

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
21.04.2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.11 Тонкие пленки и гетероструктуры

- 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 (степень) 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 №3 от 19.04.2022
- 8. Учебный год:** 2025-2026

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 Б1, к которой относится дисциплина) Б1. 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	знать: перспективы применения современные тонкопленочных материалов в многоуровневой твердотельной электронике; направления исследований тонких пленок и гетероструктур; уметь: 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 нанoeлектроники; владеть: навыками планирования эксперимента, подготовки научно обоснованных выводов и подходов к оптимизации структуры пленок для устройств микро- и нанoeлектроники; 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>знать: основные закономерности формирования структуры и свойства тонких пленок и гетероструктур с позиций классической и квантовой физики.</p> <p>уметь: 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>владеть: 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 — 4 з.е. /144 часа.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость, часов			
	Всего	По семестрам		
		...	8	...
Аудиторные занятия	100		100	
в том числе:				
лекции	40		40	
практические	30		30	
лабораторные	30		30	
Самостоятельная работа	44		44	
Форма промежуточной аттестации (зачет)	зачет		зачет	
Итого:	144		144	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью он-лайн-курса,
-----	---------------------------------	-------------------------------	--

			ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Введение	<p>Размерный эффект структуры и свойств – основа определения понятия тонкая пленка</p> <p>Малые частицы, кластеры. Применение тонких пленок в технике, технологии микроэлектроники.</p> <p>Нанотехнологии и наносистемы.</p>	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6283
1.2	Методы получения пленок и гетероструктур	<p>Физические, химические, физико-химические методы нанесения пленок. Процессы при взаимодействии атомов, молекул и радикалов с поверхностью подложки.</p>	
		<p>Техника получения конденсата. Термическое нанесение; Ионно-плазменное нанесение; Плазмохимическое осаждение; Ионно-лучевое осаждение; Химическое осаждение из парогазовой фазы</p>	
1.3	Виды роста, структура и субструктура пленок	<p>Ориентированная кристаллизация пленок. Эпитаксия. Критерии прогноза ориентации.</p> <p>Рост пленок по Фольмеру и Веберу. Кинетика зарождения и роста, структура, субструктура.</p> <p>Рост по Франку и Ван дер Мерве. Структурные и субструктурные превращения при росте пленок.</p>	
		<p>Рост по Странскому и Крастанову.</p> <p>Образование дефектов в процессе роста пленок.</p> <p>Наноструктурные материалы. Функциональные наноматериалы. Реальная кристаллическая структура наноструктурированных материалов.</p>	
		<p>Дефекты кристаллической решетки наноматериалов. Зависимость периода кристаллической решетки от размера нанокристалла. Микронапряжение кристаллической решетки в наноматериалах. Доля поверхности в наноматериалах. Поверхностный потенциал Гиббса</p>	
1.4	Гетероструктуры	<p>Гетероструктуры. Виды гетероструктур. Строение межфазных границ в гетероструктурах.</p> <p>Полупроводниковые гетероструктуры - основа приборов СВЧ-техники, систем связи, телекоммуникаций, вычислительных систем, оптоэлектроники, квантовой нано- и спинтроники.</p>	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6283
		<p>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</p>	
1.5	Особенности свойств	<p>Особенности свойств тонких пленок. Проявления размерного эффекта механических, электрических, магнитных, теплофизических, оптических свойств.</p>	

