

# **1 Методические указания по проведению лабораторной работы на тему «Изучение устройства и принципов работы с лабораторной вакуумной установкой модульного типа»**

## **1.1 Цель работы**

Изучение устройства и получение начальных навыков по работе с лабораторной вакуумной установкой модульного типа.

## **1.2 Задание на выполнение работы**

1. Ознакомиться с устройством лабораторной вакуумной установки модульного типа.
2. Ознакомиться с назначением и принципом работы основных механизмов и узлов установки.
3. Ознакомиться с порядком включения, подготовки к работе и выключения установки.
4. Подготовить отчет о проделанной работе и представить его к защите.

## **1.3 Сведения об устройстве и порядке работы с установкой**

Установка, используемая при проведении лабораторных работ - установка вакуумного нанесения тонких пленок периодического действия. Установка предназначена для исследовательских работ в области технологии нанесения тонких пленок в вакууме. Внешний вид установки представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид лабораторной вакуумной установки модульного типа

Вакуумная схема установки приведена на рисунке 2.

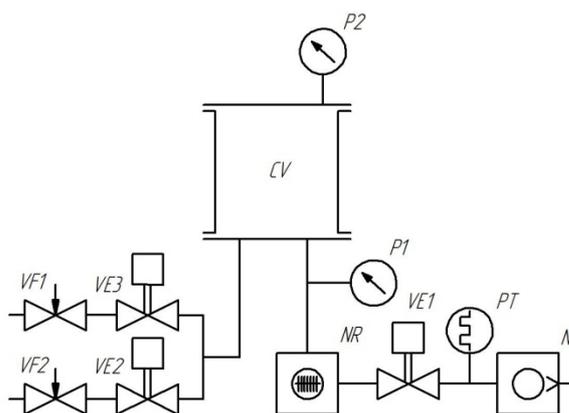


Рисунок 2 – Вакуумная схема лабораторной вакуумной установки модульного типа

Рабочая камера установки, представляющая собой изготовленный из тугоплавкого стекла цилиндр, оснащена сменными фланцами, что позволяет производить нанесение пленок различными методами.

Вакуумная система установки снабжена турбомолекулярным насосом с воздушным охлаждением (NR) и механическим спиральным насосом (NI). Управление форвакуумной и высоковакуумной магистралями производится оператором при помощи системы управления или вручную. Напуск воздуха в вакуумную камеру осуществляется электромагнитным натекателем, который автоматически открывается после выключения турбомолекулярного

насоса. Управление питанием клапанов, насосами и технологическими и источниками производится при помощи блока управления.

Для напуска рабочего газа в камеру установка оснащена натекателями (VE2, VE3) и резервуарами для рабочих газов. Для осуществления процесса нанесения пленок установка может комплектоваться различными вариантами устройств нанесения: модулем термического испарения, модулем дугового испарения, диодной распылительной системой и магнетроном, работающем на постоянном токе.

Рекомендуемый порядок работы с установкой при нанесении покрытия следующий:

Для включения установки необходимо включить автоматы сети, форвакуумного и высоковакуумного насосов, блоков управления модулями и клапанами, вакуумметрами.

Для выполнения операции формирования покрытия необходимо:

- Установить требуемый модуль формирования покрытия в рабочую камеру установки. Для этого следует разгерметизировать камеру, снять модуль, который установлен в ней, и заменить его на требуемый модуль.
- Установить подложку на подложкодержатель, подключив клеммы к контактным площадкам подложки и токовводу.
- Верхний фланец установить в рабочую камеру.
- Подключить пикоамперметр к токовводу с внешней стороны.
- Произведите внешний осмотр установки и убедитесь в отсутствии видимых дефектов и повреждений, в надежном креплении составных частей установки, в отсутствии оторванных проводов в монтаже установки.
- На лицевых и задних панелях блоков и вакуумметров все кнопки и выключатели поставьте в выключенное положение.
- Проверьте компоновку установки.
- Подайте питание на установку.

