

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
материаловедения и индустрии наносистем



В.М. Иевлев  
17.04.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФТД.В.02 Тонкие пленки в развитии представлений о размерном эффекте в структуре и свойствах неорганических материалах**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

**04.03.02 – Химия, физика и механика материалов**

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Материаловедение и индустрия наносистем

**3. Квалификация выпускника: бакалавр**

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Материаловедения и индустрии наносистем

**6. Составители программы:** д.ф.-м.н., проф. *Иевлев Валентин Михайлович*, д.ф.-м.н., проф. *Белоногов Евгений Константинович*

**7. Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета, протокол №4 от 11.04.2024

**8. Учебный год:** 2027-2028

**Семестр(ы):** 8

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Усвоение сложившихся представлений о росте, особенностях структуры и свойств пленок и пленочных гетеросистем, приобретение практических навыков по методам получения пленок и гетероструктур.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** (обязательная или вариативная часть блока, к которой относится дисциплина) ФТД. Часть, формируемая участниками образовательных отношений

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач	ПК-2.1	Способен выбирать методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей	<b>знать:</b> перспективы применения современные тонкопленочных материалов в многоуровневой твердотельной электронике; направления исследований тонких пленок и гетероструктур; <b>уметь:</b> выбирать теоретические варианты и экспериментальные методы решения физико-технологических задач синтеза и применения тонких пленок и гетероструктур; формулировать рекомендации по изменению структуры тонких пленок для оптимизации параметров устройств микро- и наноэлектроники; <b>владеть:</b> навыками планирования эксперимента, подготовки научно обоснованных выводов и подходов к оптимизации структуры пленок для устройств микро- и наноэлектроники; способностью предлагать и анализировать модели физических явлений и процессов конденсации металлических, полупроводниковых и диэлектрических слоев; навыками и методами экспериментальных исследований свойств тонкопленочных материалов; методами анализа, проектирования научного исследования и прогнозирования свойств.

		ПК-2.2	Способен использовать знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач	<p><b>знать:</b> основные закономерности формирования структуры и свойства тонких пленок и гетероструктур с позиций классической и квантовой физики.</p> <p><b>уметь:</b> обрабатывать результаты исследований, применять методы обработки и представления результатов измерений; по результатам теоретических и экспериментальных исследований материалов формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроники.</p> <p><b>владеть:</b> физико-технологическими подходами к решению практических задач твердотельной электроники, конкретизации целей и задач исследований объектов; навыками анализа и обработки результатов исследований на основе теоретических представлений физики и технологии тонких пленок;</p>
--	--	--------	---	---

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 2/72.

Форма промежуточной аттестации – зачет

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			2 семестр	8 семестр	...
Контактная работа		20		20	
в том числе:	лекции	20		20	
	практические			-	
	лабораторные			-	
	курсовая работа			-	
Самостоятельная работа		52		52	
Промежуточная аттестация (для экзамена)					
Итого:		72		72	

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью он-
-----	---------------------------------	-------------------------------	---

			лайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Введение	Размерный эффект структуры и свойств – основа определения понятия тонкая пленка Малые частицы, кластеры. Применение тонких пленок в технике, технологии микроэлектроники. Нанотехнологии и наносистемы.	
1.2	Методы получения пленок и гетероструктур	Физические, химические, физико-химические методы нанесения пленок. Процессы при взаимодействии атомов, молекул и радикалов с поверхностью подложки.	
		Техника получения конденсата. Термическое нанесение; Ионно-плазменное нанесение; Плазмохимическое осаждение; Ионно-лучевое осаждение; Химическое осаждение из парогазовой фазы	
1.3	Виды роста, структура и субструктура пленок	Ориентированная кристаллизация пленок. Эпитаксия. Критерии прогноза ориентации. Рост пленок по Фольмеру и Веберу. Кинетика зарождения и роста, структура, субструктура. Рост по Франку и Ван дер Мерве. Структурные и субструктурные превращения при росте пленок.	
		Рост по Странскому и Крастанову. Образование дефектов в процессе роста пленок. Наноструктурные материалы. Функциональные наноматериалы. Реальная кристаллическая структура наноструктурированных материалов.	
		Дефекты кристаллической решетки наноматериалов. Зависимость периода кристаллической решетки от размера нанокристалла. Микронапряжение кристаллической решетки в наноматериалах. Доля поверхности в наноматериалах. Поверхностный потенциал Гиббса	
1.4	Гетероструктуры	Гетероструктуры. Виды гетероструктур. Строение межфазных границ в гетероструктурах. Полупроводниковые гетероструктуры - основа приборов СВЧ-техники, систем связи, телекоммуникаций, вычислительных систем, оптоэлектроники, квантовой нано- и спинтроники.	
		Геропереход - основной элемент гетероструктур. Построение энергетической диаграммы в модели идеального героперехода. Правило электронного сродства – правило Андерсона. Характеристики полупроводниковых геропереходов: ширина запрещенной зоны; термодинамическая работа выхода; расстояние от уровня Ферми до уровня вакуума; легирование материала; сродство к электрону	
1.5	Особенности свойств	Особенности свойств тонких пленок. Проявления размерного эффекта механических, электрических, магнитных, теплофизических, оптических свойств.	

