

Модульное плазменное оборудование для научных исследований

Я.О. Желонкин

ООО «ПИ ВИ ЭС», 420022, г. Казань, Ул. Габдуллы Тукая 82, info@plasma-vacuum.com

Представлена отечественная разработка модульного плазменного прибора для обработки материалов в высокочастотном (ВЧ) газовом разряде пониженного давления. Оборудование по назначению является малогабаритной настольной вакуумной установкой для проведения научно-прикладных исследований по влиянию ВЧ плазмы на изменение физико-механических свойств различных по природе материалов для решения технологических задач.

Modular plasma equipment for scientific research, Ya.O. Zhelonkin

Presented domestic development of a modular plasma instrument for processing materials in a high-frequency (HF) gas discharge of reduced pressure. The equipment, as intended, is a small-sized desktop vacuum unit for performing scientific and applied research on the effect of high-frequency plasma on the change in the physico-mechanical properties of materials of different nature to solve technological problems.

Высокочастотная плазма пониженного давления имеет широкое применение в различных технологических процессах, таких как: плазмохимическое и реактивное травление (PE, RIE, ICP Etch), осаждение (PECVD), обработка порошков, пористых материалов, очистка и обеззараживание изделий и инструмента, плазменная полировка, легирование металлов и сплавов, адгезионная активации поверхности полимеров и текстильных материалов и т. д. Среди множества оборудования ВЧ плазменной обработки материалов, представленного на отечественном и мировом рынках, нет малогабаритных, настольных приборов, позволяющих совместить на одной платформе различные технологические процессы и обеспечить возможность оперативной модернизации и переоснащения системы для расширения исследовательских возможностей потенциального потребителя.

Наша компания предлагает настольное модульное плазменное оборудование, собственной разработки, позволяющей реализовать широкий ряд технологий с применением ВЧ разряда на одной платформе. Под платформой понимается модуль, в котором располагаются универсальные для различных плазменных процессов комплектующие систем вакуумной откачки, газоподачи, управления и электропитания. Технологический модуль, представляющий собой вакуумный объем (камеру) для размещения объекта обработки и устройства генерации плазмы (электроды, индукционный источник), конфигурируется по требованиям заказчика. На рисунке 2 представлены схемы некоторых исполнений технологического модуля. Для расширения исследовательских возможностей оборудования предлагается опциональное оснащение аналитическими и диагностическими приставками. В качестве аналитических или диагностических средств могут быть использованы основанные на различных методах приборы, такие как:

- масс-спектрометры для анализа химического состава газовой среды в камере во время процесса;
- оптические спектрометры для бесконтактного анализа параметров газового разряда (состава, концентрации и энергии частиц) по спектру излучения или поглощения;
- анализаторы энергии частиц – устройства, позволяющие определить значение или множество значений энергии частиц плазмы, работающие по принципу отклонения или торможения частицы при различной энергии;
- средства зондовой диагностики плазмы;

- «свидетели» технологического процесса – применение эталонных образцов, с известным изменением свойств в ходе плазменной обработки, которые помещаются вместе с объектом исследования, и относительно которых происходит контроль технологического процесса. Например, контроль изменения светопропускания или электропроводности эталонного образца в ходе его плазменного травления.

Предлагаемое модульное решение исполнения оборудования позволяет оптимизировать расходы на этапах его проектирования и изготовления, а также при модернизации под различные технологические задачи, а также обеспечивает единство технических и метрологических средств обеспечения технологического процесса, и как следствие повышение объективности научно-технических результатов при сравнительном исследовании влияний различных способов генерации ВЧ плазмы на объект исследования. Примером может служить технологический процесс травления пластин микроэлектроники и оптических изделий, который возможно реализовать при различных способах генерации плазмы – в ВЧЕ или ВЧИ разряде, и при различных конструктивных исполнениях вакуумной камеры и внутрикамерных устройств. Модульное плазменное оборудование является гибким и доступным инструментом для научно-прикладных задач и направленно на глобальную задачу динамичного развития исследований в области инновационных материалов.

