

# НАПЫЛИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ

Многослойные покрытия, широко применяемые при производстве изделий электронной техники, целесообразно наносить на подложку за один технологический цикл. В результате не только повышается производительность процесса, но и снижается плотность дефектов в слоях, что позволяет значительно улучшить межслойную адгезию и исключить расслоение структуры при дальнейших операциях. Эти задачи могут быть успешно решены с помощью разработанных и серийно выпускаемых ООО "ЭСТО-Вакуум" новых полностью автоматизированных установок вакуумного напыления с возможностями комбинирования средств нанесения и травления покрытий.

Вакуумные напылительные установки ООО "ЭСТО-Вакуум" – Каролина Д-12А, Каролина Д-12Б и Каролина Д-12В характеризуются общим конструктивным решением и максимальной унификацией узлов и деталей. Все установки имеют одинаковую откачную базу. Отличительная их особенность – наличие автономной системы охлаждения, которая заливается дистиллированной водой и охлаждается через герметичный теплообменник оборотной водой предприятия. Различаются они компоновкой рабочей камеры: в установке Каролина Д-12А подложки располагаются на горизонтальной карусели, а в установках Каролина Д-12Б и Д-12В – на вертикальном барабане.

## УСТАНОВКА КАРОЛИНА Д-12А

Каролина Д-12А – вакуумная напылительная система, состоящая из вакуумного поста и стойки управления (рис.1). Предназначена для проведения исследовательских работ в области осаждения тонких пленок и для мелко- и среднесерийного производства. Она пригодна для магнетронного и (или) термического напыления пленок на керамические, кремниевые и другие подложки диаметром до 100 мм.



Рис.1. Установка Каролина Д-12А

Горизонтальная компоновка камеры размещения подложек позволила совместить магнетронное нанесение с термическим испарением, что важно для технологии ряда изделий.

В традиционный вакуумный пост установки входят рабочая камера и система откачки, включающая двухступенчатый агрегат типа АВР-50, вынесенный за установку, и



Е.Берлин, Л.Сейдман

криогенный насос типа Криоторр-8 со скоростью откачки 1500 л/с по азоту и 4000 л/с по воде. Предельное давление, достигаемое в рабочей камере, –  $5 \cdot 10^{-5}$  Па.

Рабочая камера установки (рис.2) содержит полный набор устройств, необходимых для решения различных исследовательских и технологических задач. В зависимости от выбранной комплектации в набор входят от одного до четырех магнетронных источников, один-два термических испарителя, устройство плазменной очистки подложек, карусель для позиционирования подложек и нагреватель подложек. Рассмотрим эти узлы подробнее.



Рис.2. Рабочая камера установки Каролина Д-12А

На горизонтальном диске карусели диаметром 480 мм можно разместить до 12 полупроводниковых пластин диаметром 100 мм или 24 ситалловые подложки размером 48x60 мм. Карусель электрически изолирована от корпуса установки. Электрический вывод подачи на подложки постоянного отрицательного или импульсного напряжения смещения выведен наружу. На карусели установлен и держатель датчика сопротивления (свидетеля), контакты которого через коллектор также выведены наружу. Привод, установленный сверху на колпаке рабочей камеры, обеспечивает вращение загруженной карусели с регулируемой скоростью 0–20 оборотов/мин. С помощью отдельных приводов можно управлять и положением заслонок (открыта или закрыта), назначение которых – очистка мишени любого магнетрона перед напылением или очистка навески термического испарителя путем предварительного испарения.

Для нанесения за один цикл нескольких слоев различных материалов под каруселью располагаются магнетроны с круглыми горизонтальными мишенями диаметром 100 мм (рис.3). Мишень удерживается на охлаждаемом водой основании прижимной рамкой, над которой расположен изолированный от корпуса установки анод магнетрона. Весь катодный узел окружен защитным экраном.