	Основные принципы планарной технологии. Адгезия. Литография. Рентгенолитография. Электронно-лучевая литография. Эффект близости.	
	Анизотропия свойств. Анизотропия ионного легирования. Автоэпитаксия кремния. Молекулярно-лучевая эпитаксия.	

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение	4			8	12
2	Методы получения пленок и гетероструктур	4			10	14
3	Виды роста, структура и субструктура пленок	4			10	14
4	Гетероструктуры	4			10	14
5	Особенности свойств	4			14	18
	Итого:	20			52	72

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

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Организация изучения дисциплины предполагает:

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса по основным разделам дисциплины.

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Готтштейн Г. Физико-химические основы материаловедения / Г. Готтштейн; пер. с англ.; под ред. В.П. Зломанова. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2009 – 400с.: ИЛ.- (лучший зарубежный учебник).
2	Третьяков Ю.Д. Введение в химию твердофазных материалов. / Ю.Д. Третьяков, В.П. Путляев. Серия: Классический университетский учебник. – М. : Наука, 2006. – 400 с. Изд. «Наука»
3	Иевлев В.М. Тонкие пленки неорганических материалов: Механизм роста и субструктура. / В.М. Иевлев. учеб. пособие. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008. – 496 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Арзамасов Б.Н. Материаловедение. / Б.Н. Арзамасов и др. – М. : Изд. МГТУ им.Баумана, 2003. – 256 с.
5	Ржевская С.В. Материаловедение. / С.В. Ржевская. - М. : Логос, 2006. – 304 с.

6	Елисеев А.А. Функциональные наноматериалы. / А.А. Елисеев, А.В. Лукашин; под ред. Ю.Д. Третьякова. учеб. пособие. - М. : Физматлит, 2010. - 456 с.
7	Гусев А.И. Нанокристаллические материалы. / А.И. Гусев, А.А. Ремпель. – М. : Физматлит, 2000, 224 с.
8	И.П. Суздальев. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. / И.П. Суздальев. Комкнига.- М. : 2006 - 592 с.
9	Андреева А.В. Основы физикохимии и технологии композитов: учеб. пособие для вузов. / А.В. Андреева. - М.: ИПРЖР, 2001. – 192 с.
10	Оксидная керамика: спекание и ползучесть. / В.С. Бокунов В.С., А.В. Беляков и др. – М. : Изд. РХТУ, 2007. - 584 с.
11	Иевлев В.М., Косилов А.Т. и др. Методы исследования атомной структуры и субструктуры материалов. Уч. пособие. Изд. Вор. гос. техн. унив. 2003, 485 с

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

№ п/п	Ресурс
12	<a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a> - сайт Зональной Научной Библиотеки Воронежского государственного университета
13	<a href="http://www.nanometer.ru/">http://www.nanometer.ru/</a> - Нанотехнологическое сообщество «Нанометр»
14	<a href="http://www.nanonewsnet.ru/">http://www.nanonewsnet.ru/</a> - новости нанотехнологий, информационно-аналитическое издание, посвященное вопросам популяризации и развития нанотехнологий в РФ
15	<a href="http://www.rusnanonet.ru/">http://www.rusnanonet.ru/</a> - информационно-аналитический портал российской национальной нанотехнологической сети

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)**

№ п/п	Источник
1	Иевлев В.М. Тонкие пленки неорганических материалов: Механизм роста и субструктура. / В.М. Иевлев. учеб. пособие. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008. – 496 с.
2	Тонкие пленки и гетероструктуры : сборник задач и вопросов : учебно-методическое пособие для вузов : [для студ. 4 к. хим.и 3-4 к. физ. факультетов направления 020300 - Химия, физика и механика материалов] / сост.: В.М. Иевлев, А.С. Прижимов .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013
3	Сборник задач по курсу "Физика тонких пленок" (Методические указания) В.М. Иевлев, Белоногов Е.К., Издательство ВГТУ, Воронеж, 2004г. 30с.