- Для включения установки необходимо включить автоматы сети, форвакуумного и высоковакуумного насосов, блоков управления модулями и клапанами, вакуумметрами.
- Включите форвакуумный насос.
- Откройте клапан, контролируйте давление по показаниям вакуумметра.
- Включите высоковакуумный насос.
- Откройте затвор, контролируйте достижение заданного давления по вакуумметру.
- После достижения заданного давления откройте натекаТЕЛЬ рабочего газа, открыв на баллоне с газом вентиль.
- Задайте необходимый поток натекаНИЯ газа, контролируйте давление по вакуумметру.
- Подайте воду на модуль магнетронного распыления для охлаждения.
- Включить пикомперметр, начать считывание показаний в ПК.
- После достижения рабочего давления подать напряжение на магнетрон и добиться устойчивого горения плазмы.
- Открыть заслонку.
- Контролировать показания пикоамперметра, после достижения заданного значения тока закрыть заслонку.
- Выключить пикоамперметр.
- Снять напряжение с магнетрона.
- Закрыть натекаТЕЛЬ и вентиль на баллоне с газом.
- Закрыть затвор.
- Выключить высоковакуумный насос.
- Закрыть клапан.
- Открыть напускной клапан, разгерметизировать камеру.
- Извлечь подложку из камеры.
- Установить верхний фланец в камеру.

- Открыть затвор, откачать камеру до предельного давления форвакуумного насоса.
- Закрыть затвор.
- Выключить форвакуумный насос.
- Отключить питание установки.

Далее приводится описание основных элементов и узлов установки.

### **Форвакуумный насос**

Вакуумный насос служит для откачки газов или паров из вакуумной камеры. Форвакуумным называют насос, обеспечивающий предварительное разряжение в вакуумной камере, необходимое для запуска основного высоковакуумного насоса.

В данной установке в качестве форвакуумного насоса используется спиральный насос. Спиральный насос это механический насос объемного принципа действия – откачка происходит за счет периодического изменения объема рабочей камеры насоса. Главное преимущество спиральных насосов - полное отсутствие смазки на обращенных в вакуум частях, благодаря этому достигается высокая чистота рабочей среды.



Рисунок 3 – Внешний вид форвакуумного насоса

### **Датчик вакуума Пирани**

Манометр Пирани состоит из металлической проволоки, открытой к измеряемому давлению. Проволока нагревается протекающим через нее током и охлаждается окружающим газом. При уменьшении давления газа,

охлаждающий эффект тоже уменьшается и равновесная температура проволоки увеличивается. Сопротивление проволоки является функцией температуры: измеряя напряжение через проволоку и текущий через неё ток, сопротивление (и таким образом давление газа) может быть определено. Этот тип манометра был впервые сконструирован Марчелло Пирани.



Рисунок 4 – Внешний вид датчика Пирани

#### **Клапан угловой**

Клапан - элемент вакуумной системы, предназначенный для герметичного отсечения других элементов друг от друга. Клапан, как правило, встраивается в вакуумный трубопровод. У углового клапана поток газа на выходе перпендикулярен потоку на входе. Данный электромагнитный клапан не предназначен для регулирования потока, т.к. имеет только 2 рабочих положения – полностью открыт или закрыт. При закрытии клапан отсекает откачиваемый объем от форвакуумного насоса предохраняя его от натекания атмосферы при выключенном насосе или позволяет проверить работу форвакуумного насоса «на себя», когда необходимо локализовать неисправность в системе откачки. Открытие клапана происходит посредством подачи переменного напряжения 220В на электромагнитную катушку. При этом шток втягивается, и клапан открывается. Закрытие происходит при помощи возвратной пружины.



