

# Установки плазменной НЧ-обработки GN tech MPC с повышенной мощностью

Максим Богачёв, Денис Васильев,  
Константин Моисеев, Мария Назаренко, Иван Воробьёв

Плазменная обработка является часто используемой технологической операцией при изготовлении многих изделий микро- и наноэлектроники, фотоники, оптики, биомедицины и др. При различных режимах возможна очистка, активация, травление и модификация поверхности обрабатываемых материалов и изделий. В установках с повышенной мощностью (более 500 Вт) электроды должны быть водоохлаждаемыми, при этом для отработки технологических режимов желательно обеспечить стабильную температуру охлаждающей воды с помощью чиллера. В статье приведена информация о линейке установок плазменной обработки MPC от российской компании GN tech. На примере модели MPC-F1-18 с мощностью разряда 1000 Вт продемонстрирован технологический диапазон, позволяющий технологам назначать базовые режимы плазменной обработки.

## Введение

Плазменная обработка применяется во многих отраслях промышленности: в производстве полупроводниковых приборов (очистка подложек перед нанесением функциональных тонкоплёночных слоёв; травление поверхности в процессе изготовления микросхем) [1]; в оптических приборах (очистка поверхности линз телескопов и зеркал) [2]; в медицине (активация поверхности скальпеля для нанесения антикоррозийного слоя металла; очистка катетеров и дыхательных масок) [3] и в других областях, например, при производстве резинотехнических и пластиковых изделий [4], где требуется удалить загрязнения с поверхности, активировать поверхность, произвести травление микро-

структур или модифицировать приповерхностный слой. Операции предварительной подготовки поверхности являются обязательными практически в любом технологическом процессе производства изделий микро- и наноэлектроники, оптики, фотоники и др. Требуемая чистота поверхности в ряде случаев достигается жидкостной химической очисткой [1]. Преимуществом плазменной очистки над жидкостной является отсутствие продукта реакции, который зачастую токсичен и вреден для окружающей среды и здоровья человека.

Для реализации указанных выше применений используются установки плазменной обработки. Изделия помещаются в вакуумную камеру, производится откачка воздуха, затем подаётся

требуемый процессный газ и зажигается газовый разряд. Плазменная обработка изделий происходит за счёт физического взаимодействия ионов с поверхностью объекта обработки. От рода процессного газа, энергии ионов и их количества (плотности) зависит тип воздействия, длительность обработки и температура образца [5].

Особое место среди оборудования плазменной обработки занимают установки низкочастотной плазменной обработки. Такие установки надёжны и универсальны по применению [6]. Низкочастотная плазма в основном используется для «жёсткой» быстрой очистки образцов (пластины, подложки, детали и т.д.) от загрязнений перед последующими операциями.

## Оборудование для плазменной обработки

Российская компания GN tech совместно со специалистами МГТУ им. Н.Э. Баумана разработала линейку установок MPC с базовыми характеристиками и функционалом, аналогичным зарубежным. Установки представлены в настольном (рис. 1) и напольном (рис. 2) исполнениях.

В зависимости от требований установка может быть оснащена металлической или стеклянной вакуумной камерой с объёмом от 2 до 150 литров, а для питания может использоваться НЧ (низкочастотный) или ВЧ (высокочастотный) генератор. Основные



Рис. 1. Линейка настольных установок плазменной обработки MPC производства компании GN tech



Рис. 2. Линейка напольных установок плазменной обработки MPC производства компании GN tech

характеристики моделей установок представлены в табл. 1. Управление осуществляется с помощью цветного сенсорного дисплея, программное обеспечение позволяет проводить процессы в ручном или полностью автоматическом режимах, создавать и сохранять до 50 рецептов обработки.

Установки с повышенной мощностью (> 500 Вт) вне зависимости от размеров рабочей камеры выполнены в напольном типе корпуса. Это обусловлено не только большими габаритными размерами блоков питания, но и наличием систем водяного охлаждения для предотвращения перегрева обрабатываемых изделий и электродов [7].

