

Генерация плазмы. Выбор правильного решения

В профессиональных обсуждениях часто поднимают тему плазмы как современного инструмента высокотехнологичных производств, позволяющего существенно улучшать характеристики выпускаемых изделий. Что же такое плазма вообще? Какие виды плазмы существуют, чем они различаются и какие из них лучше подходят для того или иного применения?

Сергей Леванов

s.levanov@dipaul.ru

Термин «плазма» знаком многим, любим писателями-фантастами и режиссерами блокбастеров, но что же в действительности кроется за этим звучным именем? Плазма — частично или полностью ионизированный газ (аргон, кислород, азот, водород или другие), то есть газ, состоящий из нейтральных атомов или молекул и заряженных частиц, ионов и электронов. По сравнению с обычным газом основное преимущество плазмы заключается в том, что благодаря наличию свободных мест на внешних электронных оболочках атомы/молекулы плазмы химически более активны. Именно эта особенность позволяет им столь эффективно взаимодействовать с частицами других материалов.

Для ионизации газа необходимо передать ему энергию, а для этого существует множество способов, таких как нагрев и облучение. Но наиболее распространен способ получения плазмы с помощью электрического газового разряда. Газовый разряд представляет собой газовый промежуток, к которому приложена разность потенциалов. В промежутке образуются заряженные частицы, движущиеся в электрическом поле, создавая ток (рис. 1).

Есть несколько видов газового разряда: искровой, дуговой и тлеющий. Все они нашли то или иное применение в современной технике, но наибольшее распространение получил тлеющий разряд. Всем знакомые светящиеся рекламные колбы, лампы дневного света, покрытые изнутри люминофорами сложного состава, представляют собой многочисленные варианты применения плазмы тлеющего разряда.

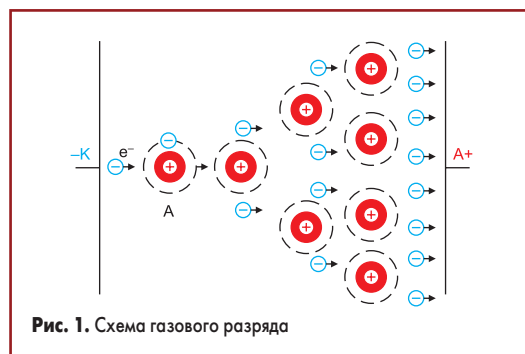


Рис. 1. Схема газового разряда

Все установки плазменной обработки поверхности в микроэлектронике также используют тлеющий разряд (рис. 2).

Для получения тлеющего газового разряда необходим газ, герметичная камера, в которой создано пониженное давление с помощью вакуумного насоса, генератор и два электрода. В камеру запускается газ так, чтобы итоговое давление в ней оставалось ниже атмосферного (примерно 10^{-2} мм рт. ст.), и включается генератор. Между электродами возникает переменное электромагнитное поле, которое передает энергию частицам газа, вследствие чего происходит их ионизация и зажигается разряд. Параметры разряда в значительной степени зависят от характеристик генератора, создающего электромагнитное поле. Существует три основных типа генераторов:

1. Низкочастотный генератор (НЧ). Самый простой и надежный по конструкции и универсальный по применению. Используется в основном для «жесткой» быстрой очистки образцов (пластины, подложки, детали и т. д.) от загрязнений перед последующими операциями. Низкочастотными принято считать генераторы килогерцевого диапазона (обычно 40, 80 или 100 кГц). Схема установки с таким генератором аналогична представленной на рис. 2.
2. Высокочастотный генератор (ВЧ). Традиционно частота ВЧ-генераторов составляет 13,56 МГц. ВЧ-генераторы имеют особенность, заключающуюся в необходимости их согласования для максимального увеличения падающей мощности и минимизации отраженной. Из-за наличия устройства согласования (ручного или автоматического) данный тип генератора более дорогой, чем НЧ, и менее надежный. Однако у него есть важное преимущество — способность создавать «мягкую» плазму, не повреждающую даже чувствительные элементы на обрабатываемых образцах (например, открытые кристаллы на микросборках или легированные области в полупроводниковых пластинах). Принципиально устройство установки с таким генератором мало отличается от представленной на рис. 2, разница заключается только в наличии согласующих конденсаторов.

Компания Diener Electronic предлагает генераторы разных типов, что позволяет легко конфигурировать установку плазменной обработки под абсолютно любые задачи.

