

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

**ИЗУЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ
И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ СЛОЕВ
МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО
РАСПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

САМАРА 2001

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

ИЗУЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ
И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ СЛОЕВ
МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО
РАСПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к лабораторной работе

Составители: *А.В. Архипов, В.Д. Дмитриев, А.В. Волков,
И.В. Лофицкий*

УДК 621.38(075)

Изучение оборудования и технологии нанесения слоев методом магнетронного распыления материалов: Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. А.В. Архипов, В.Д. Дмитриев, А.В. Волков, И.В. Лофицкий. Самара, 2001. 24 с.

Приведены теоретические сведения по технологии нанесения слоев методом магнетронного распыления материалов. Описаны основные узлы и блоки агрегата непрерывного действия типа О1НИ-7-006, а также порядок работы на нем для приобретения практических навыков нанесения материалов на подложку.

Рекомендуются студентам специальности 20.08.00 при изучении дисциплины "Технологические процессы микроэлектроники". Подготовлены на кафедре МИТРЭА.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета.

Рецензент д-р техн. наук, проф. **С.М. Т о с к и н**

Ц е л ь р а б о т ы: закрепление и расширение теоретических знаний по вопросам магнетронного распыления материалов; ознакомление с основными узлами и блоками установки; приобретение навыков осаждения материалов на подложку на установке (агрегате) непрерывного действия О1НИ-7-006.

Т р е б о в а н и я к в ы п о л н е н и ю з а д а н и я

1 По конспекту, данным методическим указаниям и рекомендуемой литературе изучить теоретические основы магнетронного распыления материалов.

2 Определить максимально допустимые значения давления рабочего газа, при котором отсутствует обратная диффузия распыленных атомов на мишень (для указанного преподавателем распыляемого материала).

3 Изучить принципы действия отдельных узлов и блоков агрегата непрерывного действия О1НИ-7-006.

4 Изучить порядок работы на агрегате О1НИ-7-006 и произвести осаждение выбранного материала на поверхность подложки.

5 Подготовить ответы на контрольные вопросы.

6 Оформить отчет.

1.ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Магнетронные распылительные системы (МРС) являются усовершенствованным вариантом диодных систем распыления. Причиной появления таких систем явилось стремление повысить скорость распыления материала мишени, а также осуществить ионно-плазменные процессы в высоком вакууме. Высокие скорости распыления в МРС обеспечиваются за счет локализации плазмы у поверхности распыляемой мишени путем наложения скрещенных электрического и магнитных полей. Локализация электронов в пространстве, примыкающем к мишени, способствует формированию плазмы, а сильное поперечное магнитное поле удерживает плазму в этом пространстве. Это приводит к высокой плотности ионного потока даже при невысоком давлении газа в системе. Высокая плотность потока ионов по сравнению с катодным распылением и большая удельная мощность, рассеиваемая на мишени, увеличивают скорость распыления материала.

Принцип действия МРС иллюстрируется на рис.1 на примере плоского катода-мишени. Основными элементами системы являются мишень-катод 1, магнитная система 2 и анод 4.

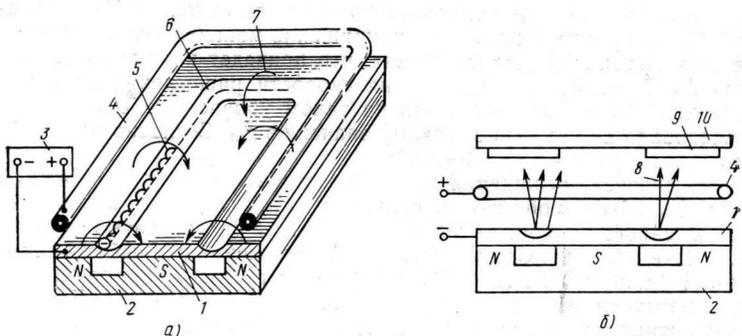


Рис. 1. Схемы МРС с плоской мишенью (а) и движения напыляемых частиц (б): 1 - катод-мишень; 2 - магнитная система; 3 - источник питания; 4 - анод; 5 - траектория движения электрона; 6 - зона распыления; 7 - силовая линия магнитного поля; 8 - поток распыленных частиц; 9 - подложки; 10 - подложкодержатель

Подложку располагают над анодом (рис.1, б). При подаче постоянного напряжения между мишенью (отрицательный потенциал) и анодом (положительный потенциал) возникает неоднородное электрическое поле, силовые линии которого скрещиваются с силовыми линиями магнитного поля, замыкающими магнитную систему. В условиях тлеющего разряда эмитированные с катода под действием ионной бомбардировки вторичные электроны совершают в магнитном поле сложное движение у поверхности катода по траекториям, близким к циклоидальным. При этом электроны оказываются в своеобразной ловушке, создаваемой, с одной стороны, магнитным полем, возвращающим электроны на катод, а с другой - поверхностью мишени, отталкивающей электроны. Электроны перемещаются в ловушке до тех пор, пока не произойдет несколько ионизирующих столкновений с атомами рабочего газа. В дальнейшем они диффундируют через плазму к аноду. Таким образом, большая часть энергии электрона расходуется на ионизацию в непосредственной близости от катода, где создается высокая концентрация положительных ионов. В результате повышается интенсивность бомбардировки катода ионами, скорость распыления и, соответственно, скорость осаждения материала на поверхность подложки.

Описать траекторию движения электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях при магнетронном распылении

можно, разложив это движение на две составляющие: диффузионную и направленную. Преобладание той или иной составляющей зависит от давления газа и напряженности электрического поля E . Отношение

$\frac{E}{p}$ характеризует движение частиц. Основным типом движения заряженной частицы в плоскости, перпендикулярной магнитному полю, является циклотронное вращение. Циклотронный радиус вращения, (ларморовский радиус) определяется как

$$r_{л} = \frac{v_{\perp}}{\omega}, \quad (1)$$

где v_{\perp} - составляющая скорости частицы в направлении, перпендикулярном силовым линиям магнитного поля, м/с; ω - циклотронная скорость, 1/с.

