

**РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ**

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана  
Кафедра МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении»  
Учебно-методическое обеспечение для подготовки бакалавров  
по направлению «Приборостроение»  
с профилем подготовки «Приборостроение»

**ЖУРНАЛ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

**по курсу «Высоковакуумные технологические процессы в приборостроении»**

Для студентов приборостроительных специальностей

20 \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

Студент \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_  
(фамилия, и. о.)

Преподаватель \_\_\_\_\_ Допуск к экзамену (зачету) \_\_\_\_\_

Подпись \_\_\_\_\_  
(фамилия, и. о.) (число)

Москва \_\_\_\_\_

## **П.1. ФОРМИРОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ СРЕДЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ**

**Цель работы:** изучение основных методов и средств получения и измерения вакуумной технологической среды для реализации высоковакуумных технологических процессов.

### **Решаемые задачи**

1. Изучить конструкцию и принцип работы вакуумной системы лабораторной установки вакуумного осаждения покрытий.

2. Провести экспериментальные исследования зависимости давления  $p$  в вакуумной камере СИ1 (рис. 2.1) от времени  $t$  при откачке спиральным вакуумным насосом и измерении давления термодинамическим преобразователем (датчиком низкого вакуума). Построить график зависимости  $p(t)$ , определить предельное давление форвакуумной системы  $p'$ .

3. Провести экспериментальные исследования зависимости давления  $p$  в вакуумной камере СИ1 (рис. 2.1) от времени  $t$  при откачке турбомолекулярным вакуумным насосом и измерении давления ионизационным преобразователем (датчиком высокого вакуума). Построить график зависимости  $p(t)$ , определить предельное давление высоковакуумной системы  $p'$ .

4. Экспериментально исследовать зависимость давления  $p$  от времени  $t$  при закрытом затворе. Построить кривую потока газонатекания, определить его значение.

5. Проанализировать результаты работы, сформулировать краткие выводы по работе, оформить отчет и представить его к защите.

### **Методические указания**

Прежде чем приступить к работе со средствами измерения и получения вакуума, а также с высоковакуумным стендом, следует изучить их описание.

### **Техника безопасности**

Высоковакуумный стенд управляется напряжением 380 В. Эксплуатацию экспериментального стенда следует проводить в соответствии с ПТЭ электроустановок потребителей и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей для электроустановок напряжением до 380 В.

### **Краткий конспект теоретической части**

Изучение теоретической части проводится по методическим указаниям к лабораторным работам по курсу «Высоковакуумные технологические процессы в приборостроении»).

**Подготовка к проведению лабораторной работы (выполняется преподавателем или инженером)**

Подготовка высоковакуумного стенда.

**Проведение лабораторной работы**

1. Изучить на практике конструкции спирального и турбомолекулярного насосов.

2. Изучить принцип работы широкодиапазонного датчика WRG-S.

3. Изучить принцип работы вакуумного стенда.

4. Провести экспериментальные исследования зависимости давления  $p$  в вакуумной камере  $CV1$  (рис. 2.1) от времени  $t$  при откачке спиральным вакуумным насосом Edwards XDS35i и измерении давления широкодиапазонным датчиком WRG-S. Построить график зависимости  $p(t)$ , определить предельное давление форвакуумной системы  $p'$ .

5. Провести экспериментальные исследования зависимости давления  $p$  в вакуумной камере  $CV1$  (рис. 2.1) от времени  $t$  при откачке турбомолекулярным вакуумным насосом Edwards nEXT400D и измерении давления широкодиапазонным датчиком WRG-S. Построить график зависимости  $p(t)$ , определить предельное давление высоковакуумной системы  $p'$ .

6. Экспериментально исследовать зависимость давления  $p$  от времени  $t$  при закрытом затворе. Построить кривую потока газонатекания, определить его значение.

7. Проанализировать результаты работы, сформулировать краткие выводы по работе, оформить отчет и представить его к защите.





**2. Результаты измерений**

Форвакуумная откачка			Высоковакуумная откачка			Поток газонатекания		
$p$ , Па	$t$ , с	$p'$	$p$ , Па	$t$ , с	$p'$	$p$ , Па	$t$ , с	$Q$ , Па·м <sup>3</sup> /с

**3. Анализ экспериментальных данных**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**4. Выводы**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 5. Контрольные вопросы

**1. Какой насос используется для предварительной откачки камеры?**

- а) спиральный;
- б) турбомолекулярный;
- в) криосорбционный.

**2. Какой насос используется для высоковакуумной откачки камеры?**

- а) турбомолекулярный;
- б) спиральный;
- в) диафрагменный.

**3. За счет чего широкодиапазонный датчик вакуума измеряет давление от атмосферного до сверхвысокого вакуума?**

- а) за счет объединения в едином корпусе датчиков двух типов;
- б) вследствие уникального типа чувствительного элемента датчика;
- в) за счет наличия обратной связи по давлению.

## **П.2. ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД В ВАКУУМЕ**

**Цель работы:** изучение влияния режимов обработки плазмой тлеющего разряда на состояние поверхности подложки.

### **Решаемые задачи**

1. Ознакомление с физическими основами формирования газоразрядной плазмы.
2. Ознакомление с конструкцией и принципом работы вакуумной лабораторной установки.
3. Обработка образцов при различных режимах тлеющего разряда.
4. Исследование состояния поверхности путем проведения измерений краевого угла смачивания.
5. Анализ полученных данных.
6. Оформление отчета и представление его к защите.

### **Методические указания**

Прежде чем приступить к работе на вакуумной лабораторной установке следует изучить инструкцию по эксплуатации установки для электроустановок напряжением до 220 В.

### **Техника безопасности**

Вакуумная лабораторная установка управляется напряжением 220 В. Эксплуатацию вакуумной лабораторной установки следует проводить в соответствии с ПТЭ электроустановок потребителей и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей.

### **Краткий конспект теоретической части**

Изучение теоретической части проводится по методическим указаниям к лабораторным работам по курсу «Высоковакуумные технологические процессы в приборостроении».

### **Подготовка к проведению лабораторной работы (выполняется преподавателем или инженером)**

Подготовка вакуумной лабораторной установки к работе.

### **Проведение лабораторной работы**

1. Ознакомиться с физическими основами формирования газоразрядной плазмы.
2. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы гониометра и вакуумной лабораторной установки.
3. Подготовить девять стеклянных подложек. Протереть подложки безворсовой тканью, смоченной в спирте.

4. Провести по три измерения краевого угла смачивания на каждом образце. Результаты измерений записать в таблицу.

5. Провести очистку каждого образца в высокочастотной плазме низкого давления при мощности разряда 50, 100 и 200 Вт и времени очистки 30, 60 и 90 с.

6. Провести по три измерения краевого угла смачивания на каждом очищенном образце. Результаты измерений записать в таблицу.

7. Построить график зависимости краевого угла смачивания от времени обработки. Проанализировать полученные данные, сделать краткие выводы по работе.

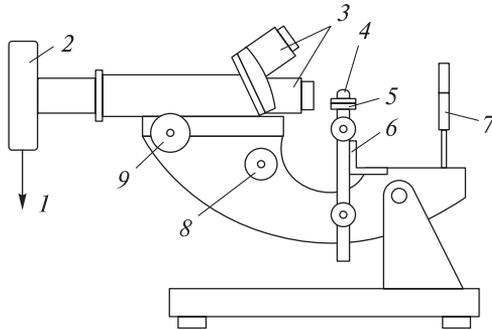
8. Подготовить отчет и представить его к защите.

**МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА                      КАФЕДРА МТ-11**  
**«ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»**

Отчет по лабораторной работе № 2 «Тлеющий разряд в вакууме»			
ФИО студента	Группа	Дата выполнения	Подпись студента
Оценка (max 5)	Бонус за сложность	Дата защиты	Подпись преподавателя

**1. Краткий конспект теоретической части**

Подпишите составляющие части гониометра.



- 1 — \_\_\_\_\_
- 2 — \_\_\_\_\_
- 3 — \_\_\_\_\_
- 4 — \_\_\_\_\_
- 5 — \_\_\_\_\_
- 6 — \_\_\_\_\_
- 7 — \_\_\_\_\_
- 8 — \_\_\_\_\_
- 9 — \_\_\_\_\_

Перечислите основные параметры газоразрядной плазмы.