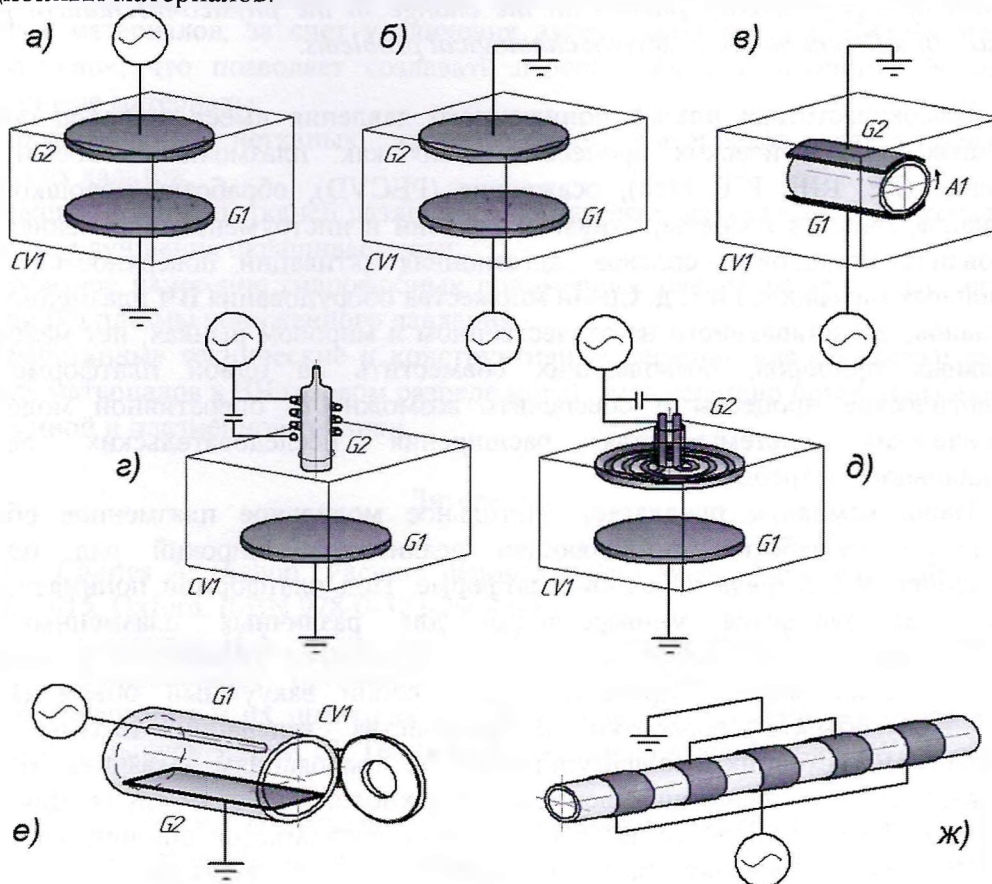


Рисунок 2 - Схемы исполнения технологического модуля:

- а) Плазмохимическое травление (ПХТ/РЕ) - верхний электрод активный, нижний заземлен или под потенциалом смещения;
- б) Реактивное ионное травление (РИТ/RIE) - обратная схема ПХТ;
- в) Система с вращающимся барабаном для обработки сыпучих материалов. Подключение электродов и их конфигурация может варьироваться;
- г) Травление в индукционно-связанной плазме (ИСП/ICP Etch) – с цилиндрическим индуктором;
- д) ИСП с плоской катушкой;
- е) кварцевая камера с керамической антенной для процессов очистки и стерилизации;
- е) схема с кольцевыми электродами для обработки протяженных изделий.

Внешний вид разработанного оборудования представлен на рисунке 1. Технические характеристики представлены в таблице 1.

