

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

16.05.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.09 Нанотехнологии

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

04.03.02 – Химия, физика и механика материалов

2. Профиль подготовки: *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: *Сладкопевцев Борис Владимирович, кандидат химических наук, доцент*

7. **Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета, протокол №10-03 от 27.03.2025

8. Учебный год: 2028/2029

Семестр(ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- сформировать у студентов систему представлений о современном состоянии нанотехнологий;
- дать представление об основных технологиях, используемых в настоящее время и перспективных для получения наноразмерных объектов
- представить перспективы использования нанотехнологий в различных областях человеческой деятельности.

Задачи учебной дисциплины:

Студенты должны:

- получить представление о связи курса с другими дисциплинами, о его месте среди других дисциплин для данного направления подготовки;
- иметь представление о возможностях нанотехнологий на современном этапе развития и об их перспективах в будущем;
- знать основные понятия и определения предмета, сущность и возможности основных методов исследования, применяющихся при изучении наносистем;
- знать основные методы и подходы, используемые в современных технологиях синтеза наноразмерных систем.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Часть, формируемая участниками образовательных отношений, Блока 1. Дисциплины (модули).

Требования к входным знаниям, умениям и навыкам: для освоения курса студент должен быть знаком с основными разделами общей и неорганической химии, иметь представления о методах анализа состава и структуры вещества.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих курсах, изученных студентами ранее:

- Физика
- Общая и неорганическая химия
- Микроскопические методы исследования структуры материалов
- Спектроскопические методы исследования материалов

Данная дисциплина является предшествующей дисциплинам «Наноматериалы», «Тонкие пленки и гетероструктуры». Параллельно с данным курсом студенты осваивают дисциплину «Нанокластеры и наноструктуры: синтез и свойства».

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

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	Выбирает методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей	Знать: основные понятия и принципы нанотехнологий; классификацию методов нанотехнологий и возможности каждого из методов, используемых в настоящее время для синтеза наноразмерных объектов; принципы управления нанотехнологическими процессами Уметь: использовать полученные знания для реализации процессов синтеза наноразмерных объектов (в первую очередь в тонкоплёночном состоянии) Владеть: навыками постановки и решения конкретных задач синтеза наноматериалов

		ПК-2.2	Использует знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач	Знать: современное состояние развития нанотехнологий в мире и нашей стране; перспективы использования нанотехнологий; сущность и возможности основных методов исследования свойств наноматериалов Уметь: использовать полученные знания для и исследования основных характеристик наноразмерных объектов Владеть: навыками применения основных методов исследования свойств наноразмерных объектов (наноматериалов)
--	--	--------	--	---

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

Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			7 семестр	8 семестр
Контактная работа		72	72	
в том числе:	лекции	36	36	
	практические	36	36	
	лабораторные	–	–	
	курсовая работа	–	–	
Самостоятельная работа		72	72	
Промежуточная аттестация (для экзамена)				
Итого:		144	144	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Основные понятия нанотехнологии	Основные понятия дисциплины, нанотехнологии, наноматериалы. История становления и развития нанотехнологии. Создание объектов по принципам «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Эффекты нанометрового масштаба	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959
1.2	Обзор методов исследования и диагностики нанообъектов и наносистем	Общая классификация методов исследования применительно к наносистемам. Аналитические методы и способы визуализации. Методы микроскопии. Оптическая микроскопия для исследования нанообъектов. Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля. Конфокальная микроскопия. Сканирующие зондовые методы. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), туннельный эффект. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Другие сканирующие зондовые методы - микроскопия латеральных сил, магнитно-силовая микроскопия, микроскопия электростатических сил,	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959

