

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Физики твердого тела и наноструктур  
 (П.В. Середин)  
31.08.2022г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.04.02 Технология и анализ тонких пленок, микро- и наносистем**

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 11.03.04 *Электроника и наноэлектроника*

2. Профиль подготовки/специализация:

*Интегральная электроника и наноэлектроника*

3. Квалификация выпускника: *Бакалавр*

4. Форма образования: *Очная*

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: *кафедра физики твердого тела и наноструктур*

6. Составители программы: *Юраков Юрий Алексеевич, доктор физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник*

7. Рекомендована: *НМС физического факультета протокол №6 от 14.06.2022*

8. Учебный год: 2025–2026

Семестр: 6

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются: формирование знаний умений и навыков, необходимых для выбора и реализации

методов получения тонкопленочных структур различного назначения.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать и углубить знания об особенностях тонкопленочного состояния материалов;
- овладеть основными представлениями о закономерностях образования тонких пленок;
- изучить физические основы различных методов получения тонких слоев; - освоить возможности применения методов получения тонких слоев для получения материалов с различными физическими и химическими свойствами.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: часть, формируемая участниками образовательных отношений, блок Б1.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций профессиональных стандартов:

40.035 Инженер-конструктор аналоговых сложно-функциональных блоков (СФ-блоков);

40.058 Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники.

При изучении дисциплины обучающийся закрепляет знания, умения и навыки, полученные при изучении математических и общепрофессиональных дисциплин и получает знания, умения и навыки, необходимые при изучении специальных дисциплин.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные спланируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	ПК-3.1	Выбирает конструкционные материалы и определяет типоразмеры заготовок для изделий микроэлектроники	Знать: способы выбора конструкционных материалов и определения типоразмеров заготовок для изделий микроэлектроники
				Уметь: проводить выбор конструкционных материалов и определение типоразмеров заготовок для изделий микроэлектроники
				Владеть: навыками проведения выбора конструкционных материалов и определения типоразмеров заготовок для изделий микроэлектроники

ПК-4	Готов организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники	ПК-4.2	Выявляет причины брака и приближения параметров к предельно допустимым при изготовлении изделий микроэлектроники	Уметь: выявлять причины брака и приближения параметров к предельно допустимым при изготовлении изделий микроэлектроники
				Владеть: навыками выявления причины брака и приближения параметров к предельно допустимым при изготовлении изделий микроэлектроники
				Знать: способы выбора необходимых параметров технологических процессов производства изделий микроэлектроники
ПК-7	Способен проводить технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники	ПК-7.1	Выбирает необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники	Уметь: выбирать необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники
				Владеть: навыками выбора необходимых параметров технологических процессов производства изделий микроэлектроники
				Знать: способы выбора необходимых параметров технологических процессов производства изделий микроэлектроники
		ПК-7.2	Осуществляет эксплуатацию технологического оборудования и технологической оснастки на производстве изделий микроэлектроники	Уметь: выбрать технологическое оборудование и технологическую оснастку на производстве изделий микроэлектроники
				Владеть: навыками выбора технологического оборудования и технологической оснастки на производстве изделий микроэлектроники
Знать: способы выбора технологического оборудования и технологической оснастки на производстве изделий микроэлектрон				

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.— 4/144.**

**Форма промежуточной аттестации Зачет**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			бсеместр	№ семестра
Аудиторные занятия		68	68	
в том числе:	лекции			

	практические			
	лабораторные	68	68	
Самостоятельная работа		76	76	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации – зачет				
Итого:		144	144	

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1			
1.2			
1.3			
<b>2. Лабораторные работы</b>			
2.1	Методы получения тонких пленок	Лабораторная работа 1. Получение тонких пленок методом термического испарения Лабораторная работа 2. Получение тонких пленок методом магнетронного распыления Лабораторная работа 3. Получение тонких пленок методом химического осаждения из газовой фазы.	
2.2	Методы контроля и анализа тонких пленок	Лабораторная работа 4. Определение толщины тонкой пленки интерференционным методом Лабораторная работа 5. Определение элементного состава и микроструктуры тонкой пленки методом микроанализа и сканирующей электронной микроскопии Лабораторная работа 6. Определение фазового состава тонкой пленки методом рентгеновской дифракции Лабораторная работа 7. Определение фазового состава, микро- и наноструктуры тонкой пленки методом просвечивающей электронной микроскопии	
<b>2. Практические занятия</b>			
3.1			
3.2			
3.3			