		Основные принципы планарной технологии. Адгезия. Литография. Рентгенолитография. Электронно-лучевая литография. Эффект близости.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6283
		Анизотропия свойств. Анизотропия ионного легирования. Автоэпитаксия кремния. Молекулярно-лучевая эпитаксия.	
2. Практические занятия		Решение задач, ответы на вопросы и выполнение расчетно-графического задания по теме	
2.1	Методы получения пленок и гетероструктур	Термическое и ионно-плазменное нанесение покрытий;	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6283
2.2		Плазмохимическое и ионно-лучевое нанесение покрытий;	
2.3	Виды роста, структура и субструктура пленок	Механизмы зарождения и роста конденсатов в вакууме	
2.4		Эпитаксия. Критерии прогноза ориентации пленок на ориентирующих подложках.	
2.5	Гетероструктуры	Межфазные границы в гетероструктурах.	
		Энергетическая диаграмма в модели идеального гетероперехода.	
2.6	Особенности свойств	Размерный эффект механических, электрических и оптических свойств пленок.	
2.7		Принципы планарной технологии. фотошаблоны. Литография. Эффект близости.	
2.8		Анизотропия свойств тонких пленок. Адгезия.	
3. Лабораторные работы			
3.1	Методы получения пленок и гетероструктур	Нанесение пленки алюминия на кремниевую подложку методом термического испарения	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6283
3.2		Синтез пленок твердого раствора палладий – медь методом магнетронного распыления	
3.3	Особенности свойств	Синтез пленок оксида методом анодного окисления алюминия	
3.4		Определение фазового состава пленок твердого раствора палладий – медь методом РД	
3.5		Измерение адгезии пленок твердого раствора палладий – медь методом скретч-тестирования.	
3.6		Определение текстуры пленок твердого раствора палладий – медь методом ДБЭ	

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	2				2
2	Методы получения пленок и гетероструктур	10	6	16	10	42
3	Виды роста, структура и субструктура пленок	10	8		20	38
4	Гетероструктуры	8	8		8	24
5	Особенности свойств	10	8	14	6	38
	Итого:	40	30	30	44	144

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;
- выполнение практического задания;
- 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. Суздаев. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. / И.П. Суздаев. 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	https://www.lib.vsu.ru/ - сайт Зональной Научной Библиотеки Воронежского государственного университета
13	http://www.nanometer.ru/ - Нанотехнологическое сообщество «Нанометр»

14	http://www.nanonewsnet.ru/ - новости нанотехнологий, информационно-аналитическое издание, посвященное вопросам популяризации и развития нанотехнологий в РФ
15	http://www.rusnanonet.ru/ - 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)

ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6283>

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Персональные компьютеры с доступом в Интернет; 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 паровой фазы.</i>	ПК-2	ПК-2.1	Решение задач, ответы на вопросы и выполнение расчетно-графического задания по теме Практическое задание № 2.1 Лабораторная работа № 3.1
2	Виды роста, структура и субструктура пленок. <i>Ориентированная кристаллизация пленок. Эпитаксия.</i>			Практическое задание № 2.4 Лабораторная работа № 3.4 Решение задач, ответы на вопросы и вы-

				полнение расчетно-графического задания по теме
3	<i>Гетероструктуры.</i> Нанотехнологии и наносистемы.		ПК-2.2	Решение задач, ответы на вопросы и выполнение расчетно-графического задания по теме Практическое задание № 2.2 Лабораторная работа № 3.2
4	Особенности свойств. Проявления размерного эффекта механических, электрических, магнитных, теплофизических, оптических свойств.			Практическое задание № 2.3, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 Лабораторная работа № 3.3, 3.5, 3.6 Реферат

* 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; умеет готовить образцы для исследования; владеет навыками использования методик и применяет их при решении задач материаловедения без прямых указаний на порядок действий для решения. 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; не умеет проводить измерения параметров нанообъектов и наносистем; не имеет навыков обработки результатов. 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.
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.

20.2 Перечень практических заданий

Тестовые задания

Варианты тестовых заданий для промежуточного контроля учебных достижений студентов

Чтобы увеличить размер «зародышей» следует:

1. Улучшить вакуум в камере
2. Понизить температуру подложки
3. Повысить температуру подложки
4. Понизить скорость напыления

Каким способом нельзя снизить неравномерность напыляемой пленки?

1. Увеличение расстояния от источника
2. Вращение подложки
3. Увеличение скорости напыления
4. Придание подложке сферической формы

Из какого материала рекомендуют изготавливать маски - трафареты?

1. Нержавеющая сталь
2. Олово
3. Свинец
4. Пластик

Какой из металлов имеет наибольшую скорость распыления при электронно-лучевом методе напыления?

1. Титан
2. Вольфрам
3. Молибден
4. Алюминий

При каком давлении производится ионное распыление в диодной системе?

1. 760 Торр
2. порядка 10^{-3} Торр
3. менее 10^{-6} Торр
4. порядка 10^{-5} Торр

Что не относится к преимуществам напыления пленок методом ионного распыления?