		сканирующая термомикроскопия.	
1.3	Основы нанотехнологий	<p>Классификация методов. Сложившиеся и перспективные технологии. Процессы «сверху вниз» для получения наносистем: измельчение, литография, механическая обработка, их особенности в применении к наноразмерным объектам.</p> <p>Процессы «снизу вверх». Методы осаждения из газовой фазы (физическое и химическое осаждение из газовой фазы ФОГФ и ХОГФ). Плазменное осаждение – тлеющий разряд постоянного тока. Магнетронное распыление в создании наноразмерных сверхпроводниковых структур. Вакуумная дуговая наплавка. Молекулярно-лучевая эпитаксия, металлорганическая газофазная эпитаксия. Эпитаксиальное выращивание квантовых ям. Выращивание на краю скола.</p> <p>Методы шаблонного роста наноматериалов: получение золь-гель методом кремниевых нанотрубок; кристаллические цеолиты как реакторы для получения наночастиц; рост в самособирающихся мембранах.</p> <p>Упорядочение наносистем. Самосборка и самоорганизация (геометрическая самосборка, шаблонная самоорганизация, самособирающиеся слои, самоорганизованный рост квантовых точек, полупроводниковые островковые структуры, монослой).</p> <p>Зондовые нанотехнологии.</p>	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959
1.4	Перспективы использования нанотехнологий	Обзор основных направлений и отраслей использования нанотехнологий. Перспективы развития нанотехнологий.	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959
1.5	Нанотехнологии и человеческое общество	Социальные последствия внедрения нанотехнологий. Изменения в системе образования и подготовки научных кадров. Развитие нанотехнологий в мировом масштабе.	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959
1.6	Российские нанотехнологии	<p>Перечень критических технологий Российской Федерации.</p> <p>Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Нанотехнологическое общество России, ОАО РОСНАНО: цели и задачи. Периодические издания, публикующие результаты фундаментальных и прикладных исследований в области нанонаук. Журнал «Российские нанотехнологии». Русскоязычные интернет-ресурсы, посвященные нанотехнологиям. Нанотехнологическое сообщество «Нанометр» http://www.nanometer.ru/.</p>	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959
2. Практические занятия			
2.1	Основные понятия нанотехнологии	Основные понятия и этапы развития нанотехнологий.	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959
2.2	Обзор методов исследования и диагностики нанообъектов	Спектроскопические методы в приложении к исследованию наносистем. Растровая (сканирующая) электронная микроскопия (РЭМ).	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959

	и наносистем	Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ).	.ru/course/view.php?id=9959
2.3	Основы нанотехнологий	Жидкофазные методики. Получение коллоидных квантовых точек. Методы золь-гель. Электроосаждение.	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959
2.4	Перспективы использования нанотехнологий	<p><i>В промышленности</i> - создание новых типов двигателей. Создание новых конструкционных материалов (сверхлегких и сверхпрочных, а также «умных»). Магнитные материалы. Катализаторы.</p> <p><i>В информатике</i> - повышение производительности систем передачи, обработки и хранения информации. Оптические запоминающие устройства на основе квантовых точек. Создание устройств с приближением возможностей к свойствам объектов живой природы с элементами интеллекта.</p> <p><i>В электронике и оптоэлектронике</i> - наноразмерные сверхпроводниковые структуры. Электронные элементы на основе высокотемпературных сверхпроводников: датчики магнитного поля, ИК-излучения болометрического типа. Наноприборы на основе УНТ: диоды, полевой транзистор, холодные катоды. Полупроводящие наноструктуры: инжекционные лазеры, квантовые каскадные лазеры, биологические метки. Влияние нанотехнологий на традиционную электронику. Оптические наноприборы. Светоперестраиваемые диоды. Лазерные устройства с регулируемой длиной волны за счёт размера нанокластера (квантовые точки). Нанокластеры InGaAs в матрице GaAs.</p> <p><i>В энергетике</i> – повышение эффективности существующего оборудования. Проблемы альтернативной энергетики: топливные элементы, материалы для адсорбции и хранения водорода.</p> <p><i>В медицине и биологии</i> - высокоэффективные нанопрепаративные формы и адресные способы доставки лекарственных средств. Проблемы борьбы с раковыми заболеваниями. Создание биосовместимых материалов и искусственных органов. Макро-, микро- и нанотехнологии миокарда. Биочипы. Биомедицинские наносенсоры и бионаносенсоры. Внутрисосудистые нано- и микророботы. Биомиметические нанотехнологии. ДНК как строительный материал нанотехнологий.</p> <p><i>В экологии</i> - фильтры и мембраны на основе наноматериалов для очистки воды и воздуха. Опреснение воды. Биодатчики для точного мониторинга окружающей среды.</p> <p><i>В сельском хозяйстве</i> - создание препаратов для повышения урожайности и питательной ценности с/х культур. Развитие методов генетической модификации для создания более устойчивых к сорнякам и вредителям сортов растений</p> <p>Наноматериалы в косметической промышленности</p>	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959
2.5	Нанотехнологии и человеческое общество	Коммерциализация результатов нанотехнологических исследований. Вопросы безопасности наносистем.	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959

			9
2.6	Российские нанотехнологии	Текущее состояние развития нанотехнологий в Российской Федерации	Использование ЭУМК https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959
3. Лабораторные занятия			
3.1			
3.2			

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Основные понятия нанотехнологии	4	4	–	6	14
2	Обзор методов исследования и диагностики нанобъектов и наносистем	6	6	–	16	28
3	Основы нанотехнологий	18	6	–	18	42
4	Перспективы использования нанотехнологий	2	10	–	16	28
5	Нанотехнологии и человеческое общество	2	4	–	8	14
6	Российские нанотехнологии	4	6	–	8	18
	Итого:	36	36	–	72	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В процессе изучения дисциплины предполагается: работа с конспектами лекций и литературными источниками; решение контрольных работ; подготовка и защита рефератов, оппонирование, подготовка кратких сообщений.