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Методы получения тонких пленок			44	40	84

2	Методы контроля и анализа тонких пленок			24	36	60
3						
	Итого:			68	76	144

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Технологии анализ тонких пленок, микро- и наносистем» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Дисциплина «Технология и анализ тонких пленок, микро- и наносистем» реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый

случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении дисциплины «Технология тонких пленок» включает в себя изучение теоретической части курса, подготовку к выполнению лабораторных работ, написание отчетов по лабораторным работам:

- изучение теоретической части курса – 12 часов;
- подготовку к лабораторным занятиям – 10 часов;
- написание отчетов по лабораторным работам – 16 часов ;
- итого – 38 часов

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники [Электронный ресурс] / Сорокин В. С., Антипов Б. Л., Лазарева Н. П. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2016 .— 384 с. — Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по направлениям «Электроника и нанoeлектроника» и «Конструирование и технология электронных средств» .— Книга из коллекции Лань - Физика .— ISBN 978-5-8114-2002-5 .— <URL: <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71735">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71735</a> >.
2.	Владимиров, Г. Г. Физика поверхности твердых тел [Электронный ресурс] / Владимирoв Г. Г. — 1-е изд. — Санкт-Петербург: Лань, 2016 .— 352 с. — Рекомендовано Ученым советом Санкт-Петербургского государственного университета в качестве учебного пособия для студентов направлений подготовки «Физика», «Прикладные математика и физика», «Радиофизика».— Книга из коллекции Лань - Физика .— ISBN 978-5-8114-1997-5 .— <URL: <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71707">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71707</a> >.
3.	Иевлев В.М. Тонкие пленки неорганических материалов: механизм роста и структура / В.М. Иевлев.— Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008, . – 496 с.
4.	Берлин Е.В. Ионно–плазменные процессы в тонкопленочной технологии / Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман. – М: Техносфера, 2010. 528 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5.	Аброян А.И. Физические основы электронной и ионной технологии / И.А. Аброян, А.И. Титов, А.Н. Андронов, – М.: Вышш. шк., 1984. – 320 с.

6.	Современная кристаллография. Т.3 / Под ред. Б.К. Вайнштейна, А.А. Чернова, Л.А. Шувалова. - М.: Наука, 1980. - 407 с.
7.	Технология тонких пленок / пер. с англ. под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. – М. : Советское радио, 1977. Т1 - 662 с
8.	Технология тонких пленок: Справочник / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга; Пер. с англ. под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко.— М.: Советское радио, 1977-.Т.2 — 1977 .— 767 с.
9.	Чистяков Ю.Д. Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю.Д. Чистяков, Ю.П. Райнова. – М.: Металлургия, 1979. 408 с.
10.	Никитин М.М. Технология и оборудование вакуумного напыления / М.М. Никитин. – Металлургия, 1992. ,112 с.
11.	Черняев В.Н. Физико-химические процессы в производстве РЭА. М.: Высшая школа, 1987. 376 с.
12.	Бобров А.И. Устройство и принцип работы просвечивающего электронного микроскопа / А.И. Бобров, А.В. Пирогов, Н.О. Кривулин, Д.А. Павлов. Электронное учебно-методическое пособие / под редакцией Павлова Д.А. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 31 с.
13.	Векилова Г.В. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. Часть 3 / Г.В. Векилова, А.Н. Иванов.– М.: Московский государственный институт стали и сплавов, 2007. – 41с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
14.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ
15.	<a href="http://www.moodle.vsu.ru">http://www.moodle.vsu.ru</a>
16.	<a href="https://elibrary.ru">https://elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека
17.	<a href="https://lanbook.com">https://lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
18.	<a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a> – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
19.	<a href="http://www.iprbookshop.ru">www.iprbookshop.ru</a> – ЭБС «IPRbooks»
20.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
21.	Юраков Ю.А. Рентгеновская дифрактометрия нанокристаллов: учебное пособие / Ю.А. Юраков, С.Ю. Турищев, О.А. Чувенкова, С.А. Ивков, В.В. Логачёв // Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019. - 61 с.
22.	Юраков Ю.А. Исследование наноструктурированных материалов методом растровой электронной микроскопии: учебно-методическое пособие для вузов / Ю.А. Юраков, А.С. Леньшин, П.В. Середин. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2014. - 13 с.
23.	Ю.А. Юраков. Получение тонких пленок сложного состава методом испарения и конденсации в вакууме: учебно-методическое пособие для вузов / Ю.А. Юраков.— Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008 .— 16 с.: ил.— Библиогр.: с.16 .— <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m08-169.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m08-169.pdf</a> >.

