

# СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПЛЕНОК И ОТЖИГА МАТЕРИАЛОВ

**НИИ** Точного Машиностроения (НИИТМ) специализируется на разработке вакуумного оборудования для нанесения тонких пленок, плазмохимического травления, ионной имплантации приповерхностных слоев, стимулированного плазмой газофазного осаждения (Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition – PE CVD), а также физико-термического оборудования для осуществления процессов диффузии, окисления и отжига, в том числе быстрого термического.

Приоритетное направление деятельности НИИТМ – разработка оборудования для реализации новых технологических процессов в нанoeлектронике, микромеханике, для синтеза наноматериалов. Предприятие разрабатывает и изготавливает экспериментальное и опытно-промышленное оборудование для микроэлектронного производства, научных исследований и учебных процессов.

## НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ НИИТМ:

### Четырехпозиционная вакуумная установка нанесения магнетронным распылением многослойных и многокомпонентных пленок

Установка (рис.1) обеспечивает проведение различных процессов нанесения пленок толщиной 0,1–5 мкм на подложки диаметром 60–200 мм, а также на квадратные или прямоугольные с линейными размерами 30–200 мм.

Установка имеет четыре рабочих позиции:

- Шлюзование и нагрев.
- Ионная очистка поверхности подложек.
- Магнетронное распыление материалов из трех мишеней малого диаметра.
- Магнетронное распыление материалов из одной мишени большого диаметра.

Первая позиция включает два нагревателя на основе двух инфракрасных ламп, мощностью 1 кВт каждая. Для фокусировки теплового потока на подложки нагреватели снабже-

ны охлаждаемыми отражателями света. Вращение подложек обеспечивает их равномерный нагрев до 200–400°C.

Вторая позиция содержит ионный источник с выходным соплом эллипсовидной формы, смещенным относительно



Рис.1 Общий вид установки



Рис.2 Приспособление для ионной очистки

оси вращения подложек, что обеспечивает равномерную ионную бомбардировку их поверхности (рис.2). Периодический бесконтактный контроль температуры подложек осуществляется с использованием пирометра через смотровое стекло. (Температуры может контролироваться как после нагрева подложек – первая позиция, так и после их ионной обработки – вторая позиция).

Третья позиция – включает три магнетрона с мишенями диаметром 100 мм. Магнетроны соединены с индивидуальными источниками питания на постоянном токе мощностью до трех киловатт каждый. Позиция снабжена поворотной (съёмной) заслонкой, предназначенной для экранирования в процессе работы двух из трех мишеней (рис.3).

Конструкция обеспечивает несколько режимов функционирования магнетронов:

- *Тренировка мишеней* (очистка поверхности) – заслонка периодически поворачивается на 120°, открывая поверхность только одной мишени\_ последовательная очистка поверхности мишеней перед напылением пленок на подложки.

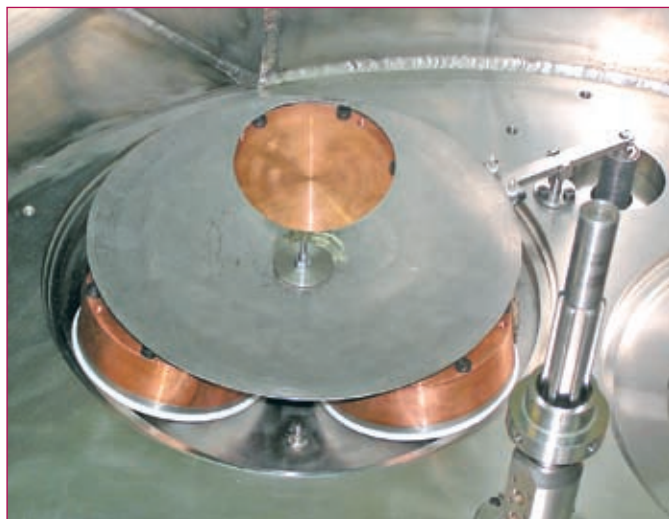


Рис.3 Магнетроны с заслонкой

- *Напыление многослойных пленок* – с помощью заслонки периодически открываются последовательно одна из выполненных из разных материалов мишеней. Изменяя время и подаваемую на каждую мишень мощность распыления можно регулировать толщину слоев пленок.
- *Напыление многокомпонентных (трех или двухкомпонентных) пленок* – заслонка снимается, распыление ведется одновременно с трех мишеней из разных материалов. Регулированием подаваемой на каждую мишень мощности изменяется содержание компонентов материала в осаждаемой пленке.
- *Напыления однокомпонентных пленок* – на магнетронах размещаются мишени из одного материала. Заслонка снимается. Осуществляется одновременное распыление трех мишеней при суммарной мощности до 9 кВт.

