

3. НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

3.1. НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1.1. ПРИМЕРНАЯ БАЗОВАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Утверждаю
Первый проректор —
проректор по учебной работе
МГТУ им. Н.Э. Баумана
_____ Б.В. Падалкин
«__» _____ 20__ г.

Факультет «Машиностроительные технологии»
Кафедра МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Высоковакуумные технологические процессы в приборостроении»

для направления подготовки (уровень бакалавриата)
12.03.01 «Приборостроение»

Авторы программы:

Михайлов В.П., профессор

Моисеев К.М., доцент

Панфилов Ю.В., профессор

Настоящая рабочая программа дисциплины устанавливает требования к знаниям и умениям студента, а также определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности. Программа разработана в соответствии с основной профессиональной образовательной программой (ОПОП) и учебным планом МГТУ им. Н.Э. Баумана, составленными на основе самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта (СУОС) по направлению подготовки 12.03.01 «Приборостроение». При освоении дисциплины планируется формирование компетенций, предусмотренных ОПОП на основе СУОС по направлению подготовки 12.03.01 «Приборостроение» (уровень бакалавриата). Для категорий «знать, уметь, владеть» планируется достижение результатов обучения (РО), вносящих на соответствующих уровнях вклад в формирование компетенций, предусмотренных основной профессиональной образовательной программой.

Раздел 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины: получение теоретических знаний и практических навыков расчета параметров высоковакуумных технологических процессов и оборудования, используемых в приборостроении.

Задачами дисциплины являются:

- изучение физических основ протекания высоковакуумных технологических процессов;
- изучение теоретических основ и методов расчета параметров высоковакуумных технологических процессов для конкретных применений;
- изучение типа и состава высоковакуумного технологического оборудования для высоковакуумных технологических процессов.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих курсах (разделах курсов):

- «Физика»;
- «Математический анализ».

После освоения данной дисциплины студент подготовлен для изучения следующих курсов учебного плана:

- «Научно-исследовательская работа»
 - «Подготовка и защита ВКРБ»;
- а также для выполнения курсовых проектов.

Раздел 2. Знания, умения и навыки, получаемые после освоения дисциплины

2.1. Студент должен знать:

- назначение и классификацию основных высоковакуумных технологических процессов;
- физические основы высоковакуумных технологических процессов;
- назначение и составные части высоковакуумного технологического оборудования.

2.2. Студент должен уметь:

- проводить анализ требований к вакуумным технологическим процессам для их использования в приборостроении;
- рассчитывать параметры и режимы высоковакуумных технологических процессов.

2.3. Студент должен иметь навыки:

- расчета параметров и режимов высоковакуумных технологических процессов;
- подбора высоковакуумного технологического оборудования для заданных процессов.

Раздел 3. Объем дисциплины по видам учебных занятий

Виды учебной работы	Объем по семестрам, ч	
	Всего	1-й семестр
Объем дисциплины	85	85
1. Аудиторная работа	51	51
Лекции (Л)	34	34
Лабораторные работы (ЛР)	17	17
2. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	34	34
Проработка учебного материала лекций	8	8
Подготовка к лабораторным работам	8	8
Подготовка к рубежным контролям	9	9
Выполнение домашнего задания	9	9
Вид промежуточной аттестации обучающегося		Распределенный экзамен

Раздел 4. Содержание дисциплины

№ п/п	Тема модуля	Л	ЛР	СР
5-й семестр		ч	ч	ч
1	Вакуумная технологическая среда	14	4	8
2	Физические основы высоковакуумных технологических процессов	14	4	17
3	Методы и оборудование для реализации высоковакуумных технологических процессов	6	9	9
ИТОГО:		34	17	34