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционная аудитория кафедры ФТТиНС: ноутбук ToshibaSatellite A200-1M5, проектор InFocus LP70+; MicrosoftWindows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019.

Лаборатория учебного практикума (ауд. 129): лабораторные стенды для получения тонких пленок и наноструктур методом химического осаждения из газовой фазы (1 шт) и электрохимическим методом - 1 шт.; вакуумная технологическая установка для магнетронного и термического нанесения металлических и диэлектрических пленок - 1 шт.; электропечь ПТК-1,4-40 с контролируемой атмосферой и автоматизированным управлением для получения материалов с заданной стехиометрией - 1 шт.

Аудитория для самостоятельной работы студентов: сервер на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт.; компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт.; компьютерыPentiumDualCore - 2 шт.; подключенные к сети Интернет и с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ; MicrosoftWindows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019.

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: стационарный мультимедийный проектор Acer X125H – 1 шт.; ноутбук emachines e510 – 1 шт.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Методы получения тонких пленок	ПК-3	ПК-3.1	Лабораторные работы 1 - 4
		ПК-7	ПК-7.1	
2.	Методы контроля и анализа тонких пленок	ПК-4	ПК-4.2	Лабораторные работы 5 - 7
3.	Методы контроля и анализа тонких пленок	ПК-7	ПК-7.2	Лабораторные работы 5 - 7
Промежуточная аттестация форма контроля –зачет				Перечень вопросов

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

## 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: отчеты о выполнении лабораторных работ.

### Перечень тем лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Получение тонких пленок методом термического испарения.  
Лабораторная работа 2. Получение тонких пленок методом магнетронного распыления.  
Лабораторная работа 3. Получение тонких пленок методом химического осаждения из газовой фазы.

Лабораторная работа 4. Определение толщины тонкой пленки интерференционным методом.  
Лабораторная работа 5. Определение элементного состава и микроструктуры тонкой пленки методом микроанализа и сканирующей электронной микроскопии.

Лабораторная работа 6. Определение фазового состава тонкой пленки методом рентгеновской дифракции.

Лабораторная работа 7. Определение фазового состава, микро- и наноструктуры тонкой пленки методом просвечивающей электронной микроскопии

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, собеседование, отчеты о ходе выполнения лабораторных работ, на основе которых выставляется предварительная оценка *зачет/незачет*.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен выполнять лабораторные работы	Пороговый уровень	<i>Зачет</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	<i>Незачет</i>

**20.2 Промежуточная аттестация** Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Перечень вопросов к зачету

1. Жидко- и твердофазные методы. Сравнительная характеристика методов.
2. Механизмы зародышеобразования и роста новой фазы. Механизмы затвердевания. Центры кристаллизации и скорость кристаллизации (затвердевания).
3. Теории роста кристаллов. Модель роста идеальных кристаллов, зародышеобразование на поверхности реальных кристаллов.
4. Эпитаксия. Проявления эпитаксии. Анизотропия граничной энергии и процессы зарождения. Механизмы эпитаксии. Влияние температуры, дефектов подложки и пересыщения на эпитаксию.