---



---

## 2. Результаты измерений

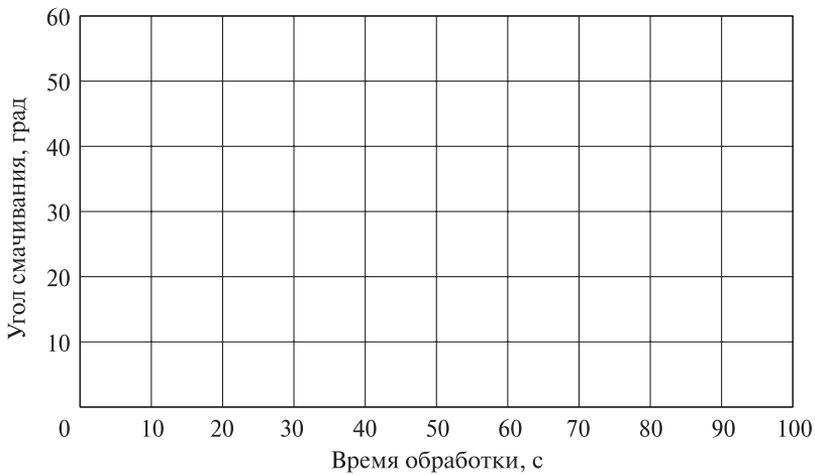
### Числовые значения краевого угла смачивания до обработки

№ п/п	Измерение № 1	Измерение № 2	Измерение № 3	Среднее значение
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

### Числовые значения краевого угла смачивания после обработки

№ п/п	Мощность, Вт	Время, с	Измерение № 1	Измерение № 2	Измерение № 3	Среднее значение
1	50	30				
2	50	60				
3	50	90				
4	100	30				
5	100	60				
6	100	90				
7	200	30				
8	200	60				
9	200	90				

**3. Построение экспериментальной зависимости краевого угла смачивания от времени обработки**



**4. Анализ результатов**

Проанализируйте влияние:

1) времени обработки на гидрофильное свойство поверхности

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2) мощности на гидрофильное свойство поверхности

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 5. Выводы

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 6. Контрольные вопросы

### 1. Какой параметр измеряет гониометр?

- а) краевой угол смачивания;
- б) гидрофильность поверхности;
- в) гидрофобность поверхности.

### 2. Увеличение краевого угла смачивания свидетельствует, что

- а) количество загрязнений на поверхности уменьшилось;
- б) количество загрязнений на поверхности увеличилось;
- в) количество загрязнений на поверхности не изменилось.

### 3. На изменение краевого угла смачивания до и после обработки поверхности в плазме в большей степени влияет

- а) длительность обработки;
- б) температура поверхности;
- в) материал подложки.

### **П.3. ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО ИСПАРЕНИЯ И МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ**

**Цель работы:** изучение технологических процессов и оборудования для формирования тонкопленочных покрытий методами термического испарения и магнетронного распыления.

#### **Решаемые задачи**

10. Ознакомление с физическими основами процесса нанесения тонких пленок методами термического испарения и магнетронного распыления.

11. Формирование пленки на подложке методом термического испарения, контроль времени осаждения, запись параметров.

12. Формирование пленки на подложке методом магнетронного распыления, контроль времени осаждения, запись параметров.

13. Расчеты толщин сформированных пленок.

14. Анализ полученных данных.

15. Оформление отчета и представление его к защите.

#### **Методические указания**

Прежде чем приступить к работе на вакуумной универсальной установке, следует изучить инструкцию по эксплуатации установки.

#### **Техника безопасности**

Вакуумная универсальная установка управляется напряжением 380 В. Эксплуатацию вакуумной универсальной установки следует проводить в соответствии с ПТЭ электроустановок потребителей и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей для электроустановок напряжением до 380 В.

#### **Краткий конспект теоретической части**

Изучение теоретической части проводится по методическим указаниям к лабораторным работам по курсу «Высоковакуумные технологические процессы в приборостроении».

#### **Подготовка к проведению лабораторной работы (выполняется преподавателем или инженером)**

1. Выбор материала для термического испарителя и его установка в испаритель.

2. Выбор мишени для магнетронной распылительной системы и ее установка в магнетрон.

3. Подготовка универсальной вакуумной установки к работе.

**Проведение лабораторной работы**

1. Ознакомиться с физическими основами процесса нанесения тонких пленок методом термического испарения.
2. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы термического испарителя.
3. Установить в рабочую камеру установки испаритель, испаряемый материал и предварительно очищенные подложки.
4. Произвести осаждение пленки методом термического испарения, измерить время осаждения, записать параметры.
5. Разгерметизировать камеру и извлечь образцы после термического испарения.
6. Установить в рабочую камеру установки мишень в магнетрон и предварительно очищенные подложки.
7. Произвести осаждение пленки методом магнетронного распыления, измерить время осаждения, записать параметры.
8. На основании выражений для нахождения скоростей выполнить расчеты толщин осажденных пленок.
9. Проанализировать полученные данные, сделать краткие выводы по работе.
10. Подготовить отчет и представить его к защите.





## 2. Формирование покрытия методом термического испарения

### *Испаряемый материал и его характеристики*

1. Материал покрытия — \_\_\_\_\_.
2. Молярная масса материала  $M$  — \_\_\_\_\_, кг/кмоль
3. Плотность материала  $\rho$  — \_\_\_\_\_, кг/м<sup>3</sup>
4. Коэффициент прилипания  $\alpha M$  — \_\_\_\_\_.

### *Параметры процесса испарения*

1. Температура испарения  $T_{\text{и}}$  — \_\_\_\_\_, К
2. Давление пара материала  $p_{\text{нас}}$  — \_\_\_\_\_, Па
3. Рабочее давление процесса  $p$  — \_\_\_\_\_, Па
4. Площадь испарителя  $S_{\text{и}}$  — \_\_\_\_\_, м<sup>2</sup>
5. Длительность процесса  $t$  — \_\_\_\_\_, с

### *Параметры геометрии системы*

1. Расстояние от источника до подложки  $r_1$  — \_\_\_\_\_, м
2. Косинус угла испарения  $\cos \varphi$  — \_\_\_\_\_.
3. Косинус угла конденсации  $\cos \theta$  — \_\_\_\_\_.

### *Расчет значения толщины покрытия*

1. Скорость испарения  $v_{\text{и}} =$  \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
2. Скорость осаждения  $v_{\text{о}} =$  \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
3. Толщина покрытия  $h_{\text{и}} =$  \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### 3. Формирование покрытия методом магнетронного распыления

#### *Распыляемый материал и его характеристики*

1. Материал покрытия — \_\_\_\_\_.
2. Молярная масса материала  $M$  — \_\_\_\_\_, кг/кмоль
3. Плотность материала  $\rho$  — \_\_\_\_\_, кг/м<sup>3</sup>
4. Заряд электрона  $qe$  — \_\_\_\_\_, Кл
5. Число Авогадро  $N_A$  — \_\_\_\_\_, кмоль<sup>-1</sup>
6. Коэффициент прилипания  $\alpha M$  — \_\_\_\_\_.

#### *Параметры процесса распыления*

1. Ток разряда  $I$  — \_\_\_\_\_, А
2. Напряжение разряда  $U$  — \_\_\_\_\_, В
3. Рабочее давление процесса  $p$  — \_\_\_\_\_, Па
4. Площадь зоны распыления  $S_{\text{п}}$  — \_\_\_\_\_, м<sup>2</sup>
5. Плотность ионного тока  $j$  — \_\_\_\_\_, А/м<sup>2</sup>
6. Энергия ионов аргона  $E$  — \_\_\_\_\_, кэВ
7. Коэффициент распыления  $S_p$  — \_\_\_\_\_, атом/ион
8. Длительность процесса  $t$  — \_\_\_\_\_, с

#### *Параметры геометрии системы*

1. Расстояние от источника до подложки  $r_1$  — \_\_\_\_\_,
2. Косинус угла распыления  $\cos \varphi$  — \_\_\_\_\_
3. Косинус угла конденсации  $\cos \theta$  — \_\_\_\_\_

#### *Расчет значения толщины покрытия*

1. Скорость распыления  $v_p =$  \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
2. Скорость осаждения  $v_o =$  \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
3. Толщина покрытия  $h_p =$  \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### 4. Выводы

---

---

---

---

---

---

---

---

#### 5. Контрольные вопросы

**1. Для осуществления процесса термического испарения необходимо:**

- а) нагреть материал до температуры, обеспечивающей давление насыщенных паров данного материала;
- б) нагреть материал до температуры испарения;
- в) нагреть материал до температуры плавления.

