

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

УТВЕРЖДАЮ  
заведующий кафедрой  
физики твердого тела и наноструктур  
(П.В.Середин)



03.06.2025г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.03 Методы нанодиагностики**

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

03.04.02 Физика

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Физика наносистем

**3. Квалификация выпускника:** магистр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра физики твердого тела и наноструктур

**6. Составители программы:**

Терехов Владимир Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор,

**7. Рекомендована:**

НМС физического факультета ВГУ от 30.05.25 г. протокол №5

**8. Учебный год:** 2026/2027

**Семестр:** третий

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения дисциплины Б1.В.11 Методы нанодиагностики являются:

- знакомство с основными методами диагностики поверхностных слоев твердых тел, изучение методов исследования химического состава и структуры поверхности компонентов микро- и нанoeлектроники;
- практическое ознакомление с работой установок растровой оже-электронной спектроскопии, ультра мягкой рентгеновской спектроскопии, растровой электронной микроскопии необходимых для дальнейшей самостоятельной работы.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Методы диагностики» Она базируется на курсах дисциплин, изучаемых в образовательной программе бакалавриата 03.03.02 «Физика»: Атомная физика, Физика конденсированного состояния, Физика твердотельных структур; Рентгеновская и электронная спектроскопия.

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

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ПК-2	способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	знать: – основные физические законы, лежащие в основе современных методов исследования поверхности твердых тел; – принципы и режимы работы вторично-ионного масс-спектрометра (ВИМС), растрового электронного оже-спектрометра, растрового электронного микроскопа, метода Резерфордского обратного рассеяния (РОР); – общую методику физического эксперимента с использованием установок для исследования свойств поверхности. уметь: – произвести выбор метода и тип прибора для получения информации о составе и структуре поверхности объектов микро и нанoeлектроники. владеть: – методами расшифровки рентгеновских и оже- спектров, приемами проведения количественного анализа химического состава поверхности.
ПК-3	способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2/72.

Форма промежуточной аттестации зачет.

## 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		2 семестр	№ семестра	...
Аудиторные занятия	28	28		
в том числе: лекции	14	14		
практические	–	–		
лабораторные	14	14		
Самостоятельная работа	44	44		
Форма промежуточной аттестации	–	–		
Итого:	72	72		

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Техника получения сверхвысокого вакуума. Классификация методов анализа поверхности.	Без масляные средства получения предварительного вакуума. Циалитовая откачка, современные механические средства получения низкого вакуума. Классификация методов анализа по сорту возбуждающих частиц и регистрируемых частиц. Структурные и спектральные методы анализа.
1.2	Растровая электронная микроскопия и сканирующая туннельная микроскопия.	Устройства растрового электронного микроскопа, разрешения по глубине и в плоскости. Приставки для рентгеновского микро анализа элементного состава. Туннельный эффект и его использование для изучения морфологии проводящих материалов с атомарным разрешением.
1.3	Растровая электронная Оже-спектроскопия и фотоэлектронная спектроскопия.	Оже-эффект. Оже-спектроскопия с возбуждением фотонами и электронами. Анализ кинетических энергий Оже-электронов с помощью анализатора типа цилиндрического зеркала. Фото эффект, уравнение фото эффекта и измерение энергии связей уровней в твердом теле с помощью ультрафиолетовых и рентгеновских фотонов. Зарядка образцов и химический сдвиг остовных уровней.
1.4	Ультра мягкая рентгеновская спектроскопия эмиссии и поглощения.	Образование рентгеновского тормозного и характеристического спектра. Закон Мозли. Рентгеновские эмиссионные полосы, тонкая структура и ее связь с плотностью электронных состояний в валентной зоне. Тонкая структура в рентгеновских спектрах поглощения и ее связь с распределением электронных состояний в зоне проводимости. Возможности анализа тонких слоев при использовании ультрамягкого рентгеновского диапазона.
<b>2. Лабораторные занятия</b>		
2.1	Лабораторная работа №1	Изучение влияния кинетической энергии зондирующих электронов на глубину анализа в системе тонких пленок SiO <sub>2</sub> на Si
2.2	Лабораторная работа №2	Послойный анализ фазового состава пленок SIPOS методом ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Техника получения сверхвысокого вакуума. Классификация методов анализа поверхности.					
2.	Растровая электронная микроскопия и сканирующая туннельная микроскопия.					
3.	Растровая электронная Оже-спектроскопия и фотоэлектронная спектроскопия.					
4.	Ультра мягкая рентгеновская спектроскопия эмиссии и поглощения.					
5.	Знакомство с работой установок для проведения					

	анализа поверхности твердых тел.					
	Итого:					

## 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Методы нанодиагностики» предусматривает осуществление учебной деятельности, состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и неизвестное, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в лабораторных занятиях, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и

развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины «Методы нанодиагностики» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных и курсовых работ, подбор, изучение, анализ и конспектирование рекомендованной литературы, подготовку к зачету.

