

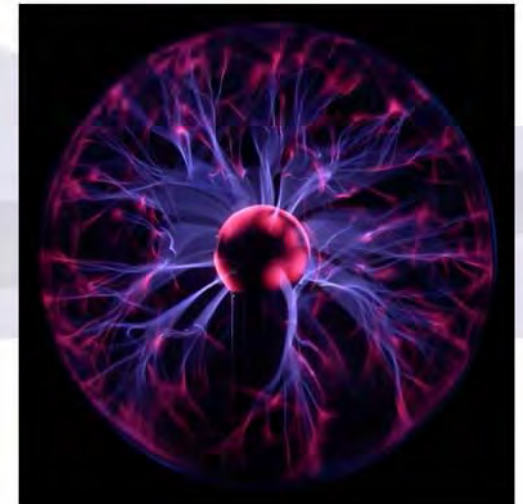
Плазменная очистка в микроэлектронике

Материал семинара 23.11.2016

Содержание:

- 1. Область применения плазменной обработки в микроэлектронике**
2. Основные характеристики плазменных систем процессов
3. Обзор оборудования плазменной обработки в атмосфере
4. Примеры применения плазменной очистки
5. Обзор плазменных систем с вакуумной камерой

Определение: плазма - это ионизированный газ, содержащий нейтральные и заряженные частицы, а также электромагнитное излучение (фотоны)



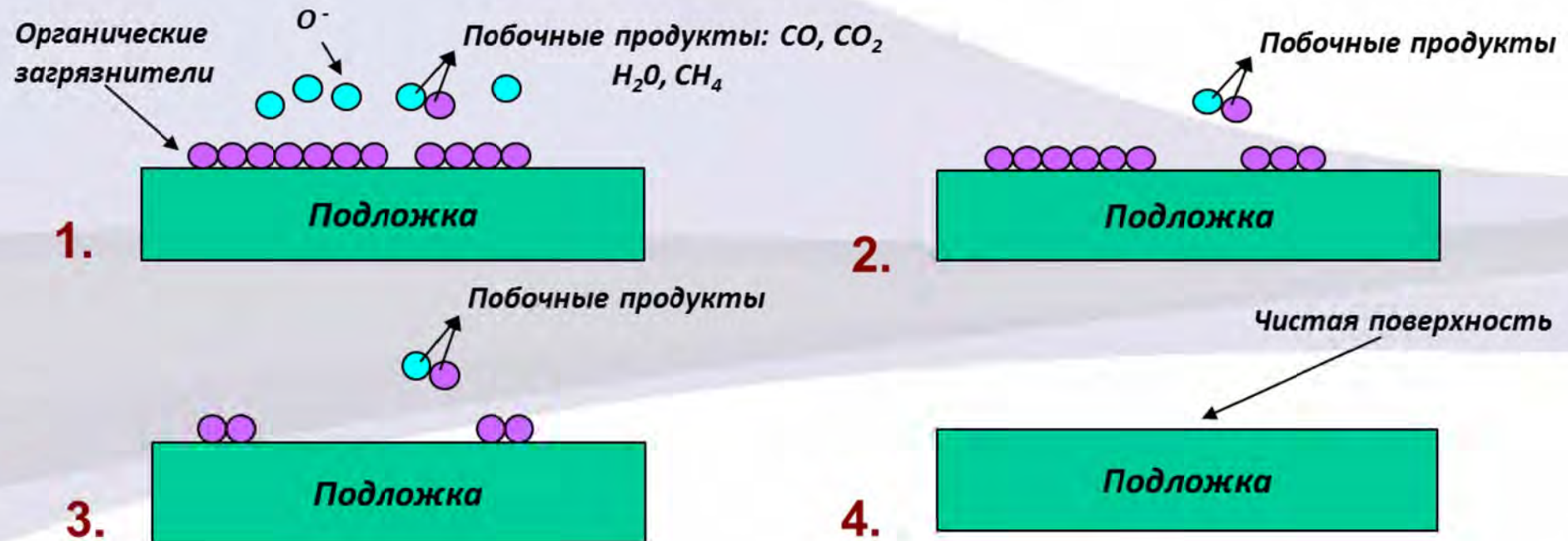
Технологические процессы в микроэлектронике, использующие плазму

- **Плазмохимическое осаждение (PECVD)**
- **Плазмохимическое травление (ICP RIE)**
- **Очистка поверхности подложек**
- **Обработка реагентов**
- **Удаление фоторезиста**
- **Очистка изделий перед микросборкой**

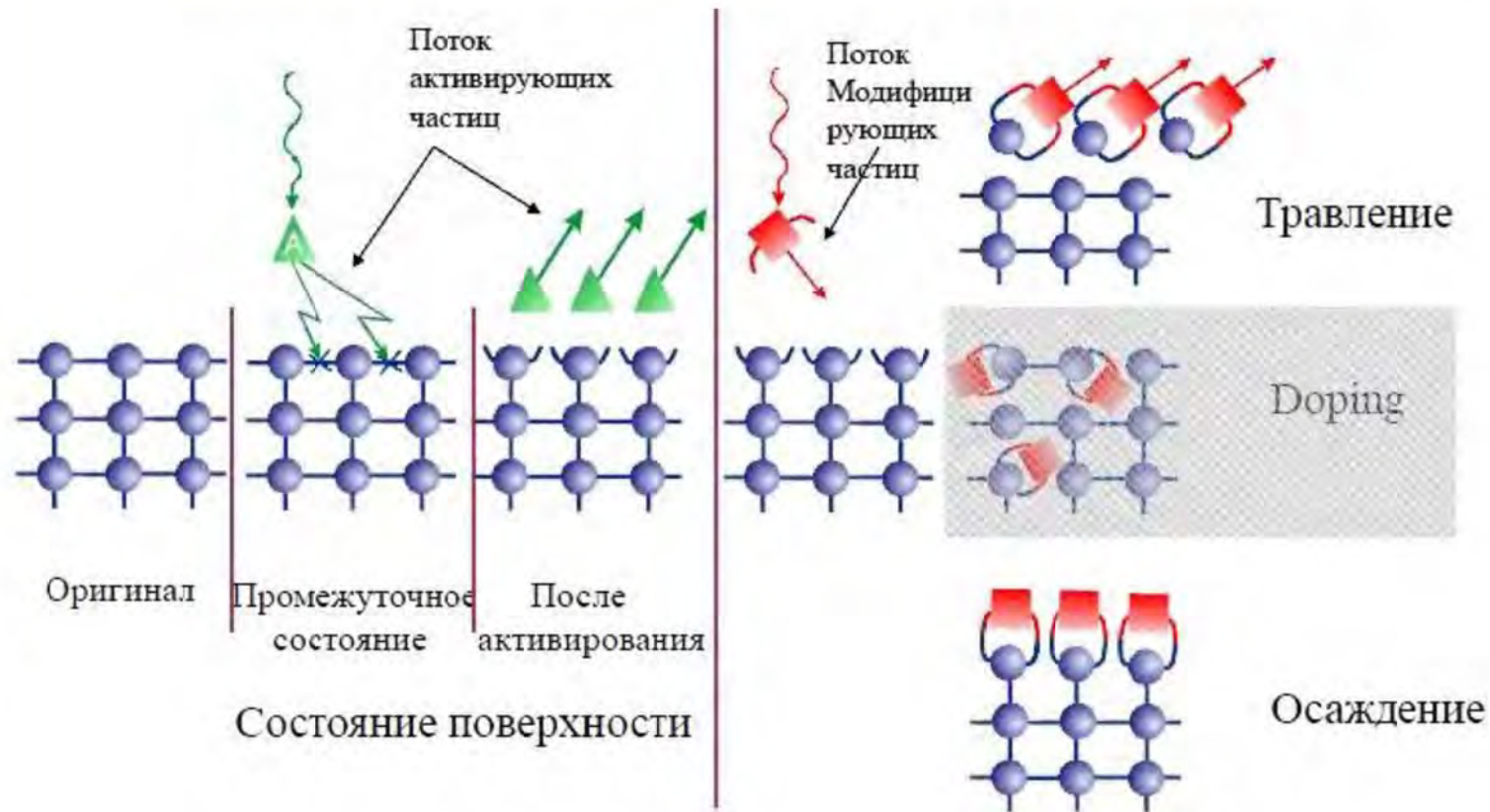
Физико-химические процессы при плазменной очистке

- **Электромагнитное поле разделяет молекулы рабочего газа на заряженные частицы (ионы и электроны)**
- **Вместе с этим, происходит рекомбинация между заряженными частицами в результате Кулоновского притяжения**
- **На поверхности образуются химические соединения с загрязнителями - летучие побочные продукты**

Плазменная очистка



Взаимодействие плазмы с поверхностью



Пример 1: Монтаж полупроводниковых кристаллов

Возможные проблемы при наличии загрязнений:

- Плохая адгезия приводит к отслаиванию кристалла
- Низкая теплопроводность соединения приводит к перегреву кристалла во время работы электронного устройства

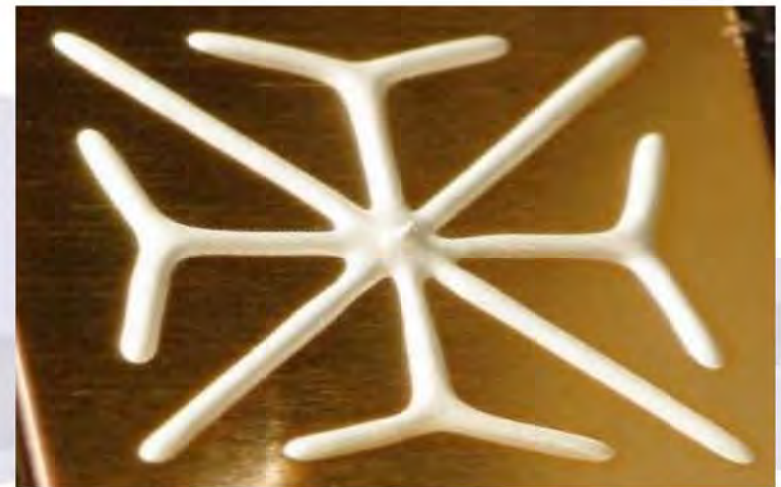


*Результат акустического сканирования:
красный цвет означает отслаивание*

Пример 1: Монтаж полупроводниковых кристаллов

**Плазменная очистка
обеспечивает:**

- **Улучшение адгезии**
- **Повышение прочности
соединения между кристаллом
и подложкой**
- **Надёжный термический
контакт**



