

ОЧИСТКА ДЕТАЛЕЙ В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Д.И. Селиверстов, Д.В. Бычков, А.В. Шуманов, И.П. Ли.

АННОТАЦИЯ

Основной задачей данной работы является поиск оптимальных условий инициирования и поддержания в рабочей камере тлеющего разряда, зависящего от множества факторов, таких как состав и концентрация рабочего газа, глубина вакуума в камере, конфигурация обрабатываемых деталей, разность потенциалов между электродами, длительность обработки и др. Оценка степени загрязненности детали проводилась с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД, ПЛАЗМЕННАЯ ОЧИСТКА, АНОДНО-РЕЗОНАТОРНАЯ СИСТЕМА, МИКРОЗАУСЕНЦЫ

CLEANING PARTS IN GLOW DISCHARGE PLASMA

D.I. Seliverstov, D.V. Bychkov, A.V. Shumanov, I.P. Li.

ABSTRACT

The main objective of this work is to find the optimal conditions for initiating and maintaining a glow discharge in the working chamber, which depends on many factors, such as the composition and concentration of the working gas, the depth of the vacuum in the chamber, the configuration of the parts being processed, the potential difference between the electrodes, the duration of the processing, etc. The degree of contamination of the part was assessed using raster electron microscopy (REM).

KEYWORDS

GLOW DISCHARGE, PLASMA CLEANING, ANODE-RESONATOR SYSTEM, MICRO BURRS

ВВЕДЕНИЕ

Электровacuумные приборы СВЧ диапазона широко используются в различных областях, таких, например, как радиолокация, связь, телевидение, медицина, атомная энергетика и многие другие.

Часто встречающейся причиной отказа ЭВП является деградация эмиссионных параметров катодов вследствие их отравления остаточными газами в приборе или воздействия на них продуктов испарения с окружающих КПУ деталей и узлов. Помимо этого, наличие заусенцев (или иных механических дефектов) на поверхности деталей, находящихся под высокой разностью потенциалов, может приводить к искрениям и межэлектродным пробоям, в результате чего продукты испарения, конденсируясь на поверхности конструкций в пространстве взаимодействия приборов, негативно влияют на электрические параметры и срок службы изделий.

Обработка поверхностей деталей ЭВП в плазме тлеющего разряда является наиболее эффективным методом очистки. При этом, помимо удаления остаточных загрязнений, обработка деталей в плазме тлеющего разряда практически не влияет на их геометрические размеры, т.е. данный процесс после детальной проработки и выбора оптимальных режимов может быть использован в производстве приборов СВЧ.

Основными методами очистки деталей, используемыми в производстве приборов, являются: химическая (обезжиривание и травление в специальных растворах) и термическая обработка в вакууме или в среде газообразного водорода. При этом в АО «Плутон» исследования, связанные с модернизацией или с усовершенствованием технологии финишной обработки деталей, например, в плазме тлеющего разряда, - ранее не проводились.

Некоторые преимущества данного направления [1-2]:

- Очистка даже в микроскопических зазорах и просветах;
- Очистка всех поверхностей деталей, в том числе внутренних поверхностей полостей, за одну рабочую операцию;
- Полное удаление продуктов разложения вакуумной откачной системой;
- Удаление даже молекулярных следов материалов;
- Отсутствие необходимости в продувке и удалении растворителей;
- Очень низкие технологические издержки;
- Модификации свойств поверхности, приводящие к созданию на поверхности активных центров адсорбции и адгезии распыленных частиц, а также к упрочнению поверхности.

При очистке поверхности детали в тлеющем разряде ее сорбционные свойства по отношению к парам металла могут сохраняться и после разгерметизации камеры; перед металлизацией такие детали можно хранить на воздухе некоторое время. Не все материалы, например, полимеры, полупроводниковые структуры, нетермостойкие композиции, а также изделия сложной геометрической формы, можно подвергать термообработке из-за их ограниченной термической устойчивости, что, как следствие, приводит к ухудшению свойств их поверхности [3].

