

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 66.088

МАДВЕЙКО
Сергей Игоревич

**ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННАЯ СВЧ РАЗРЯДНАЯ СИСТЕМА
РЕЗОНАТОРНОГО ТИПА ДЛЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО
УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТИВНЫХ СЛОЕВ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Минск 2013

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель

Бордусов Сергей Валентинович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Иванов Игорь Аркадьевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой вакуумной и компрессорной техники Белорусского национального технического университета

Ажаронк Виктор Васильевич, кандидат физ.- мат. наук, вед. науч. сотр. государственного научного учреждения «Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси»

Оппонирующая организация

Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «КБТЭМ-ОМО»

Защита состоится 24 октября в 16.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.03 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, e-mail: dissovnet@bsuir.by, тел. 293-89-89.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Анализ тенденций развития науки и техники показывает на возрастающий интерес к использованию энергии сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона для возбуждения низкотемпературной неравновесной плазмы, применяемой для решения практически важных задач в микро- и нанoeлектронике, оптике и мехатронике. Это обусловлено рядом достоинств СВЧ разрядов по сравнению с другими типами электрических газовых разрядов.

Развитие СВЧ газоразрядных устройств технологического назначения идет в направлении разработки СВЧ плазмотронов с большим плазменным объемом. Интерес к изучению плазмы СВЧ разряда с большим поперечным сечением (порядка $500\text{--}2000\text{ см}^2$) и объемом (более 4000 см^3 , который по данным источников информации в настоящее время является максимально полученным в резонаторе прямоугольной формы) обусловлен необходимостью обработки полупроводниковых пластин диаметром до 300 мм и созданием соответствующего энергоэффективного технологического плазменного оборудования, в том числе для процессов групповой непрецизионной обработки материалов, которая может проводиться в диапазоне давлений 50–400 Па.

Однако в имеющихся к настоящему времени сообщениях о СВЧ разрядном оборудовании практически отсутствуют данные об исследованиях параметров плазмы, возбуждаемой в СВЧ резонаторных плазмотронах технологического назначения с большими (более 4000 см^3) реакционно-разрядными камерами. В связи с этим известные технические решения СВЧ плазмотронов резонаторного типа требуют всестороннего исследования с целью оптимизации их конструктивного исполнения и выработки научно обоснованных рекомендаций по применению в процессах вакуумно-плазменной обработки материалов. Поэтому установление основных закономерностей и характерных особенностей формирования, поддержания и управления взаимодействием химически активной плазмы СВЧ разряда при низком вакууме с поверхностью твердого тела в плазмотронах резонаторного типа с разрядным объемом более 4000 см^3 с учетом влияния на процесс обработки как режимов возбуждения плазмы, так и характеристик и особенностей генерирования СВЧ мощности магнетронным генератором является актуальной задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертации утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол заседания совета университета № 4 от 28.12.2007 г.) и соответствует подразделам 3.4 «Новые высокоэнергетические технологии обработки мате-

стоящее время процедурой) определения величины давления, оптимального для проведения процесса СВЧ плазмохимической обработки материалов.

3. Регулирование в пределах $\pm 50\%$ от номинальной мгновенной мощности работающего на плазменную нагрузку СВЧ магнетрона, запитываемого по схеме однополупериодного выпрямления с умножением напряжения при использовании работающего в режиме насыщения повышающего высоковольтного трансформатора, может быть реализовано за счет изменения величины емкости конденсатора в каскаде умножения напряжения без существенного удорожания и увеличения массогабаритных характеристик используемых конструкций источников питания, что обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик источника питания.

4. Экспериментально обосновано использование в источнике питания СВЧ магнетрона на базе работающего в режиме насыщения повышающего высоковольтного трансформатора двухполупериодной циклической с удвоением анодного напряжения схемы, что позволяет сократить длительность процесса СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивных покрытий с поверхности полупроводниковых пластин до 1,3 раза по сравнению с использованием однополупериодной схемы выпрямления и удвоения анодного напряжения при одинаковых величинах подводимых к СВЧ плазмотрону мощностей.

5. Обоснованы режимы процесса СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивных пленок с поверхности кремниевых пластин, основанного на двухстадийной обработке, состоящей в предварительном бесплазменном разогреве пластин под действием СВЧ энергии и последующей обработке плазмой СВЧ разряда, что обеспечивает сокращение длительности технологического цикла обработки до 1,7 раза по сравнению с одностадийной обработкой плазмой СВЧ разряда.

Личный вклад соискателя

Вошедшие в диссертацию основные результаты опубликованных работ, сформулированные в защищаемых положениях и выводах, получены соискателем самостоятельно. Непосредственно автором исследованы характеристики процесса плазмохимического удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин в СВЧ плазме объемом 9000 см^3 при питании СВЧ магнетрона от источников питания с частотой следования импульсов анодного тока 50 Гц и 100 Гц; экспериментально установлено специфическое проявление эффекта «загрузки» камеры плазмотрона при СВЧ плазмохимической обработке кремниевых образцов; технически реализован ускоренный метод определения оптимальной для СВЧ плазмохимической обработки величины давления плазмообразующей среды в камере плазмотрона; разработан способ регулирования величины мгновенной мощности магнетрона при использовании в источнике пи-

тания работающего в режиме насыщения высоковольтного трансформатора; разработан способ двухстадийного СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивных пленок с поверхности полупроводниковых пластин.

Основными соавторами опубликованных работ являются: доктор технических наук С.В. Бордусов и доктор технических наук, академик А.П. Достанко, которые участвовали в постановке задач, планировании работ, обсуждении результатов исследований и формулировании выводов.

Апробация результатов диссертации

Результаты работы докладывались и обсуждались на ряде международных и республиканских конференций, симпозиумов, школ, в том числе: XV, XVI, XVII Республиканских конференциях «Физика конденсированных сред» (Гродно, Беларусь, 2007, 2008, 2009 гг.); V Международной научно-технической конференции «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (Новополоцк, Беларусь, 2008 г.); XIII, XVI, XVII Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи» (Минск, Беларусь, 2008, 2011, 2012 гг.); VI Белорусско-российском научно-техническом семинаре «Технические средства защиты информации» (Минск–Нарочь, Беларусь, 2008 г.); 5-й и 6-й Международных молодежных научно-технических конференциях «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» (Севастополь, Украина, 2009, 2010 гг.); Международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию МРТИ–БГУИР (Минск, Беларусь, 2009 г.); XVIII, XIX Symposium on Physics of Switching Arc (Brno, Czech Republic, 2009, 2011); VI, VII International Conferences PLASMA PHYSICS and PLASMA TECHNOLOGY (Minsk, Belarus, 2009, 2012); IV, VII Международных научно-технических конференциях «Современные методы и технологии создания обработки материалов» (Минск, Беларусь, 2009 г., 2012 г.); 19, 20, 21-й Международных Крымских конференциях «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Севастополь, Украина, 2009, 2010, 2011 гг.); 24th, 25th Symposiums on Plasma Physics and Technology (Prague, Czech Republic, 2010, 2012); Международных научно-технических конференциях и молодежных школах-семинарах «Нанотехнологии-2010», «Нанотехнологии-2012» (Таганрог, Россия, 2010 г., 2012 г.); 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment OPTIM-2012 (Brasov, Romania, 2012).

