

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники и электроники

/В.А. Небольсин/
(И.О. Фамилия)
27 сентября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Нанотехнологии и наноматериалы»
(наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)

Научная специальность: 2.6.6. – «Нанотехнологии и наноматериалы»
(код и наименование научной специальности)

Нормативный период обучения 4 года

Год начала подготовки: 2022

Автор(ы) программы _____  Ю.Е. Калинин
(должность и подпись)

Заведующий кафедрой _____  Ю.Е. Калинин
ФТИ _____
(наименование кафедры, реализующей дисциплину) (подпись)

Руководитель программы аспирантуры _____  Ю.Е. Калинин

Воронеж 2022

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели дисциплины

Целью дисциплины является обеспечение фундаментальных знаний и навыков в области нанотехнологий и наноматериалов, повышение качества подготовки аспирантов путем развития у них творческих способностей и самостоятельности при решении основных задач профессиональной деятельности в области разработки нанотехнологий, получения, исследования и применения наноматериалов с заданными физическими свойствами и подготовка к кандидатскому экзамену.

1.2 Задачи освоения дисциплины

Сформировать компетенции будущего специалиста, которые позволят ему действовать в ситуации выбора научной стратегии, нацеленной на разработку нанотехнологий, получение и исследование новых наноструктурированных материалов на основе достижений современной науки. Обеспечить приобретение аспирантами теоретических знаний и практического опыта в выборе состава наноматериалов, способов их получения и исследований для обеспечения заданных свойств и уровня качества.

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Нанотехнологии и наноматериалы» относится к образовательному компоненту «Дисциплины (модули)» программы аспирантуры по научной специальности «2.6.6. – Нанотехнологии и наноматериалы».

2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

В результате изучения дисциплины «Нанотехнологии и наноматериалы» аспирант должен:

Знать: физическую сущность нанотехнология, а также процессов, протекающих в наноструктурированных материалах и в структурах, созданных на основе их основе, в том числе и при воздействии внешних полей различной природы и изменении температуры.

Уметь: выполнять количественные оценки величин, характеризующих различные физические эффекты и характеристических параметров наноматериалов с учётом особенностей кристаллической структуры, электронного и фононного спектров, типа и концентрации легирующих примесей.

Владеть: методами нанотехнологий и теоретических исследований наноструктурированных сред, а также навыками сбора, обработки и обобщения научно-технической информации, проведения качественного и количественного анализов для применения в своей профессиональной деятельности.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Нанотехнологии и наноматериалы» составляет 12 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Вид учебной работы		Всего часов	Семестры			
			5	6	7	
Аудиторные занятия (всего)		54	18	18	18	
В том числе:						
Лекции		54	18	18	18	
Практические занятия (ПЗ)						
Самостоятельная работа		342	90	126	126	
Реферат (есть, нет)			нет	нет	нет	
Вид промежуточной аттестации (зачет, зачет с оценкой, экзамен)		36	нет	нет	36	
Общая трудоемкость	час	432	108	144	180	
	зач. ед.	12	3	4	5	

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	СРС	Всего, час
1	Физика низкоразмерных систем	Фундаментальные электронные явления в низкоразмерных структурах. Квантовое ограничение (классификация низкоразмерных структур по критерию проявления квантового ограничения в них на квантовые точки, квантовые шнуры и квантовые пленки), баллистический транспорт носителей заряда, туннелирование, спиновые эффекты. Энергетический спектр электронов на поверхности твердого тела. Состояния в области пространственного заряда. Концентрация носителей заряда и изгиб зон. Захват и рекомбинации носителей заряда с участием поверхностных электронных состояний. Процессы генерации и рекомбинации носителей заряда. Особенности переноса носителей заряда через низкоразмерные структуры. Баллистический транспорт и интерференционные эффекты, квантование проводимости низкораз-	6	30	36