Во время процесса плазменной очистки приблизительная температура плазмы составляет около 200 – 250 °С. В случае правильной настройки расстояния и скорости травления достигается температура поверхности детали в диапазоне 70 – 80 °С. Таким образом, эту технологию можно применять для обработки всех распространенных материалов (металлы, керамика, стекло, пластмассы, эластомеры) [4-5].

Основная задача данной работы заключается в подборе оптимальных технологических режимов травления в плазме тлеющего разряда медных ламелей APC с целью удаления остаточных загрязнений и микрозаусенцев.

ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Технологический процесс очистки поверхности ионами тлеющего разряда осуществляется с использованием специальной системы. В ней создаются необходимые условия для реализации физических и технологических процессов в вакууме. Формирование плазмы тлеющего разряда обеспечивается за счет электродной системы в среде рабочего газа – аргона. Техническая система, в которой создается электрический разряд, является основой для ионной обработки материалов. Внутри системы выполняются основные условия обработки:

1. Функционирование тлеющего электрического разряда в вакуумированном пространстве камеры вакуумной установки.
2. Формирование потока ионов плазмы разряда, направленного на обрабатываемую поверхность изделия.
3. Взаимодействие потока ионов с обрабатываемой поверхностью изделия.

Внешний вид технической системы плазменной очистки представлен на рисунке 1. Откачная система установки представляет собой связку механического и турбомолекулярного насосов.

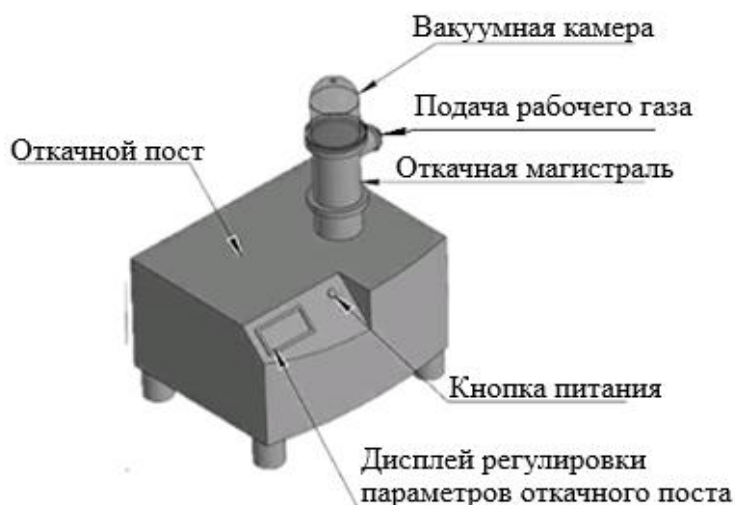


Рис.1. Эскиз технической системы плазменной очистки.

Технологический процесс эксперимента представлен в виде блок-схемы на рисунке 2. Для подбора оптимального режима в качестве опытного образца была выбрана медная пластина. Образец помещался на столик камеры, который является первым электродом, а диск из нержавеющей стали, расположенный параллельно столу, является вторым электродом.