Циклотронная частота равна

$$\omega = \frac{ezB}{m}, \quad (2)$$

где e - заряд электрона, Кл; z - кратность заряда частицы; B - индукция магнитного поля, Тл; m - масса частицы, кг.

Совместное действие электрического и магнитного полей вызывает дрейф заряженной частицы в направлении, перпендикулярном обоим полям, со скоростью

$$v_{н} = \frac{E}{B}, \quad (3)$$

где E - напряженность электрического поля, Кл.

Траектория частицы при движении без начальной скорости в однородных электрическом и магнитном полях представляет собой циклоиду, высота которой равна двум ларморовским радиусам:

$$h_{ц} = \frac{2mE}{ezB^2}. \quad (4)$$

Расчеты по формулам (1) и (2) показывают, что циклотронный радиус вращения $r_{л}$ у ионов более чем на два порядка выше, чем у электронов. Поэтому при используемых в МРС магнитных полях и в небольшой области существования плазмы магнитное поле практически не влияет на траекторию движения ионов, которые под действием электрического поля свободно движутся к мишени по траекториям, близким к прямоугольным. В то же время электроны, перемещаясь по сложным траекториям (циклоидальным) в области

магнитной ловушки, совершают многократные столкновения с атомами рабочего газа (рис.2).

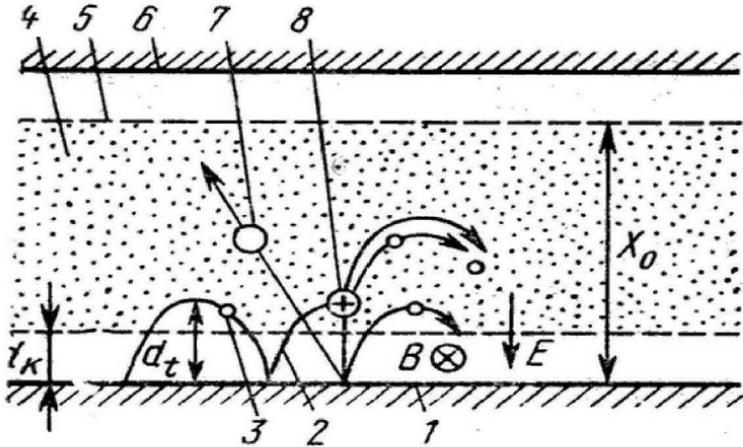


Рис. 2. Схема разрядного промежутка МРС: 1 - катод-мишень; 2 - траектория движения вторичного электрона; 3 - электрон; 4 - плазма; 5 - условный анод; 6 - подложка; 7 - распыленный атом; 8 - ион

Электрон, ускоряясь в области темного катодного пространства (ТКП) шириной d_k по траектории, близкой к циклоидальной, удаляется от катода на расстояние d_t и попадает в область плазмы. В общем случае $d_t > d_k$. Если считать эти величины близкими по значению ($d_t \approx d_k$), а электрическое поле в области ТКП достаточно однородным, то $d_t = h_{ц}$, определяемой из формулы (4). Последнее равенство показывает, что электрон удаляется от катода на расстояние двух ларморовских радиусов со скоростью $v_1 = v_H$. При этом ширина ТКП определяется выражением

$$d_k = 2r_L = 6,71 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\sqrt{U_k}}{B_k}, \quad (5)$$

где U_k, B_k - падение напряжения (В) и индукция магнитного поля (Тл) в области ТКП.

Ширина ТКП зависит от величины магнитной индукции B , причем чем она больше, тем меньше ширина ТКП.

Если $d_t \gg d_k$, то электрон, получив энергию в ТКП, будет дальше двигаться по ларморовской окружности, причем $h_{ц} \approx r_L$, а составляющая скорости частицы определяется как

$$v_{\perp} = \sqrt{\frac{2eU_k}{m_e}} = 5,9 \cdot 10^5 \sqrt{U_k}, \quad (6)$$

где m_e -масса электрона, кг.

Вычисленную по формуле (5) ширину ТКП можно считать максимально возможной, поскольку в этом случае практически все электроны с катода движутся в области ТКП и не заходят в область отрицательного свечения плазмы.

Реальную ширину ТКП можно приближенно выразить через плотность ионного тока по формуле Чайлда-Ленгмюра:

$$d_k = 4,7 \cdot 10^{11} \frac{U_k^{3/4}}{(m_i j_i^2)^{1/4}}, \quad (7)$$

где m_i -масса иона, кг; j_i -плотность ионного тока катода, А/м².

В МРС часть электронов возвращается на катод, а остальные электроны перемещаются в сторону анода. Если электрон не столкнется на своем пути с другой частицей, то он возвращается к катоду и захватывается им. Электроны, которые попадают в магнитную ловушку и не возвращаются на катод, совершают ионизирующие столкновения в плазме и перемещаются в сторону анода. После нескольких столкновений диффундируют к аноду. Область существования плазмы ограничивается пределами, в которых электроны теряют свою энергию. Граница этой области в разряде МРС является условным анодом (X_0 , рис.2). Реальный анод МРС должен располагаться от центра зоны распыления на расстоянии не меньше расстояния от катода до условного анода X_0 , т.к. в противном случае он будет захватывать из магнитной ловушки электроны, в результате чего эффективность разряда уменьшается.