**2. Для осуществления процесса магнетронного распыления необходимо:**

- а) подать в камеру рабочий газ;
- б) подать небольшое напряжение на подложкодержатель с установленными на них подложками;
- в) использовать дополнительный источник генерации ионов рабочего газа.

**3. Число приходящих от технологического на подложку частиц зависит от:**

- а) расстояния между технологическим источником и подложкой;
- б) энергии частиц;
- в) материала подложки.

## **П.4. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ ПЛЕНОК**

**Цель работы:** изучение способов контроля и измерения геометрических (толщина) и физических (адгезия) характеристик тонкопленочных покрытий, сформированных различными методами.

### **Решаемые задачи**

1. Изучение конструкции интерференционного микроскопа МИИ-4М с фотоэлектрическим микрометром и адгезиметра Elcometer.
2. Изучение базовых принципов работы с автоматизированной программой вычисления микроинтерферометра МИИ-4М в режиме измерения толщины тонкопленочного покрытия.
3. Проведение измерений толщины тонкопленочного покрытия на образцах, подготовленных в лабораторной работе № 3.
4. Проведение измерений адгезии образцов, сформированных методами термического испарения и магнетронного распыления.
5. Сравнительный анализ измеренных толщин на микроскопе МИИ-4 и рассчитанных в лабораторной работе № 3.
6. Оформление отчета и представление его к защите.

### **Методические указания**

Прежде чем приступить к работе на универсальной вакуумной установке, следует изучить инструкцию по эксплуатации установки.

### **Техника безопасности**

Интерференционный микроскоп МИИ-4 управляется напряжением 220 В. Эксплуатацию микроскопа МИИ-4 следует проводить в соответствии с ПТЭ электроустановок потребителей и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей для электроустановок напряжением до 220 В.

### **Краткий конспект теоретической части**

Изучение теоретической части проводится по методическим указаниям к лабораторным работам по курсу «Высоковакуумные технологические процессы в приборостроении»).

### **Подготовка к проведению лабораторной работы (выполняется преподавателем или инженером)**

1. Выбор материала катода для дугового испарителя и его установка в испаритель.
2. Подготовка универсальной вакуумной установки к работе.

**Проведение лабораторной работы**

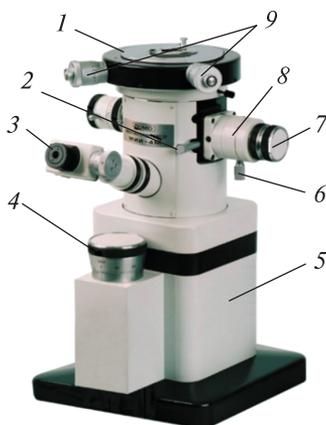
1. Ознакомиться с принципом измерения толщины на интерференционном микроскопе МИИ-4М.
2. Ознакомиться с принципом измерения адгезии с помощью адгезиметра Elcometer.
3. Измерить толщину покрытий, полученных методами термического испарения и магнетронного распыления в лабораторной работе № 3.
4. Сравнить измеренную толщину на микроскопе МИИ-4 с рассчитанной толщиной.
5. Измерить адгезию покрытий, сформированных методами термического испарения и магнетронного распыления.
6. Проанализировать полученные результаты.
7. Подготовить отчет и представить его к защите преподавателю.

**МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА                      КАФЕДРА МТ-11**  
**«ЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»**

Отчет по лабораторной работе № 4 «Исследование геометрических и физических характеристик тонких пленок»			
ФИО студента	Группа	Дата выполнения	Подпись студента
Оценка (max 5)	Бонус за сложность	Дата защиты	Подпись преподавателя

### 1. Краткий конспект теоретической части

Из каких основных элементов состоит интерференционный микроскоп МИИ-4?



- 1 — \_\_\_\_\_
- 2 — \_\_\_\_\_
- 3 — \_\_\_\_\_
- 4 — \_\_\_\_\_
- 5 — \_\_\_\_\_
- 6 — \_\_\_\_\_
- 7 — \_\_\_\_\_
- 8 — \_\_\_\_\_
- 9 — \_\_\_\_\_



### 3. Сравнение измеренной толщины и рассчитанной

Факторы, повлиявшие на расхождение расчетного и измеренного значений толщины покрытия:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 4. Результаты измерения адгезии

№ образца	Термическое испарения	Магнетронное распыление	Оценка адгезии
1			
2			
3			

### 5. Сравнение адгезии тонкопленочного покрытия, полученного разными методами

Факторы, повлиявшие на различие адгезионной прочности тонкопленочных покрытий, полученных методами термического испарения и магнетронного распыления:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 6. Выводы

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 7. Контрольные вопросы

**1. Измерение толщины тонкопленочных покрытий на микроскопе МИИ-4 лежит основано на явлении:**

- а) интерференции;
- б) дифракции;
- в) двулучепреломления.

**2. Измерение адгезии методом скрайбирования дает оценку ее значения:**

- а) качественную;
- б) количественную;
- в) достаточную для практического использования.

**3. На значение адгезии наибольшее влияние оказывает:**

- а) энергия осаждаемых на поверхность частиц;
- б) расстояние от технологического источника до подложки;
- в) шероховатость поверхности.

## **П.5. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА УСТАНОВКЕ MANTIS QPREP 500**

Вакуумное технологическое оборудование широко применяется в приборостроении и микроэлектронике, в энергетической, аэрокосмической, пищевой, химической, фармацевтической, отраслях промышленности, в металлургии, медицине и др.

Большинство вакуумных технологических установок включают в себя следующие системы:

- технологическую (источники частиц, нагреватели и т. д.) — реализуют технологическое воздействие на обрабатываемые изделия;

- вакуумную — обеспечивает требуемые условия для проведения технологического процесса;

- газовую (система подачи газов) — обеспечивает необходимый состав газовой среды в рабочей камере в соответствии с технологическим процессом;

- транспортную — осуществляет ввод (вывод) изделий в рабочую камеру и зону технологического процесса, а также их ориентацию относительно технологических источников;

- вспомогательную (экраны, заслонки, средства контроля) — осуществляет контроль качества и удобство проведения технологического процесса и межпроцессных работ;

- система питания и управления — обеспечивает электропитание элементов установки и осуществляет требуемый уровень контроля и автоматизации ее работы.

Вакуумная технологическая установка MANTIS QPREP 500. Принципы эксплуатации

Установка QPREP 500M (Mantis Dtposition) предназначена для напыления тонких пленок металлов и их нитридов в аргоне и его смеси с азотом на подложку диаметром до 150 мм методом магнетронного распыления (рис. П5.1).

Области применения установки:

- полупроводниковые пленки;
- оксидные (и другие) диэлектрики;
- наноструктурные пленки;
- мультислои;
- сложные полупроводники;
- металлизация устройств;
- сверхтонкие пленки.

Вакуумная камера установки с монтированным на ней турбомолекулярным насосом представляет собой самостоятельный модуль. Технологические люки в камере обеспечивают герметичное присоединение шлюза присоединения дополнительного вакуумного оборудования или ввод в камеру оснастки с целью расширения технологических возможностей. Данный модуль легко встраивается в технологическую линейку вакуумного оборудования. В состав установки входят основной вакуумный модуль, форвакуумный насос, пульт управления, система охлаждения и система подачи рабочего газа (аргона или азота). С помощью форвакуумного насоса осуществляется предварительная откачка вакуумной камеры и турбомолекулярного насоса до  $10^{-2}$  мбар (2 Па). Замкнутая система охлаждения состоит из чиллера и системы трубопроводов, обеспечивающих охлаждение магнетронов, подшипников шагового двигателя и двигателя турбомолекулярного насоса. В систему подачи газа входят газовый баллон, редуктор, электромагнитный клапан и вентили подачи газа в область магнетронов.

### Вакуумная камера

Модульная система осаждения Qprep500 предназначена для нанесения тонких пленок в сверхчистых условиях. Она основана на системе высокого вакуума с использованием фланца ConFlat. Это позволяет создавать в рабочей камере высокий вакуум. Общий вид вакуумной камеры приведен на рис. П5.2.