		мерных проводников, квантовый эффект Холла (интегральный и дробный), одноэлектронное и резонансное туннелирование, спин-зависимый транспорт носителей заряда. Оптические свойства низкоразмерных структур.			
2	Наноструктурированные материалы	Нанокластеры, квантовые точки. Особенности свойств нанокластеров. Методы их получения, магические свойства. Квантовые точки и роль процессов самоорганизации. Методы модификации свойств и области применения кластеров. Углеродные наноструктуры. Получение углеродных и электрические свойства углеродных наноструктур. Практическое применение углеродных наноструктур. Композиты на основе наноматериалов. Фотонные кристаллы-оптические сверхрешетки. Дифракция на одномерной, двумерной, трехмерной сверхрешетке. Оптоэлектроника. Фотонные кристаллы в природе. Получение и применение фотонных кристаллов.	6	30	36
3	Нанoeлектроника и другие области применения наноматериалов	Электронные приборы на основе нанообъектов. Одноэлектронный транзистор. Резонансно-туннельный диод. Нанокomпьютеры. Светодиоды. Лазеры. Микроэлектромеханические системы. Элементы микроэлектромеханических систем. Мембранные силовые элементы. Силовые элементы МЭМС на основе углеродных нанотрубок. Нанопoкpытия. Катализаторы и фильтры. Нанотехнологии в медицине. Нанотехнологии в парфюмерии и пищевой промышленности. Применение нанотехнологий в других отраслях народного хозяйства.	6	30	36
4	Физико-химические основы нанотехнологий.	Термодинамические системы, параметры, процессы. Характеристические термодинамические функции: энтальпия, энтропия, свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Критерии направленности процессов в закрытых и открытых термодинамических системах. Химический потенциал. Фундаментальные уравнения состояния. Полные дифференциалы и частные производные термодинамических функций. Кинетика и термодинамика электрохимических процессов. Физико-химические основы электрохимических процессов. Явления поляризации и деполяризации. Поляризация и перенапряжение при электролизе.	6	43	49
5	Коллоидные системы	Классификация дисперсных систем. Методы получения коллоидных систем. Устойчивость коллоидных систем. Мицеллы. Термодинамические параметры поверхностного слоя. Физические особенности конденсированного состояния. Адсорбция в системе раствор-твердое вещество. Поверхностно-активные и поверхностно-инактивные вещества. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем. Суспензии. Пены: классификация и строение пен. Диффузия в коллоидных системах.	6	42	48
6	Нанотехнологии в электронной промышленности	Формирование пленок и наноструктурированных покрытий. Молекулярно-лучевая эпитак-	6	42	48

		сия. Химическое осаждение из газовой фазы. Вакуумные, ионные и ионно-плазменные методы осаждения. Химическое и электрохимическое осаждение в жидких средах. Физика электрохимических процессов. Формирование наноструктур с использованием сканирующих зондов. Физические основы и особенности использования сканирующих туннельных и атомно-силовых зондовых устройств для формирования наноструктур. Синтез и разделение наночастиц в газообразных и жидких средах. Поведение наночастиц в растворах, эмульсиях, коллоидных системах и суспензиях. Самоорганизация в объеме и на поверхности твердых тел. Атомарная и молекулярная самосборка. Формирование пленок Лэнгмюра-Блоджетт. Золь-гель технология.			
7	Методы электронно-зондовой диагностики и сканирующих методов исследования	Взаимодействие электронов с веществом. Классификация процессов взаимодействия электронов с веществом. Удельные потери энергии электронами. Поперечное сечение. Упругое рассеяние. Потенциал взаимодействия. Формула Резерфорда. Неупругое рассеяние электронов (импульсное приближение). Сечение ионизации. Плазмоны. Средняя длина свободного пробега электронов. Потери энергии. Пробеги электронов в твердых телах. Вторичная электронная эмиссия (ВЭЭ). Растровая и просвечивающая электронная микроскопия (основные принципы и аналитические возможности). Механизмы формирования контраста. Основные узлы растрового и просвечивающего электронного микроскопа. Термоэлектронная эмиссия, уравнение Ричардсона-Дэшмана. Электронная пушка (термоэмиссионный W-катод, LaB6-катод). Система формирования зонда, развертка в растр. Детектор вторичных электронов Эверхарда-Торнли. Алгоритмы управления прибором сбора и обработка информации. Особенности анализа непроводящих образцов. Ннзковакуумный режим. Применение ПЭМ и РЭМ для анализа наноструктурированных объектов. Сканирующая туннельная микроскопия и атомно-силовая микроскопия. Теория, аппаратная реализация, возможности применения. Другие виды сканирующих микроскопов.	6	42	48
8	Рентгеновские методы анализа.	Тормозное излучение. Формула Крамерса. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Строение атома. Квантовые числа, электронные конфигурации и обозначения. Принцип Паули. Правило Хунда. Спектроскопические обозначения. LS-связь, jj-связь. Излучательные переходы, правила отбора в дипольном приближении. Обозначения и интенсивность рентгеновских линий. Поглощение рентгеновского излучения. Фотоэффект, вероятность фотоэлектронных переходов, сечение фотоионизации. Массовый и линейный коэффициент поглощения. Растянутая тонкая структура рентгеновского поглощения (EXAFS). Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (основные принципы и аналитические возмож-	6	42	48

