

Установка обработки плазмой низкого давления MPCOne

Я.Г. Рыбальченко, А.Д. Павленко, Д.Д. Васильев, К.М. Моисеев
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1
e-mail: d.d.vasiliev@bmstu.ru, k.moiseev@bmstu.ru

В работе представлен обзор современных установок для обработки плазмой низкого давления. Обозначена проблема отсутствия установок отечественного производства. Приведено описание и преимущества разработанной отечественной установки MPCOne. Продемонстрированы результаты обработки ее технологических возможностей.

Low pressure plasma treatment system MPCOne. Ya.G. Rybal'chenko, A.D. Pavlenko, D.D. Vasilev, K.M. Moiseev. The paper presents an overview of modern low-pressure plasma processing systems. The problem of the absence of domestic production facilities is indicated. The description and advantages of the developed domestic system MPCOne are given. The results of its technological capabilities testing are demonstrated.

Введение

Во многих областях промышленности и науки требуется высокая чистота поверхности изделия, недостижимая механической обработкой, но достигаемая жидкостной химической обработкой. Недостатком последней является то, что на выходе помимо обработанной заготовки еще образуется продукт реакции, который обычно токсичен и вреден для здоровья человека и окружающей среды. Этот существенный недостаток решается благодаря плазменной обработке [1]. Плазменная обработка применяется во многих отраслях: в производстве полупроводниковых приборов (очистка подложки для нанесения технологических слоев проводника; травление заготовки в процессе изготовления микросхем) [2]; в оптических приборах (очистка поверхности линз телескопов и зеркал, например, зеркал ИТЭР) [3]; в медицине (активация поверхности скальпеля для нанесения антикоррозийного слоя металла; очистка катетеров и дыхательных масок) [4] и других, где требуется очистить или активировать поверхность заготовки, а также в тех случаях, когда следует провести травление.

Обзор установок

Установки плазменной обработки низкого давления в зависимости от области применения существенно отличаются друг от друга как по конструкции, так и по стоимостным, габаритным и эксплуатационным характеристикам. Для мелкосерийных производств и небольших лабораторий наиболее подходящими являются установки плазменной очистки настольного формата. Основными преимуществами данных установок в сравнении с более сложными и габаритными системами являются: невысокая стоимость, компактность размеров, и, как следствие, высокая мобильность, а также размещение вакуумного насоса вне корпуса самой установки, что дает возможность легко использовать его на других установках и исключает паразитные вибрации в рабочей камере. К недостаткам можно отнести невозможность нанесения функциональных или защитных покрытий в одном вакуумном процессе, поскольку необходимо извлекать образец из камеры и, как следствие, подвергать его воздействию атмосферы.

Компактные установки плазменной обработки изготавливаются во многих странах мира. Ведущими производителями являются Германия, США, Китай, Великобритания и Италия (таблица 1).

Конструкционные особенности, функциональность и комплектация настольных установок плазменной обработки низкого давления напрямую зависят от их стоимости.

Системы начального ценового сегмента имеют околонулевую степень автоматизации и ограниченный функционал. В них установлен минимально необходимый для контроля процесса набор ручных датчиков, показания с которых выводятся на стрелочные шкалы или

монохромные дисплеи. Подача газа и мощность тлеющего разряда регулируется оператором вручную с помощью рукояток или бегунков. Также, для недорогих установок характерна упрощенная конструкция дверцы вакуумной камеры без шарниров и направляющих, при которой дверца просто прикладывается к камере, что снижает вес, стоимость и габариты устройства. К недостаткам недорогих систем плазменной обработки можно дополнительно отнести невысокую точность ввода задаваемых параметров, и, как следствие, повышенные требования к оператору установки.

Таблица 1 – Установки низкого давления плазменной обработки настольного типа.