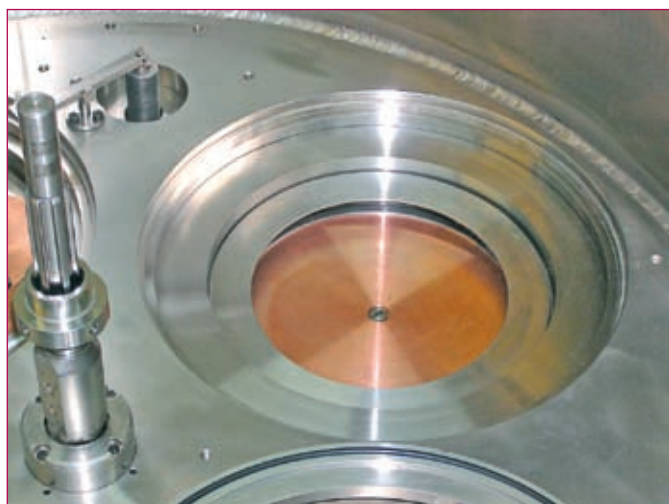


Рис.4 Магнетрон с одной мишенью

На всех режимах для обеспечения равномерности пленок по толщине осуществляется вращение подложек над поверхностью мишеней.

Четвертая позиция снабжена магнетроном с одной мишенью диаметром 210 мм (рис.4), на которую для распыления подается мощность до 9 кВт. Толщина мишени может составлять 5–15 мм. Для повышения коэффициента использования материала предусмотрено вращение магнитной системы на постоянных магнитах, размещенной с нераспыляемой стороны мишени

В третьей или четвертой позициях могут быть размещены другие магнетроны, например, с высокочастотным питанием для распыления диэлектрических материалов, или источники испарения материалов, например, электронно-лучевые испарители.

Вакуумная система установки выполнена полностью на основе безмасляных средств откачки с использованием импортных турбомолекулярного (криогенного) и форвакуумного (сухого) насосов.



Рис.5 Дисплей системы управления

Газовая система снабжена несколькими каналами подачи инертного и активного газов с контролем расхода каждого из них (при реактивных процессах нанесения пленок). Дополнительно для контроля газовой среды в рабочей камере до и в процессе нанесения пленок установка снабжена квадрупольным масс – спектрометром с индивидуальной откачной системой.

Для управления установкой используется импортный промышленный контроллер и персональный компьютер (рис.5). Программное обеспечение позволяет контролировать все технологические и машинные параметры, а также проводить диагностику отклонений от них. (база текущих данных, характеризующая стабильность работы установки). Для визуального контроля информация выводится на дисплей.

### “Отжиг ТМ–4” – электропечь для термической обработки изделий и материалов в газовых средах

Горизонтальная печь резистивного нагрева предназначена для автоматизированной термической обработки (сушка, отжиг, осаждение пленок из газовой фазы) при нормальном давлении в контролируемой среде рабочих газов (рис.6).

Однореакторная, трехсекционная электропечь автоматизирована на всех операциях термообработки с управлением стадиями процесса от микропроцессорной системы с контролем параметров.

Загрузка и выгрузка обрабатываемых изделий и материалов – ручная.

Имеется двухканальная газовая система с регуляторами давления и расхода газа (например, азота и водорода).

#### Устройство электропечи

- Горизонтальная нагревательная камера закреплена на приборном основании, имеет трехсекционный спиральный нагреватель с платиновой термопарой в каждой секции.
- Внутри нагревателя установлен кварцевый реактор, имеющий притертую пробку для герметичного запираания перед началом техпроцесса.

- Подача газов производится через штуцер, расположенный около входного фланца реактора.
- Сброс газа производится через два штуцера, расположенные сверху и внизу хвостовой части реактора. Штуцеры подключаются к линии сброса газа через специальный клапан.
- Энергоподводки – сеть 3-х фазная 380 В; вода – водопроводная, расход не менее 0,4 м<sup>3</sup>/час; вытяжная вентиляция производительностью не менее 100 м<sup>3</sup>/час.