		ности). Фотоэффект. Соотношение Коопмана. Рентгеновские фотоэлектронные спектры (остовные и валентные уровни, ширина линий, Оже-серии). Химические сдвиги остовных уровней. Вторичная структура спектров (рентгеновские спутники, мультиплетное расщепление, спутники «встряски» и «стряхивания», дифракция фотоэлектронов). Особенности аппаратной реализации метода РФЭС (источники рентгеновского излучения, особенности энергоанализа фотоэлектронов).			
9	Методы ионной спектроскопии	Основные принципы метода. Потери энергии в химических соединениях, правило Брегга. Ширина спектра энергии в обратном рассеянии. Форма спектра обратного рассеяния. Принципы послойного анализа. Разрешение по глубине, страгглинг. Ионное распыление и предел чувствительности. Приборная реализация метода РБИ. Полупроводниковый (кремниевый) поверхностно-барьерный детектор ядерных частиц. Применение метода РБИ для исследования многослойных структур субмикронного диапазона. Методы, основанные на эффекте каналирования ионов. Методы и возможности структурных исследований при использовании эффекта каналирования быстрых ионов. Использование эффекта каналирования для исследования тонких наноструктурированных пленок на монокристаллической подложке. Кинематика рассеяния медленных ионов. Факторы, определяющие поперечную локальность метода. Проблемы количественного анализа в методе РМИ. Особенности приборной реализации метода. Факторы, определяющие разрешение до энергии (массе) рассеянных ионов. Масс-спектрометрия вторичных ионов (ВИМС). Физические основы метода. Коэффициент ионно-ионной эмиссии (положительные и отрицательные вторичные ионы) Качественный анализ масс-спектров (виды вторичных ионов). Влияние сорта первичных ионов и матричные эффекты. Состояние поверхности и ее влияние на выход вторичных ионов. Приборная реализация метода ВИМС (метод прямого изображения, сканирующий ионный зонд). Масс-спектрометрические системы (временноразрешающие, магнитные, квадрупольные анализаторы). Источники первичных ионов (дуоплазматрон, жидкометаллические источники). Детекторы вторичных ионов. Послойный анализ методом ВИМС. Факторы, определяющие разрешение по глубине. Чувствительность метода ВИМС (факторы, определяющие порог чувствительности) Возможности количественного анализа. Масс-спектрометрия нейтральных атомов.	6	42	48
Контроль					36
Итого			54	342	432

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение рефератов.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе: «аттестован»; «не аттестован».

Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в __ семестре по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию
(минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