Рисунок 5 – Внешний вид углового клапана

### **Насос турбомолекулярный**

Вакуумный турбомолекулярный насос предназначен для создания и поддержания в камере высокого вакуума. Действие турбомолекулярного насоса основано на сообщении молекулам откачиваемого газа дополнительной скорости в направлении откачки вращающимся ротором. Ротор состоит из системы специальных дисков с лопатками, которые спроектированы таким образом, что влетевшая между ними молекула из камеры практически не может вернуться обратно. Вакуум, создаваемый данной моделью турбомолекулярного насоса, до  $10^{-5}$  Па. Скорость вращения ротора составляет 90000 оборотов в минуту. Для работы требуется постоянное использование форвакуумного насоса для откачки проходящего через турбомолекулярный насос остаточного газа.



Рисунок 6 – Внешний вид турбомолекулярного насоса

### **Клапан регулируемый**

Вакуумный клапан с поворотной заслонкой предназначен для изменения скорости откачки вакуумной камеры. Изменяя положение вращающегося диска (заслонки) можно полностью перекрыть вакуумпровод (не считая малый зазор между поверхностью диска и стенками трубы) или выбрать любой другое положение заслонки, изменяя тем самым скорость откачки и давление рабочего газа в камере. Такое регулирование необходимо для процесса магнетронного распыления.



Рисунок 7 – Внешний вид регулируемого клапана

### **Натекатель**

Натекателем в вакуумных системах называют клапан, который служит для напуска атмосферы перед открытием вакуумной камеры, например, для смены модулей и образцов. В данной системе электромагнитный натекатель встроен в корпус турбомолекулярного насоса.



Рисунок 8 – Внешний вид натекателя

### **Промежуточная камера**

Промежуточная камера является связующим элементом системы - к ней подсоединена система откачки, система напуска рабочего газа, датчики давления и рабочая стеклянная вакуумная камера с подсоединяемыми модулями системы напыления. Промежуточная камера позволяет освободить рабочую камеру от «обвески» из многочисленных соединений и обеспечить тем самым наглядность технологического процесса вакуумного напыления.



Рисунок 9 – Внешний вид промежуточной камеры

### **Датчик вакуума широкодиапазонный**

В широкодиапазонном манометре совмещены два классических манометра – Пирани, для измерения низкого вакуума и Пеннинга, для измерения в области среднего и высокого вакуума. Манометр Пеннинга относится к типу манометров с холодным катодом. Такие манометры могут измерять давления от 1 до  $10^{-9}$  Па. Такие манометры не могут работать если ионы, генерируемые катодом рекомбинируют прежде чем они достигнут анода. Если средняя длина свободного пробега газа меньше, чем размеры манометра, тогда ток на электроде исчезнет. Электрод в манометре Пеннинга имеет игольчатое окончание для облегчения полевой эмиссии электронов. Циклы обслуживания манометров с холодным катодом измеряются годами, в зависимости от газового типа и давления, в котором они работают.

Использование манометра с холодным катодом в газах с существенными органическими компонентами, такими как остатки масла насоса, может привести к росту тонких углеродистых плёнок в пределах манометра, которые в конечном счете замкнут электроды манометра, или будут препятствовать генерации пути разряда.



Рисунок 10 – Внешний вид широкодиапазонного датчика давления

#### **Вакуумная камера**

Вакуумная камера ограничивает технологический объем, в котором выполняются все необходимые операции. Камера имеет Т-образную сторону, непарный патрубок служит для присоединения к промежуточной камере, через которую проходит откачка. Два других колена предназначены для подключения источников распыления, подложкодержателя и других технологических элементов.



Рисунок 11 – Внешний вид вакуумной камеры

#### **Подложкодержатель**

Подложкодержатель предназначен для закрепления образцов, на которые впоследствии будет наноситься покрытие. Держатель оснащен системой подогрева подложки, которая служит для улучшения адгезии, а также для изменения морфологии получаемых покрытий.



Рисунок 12 – Внешний вид подложкодержателя

## **Технологические источники**

### **Модуль термического испарения**

Модуль предназначен для формирования тонких пленок методом термического испарения. Модуль состоит из нагревателя, выполненного из вольфрамовой проволоки, и заслонки. На спираль нагревателя подается ток, что приводит к ее разогреву и испарению размещенного на ней материала. Пары материала конденсируются на поверхности подложки, образуя тонкопленочное покрытие.