Наиболее объёмным и важным разделом, изучению которого необходимо уделить особое внимание, являются «Основы нанотехнологий». Раздел «Обзор методов исследования и диагностики нанобъектов и наносистем» базируется в том числе на знаниях, полученных в курсах «Микроскопические методы исследования структуры материалов» и «Спектроскопические методы исследования материалов», поэтому отдельные темы требуют повторения.

Целью практических занятий является систематизация и обобщение знаний по изучаемой теме или разделу, формирование умений работать с источниками информации, составление и сравнение точек зрения.

Текущий контроль проводится в форме устного опроса, контрольных работ. Текущая аттестация обеспечивает проверку освоения учебного материала, приобретения знаний, умений и навыков в процессе аудиторной и самостоятельной работы студентов.

Возможно получение зачёта автоматом при выполнении требований, перечисленных в п. 20.

Рекомендации по освоению дисциплины: необходимы систематическая работа с конспектом лекций и литературными источниками, а также с тематическими Интернет-ресурсами. Использование ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959>. ЭУМК «Нанотехнологии» на портале ВГУ «Электронный университет» содержит методические материалы, презентации лекций, учебные пособия и необходимые для изучения дисциплины материалы. При реализации дисциплины также используются сервисы

видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и социальные сети.

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.	Мартин-Пальма Р. Нанотехнологии. Ударный вводный курс : [учебное пособие] / Р. Мартин-Пальма, А. Лахтакия ; пер. с англ. Е.Г. Заболоцкой ; пер. А.В. Заболоцкого. – Долгопрудный : Издательский дом Интеллект, 2014. – 206 с.
2.	Фахльман Б. Химия новых материалов и нанотехнологии / Б. Фахльман ; пер. с англ. Д. О. Чаркина и В. В. Уточниковой ; под ред. Ю. Д. Третьякова и Е. А. Гудилина. — Долгопрудный : Интеллект, 2011. – 463 с.
3.	Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – Изд. 2-е., испр. – Москва : Физматлит, 2009. – 414 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=68859

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Пул Ч. П. Нанотехнологии : учеб. пособие для студ., обуч. по направлению подгот. "Нанотехнологии" / Ч. Пул, Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина; доп. В. В. Лучина. – 2-е изд., доп. – Москва : Техносфера, 2006. – 334 с.
5.	Суздаев И. П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И. П. Суздаев. – Москва : КомКнига, 2006. – 589 с.
6.	Научные основы нанотехнологий и новые приборы : учебник-монография / под ред. Р. Келсалла, А. Хамли, М. Геогегана ; пер. с англ. А. Д. Калашникова. – Долгопрудный : Интеллект, 2011. – 527 с.
7.	Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси ; пер. с яп. А. В. Хачояна под ред. Л.Н. Патрикеева. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 134 с.
8.	Лич Р. Инженерные основы измерений нанометровой точности : [учебное пособие] / Р. Лич ; пер. с англ. А. В. Заболоцкого. – Долгопрудный : Интеллект, 2012. – 399 с.
9.	Нанотехнологии в электронике / под ред. Ю. А. Чаплыгин. – Москва : Техносфера, 2013. – 688 с. // «Университетская библиотека ONLINE» : электронно-библиотечная система. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=4433254
10.	Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности / Л. Фостер ; пер. с англ. А. Хачояна. – Москва : Техносфера, 2008. – 349 с. // «Университетская библиотека ONLINE» : электронно-библиотечная система. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=135424
11.	Рамбиди Н. Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры / Н. Г. Рамбиди. – Москва : Физматлит, 2007. – 255 с.
12.	Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике : монография / В. К. Неволин. – Изд. 2-е, испр. – Москва : Техносфера, 2014. – 174 с. // «Университетская библиотека ONLINE» : электронно-библиотечная система. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260697
13.	Рыков С. А. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур : Учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направлению "Техн. физика" / С.А. Рыков; Под ред. В. И.Ильина и А. Я.Шика. – Санкт-Петербург : Наука, 2001. – 52 с.
14.	Российские нанотехнологии : журнал
15.	Наноиндустрия : журнал, рекламно-издательский центр "Техносфера"
16.	Nano Letters : scientific journal, American Chemical Society

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

№ п/п	Ресурс
17.	"Университетская библиотека online", http://biblioclub.ru/
18.	https://www.lib.vsu.ru/ - сайт Зональной Научной Библиотеки Воронежского государственного университета
19.	http://elibrary.ru/defaultx.asp – Научная электронная библиотека. Поиск по рефератам и полным текстам статей, опубликованных в российских и зарубежных научно-технических журналах.
20.	http://www.nanometer.ru/ - Нанотехнологическое сообщество «Нанометр»
21.	http://www.nanonewsnet.ru/ - новости нанотехнологий, информационно-аналитическое издание, посвященное вопросам популярности и развития нанотехнологий в РФ
22.	http://www.rusnanonet.ru/ - информационно-аналитический портал российской национальной нанотехнологической сети

