

# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Воронцов А. Г.	
Пользователь: vorontsovag	
Дата подписания: 24.07.2025	

А. Г. Воронцов

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины 1.Ф.П0.14.01 Технологии вакуумного напыления  
для направления 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
уровень Бакалавриат  
профиль подготовки Наноэлектроника: проектирование, технология, применение  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем**

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению  
подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утверждённым приказом  
Минобрнауки от 19.09.2017 № 927

Зав.кафедрой разработчика,  
д.физ.-мат.н., доц.

А. Г. Воронцов

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Воронцов А. Г.	
Пользователь: vorontsovag	
Дата подписания: 24.07.2025	

Разработчик программы,  
к.физ.-мат.н., доцент

Б. Г. Полевой

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Полевой Б. Г.	
Пользователь: rolevobg	
Дата подписания: 24.07.2025	

Челябинск

## 1. Цели и задачи дисциплины

Развитие технологий получения тонкопленочных покрытий является определяющим фактором прогресса в полупроводниковой и оптической промышленности, в том числе в производстве чипов, устройств отображения информации, квантовой оптики, солнечной энергетике многих других областях. Специалистам в области электроники для успешной профессиональной деятельности необходимо иметь представление об основах и возможностях современных технологий нанесения тонкопленочных покрытий. Подавляющее большинство технологических процессов осаждения тонкопленочных покрытий осуществляется вакууме или разреженной атмосфере. Целью изучения дисциплины «Технологии вакуумного напыления» является овладение базовыми представлениями о технологии получения вакуума и основных технологических процессах осаждения тонкопленочных покрытий. Поставленная цель достигается решением следующих задач: 1) Изучение законов вакуумной техники принципов построения вакуумных систем 2) физических принципов основных технологических процессов осаждения покрытий, методов изучения свойств полученных покрытий.

## Краткое содержание дисциплины

На изучение курса Технологии вакуумного напыления" отводится 72 часа учебного времени. По содержанию курс делится на два раздела - физика поверхностей и методы диагностики поверхностей. В технологии вакуумного напыления тонкопленочных покрытий в настоящее время накоплен огромный объем знаний, который невозможно освоить ни в каком курсе конечной длины, тем более что этот объем стремительно растет. Это составит базу для более глубокого изучения предмета, если к нему возникнет интерес или заставит необходимость

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знает: сущность и значение физико-химических процессов на поверхности твердых тел для материалов, конструирования и технологии производства изделий микро- и наноэлектроники; методы экспериментальных исследований поверхностных структур и процессов Умеет: оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах наноэлектроники Имеет практический опыт: квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники и наноэлектроники

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Введение в твердотельную электронику, Статистическая физика, Физика конденсированного состояния	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Статистическая физика	Знает: положения статистической физики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: на основе атомистических моделей вычислять основные макроскопические характеристики (структурные, электрические и магнитные) конденсированных тел на основе методов статистической физики Имеет практический опыт:
Введение в твердотельную электронику	Знает: Умеет: строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков твердотельной электроники Имеет практический опыт:
Физика конденсированного состояния	Знает: положения теорий, описывающих атомную структуру, электрические и магнитные свойства тел в конденсированном состоянии Умеет: строить упрощенные модели структурных, электрических и магнитных свойств конденсированных тел с использованием математического аппарата квантовой и классической физики Имеет практический опыт:

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 40,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		8
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72
<i>Аудиторные занятия:</i>		
Лекции (Л)	24	24
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	12	12
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	31,75	31,75
Подготовка к промежуточной аттестации (зачет)	7,75	7,75

Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 1 по теме "Основы вакуумной техники"	12	12
Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 2 по теме "Технологии нанесения тонких пленок в вакууме".	12	12
Консультации и промежуточная аттестация	4,25	4,25
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет

## 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Основы вакуумной техники	18	14	4	0
2	Технологии нанесения тонких пленок в вакууме	18	10	8	0

### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Исторический экскурс. Развитие представлений о Вакууме. Основы физики вакуума. Постулаты вакуумной техники. Длина свободного пробега.	2
2	1	Степени вакуума, критерий Кнудсена. Взаимодействие газов с поверхностью. Сорбционные явления.	2
3	1	Техника получения вакуума. Классификация вакуумных насосов. Система основных параметров вакуумных насосов. Основное уравнение вакуумной техники.	2
4	1	Высоковакуумные насосы. Диффузионные насосы. Молекулярная откачка. Молекулярные сухие насосы. Турбомолекулярные насосы (ТМН) Криогенная откачка. Магниторазрядные насосы.	2
5	1	Принципы измерения вакуума. Классификация датчиков и методы измерения вакуума. Тепловые датчики. Ионизационные датчики. Баратроны. Вакуумметр Мак – Леода.	2
6	1	Приборы для измерения парциальных давлений - масс-спектрометры. Течеискание.	2
7	1	Состав вакуумной системы. Конструкции внутрикамерного устройства. Проектирование систем откачки.	2
8	2	Физические основы процесса нанесения тонких пленок. Два основных метода нанесения тонких пленок.	2
9	2	Термовакуумный метод испарения. Общая характеристика процесса. Метод реактивного испарения. Метод испарения электронно-лучевым нагревом. Использование метода электронно-лучевого нагрева для нанесения пленок ИТО. Лазерно-лучевое испарение.	2
10	2	Нанесение покрытий с использованием процесса распыления. Общая характеристика процесса. Планарное диодное распыление. Магнетронное распыление. Реактивное магнетронное распыление.	2
11	2	Высокочастотное магнетронное распыление. Повышение эффективности магнетронных распылительных систем. Магнетрон с цилиндрическим вращающимся катодом.	2
12	2	Молекулярно-лучевая эпитаксия. Перспективы развития технологии вакуумного напыления.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Изучение скорости откачки спирального насоса.	2
2	1	Расчет и построение вакуумных систем	2
3	2	Изучение физических свойств тонких пленок металла, полученных электронно - лучевым испарением.	2
4	2	Изучение физических свойств тонких пленок металла, полученных методом магнетронного распыления.	2
5	2	Расчет параметров технологических процессов нанесения покрытий в вакууме. Решение задач	2
6	2	Заслушивание и обсуждение докладов о перспективах развития технологий вакуумного напыления.	2

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к промежуточной аттестации (зачет)	См. литературу, указанную для подготовки к практическим занятиям и контрольным работам.	8	7,75
Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 1 по теме "Основы вакуумной техники"	Краткий курс "Основы Вакуумной техники" Для инженеров компании ООО «Изовак» Минск: Изовак, 2010. <a href="https://m.eruditor.one/file/2327241/?ysclid=m81zrfoxzc261953198">https://m.eruditor.one/file/2327241/?ysclid=m81zrfoxzc261953198</a> Лекции «Основы вакуумной техники». Московский технологический институт ВТУ. <a href="https://studfile.net/preview/8953503/">https://studfile.net/preview/8953503/</a> А.В. Ситников К.Г. Королев А.В. Калгин. Лабораторный практикум по основам вакуумной техники. Учебное пособие. Воронежский государственный технический университет. Воронеж 2016. Н. В. Холодкова, И. В. Холодков техника высокого вакуума. Лабораторный практикум. Ивановский государственный химико - технологический университет. Л.Н.Розанов. Вакуумная техника. Москва, «Высшая школа» 2007.	8	12
Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 2 по теме "Технологии нанесения тонких пленок в вакууме".	Данилин Б. С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. – Энергоатомиздат, 1989. Л. Н. Мaskaева, Е. А. Медорова. В. Ф. Марков. Технология тонких пленок и покрытий. Учебное пособие. Технологические процессы осаждения и травления в технологии изготовления ИМС и МЭМС учеб.-метод, пособие Д. А. Котов и др.]. Минск БГУИР, 2020. - 68 с. ил. ISBN 978-985 - 543-477-2 .	8	12

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

## 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се- местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи- тыва- ется в ПА
1	8	Текущий контроль	Контрольная работа 1	1	6	Контрольная работа 1 проводится по теме "Основы вакуумной техники" в письменной форме во время аудиторных занятий, длительность до 30 минут. В контрольной работе содержатся 2 вопроса и задача. Ответы на вопросы и решение задачи оцениваются максимум в 2 балла. Максимальная оценка за решение задачи ставится при условии, что решение: 1) правильное, 2) полное, 3) изложено в логической последовательности, 4) написано грамотно, 5) оформлено аккуратно. Если решение неправильное или отсутствует - оно оценивается в 0 баллов. За недостатки, указанные в п. 2)-5) оценка может быть снижена на 1 балл. Итоговая оценка (в баллах) получается суммированием баллов, полученных за каждый вопрос и задачу. Максимальная оценка за контрольную работу в целом составляет 6 баллов	зачет
2	8	Текущий контроль	Контрольная работа 2	1	6	Контрольная работа 2 проводится по теме "Технологии нанесения тонких пленок в вакууме" в письменной форме во время аудиторных занятий, длительность до 30 минут. В контрольной работе содержатся 2 вопроса и задача. Ответы на вопросы и решение задачи оцениваются максимум в 2 балла. Максимальная оценка за решение задачи ставится при условии, что решение: 1) правильное, 2) полное, 3) изложено в логической последовательности, 4) написано грамотно, 5) оформлено аккуратно. Если решение неправильное или отсутствует - оно оценивается в 0 баллов. За недостатки, указанные в п. 2)-5) оценка может быть снижена на 1 балл. Итоговая оценка (в баллах) получается суммированием баллов, полученных за каждый вопрос и задачу. Максимальная оценка за контрольную работу в целом составляет 6 баллов	зачет
3	8	Текущий контроль	Отчет по практическому	1	3	Практическое задание № 1 состоит в определении зависимости скорости откачки	зачет