В МРС влияние магнитного поля и давления на разряд существенно. В обычных ионно-плазменных распылительных системах (без магнитного поля) оно возможно при давлениях $p \geq \lambda_e^0/d$, где

λ_e^0 -длина свободного пробега электрона при данном давлении; d -расстояние между электродами. В МРС магнитное поле увеличивает траекторию движения электронов в межэлектродном промежутке, а следовательно возрастает и число столкновений с атомами рабочего газа. В результате этот разряд существует при более низких давлениях.

Следовательно, можно считать, что наложение магнитного поля эквивалентно увеличению давления газа. Эквивалентное давление газа при наличии магнитного поля определяется зависимостью

$$p = p_0 \left[1 + (\omega_e \tau_e)^2 \right]^{1/2}, \quad (8)$$

где p_0 -рабочее давление при отсутствии магнитного поля; τ_e - время между столкновениями электрона с атомами рабочего газа; ω_e -циклотронная частота электрона.

Из выражения (8) видно, что влияние магнитного поля становится эффективным при $\omega_e \tau_e \gg 1$. Для стационарного режима существования разряда в магнетронной распылительной системе характерны следующие условия:

$$\omega_e \tau_e \gg 1; \quad \omega_i \tau_i < 1; \quad r_{\lambda e} < d < r_{\lambda i}; \quad \lambda_i > d,$$

где ω_i -циклотронная частота иона; τ_i -время между столкновениями иона с потерей направленного импульса; $r_{\lambda e}$ и $r_{\lambda i}$ -циклотронные радиусы электрона и иона; d -расстояние между электродами; λ_i -длина свободного пробега иона.

Выражение (8) можно записать непосредственно через индукцию магнитного поля, используя формулу (2):

$$p = p_0 \left[1 + \left(\frac{ze\tau_e}{m_e} \right)^2 \cdot B^2 \right]^{1/2}, \quad (9)$$

где m_e -масса электрона, кг.

Из зависимости (9) видно, что с увеличением значения индукции магнитного поля эквивалентная величина давления p резко возрастает. Соответственно, повышение индукции магнитного поля B увеличивает разрядный ток (до 15 А). Однако на практике распыление материала в МРС ведут в относительно слабых магнитных полях с индукцией 0,03-0,1 Тл, т.к. при повышенных значениях B увеличивается падение напряжения вблизи анода как результат образования отрицательного пространственного заряда в прианодной области. Следствием этого является уменьшение плотности тока на мишени и увеличение степени бомбардировки подложки электронами.

Основной характеристикой, определяющей эффективность распыления, является коэффициент распыления k_n , равный количеству атомов, выбитых с поверхности мишени одной бомбардирующей частицей. Существенное влияние на коэффициент распыления оказывают давление рабочего газа и геометрия

распылительной системы (в основном расстояние от мишени до плоскости конденсации). С увеличением давления газа p выше k_n снижается. Это объясняется ростом вероятности возвращения распыленных атомов на мишень вследствие обратной диффузии и обратного рассеяния (отражения).

Под обратной диффузией следует понимать возвращение на мишень распыленных атомов, обладающих средней кинетической энергией, равной или меньше средней кинетической энергии рабочего газа. Такое возвращение может происходить с расстояний, значительно превышающих длину свободного пробега распыленных атомов λ_a .

Обратное рассеяние представляет собой возвращение распыленных атомов на мишень в результате столкновения с атомами рабочего газа. Этот процесс происходит на расстояниях, не превышающих λ_a , и характеризуется различием кинетических энергий частиц. В случае, когда масса атомов распыляемого материала больше массы атомов рабочего газа, основной причиной возвращения распыленных атомов на мишень является обратная диффузия. При этом можно записать

$$k_n^p = k_n^0 \cdot \frac{2,3\lambda_a^0}{2,3\lambda_a^0 + p_0 d - \lambda_a} \quad (10)$$

где k_n^p - коэффициент распыления с учетом обратной диффузии;

k_n^0 - коэффициент распыления без учета обратной диффузии; λ_a^0 - длина свободного пробега распыленных атомов при единичном давлении и температуре 273 К; $p_0 = 273 p/T$ - давление, приведенное к $T = 273$ К; d - расстояние от мишени до поверхности конденсации; λ_a - средняя длина направленного пробега распыленных атомов при единичном давлении газа. Величина λ_a рассчитана и приведена в табл. 1 для некоторых материалов, распыленных ионами аргона с энергией 600 эВ.

Таблица 1

Распыляемый материал	Ti	Cu	Ni	Fe	Mo	Au	Ta	W	Pt
$\lambda_a \cdot 10^{-2}$, Па · м	1,41	4,13	3,33	2,54	3,58	5,55	5,80	5,95	6,07

При $k_n^p = k_n^0$ все распыленные атомы достигают поверхности конденсации.

В этом случае из выражения (10) получаем следующее условие для давления газа:

$$p_0 = \frac{\lambda_a}{d}$$

При выборе оптимального технологического процесса распыления важно уметь определить давление, при котором начинается обратная диффузия. В этом случае рабочее давление определяется по формуле

$$p_0 \leq \frac{\lambda_a}{d} \quad (11)$$

где λ_a , Па · м; d , м.

Пример расчета. Для распыления P_t при расстоянии между мишенью и подложкой 80 мм рабочее давление должно быть меньше 0,758 Па. В противном случае коэффициент распыления будет уменьшаться вследствие обратной диффузии распыленных атомов на мишень.

В MPC управление технологическим процессом выполняется автоматически по заданной программе по операциям.

2. АГРЕГАТ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ О1НИ-7-006

2.1. Назначение и основные технические данные и характеристики

Агрегат О1НИ-7-006 предназначен для осаждения алюминия, легированного кремнием, на кремниевые пластины (подложки) диаметром 76 и 100 мм с планетарной системой вращения подложек с предварительным ионно-химическим травлением.