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 40 печатных работ, в том числе 1 монография, 9 статей в рецензируемых научных журналах, 12 статей в сборниках материалов научных конференций, 16 тезисов докладов на научных конференциях, 2 патента Республики Беларусь на полезную модель.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 7,5 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений. В первой главе проведен анализ имеющихся в литературе данных о конструктивных особенностях и технологических характеристиках СВЧ разрядных систем резонаторного типа. Проведен численный анализ эффективности возбуждения и поддержания СВЧ разряда низкого вакуума в плазмотронах с аппликаторами резонаторного типа применительно к условиям процесса плазмохимической обработки полупроводниковых пластин. Проанализированы схмотехнические решения источников питания СВЧ магнетрона в составе плазменного технологического оборудования. Во второй главе описаны исследовательский комплекс и методики для изучения процессов плазмообразования и технологических режимов работы СВЧ разрядного модуля резонаторного типа. Обоснован выбор схем источников питания СВЧ магнетрона для проведения технологических экспериментов. В третьей главе представлены результаты исследований оптического эмиссионного спектра низкотемпературной неравновесной плазмы СВЧ разряда в O_2 и воздухе, структуры распределения электромагнитного поля в объеме плазмы СВЧ разряда, распределения величины и характера температурного поля в СВЧ плазме, температурных характеристик работы магнетрона в составе СВЧ разрядного модуля при различных условиях питания СВЧ магнетрона. В четвертой главе приведены результаты исследований технологических параметров процесса плазмохимического удаления фоторезиста в СВЧ разрядном модуле резонаторного типа в зависимости от электрических режимов работы СВЧ магнетрона, давления в разрядной камере и количества одновременно обрабатываемых полупроводниковых образцов, а также результаты исследования влияния СВЧ плазмохимической обработки на зарядовые состояния полупроводниковых структур интегральных микросхем. Пятая глава посвящена вопросам повышения эффективности процессов СВЧ плазменной обработки путем совершенствования конструкций узлов и оптимизации работы СВЧ плазменного модуля технологического назначения. В приложениях приведены акты о практическом использовании результатов диссертации.

Общий объем диссертации 148 страниц, из них 92 страницы текста, 74 иллюстрации на 38 страницах, 2 таблицы на 2 страницах, библиографический список из 121 источника на 12 страницах, включая список собственных публикаций автора из 40 наименований на 6 страницах, и приложения на 4 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы определено основное направление, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных в работе результатов.

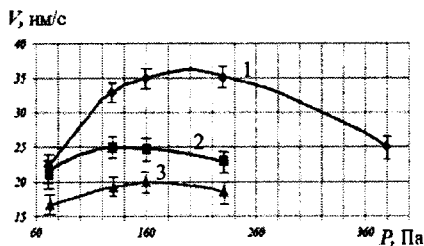
В первой главе рассмотрены конструктивные решения объемных резонаторов и особенности построения на их базе СВЧ плазмохимического оборудования технологического назначения. Для создания источников низкотемпературной СВЧ плазмы в качестве базового конструктивного модуля могут применяться резонаторы бытовых микроволновых печей. Они представляют собой практически готовый узел, в котором выполнены все требования по технике безопасности. Однако в известных конструктивных решениях такого типа плазмотронов размеры реакционно-разрядной камеры не превышают объема 4000 см^3 . При этом отсутствует научно-техническая информация об особенностях построения и работы такого оборудования. Поэтому разработка и изучение физико-химических характеристик СВЧ плазмохимического оборудования с аппликаторами резонаторного типа и реакционно-разрядной камерой объемом более 4000 см^3 , обусловленные их перспективностью для проведения процессов групповой неprecизионной обработки объектов микроэлектроники (в частности обработки пластин больших размеров – $\varnothing 150 \text{ мм}$, $\varnothing 200 \text{ мм}$, $\varnothing 300 \text{ мм}$ и др.), представляет собой актуальную задачу.

Применительно к условиям возбуждения и поддержания СВЧ разряда большого объема (более 4000 см^3) выполнены оценочные расчеты величины среднеквадратичной напряженности электрической составляющей (E_0) электромагнитного поля и добротности резонатора для случая заполнения его неравновесной плазмой и кремниевыми пластинами. Показано, что при правильно рассчитанном и изготовленном резонаторе будут иметь место значительно большие значения E_0 (примерно в 10 раз) по сравнению с аппликаторами резонаторного типа. Расчеты показывают, что величина пробивной напряженности электрического поля в резонаторе призматической формы объемом $40 \times 30 \times 30 \text{ см}^3$ может создаваться при мощностях от 50 Вт и выше. Численный анализ добротности данного объемного резонатора, частично заполненного плазмой объемом 9000 см^3 при вводимой в резонатор СВЧ мощности 700 Вт, показал, что при помещении в плазму пластин монокристаллического кремния с общей площадью поверхности до 45 см^2 и объемом 14 см^3 (что соответствует 100 шт. кремниевых пластин диаметром 7,6 см и толщиной 0,03 см) добротность нагруженного резонатора Q снижается примерно в три раза, но при этом

поля в зоне плазмообразования и т.д.) и анализе результатов обработки материалов и структур, подверженных воздействию СВЧ энергии.

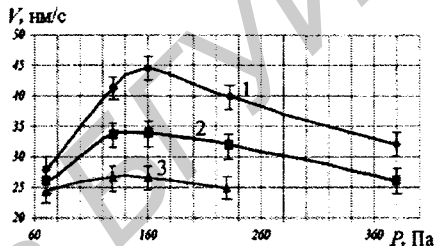
В четвертой главе представлены результаты исследований процесса СВЧ плазмохимического удаления фоторезиста марок S1813G2SP15 и SPR700 с поверхности кремниевых пластин в O_2 и воздухе.

