируемым изолированным потенциальным составным электродом 13 образует низкочастотную разрядную систему. Низкочастотный емкостной плазменный разряд формируется в цилиндрической вакуумируемой реакционной камере 11 при подаче низкочастотного потенциала от НЧ-генератора 5 и ВЧ-генератора 6 совместно либо используя каждую частоту индивидуально через согласующие устройства 7 и 8 на изолированный потенциальный электрод 13. Совместное использование цилиндрической вакуумируемой реакционной камеры 11 в составе СВЧ и низкочастотной разрядных систем при одновременном воздействии СВЧ и низкочастотной составляющих (НЧ и ВЧ) обеспечивает формирование комбинированного плазменного разряда (СВЧ + НЧ/ВЧ).

Физико-химическая обработка материалов в реакционно-разрядном модуле устройства комбинированного разряда осуществляется за счет горения низкотемпературного газового разряда, возбуждаемого полями различной частоты и характеризуется эффективной диссоциацией и ионизацией молекул плазмообразующего газа. Использование в устройстве комбинированного разряда двухчастотного подхода необходимо для достижения селективного управления энергией и плотностью ионов отдельно в плазме пониженного давления. В устройстве комбинированного разряда для плазмохимического травления низкотемпературной плазмой пониженного давления реализуется процесс, сходный с ионно-химическим травлением в плоской электродной системе, но отличающийся от обработки в традиционных планарных реакторах количественными и качественными показателями.

По сравнению с аналогами за счет введения согласующих устройств, подключенных к СВЧ-, НЧ- и ВЧ-генераторам, обеспечивается совместное энергетическое воздействие в рабочем пространстве в среде плазмообразующих газов при пониженном давлении, вследствие чего формируется комбинирование различных электромагнитных полей, позволяющее селективно управлять энергией и плотностью ионов плазмы комбинированного разряда, что повышает скорость плазмохимического травления материалов полупроводникового производства.



Фиг. 2

Национальный центр интеллектуальной собственности.
220034, г. Минск, ул. Козлова, 20.