	Вопрос	Варианты ответа
1	Нанотехнология работает с объектами размером менее:	1) 10^{-9} м 2) 10^{-8} м 3) 10^{-7} м 4) 10^{-6} м
2	Основные механизмы образования малых частиц...	1) бездиффузионный 2) диффузионный 3) коагуляционный 4) фрактальный
3	У металлов переход к квантовым эффектам наблюдается при размере частиц : нм	1) 100-200 2) 50-60 3) 10-20 4) 1–2
4	К характерным углеродным наноматериалам относятся...	1) фуллерены 2) графит 3) карбин 4) углеродные нанотрубки.
5	Укажите последовательность структурных единиц по возрастанию количества атомов...	1) молекула 2) атом 3) кластер 4) наночастица
6	Способ получения фуллеренов в достаточных количествах разработал в 1990 г.	1) Дрекслер 2) Кретчмер 3) Фейнман 4) Ииджима
7	Получен и охарактеризован простейший фуллерен с водородом :	1) $C_{60}H$ 2) $C_{60}H_2$ 3) $C_{20}H$ 4) $C_{20}H_2$
8	Полировальные пасты и суспензии перспективны при их использовании в производстве ...	1) полупроводниковых пластин 2) оптических изделий 3) ювелирных изделий 4) мягких металлов
9	В магнитно-силовом сканирующем микроскопе применяется --- методика получения изображения	1) однопроводная; 2) двухпроводная; 3) трехпроводная; 4) четырехпроводная.
10	Непрямое оптическое поглощение в полупроводнике происходит с образованием или поглощением _____	1) электрона 2) дырки 3) фонона 4) фотона

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач
(минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

	Вопрос	Варианты ответа
1	Модуль Юнга однослойной нанотрубки достигает величин :	1) 0.1 ТПа 2) 1–5 ТПа 3) 10-20 ТПа 4) 50 ТПа
2	Уникальное сочетание у нанотрубок высокой прочности и высокой упругости уже сейчас служат в :	1) растровых электронных микроскопах 2) просвечивающих электронных микроскопах 3) Сканирующих туннельных микроскопах 4) атомных силовых микроскопах
3	Использование присадки в эксплуатации двигателей позволяет увеличить срок их службы на :	1) 10% 2) 20 % 3) 30% 4) 50%
4	С помощью какого устройства осуществляют перемещение зонда в сканирующих зондовых микроскопах?	1) принтер; 2) сканер; 3) монитор; 4) ксарокс.
5	Все методы синтеза наноматериалов можно разделить на две группы...	1) физические 2) механические 3) взрывные 4) химические
6	Как называется блок оптического устройства, выделяющего монохроматическое излучение?	1) дифрактометр 2) магнетометр 3) монохроматор 4) гониометр
7	При малых размерах углеродных наночастиц термодинамически стабильной формой углерода является...	1) алмаз 2) фуллерен 3) графит 4) карбин
8	Пространственное разрешение сканирующего туннельного микроскопа имеет порядок величины...	1) 10^{-7} см. 2) 10^{-8} см; 3) 10^{-9} см; 4) 10^{-10} см
9	Укажите последовательность веществ по возрастанию дальнего порядка:	1) кристаллы 2) твердые аморфные тела 3) газ 4) жидкости

10	Вторично-ионная масс-спектрометрия является...	1) неразрушающим методом анализа поверхности; 2) разрушающим методом анализа поверхности; 3) ответ зависит от дозы облучения.
----	--	---

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач (минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

	Вопрос	Варианты ответа
1	Пространственное разрешение сканирующего туннельного микроскопа имеет порядок величины...	1) 10^{-8} см; 2) 10^{-9} см; 3) 10^{-7} см; 4) 10^{-10} см.
2	Значение плотности тока в проводящей нанотрубке :	1) сравнимо со сверхпроводником 2) на порядок превосходит плотность тока в объемных сверхпроводниках 3) на два порядка больше плотности тока в объемных сверхпроводниках 4) на три порядка больше плотности тока в объемных сверхпроводниках
3	К нарушению равновесия сил в наночастице и деформации ее решетки приводит то, что...	1) поверхностный атом имеет меньше соседей, чем в объеме. 2) поверхностные атомы адсорбируют газы 3) соседи поверхностного атома расположены по одну сторону 4) поверхностные атомы совершают тепловые колебания
4	Назовите основные методы формирования изображения рельефа поверхности в СТМ	1) постоянного напряжения туннелирования; 2) постоянного туннельного тока; 3) постоянной ширины; 4) постоянной высоты.
5	Состав продуктов синтеза определяют с помощью :	1) химического метода 2) рентгеноструктурного анализа 3) растрового микроскопа 4) ультразвука
6	Свободный углерод конденсируется в зоне химической реакции в аморфном виде по механизму :	1) жидко-капельной коалесценции 2) газовой конденсации 3) кластерной агрегации 4) фрактальной кластеризации