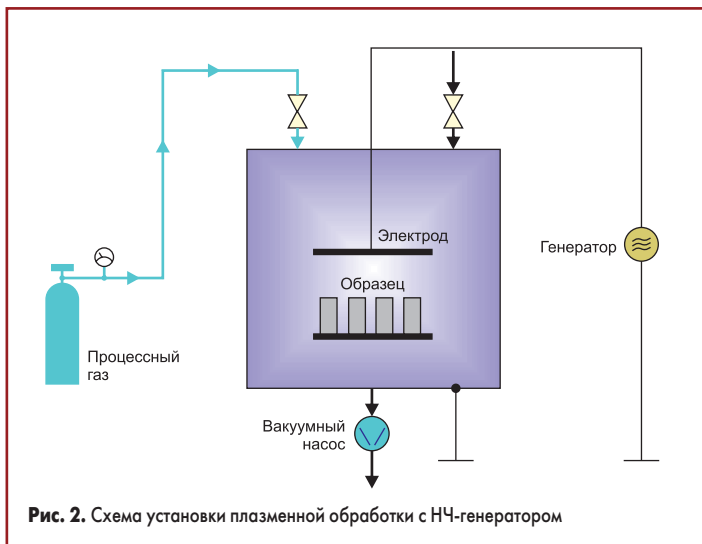


Рис. 2. Схема установки плазменной обработки с НЧ-генератором

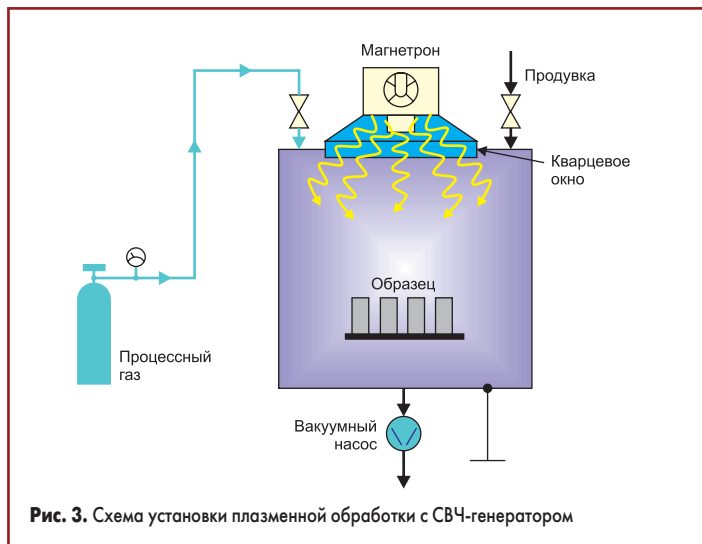


Рис. 3. Схема установки плазменной обработки с СВЧ-генератором

3. Сверхвысокочастотный генератор (СВЧ, частота 2,45 ГГц). В грубом приближении установка с таким генератором есть не что иное, как известная всем микроволновая печь. То есть если бы в домашней микроволновке можно было создать вакуум и подать внутрь ее газ, то при включении нагрева был бы получен тлеющий разряд. Особенностью микроволнового генератора (как и бытовых микроволновок) является невозможность напрямую обрабатывать металлические предметы. Но эта проблема была решена, когда образцы стали помещать в клетку Фарадея, изолируя их от СВЧ электромагнитного поля. Такая конструкция позволяет ионизировать газ в СВЧ-поле и затем доставлять его к обрабатываемой поверхности (ионы плазмы свободно проходят через клетку Фарадея). Основная область применения таких генераторов — быстрое удаление с подложек толстых слоев органических материалов, в частности позитивных и негативных фоторезистов. Схема установки с СВЧ-генератором представлена на рис. 3. Как видно на схеме, ввод электромагнитного излучения производится через специальное кварцевое окно. Такая конструкция необходима в случае, когда вакуумная камера изготовлена из металла.

Теперь, зная особенности и специфику всех типов генераторов, можно рекомендовать следующее.

При производстве интегральных микросхем и других микроэлектронных устройств для очистки и подготовки подложек без нанесенных функциональных слоев или установленных бескорпусных компонентов, а также для очистки корпусов электронных компонентов перед герметизацией и активации контактных площадок перед микросваркой оптимальным решением является использование НЧ-генератора.

Для очистки и подготовки подложек с нанесенными функциональными слоями или установленными бескорпусными компонентами рекомендуется использовать ВЧ-генератор. Также лучше приобретать установку плазменной обработки с данным генератором и в том случае, если требуется обеспечить наиболее широкое технологическое окно, которое позволяет технологу варьировать различные параметры процесса, используя множество режимов, материалов и т. д.

При необходимости скоростного удаления толстых слоев органических веществ, таких как фоторезисты и полиимиды, лучше всего подойдет СВЧ-генератор, обеспечивающий

Таблица. Различные типы генераторов (основные применения, достоинства и недостатки)

	Тип генератора		
	НЧ	ВЧ	СВЧ
Примеры применения	<ul style="list-style-type: none"> Back-end (полупроводники, керамика) Очистка РСВ и других материалов Активация, травление материалов (различные отрасли промышленности) R&D 	<ul style="list-style-type: none"> Front-end и back-end (полупроводники) R&D 	
Низкая стоимость	+++	+	++
Надежность	+++	++	+
Однородность плазмы	+++	++	+
Использование вращающегося металлического барабана	+++	+++	+
Скорость травления	+	+++	+++
Простота ремонта	+++	+	+++

+++ — наилучший показатель

в несколько раз более высокую скорость этих процессов, чем любой другой генератор.