Установлена более высокая эффективность (в 1,3 раза) применения для целей плазменной обработки материалов 100-герцевой циклической схемы питания СВЧ магнетрона высоковольтными импульсами анодного тока по сравнению с 50-герцевой при одинаковых величинах потребляемой установкой электрической мощности P (рисунки 1 и 2).



1 – использование циклической схемы двухполупериодного выпрямления $P = 1650$ Вт; 2 – использование схемы однополупериодного выпрямления $P = 1650$ Вт; 3 – использование схемы однополупериодного выпрямления $P = 1300$ Вт

Рисунок 1 – Влияние величины давления воздуха в разрядной области на скорость удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин



1 – использование циклической схемы двухполупериодного выпрямления $P = 1650$ Вт; 2 – использование схемы однополупериодного выпрямления $P = 1650$ Вт; 3 – использование схемы однополупериодного выпрямления $P = 1300$ Вт

Рисунок 2 – Влияние величины давления O_2 в разрядной области на скорость удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин

Проведенные эксперименты показали, что задержка процесса плазмообразования в вакуумной камере плазмотрона по отношению к началу генерации СВЧ энергии магнетроном приводит к увеличению скорости удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин до 1,7 раза.

Это позволило предложить повышение эффективности процесса плазменного удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин за счет использования двухстадийного способа обработки. На первой стадии происходит разогрев полупроводниковых пластин с фоторезистом СВЧ энергией. На второй – взаимодействие СВЧ плазмы с разогретым фоторезистом. При использовании двухстадийного способа обработки зависимость результирующей длительности $T_{обр}$ (рисунок 3) и изменение скорости V (рисунок 4) процесса удале-

ния фоторезиста с поверхности Si пластин от времени задержки начала плазмообразования по отношению к началу генерации магнетроном СВЧ энергии имеет экстремальный характер, что объясняется изменением свойств фоторезистивного материала при разогреве его до температур свыше $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

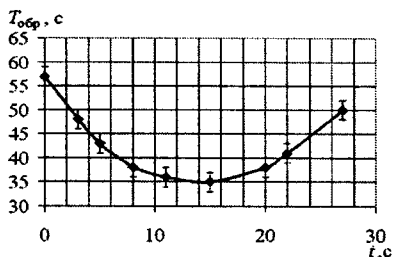


Рисунок 3 – Зависимость результирующей длительности $T_{\text{обр}}$ процесса удаления фоторезиста с поверхности Si пластин в СВЧ разряде O_2 от времени задержки t начала плазмообразования по отношению к началу генерации СВЧ энергии

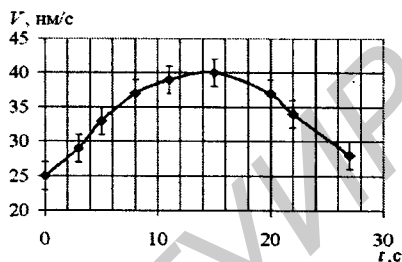


Рисунок 4 – Зависимость скорости V процесса удаления фоторезиста с поверхности Si пластин в СВЧ разряде O_2 от времени задержки t начала плазмообразования по отношению к началу генерации СВЧ энергии

Экспериментально установлено, что скорость удаления фоторезиста снижается с увеличением количества кремниевых пластин в камере плазмотрона. Это связано с частичным поглощением СВЧ энергии кремнием, имеющим высокое значение тангенса угла диэлектрических потерь. Экспериментальные данные (рисунок 5) указывают на то, что эффект «загрузки» для всех исследуемых источников питания СВЧ магнетрона имеет одинаковый вид и позволяет сделать вывод о том, что при различных способах питания действует идентичный механизм плазмохимической деструкции органических соединений.

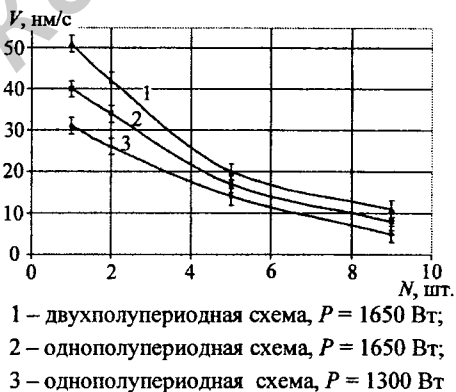


Рисунок 5 – Зависимость скорости удаления фоторезиста V от количества пластин N (1 – 9 шт.) в камере плазмотрона в разряде O_2 для разных величин потребляемой установкой электрической мощности P

Экспериментально установленная зависимость скорости удаления фоторезиста V от площади обрабатываемой поверхности кремниевых пластин, величины давления O_2 в реакционно-разрядной камере и времени задержки плазмообразования по отношению к началу генерации электромагнитной энергии СВЧ магнетроном может быть представлена в виде математического выражения

$$V = -0,07 \cdot t^2 + 2,1 \cdot t + \frac{(-0,0006 \cdot P^2 + 0,16 \cdot P + 17,9)}{28} \cdot 0,95e^{\frac{-1,9 \cdot 10^2 \cdot S + 15}{4,1}},$$

где S – общая площадь поверхности обрабатываемых образцов, м²;
 t – время задержки начала плазмообразования по отношению к началу генерации электромагнитной энергии СВЧ магнетроном, с;
 P – давление в реакционно-разрядной камере, Па.

Данное выражение применимо для условий обработки Si пластин в СВЧ плазмотроне резонаторного типа плазмой СВЧ разряда в кислороде в диапазоне значений: $t = 0 - 30$ с; $P = 60 - 300$ Па; $S = 0,005 - 0,1$ м².

Установлено, что повышение количества одновременно обрабатываемых кремниевых пластин может приводить к проявлению нестабильности разряда и даже к погасанию.

Результаты измерений параметров КМОП структур после СВЧ плазмохимической обработки с удельной мощностью в разряде в диапазоне $0,06 - 0,08$ Вт/см³ в течение 15 мин показали, что изменений характеристик тестовых структур после плазмохимической обработки не выявлено, что указывает на возможность использования этого процесса на операциях фотолитографии при производстве сверхбольших интегральных микросхем.

В пятой главе приведены сведения о практическом использовании технических решений, способствующих повышению эффективности процесса СВЧ плазменной обработки материалов и изделий электронной техники.

Разработана и технически реализована система регулирования величины мгновенной мощности в высоковольтной цепи источника питания магнетрона (патент Республики Беларусь на полезную модель № 6517), собранного по схеме однополупериодного выпрямления с умножением напряжения (рисунок 6).

