

Описание установки УВН-2М-2 и вспомогательных приборов

Установка УВН-2М-2 обеспечивает получение тонких пленок на поверхности тонких пластин - подложек методом термического испарения материалов в вакууме.

В рабочем объеме в подколпачном устройстве вакуумной установки создается высокий вакуум, необходимый для получения качественных пленок. Вакуумная схема установки изображена на рис.1.

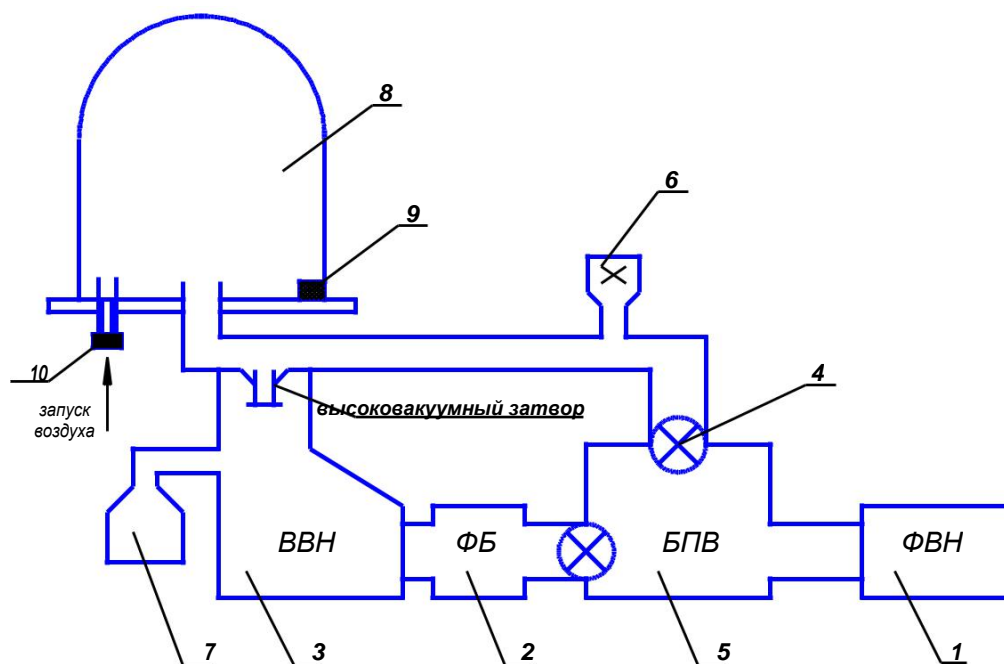


Рис. 1. Вакуумная система установки УВН-2М-2

После того, как вакуумная установка подготовлена к работе, внутри камеры 8 сначала создают предварительный низкий вакуум порядка 10^{-2} мм рт.ст. Для этого включается форвакуумный насос (1), открывается вентиль (4), а ручка распределительной коробки (5) находится в положении (Н) – «низкий вакуум». Величина вакуума контролируется с помощью термопарного вакуумметра (6).

После достижения необходимого предварительного вакуума $P = 2 \times 10^{-2}$ мм. рт.ст., ручка распределительной коробки устанавливается в положение (В) «высокий вакуум». При этом включается высоковакуумный паромасляный диффузионный насос (3). Давление в системе понижается до высокого вакуума порядка 10^{-6} мм рт.ст. Величина высокого вакуума контролируется ионизационным вакуумметром (7), при этом форвакуумный насос продолжает работать. В форбаллоне (2) поддерживается постоянно пониженное давление порядка 10^{-2} мм.рт.ст. Это необходимо для уменьшения перепада давления на входе и выходе высоковакуумного насоса, что способствует снижению коэффициента сжатия газа и, следовательно, уменьшению или предотвращению его конденсации. По достижении необходимого рабочего вакуума (5×10^{-6} мм рт.ст.) в системе можно приступать к напылению.

Величина достигнутого вакуума контролируется с помощью вакуумметра, состоящего из двух частей: термомпарного вакуумметра (для контроля низкого вакуума) и ионизационного вакуумметра (для контроля высокого вакуума).

Принцип действия термомпарного вакуумметра основан на зависимости температуры спая термомпары, а следовательно и термоЭДС от давления внутри открытого баллона манометрической лампы ЛТ. Схема его представлена на рис.2.