5. Классификация методов получения тонких пленок. Физические и химические методы. Газо-, Средняя длина свободного пробега молекул в газе. Частота столкновений молекул с поверхностью. Скорость испарения. Уравнение Герца-Кнудсена.
6. Ячейка Кнудсена. Источники точечные и малой площади. Распределение испаренных молекул по направлениям. Закон косинуса.
7. Источники точечные и малой площади. Закон распределения толщины покрытий.
8. Механизмы испарения жидкостей и твердых тел.
9. Термическое испарение резистивным теплом испарителя. Виды испарителей.
10. Термическое испарение с помощью нагрева электронной бомбардировкой. Различные виды электронных пушек. Держатели вещества.
11. Состав испаренного материала. Проблемы испарения многокомпонентных материалов.
12. Специальные методы испарения. Реактивное испарение.
13. Испарение из двух испарителей.
14. Дискретное термическое испарение.
15. Катодное распыление. Условия существования самостоятельного тлеющего разряда.
16. Разряд, поддерживаемый термоэлектронной эмиссией и магнитным полем, магнетронное распыление.
17. Высокочастотное распыление.
18. Реактивное распыление.
19. Распыление. Физический механизм ионного распыления. Пороговые энергии ионного распыления. Энергия связи атомов на поверхности. Теория Зигмунда. Коэффициент распыления.
20. Распределение распыленных частиц по направлениям и энергиям. Зависимость коэффициента распыления от энергии бомбардирующих частиц и порядкового номера атомов мишени.
21. Распыление многокомпонентных материалов и монокристаллов.
22. Получение тонких пленок с участием химических реакций. Диффузионная и кинетическая стадии гетерогенных химических реакций. Влияние факторов температуры, концентрации, скорости потока на переход от диффузионного режима к кинетическому.
23. Химические методы получения тонких плёнок: методы химического транспорта.
24. Химические методы получения тонких плёнок: методы разложения соединений.
25. Химические методы получения тонких плёнок: методы химического синтеза.
26. Определение толщины тонких пленок интерференционным методом.
27. Определение элементного состава и микроструктуры тонких пленок методом микроанализа и сканирующей электронной микроскопии.
28. Определение фазового состава тонких пленок методом рентгеновской дифракции.
29. Определение фазового состава, микро- и наноструктуры тонкой пленки методом просвечивающей электронной микроскопии

### **Описание технологии проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

В условиях применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий зачет проводится с использованием портала «Электронный университет ВГУ» – Moodle:URL:<http://www.edu.vsu.ru/> – по результатам текущей аттестации в семестре.

Промежуточная аттестация по дисциплине – зачет. В приложение к диплому вносится оценка зачет/*незачет*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Технология и анализ тонких пленок, микро- и наносистем» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы по теме зачета;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Технология и анализ тонких пленок, микро- и наносистем»:

– оценка *зачет* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *незачет* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении практических работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Технология и анализ тонких пленок» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *незачет*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ:

ПК-3

Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники

ПК 3.1 Выбирает конструкционные материалы и определяет типоразмеры заготовок для изделий микроэлектроники

ПК

4 Готов организовать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники

ПК 4-

2 Выявляет причины брака и приближения параметров к предельно допустимым при изготовлении изделий микроэлектроники

ПК-

7 Способен проводить технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники

ПК-7-

1 Выбирает необходимые параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники

ПК-7-

2 Осуществляет эксплуатацию технологического оборудования и технологической оснастки на производстве изделий микроэлектроники

Перечень заданий для оценки сформированности компетенций

### 1. Закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности)

1. Как изменяется средняя длина свободного пробега молекул в газе с изменением давления **P**?

- а) Прямо пропорционально.
- б) Обратно пропорционально.
- в) Как  $P^2$ .
- г) Как  $P^{-2}$ .

2. Согласованное испарение это...

- а) Испарение в виде молекул стехиометрического состава.
- б) Испарение компонента, обладающего одинаковой летучестью.
- в) Испарение в виде молекул стехиометрического состава или компонента, обладающего одинаковой летучестью.
- г) Испарение в виде отдельных атомов.