Содержание

№ п/п	Наименование модуля, содержание	Часы
1-й семестр		ч
1	Вакуумная технологическая среда	
	Лекции	14
1.1	Назначение и место высоковакуумных технологических процессов в приборостроении. Определения. Обезгаживающий прогрев и отжиг. Нанесение пленок. Ионное травление. Электронная и ионная литография	2
1.2	Физическая сущность вакуума и его свойства. Давление газа. Тепловые скорости молекул. Объем газа, ударяющийся в единицу времени о единицу поверхности. Длина свободного пробега молекул	2
1.3	Термовакuumные процессы. Физические процессы в вакууме при различных температурах. Растворимость газов в твердом теле. Диффузия газов в твердом теле. Законы Фика	2
1.4	Создание вакуумной среды. Степени вакуума. Получение вакуума различных степеней. Характеристики вакуума. Режимы течения газа. Основное уравнение вакуумной техники. Расчет времени откачки	2
1.5	Низковакуумные средства откачки. Пластинчато-роторные насосы. Спиральные вакуумные насосы. Винтовые вакуумные насосы. Двухроторные вакуумные насосы	2
1.6	Высоковакуумные средства откачки. Паромасляные диффузионные насосы. Сорбционные насосы. Турбомолекулярные насосы. Криогенные насосы. Магниторазрядные насосы	2
1.7	Средства измерения вакуума и вспомогательные элементы вакуумных систем. Датчики измерения низкого вакуума. Датчики измерения высокого вакуума. Запорная арматура. Фитинги	2
	Лабораторные работы	4
ЛР1.1	Формирование вакуумной среды и измерение ее параметров	4
	Самостоятельная работа	8
СР1.1	Проработка учебного материала лекций	3
СР1.2	Подготовка к лабораторным работам, написание отчета	2
СР1.3	Подготовка к рубежному контролю	3
2	Физические основы высоковакуумных технологических процессов	
	Лекции	14
2.1	Формирование электронных потоков. Характеристики электронных пучков. Термоэлектронная эмиссия. Автоэлектронная эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия	2

№ п/п	Наименование модуля, содержание	Часы
2.2	Взаимодействие электронных потоков с материалами. Упругие и неупругие столкновения с атомами вещества. Модель Арчарда. Физические эффекты в объеме твердого тела	2
2.3	Формирование ионных потоков и их взаимодействие с материалами. Источники ионов. Эффекты взаимодействия ускоренных ионов с веществом. Глубина проникновения ионов в твердое тело. Коэффициент распыления и эффект парных соударений. Ионная имплантация	2
2.4	Формирование атомарных и молекулярных потоков. Термическое испарение. Ионное распыление. Формирование потоков из газовой фазы	2
2.5	Взаимодействие атомарных и молекулярных потоков с материалами. Адгезия. Теория зародышеобразования. Тонкие пленки	2
2.6	Тлеющий разряд в вакууме. Параметры газоразрядной плазмы. Кривые Пашена. Тлеющий разряд. Переход тлеющего разряда в дуговой. Использование тлеющего разряда	2
2.7	Дуговой разряд в вакууме. Параметры дугового разряда. Характеристики вакуумной дуги. Катодные пятна. Использование дугового разряда	2
	Лабораторные работы	4
ЛР2.1	Тлеющий разряд в вакууме	4
	Самостоятельная работа	17
СР2.1	Проработка учебного материала лекций	3
СР2.2	Подготовка к лабораторным работам, написание отчета	2
СР2.3	Выполнение домашнего задания	9
СР2.4	Подготовка к рубежному контролю	3
3	Методы и оборудование для реализации высоковакуумных технологических процессов	
	Лекции	6
3.1	Методы нанесения тонких пленок. Классификация. Термическое испарение. Ионное распыление. Дуговое испарение. Реактивное осаждение	2
3.2	Геометрические характеристики и физические свойства тонких пленок. Толщина и удельное сопротивление. Неравномерность толщины пленки. Однородность и стехиометрический состав тонкой пленки	2
3.3	Вакуумное технологическое оборудование. Составные части, классификация. Технологические источники	2

№ п/п	Наименование модуля, содержание	Часы
	Лабораторные работы	9
ЛР3.1	Формирование тонких пленок методами термического испарения и магнетронного распыления Вариативно: Исследование технологических процессов напыления тонких пленок методом магнетронного напыления	5
ЛР3.2	Исследование геометрических и физических характеристик тонких пленок	4
	Самостоятельная работа	9
СР3.1	Проработка учебного материала лекций	2
СР3.2	Подготовка к лабораторным работам	4
СР3.3	Подготовка к рубежному контролю	3

Раздел 5. Лабораторные работы

№ п/п	Тема лабораторной работы	Объем, ч	Литература
5-й семестр		17	
5.1	Формирование вакуумной среды и измерение ее параметров	5	[2, 3, 4, 5]
5.2	Тлеющий разряд в вакууме	4	[1, 8]
5.3	Формирование тонких пленок методами термического испарения и магнетронного распыления (вариативно)	4	[6, 7]
5.4	Исследование геометрических и физических характеристик тонких пленок	4	[6, 7]

Содержание

5.1. Формирование вакуумной среды и измерение ее параметров. Изучаются форвакуумные и высоковакуумные средства создания вакуумной среды. Проводится процесс откачки вакуумной камеры, измеряется давление, проводится расчет скоростей откачки. Наблюдается процесс газонатекания со стенки вакуумной камеры, рассчитывается скорость потока газонатекания.