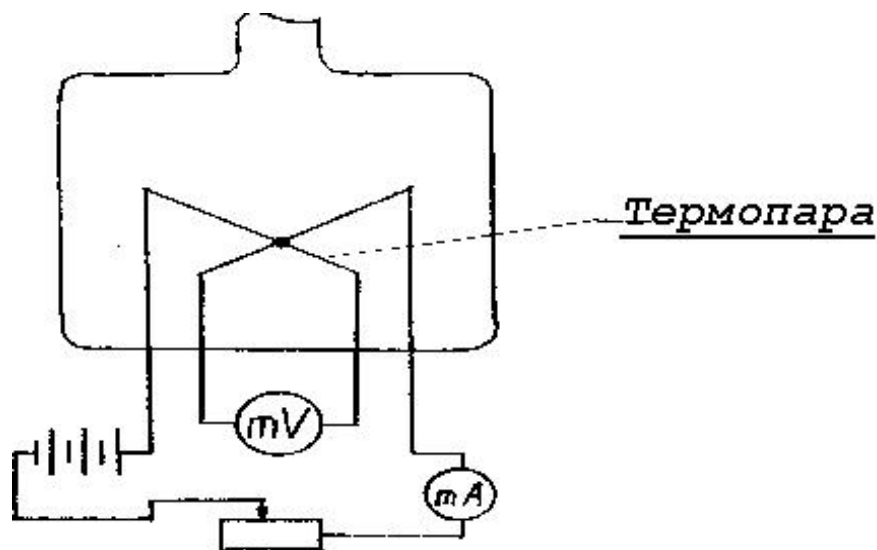


Рис.2. Схема термомпарного вакуумметра

При давлении больше 10^{-3} мм рт.ст. (0,133 Па) основной механизм теплообмена – конвекция, т.е. за счет передвижения частиц воздуха. Через проволоку внутри лампы пропускают стабилизированный ток, в результате чего температура проволоки повышается и поддерживается около $200 \text{ }^\circ\text{C}$. К проволоке приварен спай термомпары, и его температура становится такой же. Это приводит к определенному значению ЭДС термомпары, что фиксируется приборами.

При пониженном давлении интенсивность теплообмена падает, температура спая, а, следовательно, и термоЭДС возрастает обратно пропорционально уменьшению плотности остаточного газа.

При достижении более низких, чем 0,133 Па давлений основной механизм теплопередачи – излучение. Поэтому при дальнейшем снижении давления изменения температуры спая практически не происходит. Для измерения давлений $P < 0,133$ Па используется ионизационный вакуумметр. Он представляет собой открытый стеклянный баллон лампы ЛМ-2 и измерительный прибор с усилителем и стабилизаторами режима. Схема включения лампы представлена на рис.3.