Кроме магнетронов под каруселью находится устройство плазменной очистки. С его помощью проводится предварительная очистка подложек бомбардировкой ионами кислорода



Рис.3. Магнетрон установки Каролина Д-12А



(или любого другого рабочего газа). Эта операция обычно занимает 3 мин. Устройство очистки подключено к генератору высокой частоты (13,56 МГц) с максимальной мощностью 1 кВА.

Перед нанесением пленок подложки нагреваются излучением резистивного нагревателя мощностью 2,5 кВт до заданной по технологии температуры (максимальная 300°C). Температура измеряется с точностью  $\pm 5\%$  с помощью платинового резистивного датчика, установленного на карусели.

Технологические газы (аргон, азот и кислород) подаются в камеру через газораспределительную систему, выполненную из нержавеющей стали. Поток газов независимо автоматически контролируется трехканальными регуляторами расхода газов на базе РРГ-9 с запорными клапанами. Расход рабочего газа регулируется в диапазоне 0–0,1 Вт.

*Стойка питания и управления* установки располагается слева от вакуумного поста, вплотную к нему (см. рис. 1). В нее входят все блоки управления установкой, в том числе импульсный блок питания магнетронов на средние частоты типа EL разработки фирмы "ЭСТО-Эл". Блок содержит бестрансформаторный преобразователь тока промышленной частоты в импульсы с частотой до 40 кГц, схему стабилизации тока, мощности или напряжения разряда (по выбору), устройство дугогашения, а также средства защиты от короткого замыкания и перекоса фаз. Максимальная мощность блока питания составляет 6 кВт, ток — до 10 А. Значение выходного напряжения блока питания магнетрона достаточно, чтобы гарантировать его работу с любым типом мишени и реактивного газа. Блок питания незаменим при нанесении диэлектрических слоев методом реактивного магнетронного распыления.

По выбору технолога процесс нанесения покрытия может либо заканчиваться в автоматическом режиме, либо по достижении заданного времени напыления, либо после напыления на свидетеля слоя (только первого) заданного сопротивления. Процесс управляется в программируемом автоматическом режиме. Поскольку датчик сопротивления напыляемой пленки при каждом обороте вращающейся карусели попадает в зону плазмы работающего магнетрона, значение измеряемого сопротивления временно искажается. Чтобы исключить такое искажение показаний свидетеля, на приводе вращения карусели наверху рабочей камеры устанавливается датчик положения свидетеля относительно магнетрона (датчик стробирования). Схема измерения сопротивления свидетеля по команде датчика положения считывает информацию только тогда, когда свидетель находится за пределами зоны плазмы магнетрона. Измеренное значение сопротивления запоминается и воспроизводится цифровым индикатором, при каждом обороте карусели показания обновляются. Диапазон контроля сопротивления свидетеля 0,2–20 кОм с точностью  $\pm 3\%$ .

Управление трехканальной прецизионной системой газонапуска производится в автоматическом режиме согласно технологической программе.

*Система питания.* Блок питания нагревателя подложек и контроля их нагрева обеспечивает контроль заданного и фактического значений температуры (в диапазоне 50–300°C с точностью  $\pm 5^\circ\text{C}$ ), выводимых на экран дисплея установки, а также плавную подачу напряжения на нагреватель, стабилизацию температуры изделий и отключение системы нагрева изделий при отсутствии вакуума или охлаждающей воды. В стойке управления предусмотрен блок подачи на подложку во время нанесения пленки напряжения смещения, постоянного отрица-

тельного или импульсного с частотой 100 кГц или 13,56 МГц. Мощность импульсного генератора смещения 1 кВА.

Производительность установки – не менее четырех процессов нанесения покрытия в смену. Мощность, потребляемая установкой от сети питания, не превышает 15 кВА.