Рисунок 13 – Внешний модуль термического испарения

### **Модуль магнетронного распыления**

Модуль магнетронного распыления предназначен для осаждения тонкопленочных покрытий диодным методом при помощи магнетронных распылительных систем (магнетронов). Для работы этого модуля необходима подача в вакуумную камеру рабочего газа (как правило это аргон). На магнетрон, который является катодом, подается высокое отрицательное напряжение, происходит ионизация находящихся в зоне магнетрона рабочего газа электронами, локализованными у поверхности мишени магнетрона магнитным полем. Зажигается газовый разряд, положительные ионы рабочего газа при движении к отрицательному магнетрону ускоряются и при столкновении с мишенью магнетрона выбивают частицы материала, которые разлетаются по всем направлениям, осаждаясь, в том числе, и на поверхности подложки.



Рисунок 14 – Внешний вид модуля магнетронного распыления

**Модуль газофазного осаждения**

Модуль газофазного осаждения позволяет получать высококачественные покрытия методом химического осаждения. Под химическим осаждением понимают процесс разложения рабочего газа с выделением в объем твердой фазы какого-либо вещества и последующего его осаждения на поверхность подложки. В данном устройстве для разложения газа используется плазма.



Рисунок 15 – Внешний вид модуля газофазного осаждения

**Модуль дугового испарения**

Модуль дугового испарения предназначен для получения покрытий методом электродугового испарения. Модуль представляет собой систему двух электродов, подключенных к источнику питания постоянного тока. При соприкосновении электродов возникает короткое замыкание, через них протекает большой ток, материал электродов нагревается до высоких температур и испаряется. При этом сразу после соприкосновения электроды разводятся на небольшое расстояние так, чтобы между ними оставалась

гореть плазменная дуга, поддерживающая протекание высокого тока (десятки ампер).



Рисунок 16 – Внешний вид модуля дугового испарения

### **Контроллер управления турбомолекулярным насосом**

Специализированный контроллер предназначен для управления рядом элементов вакуумной системы: турбомолекулярным и форвакуумным насосами, датчиками вакуума, клапаном напуска атмосферы и внешним вентилятором турбомолекулярного насоса. Контроллер позволяет проводить откачку вакуумной системы в автоматическом режиме, выдавая при этом сигналы на другие устройства, например, на клапаны подачи рабочего газа. Контроллер имеет программное обеспечение, позволяющее отображать и задавать параметры через ПК, также интерфейс RS-232 для связи с внешней системой управления.

Специализированный контроллер снимает показания манометров, установленных на входном патрубке форвакуумного насоса, и промежуточной камере, а также управляет процессом пуска, разгона и остановки турбомолекулярного насоса. Модуль управляет работой системы напуска атмосферы и осуществляет контроль за неполадками в системе – если форвакуумная откачка будет недостаточной для корректной работы турбомолекулярного насоса или произойдет непредвиденная разгерметизация системы модуль выполнит экстренное торможение турбомолекулярного насоса. Контроллер предусматривает возможность

соединения с ПК по протоколу RS-232 для передачи данных и управляющих сигналов.



Рисунок 17 – Внешний вид контроллера управления турбомолекулярным насосом

### **Модуль системы автоматического управления**

В модуле управления расположены элементы контроля систем установки: система пуска вакуумных насосов, система управления и регулирования клапанов. Основной частью модуля управления является специализированный промышленный контроллер, обеспечивающий передачу данных по стандарту Ethernet между сервером удаленного управления и блоками управления исполняющих механизмов.