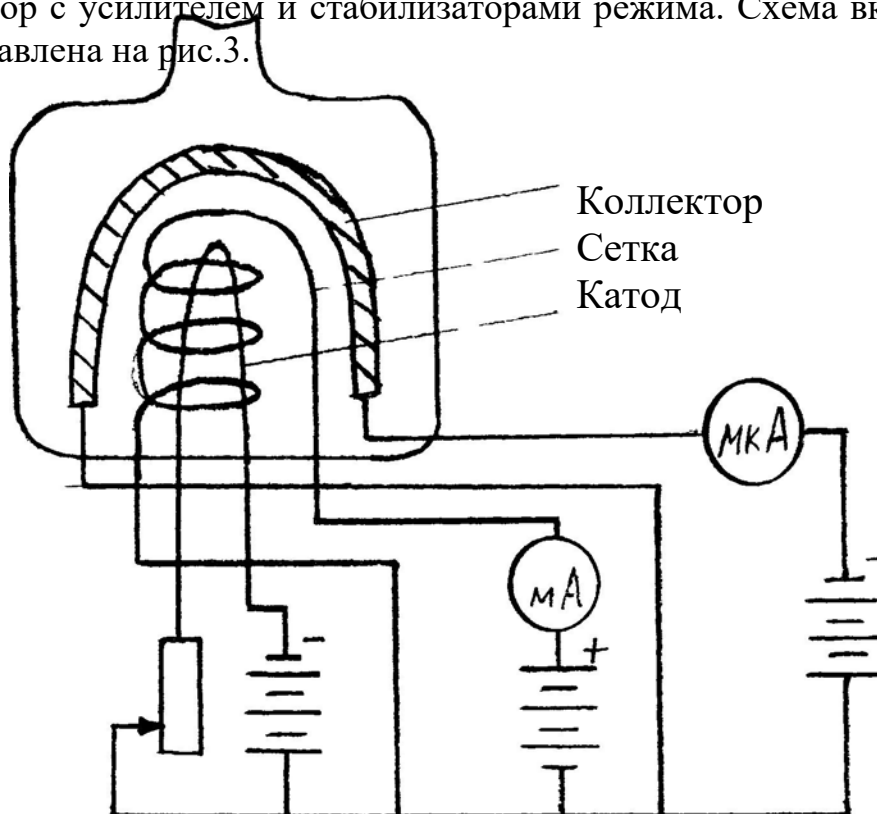


Рис.3. Схема ионизационного вакуумметра

Баллон лампы через открытый конец соединяется с вакуумной системой, где измеряется давление. Проволочный катод окружен сеткой, которую, в свою очередь, окружает коллектор. Коллектор находится под напряжением (-30 В), сетка – под напряжением (+180 В). Электроны, эмитируемые катодом, устремляются к положительной сетке. Это стабилизированный ток катода $I_{\text{Э}} = 5$ мА. Сталкиваясь с молекулами остаточного газа, электроны ионизируют их. Определенное число ионов притягивается к коллектору, находящемуся под отрицательным потенциалом. Это ионный коллекторный ток $I_{\text{И}}$. Он и является характеристикой плотности остаточного газа при давлении $P_{\text{Г}}$:

$$I_{\text{И}} = S \cdot I_{\text{Э}} \cdot P_{\text{Г}},$$

где S – коэффициент пропорциональности.

Обычно $I_{\text{И}}$ изменяется от 100 до 0,005 мкА в диапазоне давления газа

$P_{г}$ от 0,133 до 5×10^{-6} Па.

Для нормальной работы лампы ЛМ-2 перед измерением необходимо производить прокаливание сетки электрическим током с целью обезгаживания ее деталей.

Прибор БИТ-1А объединяет измерительные схемы терморпарного и ионизационного вакуумметров и оформлен в виде переносного прибора настольного типа.

Вакуумная установка УВН-2М-2 представляет собой однокамерную установку периодического действия. Она имеет внутри камерное устройство карусельного типа. В каждой из восьми позиций карусели можно установить подложку с трафаретом или без него. Имеется возможность подогревать все подложки при вращении карусели с помощью отражательного нагревателя, на нижнем основании рабочего объема закреплены 6 пар токовводов, на которых могут быть установлены испарители. Каждая пара токовводов разделена секторальными экранами.

Подколпачное устройство, рабочий объем установки УВН-2М позволяет производить финишную ионную очистку подложек. Для этого имеются необходимые электроды, между которыми возбуждается тлеющий разряд. После очистки производят напыление пленок.

Материал, подлежащий испарению, загружается в испаритель лодочно-го или спирального типа, который нагревается до требуемой температуры при пропускании через него электрического тока.

Лодочные испарители предназначены для испарения сыпучих материалов (например, моноокись кремния, стекло) и металлов, не смачивающих вольфрам, (например, медь, хром и т.п.).

Спиральные испарители из вольфрама обычно используют для испарения металлов, при плавлении хорошо смачивающих вольфрам (например, алюминий, хром и т.п.).

Технологические возможности установки в основном заключаются в напылении элементов одного слоя через трафареты или в напылении двух сплошных слоев (например: резистивного и проводящего с последующей двойной фотолитографией).

Внутрикамерное устройство включает в себя датчики контроля сопротивления и толщины пленки.

Контроль сопротивления осуществляется с помощью «свидетеля» – контрольной подложки с заранее нанесенными на нее пленочными контактами. Свидетель устанавливается рядом с рабочей подложкой и с помощью прижимных контактов подключается к измерительному прибору (рис.4). В процессе осаждения резистивного материала на рабочие подложки происходит рост пленки и на «свидетеле». По мере роста пленки сопротивление квадрата уменьшается, соответственно уменьшается сопротивление «свидетеля» $R_{св}$. При достижении некоторого заранее рассчитанного $R_{св}$ напыление прекращается. Сопротивление $R_{св}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{\text{св}} = R_0 + \frac{L_{\text{св}}}{B_{\text{св}}} (1 + d\Delta T),$$

где $L_{\text{св}}$ и $B_{\text{св}}$ – расстояние между контактами и ширина свидетеля;

R_0 – заданное расчетное значение удельного поверхностного сопротивления (сопротивление квадрата из конструкторских расчетов резисторов микросхемы), Ом;

d – температурный коэффициент сопротивления резистивного материала, 1/град;

ΔT – разность значений температуры подложки при напылении и комнатной температурой, град.