Он может применяться автономно и в составе линии.

Агрегат О1НИ-7-006 обеспечивает:

- распыление материалов с помощью двух магнетронных распылителей мощностью не менее 5 кВт каждый;
- работу каждого магнетронного распылителя при напряжении 400...500 В, не менее;
- производительность не менее 150 шт/ч при диаметре пластин 76 мм и не менее 90 шт/ч при диаметре 100мм (при времени осаждения 4 мин и времени травления, не превышающем 2 мин);
- предельное остаточное давление в рабочей камере не выше $6,65 \cdot 10^{-5}$ Па ($5 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.) за время не более 120 мин;

- стабилизацию тока нагревателя подложек от 8 до 16 ± 1 А с отклонением тока от заданного значения не более $\pm 2\%$ в течение 1200с;
- измерение остаточного давления в рабочей камере от $1,33$ до $1,33 \cdot 10^{-5}$ Па;
- измерение температуры подложек от 50 до 300°C ;
- подачу газа в шлюзовую камеру через магистрали фриона и кислорода;
- работу в автоматическом режиме.

Габаритные размеры агрегата:

длина - 2950 мм (с механическими насосами),

ширина - 2610 мм,

высота - 2050 мм.

Масса агрегата - 2350 кг.

2.2. Устройство и работа агрегата О1НИ-7-006

Агрегат непрерывного действия О1НИ-7-006 показан на рис.3.

В основу работы агрегата заложен принцип последовательной обработки подложек а едином вакуумном цикле. Агрегат имеет четыре позиции. На первой позиции производится загрузка-выгрузка планетарных механизмов с подложками и плазмохимическая очистка подложек в среде технологических газов при давлении не более $66,5$ Па ($0,5$ мм рт.ст). На второй позиции производится нагрев подложек до заданной температуры, а на третьей и четвертой позициях производится осаждение вещества на нагретые вращающиеся подложки с помощью магнетронных распылителей в потоке аргона при давлении $1,33 \dots 2,66 \cdot 10^{-1}$ Па.

Применение магнетронных распылителей обеспечивает распыление сплава, причем процентное содержание компонентов в осажденной пленке не отличается от содержания этих компонентов в исходном распыляемом материале, а наличие в агрегате двух позиций распыления обеспечивает осаждение двух слоев последовательно. С целью удаления окисла с поверхности подложек перед проведением распыления вещества на позиции перегрузки производится травление поверхностей в высокочастотном разряде в смеси технологических газов, что позволяет за $120-180$ с снимать до 200Å .

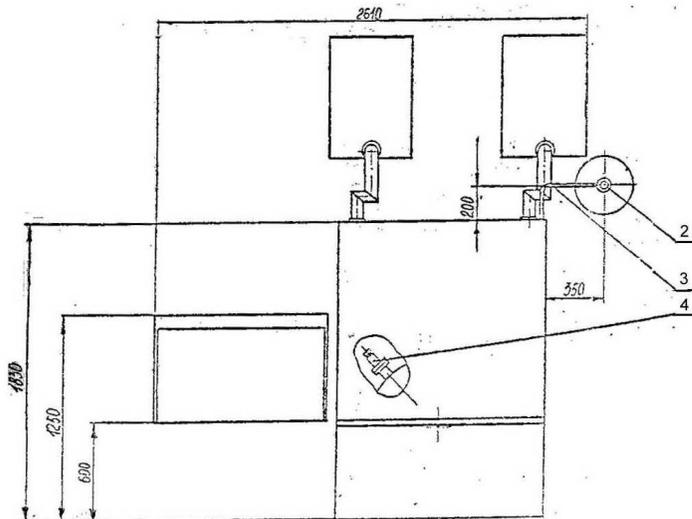
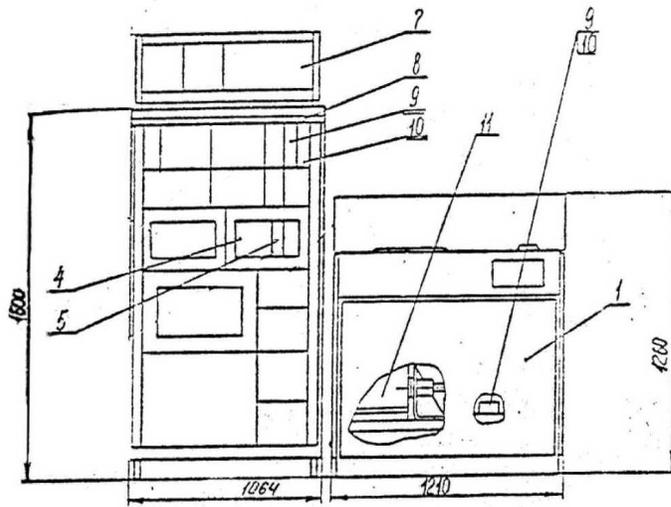


Рис. 3. Агрегат непрерывного действия О1НИ-7-006: 1 - установка вакуумная; 2 - питатель азотный; 3 - трубопровод; 4 - вакуумметр ВМБ-14; 5 - вакуумметр 13 ВТЗ-003; 6-стойка управления; 7 - генератор ВЧ; 8 - шкаф управления; 9, 10 - регулятор расхода газа РРГ-1; 11 - устройство согласования

Агрегат О1НИ-7-006 является установкой непрерывного действия, с помощью которой за одну рабочую смену распыляется значительное количество материала.

Агрегат работает следующим образом.