С целью изменения величины мгновенной СВЧ мощности генерируемой СВЧ магнетроном, подводимой к СВЧ разряду при проведении плазменной обработки материалов, в конструкцию источника питания введен набор конденсаторов $C1, C2 \dots Cn$. С помощью переключателя $SA1$ производится коммутация конденсатора, емкость которого определяет величину мгновенной вкладываемой в СВЧ разряд мощности. Использование такого схемотехнического решения регулятора в источнике питания, содержащем работающий в режиме на-

сыщения высоковольтный трансформатор, позволяет изменять величину мгновенной мощности СВЧ магнетрона в пределах $\pm 50\%$ от номинальной.

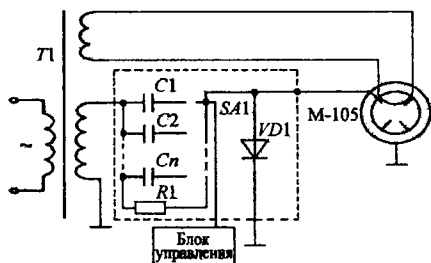


Рисунок 6 – Принципиальная электрическая схема высоковольтного регулируемого источника питания СВЧ магнетрона (патент РБ № 6517)

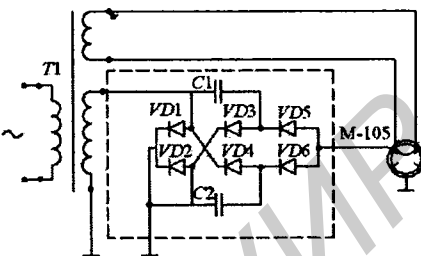


Рисунок 7 – Принципиальная электрическая схема использованного двухполупериодного выпрямителя с умножением напряжения

С целью повышения величины энерговклада в плазму газового разряда объемом около 9000 см^3 без существенного изменения конструкции энергетической системы установки СВЧ плазмохимической обработки материалов экспериментально обоснована возможность использования в источнике питания СВЧ магнетрона вместо однополупериодной схемы выпрямления с удвоением напряжения циклической схемы двухполупериодного выпрямления с удвоением напряжения (рисунок 7), состоящей из серийно выпускаемых конденсаторов и высоковольтных диодов, применяемых в конструкциях источников питания СВЧ магнетронов средней мощности типа М-105, М-112 и аналогичных. Такое техническое решение позволяет увеличить скорость проведения процессов в 1,3 раза при одинаковых величинах подводимых к СВЧ плазмотрону мощностей.

Разработан способ двухстадийной организации процесса СВЧ плазмохимического удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин. Первая стадия – разогрев полупроводниковых пластин с фоторезистом СВЧ энергией. Вторая – взаимодействие СВЧ плазмы с разогретым фоторезистом. Это позволяет увеличить скорость проведения процесса СВЧ плазмохимической обработки материалов до 1,7 раза без изменения конструкции СВЧ разрядного модуля технологического назначения путем задержки процесса плазмообразования в вакуумной камере плазмотрона по отношению к началу генерации СВЧ энергии магнетроном.

На основании экспериментально установленной корреляционной зависимости между максимально достижимой при определенных разрядных условиях скоростью СВЧ плазмохимического удаления материала и длительностью периода задержки импульса сигнала оптического свечения СВЧ разряда по отношению к началу импульса излучения СВЧ энергии магнетроном разработана и апробирована система ускоренного определения рабочего давления в реакционно-разрядной камере (патент Республики Беларусь на полезную модель № 9421), при котором скорость проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов максимальна, что позволяет экономить энергетические и материальные ресурсы при настройке и отработке режимов технологических процессов СВЧ плазмохимической обработки.

В приложениях представлены документы об использовании результатов диссертации в ООО «Гео-Консалтинг», учебном процессе БГУИР и планируемом использовании в НПРУП «Оптическое станкостроение и вакуумная техника».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Анализ материалов научно-технических публикаций в отношении технологического применения СВЧ разрядных систем резонаторного типа указывает на перспективность их применения как источников химически активной неравновесной плазмы СВЧ разряда для проведения неprecизионных процессов групповой СВЧ плазмохимической обработки материалов и изделий электронной техники за счет простоты исполнения конструкции резонатора и возможности получения СВЧ разряда объемом до 9000 см^3 при сохранении высокого значения напряженности электрического поля в области резонатора [1–А, 2–А, 7–А, 23–А, 25–А].

2. Установлено, что проявление эффекта «загрузки» реакционно-разрядной камеры СВЧ плазмотрона при СВЧ плазмохимической обработке кремниевых пластин вызвано в том числе поглощением поступающей в область СВЧ резонатора мощности электромагнитной волны материалом с высоким значением тангенса угла диэлектрических потерь (кремний), приводящим к перераспределению части мощности между плазмой и объектами обработки, что накладывает ограничение на количество обрабатываемых пластин. Повышение количества кремниевых пластин может приводить к проявлению сильной неустойчивости разряда и даже к его погасанию [4–А, 11–А, 12–А, 13–А, 15–А, 16–А, 34–А].

3. Разработано устройство регулирования величины мгновенной генерируемой СВЧ магнетроном мощности для условий питания СВЧ магнетрона по схеме однополупериодного выпрямления с удвоением напряжения. Разрабо-

танное схемотехническое решение дает возможность обеспечить без существенного изменения массогабаритных и схемотехнических характеристик источника питания СВЧ магнетрона регулирование величины генерируемой мгновенной мощности в пределах $\pm 50\%$ от номинальной мощности СВЧ магнетрона посредством изменения величины емкости конденсатора в схеме удвоения напряжения [3–А, 14–А, 19–А, 27–А, 28–А, 30–А, 39–А].

4. Установлено, что при уровнях плотности потока СВЧ мощности в разрядный объем $0,06 - 0,08 \text{ Вт/см}^3$ наблюдается проникновение СВЧ поля в объем зоны разряда. Этот эффект необходимо учитывать при организации процессов плазмохимической обработки (конструкции систем загрузки реакционно-разрядных камер СВЧ плазмотронов, влияние СВЧ поля на параметры обрабатываемых структур, «загрузочный» эффект, проектирование распределенной системы подвода СВЧ энергии к зоне обработки, и т.д.) и анализе результатов обработки материалов и структур, подверженных воздействию СВЧ энергии [9–А, 10–А].

