

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  
25.06.2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.01.01 Тонкие пленки, гетероструктуры и наноструктуры**

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**  
04.06.01 Химические науки
- 2. Профиль подготовки/специализация:** 020021 Химия твердого тела
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** аспирант
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** *д.ф.-м.н., проф. Белоногов Евгений Константинович*
- 7. Рекомендована:** *Научно-методическим советом химического факультета, протокол № 5 от 17.06.2021*
- 8. Учебный год:** 2023-2024 **Семестр(ы):** 6

## 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:

Б1, вариативная часть

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

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	<b>знать:</b> тенденции развития материаловедения, твердотельной микро- и нанoeлектроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий;
		<b>уметь:</b> применять модели и приближения физики конденсированного состояния вещества для описания основных физических свойств фононных и электронных состояний; формулировать цели и задачи научных исследований структуры и свойств тонких пленок и гетероструктур;
		<b>владеть:</b> методами и средствами решения сформулированных задач синтеза и применения тонких пленок и гетероструктур; навыками и методами экспериментальных исследований свойств тонкопленочных материалов; методами анализа, проектирования научного исследования и прогнозирования свойств по известным условиям синтеза тонкопленочных материалов;
ПК-1	способностью к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.21 Химия твердого тела	<b>знать:</b> современные тонкопленочные материалы, перспективы их применения в многоуровневой твердотельной электронике; основные 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 совершенствованию структуры и свойств функциональных устройств микро- и нанoeлектроники;

		<p><b>владеть:</b>  навыками планирования эксперимента, подготовки научно обоснованных выводов и оптимизации структуры и свойств функциональных устройств микро- и нанoeлектроники;  способностью предлагать и анализировать модели физических явлений и процессов конденсации металлических, полупроводниковых и диэлектрических слоев;</p>
УК-1	<p>способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p>	<p><b>знать:</b>  основные направления исследований тонких пленок и гетероструктур;</p> <p><b>уметь:</b>  анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современного материаловедения;</p> <p><b>владеть:</b>  способностью предлагать и анализировать модели физических явлений и процессов конденсации металлических, полупроводниковых и диэлектрических слоев;</p>
УК-4	<p>готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранных языках</p>	<p><b>знать:</b>  принципы функционирования современных информационных систем обмена научной информацией;</p> <p><b>уметь:</b>  размещать информацию о направлениях научных исследований и полученных результатах исследований в информационных научных системах;  взаимодействовать с другими пользователями посредством передачи текстовых, графических, аудио- и видеоизображений в компьютерных сетях;  представлять научную информацию в виде презентаций, содержащих мультимедийное оформление</p> <p><b>владеть:</b>  навыками использования мультимедийных технологий при обмене научной информацией</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		
		...	6	...
Аудиторные занятия	4		4	
в том числе:				
ИЗ	4		4	
практические				
лабораторные				
Самостоятельная работа	68		68	
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час./ экзамен – 36 час.)		зачет		
Итого:	72		72	

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	часов
<b>1. Лекции</b>			<b>0</b>

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Введение					2
2	Методы получения пленок и гетероструктур				8	10
3	Виды роста, структура и субструктура пленок				20	22
4	Гетероструктуры				22	22
5	Особенности свойств				18	18
	Итого:				68	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;

### 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

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

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

**19. Фонд оценочных средств:**

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

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения ком-	Этапы формирования компетенции (разделы (те-	ФОС* (средства оце-

	петенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	мы) дисциплины или модуля и их наименование)	нивания)
ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.	<b>знать:</b> тенденции развития материаловедения, твердотельной микро- и нанoeлектроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий;	<i>Введение</i>	
	<b>уметь:</b> применять модели и приближения физики конденсированного состояния вещества для описания основных физических свойств фононных и электронных состояний; формулировать цели и задачи научных исследований структуры и свойств тонких пленок и гетероструктур;	<i>Виды роста, структура и субструктура пленок</i>	
	<b>владеть:</b> методами и средствами решения сформулированных задач синтеза и применения тонких пленок и гетероструктур; навыками и методами экспериментальных исследований свойств тонкопленочных материалов; методами анализа, проектирования научного исследования и прогнозирования свойств по известным условиям синтеза тонкопленочных материалов;	<i>Методы получения пленок и гетероструктур</i>	
ПК-1 способностью к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.21 Химия твердого тела	<b>знать:</b> современные тонкопленочные материалы, перспективы их применения в многоуровневой твердотельной электронике; основные направления исследований тонких пленок и гетероструктур;	<i>Виды роста, структура и субструктура пленок</i>	
	<b>уметь:</b> выбирать теоретические варианты и экспериментальные методы решения физико-технологических задач синтеза и применения тонких пленок и гетероструктур; формулировать рекомендации по совершенствованию структуры и свойств функциональ-	<i>Особенности свойств</i>	

	ных устройств микро- и наноэлектроники;		
	<b>владеть:</b> навыками планирования эксперимента, подготовки научно обоснованных выводов и оптимизации структуры и свойств функциональных устройств микро- и наноэлектроники; способностью предлагать и анализировать модели физических явлений и процессов конденсации металлических, полупроводниковых и диэлектрических слоев;	Особенности свойств	
УК-1 способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<b>знать:</b> основные направления исследований тонких пленок и гетероструктур	<i>Виды роста, структура и субструктура пленок</i>	
	<b>уметь:</b> анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современного материаловедения.	<i>Виды роста, структура и субструктура пленок</i>	
	<b>владеть:</b> способностью предлагать и анализировать модели физических явлений и процессов конденсации металлических, полупроводниковых и диэлектрических слоев;	<i>Гетероструктуры</i>	
УК-4 готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранных языках	<b>знать:</b> принципы функционирования современных информационных систем обмена научной информацией;	<i>Виды роста, структура и субструктура пленок</i>	
	<b>уметь:</b> размещать информацию о направлениях научных исследований и полученных результатах исследований в информационных научных системах; взаимодействовать с другими пользователями посредством передачи текстовых, графических, аудио- и видеоизображений в компьютерных сетях; представлять научную информацию в виде презентаций, содержащих мультимедийное оформление	<i>Гетероструктуры</i>	
	<b>владеть:</b> навыками использования мультимедийных средств	<i>Виды роста, структура и субструктура пленок</i>	

	тимедийных технологий при обмене научной информацией	<i>структура пленок</i>	
<b>Промежуточная аттестация</b>			КИМ

\* 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
Владение основным материалом курса, полные и правильные ответы на зачете.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Отсутствие знаний по вопросу билета на зачете или неверные, значительно искаженные ответы.	–	<i>Не зачтено</i>

## 19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 19.3.1 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.
31. Метод газофазной эпитаксии из паров металлоорганических соединений
32. Зарождение и рост тонких пленок по механизму Странского и Крастанова.
33. Резонансное туннелирование в структурах с двойным барьером и в сверхрешетках
34. Методы контроля фазового состава тонких пленок.
35. Стимулированное излучение при резонансном туннелировании в сверхрешетках
36. Методы контроля элементного состава тонких пленок.
37. Псевдоморфный рост гетероструктур.
38. Методы контроля структуры тонких пленок.
39. Метод субмонослойного выращивания
40. Методы контроля топографии поверхности и шероховатости тонких пленок.
41. Технологические особенности синтеза гетероструктур: подавление роста дислокаций несоответствия при эпитаксиальном наращивании.
42. Методы контроля адгезии тонких пленок.

### **19.3.2 Перечень практических заданий**

#### **19.3.3 Тестовые задания**

### **19.4. 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 аттестация 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.