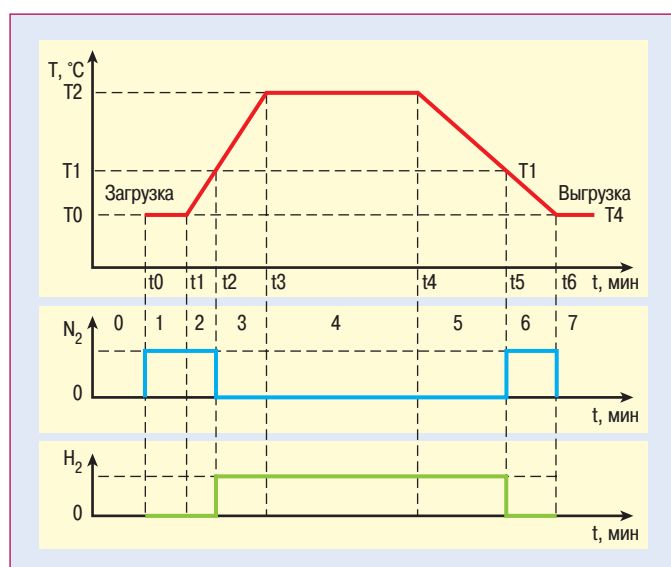
#### Особенности

- Управление скоростью нагрева и охлаждения реактора.
- Раздельный сброс тяжелых и легких газов из реактора (сокращение времени замещения рабочего газа продувочным и наоборот).
- Встраивается в “чистую комнату”.
- Технические характеристики*
- Режим работы – полуавтоматический.
- Внутренний диаметр кварцевого реактора – 150 мм.
- Длина рабочей зоны реактора – 800 мм.
- Диапазон рабочих температур – 150–1100°С.
- Неравномерность распределения температуры по длине рабочей зоны при 300–1100°С – не более ±2°С.
- Нестабильность поддержания температуры в любой точке рабочей зоны при 300–1100°С – не хуже 1,5°С.
- Расход газа (линия I) (N<sub>2</sub>) – 540 л/час.
- Расход газа (линия II) (H<sub>2</sub>) – 90 л/час.
- Время разогрева до T<sub>макс.</sub> = 1100°С – не более 25 мин.
- Потребляемая мощность, макс. (режим разогрева) – не более 20 кВт.

Работа электропечи автоматизирована микропроцессорной системой управления на базе компьютера с тремя ре-



Рис.6 Горизонтальная печь резистивного нагрева



**Рис.7** Циклограмма:  $T_0$ ,  $T_4$  – максимально допустимые температуры загрузки и выгрузки из реактора (могут совпадать);  $T_1$ ,  $T_3$  – температуры начала и окончания продувки  $H_2$  (могут совпадать);  $T_2$  – температура интервала отжига;  $t_0$  – пуск, начало технологического цикла;  $t_1$  – включение подъема температуры;  $t_2$  – начало продувки  $N_2$ ;  $t_3$  – начало интервала отжига;  $t_4$  – окончание интервала отжига и отключение нагрева;  $t_5$  – переход на продувку  $N_2$ ;  $t_6$  – окончание технологического цикла (конец техпроцесса и разрешение выгрузки и последующей загрузки реактора);  $(t_1-t_0)$  – предварительная продувка  $N_2$ ;  $(t_2-t_0)$  – продувка  $N_2$ ;  $(t_6-t_5)$  – продувка  $N_2$ ;  $(t_5-t_2)$  – продувка  $H_2$

гуляторами-контроллерами ИТР2523 и измерителем расхода газа ИТ2512.

*Функции системы управления:*

- обеспечение работы в реальном времени по заданной циклограмме с выдачей звукового сигнала об окончании технологического цикла;
- обеспечение блокировок с отключением электропитания нагревателя при перегреве в любой из секций;
- подача звукового и светового сигнала, переход на специальные интервалы типа "АВАРИЯ", включающие действия во избежание аварийной ситуации (перегрев, отсутствие протока воды в системе охлаждения камеры, отклонение давления в магистралях рабочих газов, отключение вытяжной вентиляции);
- допусковой контроль температуры, расхода газов и давления на входах магистралей подачи рабочих газов;
- обеспечение визуального контроля работы электропечи по динамической мнемосхеме;
- запись диагностических сообщений.
- температура и время техпроцесса задаются технологом и выполняются системой управления в автоматическом режиме. (Его запуск осуществляется оператором после загрузки и закрытия реактора).

Пример циклограммы приведен на рис.7.

О моменте окончания техпроцесса исполнитель информируется звуковой и световой сигнализацией. 