3. Как изменится толщина пленки, полученной методом термического испарения в вакууме, если расстояние  $r$  испаритель-подложка увеличится в два раза при сохранении других условий.

- а) увеличится в 2 раза.
- б) уменьшится в 2 раза.
- в) уменьшится в 4 раза.
- г) не изменится.

## 2. Открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности)

1.

Какие среды используются чаще всего для эпитаксиального роста в технологии интегральных микросхем?

Ответ: Парогазовые.

2. Упругие соударения ускоренной частицы в твердом теле это...

Ответ: Соударения с атомами и ионами.

3. Пороговая энергия распыления это...

Ответ: Энергия, при которой начинается распыление.

## 3. Открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности)

1. Каковы принципы выбора испарителя для проведения испарения материала тонкой пленки?

Ответ: Термическое испарение проводится с использованием испарителей проволочных (**W**, **Mo**) или ленточных (**Ta**, **Mo**), а также тигельных (тугоплавкие металлы, графит, керамика).

Выбор испарителя определяется агрегатным состоянием испаряемого материала с учетом диаграммы состояния системы испаряемый материал–испаритель.

При этом отдается предпочтение системам тугоплавкой эвтектикой, безлетучих химических элементов и соединений.

2. Какие группы химических методов получения тонких пленок принято выделять?

Ответ: Совокупность этих методов можно разбить на три группы:

а) методы химического транспорта,

когда вещество в твердом или жидком виде взаимодействуя в зоне источника с другим веществом превращается в газообразное соединение, которое переносится в зону с иной температурой, разлагаясь по обратной реакции, выделяет исходное вещество;

б) методы разложения соединений, когда в зону роста вводят летучее соединение, которое под действием газообразного восстановителя (или) высокой температуры, а также любого другого воздействия разлагается с выделением необходимого вещества;

в) методы синтеза в паровой фазе,

когда кристаллизуемое соединение образуется в результате реакции между газообразными компонентами непосредственно в зоне реакции.

3. Какие стадии реакции выделяются при анализе химической реакции получения тонкой пленки?

Ответ: Наиболее общее деление включает две стадии: перенос вещества (диффузионная стадия) и процессы на поверхности роста (кинетическая стадия).

Стадия переноса включает доставку реагирующих веществ в растущую кристаллу и удаление продуктов реакции в газовую фазу. К процессам на поверхности относятся адсорбция реагирующих веществ, их химическое взаимодействие на поверхности (реакция) и десорбция продуктов реакции.

Можно предложить другое деление процесса образования тонкой пленки,

относя к стадии «доставка материала» перенос вещества и объем адсорбцию, а к стадии «отвод продуктов реакции» десорбцию и удаление продуктов реакции в газовую фазу.

Задержка доставки материала и задержка отвода продуктов реакции в равной степени способны тормозить химическую реакцию.

### Задания раздела 20.3

рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний)

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

шифр и наименование направления/специальности

Дисциплина: Б1.В.ДВ.04.02 Технология и анализ тонких пленок, микро- и наносистем код

и наименование дисциплины

Профиль подготовки: Интегральная электроника и наноэлектроника

соответствии с Учебным планом

Форма обучения: Очная

Учебный год: 2025-2026

Ответственный исполнитель -

Зав.кафедрой ФТТиНС

должность, подразделение

\_\_\_\_\_

подпись

(П.В. Середин ) 31.08.2023

расшифровка подписи

Исполнители:

Профессор каф. ФТТиНС

должность, подразделение

\_\_\_\_\_

подпись

(Ю.А. Юраков)

расшифровка подписи

31.08.2023

\_\_\_\_\_

должность, подразделение

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_ .\_\_ 20\_\_

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Куратор ООП ВО

направления 11.03.04 \_\_\_\_\_

подпись

(Г.В. Быкадорова) 31.08.2023

расшифровка подписи

Зав.отделом

обслуживания ЗНБ \_\_\_\_\_

(Н.В. Белодедова)

31.08.2023

*подпись*

*расшифровка подписи*

---

Рекомендована *НМС физического факультета, протокол № 5 от 25.05.2023*  
(наименование факультета, структурного подразделения)