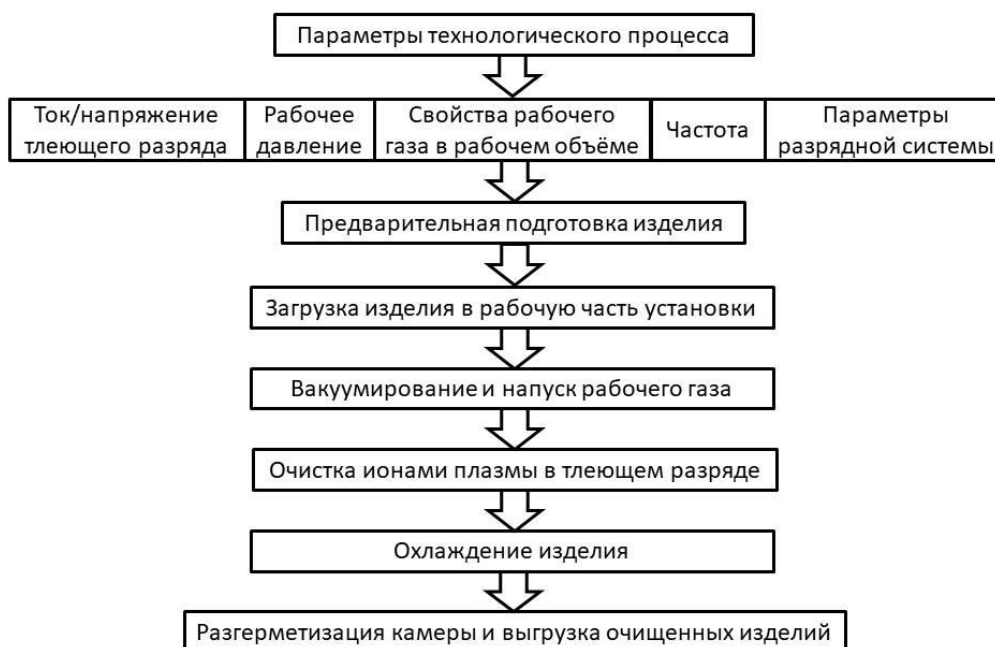


Рис. 2. Структурно-функциональная схема технологического процесса очистки деталей в плазме тлеющего разряда.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс очистки пластины представлен на рисунке 3. В ходе работы были определены примерные режимы обработки поверхности детали.

Основная проблема, с которой пришлось столкнуться во время проведения травления: плазма не всегда зажигалась на поверхности детали, из-за чего чаще всего ионизации подвергался весь электрод, на котором находилась деталь. Ионная очистка поверхности экспериментального образца проводилась после предварительной откачки камеры до $5 \cdot 10^{-3}$ Торр, при давлении в камере с напуском рабочего газа $8,5 \cdot 10^{-1}$ Торр. Время проведения процесса составило 40 минут.



Рис. 3. Процесс очистки детали в плазме тлеющего разряда.

На рисунках 4 и 5 приведены изображения поверхности медной детали до и после обработки в плазме тлеющего разряда, соответственно, полученные при оценке поверхности с помощью микроскопа МБС-10 при увеличении 16х.

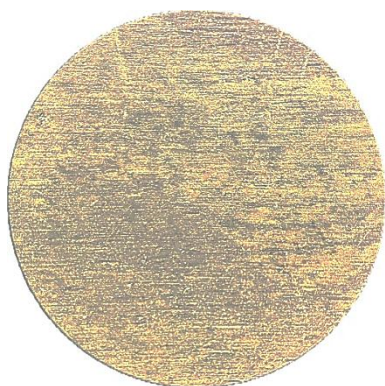


Рис. 4. Поверхность детали до обработки.

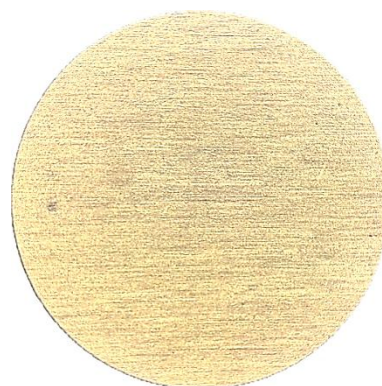


Рис. 5. Поверхность детали после обработки.

Топография и элементный состав поверхности образца до и после обработки, исследованные методом растровой электронной микроскопии, представлены на рисунках 6-8.