### Установка плазменной НЧ-обработки GN tech MPC-F1-18 с повышенной мощностью

Одной из установок НЧ плазменной обработки с повышенной мощностью является установка MPC-F1-18. Установка имеет цилиндрическую вакуумную камеру объёмом 18 литров, выполненную из кварцевого стекла. Внутри камеры расположены два плоских электрода, на которые подаётся НЧ-напряжение (80 кГц). Электроды имеют систему водяного охлаждения.

Газовый тлеющий разряд (плазма) пониженного давления может существовать в определённом соотношении трёх параметров: давления рабочего газа, напряжения, подаваемого блоком питания на электроды, и расстояния между электродами. Последний параметр для установок плазменной обработки, как правило, фиксирован, поэтому стабильность горения тлеющего разряда и технологические возможности установки определяются давлением рабочего газа и мощностью, вкладываемой в разряд.

Для оценки стабильности горения НЧ газового разряда MPC-F1-18 и определения технологического диапазона проведено измерение вольтамперной характеристики (ВАХ) установки (рис. 3). В качестве рабочего газа использован инертный газ – аргон, а измерения осуществлены при фиксированных значениях давления.

Из полученных графиков видно, что при большом давлении невозможно достичь больших значений мощности разряда. Это связано с тем, что из-за большого давления рабочего газа в межэлектродном пространстве воз-

Таблица 1. Характеристики моделей установок MPC

Модель	MPC-D1	MPC-D2	MPC-F1	MPC-F2
Тип корпуса	Настольный	Настольный	Напольный	Напольный
Объём камеры	2–12 л	5–24 л	5–48 л	48–150 л
Тип плазмы	Низкочастотная (НЧ) / Высокочастотная (ВЧ)			
Частота генератора	40 / 80 кГц / 13,56 мГц			
Мощность генератора	До 200 Вт	До 500 Вт	До 1000 Вт	
Материал камеры	Кварцевое стекло / нерж. сталь		Нерж. сталь	
Количество газов	1-3			

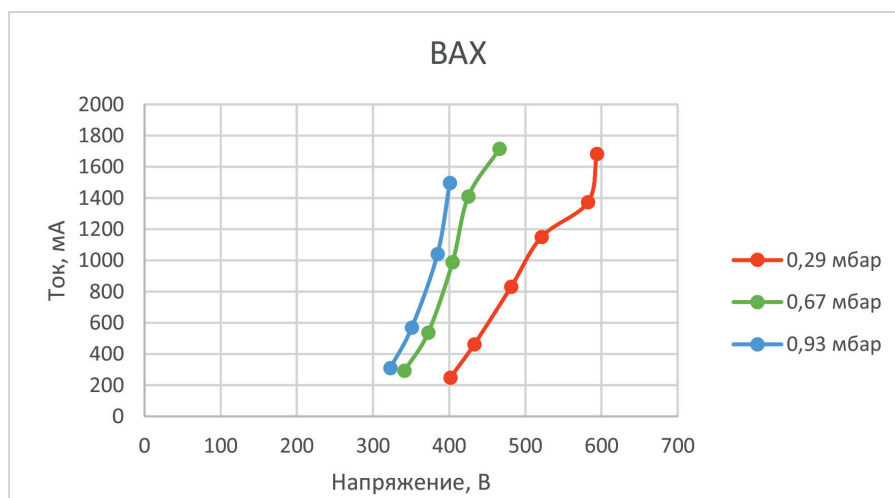


Рис. 3. ВАХ установки MPC-F1-18

никает большое количество заряженных ионов, в связи с этим срабатывает защитный механизм блока питания, и ограничивается величина прикладываемого напряжения. В результате невозможно получить требуемое значение мощности. По мере уменьшения давления значение максимальной достигаемой мощности возрастает: при давлении 0,67 мбар мощность разряда достигает 800 Вт, а при давлении 0,29 мбар – 1000 Вт. При дальнейшем снижении давления наблюдается нестабильное горение разряда из-за малой концентрации рабочего газа и, как следствие, числа ионов. На рис. 4 представлено изображение плазмы НЧ газового разряда в среде аргона при мощности 1000 Вт.

На основании полученных данных составлена зависимость мощности от давления (рис. 5). При давлении больше 1,5 мбар наблюдается переход тлеющего разряда в дуговой, поэтому не рекомендуется выходить за границу этого значения. Стабильный тлеющий разряд горит в диапазоне давлений от  $9 \cdot 10^{-2}$  до 1,5 мбар.