**УСТАНОВКА КАРОЛИНА D-12B**

Откачной пост этой установки аналогичен посту Каролины D-12A, но компоновка вакуумной камеры – вертикальная (рис.4, 5). Такая компоновка и применение барабанного держателя подложек позволили значительно увеличить производительность установки. В результате за один цикл можно обрабатывать до 39 круглых подложек диаметром 100 мм или до 111 прямоугольных диэлектрических подложек размером 60x48 мм. Для удобства смены подложек на барабане в боковой стенке камеры предусмотрена загрузочная дверь. Кроме того, вертикальная компоновка установки позволила смонтировать протяженный ионный источник (рис.6) и увеличить максимальное число магнетронов в установке до восьми. Магнетроны размещаются внутри и снаружи цилиндрического барабана, благодаря чему удается напылять покрытие одновременно с двух сторон подложки. Магнетроны, расположенные снаружи барабана, смонтированы на открывающихся дверях, что значительно облегчает замену их мишеней. Размер мишени магнетронов 440x100x(6–15) мм (рис.7).



**Рис.4. Установка Каролина D-12B**

В вариант установки с максимальной комплектацией входят два комплекта блоков питания магнетронов, блок питания ионного источника и блок подачи смещения (постоянного или импульсного) на барабан-подложкодержатель. По требованию заказчика предусмотрено применение планетарного механизма вращения цилиндрических подложек (ось вращения – вертикальная) диаметром до 100 мм.

Перед нанесением пленок подложки нагреваются излучением двух нагревателей до температуры 300°С. Нагреватели состоят из двух отражателей, на которых смонтированы протяженные ТЭНы мощностью 2,5 кВт каждый.

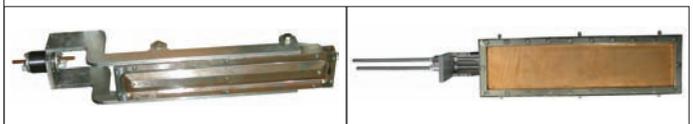
**УСТАНОВКА КАРОЛИНА D-12B**

Эта установка создана на основе системы Каролина D-12B и предназначена для применения в особо чистых производствах. Для этого Каролина D-12B снабжена специальной плоской панелью, отделяющей чистую комнату от помещения, в котором размещается собственно установка. Вакуумная камера имеет прямоугольную дверь большого размера для удобства загрузки-выгрузки носителей. В чистую комнату открывается только загрузочная дверь. На панели крепится дублирующий дисплей системы управления работой установки. Таким образом, Каролина D-12B может управляться как из чистой комнаты, так и из менее чистого производственного помещения.



**Рис.5. Рабочая камера установки Каролина D-12B**

Магнетроны увеличенных габаритов (размер мишени 749x100x(6–15) мм) расположены только внутри цилиндрического барабана (четыре позиции). В связи с этим в установку можно загрузить значительно больше подложек, чем в Каролину D-12B – 48 подложек диаметром 150 мм или 90–108 подложек диаметром 100 мм.



**Рис.6. Протяженный магнетрон установки Каролина D-12B**

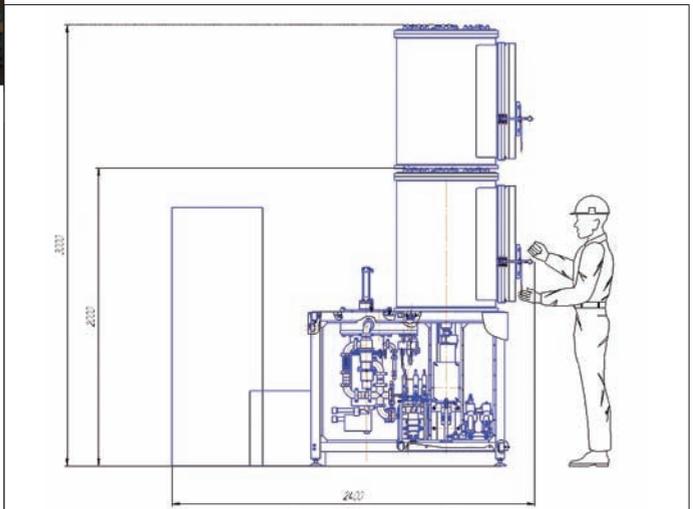
**Рис.7. Протяженный ионный источник установки Каролина D-12B**

Установка поставляется с двойным комплектом подложкодержателей. Поэтому ее полная перезагрузка занимает не более 2 минут.