*Типовой рисунок, обеспечивающий
оптимальное распределение дозируемого
материала в процессе монтажа
кристалла*

Пример 2: Формирование проволочных соединений

Возможные проблемы при наличии загрязнений:

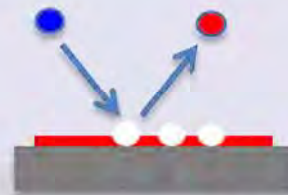
- Уменьшение эффективной площади электрического контакта
- Уменьшение прочности контакта



Пример 2: Формирование проволочных соединений

**Плазменная очистка
обеспечивает:**

- Удаление загрязнителей и оксидных плёнок
- Повышение прочности проволочных соединений
- Возможность уменьшить размеры контактных площадок



Плазменная очистка



Чистый кристалл



Хорошее соединение

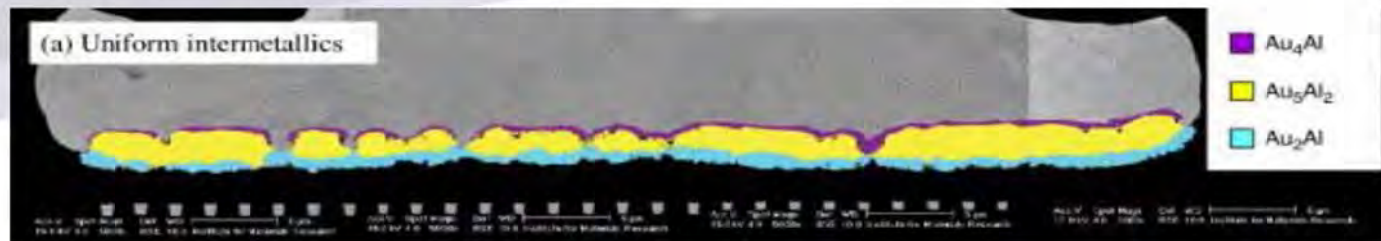


Пример 2: Формирование проволочных соединений

**Образование интерметаллических соединений в области контакта
Без очистки:**



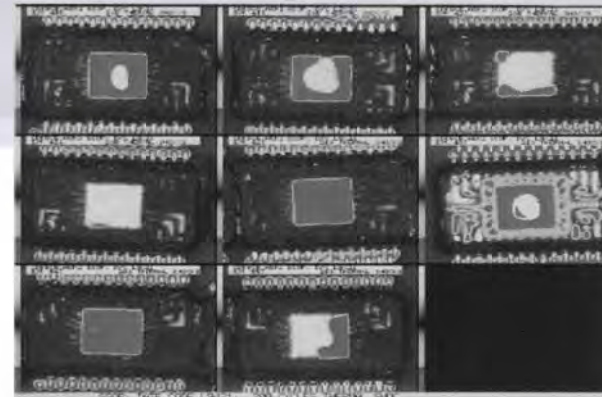
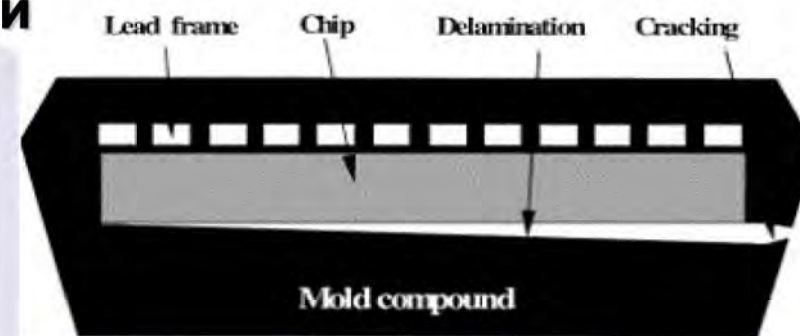
После обработки плазмой:



Пример 3: Заливка компаундом

Возможные проблемы при наличии загрязнений:

- Отслоение компаунда
- Образование влаги в области отслоения
- Резкое испарение при нагреве во время пайки приводит к образованию трещин в корпусе



**Результат акустического сканирования:
темно-серый цвет означает отслаивание**

Пример 3: Заливка компаундом

Компаунд контактирует со следующими частями:

- Выводная рамка
- Маска припоя
- Полупроводниковый кристалл
- Контактные площадки и перемычки

Плазменная очистка не только удаляет загрязнения, но и увеличивает энергию поверхностной связи между компаундом и вышеперечисленными материалами. Этот эффект, называемый активацией, обусловлен разрывом химических связей в верхнем слое материала, обработанной плазмой

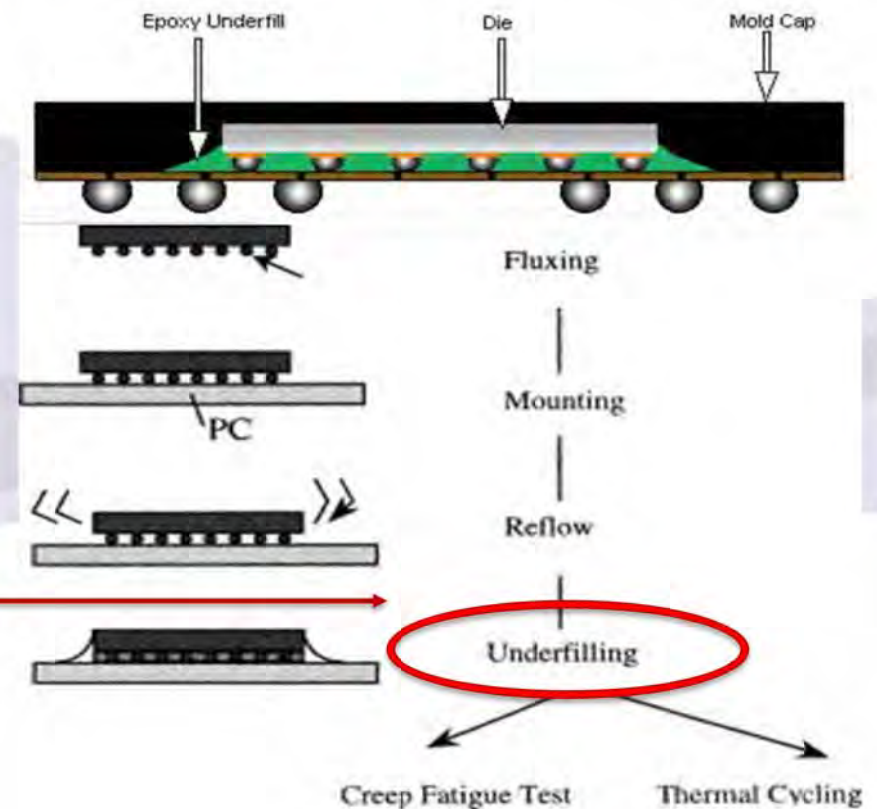
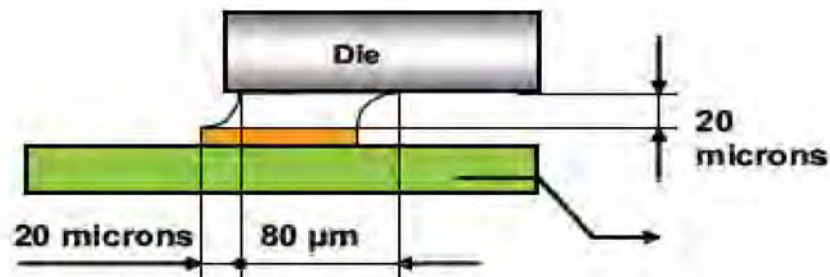
Плазменная очистка устраняет отслоение и обеспечивает герметичность



Пример 4: Эпоксидная заливка под кристалл

Типовой процесс монтажа компонента с шариковыми/столбиковыми выводами припоя (технология Flip-Chip):

- Нанесение флюса
- Монтаж компонента
- Оплавление
- **Заливка эпоксидным материалом**
- Тест на усталостную деформацию либо термоциклирование

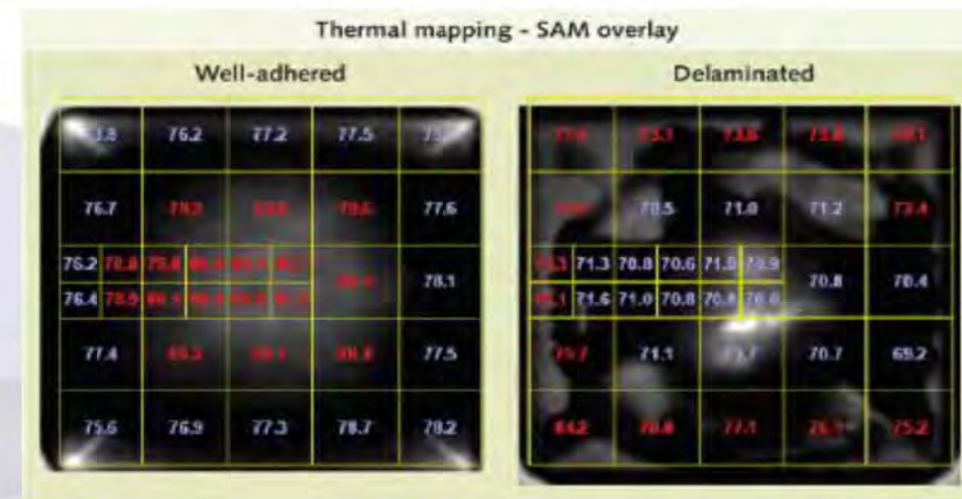


Пример 4: Эпоксидная заливка под кристалл

Материал заливки под кристаллом ограничивает деформацию, вызванную термическим напряжением на этапе термоциклирования