По центру крышки (см. рис. П5.2, поз. 1) вмонтирован герметичный ввод перемещения устройства крепления подложки по вертикали и по кругу с помощью шагового двигателя (поз. 2). В днище варены три люка. В люке (поз. 3) вмонтирован магнетрон для высокочастотного напыления, в люке (поз. 4) — магнетрон для напыления постоянным током, в люке (поз. 5) — магнетрон для очистки поверхности подложки. Поз. 6 — турбомолекулярный насос герметично соединен фланцем с корпусом камеры. Установка подложки и мишеней в магнетроны проводится через люк поз. 7. Визуальное наблюдение за процессом в камере осуществляются через смотровое окно (поз. 8). Поз. 9 — герметичный вакуумный ввод, обеспечивающий при наличии



Рис. П5.1. Общий вид вакуумной технологической установки MANTIS QPREP 500

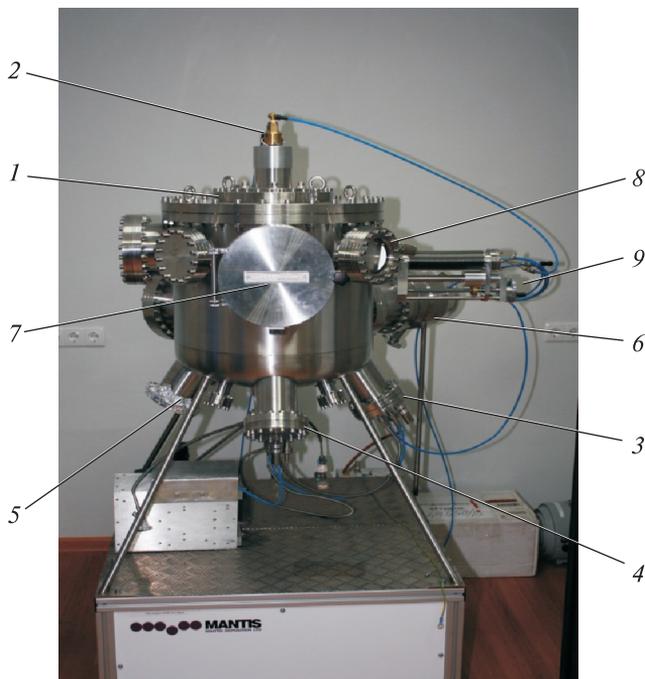


Рис. П5.2. Общий вид вакуумной камеры

сильфона горизонтальное перемещение в зоне напыления кристалла-сенсора контроля толщины напыляемой пленки.

Для предварительной откачки камеры и турбомолекулярного насоса используется форвакуумный насос (поз. 3), соединенный гибким шлангом (поз. 1) через прямооточный клапан (поз. 2) с турбомолекулярным насосом (рис. П5.3).

Вид внутренней полости вакуумной камеры представлен на рис. П5.4.

Давление  $2 \times 10^{-7}$  мбар ( $2 \cdot 10^{-5}$  Па) в камере достигается включением турбомолекулярного насоса (рис. П5.5). Поскольку для поджога плазмы необходимо запустить механизм ионизации рабочего газа в электрическом поле и создать определенную плотность ионизированных частиц, следует повысить давление в камере. Для создания в камере требуемого давления необходимо уменьшить скорость откачки турбомолекулярного насоса. Для этого между турбомолекулярным насосом и вакуумной камерой смонтирован вакуумный затвор поворотного типа. Открытие и закрытие затвора осуществляется рукояткой. Магнетроны закрыты крышками. Открытие и закрытие крышек осуществляется с помощью рукояток, что позволяет напылять на подложку слои пленки различного состава.

Процесс формирования пленки происходит при комнатной температуре, но на поверхности магнетрона при работе плазмы температура повышается, что требует принудительного охлаждения. Для охлаждения подшипников шагового двигателя и турбомолекулярного насоса служит система охлаждения,

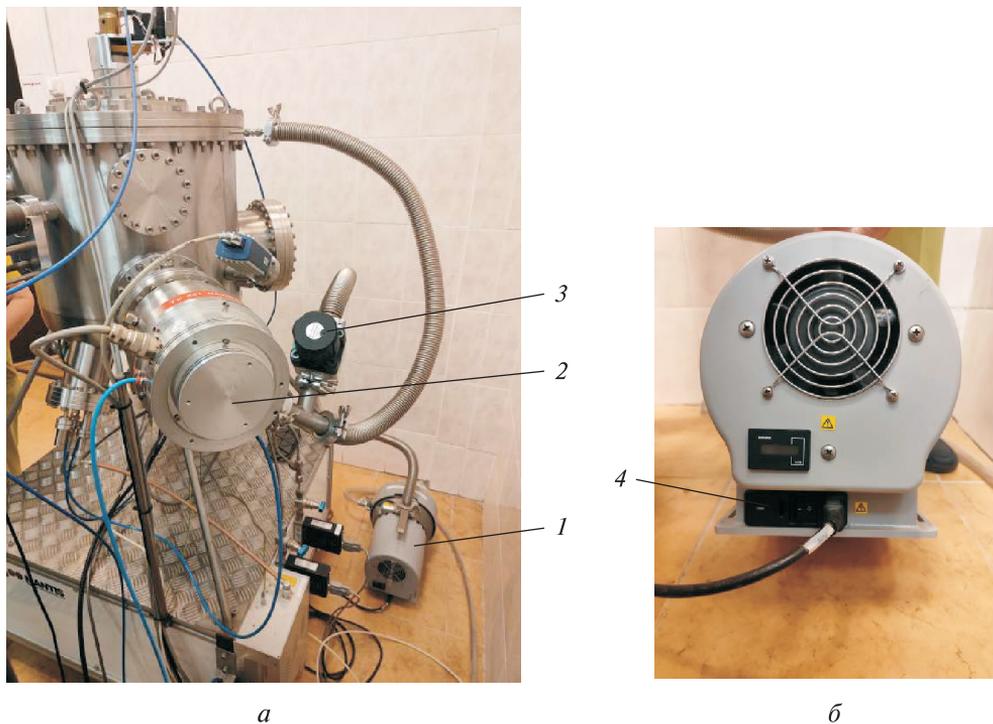
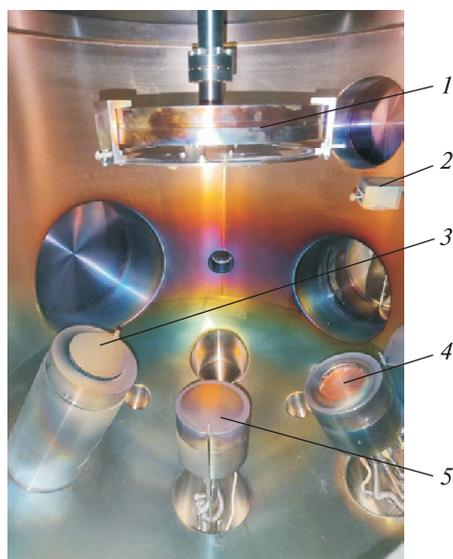
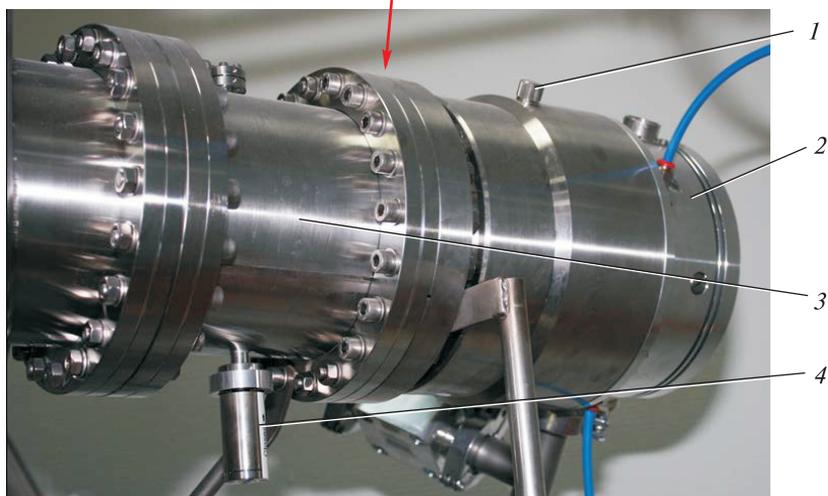


Рис. П5.3. Подключение форвакуумного насоса

Рис. П5.4. Вид внутренней полости вакуумной камеры:

1 — фиксатор подложки; 2 — кристалл-сенсор для контроля толщины пленки; 3 — магнетрон для очистки; 4 — магнетрон для ВЧ-напыления; 5 — магнетрон для напыления постоянным током





**Рис. П5.5.** Турбомолекулярный насос:

1 — пробка для подачи атмосферного воздуха в камеру; 2 — насос; 3 — вакуумный затвор поворотного типа; 4 — рукоятка регулировки затвора