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

№ п/п	Источник
1.	<i>Нanomатериалы: синтез нанокристаллических порошков и получение компактных нанокристаллических материалов : учебное пособие для вузов / И. Я. Миттова, Е. В. Томина, С. С. Лаврушина ; Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж : ЛОП ВГУ, 2007. – 35 с.</i>
2.	<i>Практикум синтез и исследование нанодисперсных систем [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. 4 к. днев. отд-ния хим. фак., для направления 020300 - Химия, физика и механика материалов] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Е. В. Томина и др.]. – Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015.</i>

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение): Использование ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9959>

При реализации дисциплины используются различные типы лекций – вводные лекции, информационные лекции с визуализацией (мультимедийные презентации), по отдельным темам – обзорные. На практических занятиях: выступление с рефератами, оппонирование, подготовка кратких сообщений, семинарские занятия. Текущая аттестация осуществляется в форме контрольных работ и устного опроса, промежуточная – по КИМ.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и социальные сети.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Мультимедийный проектор BENQ, экран, ноутбук

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.	Основные понятия нанотехнологии	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
2.	Обзор методов исследования и диагностики нанобъектов и наносистем	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Контрольная работа №1
3.	Основы нанотехнологий	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Контрольная работа №2
4.	Перспективы использования нанотехнологий	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Защита рефератов Краткие сообщения
5.	Нанотехнологии и человеческое	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Защита рефератов

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	общество			
6.	Российские нанотехнологии	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Защита рефератов
Промежуточная аттестация форма контроля – зачёт с оценкой				<i>Перечень вопросов</i>

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Контрольная работа

Реферат

Краткие сообщения

Предполагается использование балльно-рейтинговой системы (БРС).

Максимальные баллы:

- Контрольная работа – 5 баллов;
- Подготовка реферата – 10 баллов;
- Подготовка кратких сообщений – 5 баллов;
- Диагностическая работа в конце семестра – 5 баллов при выполнении не менее 70% заданий диагностической работы.

Оценки «отлично» и «хорошо» могут быть выставлены автоматом при соблюдении условий:

- «отлично» – 35 баллов и выше
- «хорошо» - от 30 до 34 баллов.

Перечень заданий для контрольных работ

Контрольная работа №1

Время выполнения – 60 мин. Один КИМ содержит два вопроса из перечня ниже. Необходимо представить развёрнутый ответ на вопросы, нарисовать необходимые схемы и т.д.

1. Что такое нанотехнологии. Создание объектов по принципам «сверху-вниз» и «снизу-вверх», примеры методов.
2. Оптическая микроскопия для исследования нанообъектов. Проблемы применения оптических методов для исследования нанообъектов.
3. Конфокальная сканирующая микроскопия – принцип метода и возможности.
4. Растровая электронная микроскопия (РЭМ) – принцип метода, применение.
5. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) – принцип метода, возможности.
6. Сканирующие зондовые методы. Принципы работы. Примеры методов. Области применения
7. Туннельный эффект, сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)
8. Принцип работы туннельного микроскопа.
9. Зонды для СТМ, требования к ним. Методы подготовки.
10. Атомно-силовая микроскопия (АСМ) – принцип и режимы работы.
11. Сравнение возможностей методов АСМ и СТМ.
12. Другие сканирующие зондовые методы (помимо АСМ и СТМ)

Контрольная работа №2

Время выполнения – 45 мин. Один КИМ содержит один вопрос из перечня ниже.

1. Механическое измельчение и механохимическая обработка как методы синтеза наноразмерных объектов. Сущность методов, аппаратное оформление. Преимущества и недостатки методов.
2. Метод магнетронного распыления. Механизм образования плазмы. Принципиальная схема установки, принцип работы установки магнетронного распыления. Используемые мишени и подложки. Реактивное магнетронное распыление.
3. Сущность метода молекулярно-лучевой эпитаксии. Понятие эпитаксии, её виды. Принципиальная схема установки. Ячейка Кнудсена. Особенности метода и его возможности. Схема синтеза на примере сверхрешётки $(\text{GaAs})_m(\text{AlAs})_n$.
4. CVD-процесс: сущность метода, его разновидности. CVD-процессы в микроэлектронике (примеры химических реакций). МО CVD – схема процесса (плюс уравнение реакции), исходные вещества. Преимущества и недостатки метода.
5. Технология Ленгмюра-Блоджетт. Сущность процесса и схема установки, разновидности методик. Возможности и ограничения метода
6. Методы синтеза квантовых наноструктур: квантовые ямы, квантовые проволоки и квантовые точки.
7. Зондовые нанотехнологии: методики бесконтактного формирования нанорельефа (термополевой массоперенос, полевое испарение, осаждение из газовой фазы и жидкости, локальное зондовое окисление и т.д.)
8. Зондовые нанотехнологии: контактное формирование нанорельефа, методики репозиционирования и модифицирования объектов (атомы, молекулы, УНТ и т.д.).