Возможная проблема при наличии загрязнений: деформация и смещение выводов, разрушение контактов

Плазменная очистка обеспечивает качественную заливку



Результат акустического сканирования



Пример 5: Плазменная обработка выводных рамок

Частичное удаление оксидов с поверхности с помощью плазмы оставляет объемные оксидные структуры, которые предотвращают растекание компаунда в процессе формовки корпуса

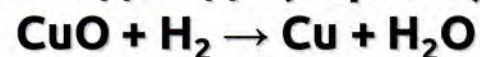
Полное удаление оксидов на медной поверхности способствует получению прочных проволочных соединений

При удалении оксидов, образующихся на выводных рамках, используются плазменные реакции с применением смеси $\text{Ar}+\text{H}_2$

Оксид меди (красный):



Оксид меди (черный) :



1. Область применения плазменной обработки в микроэлектронике
- 2. Основные характеристики плазменных систем процессов**
3. Обзор оборудования плазменной обработки в атмосфере
4. Примеры применения плазменной очистки
5. Обзор плазменных систем с вакуумной камерой

Параметры, определяющие протекание плазменного процесса

Система обеспечивает :

- Частота плазменного генератора
- Конфигурация электродов
- Распределение электромагнитного поля
- Распределение рабочего газа

Устанавливаются :

- Тип рабочего газа
- Давление рабочего газа
- Время обработки
- Мощность плазменного генератора

Материал :

- Тип подложки
- Наличие покрытий
- Адсорбированные вещества

Знание свойств обрабатываемых материалов наряду с характеристиками оборудования позволяет подобрать и оптимизировать параметры процесса для получения наилучших результатов

Частота плазменного генератора

Прямой ток (DC)

- Электроника
- Очистка пластика, металла и др. материалов



Низкая частота:

- 40 кГц
- 50 кГц
- 100 кГц
- Микросборка



Высокая частота:

- 13.56 МГц
- Микросборка
- Обработка полупроводниковых пластин



СВЧ:

- 2.45 ГГц
- Обработка полупроводниковых пластин

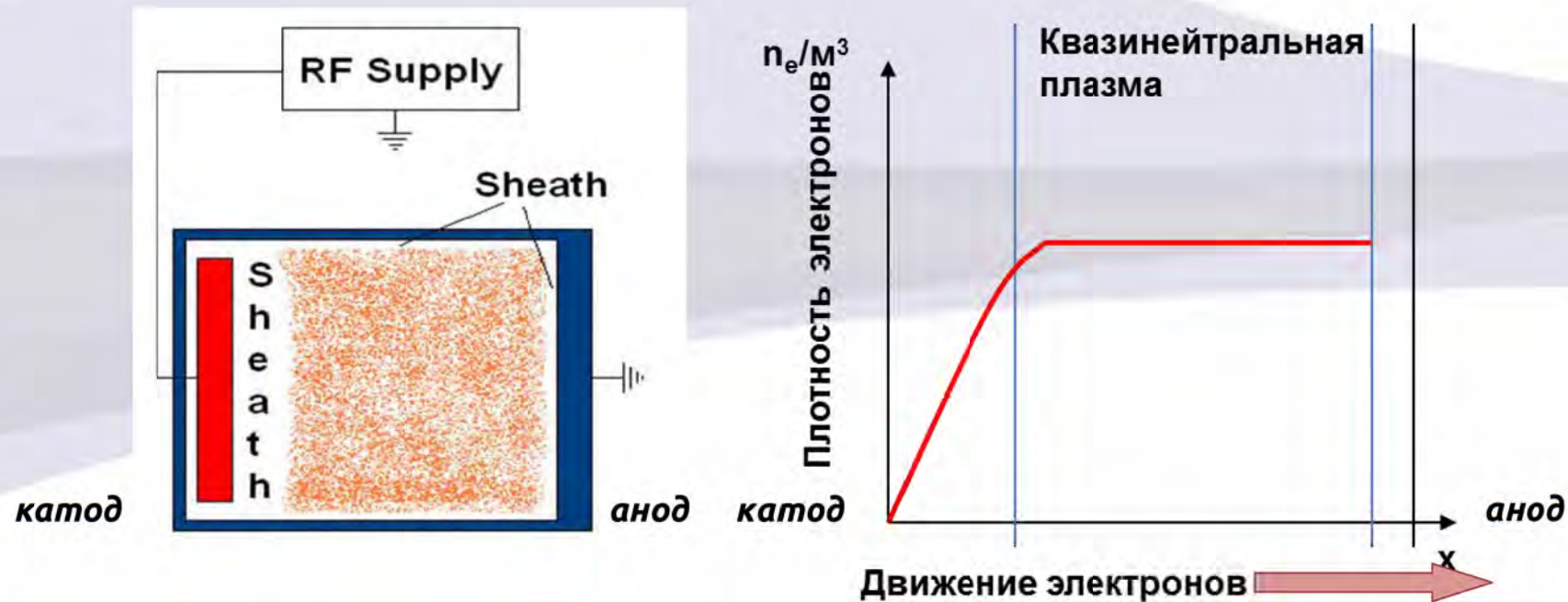


Частота плазменного генератора

- **Эффективность очистки определяется концентрацией заряженных частиц в плазме (степенью ионизации)**
- **Более высокая частота даёт большую ионизацию рабочего газа при меньшей мощности**
- **Микроволновая плазма (СВЧ) больше подходит для очистки полупроводниковых подложек, там где нужно обеспечить мягкое воздействие на структуру**

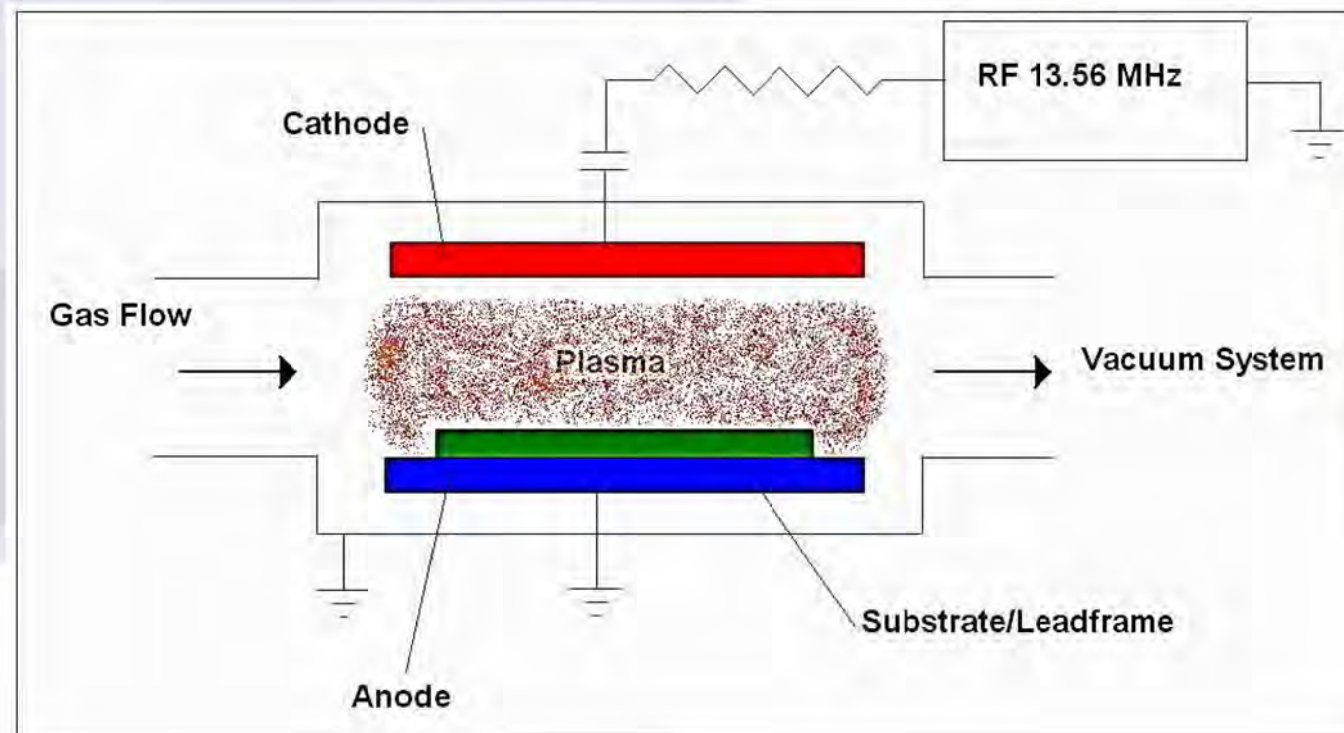
Система электродов

В промышленных установках плазменной очистки наиболее часто используется плазма в виде тлеющего разряда, имеющего «темное пространство» с низкой плотностью электронов вблизи катода и анода