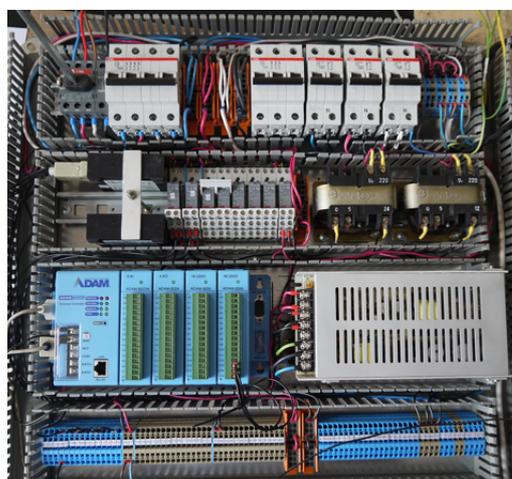


Рисунок 18 – Внешний вид модуля системы автоматического управления

### **Клапан пропорциональный электромагнитный**

Клапан электромагнитный пропорционального напуска предназначен для подачи в вакуумную камеру рабочего газа (например, аргона) с заданным расходом. Расход регулируется изменением количеством открытий и закрытий клапана в единицу времени. Для открытия клапана на его соленоид

подается постоянное напряжение +24 В, а контроллер клапана управляет количеством циклов открытия/закрытия клапана в секунду.

Клапан пропорциональный электромагнитный предназначен для регулирования расхода напускаемого рабочего газа. Расход регулируется изменением питающего напряжения соленоида активатора клапана.

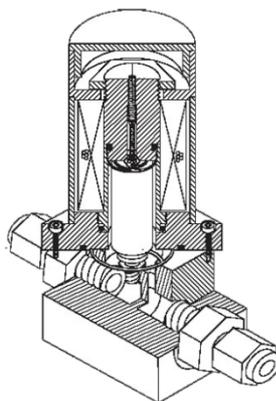


Рисунок 19 – Внешний вид пропорционального электромагнитного клапана

#### **Газовый баллон**

Баллон высокого давления представляет собой стальной сосуд с установленным на нем вентилем и предназначен для хранения технических газов (аргон, азот, циклофосфат) при давлении 150 атм.



Рисунок 20 – Внешний вид газового баллона

#### **Редуктор газовый**

Газовый редуктор предназначен для понижения давления газа, поступающего из баллона, и автоматического поддержания заданного расхода.



Рисунок 21 – Внешний вид газового редуктора

#### **1.4 Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Подключитесь к сайту интерактивного учебного комплекса, расположенного по адресу <http://www.mtl1.net.ru> и пройдите регистрацию.
2. Перейдите в раздел «Лабораторные работы» и выберите лабораторную работу по изучению устройства установки.
3. В открывшемся окне интерактивного обучающего модуля выберите пункт «Описание», откроется окно, содержащее внешний вид установки и ссылки на описание ее основных узлов. При наведении мышки на кнопку с названием узла выбранный элемент будет выделен на внешнем виде установки рамкой. По нажатию на кнопку с названием элемента на экран будет выведено его подробное описание.
4. Изучите описание установки, ее основных элементов и порядок работы с установкой.
5. Чтобы симитировать порядок проведения эксперимента по нанесению покрытия нажмите кнопку «Эксперимент».
6. В открывшемся окне выберите источник для нанесения покрытия.
7. Посмотрите процесс подготовки рабочей камеры установки к эксперименту в порядке, рекомендуемой инструкцией: «Установить подложкодержатель», «Установить подложку», «Установить источник». Визуализация процесса подготовки камеры по каждому пункту производится по нажатию кнопки «ОК».
8. В любой момент можно вернуться к началу, нажатием кнопки сброс.

9. По нажатию кнопки «Начать эксперимент» будет выведена иллюстрация выбранного технологического процесса.

### **1.5 Контрольные вопросы**

1. Нарисуйте вакуумную схему установки, объясните принцип ее работы, нарисуйте циклограмму включения/выключения элементов вакуумной системы.
2. Объясните по заданию преподавателя назначение элементов установки (не более трех).
3. Расскажите порядок подготовки установки к проведению эксперимента по нанесению покрытия.