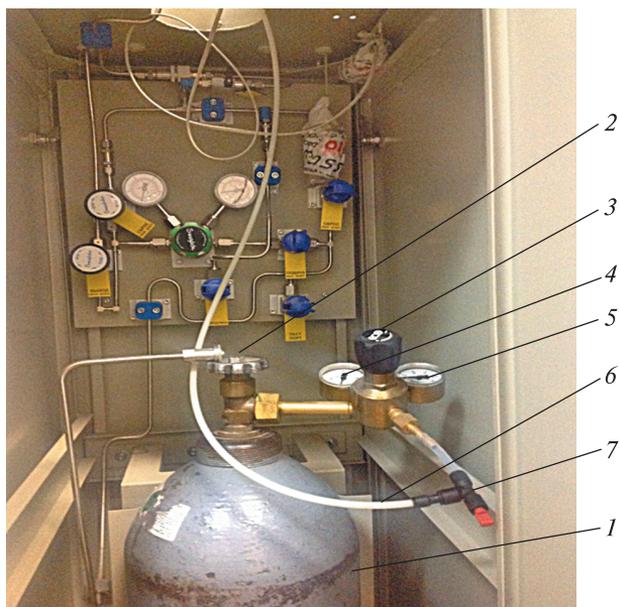
состоящая из холодильника-чиллера (рис. П5.6) и системы трубопроводов. Тумблер включения чиллера в сеть расположен на его панели. Там же находится указатель уровня воды «минимум» — «максимум».

Система подачи рабочего газа приведена на рис. П5.7. Газ из газового баллона редуктора, кран быстрого сброса давления из магистрали, гибкий шланг подачи газа на вход электромагнитного клапана, далее через кран



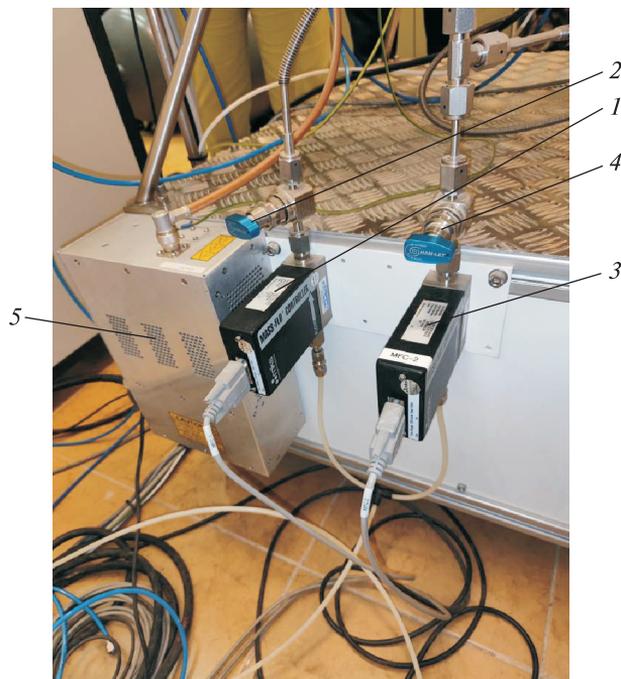
**Рис. П5.6.** Чиллер с панелью управления:

1 — воронка для заливки воды; 2 — выставка температуры; 3 — тумблер включения; 4 — контроль давления воды



**Рис. П5.7.** Система подачи рабочего газа:

1 — газовый баллон; 2 — вентиль высокого давления; 3 — регулятор; 4 — манометр низкого давления; 5 — трубопровод подачи газа в вакуумную камеру; 6 — предохранительный клапан



**Рис. П5.8.** Схема подачи газа в камеру:

1 — линия подачи газа на магнетроны напыления; 2 — линия подачи газа на систему очистки

поступает на тройник и по гибким шлангам к магнетронам (рис. П5.8). Функционирование электромагнитного клапана контролируется контроллером управления.

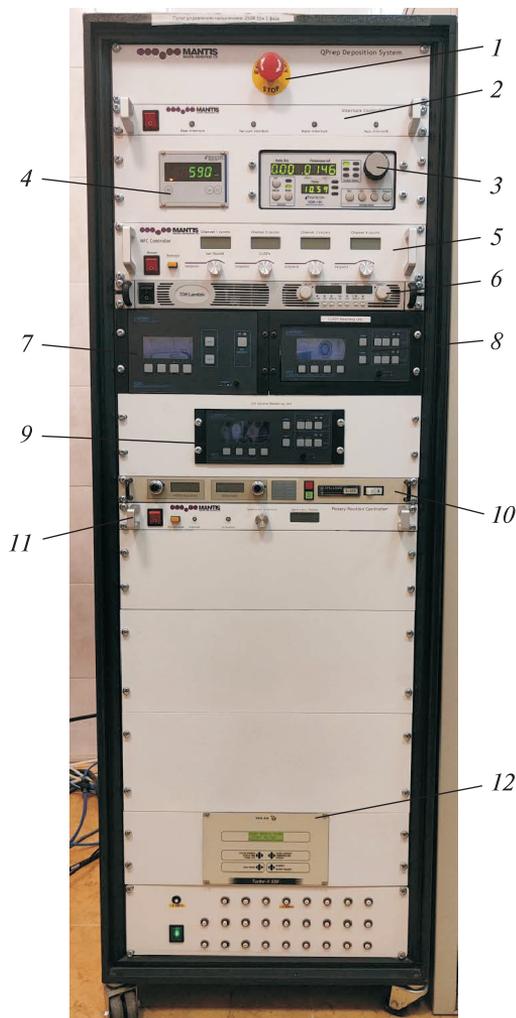
Основным блоком включения в работу установки является пульт управления, с помощью которого осуществляются выставка рабочих технологических параметров, контроль за соблюдением заданных параметров и контроль за безопасной эксплуатацией (рис. П5.9). Включение пульта в работу проводят поворотом выключателя (рис. П5.10, а) по ходу часовой стрелки.

Материалы и оснастка, необходимые для проведения процесса напыления в режиме постоянного тока:

1) подложка — пластина из ситалла, пластика, кремния и т. п., размером 60×60 мм.

2) мишень, изготовленная из металла или оксида металла (ов), который необходимо напылить на поверхность подложки (табл. П5.1). Размер мишени: диаметр 50 мм; толщина 4 мм;

3) для крепления подложки в устройство фиксации подложки следует вырезать из стальной фольги две заготовки диаметром, равным диаметру отверстия в устройстве фиксации, добавив 5 мм. Затем на в центре одной заготовки вырезать окно размером 50×50 мм.

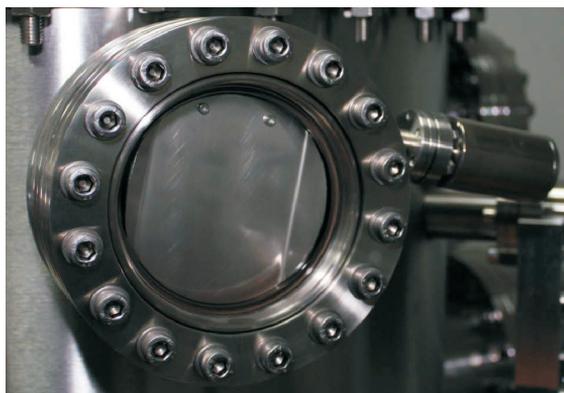


**Рис. П5.9.** Передняя панель пульта управления:

1 — аварийное отключение питания; 2 — панель контроля; 3 — контроллер параметров напыления; 4 — контроль давления в камере; 5 — контроллер управления расходом рабочего газа; 6 — блок питания магнетрона постоянного тока; 7 — блок ВЧ-питания; 8 — контроллер управления блока согласования импедансов системы ВЧ-напыления; 9 — контроллер управления блока согласования импедансов системы; 10 — блок питания системы блока очистки; 11 — блок питания шагового двигателя вращения подложки; 12 — контроллер управления турбомолекулярным насосом



*а*



*б*

**Рис. П5.10.** Выключатель пульта управления (*а*) и окно наблюдения за режимом плазмы (*б*)

Таблица П5.1

Параметры настройки процесса магнетронного напыления для материалов, указанных согласно спецификации на установку магнетронного напыления