7	Преимуществом метода атомно-силовой микроскопии перед СТМ является...	1) возможность анализа на атомном уровне структуры поверхности непроводящих образцов; 2) более высокое пространственное разрешение; 3) гораздо более простое аппаратурное оснащение.
8	В зависимости от схемы сворачивания графитовой плоскости, нанотрубки могут быть ...	1) металлами 2) полупроводниками 3) полуметаллами 4) проводниками
9	Чем определяется глубина выхода оже- электронов из металлов?	1) Глубиной проникновения первичных электронов. 2) Длиной свободного пробега возбужденных электронов по отношению к упругому рассеянию. 3) Длиной свободного пробега возбужденных электронов по отношению к потере энергии.
10	Перечислите современные оптические приборы	1) дифрактометры 2) спектрографы 3) спектрометры 4) спектрофотометры

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету¹

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Фундаментальные электронные явления в низкоразмерных структурах. Квантовое ограничение (классификация низкоразмерных структур по критерию проявления квантового ограничения в них на квантовые точки, квантовые шнуры и квантовые пленки), баллистический транспорт носителей заряда, туннелирование, спиновые эффекты

2. Энергетический спектр электронов на поверхности твердого тела. Состояния в области пространственного заряда. Концентрация носителей заряда и изгиб зон. Захват и рекомбинации носителей заряда с участием поверхностных электронных состояний. Процессы генерации и рекомбинации носителей заряда..

3. Особенности переноса носителей заряда через низкоразмерные структуры. Баллистический транспорт и интерференционные эффекты, квантование проводимости низкоразмерных проводников, квантовый эффект Холла (инте-

¹ Если форма контроля не предусмотрена учебным планом, раздел не удаляется, добавляется текст «Не предусмотрено учебным планом»

гральный и дробный), одноэлектронное и резонансное туннелирование, спин-зависимый транспорт носителей заряда. Оптические свойства низкоразмерных структур..

4. Нанокластеры, квантовые точки. Особенности свойств нанокластеров. Методы их получения, магические свойства. Квантовые точки и роль процессов самоорганизации. Методы модификации свойств и области применения кластеров

5. Углеродные наноструктуры. Получение углеродных наноструктур. Механические, химические и электрические свойства углеродных наноструктур. Практическое применение углеродных наноструктур. Композиты на основе наноматериалов.

6. Фотонные кристаллы-оптические сверхрешетки. Дифракция на одномерной, двумерной, трехмерной сверхрешетке. Оптоэлектроника. Фотонные кристаллы в природе. Получение и применение фотонных кристаллов.

7. Электронные приборы на основе нанообъектов. Одноэлектронный транзистор. Резонансно-туннельный диод. Нанокomпьютеры. Светодиоды. Лазеры.

8. Микроэлектромеханические системы. Элементы микроэлектромеханических систем. Мембранные силовые элементы. Силовые элементы МЭМС на основе углеродных нанотрубок.

9. Нанопокрyтия. Катализаторы и фильтры. Нанотехнологии в медицине. Нанотехнологии в парфюмерии и пищевой промышленности. Применение нанотехнологий в других отраслях народного хозяйства

10. Термодинамические системы, параметры, процессы. Характеристические термодинамические функции: энтальпия, энтропия, свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Критерии направленности процессов в закрытых и открытых термодинамических системах. Химический потенциал.

11. Фундаментальные уравнения состояния. Полные дифференциалы и частные производные термодинамических функций. Кинетика и термодинамика электрохимических процессов. Физико-химические основы электрохимических процессов. Явления поляризации и деполяризации. Поляризация и перенапряжение при электролизе.

12. Классификация дисперсных систем. Методы получения коллоидных систем. Устойчивость коллоидных систем. Мицеллы. Термодинамические параметры поверхностного слоя. Физические особенности конденсированного состояния. Адсорбция в системе раствор-твердое вещество.

13. Поверхностно-активные и поверхностно-инактивные вещества. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем. Суспензии. Пены: классификация и строение пен. Диффузия в коллоидных системах..

14. Формирование пленок и наноструктурированных покрытий. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Химическое осаждение из газовой фазы. Вакуумные, ионные и ионно-плазменные методы осаждения. Химическое и электрохимическое осаждение в жидких средах. Физика электрохимических процессов. Формирование наноструктур с использованием сканирующих зондов.