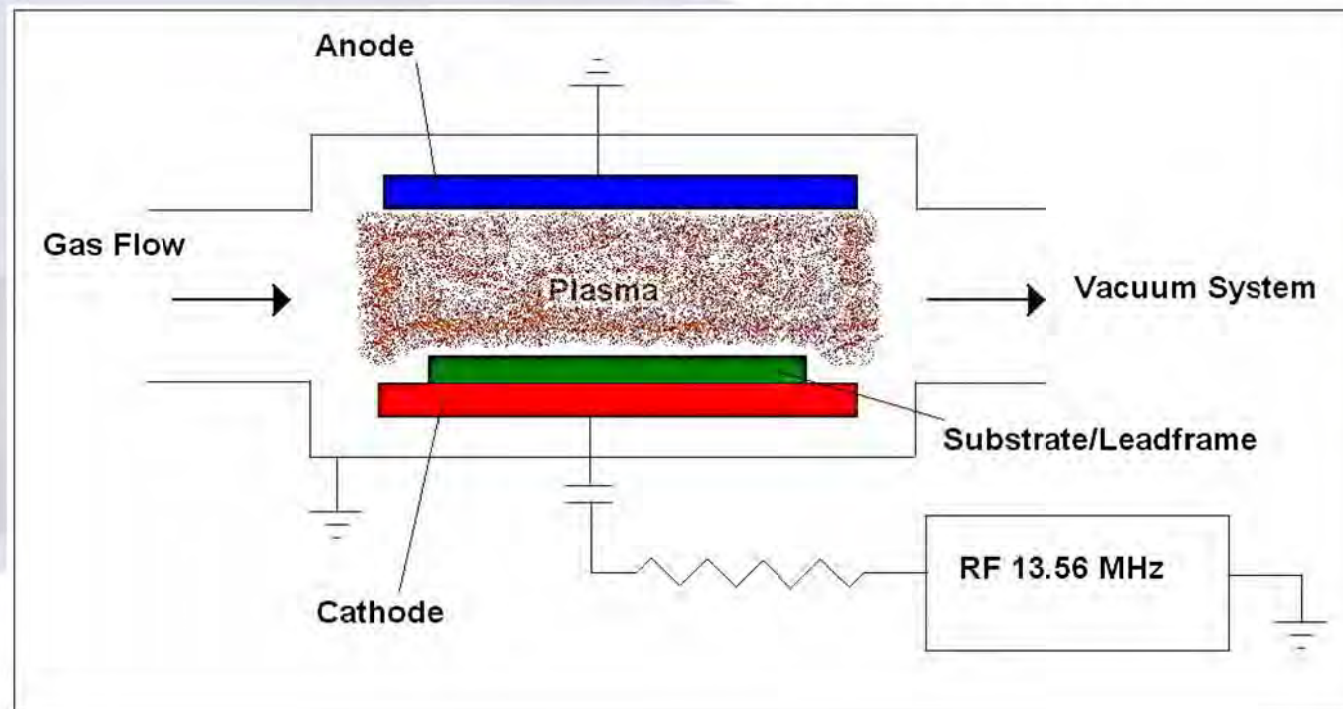
Система электродов: тип 1

Прямое воздействие плазмы: обрабатываемые изделия располагаются на аноде



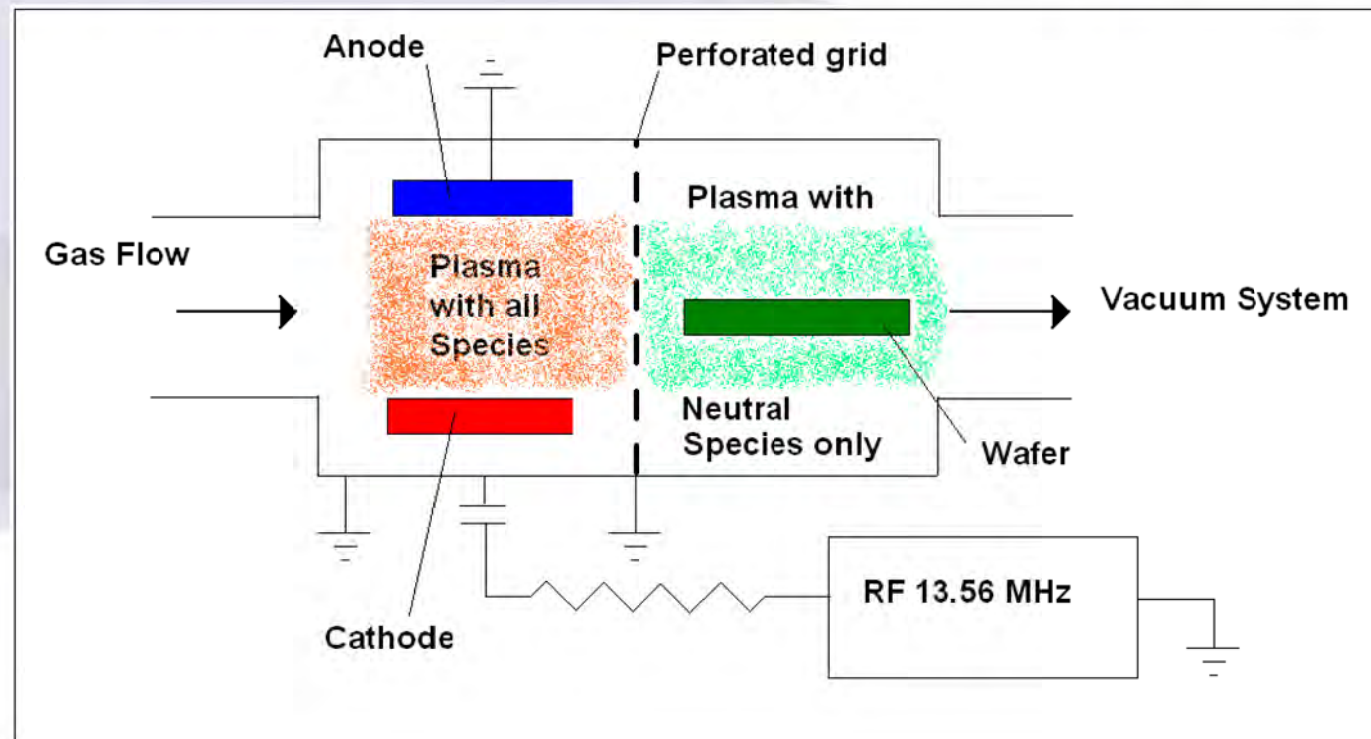
Система электродов: тип 2

Реактивное ионное травление: обрабатываемые изделия располагаются на катоде



Система электродов: тип 3

Нейтральная плазма (без ионов): между плазменным разрядом и обрабатываемым изделием расположена экранирующая сетка



Тип рабочего газа

В зависимости от области примени, в системах плазменной очистки могут использоваться:

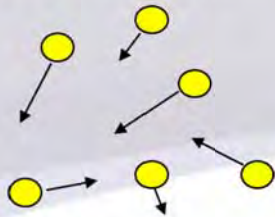
- **Воздух (N_2+O_2+)**
- **Азот (N_2)**

в микросборке наиболее часто применяются:

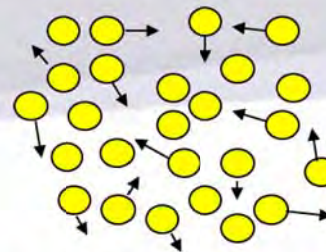
- **Кислород (O_2) – удаление органических веществ**
- **Аргон (Ar)**
- **Водородсодержащие смеси: N_2/H_2 , Ar/ H_2 (95/5 %) – удаление окислов**
- **Реактивные соединения, содержащие фтор и хлор – удаление неорганических веществ**

Давление рабочего газа

- Существуют плазменные системы открытого типа (атмосферная плазма) и закрытого типа (плазма в вакуумной камере)
- Давление в рабочей камере определяет длину свободного пробега частиц
- В зависимости от этого механизм плазменной очистки может быть физическим или химическим



Физическая плазма с инертным газом:
большая длина свободного пробега и
энергия ионов



Химическая плазма с реактивным газом (O_2 , H_2 или CF_4):
малая длина свободного пробега, высокая скорость
травления

← 0.1 мбар (10 Па) →

Время и мощность плазменного процесса

- **Время проведения плазменного процесса прямо влияет на степень очистки**
- **Мощность плазменного генератора определяет скорость процесса**
- **С другой стороны, слишком большая длительность процесса и чрезмерная мощность могут вызывать нежелательные эффекты: перегрев, нарушение структуры, изменение свойств материала**

Основные проблемы плазменной обработки

Однородность

- **Наилучшая однородность достигается при использовании химической плазмы**
- **Хорошая однородность достигается при использовании физической плазмы, в камерах небольшого объёма**

Обесцвечивание и обгорание изделий

- **Происходит из-за наличия горячих точек в камере или чрезмерной загрузки камеры**
- **Рекомендуется не перегружать рабочую камеру образцами с целью повышения производительности**

Основные проблемы плазменной обработки

Загрязнение камеры

- **Камера может загрязняться побочными продуктами плазмохимических реакций или вследствие дегазации образцов**
- **Рекомендуется периодическая продувка**

Время сохранения эффектов плазменной обработки

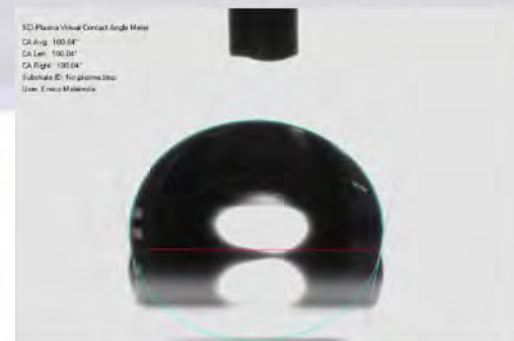
- **Зависит от материала подложки, влажности и других параметров окружающей среды**
- **Рекомендуется проводить последующие технологические операции непосредственно после плазменной обработки**

Контроль качества очистки

- Для оценки качества плазменной очистки и активации поверхности применяется метод измерения угла смачивания

Угол смачивания - угол между поверхностью и касательной линией к профилю находящейся на ней капли жидкости