### Заключение

Плазменная обработка является востребованным методом подготов-

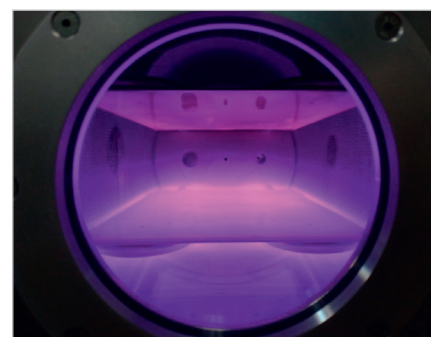


Рис. 4. Плазма НЧ-разряда в среде аргона при мощности 1000 Вт

ки поверхности перед последующей обработкой, позволяющим очищать, активировать и травить поверхность изделия без вреда для окружающей среды и здоровья человека. Серийно выпускаемые российской компанией GN tech установки плазменной обработки MPC полностью удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к оборудованию подобного класса. При выборе установок с повышенной мощностью более 500 Вт, например, модели MPC-F1-18, следует учитывать необходимость водяного охлаждения электродов. Для стабильности процесса обработки крайне желательно обеспечить стабильность параметров охлаждающей воды (температуру и поток), для

чего рекомендуется использовать чиллеры (системы замкнутого водяного охлаждения).

Измерение ВАХ установки показывает, что стабильные технологические режимы реализуются в широком диапазоне давлений от  $9 \cdot 10^{-2}$  до 1,5 мбар. Эти рекомендации предназначены для технологов при отработке параметров технологического процесса и составлении рецептов обработки, а также позволяют сократить количество предварительных экспериментов.

### Литература

1. Лучкин А.Г., Лучкин Г.С. Очистка поверхности подложек для нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами // Вестник Казанского технологического университета. 2012. С. 208–210.
2. Черезова Л.А. Ионно-лучевые методы в оптической технологии: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 151 с.
3. Palmers J. Surface modification using low-pressure plasma technology // Medical Device & Diagnostic Industry Magazine MDDI. – January 2000 SPECIAL SECTION // URL: www.mddionline.com/surface-modification-using-low-pressure-plasma-technology (дата обращения: 06.03.2022).