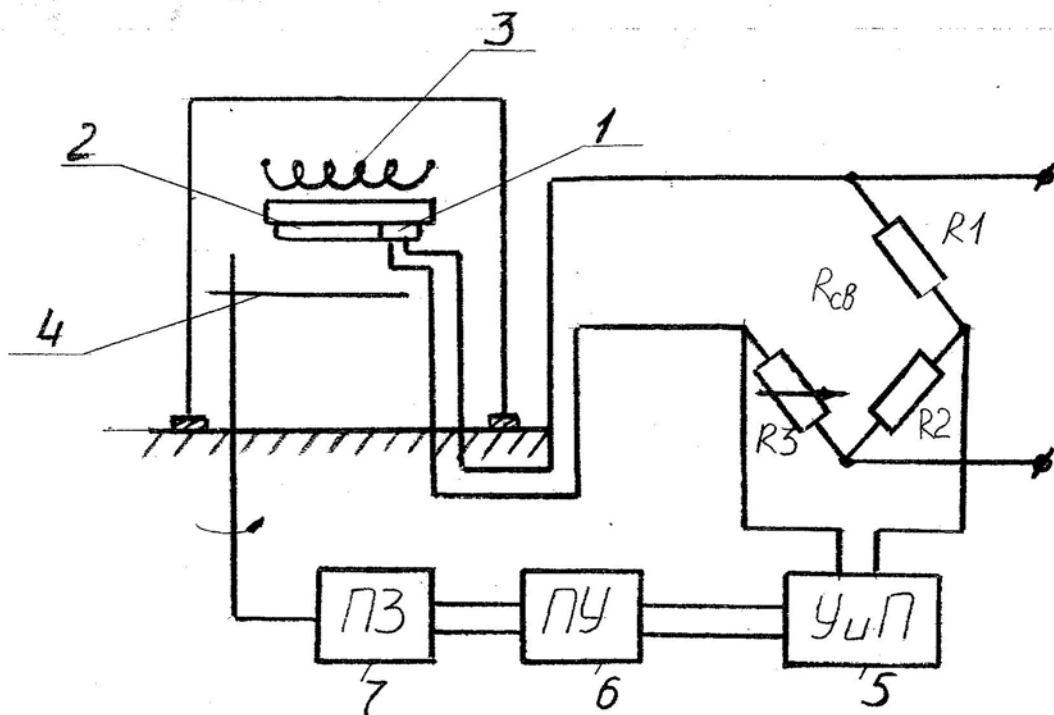


Рис. 4. Функциональная схема контроля пленок методом свидетеля

Прибор КС-2 измеряет сопротивление в диапазоне до 1 МОм с погрешностью до 5% и одновременно фиксирует время напыления.

Толщину осаждаемой пленки можно контролировать с помощью кварцевого измерителя толщины. Кварцевый измеритель толщины (КИТ) контролирует определенную толщину как металлических, так и диэлектрических материалов косвенным способом. Принцип его работы основан на зависимости резонансной частоты кварцевого резонатора от массы, осажденной на кристалл пленки.

Кварцевый датчик-резонатор представляет собой определенный срез монокристалла кварца в виде пластины, заключенной между металлическими контактами (рис.5, а).