15. Синтез и разделение наночастиц в газообразных и жидких средах. Поведение наночастиц в растворах, эмульсиях, коллоидных системах и суспензиях. Самоорганизация в объеме и на поверхности твердых тел. Атомарная и молекулярная самосборка. Формирование пленок Лэнгмюра-Блоджетт. Золь-гель технология.

16. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия (основные принципы и аналитические возможности). Механизмы формирования контраста. Основные узлы растрового и просвечивающего электронного микроскопа. Термоэлектронная эмиссия, уравнение Ричардсона-Дэшмана. Электронная пушка (термоэмиссионный W-катод, LaB6-катод). Система формирования зонда, развертка в растр. Детектор вторичных электронов Эверхарда-Торнли. Алгоритмы управления прибором сбора и обработка информации. Особенности анализа непроводящих образцов. Низковакуумный режим. Применение ПЭМ и РЭМ для анализа наноструктурированных объектов.

17. Сканирующая туннельная микроскопия и атомно-силовая микроскопия. Теория, аппаратная реализация, возможности применения. Другие виды сканирующих микроскопов.

18. Тормозное излучение. Формула Крамерса. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Строение атома. Квантовые числа, электронные конфигурации и обозначения. Принцип Паули. Обозначения и интенсивность рентгеновских линий. Поглощение рентгеновского излучения. Массовый и линейный коэффициент поглощения. Растянутая тонкая структура рентгеновского поглощения (EXAFS).

19. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (основные принципы и аналитические возможности). Фотоэффект. Соотношение Коопмана. Рентгеновские фотоэлектронные спектры (основные и валентные уровни, ширина линий, Оже-серии). Химические сдвиги основных уровней. Вторичная структура спектров (рентгеновские сателлиты, мультиплетное расщепление, сателлиты «встряски» и «стряхивания», дифракция фотоэлектронов). Особенности аппаратной реализации метода РФЭС (источники рентгеновского излучения, особенности энергоанализа фотоэлектронов).

20. Основные принципы метода ионной спектроскопии. Потери энергии в химических соединениях, правило Брегга. Ширина спектра энергии в обратном рассеянии. Принципы послойного анализа. Разрешение по глубине, страгглинг. Ионное распыление и предел чувствительности. Приборная реализация метода РБИ. Применение метода РБИ для исследования многослойных структур субмикронного диапазона. Методы и возможности структурных исследований при использовании эффекта каналирования быстрых ионов.

21. Кинематика рассеяния медленных ионов. Факторы, определяющие поперечную локальность метода. Проблемы количественного анализа в методе РМИ. Особенности приборной реализации метода. Факторы, определяющие разрешение до энергии (массе) рассеянных ионов.

22. Масс-спектрометрия вторичных ионов (ВИМС). Качественный анализ масс-спектров (виды вторичных ионов). Влияние сорта первичных ионов и матричные эффекты. Состояние поверхности и ее влияние на выход вторичных

ионов. Масс-спектрометрические системы (времяпролетные, магнитные, квадрупольные анализаторы). Источники первичных ионов (дуоплазматрон, жидкометаллические источники). Возможности количественного анализа. Масс-спектрометрия нейтральных атомов.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ).

Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Наименование оценочного средства
1	Физика низкоразмерных систем	Тест, устный опрос
2	Наноструктурированные материалы	Тест, устный опрос
3	Наноэлектроника и другие области применения наноматериалов	Тест, устный опрос
4	Физико-химические основы нанотехнологий.	Тест, устный опрос
5	Коллоидные системы	Тест, устный опрос
6	Нанотехнологии в электронной промышленности	Тест, устный опрос
7	Методы электронно-зондовой диагностики и сканирующих методов исследования	Тест, устный опрос
8	Рентгеновские методы анализа.	Тест, устный опрос
9	Методы ионной спектроскопии	Тест, устный опрос

7.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации².