Рабочая камера (рис.4) откачивается до давления не выше

$1,33 \cdot 10^{-2}$ Па с помощью паромасляного насоса 2 и вымораживающей азотной ловушки 27, после чего включается нагреватель подложек 15. При этом подложки ускоренно разогреваются до заданной температуры током первой ступени нагрева и, по истечении заданного времени, нагреватель автоматически переключается на вторую, меньшую по величине, ступень нагрева с целью поддержания температуры подложек на достигнутом уровне.

Для обеспечения равномерности нагрева подложек, равномерности осаждения вещества и равномерности травления подложек на всех четырех позициях агрегата включено вращение планетарных механизмов с подложками.

На двух позициях магнетронного распылителя 21 при наличии воды в распылителях и хорошем вакууме в камере включаются напряжение питания распылителей и подача аргона в оба распылителя.

Так как каждый распылитель отделен от рабочей камеры зажимным механизмом 22 с щелями в местах уплотнения, то на позициях распыления увеличивается давление аргона до $2,66 \cdot 10^{-1} \dots 1,33$ Па и при этом давлении в распылителях загорается разряд, под действием которого происходит распыление материала катода магнетрона 21 и осаждение атомов материала на вращающиеся подложки 20. Скорость осаждения материала на подложки зависит от мощности магнетронного распылителя. Наибольшая скорость распыления достигается при давлении аргона $6,65 \cdot 10^{-1} \dots 2,66 \cdot 10^{-1}$ Па. Для поддержания оптимальной скорости распыления рекомендуется работа в диапазоне от 7,5А и 370В до 12А и 260В. Ток магнетронного распылителя при заданном напряжении питания на него поддерживается с помощью блоков стабилизации тока разряда (БСТР) путем изменения давления аргона на позициях распыления. Толщина осажденной пленки определяется временем осаждения при заданной мощности магнетрона.

На позиции перегрузки каждый раз после окончания времени цикла в шлюз 8 напускается азот во избежание окисления осажденной пленки и через заданное время после этого включается звуковая и световая сигнализация, предупреждающая оператора о необходимости перегрузки. После выполнения перегрузки отключается подача азота и при закрытой крышке шлюза 6 форвакуумный насос шлюза откачивает шлюз до давления не выше 1,33 Па и, не прекращая откачки, в шлюз 8 будут поданы травящие газы. После увеличения давления травящих газов до 66,5 Па и кратковременной промывки шлюза травящими газами будет включен генератор высокой частоты,

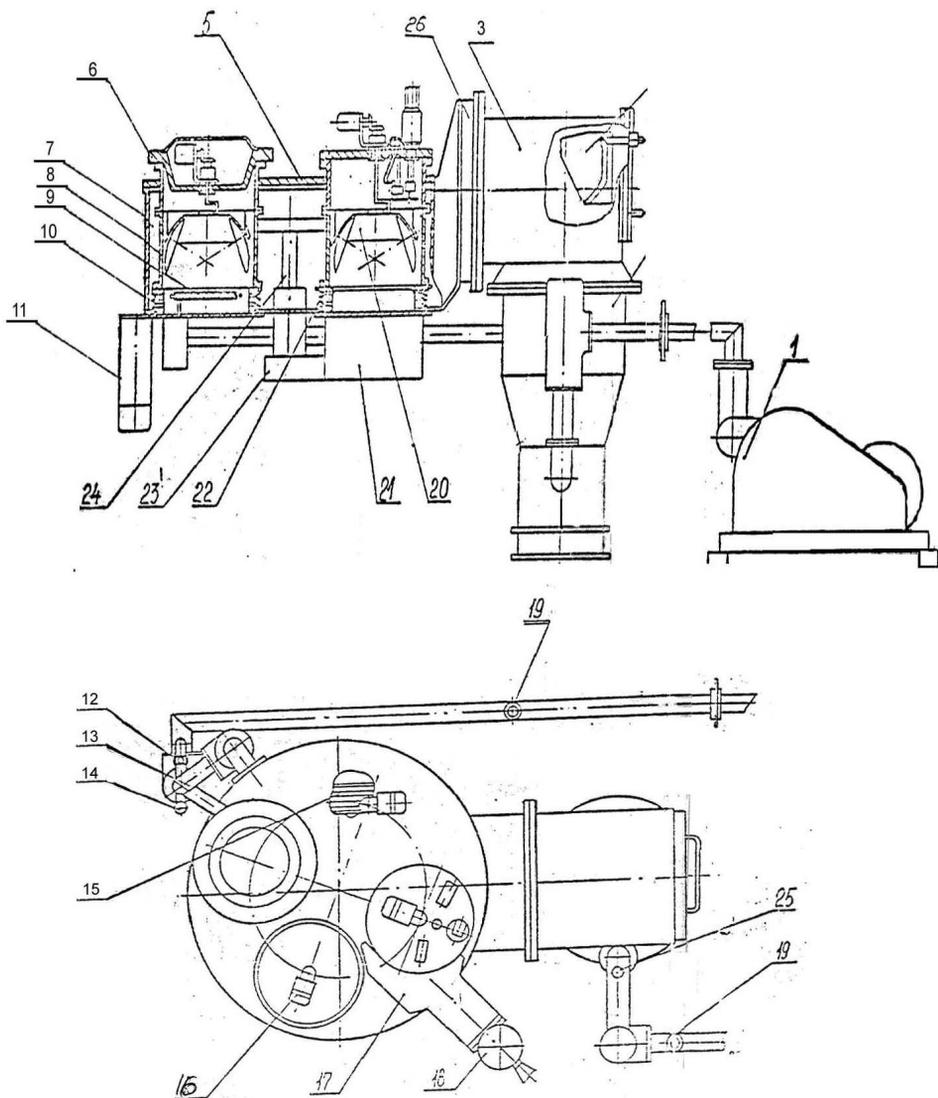


Рис. 4. Камера рабочая и агрегат вакуумный: 1 - насос НВР-16Д; 3 - затвор высоковакуумный; 5,6 - крышка; 7 - камера; 8 - камера шлюзовая; 9 - электрод очистки; 10 - затвор; 11 - клапан Ду-50; 12- натекаль Ду-10; 13 - обводная магистраль; 14 - преобразователь прибора 13ВТ3-003; 15 - нагреватель; 16 - привод подложкодержателя; 17 - кронштейн; 18 - подъемник; 19 - натекаль электромагнитный; 20 - подложкодержатель; 21- магратрон; 22 - механизм зажимной; 23 - привод карусели; 24 - карусель; 25 - преобразователь давления; 26 - патрубок; 27 - ловушка