Материал	Плотность	Z-Ratio	Наименование материала согласно спецификации регламента
Ag	10.500	0.529	Silver
AgBr	6.470	1.180	Silver Bromide
AgCl	5.560	1.320	Silver Chloride
Al	2.700	1.080	Aluminum
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.970	0.336	Aluminum Oxide
Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	2.360	*1.000	Aluminum Carbide
AlF <sub>3</sub>	3.070	*1.000	Aluminum Fluoride
AlN	3.260	*1.000	Aluminum Nitride
AlSb	4.360	0.743	Aluminum Antimonide
As	5.730	0.966	Arsenic
As <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	4.750	*1.000	Arsenic Selenide
Au	19.300	0.381	Gold
B	2.370	0.389	Boron
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.820	*1.000	Boron Oxide
B <sub>4</sub> C	2.370	*1.000	Boron Carbide
Ba	3.500	2.100	Barium
BaF <sub>2</sub>	4.886	0.793	Barium Fluoride
BaN <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	3.244	1.261	Barium Nitrate
BaO	5.720	*1.000	Barium Oxide
BaTiO <sub>3</sub>	5.999	0.464	Barium Titanate (Tetr)
BaTiO <sub>3</sub>	6.035	0.412	Barium Titanate (Cibic)
Be	1.850	0.543	Beryllium
BeF <sub>2</sub>	1.990	*1.000	Beryllium Fluoride
BeO	3.010	*1.000	Beryllium Oxide
Bi	9.800	0.790	Bismuth
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.900	*1.000	Bismuth Oxide
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	7.390	*1.000	Bismuth Trisulphide
Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	6.820	*1.000	Bismuth Selenide
Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	7.700	*1.000	Bismuth Telluride
BiF <sub>3</sub>	5.320	*1.000	Bismuth Fluoride
BN	1.860	*1.000	Boron Nitride
C	2.250	3.260	Carbon (Graphite)
C	3.520	0.220	Carbon (Diamond)
Ca	1.550	2.620	Calcium
CaF <sub>2</sub>	3.180	0.775	Calcium Fluoride

Продолжение табл. П5.1

Материал	Плотность	Z-Ratio	Наименование материала согласно спецификации регламента
CaO	3.350	*1.000	Calcium Oxide
CaO-SiO <sub>2</sub>	2.900	*1.000	Calcium Silicate (3)
CaSO <sub>4</sub>	2.962	0.955	Calcium Sulfate
CaTiO <sub>3</sub>	4.100	*10~	Calcium Titanate
CaWO <sub>4</sub>	6.060	*1.000	Calcium Tungstate
Cd	8.640	0.682	Cadmium
CdF <sub>2</sub>	6.640	*1.000	Cadmium Fluoride
CdO	8.150	*1.000	Cadmium Oxide
CdS	4.830	1.020	Cadmium Sulfide
CdSe	5.810	*1.000	Cadmium Selenide
CdTe	6.200	0.980	Cadmium Telluride
Ce	6.780	*1.000	Cerium
CeF <sub>3</sub>	6.160	*1.000	Cerium (III) Fluoride
CeO <sub>2</sub>	7.130	*1.000	Cerium (IV) Dioxide
Co	8.900	0.343	Cobalt
CoO	6.440	0.412	Cobalt Oxide
Cr	7.200	0.305	Chromium
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.210	*1.000	Chromium (III) Oxide
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	6.680	*1.000	Chromium Carbide
CrB	6.170	*1.000	Chromium Boride
Cs	1.870	*1.000	Cesium
Cs <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.243	1.212	Cesium Sulfate
CsBr	4.456	1.410	Cesium Bromide
CsCl	3.988	1.399	Cesium Chloride
CsI	4.516	1.542	Cesium Iodide
Cu	8.930	0.437	Copper
Cu <sub>2</sub> O	6.000	*1.000	Copper Oxide
Cu <sub>2</sub> S	5.600	0.690	Copper (I) Sulfide (Alpha)
Cu <sub>2</sub> S	5.800	0.670	Copper (I) Sulfide (Beta)
CuS	4.600	0.820	Copper (II) Sulfide
Dy	8.550	0.600	Dysprosium
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.810	*1.000	Dysprosium Oxide
Er	9.050	0.740	Erbium
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.640	*1.000	Erbium Oxide
Eu	5.260	*1.000	Europium
EuF <sub>2</sub>	6.500	*1.000	Europium Fluoride
Fe	7.860	0.349	Iron

Продолжение табл. П5.1

Материал	Плотность	Z-Ratio	Наименование материала согласно спецификации регламента
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.240	*1.000	Iron Oxide
FeO	5.700	*1.000	Iron Oxide
FeS	4.840	*1.000	Iron Sulphide
Ga	5.930	0.593	Gallium
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.880	*1.000	Gallium Oxide (B)
GaAs	5.310	1.590	Gallium Arsenide
GaN	6.100	*1.000	Gallium Nitride
GaP	4.100	*1.000	Gallium Phosphide
GaSb	5.600	*1.000	Gallium Antimonide
Gd	7.890	0.670	Gadolinium
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.410	*1.000	Gadolinium Oxide
Ge	5.350	0.516	Germanium
Ge <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	5.200	*1.000	Germanium Nitride
GeO <sub>2</sub>	6.240	*1.000	Germanium Oxide
GeTe	6.200	*1.000	Germanium Telluride
Hf	13.090	0.360	Hafnium
HfB <sub>2</sub>	10.500	*1.000	Hafnium Boride
HfC	12.200	*1.000	Hafnium Carbide
HfN	13.800	*1.000	Hafnium Nitride
HfO <sub>2</sub>	9.680	*1.000	Hafnium Oxide
HfSi <sub>2</sub>	7.200	*1.000	Hafnium Silicide
Hg	13.460	0.740	Mercury
Ho	8.800	0.580	Holmium
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.410	*1.000	Holmium Oxide
In	7.300	0.841	Indium
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.180	*1.000	Indium Sesquioxide
In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	5.700	*1.000	Indium Selenide
In <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	5.800	*1.000	Indium Telluride
InAs	5.700	*1.000	Indium Arsenide
InP	4.800	*1.000	Indium Phosphide
InSb	5.760	0.769	Indium Antimonide
Ir	22.400	0.129	Iridium
K	0.860	10.189	Potassium
KBr	2.750	1.893	Potassium Bromide
KCl	1.980	2.050	Potassium Chloride
KF	2.480	*1.000	Potassium Fluoride
KI	3.128	2.077	Potassium Iodide

Продолжение табл. П5.1

Материал	Плотность	Z-Ratio	Наименование материала согласно спецификации регламента
La	6.170	0.920	Lanthanum
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.510	*1.000	Lanthanum Oxide
LaB <sub>6</sub>	2.610	*1.000	Lanthanum Boride
LaF <sub>3</sub>	5.940	*1.000	Lanthanum Fluoride
Li	0.530	5.900	Lithium
LiBr	3.470	1.230	Lithium Bromide
LiF	2.638	0.778	Lithium Fluoride
LiNbO <sub>3</sub>	4.700	0.463	Lithium Niobate
Lu	9.840	*1.000	Lutetium
Mg	1.740	1.610	Magnesium
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3.600	*1.000	Magnesium Aluminate
MgAl <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	8.000	*1.000	Spinel
MgF <sub>2</sub>	3.180	0.637	Magnesium Fluoride
MgO	3.580	0.411	Magnesium Oxide
Mn	7.200	0.377	Manganese
MnO	5.390	0.467	Manganese Oxide
MnS	3.990	0.940	Manganese (II) Sulfide
Mo	10.200	0.257	Molybdenum
Mo <sub>2</sub> C	9.180	*1.000	Molybdenum Carbide
MoB <sub>2</sub>	7.120	*1.000	Molybdenum Boride
MoO <sub>3</sub>	4.700	*1.000	Molybdenum Trioxide
MoS <sub>2</sub>	4.800	*1.000	Molybdenum Disulfide
Na	0.970	4.800	Sodium
Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	2.900	*1.000	Cryolite
Na <sub>5</sub> Al <sub>3</sub> F <sub>14</sub>	2.900	*1.000	Chiolite
NaBr	3.200	*1.000	Sodium Bromide
NaCl	2.170	1.570	Sodium Chloride
NaClO <sub>3</sub>	2.164	1.565	Sodium Chlorate
NaF	2.558	0.949	Sodium Fluoride
NaNO <sub>3</sub>	2.270	1.194	Sodium Nitrate
Nb	8.578	0.492	Niobium (Columbium)
Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.500	*1.000	Niobium Trioxide
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.470	*1.000	Niobium (V) Oxide
NbB <sub>2</sub>	6.970	*1.000	Niobium Boride
NbC	7.820	*1.000	Niobium Carbide
NbN	8.400	*1.000	Niobium Nitride
Nd	7.000	*1.000	Neodymium