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Ремпель А.А. Материалы и методы нанотехнологий [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.А. Ремпель, А.А. Валеева. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2015. — 136 с. — 978-5-7996-1401-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68346.html>.
2. Головин, Ю.И. Введение в нанотехнологию / Ю.И. Головин. Учебное пособие. - М.: Машиностроение - 1, 2007. 496 с
3. С.А. Гриднев, Ю.Е. Калинин, А.В. Ситников, О.В. Стогней. Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах. М.: Бином. Лаборатория знаний. - 2012.- 352 с.
4. Головин Ю.И. Основы нанотехнологий: учебное пособие. М.: Машиностроение, 2012 – 656 с.
5. Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологии [Электронный ресурс]: Учебное пособие / В.В. Старостин. Под общ. редакцией Л.Н. Патрикеева. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 431 с. – Загл. с экрана. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru>.
6. И.В. Золотухин, Ю.Е. Калинин, О.В. Стогней. Новые направления физического материаловедения. Учебное пособие- Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. 360 с.

б) дополнительная литература

1. Диагностика нанопорошков и наноматериалов [Электронный ресурс]: Учебное пособие / А.П. Ильин [и др.]. Методические материалы по реализации основной профессиональной образовательной программы — 9 — 1 2 3 4 — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 249 с. — Загл. с экрана. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru>.
2. Эффекты мощного ультразвукового воздействия на структуру и свойства наноматериалов [Электронный ресурс]: Учебное пособие / О.Л. Хасанов [и др.]. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. — 149 с. — Загл. с экрана. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru>.
3. Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов / Е.В. Булыгина [и др.]. - М.: Сайнс-пресс, 2006. — 80 с. — Загл. с экрана. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru>.
4. Мищенко, С.В., Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение / С.В. Мищенко, А.Г. Ткачев — М., Машиностроение. 2008. — 320 с.
5. Евстифеев Е.Н. Полимерные нанокомпозиционные материалы [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.Н. Евстифеев, А.А. Кужаров. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 218 с. — 978-5-4486-0162-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72810.html>.
6. Горохов, В.А. Материалы и их технологии. Часть 2 [Электронный ресурс]: учеб. / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе. — Электрон. дан. — Минск: Новое знание, 2014. — 533 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/49451>.
7. Наноструктурные материалы - 2014. Беларусь - Россия - Украина (НАНО-2014) [Электронный ресурс]: материалы IV Международной научной конференции (Минск, 7-10 октября 2014 г.) / I.N. Anfimova [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2014. — 432 с. — 978-985-08-1762-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/29586.html>.
8. Нажипкызы М. Физико-химические основы нанотехнологий и наноматериалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / М. Нажипкызы, Р.Е. Бейсенов, З.А. Мансуров. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 194 с. — 978-5-4486-0164-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73346.html>.
9. Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы: учебное пособие для вузов / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. - М.: Академия, 2005. - 192 с.
10. Получение и исследование наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям: учебное пособие для вузов / А. А. Евдокимов [и др.]; под ред. А. С. Сигова. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 186 с
11. Рыжонков Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. — М. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 365 с. : ил.

в) методическая литература

Методические указания и рекомендации по подготовке научных работ к печати для студентов, аспирантов и магистров физико-технического факультета очной формы обучения / ВГТУ; Сост. С.А. Гриднев, Воронеж, 2006. 43 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://psyedu.ru> Электронная версия журнала «Психологическая наука и образование».
2. <http://istina.msu.ru/journals/97593/> Электронная версия журнала «Вестник высшей школы».
3. <http://www.vorstu.ru> электронная версия учебного плана специальности.
4. <http://www.vorstu.ru> электронная версия учебно-методического комплекса специальности.
5. <http://www.vorstu.ru> электронная версия учебных пособий, методических указаний по дисциплинам специальности.
6. <http://cdo.vorstu.ru>. система дистанционного обучения ЦДО.

Microsoft Word, Origin, Microsoft Excel, Internet Explorer

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой (226/1).
2. Научно-учебные лаборатории физических свойств сегнетоэлектриков (002/1), физических свойств магнитных материалов (024/1) с научно-исследовательскими измерительными стендами, комплексами и оборудованием.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Нанотехнологии и наноматериалы» читаются лекции.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Контроль усвоения материала дисциплины производится путем экзамена.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
---------------------	-----------------------

Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.