- После обработки плазмой гидрофильные свойства поверхности улучшаются; угол смачивания -уменьшается



До плазменной обработки



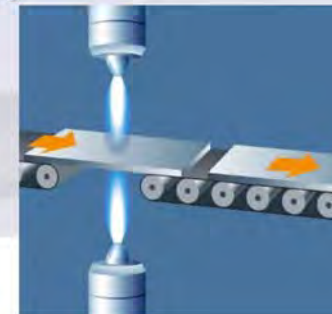
После плазменной обработки

1. Область применения плазменной обработки в микроэлектронике
2. Основные характеристики плазменных систем процессов
- 3. Обзор оборудования плазменной обработки в атмосфере (Advanced Machines)**
4. Примеры применения плазменной очистки
5. Обзор плазменных систем с вакуумной камерой

Преимущества атмосферной плазмы

Метод обработки плазмой в атмосфере, реализованный в оборудовании, поставляемом компанией Advanced Machines (Швейцария) обладает следующими преимуществами:

- **Отсутствует необходимость в вакуумном насосе и газовых линиях**
- **Встраиваемость в автоматизированные системы**
- **Возможность селективной обработки (локальное воздействие)**



Установка MonoJet

Основные параметры:

- Количество потоков плазмы: 1
- Расход газа на 1 сопло: $5 \div 50$ л/мин
- Диаметр области обработки: < 30 мм
- Охлаждение: водяной контур

Monojet

- Мощность плазмы: $200 \div 2000$ Вт
- Температура плазмы: $40 - 700^{\circ} \text{C}$
- Рабочая дистанция: $2 \div 30$ мм

Monojet Turbo

- Мощность плазмы: $500 \div 3200$ Вт
- Температура плазмы: $200 - 1600^{\circ} \text{C}$
- Рабочая дистанция: $2 \div 50$ мм



Плазменные сопла MonoJet



Малая мощность



Средняя мощность



Увеличенная мощность

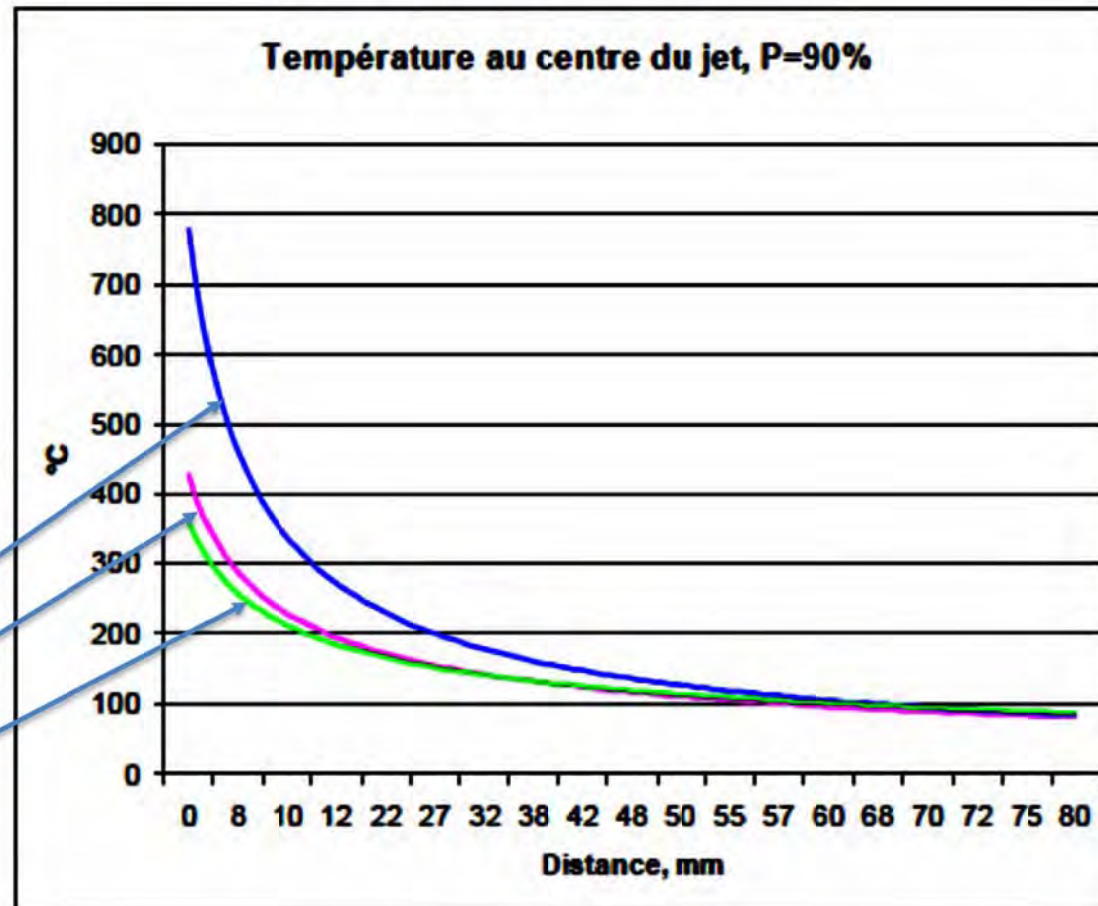


Температура атмосферной плазмы

Температура в плазменном факеле зависит от мощности, расстояния до сопла и скорости потока

На графике:

- 15 л/мин.
- 25 л/мин.
- 28 л/мин.



Установка MonoJet Light

Основные параметры:

- Количество потоков плазмы: 1
- Температура плазмы: 200 - 300 ° С
- Диаметр области обработки: < 15 мм
- Охлаждение: воздушное

Monojet Light

- Мощность плазмы: 250Вт
- Расход газа на 1 сопло: 2 ÷ 10 л/мин
- Рабочая дистанция: 2 ÷ 10 мм

Monojet Light Turbo

- Мощность плазмы: 400 Вт
- Расход газа на 1 сопло: 2 ÷ 20 л/мин
- Рабочая дистанция: 2 ÷ 15 мм



Установка DoubleJet

Основные параметры:

- Количество потоков плазмы: 2
- Расход газа на 1 сопло: $5 \div 50$ л/мин
- Диаметр области обработки: < 30 мм
- Охлаждение: водяной контур

DoubleJet-800

- Мощность плазмы: 800 Вт
- Температура плазмы: $40 - 500^{\circ} \text{C}$
- Рабочая дистанция: $2 \div 20$ мм

DoubleJet-1600

- Мощность плазмы: 1600 Вт
- Температура плазмы: $40 - 700^{\circ} \text{C}$
- Рабочая дистанция: $2 \div 30$ мм



Установка MultiJet-100

Основные параметры:

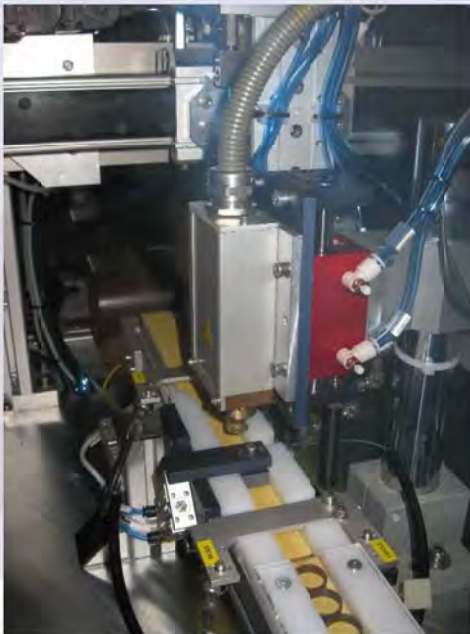
- Количество потоков плазмы: 12
- Мощность плазмы: < 5 кВт
- Рабочий газ: воздух, азот, аргон
- Расход газа на 1 сопло: 2 ÷ 20 л/мин
- Расход газа, общий: 25-250 л/мин
- Температура плазмы: 200 - 300 ° С
- Ширина области обработки: 120 мм (*)
- Рабочая дистанция: 2 ÷ 15 мм
- Охлаждение: воздушное

(*) доступны модификации с областью обработки 40 мм и 80 мм



Возможности автоматизации

Установки Advanced Machines разработаны с учётом их дальнейшего использования в составе различных автоматизированных и роботизированных комплексов



*В составе
автоматической линии*



*На базе промышленного
робота*



*На базе настольного робота
Janome JR2203*

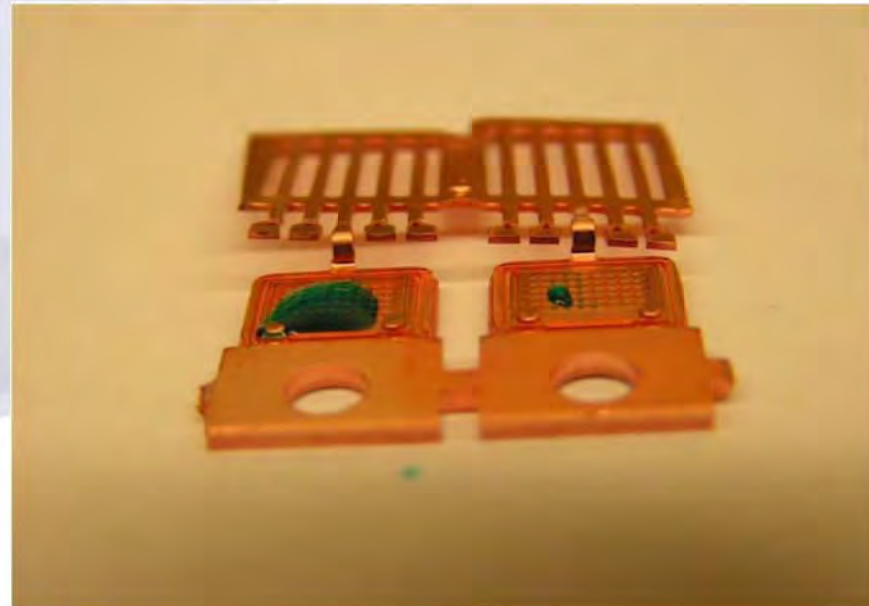
1. Область применения плазменной обработки в микроэлектронике
2. Основные характеристики плазменных систем процессов
3. Обзор оборудования плазменной обработки в атмосфере
- 4. Примеры применения плазменной очистки**
5. Обзор плазменных систем с вакуумной камерой