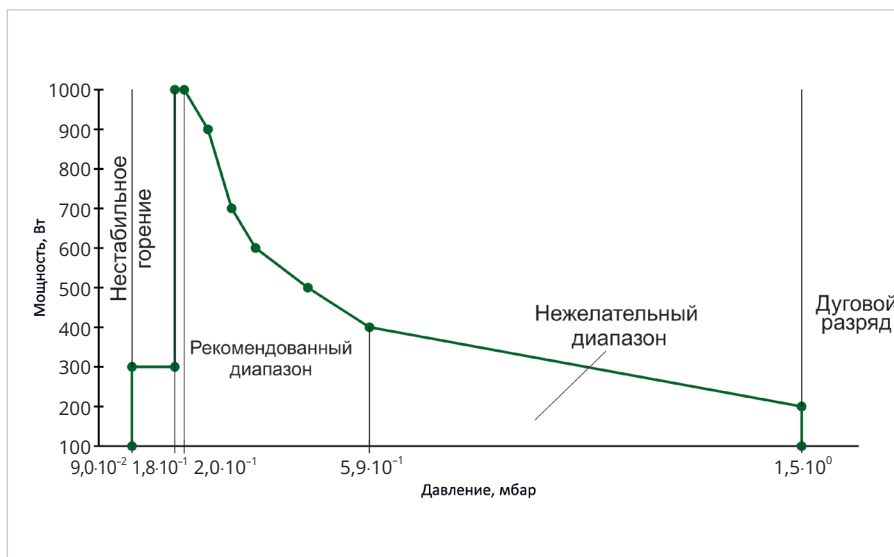


Рис. 5. Зависимость мощности разряда от давления рабочего газа

4. Širvaitienė A., Bekampienė P., Jankauskaitė V. et al. The Effect of Low-Pressure Plasma Treatment Parameters on the Tensile Properties of Vegetable Fiber Reinforced PLA Composites // WULFENIA Journal, Klagenfurt, Austria. Vol 22, No. 5. May 2015.
5. Васильев Д., Моисеев К. Исследование скорости травления различных плёнок в установке плазменной обработки MPC // Технологии в электронной промышленности. 2021. № 6 (130). С. 60–61.
6. Генерация плазмы. Выбор «правильного» решения // URL: https://industryhunter.com/baza-znaniy/generaciya-plazmy-vybor-pravilnogo-resenia (дата обращения: 10.10.2022).
7. Марусин В.В., Щукин В.Г. Влияние частоты поля на особенности плазменной обработки полимеров // Прикладная физика. 2015. № 4. С. 33–38.

## НОВОСТИ МИРА

### В России готовят производство литографических материалов для выпуска микроэлектроники

Минпромторг заказал разработку и освоение производства литографических материалов для микроэлектронного производства, в частности фоторезистов. За эту работу ведомство заплатит 1,1 млрд руб. В числе потребителей этих материалов министерство указывает «Микрон» и «НМ-Тех».

#### Научно-исследовательская работа

Как выяснил CNews, Министерство промышленности заказало научно-исследовательскую работу «Разработка и освоение производства литографических материалов для микроэлектронного производства». На эти цели из бюджета выделено 1,1 млрд руб., следует из ЕИС «Закупки».

Работе присвоен шифр «Фотолиз». Актуальность её обусловлена прекращением поставок фоторезистов и антиотражающих покрытий иностранного производства для изготовления интегральных схем при отсутствии российских разработок и производства аналогичных материалов, отмечается в техническом задании.

Потенциальными потребителями материалов в документе указаны АО «Микрон» и ООО «НМ-Тех». Работы должны быть выполнены до 12 декабря 2025 г.

Тендер в формате открытого конкурса был опубликован 14 февраля 2023 г. Заявки принимаются до 3 марта 2023 г. Итоги будут подведены 9 марта.

#### Какие материалы требуются

В рамках НИР, заказанной Минпромторгом, предполагается создание фоторезистов для использования в процессе фотолитографии с длиной волны актиничного лазерного излучения 248 нм.

В рамках работ предусмотрена разработка и освоение производства фоторезистов, а именно марки ФР248-01, ФР248-02, ФР248-03, ФР248-04, ФР248-05 и двух антиотражающих покрытий, а именно марки ПА248-01 и ПА248-02.

Исполнитель должен проделать не только теоретические и экспериментальные работы, но и провести испытания опытных партий фоторезистов, а также подготовить и освоить их производство. «В процессе выполнения НИР образцы разработанных материалов должны быть переданы предприя-

тиям и получено заключение по уровню параметров и применимости», — отмечается в документах.

#### Фоторезисты в России

Фоторезисты представляют собой разновидность светочувствительных полимеров, которые в процессе изготовления микросхем наносятся на кремниевую пластину. Далее производится экспонирование фоторезиста литографической системой через окна фотошаблонов, с последующим «вытравливанием» дорожек на кремниевом кристалле.

В техпроцессах используются лазерные установки с длиной волны 248 нм или 193 нм. В сочетании со специальными фазосдвигающими фотошаблонами и иммерсионной технологией (погружение в жидкость) такие фоторезисты позволяют формировать узлы чипов до 14 нм.

Для работы с фоторезистами необходимо специальное оборудование. Так, в ноябре 2021 г. CNews писал о том, что в России за 5,7 миллиарда создадут фотолитографическое оборудование для печати процессоров. Работы должны быть выполнены до ноября 2026 г.