Описание технологии проведения

Текущие аттестации проводятся в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Контрольная работа проводится в письменном виде, длительность контрольной работы указана в соответствующем разделе, перечень тем для подготовки студентам известен заранее. Возможно проведение в формате устного собеседования после подготовки письменного ответа.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Максимальный балл – 5.

Балл «5» ставится при выполнении всех заданий КИМ, представлении развёрнутого и правильного ответа, сопровождаемого необходимыми иллюстрациями и схемами, ответами на каждый раздел вопроса.

Балл «4» ставится при выполнении от 60% работы и выше, имеются отдельные неточности, не грубые ошибки.

Балл «3» ставится при выполнении от 40 до 59% работы, имеются неточности, ответы неполные, отсутствуют некоторые части ответа.

Балл «2» ставится при отсутствии ответа/неполном ответе и не учитывается в балльно-рейтинговой системе.

Темы рефератов

1. Новые подходы к хранению и передаче информации с использованием нанотехнологий
2. Квантовые компьютеры: принципы, материалы и перспективы развития
3. Перспективы использования нанотехнологий в оптоэлектронике
4. Нанотехнологии в решении проблем производства энергии
5. Молекулярная электроника
6. Нанотехнологии в медицине: настоящее и будущее
7. Нанотехнологии в решении экологических проблем
8. Перспективы использования нанотехнологий в сельском хозяйстве
9. Наноматериалы в косметической промышленности
10. Наномашины и наноприборы
11. Коммерциализация результатов нанотехнологических исследований
12. Нанотехнологии в решении проблем хранения энергии
13. Нанотоксикология
14. Наномеханические инструменты

15. Инженерная нанометрология
16. Радиационно-химические нанотехнологии
17. Риски, связанные с развитием нанотехнологий
18. Проблемы стандартизации в области нанотехнологий
19. «Фантастические» проекты нанотехнологий
20. Развитие нанотехнологии в России
21. Нанотехнологии в пищевой промышленности
22. Развитие нанотехнологий в мировом масштабе
23. Периодические издания, публикующие результаты фундаментальных и прикладных исследований в области нанонаук (обзор изданий)

Требования к оформлению реферата

Реферат представляется в электронном виде в формате документа MS Word. Шрифт – Times New Roman, размер – 13 pt. Поля: верхнее – 20 мм, правое – 15 мм, левое – 30 мм, нижнее – 25 мм. Абзацный отступ – 1,25 см. Межстрочный интервал – полуторный. Выравнивание – по ширине. Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и иметь названия. После титульного листа должно идти содержание.

Структура реферата: введение, основной текст с подразделами, заключение, список литературы. Список цитируемых источников оформляется в соответствии с ГОСТ, количество источников – не менее 15. Объем реферата – не менее 20 страниц.

Описание технологии проведения

Представление реферата проводится в формате выступление для аудитории с использованием презентации (также загружается в соответствующий раздел курса «Нанотехнологии» на портале «Электронный университет ВГУ»), которая должна включать в большей мере иллюстративный материал и минимум текста (пояснения, заголовки, ключевые моменты). По итогам проводится обсуждение реферата, докладчику задаются вопросы преподавателем и студентами из аудитории.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Оценивание проводится по следующим критериям:

- 1) Полнота представления материала в реферате, соответствие объёму, структуре, наличие основных разделов – максимально 3 балла;
- 2) Оформление текста реферата, презентации, соответствие требованиям и ГОСТ – максимально – 2 балла
- 3) Качество выступления и представления реферата – максимально 3 балла;
- 4) Ответы на вопросы – максимально 2 балла.

Краткие сообщения

Реализуются в формате «Нанонюности» и «Реферирование научных статей».

«Нанонюности». Необходимо подготовить подборку актуальных научных новостей на одну тему и выступить с ними. Тематика должна быть связана исключительно с наноматериалами и нанотехнологиями, содержать 6 новостей, представленных в форме презентации, общий лимит времени на выступление 6-8 минут.

«Реферирование научных статей». Необходимо подготовить одно сообщение о прочитанной научной статье из любого журнала (на русском или на английском языке), тематика которого так или иначе связана с нанотехнологиями и наноматериалами, ознакомиться с ней и рассказать об основных представленных в ней результатах с использованием презентации. Требования: титульный слайд – ФИО докладчика, ссылка на статью, оформленная в соответствии с ГОСТ, скрин первой страницы статьи (образец в общей папке!). Количество слайдов с иллюстративным материалом и необходимым текстом – 4-5. Язык публикации: русский или английский. Время выступления – 5 минут.