5. Использование в источнике питания СВЧ плазмотрона на базе СВЧ аппликатора резонаторного типа, содержащего работающий в режиме насыщения повышающий высоковольтный трансформатор, циклической двухполупериодной с удвоением анодного напряжения схемы обеспечивает сокращение длительности процесса СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивных покрытий с поверхности полупроводниковых пластин до 1,3 раза по сравнению с использованием однополупериодной схемы выпрямления и удвоения анодного напряжения при одинаковых величинах потребляемых СВЧ плазмотроном мощностей [5–А, 8–А, 18–А, 24–А, 26–А, 29–А, 31–А, 35–А].

6. На базе использования эффекта разогрева материалов с высоким тангенсом угла диэлектрических потерь в СВЧ полях разработан способ двухстадийной организации СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивных пленок с поверхности кремниевых пластин. На первой стадии осуществляется разогрев полупроводниковых пластин с фоторезистом СВЧ энергией. На второй стадии процесса производится плазменное удаление фоторезиста. Данный способ позволяет увеличить скорость проведения процесса СВЧ плазмохимической обработки материалов до 1,7 раза без изменения конструкции СВЧ разрядного модуля технологического назначения путем задержки процесса плазмообразования в вакуумной камере плазмотрона по отношению к началу генерации СВЧ энергии магнетроном [1–А, 21–А, 22–А, 36–А, 37–А, 38–А].

7. На основании экспериментально установленной зависимости между максимально достижимой при определенных разрядных условиях скоростью СВЧ плазмохимического удаления материала и длительностью периода задержки импульса сигнала оптического свечения СВЧ разряда по отношению к началу импульса излучения СВЧ энергии магнетроном разработана и апробирована

рована система ускоренного определения рабочего давления в реакционно-разрядной камере, при котором скорость проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов максимальна [1-А, 6-А, 20-А, 32-А, 33-А, 40-А].

8. Установлено, что процесс СВЧ плазмохимической обработки КМОП структур в СВЧ разряде с удельной мощностью в диапазоне $0,06 - 0,08 \text{ Вт/см}^2$, проводимый в целях удаления фоторезистивных маскирующих пленок, не приводит к изменению характеристик тестовых структур и может быть использован на операциях фотолитографии при производстве сверхбольших интегральных микросхем [17-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанное устройство регулирования величины мгновенной мощности СВЧ магнетрона рекомендуется применять в СВЧ плазменном технологическом оборудовании, в котором источник питания СВЧ магнетрона выполнен по схеме однополупериодного выпрямления с удвоением напряжения, содержащей трансформатор, работающий в режиме насыщения. В этом случае введение в источник питания устройства регулирования величины мгновенной мощности СВЧ магнетрона не приведет к существенным изменениям массогабаритных и схематехнических характеристик технологического оборудования [3-А, 14-А, 19-А, 39-А].

2. В СВЧ плазменном технологическом оборудовании при использовании в источнике питания СВЧ магнетрона высоковольтного трансформатора, работающего в режиме насыщения, рекомендуется применять циклическую схему двухполупериодного выпрямления с удвоением анодного напряжения вместо схемы однополупериодного выпрямления с удвоением напряжения [8-А, 5-А, 18-А].

3. Способ двухстадийной организации СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивных пленок с поверхности кремниевых пластин рекомендуется применять при создании новых и модернизации существующих технологических процессов групповой неprecизионной СВЧ плазмохимической обработки полупроводниковых пластин, поскольку его применение не требует изменения конструкции элементов технологического оборудования [1-А, 21-А].

4. Разработанная система ускоренного определения оптимального давления в вакуумной камере, при котором скорость проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов максимальна, может быть использована при эксплуатации СВЧ плазмохимического оборудования технологического назначения и применяться как на этапе разработки технологических процессов и отработки технологических режимов, так и на этапе производства [1-А, 6-А, 33-А, 40-А].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1—А. Электрофизические процессы и оборудование в технологии микро- и нанoeлектроники / А.П. Достанко, А.М. Русецкий, С.В. Бордусов, В.Л. Ланин, Л.П. Ануфриев, С.В. Карпович, В.В. Жарский, В.И. Плебанович, А.Л. Адамович, Ю.Г. Грозберг, Д.А. Голосов, С.М. Завадский, Я.А. Соловьев, И.В. Дайняк, Н.С. Ковальчук, И.В. Петухов, Е.В. Телеш, С.И. Мадвейко; под ред. А.П. Достанко, А.М. Русецкого. – Минск: Бестпринт, 2011. – 216 с.

Статьи в рецензируемых научных журналах

2—А. Бордусов, С.В. Исследование влияния плазменной и активной нагрузки на форму импульса анодного тока магнетрона / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Доклады БГУИР. – 2010. – № 2 (48). – С. 70–73.

3—А. Бордусов, С.В. Регулирование величины мгновенной выходной мощности магнетрона непрерывного режима генерации (типа М-105, М-112) в составе плазменной технологической установки / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Вестник БНТУ. – 2010. – № 4. – С. 42–45.

4—А. Бордусов, С.В. Исследование влияния эффекта «загрузки» разрядной камеры на оптические характеристики СВЧ плазмотрона резонаторного типа / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Вестник ПГУ. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2010. – № 8. – С. 103–106.

5—А. Бордусов, С.В. Схемотехнические особенности источника питания СВЧ магнетрона непрерывного режима генерации для работы в составе плазменного технологического оборудования / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Доклады БГУИР. – 2010. – № 6 (52). – С. 30–34.

6—A. Bordusau, S.V. Express method of determination of the gas pressure optimal for microwave plasma chemical materials processing / S.V. Bordusau, A.P. Dostanko, S.I. Madveika // Acta Technica. – 2011. – № 56. – P. 327–331.

7—A. Bordusau, S.V. Investigation of the influence of the discharge chamber «loading» effect on the optical characteristics of resonator type microwave plasmatron / S.V. Bordusau, S.I. Madveika // Acta Technica. – 2011. – № 56. – P. 284–290.

8—А. Бордусов, С.В. Исследование влияния электрических режимов плазмообразования на локальную химическую активность плазмы СВЧ разряда / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Вестник ПГУ. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 3. – С. 119–123.

9—А. Бордусов, С.В. Исследование характеристик прохождения энергии СВЧ поля в плазму возбуждаемого разряда / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Вестник ПГУ. Сер. С. Фундаментальные науки.