Примеры применений

Пример 1: Плазменная обработка алюминия



Пример 2: Плазменная обработка меди (выводная рамка)



Примеры применений

Пример 3: Очистка латуни



До обработки

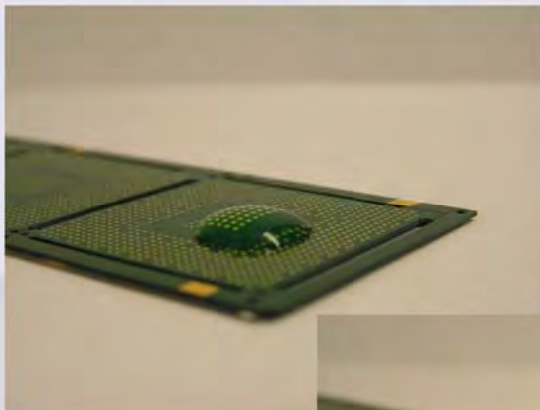
После
обработки

- электрическая мощность
- скорость перемещения поверхности
- расход газа
- используемый газ
- энергия поверхности

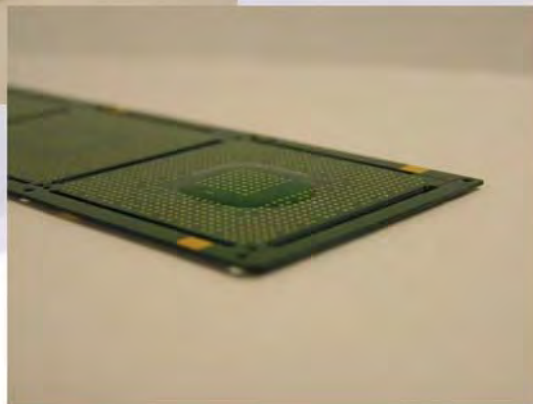
800 Ватт
6 об/сек + 0.1 м/сек
20 л/мин
воздух
72 дина

Примеры применений

Пример 4: Плазменная обработка BGA



До обработки



После

Пример 5: Плазменная обработка сапфира



До обработки



После

Примеры применений

Пример 6: Плазменная обработка керамики

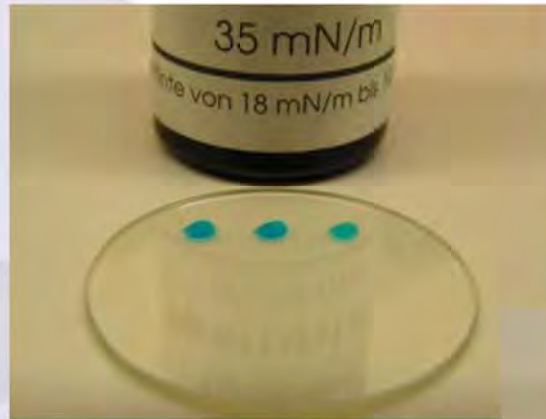


До обработки

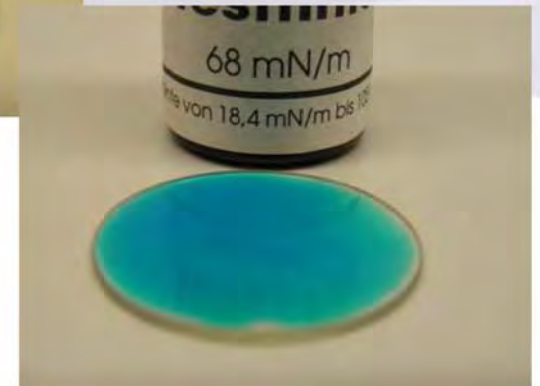


После

Пример 7: Плазменная обработка оксида индия



До обработки



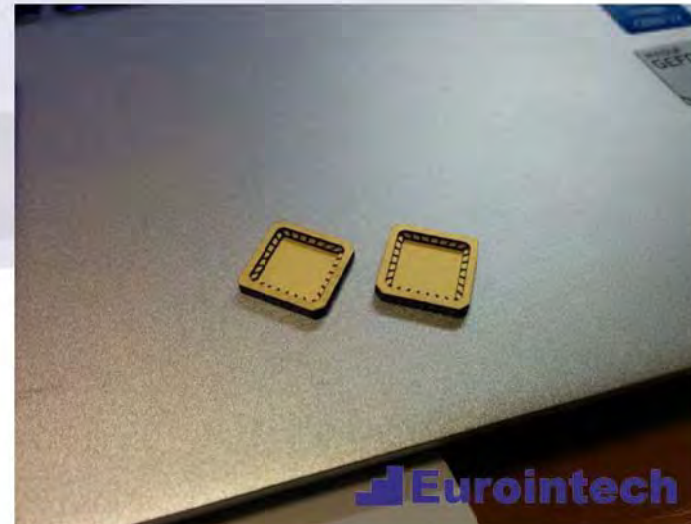
После

Тестовый процесс

Задача: количественное определение эффективности применения технологии атмосферной плазмы перед операцией ультразвуковой микросварки золотой проволокой



Образцы: металлокерамические корпуса с золотым покрытием



Тестовый процесс

Методика: критерием качества в данном тесте является абсолютная величина усилия на отрыв полученных сварных соединений, измеренная на высокоточном тестере прочности

Оборудование:



*Генератор плазмы MonoJet,
установленный на настольном
роботе Janome*



*Ультразвуковая установка
TPT HB16 для микросварки
проволочных выводов*



*Тестер прочности
механических соединений
RHESCA PTR-1102*

Тестовый процесс

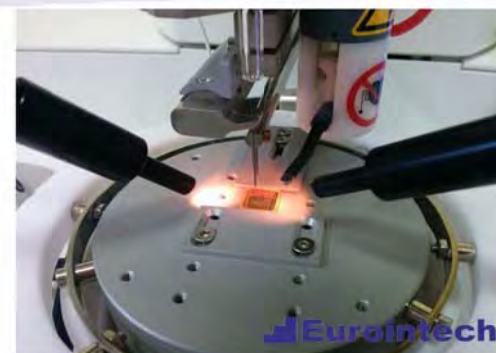
Параметры плазменной обработки:

Мощность	73% максимальной (~1400 Вт)
Расход воздуха	25 л/мин
Газ	Воздух
Давление газа	6 атмосфер
Расстояние до подложки	3 мм



Параметры УЗ микросварки:

Параметр	Точка 1	Точка 2
Мощность ультразвука	200 ед.	260 ед.
Время разварки	200 мс	200 мс
Усилие прижима инструмента	190 мН	260 мН



Тестовый процесс

Параметры тестирования на отрыв:

Сенсор	LZ50
Тип теста	На отрыв
Контроль	Разрушающий
Шкала тестера	0÷50 г
Погрешность измерений	0,1 г (0,2% от шкалы)
Скорость подъема крючка	0,5 мм/с



Результат измерения усилия на отрыв по 20 точкам:

	Без плазменной обработки	Плазменная обработка
Минимум	9,26 г	9,35 г
Среднее	13,36 г	16,43 г
Максимум	18,81 г	20,77 г

Средний прирост усилия на отрыв составил примерно 3г, что составляет ~25% !

- 1. Область применения плазменной обработки в микроэлектронике**
- 2. Основные характеристики плазменных систем процессов**
- 3. Обзор оборудования плазменной обработки в атмосфере**
- 4. Примеры применения плазменной очистки**
- 5. Обзор плазменных систем с вакуумной камерой**

Преимущества плазменных систем с вакуумной камерой

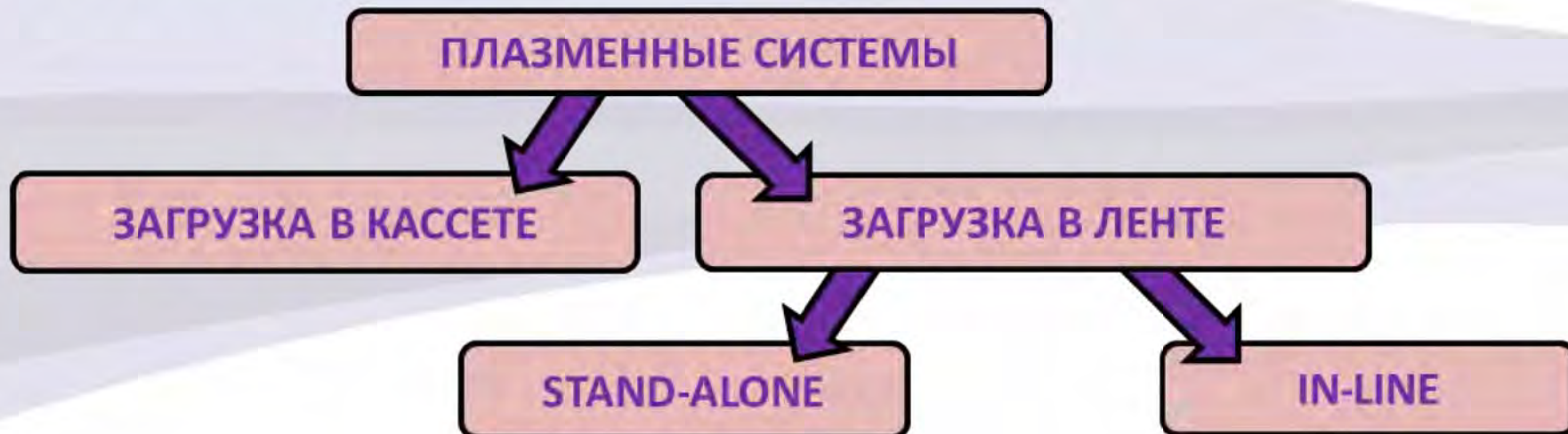
Плазменная обработка в вакуумной камере, реализованная в оборудовании компании SCI Automation (Сингапур) обладает следующими преимуществами:

- **Групповая обработка обеспечивает высокую производительность**
- **Автоматический контроль параметров**
- **Безопасность оператора при проведении плазменного процесса**



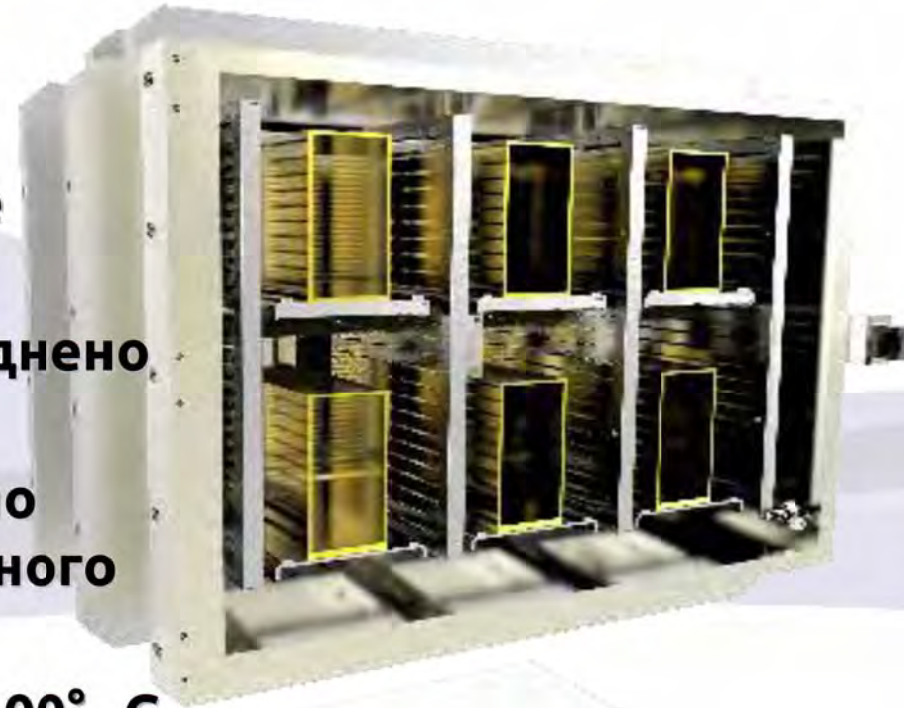
Различные типы загрузки

- Плазменные системы различаются по типу загрузки изделий – подача в кассете или в ленте
- Системы с ленточной подачей могут работать автономно или встраиваться в линию



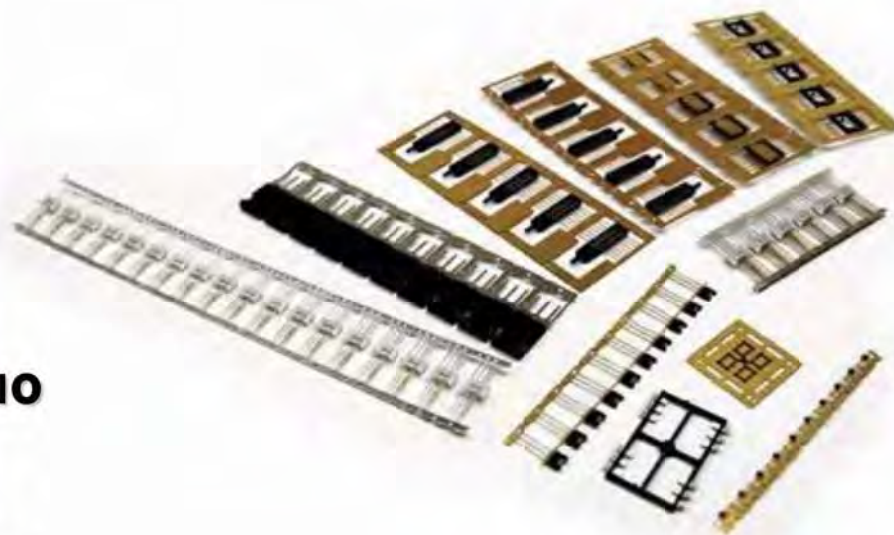
Загрузка в кассете

- Кассеты имеют боковые щели для проникновения заряженных частиц
- Шаг выводной рамки должен быть более достаточно большим (> 6 мм)
- Получение высокой однородности затруднено вследствие эффекта Фарадея
- Уровень вакуума должен быть достаточно высоким для обеспечения длины свободного пробега ионов ($0.05 \div 0.09$ мбар)
- Температура в камере может достигать 100° С
- Возможно окисление после обработки плазмой при контакте с окружающим воздухом.



Загрузка в ленте

- Шаг выводной рамки как правило меньше в сравнении с кассетной загрузкой
- Небольшой объём камеры, высокая однородности плазмы, достигаются наилучшие результаты
- Диапазон давлений как правило выше по сравнению с кассетной загрузкой (типичные значения: $0.2 \div 0.4$ мбар при использовании смеси аргона и водорода)
- Короткое время плазменной обработки ($5 \div 30$ сек.), перегрев отсутствует



Объём загрузки

SCI Automation предлагает модельный ряд установок, охватывающий широкий диапазон возможных применений



**Высоко-
производительные
установки для
промышленных
применений**

**Небольшие
установки для
лабораторий и
мелкосерийных
производств**

AEON - настольная система плазменной обработки

Основные параметры:

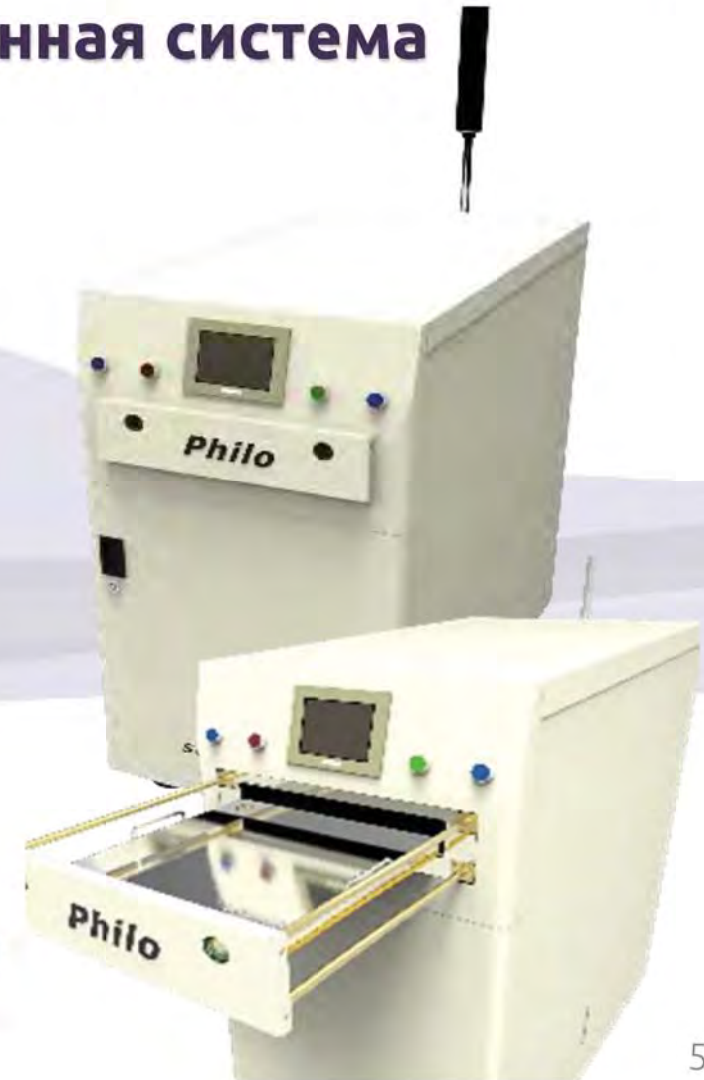
- Рабочая камера: **35 л**
- Генератор плазмы: **50 кГц, 500 Вт**
(13,56 МГц, 300 Вт как опция)
- Количество газовых линий: **1 шт. (2 как опция)**
- Рабочие газы - **Ar, O₂, Ar/O₂, Ar/H₂, N₂/H₂**
- Цифровой измеритель расхода (MFC)
- Возможность работы в непрерывной режиме
- Применение: очистка выводных рамок перед разваркой тонкой проволокой, удаления органических загрязнений, увеличение адгезии перед монтажом кристаллов, удаления остатков флюса из корпусов полупроводниковых приборов и гибридных микросборок и т.д.