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

мультимедийный проектор BENQ, экран, ноутбук.

**19. Фонд оценочных средств:**

**19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Методы получения пленок и гетероструктур. <i>Термическое нанесение; Ионно-плазменное нанесение; Плазмохимическое осаждение; Ионно-лучевое осаждение; Химическое осаждение из парогазовой фазы.</i>	ПК-2	ПК-2.1	Устный опрос
2	Виды роста, структура и субструктура пленок. <i>Ориентированная кристаллизация пленок. Эпитаксия.</i>			Устный опрос
3	<i>Гетероструктуры.</i> Нанотехнологии и наносистемы.		ПК-2.2	Устный опрос
4	Особенности свойств. Проявления размерного эффекта механических, электрических, магнитных, теплофизических, оптических свойств.			Устный опрос

\* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

## 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено  
Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Знает и понимает сущность размерного эффекта; знает основные подходы создания тонких пленок и проведения исследований их структуры и свойств. Владение основным материалом курса, дает полные и правильные ответы на зачете.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Имеет представление о содержании дисциплины, но не знает методик и физических принципов. Существенно искажает ответы по вопросу. Отсутствие знаний по вопросу билета на зачете или неверные, значительно искаженные ответы.	–	<i>Не зачтено</i>

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания (задания, материалы для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы)

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

## Перечень вопросов к зачету:

1. Размерный эффект структуры и свойств в тонких пленках
2. Стадии роста пленки: образование зародышей и островковой структуры; коалесценция островков; образование лабиринтной структуры; формирование компактной пленки.
3. Методы получения тонких пленок.
4. Гетероструктуры. Виды гетероструктур. Строение межфазных границ в гетероструктурах
5. Термическое испарение и конденсация в вакууме.
6. Свойства тонких пленок. Проявления размерного эффекта механических, электрических, магнитных, теплофизических, оптических свойств.
7. Терморезистивный, электронный и индукционный нагрев испаряемого материала. Электроннолучевое испарение, лазерная абляция.
8. Методы контроля твердости и прочности тонких пленок.
9. Методы контроля макро- и микронапряжений тонких пленок.
10. Ионно-плазменное, реактивное ионно-плазменное распыление и конденсация в вакууме.
11. Гетероструктуры: квантовые ямы; квантовые проволоки; квантовые точки; сверхрешетки; квантовые микрорезонаторы; фотонные кристаллы.
12. Катодное распыление. Магнетронные методы нанесения конденсированных слоев. ионно-лучевое распыление.
13. Гетероструктуры I, II и III типов.
14. Химические, физико-химические методы нанесения. Золь-гель метод. Химическое осаждение из парогазовой фазы. Плазмохимическое осаждение.
15. Пористые полупроводниковые материалы.
16. Ориентированная кристаллизация пленок.
17. Направления применения гетероструктур в микроэлектронике: полупроводниковые лазеры, лазеры на гетероструктурах II типа.
18. Фуллерены, нанокластеры, нанотрубки.
19. Направления применения гетероструктур в микроэлектронике: светодиоды; солнечные элементы и фотодетекторы; полупроводниковая интегральная оптика.
20. Критерии прогноза ориентированной кристаллизации. Модель Уолтона – Родина.
21. Направления применения гетероструктур в микроэлектронике: биполярные транзисторы; преобразователи длины волны излучения; холодные катоды.
22. Зарождение и рост тонких пленок по механизму Фольмера и Вебера.
23. Технологические особенности синтеза гетероструктур: структуры с малым несоответствием параметров решетки.
24. Кинетика зарождения и роста тонких пленок.
25. Технологические особенности синтеза гетероструктур: использование многокомпонентных твердых растворов для согласования параметров решетки.
26. Структура и субструктура тонких пленок.
27. Технологические особенности синтеза гетероструктур: использование технологий эпитаксиального выращивания слоев.
28. Зарождение и рост тонких пленок по механизму Франка и Ван дер Мерве.
29. Метод эпитаксии из молекулярных пучков
30. Структурные и субструктурные превращения при росте пленок.

### **20.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая ат-



тестация проводится в форме устного опроса, выполнения практического задания. Критерии оценивания приведены выше.

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

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.