При техническом обслуживании (замене мишеней магнетронов, внутрикамерной оснастке, чистке экранов и т.п.) ниша двери перекрывается специальным экраном, и камера с помощью гидropодъемника поднимается над основанием на 3 м от пола и затем опускается на исходную высоту в удобное для обслуживания положение. Крышка камеры также съемная. Полная разборка и сборка внутрикамерного устройства у обученного персонала занимает не более 1 часа.

Скорость напыления алюминия на вращающийся барабан при одном работающем магнетроне мощностью 18 кВА – не менее 7 мкм/ч. С учетом откачки и остывания длительность цикла составляет примерно 2–2,5 часа.

На рис.8 представлена боковая проекция установки с "оператором" ростом 180 см, находящимся в чистой зоне.



**Рис.8. Боковая проекция установки Каролина D-12B**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МАГНЕТРОННЫХ УСТАНОВОК**

Рассмотренные установки магнетронного напыления использовались при производстве гибридных ИС для нанесения в одном вакуумном процессе резистивных материалов типа РС-5406 или РС-3710 [1] и защитного слоя титана. Нанесение слоя с поверхностным сопротивлением 20–1000 Ом/кв занимало 2–25 мин. при токе разряда 0,8–2 А. Разброс значений удельного сопротивления пленок в одной партии обычно не превышал 3%.

На этих установках формировались и системы металлизации ГИС, для чего на подложку наносились чередующиеся слои различных металлов, например ванадия, меди и хрома [2]. Скорость нанесения меди составляла 8 мкм/ч.

Установки семейства Каролина D-12х хорошо себя показали и при проведении более сложных процессов, таких как реактивное нанесение пленок окислов и нитридов [3,4]. Особенно часто установки Каролина D-12B и D-12B использовались для нанесения чередующихся слоев оксида и нитрида кремния методом реактивного магнетронного напыления, при котором кремниевая мишень распылялась в смеси



аргона и реактивного газа (азота или кислорода). Этот метод позволял наносить на движущиеся подложки слои указанных химических соединений с достаточно большой скоростью – до 2 мкм/ч.

ООО "ЭСТО-Вакуум" разработаны и серийно выпускаются вакуумные напылительные установки для нанесения слоев металлов, резистивных сплавов, диэлектриков и их многослойных комбинаций в едином вакуумном цикле. Комплектация установок зависит от требований заказчика. Установки оснащены необходимым числом магнетронных источников; плазменным устройством или ионным источником для очистки поверхности подложек; нагревателем подложек; вращающейся каруселью или барабаном для крепления подложек. Установки показали свою технологическую универсальность и сегодня успешно эксплуатируются на многих российских предприятиях электронной промышленности.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. **Кондратов Н.М.** Резистивные материалы. – Обзоры по электронной технике. Сер. Материалы, 1979, вып.4, с.36.
2. **Берлин Е.В., Сейдман Л.А.** Установка для магнетронного нанесения многослойных покрытий. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2003, №7, с.58–60.
3. **Сейдман Л.А.** Способы управления процессом реактивного магнетронного распыления с помощью вольтамперных характеристик разряда. – Труды постоянно действующего семинара "Электровакуумная техника и технология"/под ред. А.В.Горина. – Москва, 1999. – 168 с.
4. **Берлин Е.В., Воробьев А.Н., Сейдман Л.А.** Получение чередующихся слоев диэлектриков на основе кремния. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №5, с.50–52.