в результате чего в шлюзе загорится высокочастотный разряд, под действием которого начнется очистка подложек. По истечении времени травления отключается анодное напряжение генератора высокой частоты, отключается подача в шлюз травящих газов, шлюз промывается от травящих газов азотом. После этого шлюз вновь откачивается форвакуумным насосом до давления не выше 1,33 Па, а затем через обводной клапан малого сечения при закрытом форклапане шлюз откачается до давления, близкого к давлению рабочей камеры. При окончании времени цикла затвор шлюза и затвор распылителей опустятся вниз, сообщая распылители и шлюз с рабочей камерой, а механизм перемещения передвинет карусель с позиции на позицию, после чего затворы шлюза и распылителей поднимутся вверх и операции, выполняемые на каждой позиции, будут повторяться.

Время травления подложек, время работы нагревателя подложек при большом токе, время распыления материала и цикла задаются в ручном режиме. При этом время цикла выбирают такой величиной, чтобы все операции на каждой позиции заканчивались раньше, чем оканчивается время цикла.

В агрегате О1НИ-7-006 управление вакуумно-газовой системой и выбор режима работы с травлением или без травления осуществляется с помощью блока управления вакуумной системой (БУВС). Элементы управления и сигнализация БУВС выполнены в виде мнемосхемы, что упрощает понимание предназначения каждого элемента. Включение каждого магнетронного распылителя, управление напряжением каждого распылителя, выбор времени работы распылителя, контроль напряжения тока распылителя осуществляются с помощью двух одинаковых блоков управления магнетроном (БУМ).

2.3. Устройство и работа составных частей

Вакуумно-газовая система агрегата предназначена для получения в рабочей камере и шлюзе перегрузки необходимого вакуума, для поддержания в распылителях давления аргона, для обеспечения в шлюзе перегрузки необходимого расхода травящих газов, для контроля давления в рабочей камере, шлюзе перегрузки и форвакуумной магистрали и для контроля расхода травящих газов в шлюзе перегрузки.

Вакуумно-газовая система работает следующим образом. С помощью кнопок S1, S2 БУВС включаются магнитные пускатели и при опущенном вниз шлюзе и уплотненных и включенных вакуумных

клапанах шлюза и паромасляного насоса рабочая камера, шлюз и форвакуумная магистраль паромасляного насоса откачиваются форвакуумными насосами (2 шт.) до давления не выше 6,65 Па, после чего второй канал вакуумного реле дает разрешение на включение нагревателя паромасляного, а первый канал вакуумного реле - разрешение на открывание затвора камеры.

После нагрева масла в паромасляном насосе реле БУВС дает разрешение на открывание затвора и при нажатии кнопки S4 затвор открывается и начинается откачка камеры до высокого вакуума. При включении паромасляного насоса необходимо кнопкой S11 включить подачу жидкого азота в вымораживающую ловушку. После открывания высоковакуумного затвора форклапан шлюза должен быть закрыт. При достижении давления в рабочей камере $6,65 \cdot 10^{-3} \dots 1,33 \cdot 10^{-1}$ Па, вакуумметр ВМБ-14 по первому каналу блокировки дает разрешение на включение магнетронных распылителей, а по второму каналу блокировки - разрешение на включение нагрева подложек и разрешает перевод карусели, подводя команду на опускание уплотнения распылителей вниз.

В автоматическом цикле работы с использованием режима предварительного травления на генераторе высокой частоты должен

быть включен выключатель , нажата кнопка  и отжата кнопка , а кнопки S5, S22 БУВС должны быть включены. В

этом случае газовая система шлюза работает следующим образом: при поднятом шлюзе вверх включается напуск азота в шлюз и запускается реле времени напуска азота. По истечении 20...40 с необходимых для напуска азота и охлаждения подложек до приемлемой температуры, включается реле в БУВС и дает команду блоку УСУПМ-1 на включение звуковой и световой сигнализации "ЗАГРУЗКА" на блоке управления вакуумной установки. После полного открывания и последующего закрывания крышки шлюза отключается клавиша напуска азота в шлюз и включается форклапан откачки из шлюза. Давление в шлюзе контролируется вакуумметром 13ВТ3-03. После достижения давления 6,65...1,33 Па второй канал вакуумметра 13ВТ3-03 дает команду на отключение форклапана шлюза и на включение клапанов напуска травящих газов. В результате напуска газов в шлюзе увеличивается давление, при этом вновь открывается форклапан откачки из шлюза с целью создания протока газов в шлюз и при достижении давления в шлюзе до 13,3 Па первый канал вакуумметра

13ВТ3-03 дает команду на включение анода генератора высокой частоты для возбуждения разряда в шлюзе. Одновременно запускается реле времени в БУВС, отсчитывающее время травления.