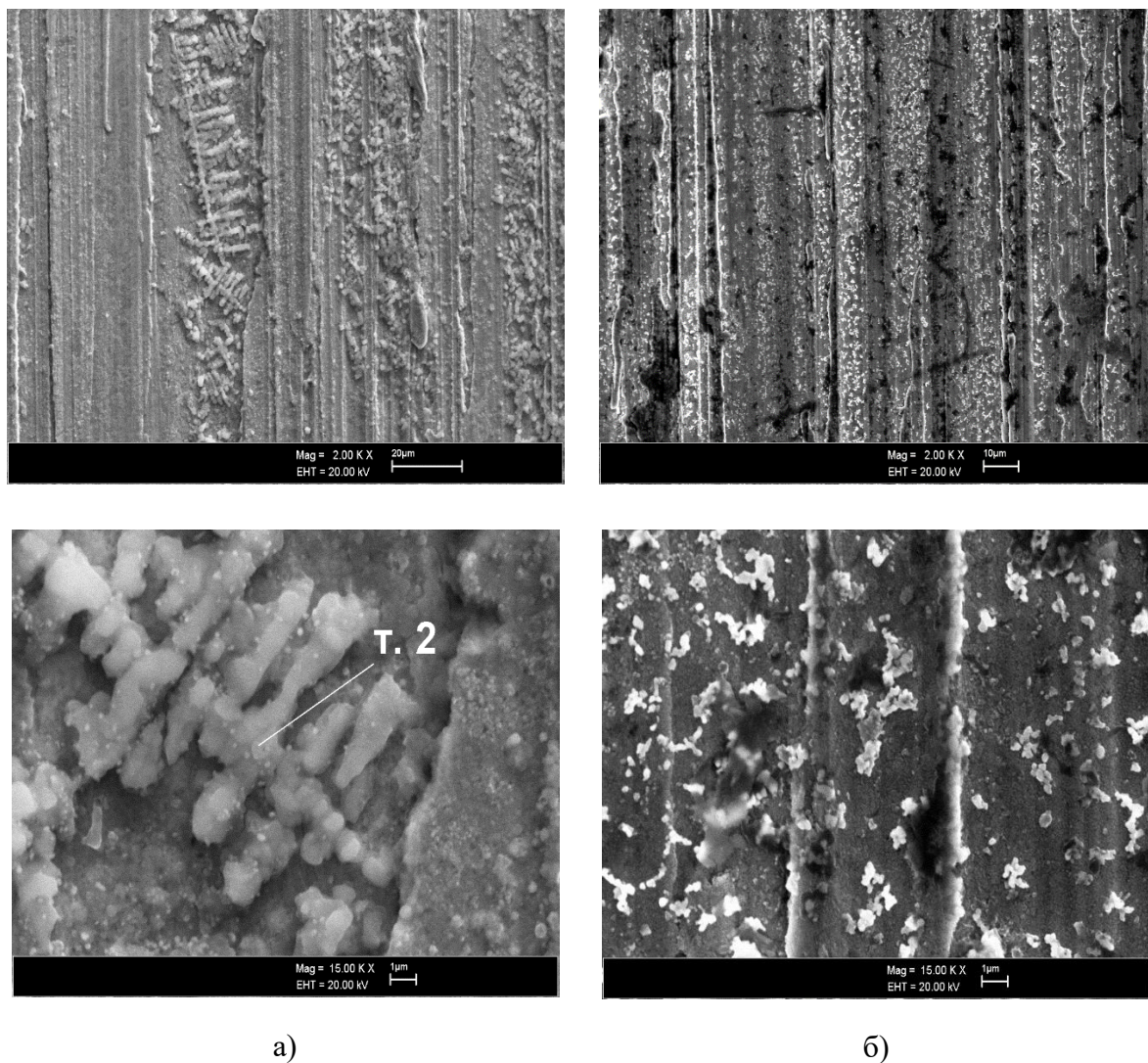


Рис. 6. Поверхность детали при различных увеличениях: а – до обработки, б – после обработки.

Как видно из рисунка 6 (а) поверхность покрыта большим количеством загрязняющих веществ (рис. 7). На рисунке 6 (б) наблюдается значительное уменьшение степени загрязнений, но не полное их отсутствие (рис. 8). Это, вероятно, связано с недостаточным временем проведения процесса. В связи с этим требуется корректировка и отработка технологического режима.