Марка, производитель, страна	Форма камеры, материал	Кол. газов	Объем камеры, л	Интерфейс	Исполнение дверцы	Частота генератора / Мощность, Вт	Изображение установки
CY-P2L, YKY, Китай	П Нержавеющая сталь	2	10,0	Сенсорный экран	На шарнирах	40 кГц/200; 13,56 МГц/ 200	
K1050X, Quorum Technologies, Великобритания	Ц Боросиликатное стекло	2	7,0	Ручное управление	Сдвижная	13,56 МГц/ 100	
Tergeo-plus plasma cleaner, Piescientific, США	Ц Кварц высокой чистоты	1	5,6	Сенсорный экран	Прикладываемая	13,56 МГц/ 150	
EQ-PCE-8, MTI Corp, США	Ц Кварц высокой чистоты	2-4 (опц.)	12,0	Сенсорный экран	На шарнирах	13,56 МГц/ 80; 300 (опц.)	
ION7BPSYS, PVA TePla, США	П Алюминий	1	7,0	Ручное управление и сенсорный экран	На шарнирах	13,56 МГц/ 200; 300 (опц.)	
Plasma Flecto 10, Plasma Technology, Германия	П Нержавеющая сталь	2	11,5	Сенсорный экран	На направляющих рейках	40 кГц / 300	
V10-G, PINKGmbH, Германия	Ц Кварц высокой чистоты	1	10,0	Сенсорный экран	Сдвижная	2,45 ГГц / 600	
Atto, Diener Electronic, Германия	Ц Кварц высокой чистоты	2	10,5	Ручное управление / сенсорный экран / удаленное управление через ПК	Прикладываемая	40 кГц / 200; 13,56 МГц / 50(опц.)	
PJ, AST Products Inc, США	Ц Боросиликатное стекло / кварц высокой чистоты / алюминий	1	8,0	Удаленное управление через ПК	На шарнирах	13,56 МГц/ 300	

PE-75 Venus, Plasma Etch, США	Ц Алюминий	2	14,0	Монохромный дисплей, кнопки	На шарнирах	13,56 МГц/ 400	
Tucano, Gambetti, Италия	Ц Алюминий	1	5,9	Сенсорный экран	На шарнирах	13,56 МГц/ 200	
НРТ-500, Heiniker Plasma, Великобритания	Ц/П Нержавею щая сталь	1/2	15	Сенсорный экран	На шарнирах	50 кГц / 300	
COVANCE, Femto Science, ЮжнаяКорея	Ц/П Кварц высокой чистоты/ нержавею щая сталь	1	6,3	Сенсорный экран, кнопки	На шарнирах	20-100 кГц/ 200 13,56 МГц/ 300(о п ц.)	

Примечание:

- 1) П – параллелепипед; Ц – цилиндр; опц. – опционально
- 2) Рассматривались установки с камерой объемом от 5 до 15 л.

Установки верхнего ценового сегмента представляют собой компьютеризированные машины под управлением специальных программ. Эти системы имеют большее количество датчиков, и управляются с помощью сенсорных дисплеев или удаленно с другого компьютера по кабелю или по беспроводным протоколам. Собственный микропроцессор автоматически контролирует параметры процесса очистки/травления, а встроенная память позволяет программировать и сохранять пользовательские режимы обработки для разных поверхностей.

Многие производители предоставляют покупателям возможность самим подобрать необходимую конфигурацию конкретной установки: тип управления, материал вакуумной камеры, НЧ/ВЧ генератор, возможность подключения к ПК и другое. Вакуумный насос, необходимый для работы установки, в большинстве случаев докупается отдельно.

Установка MPCOne

В Российской Федерации настольные системы плазменной очистки не производятся, однако в последние годы потребность в них среди небольших лабораторий и мелкосерийных производств постоянно растет. Закупка подходящего оборудования за рубежом во многих случаях не является решением из-за многократно завышенной цены иностранных установок вследствие разницы курса валют, таможенных пошлин и стоимости доставки. Кроме того, в случае неполадок в программном обеспечении или выхода из строя компонентов установки, увеличиваются сроки и стоимость настройки и ремонта. В этих условиях на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана была разработана установка обработки изделий в низкочастотной плазме низкого давления MPC One (Multi Plasma Cleaner One) (рис. 1). Основной целью при разработке была оценка возможности создания функциональной технологической установки, превосходящей зарубежные аналоги по соотношению цена/качество, отвечающей современным потребностям научно-исследовательских лабораторий и предприятий.

В результате анализа конструкций существующих установок и решаемых на них задач установка получила функционал, представленный в таблице 2.