10–А. Bordusau, S.V. Investigation of the microwave electromagnetic field atenuation effect in the discharge chamber of a resonant type plasmatron / S.V. Bordusov, S.I. Madveika, A.P Dostanko // IEEE Xplore® Digital Library [Electronic resource]. – 2012. – P. 1392 – 1396. – Mode of access: <http://ieeexplore.ieee.org>. – Date of access: 19.11.2012.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

11–А. Бордусов, С.В. Исследование влияния эффекта «загрузки» разрядной камеры на оптические характеристики СВЧ плазматрона резонаторного типа / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко, А.П. Достанко // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: материалы V Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29–30 мая 2008 г. / Полоцкий гос. ун-т; редкол.: М.Л. Хейфец [и др.]. – Новополоцк, 2008. – С. 58–60.

12–А. Бордусов, С.В. Исследование влияния плазменной и активной нагрузки на форму импульса анодного тока магнетрона / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: материалы V Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29–30 мая 2008 г. / Полоцкий гос. ун-т; редкол.: М.Л. Хейфец [и др.]. – Новополоцк, 2008. – С. 60–64.

13–А. Bordusov, S.V. Investigation the effect of active and plasma load on the form of microwave magnetron current / S.V. Bordusov, S.I Madveyko // Physics of Switchig Arc (FSO 2009): proc. of the XVIII Int. Symp., Brno, 7–11 September, 2009. / Brno University of Technology. – Brno, 2009. – P. 134–137.

14–А. Bordusov, S.V. Regulation of momentary output power of a continuous mode conditions magnetron (M-105, M-112 type) included in the technological plasma unit / S.V. Bordusov, S.I. Madveyko // Plasma Physics and Plasma Technology (PPPT – 6): proc. of the VI Int. conf., Minsk, 28 September – 2 October, 2009. / The B.I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Science of Belarus. – Minsk, 2009. – II. – P. 531–534.

15–А. Мадвейко, С.И. Исследование условий плазмообразования в разрядной камере СВЧ плазматрона с аппликатором резонаторного типа / С.И. Мадвейко, С.В. Бордусов, А.П. Достанко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–21 октября 2009 г. / ФТИ НАН Белоруси; редкол.: С.А. Астапчик [и др.]. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 56–57.

16–А. Мадвейко, С.И. Процесс плазмохимического удаления фоторезистивных пленок в СВЧ плазмохимической установке с резонатором прямоугольного типа / С.И. Мадвейко // Нанотехнологии – 2010: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Таганрог, Геленджик, 19–24 сентября 2010 г. / Южный

федеральный ун-т; редкол.: Б.Г. Коноплев [и др.]. – Таганрог, 2010. – Ч. 1. – С. 227–229.

17–А. Бордусов, С.В. Исследование влияния СВЧ плазменной обработки на параметры КМОП-структур интегральных микросхем / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко, А.П. Достанко // Нанотехнологии – 2010: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Таганрог, Геленджик, 19–24 сентября 2010 г. / Южный федеральный ун-т; редкол.: Б.Г. Коноплев [и др.]. – Таганрог, 2010. – Ч. 2. – С. 223–226.

18–А. Bordusau, S.V. Investigation the influence of magnetron power supply characteristics on chemical activity of microwave plasma / S.V. Bordusau, S.I. Madveika // Physics of Switching Arc (FSO 2011): proc. of the XIXth Int. Symp., Brno, 5–9 September, 2011. / Brno University of Technology. – Brno, 2011. – P. 125–128.

19–А. Bordusau, S.V. The regulator of momentary output power of a microwave magnetron included in the technological plasma equipment / S.V. Bordusau, S.I. Madveika, A.P. Dostanko // Plasma Physics and Plasma Technology (PPPT–7): proc. of the VI Int. conf., Minsk, 17–21 September, 2012 / The B.I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Science of Belarus. – Minsk, 2012. – P. 697–700.

20–А. Bordusov, S.V. Method of fast determination the gas pressure optimal for microwave plasma chemical materials processing / S.V. Bordusau, A.P. Dostanko, S.I. Madveika // Plasma Physics and Plasma Technology (PPPT –7): proc. of the VI Int. conf., Minsk, 17–21 September, 2012. / The B.I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Science of Belarus. – Minsk, 2012. – P. 589–592.

21–А. Бордусов, С.В. Процесс удаления фоторезистивных пленок с поверхности кремниевых пластин в плазме СВЧ разряда / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы V Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–21 сентября 2012 г. / ФТИ НАН Белоруси; редкол.: С.А. Астапчик [и др.]. – Минск, 2012. – Т. 2. – С. 39–46.

22–А. Бордусов, С.В. Энергетически стимулированный процесс СВЧ плазмохимического удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Нанотехнологии – 2012: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Таганрог, 25–29 июня 2012 г. / Южный федеральный ун-т; редкол.: Б.Г. Коноплев [и др.]. – Таганрог, 2012. – Ч. 2. – С. 59–61.

Тезисы докладов на научных конференциях

23–А. Мадвейко, С.И. Оптико-спектроскопическое исследование процессов взаимодействия плазмы СВЧ разряда с кремниевыми пластинами /

С.И. Мадвейко // Физика конденсированного состояния (ФКС – XVI): тез. докл. XVI Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 23–25 апреля 2008 г. в 2 ч. / Гродненский гос. ун-т; редкол.: Е.А. Ровба [и др.]. – Гродно, 2008. – Ч. 2. – С. 148–149.

24–А. Мадвейко, С.И. Схемотехнические особенности источника питания магнетрона непрерывного режима генерации для работы в составе плазменного технологического оборудования / С.И. Мадвейко, С.В. Бордусов // Современные средства связи: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск – Нарочь, 23–26 сентября 2008 г. / Белорусский гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2008. – С. 134.

25–А. Мадвейко, С.И. Влияние загрузки камеры плазмотрона резонаторного типа на токовые характеристики работы магнетрона / С.И. Мадвейко // Физика конденсированного состояния (ФКС – XVII): тез. докл. XVII Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 16–17 апреля 2009 г. / Гродненский гос. ун-т; редкол.: Е.А. Ровба [и др.]. – Гродно, 2009. – С. 254–256.

26–А. Бордусов, С.В. Схема питания магнетрона М-105 для работы на плазменную нагрузку в форсированном режиме / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Междунар. науч.-техн. конф., посвящённая 45-летию МРТИ-БГУИР: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19 марта 2009 г. / БГУИР; авт. ред. – Минск, 2009. – С. 216.

27–А. Бордусов, С.В. Регулятор выходной мощности СВЧ магнетрона технологического назначения / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Междунар. науч.-техн. конф., посвящённая 45-летию МРТИ-БГУИР: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19 марта 2009 г. / БГУИР; авт. ред. – Минск, 2009. – С. 217.