После окончания времени травления реле времени первого канала дает команду блоку УСУПМ-1 на отключение анода генератора высокой частоты и на отключение подачи травящих газов, а также команду на включение клапана подачи азота в шлюз с целью "Промывки" шлюза азотом от травящих газов. После 3...10 с промывки отключается подача азота и шлюз откачивается через форклапан до давления не выше 6,65...1,33 Па; вакуумметр дает команду на закрытие форклапана и включает откачку шлюза через обводной клапан с помощью паромасляного насоса в течение 30...60 с. Реле времени второго канала БУВС отсчитывает время откачки шлюза через обводной клапан и по окончании откачки дает разрешение блоку УСУПМ-1 на опускание шлюза вниз.

После окончания времени цикла шлюз и уплотнение распылителей опустятся вниз, а карусель переместится на один шаг.

Работа системы управления магнетрона. Магнетронные распылители установлены в вакуумной системе агрегата О1НИ-7-006 на позициях распыления. При подаче напряжения между анодом и катодом магнетрона в случае наличия аргона с давлением $1,33...2,66 \cdot 10^{-1}$ Па между анодом и катодом загорается разряд, под действием которого происходит распыление материала катода и осаждение распыляемого материала. Корпус агрегата находится под отрицательным потенциалом по отношению к аноду магнетрона.

Источник питания магнетрона состоит из трехфазного трансформаторного усилителя и трех однофазных силовых трансформаторов. Ток разряда стабилизирован блоком стабилизации тока разряда (БСТР). В случае отклонения тока магнетрона от заданного значения БСТР изменит давление аргона в распылителе таким образом, чтобы восстановить ток магнетрона до заданного значения. Регулировку давления БСТР выполняет путем изменения отношения времени открытого и закрытого состояния вибронакателя, установленного в распылителе.

После окончания времени распыления реле времени БУМ выдает команду на включение ключа КТ-17 блока УСУПМ-1, в результате чего трехфазный тиристорный усилитель полностью запирается и напряжение питания магнетрона уменьшается до значения 0...300 В. При переводе карусели с позиции на позицию реле времени БУМ сбрасывается и напряжение магнетрона автоматически восстановится до первоначального заданного значения. Напряжение питания магнетрона можно регулировать от 300 до 500 В.

Напряжение питания магнетрона отключается кнопкой S2 БУМ.

Оно автоматически выключается при повышении давления в агрегате выше $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па.

Специфика работы магнетрона такова, что после каждого контакта магнетрона с атмосферой необходимо производить очистку магнетрона на малых напряжениях и токах до исчезновения пробоев и по мере тренировки постепенно увеличивать напряжение и ток до заданного значения.

3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ ПО РАСПЫЛЕНИЮ МАТЕРИАЛА

3.1. Установите подложки в кассету.

3.2. Установите кассету с обрабатываемыми пластинами в шлюзовую камеру (рис.3) и закройте крышку.

3.3. Подайте жидкий азот из сосуда Дьюара в ловушку затвора N7 (рис.4).

4. ПОРЯДОК РАБОТЫ

4.1. Установите ручку выключателя СЕТЬ шкафа управления в положение ВКЛ. При этом на блоках управления магнетрона должны

загореться лампы .

4.2 Установите ручку выключателя СЕТЬ генератора высокой частоты (ГВЧ) в положение ВКЛ. При этом должна загореться лампа

. Нажмите на генераторе кнопку .

4.3. Нажмите кнопку   блока управления вакуумной системой для работы с травлением подложек. При этом на ГВЧ загорится лампа .

4.4. На мнемосхеме блока управления вакуумной системой нажмите кнопку  и кнопки   в магистралях шлюза

паромасляного насоса. При этом загорятся лампы  .

Нажмите кнопки   в магистралях шлюза и паромасляного насоса и кнопку . При этом должны загореться лампы 

  и погаснуть .

45. Включите выключатель СЕТЬ вакуумметров 13ВТЗ-003 и ВМБ-14, а также кнопку  вакуумного реле.

46. Нажмите кнопку   и кнопку  . После откачки форвакуумной магистрали паромасляного насоса до давления не выше 6,65 Па должна загореться лампа .

47. Нажмите кнопку   после разогрева паромасляного насоса. При этом должна загореться лампа  . Отожмите кнопку  шлюза. При этом лампа шлюза   должна погаснуть.

48. Настройте блокировку первого и второго каналов вакуумметра ВМБ-14 на срабатывание при давлении $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па.

49. Отожмите кнопку  и нажмите кнопку  и кнопку  шлюза. При этом должна погаснуть лампа  и загореться лампы  и   шлюза.

4.10. Нажмите кнопки , ,  и   блока управления вакуумной системой. При этом должна загореться лампа в магистрали подачи газа и лампа  ГВЧ.

4.11. Включите регуляторы расхода газа РРГ-1 и установите по каждому каналу требуемый расход газа (давление в шлюзе должно быть не более 66,5 Па).

4.12. Установите на задатчике реле времени   блока управления вакуумной системой необходимое время травления подложек (в сек.).

4.13. Нажмите кнопку “мощность падающая” на ГВЧ и с помощью ручки  установите необходимое значение мощностей травления подложек. Нажмите кнопку “мощность отраженная” ГВЧ.

Нажмите кнопку  блока управления устройством согласования и с помощью кнопок   установите минимальное значение отраженной мощности, не превышающее 15% от падающей мощности.

После окончания времени травления должна погаснуть лампа 

ГВЧ и мощность ГВЧ должна уменьшиться до нуля.

4.14. Нажмите кнопки   и   блока управления циклом. При этом должны загореться лампы   и  . Установите на реле времени   необходимое время нагрева подложек током первой ступени и с помощью резистора

 1 установите ток нагрева, обеспечивающий нагрев подложек до требуемой температуры за заданное время. После окончания выдержки времени нагрева током первой ступени установите с помощью резистора  2 ток нагрева, поддерживающий температуру подложки на заданном уровне.