Продолжение табл. П5.1

Материал	Плотность	Z-Ratio	Наименование материала согласно спецификации регламента
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.240	*1.000	Neodymium Oxide
NdF <sub>3</sub>	6.506	*1.000	Neodymium Fluoride
Ni	8.910	0.331	Nickel
NiCr	8.500	*1.000	Nichrome
NiCrFe	8.500	*1.000	Inconel
NiFe	8.700	*1.000	Permalloy
NiFeMo	8.900	*1.000	Supermalloy
NiO	7.450	*1.000	Nickel Oxide
P <sub>3</sub> N <sub>5</sub>	2.510	*1.000	Phosphorus Nitride
Pb	11.300	1.130	Lead
PbCl <sub>2</sub>	5.850	*1.000	Lead Chloride
PbF <sub>2</sub>	8.240	0.661	Lead Fluoride
PbO	9.530	*1.000	Lead Oxide
PbS	7.500	0.566	Lead Sulfide
PbSe	8.100	*1.000	Lead Selenide
PbSnO <sub>3</sub>	8.100	*1.000	Lead Stannate
PbTe	8.160	0.651	Lead Telluride
Pd	12.038	0.357	Palladium
PdO	8.310	*1.000	Palladium Oxide
Po	9.400	*1.000	Polonium
Pr	6.780	*1.000	Praseodymium
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.880	*1.000	Praseodymium Oxide
Pt	21.400	0.245	Platinum
PtO <sub>2</sub>	10.200	*1.000	Platinum Oxide
Ra	5.000	*1.000	Radium
Rb	1.530	2.540	Rubidium
RbI	3.550	*1.000	Rubidium Iodide
Re	21.040	0.150	Rhenium
Rh	12.410	0.210	Rhodium
Ru	12.362	0.182	Ruthenium
S <sub>8</sub>	2.070	2.290	Sulphur
Sb	6.620	0.768	Antimony
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.200	*1.000	Antimony Trioxide
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	4.640	*1.000	Antimony Trisulfide
Sc	3.000	0.910	Scandium
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.860	*1.000	Scandium Oxide
Se	4.810	0.864	Selenium

Продолжение табл. П5.1

Материал	Плотность	Z-Ratio	Наименование материала согласно спецификации регламента
Si	2.320	0.712	Silicon
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	3.440	*1000	Silicon Nitride
SiC	3.220	*1.000	Silicon Carbide
SiO	2.130	0.870	Silicon (II) Oxide
SiO <sub>2</sub>	2.648	1.000	Silicon Dioxide
Sm	7.540	0.890	Samarium
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.430	*1.000	Samarium Oxide
Sn	7.300	0.724	Tin
SnO <sub>2</sub>	6.950	*1.000	Tin Oxide
SnS	5.080	*1.000	Tin Silfide
SnSe	6.180	*1.000	Tin Selenide
SnTe	6.440	*1.000	Tin Telluride
Sr	2.600	*1.000	Strontium
SrF <sub>2</sub>	4.277	0.727	Strontium Fluoride
SrO	4.990	0.517	Strontium Oxide
Ta	16.600	0.262	Tantalum
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8.200	0.300	Tantalum (V) Oxide
TaB <sub>2</sub>	11.150	*1.000	Tantalum Boride
TaC	13.900	*1.000	Tantalum Carbide
TaN	16.300	*1.000	Tantalum Nitride
Tb	8.270	0.660	Terbium
Tc	11.500	*1.000	Technetium
Te	6.250	0.900	Tellurium
TeO <sub>2</sub>	5.990	0.862	Tellurium Oxide
Th	11.694	0.484	Thorium
ThF <sub>4</sub>	6.320	*1.000	Thorium (IV) Fluoride
ThO <sub>2</sub>	9.860	0.284	Thorium Dioxide
ThOF <sub>2</sub>	9.100	*1.000	Thorium Oxyfluoride
Ti	4.500	0.628	Titanium
Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.600	*1.000	Titanium Sesquioxide
TiB <sub>2</sub>	4.500	*1.000	Titanium Boride
TiC	4.930	*1.000	Titanium Carbide
TiN	5.430	*1.000	Titanium Nitride
TiO	4.900	*1.000	Titanium Oxide
TiO <sub>2</sub>	4.260	0.400	Titanium (IV) Oxide
Tl	11.850	1.550	Thallium
TlBr	7.560	*1.000	Thallium Bromide

## Окончание табл. П5.1

Материал	Плотность	Z-Ratio	Наименование материала согласно спецификации регламента
TlCl	7.000	*1.000	Thallium Chloride
TlI	7.090	*1.000	Thallium Iodide (B)
U	19.050	0.238	Uranium
U <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	8.300	*1.000	Tri Uranium Octoxide
U <sub>4</sub> O <sub>9</sub>	10.969	0.348	Uranium Oxide
UO <sub>2</sub>	10.970	0.286	Uranium Dioxide
V	5.960	0.530	Vanadium
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.360	*1.000	Vanadium Pentoxide
VB <sub>2</sub>	5.100	*1.000	Vanadium Boride
VC	5.770	*1.000	Vanadium Carbide
VN	6.130	*1.000	Vanadium Nitride
VO <sub>2</sub>	4.340	*1.000	Vanadium Dioxide
W	19.300	0.163	Tungsten
WB <sub>2</sub>	10.770	*1.000	Tungsten Boride
WC	15.600	0.151	Tungsten Carbide
WO <sub>3</sub>	7.160	*1.000	Tungsten Trioxide
WS <sub>2</sub>	7.500	*1.000	Tungsten Disulphide
WSi <sub>2</sub>	9.400	*1.000	Tungsten Silicide
Y	4.340	0.835	Yttrium
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.010	*1.000	Yttrium Oxide
Yb	6.980	1.130	Ytterbium
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.170	*1.000	Ytterbium Oxide
Zn	7.040	0.514	Zinc
Zn <sub>3</sub> Sb <sub>2</sub>	6.300	*1.000	Zinc Antimonide
ZnF <sub>2</sub>	4.950	*1.000	Zinc Fluoride
ZnO	5.610	0.556	Zinc Oxide
ZnS	4.090	0.775	Zinc Sulfide
ZnSe	5.260	0.722	Zinc Selenide
ZnTe	6.340	0.770	Zinc Telluride
Zr	6.490	0.600	Zirconium
ZrB <sub>2</sub>	6.080	*1.000	Zirconium Boride
ZrC	6.730	0.264	Zirconium Carbide
ZrN	7.090	*1.000	Zirconium Nitride
ZrO <sub>2</sub>	5.600	*1.000	Zirconium Oxide

### **Подготовка подложки к процессу напыления**

Порядок подготовки подложки:

- 1) тщательно промыть поверхность подложки ацетоном класса не ниже «ХЧ» с помощью бязевой салфетки;
- 2) заготовки из фольги также протереть ацетоном заготовки из фольги;
- 3) поместить подложку в центр круга из фольги без отверстия, зафиксировав ее в четырех точках по углам каплями клея «Момент»;
- 4) положить сверху аккуратно заготовку с отверстием и также по диаметру в нескольких точках прихватить точечно клеем «Момент»;
- 5) промыть поверхность мишени ацетоном с помощью щетинной кисти и выдержать на воздухе не менее 15 мин.

### **Установка подложки и мишени в вакуумную камеру**

Порядок установки:

1. Аккуратно отвинтить пробку (поз. 1) на турбомолекулярном насосе (рис. П5.5).
2. Открыть вакуумный затвор: поставить рукоятку (рис. П5.11) в положение «ореп».
3. Заполнить вакуумную камеру атмосферным воздухом до атмосферного давления. Люк для загрузки откроется.
4. Оснастку с подложкой установить в захват устройства для фиксации).

**Внимание! Работы по установке подложки и мишени выполнять в перчатках.**

5. Установить мишень в магнетрон (поз. 5, рис. П5.11). Крышка на магнетроне открывается и закрывается с помощью рукоятки, находящейся на крышке люка магнетрона.

Риски (рис. П5.11) расположены на корпусе рукоятки, вторая находится риска на вращающейся части. Совмещение рисок означает, что крышка закрыта.

**Внимание! После установки мишени в магнетрон убедитесь, что крышки двух соседних магнетронов закрыты.**

5. Вращая рукоятку вакуумного ввода (рис. П5.2, поз. 9) ввести в закрытую зону подложки сенсор-кристалл (рис. П5.4, поз. 2).