Описание технологии проведения

Представление кратких сообщений проводится в формате выступление для аудитории с использованием презентации (также загружается в соответствующий раздел курса «Нанотехнологии» на портале «Электронный университет ВГУ»), которая должна включать в большей мере иллюстративный материал и минимум текста (пояснения, заголовки, ключевые

моментами). По итогам проводится обсуждение, докладчику задаются вопросы преподавателем и студентами из аудитории.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Оценивание проводится по следующим критериям:

- 1) Полнота представления материала в кратком сообщении – максимально 1 балл;
- 2) Оформление презентации – максимально – 1 балл
- 3) Качество выступления и представления реферата – максимально 2 балла;
- 4) Ответы на вопросы – максимально 1 балл.

20.2 Промежуточная аттестация

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

Промежуточная аттестация студентов является основной формой контроля аудиторной работы студентов и проводится с целью установления уровня и качества подготовки студентов и определяет:

- полноту и прочность теоретических знаний;
- сформированность умений применять теоретические знания при решении практических и профессиональных задач;
- сформированность общих и профессиональных компетенций.

Подготовка к промежуточной аттестации является формой самостоятельной работы студентов. При этом обучающийся должен использовать рекомендованный рабочей программой перечень основной и дополнительной литературы, материалы лекций, информационные и электронно-образовательные ресурсы.

Промежуточная аттестация проводится в устной или письменной форме. Преподаватель, ответственный за её проведение, вправе задавать студентам дополнительные вопросы по любым разделам учебной дисциплины; все вопросы и ответы фиксируются в листе ответов студента. Время зачета с оценкой и экзамена регламентируется действующими нормативными документами. Результат промежуточной аттестации заносится преподавателем в лист ответов обучающегося (после чего студент расписывается, подтверждая своё согласие с выставленной оценкой), а также в зачетно-экзаменационную ведомость.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

Перечень вопросов к зачету и порядок формирования КИМ

1. Понятие нанотехнологий. Научные основы и объекты нанонауки и нанотехнологии
2. Создание наноразмерных объектов по принципам «сверху-вниз» и «снизу-вверх»
3. Общая классификация методов исследования применительно к наносистемам
4. Оптическая микроскопия для исследования нанообъектов
5. Сканирующие зондовые методы, принципы работы и области применения
6. Туннельный эффект. Сканирующая туннельная микроскопия
7. Атомно-силовая микроскопия, принцип работы и возможности применения
8. Микроскопия латеральных сил, магнитно-силовая микроскопия и сканирующая термомикроскопия – основные принципы и возможности применения
9. Литография. Виды и основные принципы метода
10. Измельчение, литография, механическая обработка: особенности в применении для синтеза наноразмерных объектов
11. Сфокусированные ионные пучки и высокоинтенсивные лазеры в формировании трёхмерных структур
12. PVD-процесс, его основные этапы. Технологии PVD-процессов
13. Методы осаждения из газовой фазы (физическое и химическое осаждение из газовой фазы)
14. Методы плазменного осаждения – тлеющий разряд постоянного тока и магнетронное распыление

15. Молекулярно-лучевая эпитаксия: принципы метода и возможности
16. Металлорганическая газофазная эпитаксия
17. Методы шаблонного роста наноматериалов
18. Зондовые нанотехнологии: примеры и возможности
19. Жидкофазные методики. Получение коллоидных квантовых точек. Золь-гель технология
20. Упорядочение наносистем. Самосборка и самоорганизация
21. Перспективы использования нанотехнологий в электронике и оптоэлектронике
Нанотехнологии в электронике: устройства на основе углеродных нанотрубок (диоды, полевой транзистор, холодные катоды)
22. Перспективы использования нанотехнологий в промышленности
23. Перспективы использования нанотехнологий в энергетике
24. Перспективы использования нанотехнологий в медицине и биологии
25. Безопасность наносистем
26. Социальные последствия внедрения нанотехнологий. Развитие нанотехнологий в мировом масштабе

Каждый КИМ содержит 2 вопроса и разных разделов программы.

Описание технологии проведения

На подготовку письменного ответа на вопросы КИМ (на листах ответов) даётся 60 минут, после этого проводится устная беседа.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели:

- владение понятийным аппаратом и основными принципами нанотехнологий (теоретическими основами дисциплины), знать современное состояние развития нанотехнологий в мире и нашей стране, а также перспективы использования нанотехнологий;
- способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- способность применять теоретические знания для решения практических задач современных нанотехнологий (иметь навыки постановки и решения конкретных задач синтеза и исследования наноматериалов).

Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области нанотехнологий; знает современное состояние развития нанотехнологий в мире и нашей стране, перспективы использования нанотехнологий в различных отраслях.</i>	<i>Отлично</i>
<i>Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен использовать полученные знания для решения практических задач современных нанотехнологий, допускает отдельные ошибки при выборе методов синтеза и исследования наноразмерных объектов</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен описать конкретные методы синтеза и исследования наноразмерных объектов, не умеет применять в полной мере полученные знания для выбора конкретного метода синтеза и исследования наноразмерного объекта.</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.</i>	<i>Неудовлетворительно</i>

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

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: основные понятия и принципы нанотехнологий; классификацию методов нанотехнологий и возможности каждого из методов, используемых в настоящее время для синтеза наноразмерных объектов; принципы управления нанотехнологическими процессами

Уметь: использовать полученные знания для реализации процессов синтеза наноразмерных объектов (в первую очередь в тонкоплёночном состоянии)

Владеть: навыками постановки и решения конкретных задач синтеза наноматериалов

ПК-2.2 Способен использовать знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач

Знать: современное состояние развития нанотехнологий в мире и нашей стране; перспективы использования нанотехнологий; сущность и возможности основных методов исследования свойств наноматериалов

Уметь: использовать полученные знания для и исследования основных характеристик наноразмерных объектов

Владеть: навыками применения основных методов исследования наноразмерных объектов (наноматериалов)

Перечень заданий для оценки сформированности компетенции:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

1. Каков условный диапазон размеров объектов, рассматриваемых в нанотехнологиях:

- а) 0,1–1 нм
- б) 100–1000 нм
- в) 1–100 нм**
- г) 0,1–500 нм

2. Какое из перечисленных ниже утверждений неприменимо к определению термина «Нанотехнологии»?:

- а) хотя бы один из характерных размеров лежит в условном диапазоне 1–100 нм
- б) объем структурных единиц наноматериалов составляет от 10 до 10^6 атомов (молекул)
- в) при уменьшении объема какого-либо вещества по одной, двум или трем координатам до размеров нанометрового масштаба возникает новое качество
- г) создание наноструктур возможно только посредством манипулирования отдельными атомами и молекулами**

3. Как нанометровые размеры влияют на свойства образуемых наноматериалов (выберите все возможные варианты):

- а) рост площади поверхности и поверхностной свободной энергии с уменьшением размера частицы приводит к изменению межатомных расстояний в ней**
- б) для нанометровых частиц и кластеров характерна стабилизация метастабильных структур с потерей обычного объёмного расположения атомов**
- в) для наночастиц характерно линейное изменение температуры плавления в зависимости от размера частицы
- г) нанометровые структуры обладают очень большим отношением площади поверхности к объёму, что приводит к радикальным изменениям в химической активности**

4. Выберите методы, позволяющие получить информацию о морфологии поверхности наноразмерных объектов и использующие излучение видимого диапазона электромагнитного спектра:

- а) конфокальная лазерная сканирующая микроскопия**

- б) растровая электронная микроскопия
- в) сканирующая туннельная микроскопия
- г) сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия**

5. Выберите методы, позволяющие получить информацию о составе поверхности (приповерхностного слоя) наноразмерных объектов:

- а) инфракрасная колебательная спектроскопия
- б) локальный рентгеноспектральный микроанализ
- в) рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия**
- г) Оже-электронная спектроскопия**

6. Выберите методы синтеза наноразмерных объектов в рамках группы методов «сверху-вниз»:

- а) молекулярно-лучевая эпитаксия
- б) фотолитография**
- в) механохимическое измельчение**
- г) MO CVD

7. Выберите методы синтеза наноразмерных объектов в рамках группы методов «снизу-вверх»:

- а) молекулярно-лучевая эпитаксия**
- б) рентгеновская литография
- в) химическое осаждение из паровой фазы**
- г) травление сфокусированными ионными пучками

8. Из приведённого перечня выберите методы, позволяющие формировать плёнки того же состава, как и исходное вещество/материал:

- а) метод MO CVD
- б) вакуумно-термическое испарение**
- в) магнетронное распыление**
- г) золь-гель технология

2) открытые задания (расчётные задачи, повышенный уровень сложности):

1. Группы методов нанотехнологий, в которых атомы, молекулы и даже отдельные наночастицы используются в качестве строительных блоков, из которых создаются сложные наноструктуры, называются _____.

Правильный ответ: «Снизу-вверх», «снизу вверх»

2. Группы методов нанотехнологий, основанные как на удалении или дроблении объёмного материала, так и на миниатюризации макроскопической технологии изготовления, приводящей к получению нужной структуры с заданными свойствами, называются _____.

Правильный ответ: «Сверху-вниз», «сверху вниз»

3. Метод исследования, в основе которого лежит исследование боковых отклонений кантилевера атомно-силового микроскопа (визуализация вариаций поверхностного трения), называется микроскопией _____.

Правильный ответ: латеральных сил

4. Метод исследования, в основе которого лежит исследование локальных зарядовых доменов на поверхности образца, называется микроскопией _____.

Правильный ответ: электростатических сил

5. Приведите пример метода исследования, позволяющего получить изображение одностенных углеродных нанотрубок с атомарным разрешением: _____.