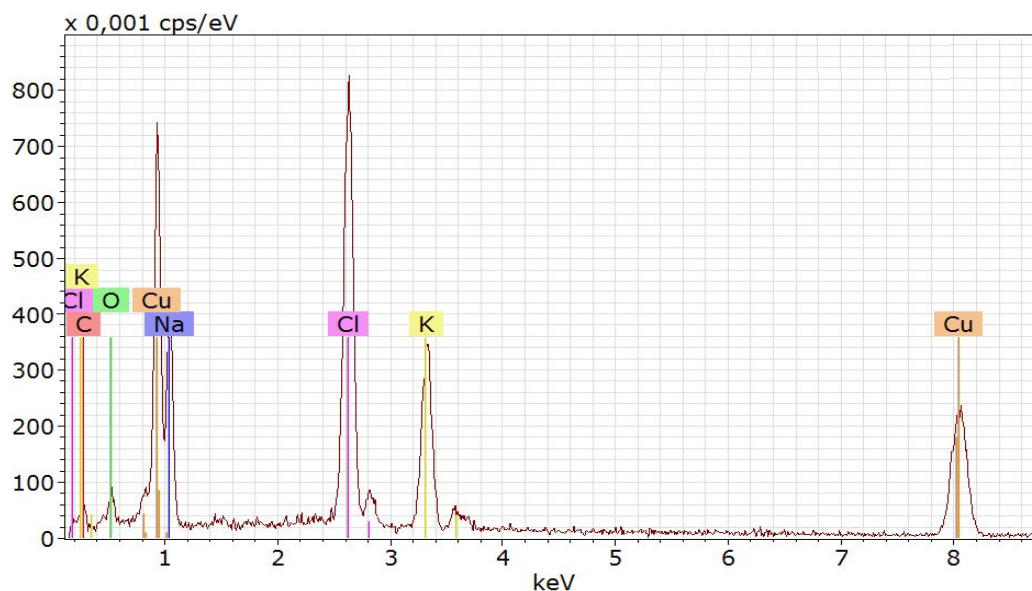


Рис. 7. Элементный состав поверхности детали в точке 2 рисунка ба до обработки.

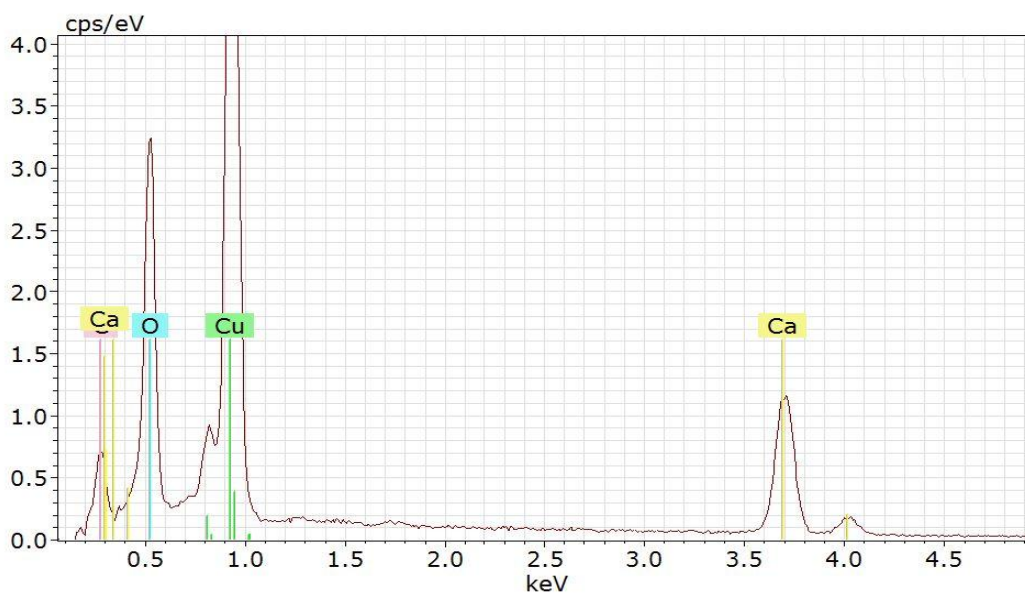


Рис. 8. Элементный состав поверхности детали после обработки.