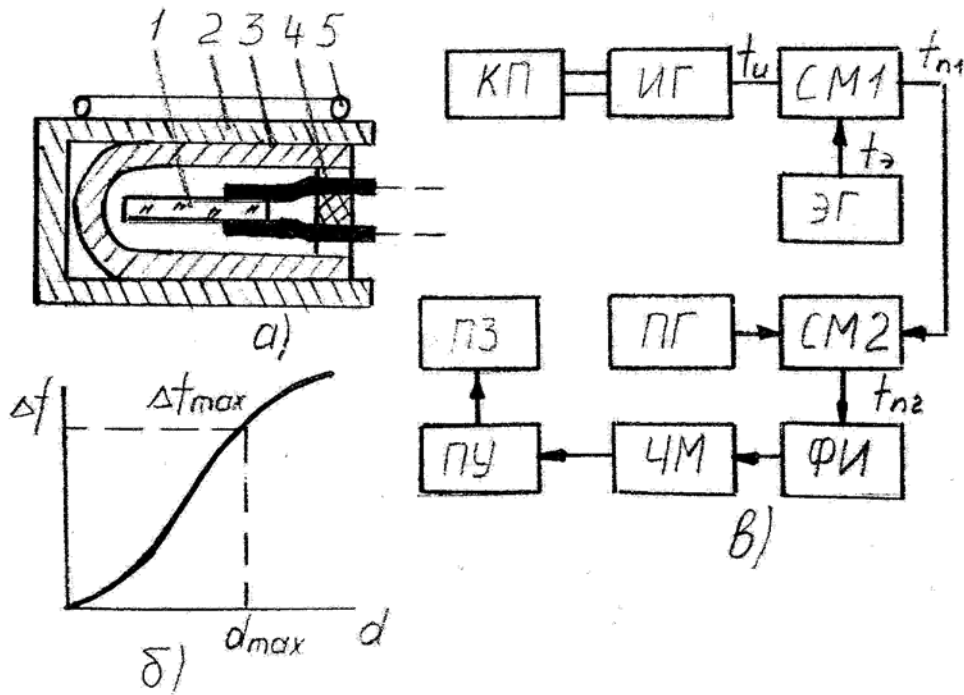


Рис. 5. Кварцевый измеритель толщины: а) – кварцевый резонатор; б) – градуировочный график; в) – блок - схема прибора КИТ-1

При толщине пленки не более 1% от толщины кварцевой пластины справедливо равенство:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\gamma_{пл}}{\gamma_k} \cdot \frac{d_{пл}}{d_k}, \quad (1)$$

где f_0 – резонансная частота кварца, Гц;

Δf – изменение частоты кварца, вызванное накоплением материала осажденного слоя на грани кварца, Гц;

γ_k – плотность кварцевого кристалла, кг-м⁻³;

d_k – начальная толщина кварцевой пластины, м;

$\gamma_{пл}$ – плотность осажденного материала пленки, толщина осажденной пленки, м. Выражение (1) перепишем в следующем виде:

$$\Delta f = \frac{f_0}{\gamma_{kd}} \times \gamma_{пл} \times d_{пл} = C_f \times \gamma_{пл} \times d_{пл}, \quad (2)$$

где $C_f = \frac{f_0}{\gamma_{kd}}$ – постоянная данного прибора, характеризующая чувстви-

тельность, Гц × м² / кг.

Известно, что толщина пленки при осаждении в вакууме обратно пропорциональна квадрату расстояния от испарителя до приемной поверхности. Поэтому, задавая по шкале прибора частотный сдвиг, нужно учесть, что расстояние от испарителя до подложки $L_{\text{п}}$ не равно расстоянию от испарителя до кварцевой пластины $L_{\text{к}}$. Поэтому:

$$\Delta f = 10^6 \times \gamma_{\text{пл}} \times d_{\text{пл}} \frac{L_{\text{п}}^2}{L_{\text{к}}^2} . \quad (3)$$

Если массовая плотность пленки $\gamma_{\text{пл}}$ постоянная величина, то имеет место линейная зависимость $\Delta f = \varphi(d_{\text{пл}})$.

При вакуумном осаждении плотность пленки зависит от условий осаждения и не поддается предварительному расчету. Поэтому на практике обычно используют тарировочный график $\Delta f = \varphi(d_{\text{пл}})$ (рис. 5, б), который строят экспериментально для каждого вида напыляемого материала и конкретных условий напыления с применением оптических средств измерения. Наиболее крутой участок графика соответствует наивысшей чувствительности прибора и определяет максимальную суммарную толщину пленки d_{max} , после которой нанесенная пленка должна быть удалена с кварца с помощью избирательного травителя. Чувствительность прибора можно измерять в (нм/Гц) и определять по графику.

Для таких приборов, как КИТ-1, КИТ-2 $C f = 10^6$ Гц \times м²/кг. Структурная схема прибора КИТ-2 приведена на рис.5, в. Кварцевый датчик размещается в вакуумной камере над испарителем и входит в состав измерительного генератора. Частота измерительного генератора, снижающаяся по мере напыления пленки, сравнивается с частотой эталонного генератора. Путем последовательных преобразований по мере достижения ее частоты, соответствующей заданной толщине пленки (в соответствии с тарировочным графиком), срабатывает привод заслонки. Напыление прекращается.

Частотный метод контроля можно применять в процессе термического вакуумного напыления, когда в рабочем объеме отсутствуют заряженные частицы, способные создавать помехи. Более универсальным является бесконтактный фотометрический метод контроля толщины пленки. Он основан на зондировании растущей пленки лучом лазера, анализе интерференционной картины света, отраженного от системы «подложка – пленка» и от системы «рабочая среда – пленка». Коэффициент отражения линейно поляризованного света в такой системе зависит от толщины пленки и изменяется периодически. Количество всплесков для данной длины волны света будет пропорционально толщине пленки. Оно определяется по калибровочной кривой и заранее предусматривается. По достижении нужной толщины сигнал подается на исполнительное устройство, прерывающее процесс осаждения.