Правильный ответ: просвечивающая электронная микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, СТМ, ПЭМ

6. Режим работы атомно-силового микроскопа, в котором в нижнем полупериоде колебаний кантилевер находится в области отталкивающих сил, называется _____

Правильный ответ: полуконтактный

7. Режим работы сканирующего туннельного микроскопа, при котором отсутствует перемещение зонда по высоте (оси Z) и регистрируется изменение туннельного тока, называется режимом _____

Правильный ответ: постоянной высоты

8. Режим работы сканирующего туннельного микроскопа, при котором происходит перемещение зонда по оси Z, а туннельный ток остаётся постоянным, называется режимом _____

Правильный ответ: постоянного тока

9. Технология, позволяющая получать мономолекулярные слои с использованием молекул поверхностно-активных веществ на поверхности жидкости называется технологией _____

Правильный ответ: Ленгмюра-Блоджетт

3) практико-ориентированные задачи

1. Предложите один из вариантов процесса синтеза гетероструктуры ZnO/InP с толщиной плёнки оксида цинка 100 нм.

Ответ: одним из вариантов синтеза указанной гетероструктуры является использование метода магнетронного распыления цинковой мишени в плазме, содержащей кислород.

2. Предложите и обоснуйте способ создания эпитаксиальной сверхрешётки $(\text{GaAs})_m(\text{AlAs})_n$. Какие методы контроля толщины и состава слоёв можно использовать в данном случае? Обоснуйте выбор метода синтеза и исследования указанной сверхрешётки.

Ответ:

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии с использованием трёх источников (галлий, алюминий, мышьяк). Позволяет прецизионно контролировать толщину слоя и создавать высококачественную границу раздела. Методы контроля толщины – эллипсометрия (неразрушающий метод, возможность контроля толщины непосредственно в процессе роста плёнки), методы контроля состава – рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия или оже-электронная спектроскопия (определение элементного состава с высокой точностью)

3. Предложите МО CVD процесс формирования эпитаксиальной пленки GaAs на поверхности GaN. Оцените преимущества и недостатки метода МО CVD по сравнению с методом молекулярно-лучевой эпитаксии.

Ответ: в качестве прекурсоров могут быть использованы триметилгаллий $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ и арсин AsH_3 , рост осуществляется из парогазовой смеси пониженного или атмосферного давления (от 2 до 101 кПа). $(\text{CH}_3)_3\text{Ga} + \text{AsH}_3 \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{GaAs}$.

Преимущества метода MOCVD перед молекулярно-лучевой эпитаксией:

– Высокая производительность. Метод MOCVD подходит для массового выпуска микро- и оптоэлектронных устройств

– Возможность контролировать параметры слоёв (толщину, состав) непосредственно во время роста, что позволяет получать структуры с квантовыми ямами и сложнейшими профилями состава и легирования

– Хорошая морфология поверхности, высокое кристаллическое совершенство и однородность состава слоёв

Некоторые недостатки метода MOCVD:

– Высокая концентрация примесей в получаемых структурах;

– Образование неоднородностей на границах квантово-размерных слоёв лазерной гетероструктуры, что может повлиять на параметры итоговой гетероструктуры;

– Токсичность исходных прекурсоров.

4. Предложите схему процесса синтеза и обоснованный метод аттестации одностенных углеродных нанотрубок.

Ответ: Схема процесса синтеза одностенных углеродных нанотрубок может включать следующие этапы:

- Подготовка реактора (продувка инертным газом);
- Увеличение температуры. В токе инертного газа температуру в реакционной зоне увеличивают до температуры проведения синтеза (1050–1200 °С);
- Достижение температуры синтеза
- Подача реакционной смеси, реакционная смесь перемещается сверху вниз, проходит через реакционную зону, где происходит разложение катализатора и рост углеродных нанотрубок
- Сбор материала;
- Охлаждение реактора в токе инертного газа.

Для аттестации одностенных углеродных нанотрубок используют комплексный подход, который включает несколько методов:

- комбинационное рассеяние света;
- оптическое поглощение света в широком спектральном диапазоне
- фотолюминесцентную спектроскопию;
- атомно-силовую микроскопию

5. Перечислите основные этапы процесса нанесения покрытий методом реактивного магнетронного распыления металлической мишени в атмосфере кислорода.

Ответ:

- 1) Подготовка поверхности, на которую будет осаждаться покрытие
- 2) Откачка камеры
- 3) Очистка поверхности мишени (плазменное травление)
- 4) Напуск кислорода в камеру. Поток кислорода должен быть достаточным для перехода поверхности мишени из металлического состояния в полностью окисленное
- 5) Включение разряда
- 6) Отслеживание параметров процесса – скорости осаждения и толщины осаждаемой плёнки.

Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

3) открытые задания (практико-ориентированные задания, средний уровень сложности):

• 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));

• 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;

• 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).