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Пентин, Юрий Андреевич. Физические методы исследования в химии : учебник для студ. вузов, обуч. по специальности 011000 "Химия" и направлению подгот. 510500 "Химия" / Ю.А. Пентин, Л.В. Вилков .— М. : Мир, 2006 .— 683 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	Домашевская, Эвелина Павловна. Фотоэлектронная спектроскопия : Учебное пособие по курсу "Физика твердого тела" раздел "Электронное строение" для студ. 4 к. днев. отд-ния спец. 010400-Физика и спец. 200200-Микроэлектроника и полупроводниковые приборы / Э.П.Домашевская ; Воронеж. гос. ун-т, Каф. физики твердого тела .— Воронеж : ЛОП, 1999 .— 43 с.
2.	Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Под ред. Д. Бриггса, М.П. Сиха .— М. : Мир, 1987 .— 600с.
3.	Карлсон, Томас. Фотоэлектронная и Оже-спектроскопия / Т.А. Карлсон .— Л. : Машиностроение, 1981 .— 431 с.
4.	Зимкина, Татьяна Михайловна. Ультратонкая рентгеновская спектроскопия / Т.М. Зимкина, В.А. Фомичев .— Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1971 .— 132 с.
5.	Рентгеноспектральный электроннозондовый микроанализ природных объектов / Л. А. Павлова, О. Ю. Белозерова, Л. Ф. Парадина, Л. Ф. Суворова; Отв.ред. А. Г. Ревенко; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние. Ин-т геохимии им. А. П. Виноградова .— Новосибирск : Наука, 2000 .— 219,[5] с

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

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://journals.ioffe.ru">http://journals.ioffe.ru</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a> – Федеральный портал «Российское образование»
3.	<a href="http://journals.ioffe.ru">http://journals.ioffe.ru</a>
4.	Турищев С.Ю., Терехов В.А., Чувенкова О.А., Домашевская Э.П./ Спектроскопия рентгеновского поглощения наноструктурированных материалов/ ВГУ – Воронеж – 42с.

## 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы

Необходимо пользоваться возможностью интерактивного проведения лекций, задавать вопросы, высказываться по проблематике материала. На занятиях выполнение учебных заданий осуществляется в аудитории и дома. Обязательно посещение текущих аттестаций.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория растровой электронной микроскопии (JEOL JSM-6380LV), Лаборатория рентгеновской спектроскопии и Оже-спектроскопии.

## 19. Фонд оценочных средств:

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

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ПК–2, ПК–3	знать: – основные физические законы, лежащие в основе современных методов исследования поверхности твердых тел; – принципы и режимы работы вторично-ионного масс-спектрометра (ВИМС), растрового электронного оже-спектрометра, растрового электронного микроскопа, метода Резерфордского обратного рассеяния (РОР); – общую методику физического эксперимента с использованием установок для исследования свойств поверхности.	Техника получения сверхвысокого вакуума. Классификация методов анализа поверхности.	Устный опрос
ПК–2, ПК–3	уметь: – произвести выбор метода и тип прибора для получения информации о составе и структуре поверхности объектов микро и наноэлектроники.	Растровая электронная микроскопия и сканирующая туннельная микроскопия.	Устный опрос
ПК–2, ПК–3	владеть: – методами расшифровки рентгеновских и	Растровая электронная Оже-спектроскопия и фотоэлектронная спектроскопия. Ультра мягкая рентгеновская спектроскопия	Лаб. работа №1 Лаб. работа №2

	оже- спектров, приемами проведения количественного анализа химического состава поверхности.	эмиссии и поглощения.	
ПК–2, ПК–3		Знакомство с работой установок для проведения анализа поверхности твердых тел.	Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет			Комплект КИМ

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

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Студент проявляет знания основных понятий, определений и теорем. По зачетной контрольной работе имеет положительную оценку.	Пороговый уровень	зачтено
Во всех остальных случаях	–	не зачтено

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

### 19.3.1 Перечень вопросов к зачету:

1. Структурные и спектральные методы анализа
2. Растровая электронная микроскопия и элементарный анализ
3. Растровая туннельная микроскопия
4. Оже-эффект. Оже-спектроскопия с возбуждением электронами
5. Анализатор кинетической энергии. Электроника циклического зеркала.
6. Фотоэффект и уравнения Эйнштейна для фотоэффекта.
7. Измерения энергии связи внутренних уровней атома в твердом теле с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС)
8. Глубина анализа в методе РФЭС. Зависимости длины свободного пробега фотоэлектронов от их кинетической энергии.
9. Анализатор кинетических энергий типа полусферического зеркала
10. Эффект зарядки и градуировка метода РФЭС. Точность измерения энергий связи.
11. Аналитический сдвиг уровней и возможность определения химического состояния атомов в твердом теле
12. Ультратонкая рентгеновская эмиссионная спектроскопия. Связь структуры полосы обусловленной переходами из валентной зоны.
13. Влияние химического окружения на структуры рентгеновской эмиссионной полосы (РЭП)
14. Влияние ближнего порядка на структуры РЭП
15. Глубина эффективной генерации РЭП при варьировании энергии падающих на образец электронов.
16. Анализ многослойных наноструктур методом УМРЭС.

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

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

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: выполнения лабораторных работ.

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 и степень сформированности умений и навыков.

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