## НОВОСТИ МИРА

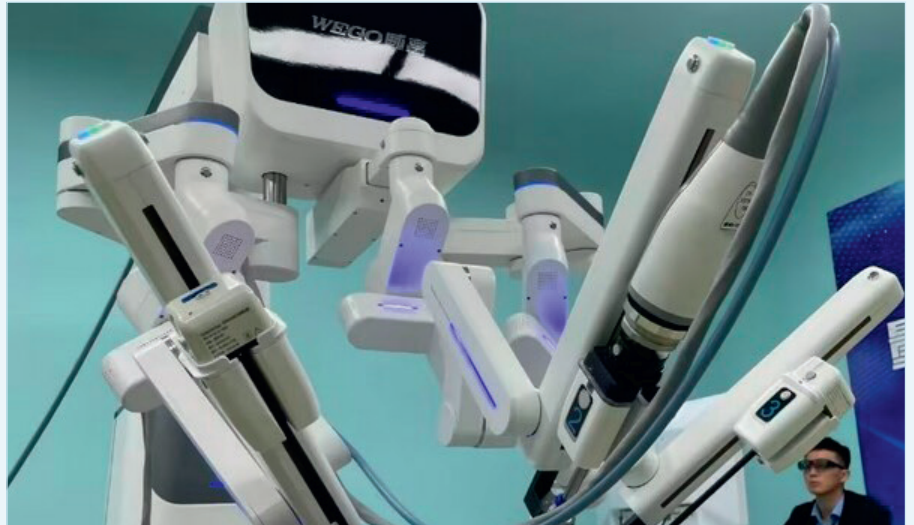
## В КНР разработан аналог американского роботизированного хирургического комплекса Da Vinci

Китайская компания Weigao Group разработала и провела успешные испытания аналога американского роботизированного хирургического комплекса Da Vinci, сообщает в понедельник asia.nikkei.com.

Разработка выполнена благодаря стараниям китайских властей заместить иностранные технологии в медицине, отмечает издание.

По словам представителя Weigao Group, система компании появится в продаже для использования в общей хирургии в июне. В настоящий момент в больницах КНР идут испытания 20 хирургических помощников. Их используют в урологических операциях, в операциях на органах грудной клетки и печени.

Роботы-помощники Weigao Group применяются при лапароскопических операциях (выполняются через небольшие разрезы на теле пациента. – Ред.). Степени свободы инструментов в «руках» аппарата превышают таковые у человеческой кисти. Это значительно повышает точность хирургических манипуляций.



До 2020 года в Китае использовали 189 помощников Da Vinci, они занимали 100% местного рынка.

Китайский разработчик утверждает, что при использовании его продукта применяется не монитор, как у американской системы, а 3D-очки. В результате хирург меньше устаёт. Среди других преимуществ – высокоскоростной стандарт 5G-связи, что позволяет проводить операции дистанционно, а также более низкая цена по

сравнению с конкурентом – 1,97 миллиона долларов против 3,5 миллиона у Da Vinci.

Напомним, в 2018 году в Национальном медико-хирургическом центре им. Н.И. Пирогова впервые в России с успехом была выполнена робот-ассистированная операция с использованием Da Vinci на грудном отделе позвоночника по поводу грыжи межпозвоночного диска с компрессией спинного мозга.

industry-hunter.com

## АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭЛЕКОНД



### оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы

K50-15, K50-17, K50-27, K50-29, K50-37, K50-68, K50-77,  
K50-80, K50-81, K50-83, K50-84, K50-85, K50-86, K50-87,  
K50-88, K50-89, K50-90, K50-91, K50-92, K50-93, K50-94,  
K50-95(чип), K50-96, K50-97(чип), K50-98, K50-99, K50-100,  
K50-101(чип), K50-102, K50-103, K50-104, K50-105, K50-106

### объемно-пористые танталовые конденсаторы

K52-1, K52-1M, K52-1BM, K52-1Б, K52-9, K52-11,  
K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24,  
K52-26(чип), K52-27(чип), K52-28, K52-29, K52-30

### оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы

K53-1A, K53-7, K53-65(чип), K53-66,  
K53-68(чип), K53-69(чип), K53-71(чип),  
K53-72(чип), K53-74(чип), K53-77(чип),  
K53-78(чип), K53-79(чип), K53-80(чип), K53-82

### ионисторы (суперконденсаторы)

K58-26, K58-27, K58-28, K58-29, K58-30, K58-31

### накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов МИК, МИЧ, ИТИ, НЭЭ

## КОНДЕНСАТОРЫ разработка и производство



Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, 3  
Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48, 4-27-53  
e-mail: [elecond-market@elcudm.ru](mailto:elecond-market@elcudm.ru), [www.elecond.ru](http://www.elecond.ru)



Реклама