1. Большая площадь распыляемой мишени
2. Мишень представляет собой источник длительного действия частиц наносимого материала
3. Поток осаждаемых на поверхность подложки частиц является хаотическим
4. Большая энергия конденсирующихся атомов

Какой способ применяется для распыления диэлектрических материалов?

1. Радиочастотный магнетрон
2. Диодная конструкция
3. Магнетрон

9 Какой способ применяется для реактивного распыления?

1. Термический
2. Диодная конструкция
3. Магнетрон
4. Радиочастотный магнетрон

Недостаток реактивного распыления?

1. Неравномерность наносимой пленки
2. Внутренние дефекты пленки
3. Низкая скорость распыления
4. Шероховатость полученной пленки

В какой области магнетронного распылителя концентрация плазмы наибольшая?

1. По всей поверхности катода
2. Возле анода
3. Во всем промежутке между подложкой и катодом
4. В области максимальной концентрации электрического и магнитного поля

При каком свете измерение толщины пленки методом многолучевой интерферометрии будет точнее?

1. Красный
2. Зеленый
3. Синий

Для чего охлаждают кварцевый датчик?

1. Для увеличения адгезии пленки
2. Для исключения погрешности связанной с резонансной частотой кварцевого элемента
3. Для повышения равномерности пленки

Какой из факторов меньше других влияет на величину адгезии пленки к подложке?

1. Толщина полученной пленки
2. Материал пленки
3. Скорость напыления
4. Температура подложки

Технология материалов электронной техники: лабораторный практикум

20.2.1 Перечень заданий для контрольных работ

Контрольные вопросы

Размерный эффект структуры и свойств в тонких пленках

1. Методы получения тонких пленок.
2. Термическое испарение и конденсация в вакууме.
3. Терморезистивный, электронный и индукционный нагрев испаряемого материала. Электроннолучевое испарение, лазерная абляция.
4. Ионно-плазменное, реактивное ионно-плазменное распыление и конденсация в вакууме.
5. Катодное распыление. Магнетронные методы нанесения конденсированных слоев. ионно-лучевое распыление.
6. Химические, физико-химические методы нанесения. Золь-гель метод. Химическое осаждение из парогазовой фазы. Плазмохимическое осаждение.
7. Ориентированная кристаллизация пленок.
8. Критерии прогноза ориентированной кристаллизации.
9. Зарождение и рост тонких пленок по механизму Фольмера и Вебера.
10. Кинетика зарождения и роста тонких пленок
11. Структура и субструктура тонких пленок.

12. Зарождение и рост тонких пленок по механизму Франка и Ван дер Мерве. Структурные и субструктурные превращения при росте пленок.
13. Зарождение и рост тонких пленок по механизму Странского и Крастанова.
14. Гетероструктуры. Виды гетероструктур. Строение межфазных границ в гетероструктурах
15. Особенности свойств тонких пленок. Проявления размерного эффекта механических, электрических, магнитных, теплофизических, оптических свойств.
16. Стадии роста пленки: -образование зародышей и островковой структуры;-срастание или коалесценция островков;-образование каналов (лабиринтная структура);- формирование сплошной (компактной) пленки.
17. Гетероструктуры: основные понятия; квантовые ямы; квантовые проволоки; квантовые точки; сверхрешетки; квантовые микрорезонаторы; фотонные кристаллы
18. Классические гетероструктуры. Широкозонный эмиттер (для повышения эффективности инжекции) диода;
19. Принципиальные физические требования к гетероструктурам: хорошее согласование кристаллической решетки, малое несоответствие параметров;
20. Технологические приемы синтеза гетероструктур: использование твердых растворов для согласования параметров решетки; использование технологий эпитаксиального выращивания с низкими скоростями роста;
21. Технические подходы в создании п/п приборов: применение метода монослойного выращивания; подавление распространения дислокаций несоответствия;
22. Применение п/п гетероструктур: полупроводниковый лазер; светодиоды;
23. Применение п/п гетероструктур: солнечные элементы, фотодетекторы;
24. Применение п/п гетероструктур: диоды, транзисторы, тиристоры с передачей светового сигнала; преобразователи длины волны излучения; холодные катоды.

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 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.