Установите на реле времени   время цикла в секундах с учетом того, что все остальные операции на агрегате О1НИ-7-006 закончатся раньше, чем время цикла.

4.15. Нажмите кнопку  блока управления магнетроном.

При этом должна загореться лампа . С помощью резистора 

 установите необходимое напряжение питания магнетрона.

Установите на реле времени   время распыления материала данной позиции.

4.16. Установите с помощью задатчика 0...20, 20-40-60-80 блока стабилизации тока разряда необходимый ток распыления.

Примечание. Выключатель “АВТ, Ручное” БСТР должен быть в положении “АВТ”.

14.17. Установите на задатчике счетчика блока УСУПМ-1 задание по времени на 30с больше времени цикла.

14.18. Нажмите кнопку ВКЛ блока управления вакуумной установки после того, как только на этом блоке загорится лампа

НОРМА, и отожмите кнопку  БУВС.

Откройте крышку шлюза перегрузки после отключения звукового и светового сигнала ЗАГРУЗКА блока управления вакуумной установки, загрузите в шлюз планетарный механизм с подложками и закройте крышку шлюза. При этом на позиции перегрузки шлюз откачается до давления не выше 6,65 Па, после чего в шлюз с

помощью клапанов и регуляторов расхода газа будет подан травящий газ и автоматически включится генератор высокой частоты, запустится реле времени травления. После отсчета времени травления отключится ГВЧ и прекратится подача травящих газов, на короткое время включится клапан подачи азота в шлюз для его промывки от травящих газов. Далее шлюз откачается сначала до давления 6,65 Па, а затем через обводной клапан до давления, близкого к давлению камеры. С окончанием времени цикла шлюз опустится вниз, карусель переместится с позиции на позицию, после чего шлюз поднимется вверх и включится напуск азота в шлюз. По окончании времени напуска азота включится световой и звуковой сигнал ЗАГРУЗКА и цикл повторится.

На позиции нагрева подложки после каждого перевода карусели включится нагрев подложек током первой ступени.

На позициях распыления после каждого перевода карусели уплотнение поднимется вверх, включится напуск аргона и после повышения давления аргона появится ток распыления.

После окончания времени распыления материала катода напряжение питания магнетрона отключится и прекратится напуск аргона.

Для выключения агрегата:

1. Нажмите кнопку ВЫКЛ блока управления вакуумной установки для остановки автоматического цикла. При этом агрегат закончит начатый цикл и после перевода карусели с позиции на позицию

повторение цикла прекратится. Нажмите кнопку  БУВС.

2. Отожмите кнопки   и   БУЦ для отключения нагрева подложек и вращения планетарного механизма.

3. Нажмите кнопку  БУМ для отключения магнетрона.

4. Нажмите кнопку   БУВС для отключения очистки.

5. Отожмите кнопки  ,  ,   для отключения высоковакуумной откачки камеры.

6. Отожмите кнопки  БУВС в форвакуумной магистрали паромасляного насоса после его охлаждения и в магистрали шлюза, затем нажмите кнопки   БУВС для отключения форвакуумных насосов.

7. Нажмите кнопку   для напуска азота в шлюз, нажмите кнопку  шлюза для напуска азота через шлюз в рабочую камеру.

8. Нажмите кнопку  при нажатой кнопке  и через 3...5 с отожмите кнопку  для перевода карусели в ручном режиме с позиции на позицию.

9. Отожмите кнопку  БУВС, если предусматривается работа агрегата О1НИ-7-006 без использования режима очистки, отожмите кнопки   ,   и отключите выключатель СЕТЬ генератора высокой частоты.

10. Установите выключатель СЕТЬ шкафа управления в положение ВЫКЛ в случае необходимости отключения всех устройств агрегата О1НИ-7-006.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Структурная схема агрегата О1НИ-7-006 и перечень блоков и узлов.
3. Расчеты.

4. Таблицы измерений низкого и высокого вакуума в процессе подготовки агрегата к распылению материала.

5. Результаты анализа качества полученной пленки (на микроскопе).

6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Объясните процесс локализации плазмы у распыленной поверхности мишени.

2. Как зависит ширина темного катодного пространства от величины индукции магнитного поля?

3. Объясните траекторию движения электронов и ионов в разрядном промежутке MPC.

4. Чем объясняется ограничение величины индукции магнитного поля?

5. Объясните, почему в MPC разряд существует при более низких давлениях, чем при катодном распылении.

6. Перечислите основные блоки агрегата О1НИ-7-006 и их назначение.

7. Нарисуйте и объясните временной цикл технологического процесса осаждения материала на поверхность подложки.

8. Перечислите основные технические данные и характеристики агрегата О1НИ-7-006.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ

СПИСОК

1. Описание агрегата непрерывного действия О1НИ-7-006. Эксплуатационная документация. Книга 1.

2. Парфенов О.Д. Технология микросхем.-М.:Высшая школа, 1986.

3. Черняев В.Н. Физико-химические процессы в технологии РЭА.-М.:Высшая школа, 1987.

Учебное издание

**ИЗУЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ
И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ
СЛОЕВ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО
РАСПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания

Составители: *Архипов Алексей Владимирович,
Дмитриев Василий Дмитриевич,
Волков Алексей Васильевич,
Лофицкий Игорь Вадимович*

Редактор Т. К. К р е т и н и н а
Корректор Т. И. Щ е л о к о в а
Компьютерная верстка О. А. А н а н ь е в

Лицензия ЛР №020301 от 30.12.96 г.

Подписано в печать 20.04.2001. Формат 60S84 1/16.
Бумага газетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,38. Усл. кр.-отт. 1,4. Уч.-изд. л. 1,5.
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. С-33/2001.

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного аэрокосмического университета.
443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.