Наиболее интересными преимуществами перед зарубежными аналогами обладают следующие системы установки:

- автоматическая система управления с графическим интерфейсом, основанная на надежном и простом в использовании одноплатном компьютере RaspberryPi. Разработанная управляющая программа позволяет проводить процесс в ручном режиме, изменяя все параметры, или в автоматическом, выбрав один из 50 записанных рецептов в памяти, в том числе созданных самим пользователем. Управление установкой осуществляется с помощью сенсорного экрана диагональю 7”;
- автоматическая система подачи рабочих газов на базе ротаметров, обеспечивающая достаточную для решаемых задач точность поддержания расхода и давления, обладающая меньшей стоимостью компонентов по сравнению с регуляторами расхода газа (РРГ), и не уступающих им в надежности.



Рис. 1. Установка для обработки плазмой низкого давления MPC One.

Таблица 2 – Технические характеристики MPC One.

Компонент (характеристика)	Параметр	Значение
Камера	Объем: Размеры: Материал:	13 л 235 x 300 мм Кварц
Генератор	Мощность: Частота:	200 Вт 40 кГц
Газ	Количество газов: Подача газа:	2 Автоматическая
Вакуумный насос	Быстрота действия: Тип насоса: Фильтр масла на выходе Возможность работы с кислородом, аргоном и другими стандартными технологическими газами	> 5 м ³ /ч Пластинчато-роторный Наличие Наличие
Управление	Экран: Кол-во рецептов в памяти:	7,0”, сенсорный, цветной 50 шт.
Энергопотребление	Напряжение: Мощность:	220 В, 50 Гц 1000 Вт
Размеры	Габариты: Масса:	650 x 500 x 330 мм ~ 35 кг

Для оценки технологических возможностей установки MPC One был проведен ряд экспериментов по изучению:

- режимов горения НЧ плазмы установки [5];
- влияния физических и геометрических параметров НЧ установки плазменной обработки на угол смачиваемости стеклянной подложки;

- влияния ВЧ плазмы низкого давления на угол смачивания для материалов: стекло, нержавеющая сталь, полиимид [6].

Так, получены зависимости мощности тлеющего разряда от напряжения, давления рабочего газа и расстояния между электродами (рис. 2). В связи с тем, что одно значение мощности разряда наблюдается при ряде значений напряжения, давления и расстояния между электродами, проведены эксперименты по определению зависимости угла смачиваемости обработанной стеклянной подложки при варьировании расстояния между электродами, времени обработки и такими значениями давления с напряжением, при которых наблюдалось одно значение мощности разряда (рис. 3)

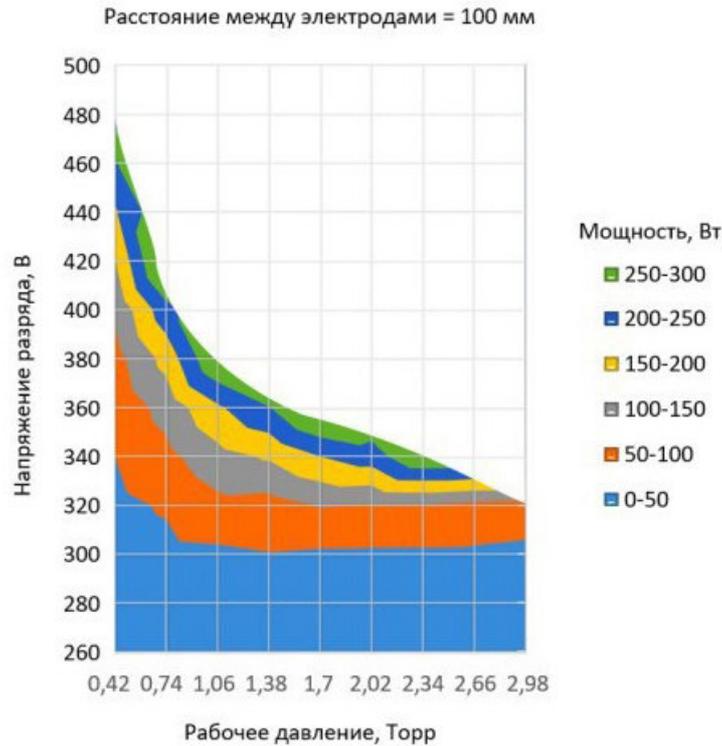


Рис. 2. Зависимость мощности тлеющего разряда от напряжения и давления.