			заданию 1			спирального насоса от входящего давления. Работа выполняется в лаборатории в течении четырех академических часов в соответствии с прилагаемым заданием. Максимальная оценка 3 балла выставляется за: 1) корректно выполненные измерения, 2) правильную обработку результатов и построение графиков, 3) обоснованные выводы. За недостатки указанные в пунктах 1-3 оценка может быть снижена на 1 балл за каждый пункт.	
4	8	Текущий контроль	Отчет по практическому заданию 2	1	3	Практическое задание № 2 заключается в исследование свойств напыленных в вакууме тонких слоев металла. Работа выполняется в лаборатории в течении четырех академических часов в соответствии с прилагаемым заданием. Максимальная оценка 3 балла выставляется за: 1) корректно выполненные измерения, 2) правильную обработку результатов и построение графиков, 3) обоснованные выводы. За недостатки указанные в пунктах 1-3 оценка может быть снижена на 1 балл за каждый пункт.	зачет
6	8	Промежуточная аттестация	Зачет	-	15	Промежуточная аттестация проводится по темам "Основы вакуумной техники" и "Технологии нанесения тонких пленок в вакууме" в письменной форме во время аудиторных занятий, длительность до 30 минут. В аттестационной работе содержатся 2 вопроса и задача. Ответы на вопросы оцениваются максимум в 4 балла, решение задачи оценивается в 7 баллов. Максимальная оценка за решение задачи ставится при условии, что решение: 1) правильное, 2) полное, 3) изложено в логической последовательности, 4) написано грамотно, 5) оформлено аккуратно. Если решение неправильное или отсутствует - оно оценивается в 0 баллов. За недостатки, указанные в п. 2)-5) оценка может быть снижена на 2 балла. Итоговая оценка (в баллах) получается суммированием баллов, полученных за каждый вопрос и задачу. Максимальная оценка за аттестационную работу в целом составляет 15 баллов.	зачет

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной	Процедура проведения	Критерии оценивания
-------------------	----------------------	---------------------

аттестации		
зачет	<p>Контрольное мероприятие промежуточной аттестации не является обязательным. Итоговая оценка по дисциплине может быть выставлена по результатам текущего контроля. Студент может повысить свой рейтинг, пройдя контрольное мероприятие промежуточной аттестации, которое проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит три задачи. Время на выполнение: 30 минут.</p>	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ					
		1	2	3	4	5	6
ПК-1	Знает: сущность и значение физико-химических процессов на поверхности твердых тел для материалов, конструирования и технологии производства изделий микро- и наноэлектроники; методы экспериментальных исследований поверхностных структур и процессов	+++	+++	+++	+++	+++	+++
ПК-1	Умеет: оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах наноэлектроники	+++	+++	+++	+++	+++	+++
ПК-1	Имеет практический опыт: квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники и наноэлектроники	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Розанов Л. Н. Вакуумная техника : Учеб. для вузов по спец. "Электрон. машиностроение". - 2-е изд., перераб. и доп.. - М. : Высшая школа, 1990. - 319 с. : ил.

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

Не предусмотрены

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Техника высокого вакуума. Лабораторный практикум. Н.В. Холодкова, И.В. Холодков.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Техника высокого вакуума. Лабораторный практикум. Н.В. Холодкова, И.В. Холодков.

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид	Наименование	Библиографическое описание
---	-----	--------------	----------------------------

	литературы	ресурса в электронной форме	
1	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Ершов, А. В. Напыление тонких пленок испарением в вакууме : учебное пособие / А. В. Ершов, А. В. Нежданов. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. — 30 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/144919">https://e.lanbook.com/book/144919</a>
2	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Теория и технология покрытий. Вакуумное конденсационное напыление покрытий : учебное пособие / В. Н. Анциферов, А. И. Горчаков, Е. А. Кривоносова [и др.]. — Пермь : ПНИПУ, 2006. — 73 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/161239">https://e.lanbook.com/book/161239</a>
3	Основная литература	ЭБС издательства Лань	Антоненко, С. В. Технология тонких пленок : учебное пособие / С. В. Антоненко. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2008. — 104 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/75918">https://e.lanbook.com/book/75918</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)
2. Microsoft-Office(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. -The Cambridge Cristallographic Data Centre(31.12.2023)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	447 (1)	Мультимедийный проектор
Лабораторные занятия	275 (3)	Установка вакуумного напыления