6. Закрыть крышку загрузочного люка и закрутить гайку-барашек.
7. Плотнo завинтить пробку в отверстии корпуса турбомолекулярного насоса.
8. Повернуть выключатель пульта управления на 90° по ходу часовой стрелки.
9. Включить форвакуумный насос (выключатель на корпусе насоса).



Рис. П5.11. Рукоятка регулирования положения крышки магнетрона

10. Открыть клапан (рис. П5.3, поз. 2): при положении «открыто» отчетливо видна красная полоса на корпусе клапана.

11. На дисплее контроллера датчика давления (рис. П5.9, поз. 4) давление начинает медленно падать. Откачивать до давления  $10^{-2}$  мбар.

12. Включить чиллер. Выключатель «ВКЛ/ВЫКЛ» питания находится на задней панели. Затем нажать кнопку выключателя (рис. П5.6, поз. 3), ручкой (рис. П5.6, поз. 2) выставить температуру воды  $15,5^{\circ}\text{C}$ , давление воды 50 кПа выставляется автоматически.

13. На панели пульта (рис. П5.9) включить выключатели блоков (поз. 2, 5, 6).

14. На панели пульта (рис. П5.9, поз. 2) должны загореться зеленые светодиоды 1, 2, 3 (вакуум, вода, герметичность).

15. При достижении давления  $10^{-2}$  мбар на панели пульта включить турбомолекулярный насос; нажать кнопку (поз. 12).

16. Откачать давление до  $10^{-7}$  мбар.

17. Задать параметры напыления на контроллере измерителя толщины и скорости напыления пленок (рис. П5.12):

- нажать кнопку Zero;
- нажать кнопку Program и, вращая ручку, выставить Film1;
- нажатием кнопки Next выбрать параметр Density (плотность) и, вращая ручку, выставить 8,930, нажать ручку, чтобы сохранить значение параметра, нажать кнопку Next;
- нажатием кнопки Next выбрать параметр Z-Factor, вращая ручку, выставить значение 0,437, нажать ручку, нажать кнопку Next.
- нажать кнопку Program – выход из режима программирования.



**Рис. П5.12.** Измеритель толщины и скорости напыления пленок:  
1 – ручка; 2–4 – индикатор скорости, толщины и времени соответственно

18. Если в процессе программирования параметры введены правильно в окошке Cristal Status будет светиться зеленый светодиод. Можно переходить к стадии напыления. Если светодиод мигает, следовательно, или произошел какой-то сбой при программировании, или кристалл выработал свой ресурс. В первом случае повторить процедуру ввода значений параметров, во втором — заменить сенсор-кристалл.

19. Нажать кнопку Zero — обнулить все значения а дисплеях.

20. Открыть вентиль на баллоне с аргоном (рис. П5.9, поз. 2).

21. Открыть редуктор (поз. 3) и выставить давление 5 мбар на манометре (поз. 4).

22. Открыть кран (рис. П5.8, поз. 1).

23. Включить контроллер регулировки газа (рис. П5.9, поз. 5) и блок питания постоянного тока (рис. П5.9, поз. 6).



Рис. П5.13. Контроллер регулировки подачи газа

24. Открыть вентиль CUSPs обеспечить подачу газа в пределе 60 делений.

25. Прикрыть затвор турбомолекулярного насоса, таким образом, чтобы давление в вакуумной камере повысилось до  $1 \times 10^{-2}$  мбар.

26. Установить напряжение 630 В и ток 0,1 А на блоке питания и нажать кнопку OUT.

Если все параметры выставлены правильно, должен начаться поджог плазмы и процесс напыления пленки.

Определить:

- поджог плазмы заметен визуально в смотровое окно вакуумной камеры;
- начало процесса напыления фиксируется на дисплее (рис. П5.12); появляются цифры скорости напыления в его левой части и толщины пленки — в правой.

27. Закончить процесс через 20 мин. Время продолжительности процесса фиксируется на дисплее.

#### Процесс выключения установки.

Выключение установки осуществляется в следующей последовательности:

- 1) закрыть вентиль CUSPs;
- 2) выключить выключатели контроллера регулировки подачи газа и блока питания (рис. П5.8, поз. 6);

- 3) закрыть кран подачи газа в вакуумную камеру (рис. П5.8, поз. 1);
- 4) закрыть редуктор газового баллона и вентиль баллона;
- 5) закрыть затвор турбомолекулярного насоса, для этого рукоятку (рис. П5.8, поз. 3, 4) поставить в положение, при котором надпись «Closed» на рукоятке совместится с риской на корпусе;
- 6) выключить форвакуумный насос;
- 7) закрыть клапан (рис. П5.7, поз. 2);
- 8) отключить турбомолекулярный насос: нажать кнопку (рис. П5.9, поз. 12) и дождаться остановки турбины насоса;

**ВНИМАНИЕ! Запрещается подавать атмосферный воздух в корпус турбомолекулярного насоса до полной остановки турбины. Опасность в разрушении турбины!**

- 9) выключить чиллер: нажать кнопку «ВКЛ/ВЫКЛ» на передней панели и выключатель питания на задней панели;
- 10) открыть вакуумный затвор на турбомолекулярном насосе: поставить рукоятку (рис. П5.7, поз. 4) в положение, при котором надпись «Open» совместится с риской на корпусе;
- 11) открыть заглушку на турбомолекулярном насосе (рис. П5.5, поз. 1) и напустить в вакуумную камеру атмосферный воздух;
- 12) открыть загрузочный люк и аккуратно извлечь приспособление с подложкой;
- 13) закрыть люк, закрыть заглушку на турбомолекулярном насосе, включить форвакуумный насос, открыть клапан и откачать до давления  $1 \times 10^{-2}$  мбар;
- 14) закрыть вакуумный затвор на турбомолекулярном насосе, совместив надпись на рукоятке «Closed» с риской на корпусе;
- 15) выключить форвакуумный насос и закрыть клапан;
- 16) выключить выключатель контрольного блока (рис. П5.5, поз. 2);
- 17) проверить отключение всех выключателей на передней панели пульта и вернуть выключатель на задней панели пульта в исходное положение, повернув его на  $90^\circ$  против хода часовой стрелки.

### **Порядок выполнения практической части**

Последовательность процесса напыления:

1. Изучить принцип работы установки нанесения тонкопленочных покрытий MANTIS QPREP 500.
2. Получить от преподавателя «мишень» напыляемого материала (см. табл. П5.1) и подложку.
3. Подготовить подложку к напылению согласно инструкции в теоретической части.
4. Для крепления подложки в устройство фиксации подложки вырезать из стальной фольги две заготовки диаметром равным устройству фиксации, добавив 5 мм. Затем на в центре одной заготовки вырезать окно размером  $50 \times 50$  мм.

5. Закрепить подложку в устройстве фиксации, вставить собранную конструкцию в вакуумную камеру и расположить ее на фиксаторе держателя подложки.

6. Установите мишень в вакуумную камеру.

7. Закрывать крышку загрузочного люка и закрутить гайку-барашек.

8. Подготовить установку магнетронного напыления к запуску.

**Запуск установки осуществлять только по разрешению преподавателя и в его присутствии!**

9. Запустить установку магнетронного напыления согласно алгоритму, приведенному в теоретической части. Если все параметры выставлены правильно, должен начаться поджог плазмы и процесс напыления пленки.

10. Контролировать состояние плазмы. Поджог плазмы заметен визуально в смотровое окно вакуумной камеры, начало процесса напыления фиксируется дисплее (рис. П5.12): появляются цифры скорости напыления в его левой части и толщины пленки — в правой.

11. Занесите в таблицу режимы напыления:

Таблица П5.2

Режимы напыления

Материал	Наименование слоя	Характеристики напыления			
		Скорость напыления	Толщина пленки	Время напыления	Примечание
1.					
2.					
...					

12. Завершите процесс напыления и остановите установку согласно алгоритму, изложенному в теоретической части. **Останов установки осуществлять только по разрешению преподавателя и в его присутствии!**

**ВНИМАНИЕ! Запрещается подавать атмосферный воздух в корпус турбомолекулярного насоса до полной остановки турбины. Опасность в разрушении турбины!**

13. Проверить отключение всех выключателей на передней панели пульта и вернуть выключатель на задней панели пульта в исходное положение, повернув его на 90° против хода часовой стрелки.

14. Открыть вакуумную камеру, через люк извлечь устройство фиксации подложки вместе с подложкой, снять подложку с устройства фиксации.

15. По указанию преподавателя определить характеристики сформированной пленки (см. ЛР4).

16. Записать выводы по результатам напыления