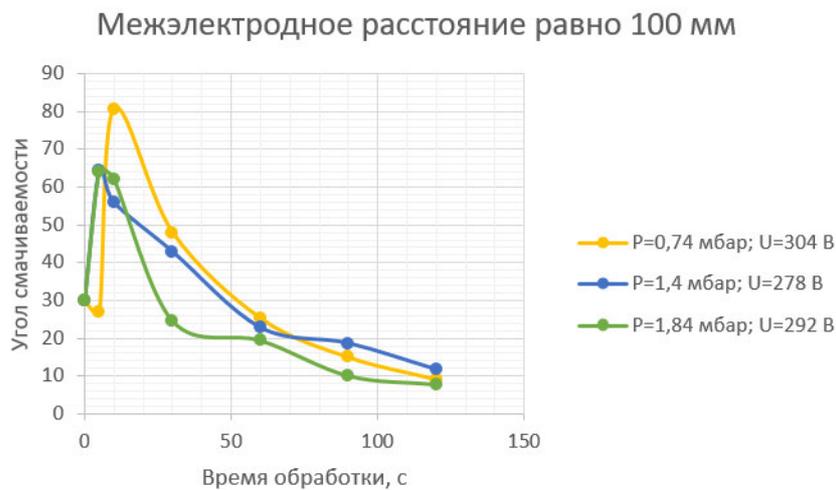


Рис. 3. Зависимость угла смачиваемости от времени обработки и давления инертного газа при постоянной мощности разряда.

Эксперименты свидетельствуют об уменьшении угла смачиваемости за меньшее время при увеличении рабочего давления в камере до 1,84 мбар, и среднем значении межэлектродного расстояния, которое составило 80 мм. Угол смачиваемости уменьшается от 30 град. до постоянного значения 10 град. за 60 сек.

Заключение

Разработанная установка плазменной обработки низкого давления MPCOne по сравнению с зарубежными аналогами имеет в базовой комплектации систему автоматического управления, с цветным сенсорным экраном 7” и автоматическую систему подачи рабочих газов. При этом по предварительной оценке стоимость установки оказывается меньше зарубежных аналогов в минимальной комплектации в среднем на 30%, а по сравнению с установками аналогичной комплектации – на 50%.

Проведенные эксперименты по отработке технологических возможностей установки демонстрируют возможности качественного решения задач, характерных для установок подобного класса.

В будущем планируется расширение линейки версий с ВЧ генератором, а также создание руководства по технологии обработки различных материалов при различных режимах.

Литература

- 1 Anne Širvaitienė, Paulė Bekampienė, Virginija Jankauskaitė, Igoris Prosyčėvas, Gėlė Minkuvienė, Aušra Abraitienė, Danutė Marijona Tumėnienė, Laimutė Stygien. 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. – ISSN:1561-882X.
- 2 А.Г. Лучкин, Г.С. Лучкин. Очистка поверхности подложек для нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами // Вестник казанского технологического университета. – 2012. – С. 208-210.
- 3 Л.А. Черезова. Ионно-лучевые методы в оптической технологии: учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. – 151 с.
- 4 Johan Palmers. Surface modification using low-pressure plasmatechnology // Medical Device&Diagnostic Industry Magazine MDDI. – January 2000 SPECIAL SECTION // URL: www.mddionline.com/surface-modification-using-low-pressure-plasma-technology / (датаобращения 02.08.2018).
- 5 А.Д. Павленко, А.А. Рогожин, Д.Д. Васильев. Изучение технологических возможностей установки низкочастотной обработки изделий в плазме низкого давления MPC. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 3-6 апреля, 2018, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2018. – № гос. регистрации 0321800963. – URL: studvesna.ru?go=articles&id=2376 (дата обращения: 31.07.2018).
- 6 Е.И. Малеванная, Ю.С. Макарова, Д.Д. Васильев, К.М. Моисеев. Оценка влияния ВЧ плазмы низкого давления на активацию поверхности различных материалов на установке MPCONE // Сборник научных трудов XXI Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в промышленности России», XXVIII Международного симпозиума «Тонкие пленки в электронике» и VIII Международной научно-технической конференции «Наноинженерия» / Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – С. 237-240.