5.2. Тлеющий разряд в вакууме. Исследуется взаимодействие плазмы тлеющего разряда с подложкой. Изучается влияние параметров тлеющего разряда на состояние поверхности подложки до и после обработки.

5.3. Формирование тонких пленок методами термического испарения и магнетронного распыления. Изучается технологическая реализация процессов формирования тонких пленок методами термического испарения и магнетронного распыления. Измеряются параметры процессов, рассчитывается толщина получаемых пленок.

5.4. Исследование геометрических и физических характеристик тонких пленок. Изучаются методы и приборы для исследования геометрических (толщина) и физических (адгезия) характеристик тонких пленок. Проводится их измерение и сравнение с результатами, рассчитанными теоретически.

Раздел 6. Самостоятельная работа

№ п/п	Тема самостоятельной работы	Объем, ч	Литература
5-й семестр			
6.1	Самостоятельная проработка курса лекций	8	[1, 2, 6, 8]
6.2	Подготовка к лабораторным работам, написание отчета	8	[1, 2, 6, 8]
6.3	Подготовка к рубежным контролям	9	[1, 2, 6, 8]
6.4	Домашнее задание 1	9	[6, 7]

Содержание

6.1. Самостоятельная проработка курса лекций. Самостоятельная проработка курса лекций проводится по литературе, приведенной в разд. 8.

6.2. Подготовка к лабораторным работам, написание отчета. Подготовка проводится по методическим указаниям, приведенным в части 2 УМК. Оформление отчета проводится по шаблону, приведенному в приложениях П1–П4.

6.3. Подготовка к рубежным контролям. Подготовка к рубежным контролям проводится по конспекту лекций настоящего УМК, а также по литературе, приведенной в разделе 8.

6.4. Домашнее задание. Расчет технологических параметров высоковакуумных процессов для создания объектов приборостроения по варианту задания. Выдача — 10-я неделя, сдача — 12-я неделя.

Раздел 7. Курсовой проект, курсовая работа

№ п/п	Тема курсового проектирования, курсовой работы	Объем, ч	Литература
5-й семестр		—	

Раздел 8. Учебно-методические материалы

Литература

1. *Михайлов В.П.* Физические процессы в вакууме и полупроводниковых структурах и их использование в электронных приборах: учебное пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022.

2. *Иванов В.И.* Вакуумная техника: учебное пособие. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2016. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/91440> (дата обращения: 30.10.2022).

3. Вакуумная техника: справочник / Под ред. К.Е. Демихова, Ю. В. Панфилова. — М.: Машиностроение, 2009.

4. *Деулин Е.А., Михайлов В.П., Базиненков А.М.* Расчет вакуумных систем технологического оборудования: учебно-методическое пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022.

5. *Базиненков А.М., Каменихин А.Т.* Технические средства получения и измерения давления вакуумной технологической среды: учебно-методическое пособие. 2-е изд., испр. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020.

6. *Панфилов Ю.В.* Формирование функциональных слоев: учебное пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020.

7. Справочник по вакуумной технике и технологиям / Под ред. Хоффман Д., Сингх Б., Томас Дж. III / Пер.с англ. / под ред. В.А. Романенко, С.Б. Нестерова — М.: Техносфера, 2011.

8. Физические основы микро- и нанотехнологий / Бычков С.П., Михайлов В.П., Панфилов Ю.В., Цветков Ю.Б. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009.

9. Машиностроение: энциклопедия. Раздел III. Том III-8. Технологии оборудования и системы управления в электронном машиностроении. — М.: Машиностроение, 2000.

Для демонстрации на лекциях используются следующие пособия

Рекомендуемые наглядные материалы и пособия: буклеты, плакаты, слайды, образцы технологических источников и изделий (приборов).