28–А. Мадвейко, С.И. Схемотехническое решение задачи регулирования мощности излучения СВЧ магнетрона технологического назначения / С.И. Мадвейко // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ – 2009): материалы 5-й Междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, 20–25 апреля 2009 г. / Севастопольский нац. техн. ун-т; редкол.: Ю.Б. Гимпилевич [и др.]. – Севастополь, 2009. – С. 308.

29–А. Мадвейко, С.И. Исследование вариантов схем питания СВЧ магнетрона среднего уровня мощности при использовании для плазменной обработки материалов / С.И. Мадвейко // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ – 2009): материалы 6-й Междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, 19–24 апреля 2010 г. / Севастопольский нац. технический ун-т; редкол.: Ю.Б. Гимпилевич [и др.]. – Севастополь, 2009. – С. 480.

30–А. Бордусов, С.В. Регулирование величины мгновенной выходной мощности магнетрона непрерывного режима работы (типа М-105, М-112) в со-

ставе плазменной технологической установки / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2009): материалы 19-й Междунар. конф., Севастополь, 14–18 сентября 2009 г. / Севастопольский нац. технический ун-т. – Севастополь: Вебер, 2009. – С. 861–862.

31–А. Мадвейко, С.И. Исследование вариантов схем питания СВЧ магнетрона среднего уровня мощности при использовании для плазменной обработки материалов / С.И. Мадвейко // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2010): материалы 20-й Междунар. конф., Севастополь, 13–17 сентября 2010 г. / Севастопольский нац. технический ун-т. – Севастополь: Вебер, 2010. – С. 1099–1100.

32–А. Бордусов, С.В. Метод ускоренного определения давления, оптимального для вакуумной СВЧ плазменной обработки материалов / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко, А.П. Достанко // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2010): материалы 20-й Междунар. конф., Севастополь, 13–17 сентября 2010 г. / Севастопольский нац. технический ун-т. – Севастополь: Вебер, 2010. – С. 779–780.

33–А. Bordusau, S.V. Express method of determination of the gas pressure optimal for microwave plasma chemical materials processing / S.V. Bordusau, A.P. Dostanko, S.I. Madveika // Plasma Physics and Technology: proc. of the 24th Symp., Prague, 14–17 June, 2010. / Czech Technical University. – Prague, 2010. – P. 92.

34–А. Bordusau, S.V. Investigation of the influence of the discharge chamber «loading» effect on the optical characteristics of resonator type microwave plasmatron / S.V. Bordusau, S.I. Madveika // Plasma Physics and Technology: proc. of the 24th Symp., Prague, 14–17 June, 2010. / Czech Technical University. – Prague, 2010. – P. 91.

35–А. Бордусов, С.В. Влияние электрических характеристик источника питания СВЧ магнетрона на процесс плазменного удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2011): материалы 21-й Междунар. конф., Севастополь, 12–16 сентября 2011 г. / Севастопольский нац. технический ун-т. – Севастополь: Вебер, 2011. – С. 986–987.

36–А. Бордусов, С.В. Двухстадийный процесс СВЧ плазмохимического удаления фоторезиста с поверхности кремниевых пластин / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко // Современные средства связи: тез. докл. XVI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27–29 сентября 2011 г. / Высший гос. колледж связи; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2011. – С. 70.

37–А. Bordusau, S.V. The process of plasma chemical photoresist film ashing from the surface of silicon wafers / S.V. Bordusov, S.I. Madveika, A.P. Dostanko //

Plasma Physics and Technology: proc. of the 25th Symp., Prague, 18–21 June, 2012. / Czech Technical University. – Prague, 2012. – P. 140.

38–А. Мадвейко, С.И. Феноменологическая модель процесса удаления фоторезистивных пленок с кремниевых пластин в объеме плазмы СВЧ разряда / С.И. Мадвейко, С.В. Бордусов // Современные средства связи: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф., Беларусь, Минск, 16–18 октября 2012 г. / Высший государственный колледж связи. – Минск, 2012. – С. 147.

Патенты

39–А. Устройство регулирования величины мгновенной мощности работающего на плазменную нагрузку СВЧ магнетрона: пат. 6517 Респ. Беларусь, МПК (2009) H05B6/66 / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко, А.П. Достанко; заявитель Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – № u 20090833; заявл. 13.10.2009; опубл. 27.04.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 4 (75). – С. 242–243.

40–А. Система определения оптимального давления плазмообразующей среды для проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки: пат. 9421 Респ. Беларусь, МПК (2013) H05H 1/00A / С.В. Бордусов, С.И. Мадвейко, А.П. Достанко, В.В.Полько, А.А.Цивако, В.Е. Шиколо; заявитель Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – № u 20130100; заявл. 04.02.13; опубл. 30.07.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 4. – С. 246–247.



РЭЗІЮМЭ

Мадвейка Сяргей Ігаравіч

Вакуумна-плазменная ЗВЧ разрадная сістэма рэзанатарнага тыпу для плазмахімічнага выдалення фотарэзістыўных слаёў

Ключавыя словы: ЗВЧ магнетрон, ЗВЧ плазма, ЗВЧ плазмахімічная апрацоўка, фотарэзіст, выдаленне, рэакцыйна-разрадная камера, рэзанатар.

Мэта работы: усталяванне заканамернасцяў і характэрных асаблівасцяў фарміравання, падтрымання і кіравання узаемадзеяннем хімічна актыўнай плазмы ЗВЧ разраду з паверхняй цвёрдага цела ў плазматроне рэзанатарнага тыпу з частковым запаўненнем плазмай аб'ёму рэзануючай камеры і на гэтай аснове забеспячэнне выбару высокаэфектыўных рэжымаў правядзення тэхналагічных працэсаў і ўдасканаленне ЗВЧ плазмахімічнай апрацоўкі матэрыялаў.