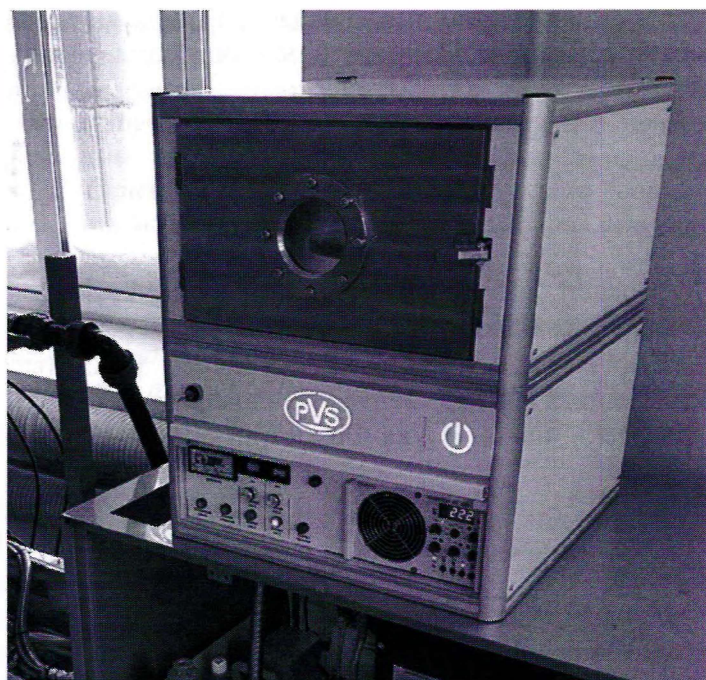


Рисунок 1 – Внешний вид оборудования

Таблица 1 - Технические характеристики оборудования

Параметр	Значение
Габариты Ш x В x Г, мм	600 x 700 x 600
Вес, кг	98,52
Тип исполнения	настольное
Максимальная мощность ВЧ генератора, Вт	600
Частота генератора, МГц	13,56
Предельная потребляемая электрическая мощность, кВт	2,2
Электропитание	220 В, 1 ф., 50 Гц
Предельно остаточное давление в вакуумной камере, Па	0,1
Диапазон рабочих давлений в камере, Па	1-100
Полезный объем вакуумной камеры, л	40
Количество каналов газоподачи, шт.	2 (до 4-х опционально)
Плазмообразующие газы	Аргон, Азот (другие – опционально)

Разработка оборудования проведена в рамках НИОКР по программе «СТАРТ-1» при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям по Договору (Соглашению) №1471ГС1/23456 о предоставлении гранта на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ от 25.07.2016 г. между ООО «ПИ ВИ ЭС» и ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

Проведены испытания оборудования и тестовых технологических процессов, таких как гидрофилизация тканых материалов на основе СВМПЭ (уменьшение значения краевого угла смачивания в 3,62 раза) и плазменное упрочнение осевого металлорежущего

инструмента (ресурс образца сверла 5,0 Р6М5 увеличился в 2,6 раза). При разработке оборудования заложен потенциал для дальнейшего развития линейки приборов на базе созданной платформы. Подана Заявка на полезную модель (№ RU 2017 116 704).

На сегодняшний день опытный образец передан в ФГБОУ ВО «КНИТУ» для проведения опытной эксплуатации для задач учебного и научного процессов. Активное участие в проекте в части разработки и изготовления комплекта полупроводникового генератора с устройством автоматического согласования приняла компания ООО «Плазма-Тех».

Литература

1. P. Chabert and N. St. J. Braithwaite. Physics of radio-frequency plasmas: Cambridge University Press, 2011. - 385 p. ISBN 978-0-521-76300-4
2. Райзер Ю.П., Шнейдер М.Н., Яценко Н.А. Высокочастотный емкостной разряд: Физика. Техника эксперимента. Приложения: Учеб. Пособие: Для вузов. – М.: Изд-во Моск. физ.-техн. ин-та; Наука-Физматлит, 1995. – 320 с. ISBN 5-7417-006-3 / ISBN 5-02-015184-X
3. ВЧ- и СВЧ-плазматроны / С.В. Дресвин, А.А. Бобров, В.М. Лелёвкин и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 319 с. ISBN 5-02-029692-9
4. Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. М.: Техносфера, 2007. – 176 с. ISBN 978-5-94836-134-5