PHILO - отдельно стоящая плазменная система

Основные параметры:

- Рабочая камера: **8 л. (350x350x50 мм)**
- Генератор плазмы: **13,56 МГц, 300 Вт**
- Количество газовых линий: **2 шт.**
- Рабочие газы - **Ar, O₂, Ar/O₂, Ar/H₂, N₂/H₂**
- Цифровые контроллеры массового расхода
- Возможность работы в непрерывной режиме
- Интерфейс: сенсорный экран 5.7"
- Подходит для установки в чистых комнатах



JUNO - отдельно стоящая плазменная система

Основные параметры:

- Рабочая камера: **80 л. (450 x 390 x 450 мм)**
 - Генератор плазмы: **13,56 МГц, 600 Вт**
 - Количество газовых линий: **2 шт.**
 - Рабочие газы - **Ar, O₂, Ar/O₂, Ar/H₂, N₂/H₂**
 - Количество лотков в рабочей камере: **6 шт.**
-
- Встроенный сухой насос
 - Предназначена для применения в мало- и среднесерийном производстве изделий электроники
 - Помимо очистки и активации поверхности при микросборке, также может применяться для удаления фоторезиста на полупроводниковых пластинах и подложках



TITAN - отдельно стоящая система с кассетной загрузкой

Основные параметры:

- Рабочая камера: **95 л.**
- Загрузка: **6 магазинов 250 x 88 x 165 мм**
- Генератор плазмы: **13,56 МГц, 600 Вт**
- Количество газовых линий: **2 шт.**
- Улучшенная система распределения рабочего газа внутри камеры для достижения высокой однородности плазменной обработки
- Предназначена для применения в крупносерийном производстве изделий электроники



QML-STD – встраиваемая в линию плазменная система

Основные параметры:

- Рабочая камера: **1,44 л. (120 x 300 x 40 мм) (*)**
- Генератор плазмы: **13,56 МГц, 200 Вт**
- Количество газовых линий: **1 шт. (2 как опция)**
- Встроенный конвейер, поддержка протокола SMEMA 1.2
- Основное назначение: плазменная обработка выводных рамок
- Производительность: **120 изделий в час**

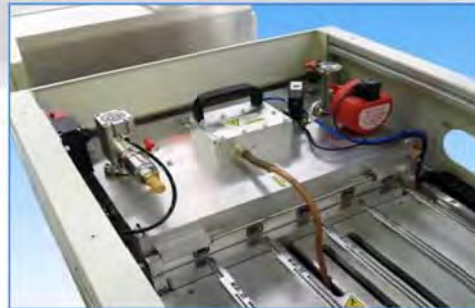
***) Также доступна модель QML-EX с увеличенным объёмом камер: 4 л**



Quadrio – высокопроизводительная плазменная система

Основные параметры:

- Рабочая камера: 6 л. (480 x 314 x 40 мм)
- Загрузка: 4 либо 5 магазинов
- Генератор плазмы: 13,56 МГц, 600 Вт
- Количество газовых линий: 2 шт.
- Основное назначение: плазменная обработка выводных рамок
- Производительность: 400 ÷ 500 изделий в час



VESTA – платформа для встраиваемых в линию плазменных систем

Основные параметры:

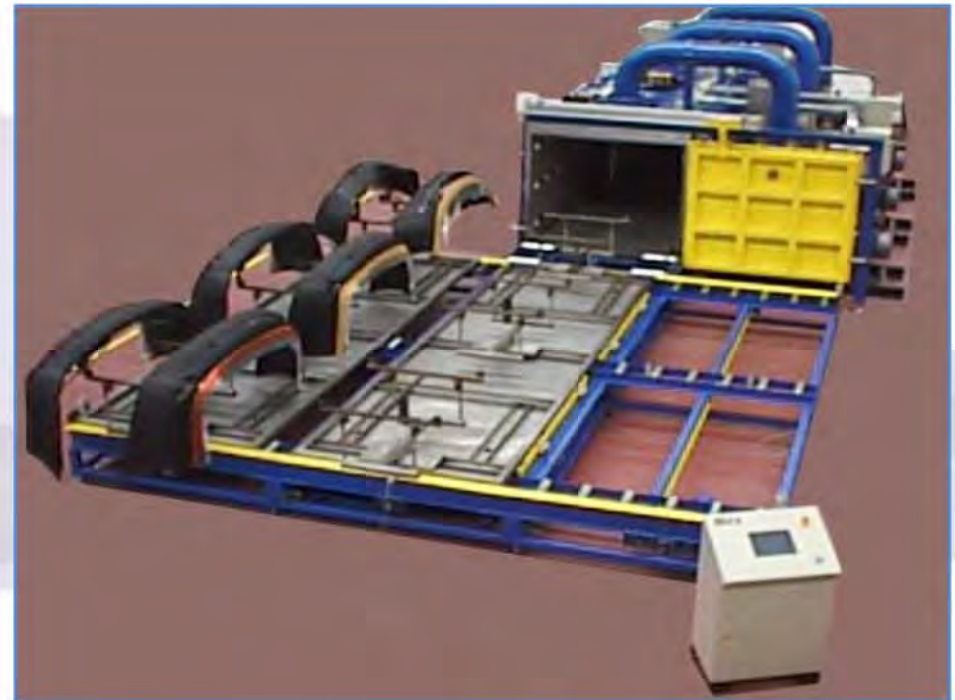
- Конфигурация в соответствии с требованиями заказчика, включая размер, материал и покрытие рабочей камеры, способ манипулирования образцами и тип электродной системы.
- Генератор плазмы: **13,56 МГц**
- Количество газовых линий: **2 шт.**
(3 как опция)
- Встроенный конвейер, поддержка протокола SMEMA 1.2



Система очистки бамперов

Основные параметры:

- Рабочая камера: **15 м³**
- Генератор плазмы: **13,56 МГц, 2500 Вт**
- Количество газовых линий: **1 шт.**
- Система откачки:
3 насоса первичной откачки 1 600 м³
+ бустерный насос 4200 л/сек



Система очистки бамперов



Снятие фоторезиста

Кислородная плазма эффективно используется для травления органических полимеров и фоторезистов

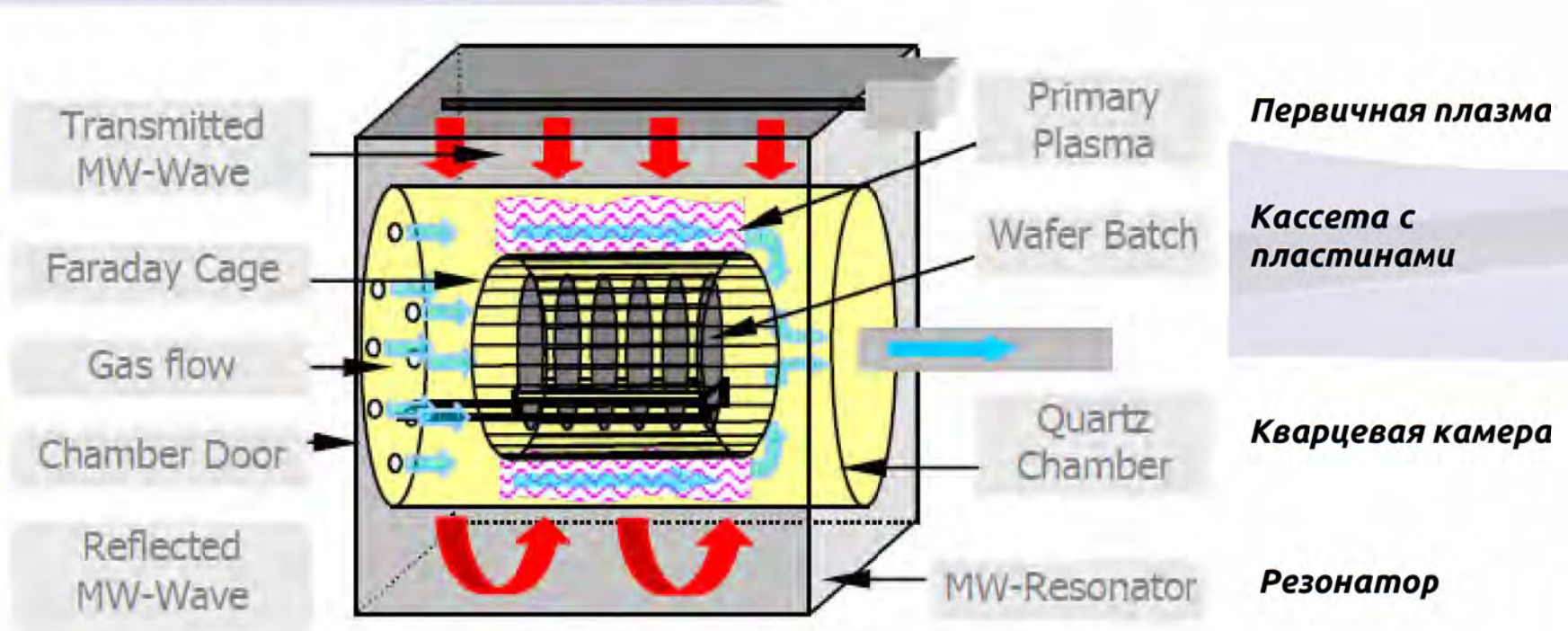
Микроволновое излучение

Клетка Фарадея

Газовый поток

Дверь камеры

Отражённое микроволновое излучение



Установка травления фоторезиста GIGAbatch 310 M

PVA TePla



*Рекомендуется для
исследовательских работ и
небольших серийных
производств*

Основные параметры:

- Размеры пластин: **2" ÷ 6"**
- Одновременная загрузка:
25 пластин 6"
50 пластин 4"
- Частота плазменного генератора: **2.45 ГГц**
- Мощность: **до 600 Вт**
- Количество газовых линий: **1 шт. (2 как опция)**
- Конструкция двери обеспечивает загрузку пластин без соприкосновения с рабочей камерой

Установка травления фоторезиста GIGAbatch 380 M

PVA TePla



*Рекомендуется для крупных
серийных производств*

Основные параметры:

- Размеры пластин: **2" ÷ 8"**
- Одновременная загрузка: **до 75 пластин**
- Частота плазменного генератора: **2.45 ГГц**
- Мощность: **до 1000 Вт**
- Количество газовых линий: **2 шт.**
(4 как опция)
- Контроль процесса производится в режиме реального времени, с отображением графиков рисунков на экране
- Запись данных о процессе, с возможностью экспорта

Спасибо за внимание!