Для проведения работ по обработке цилиндрической АРС магнетронов будут изготовлены новые электроды в ином исполнении, которые позволят производить обработку цилиндрической АРС (рис. 9). Использование других электродов позволит изменить направление подачи рабочего газа. Внешний вид модифицированной рабочей камеры представлен на рисунке 10, направление газового потока указано стрелками.



Рис. 9. Эскиз технической системы плазменной очистки с новыми электродами.

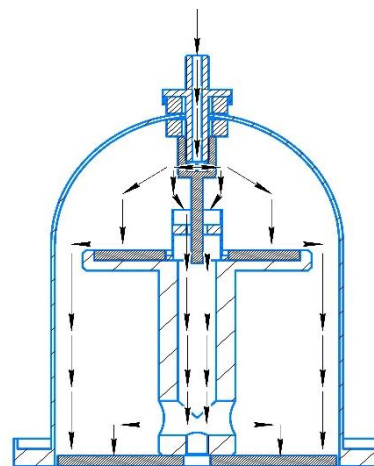


Рис. 10. Характер распределения потока рабочего газа в вакуумной камере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения работы были испытаны режимы технологического процесса обработки поверхности медной пластины с помощью установки плазменной очистки. По полученным результатам были сделаны следующие выводы:

- необходимо изменить место подачи рабочего газа в вакуумную камеру;
- для проведения работ с обработкой отверстий необходимы электроды штыревой конструкции;
- для обработки детали в плазме тлеющего разряда необходимо учитывать основные параметры травления: напряжение, подаваемое на электроды, и силу тока, частоту напряжения, скорость подачи рабочего газа, давление в камере, время обработки. Время обработки является ключевым фактором, который необходимо уменьшать для повышения количества выпускаемых деталей;
- главным критерием оценки эффективности очистки остаётся подробный анализ топографии поверхности с помощью РЭМ.

В настоящее время проводятся работы по совершенствованию технологического процесса, модернизации установки, изготовлению электродов для обработки отверстий, а также написание технологии проверки деталей, обработанных в плазме тлеющего разряда, на адгезию, шероховатость и коррозионную стойкость.

В случае положительных результатов данная методика может быть внедрена в серийное производство ЭВП СВЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. 1. Валиев М.Р., Валиев Р.Р. Очистка поверхности детали в плазме объемного разряда между разными электродами //символ науки. – 2016. – с. 16-18.
2. 2. Холод Д.В., Новикова Д.Г. Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков. – альфа конференция: развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков Москва, 20 ноября 2023 года организаторы: институт развития образования и консалтинга.

3. 3. Лучкин А.Г., Лучкин Г.С. Очистка поверхности подложек для нанесения покрытий вакуумно-плазменными методами //вестник казанского технологического университета. – 2012. – т. 15. – №. 15. – с. 208-210.
4. 4. Кострижицкий А.И. Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме / А.И. Кострижицкий, В.Ф. Карпов, М.П. Кабаниченко и др. – М.: машиностроение, 1991. – 176 с.
5. 5. Технология тонких пленок (справочник) под. Ред. Л.Майссела, Р. Гленга. Нью-Йорк. 1970. Пер. С англ. Под. Ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. Т. 1. М., "сов. Радио", 1977, 664 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Селиверстов Дмитрий Игоревич – инженер – технолог лаборатории изготовления катодов АО «Плутон» (Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11). e-mail: d.seliverstov@pluton.msk.ru

Бычков Даниил Владимирович – начальник лаборатории анализа эмиссионных свойств материалов АО «Плутон» (Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11). e-mail: d.bychkov@pluton.msk.ru

Шуманов Алексей Владимирович – начальник отделения катодно-вакуумных систем АО «Плутон» (Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11). e-mail: a.shumanov@pluton.msk.ru

Ли Илларион Павлович – д. т. н., заместитель генерального директора по научно-технологическому развитию АО «Плутон» (Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11). Идентификаторы автора: РИНЦ: 131649. e-mail: i.li@pluton.msk.ru.