Атрыманя вынікі і іх навізна: праяўленне эфекту «загрузкі» рэакцыйна-разраднай камеры ЗВЧ плазматрона пры ЗВЧ плазмахімічнай апрацоўцы крэмніевых пласцін вызвана, у тым ліку, поглыннаннем магутнасці электрамагнітнай хвалі матэрыялам з высокім значэннем тангенса вугла дыэлектрычных страт. Распрацавана ўстройства рэгулявання генерыруемай СВЧ магнетронам велічыні імгненнай магутнасці пры сілкаванні ЗВЧ магнетрона па схеме аднапэрыяднага выпрамлення з падваеннем напружання. Выкарыстанне ў крыніцы сілкавання ЗВЧ плазматрона, змяшчаючага працуючы ў рэжыме насычэння высакавольтны трансфарматар, цыклічнай двухпаўпэрыяднай з падваеннем аноднай напругі схемы забяспечвае скарачэнне працягласці працэсу ЗВЧ плазмахімічнага выдалення фотарэзістыўных пакрыццяў з паверхнасцяў крэмніевых пласцін да 1,3 разоў у параўнанні з выкарыстаннем аднапаўпэрыяднай схемы выпрамлення і падваення аноднай напругі пры аднолькавых велічынях магутнасцяў. Распрацаваны спосаб двухстадыйнай арганізацыі ЗВЧ плазмахімічнага выдалення фотарэзістыўных плёнак з паверхні крэмніевых пласцін, выкарыстанне якога забяспечвае павелічэнне хуткасці працэсу ЗВЧ плазмахімічнага выдалення фотарэзістыўных пакрыццяў з паверхні крэмніевых пласцін да 1,7 разы. Распрацавана сістэма паскоранага вызначэння аптымальнага ціску ў вакуумнай рэакцыйна-разраднай камеры, пры якім хуткасць правядзення працэсаў ЗВЧ плазмахімічнай апрацоўкі матэрыялаў максімальная.

Ступень выкарыстання: атрыманя ў рабоце вынікі укаранены ў ТАА «Гео-Консалтінг» і могуць быць выкарыстаны ў ААТ «ІНТЭГРАЛ», НТФ «ІЗОВАК», НПРУП «Аптычнае станкабудаванне і вакуумная тэхніка» і інш.

Вобласць прымянення: вытворчасць электроннай тэхнікі, ЗВЧ плазмахімічнае абсталюванне.

РЕЗЮМЕ

Мадвейко Сергей Игоревич

Вакуумно-плазменная СВЧ разрядная система резонаторного типа для плазмохимического удаления фоторезистивных слоев

Ключевые слова: СВЧ магнетрон, СВЧ плазма, СВЧ плазмохимическая обработка, фоторезист, удаление, реакционно-разрядная камера, резонатор.

Цель работы: установление закономерностей и характерных особенностей формирования, поддержания и управления взаимодействием химически активной плазмы СВЧ разряда с поверхностью твердого тела при низком вакууме в плазмотроне резонаторного типа с частичным заполнением плазмой объема резонирующей камеры и на этой основе обеспечение выбора высокоэффективных режимов проведения технологических процессов и совершенствование конструкции оборудования СВЧ плазмохимической обработки материалов.

Полученные результаты и их новизна: проявление эффекта «загрузки» реакционно-разрядной камеры СВЧ плазмотрона при СВЧ плазмохимической обработке кремниевых пластин вызвано, в том числе, поглощением мощности электромагнитной волны материалом с высоким значением тангенса угла диэлектрических потерь. Разработано устройство регулирования генерируемой СВЧ магнетроном величины мгновенной мощности при питании СВЧ магнетрона по схеме однополупериодного выпрямления с удвоением напряжения. Использование в источнике питания СВЧ плазмотрона, содержащего, работающий в режиме насыщения, повышающий высоковольтный трансформатор, циклической двухполупериодной с удвоением анодного напряжения схемы обеспечивает сокращение длительности процесса СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивных покрытий с поверхности кремниевых пластин до 1,3 раза по сравнению с использованием однополупериодной схемы выпрямления и удвоения анодного напряжения при одинаковых величинах потребляемых СВЧ плазмотроном мощностей. Разработан способ двухстадийной организации СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивных пленок с поверхности кремниевых пластин, использование которого обеспечивает увеличение скорости протекания процесса СВЧ плазмохимического удаления фоторезистивных покрытий с поверхности кремниевых пластин до 1,7 раза. Разработана система ускоренного определения оптимального давления в вакуумной реакционно-разрядной камере, при котором скорость проведения процессов СВЧ плазмохимической обработки материалов максимальна.

Степень использования: полученные в работе результаты внедрены в ООО «Гео-Консалтинг» и могут быть использованы в ОАО «ИНТЕГРАЛ», НТФ «ИЗОВАК», НПРУП «Оптическое станкостроение и вакуумная техника» и др.

Область применения: производство изделий электронной техники, СВЧ плазмохимическое оборудование.

SUMMARY

Sergey Madveyko

Vacuum-plasmatic microwave discharge resonant type system for plasma chemical ashing of photoresist layers

Keywords: microwave magnetron, microwave plasma, microwave plasma chemical processing, photoresist, ashing, reactive discharge chamber, resonator.

The aim of the work: To establish patterns and characteristics of the formation, maintenance and management of interaction of chemically active plasma microwave discharge with a surface of solid at low vacuum in plazmatron of a cavity-type partially filled with plasma volume resonating chamber and on this basis, providing of the choice of highly efficient modes of carrying out the technological processes and improving hardware design of microwave plasma-chemical processing of materials.

The obtained results and their novelty: demonstration of the «loading» effect of reactive-discharge chamber of microwave plazmatron during a microwave plasma-chemical processing of silicon wafers is caused by the adsorption of the power of the electromagnetic wave by the material with a high dielectric loss tangent. A device of the regulation the magnitude of the instantaneous power generated microwave magnetron made by half-wave rectification circuit with a voltage double, was developed. The use of plazmatron in a microwave power supply, comprising and operating in saturation mode, a high voltage step-up transformer, a cyclic full-wave voltage doubler circuit delivers with the anode short process microwave plasma removal of photoresist coating from the surface of silicon wafers to 1,3 times compared with half-wave rectifier circuit and a doubling of the anode voltage for the same quantities consumed by the microwave plasma torch power, was established. A method of two-stage organization of microwave of plasma ashing photoresist pellicles from the surface of silicon wafers provides the increase of speed of process of microwave plasma ashing of the photoresist coating from the wafer surface by 1,7 times. A system of fast determination of the optimal pressure in the vacuum reaction cell, wherein the speed of the process of microwave plasma chemical processing of materials is maximized, was developed.

Degree of utilization: the results which were obtained were implemented at the LLC «Goe-Konsalting» and can be applied at open JSC «INTEGRAL», STF «IZOVAC», SPRUE «Optical Machine-Tool and vacuum technology» and etc.

Field of application: manufacture of electronic equipment, microwave plasma chemical equipment.

Научное издание

Мадвейко Сергей Игоревич

**ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННАЯ СВЧ РАЗРЯДНАЯ СИСТЕМА
РЕЗОНАТОРНОГО ТИПА ДЛЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО
УДАЛЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТИВНЫХ СЛОЕВ**

Специальность 05.27.06 –Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 10.09.2013.	Формат 60x84 1/16	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.- изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 368.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/049175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6