

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

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
физики твердого тела и наноструктур  
(Середин П.В.)  
  
31.08.2022

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.02.01 Нанoeлектроника**

**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 протокол №6 от 14.06.2022

**8. Учебный год:** 2022/2023

**Семестр:** первый

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью освоения дисциплины Б1.В.ДВ.04.01 Нанoeлектроника является: изучение теоретических, экспериментальных и технологических основ современной электроники, перспектив ее развития на основе фундаментальных физических закономерностей и явлений, а также фундаментальных физических и технологических ограничений, возникающих в связи с постоянным уменьшением размеров структурных элементов различных устройств нанoeлектроники.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Нанoeлектроника» является дисциплиной по выбору вариативной части блока Б1.

## 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	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– состояние и динамику развития современной нанoeлектроники;</li><li>– новые материалы и принципы конструирования в перспективных технологиях микроелектроники;</li><li>– физические ограничения в технологии производства ИС, а также ограничения на размеры элементов, накладываемые механизмом их работы;</li><li>– современные технологические методы и принципы работы приборов и элементов нанометровых масштабов.</li></ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– применять знания, полученные при изучении курса «Нанoeлектроника» при рассмотрении вопросов, связанных теоретическими, экспериментальными и технологическими аспектами разработки и изготовления нанoeлектронных приборов и устройств;</li><li>– использовать для этого методы и знания, полученные при изучении других физических и математических дисциплин.</li></ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– специальной терминологией;</li><li>– навыками решения типовых задач нанoeлектроники, связанных с оценочными расчетами физических эффектов, оказывающих влияние на процессы изготовления и функционирования элементов и устройств нанометровых размеров;</li><li>– навыками проведения экспертной оценки новых устройств и технологий нанoeлектроники.</li></ul>
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 с оценкой

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		1 семестр	№ семестра	...
Аудиторные занятия	32	32		
в том числе: лекции	16	16		
практические	–	–		
лабораторные	16	16		
Самостоятельная работа	40	40		
Форма промежуточной аттестации	–	–		
Итого:	72	72		

#### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Физические основы наноэлектроники.	Квантовые ограничения. Туннелирование носителей заряда через барьер, квантовые ямы, сверхрешетки. Классификация наноразмерных структур; двумерные, одномерные и нульмерные. Плотность электронных состояний в структурах с различной размерностью.
1.2	Современные методы микролитографии.	Фоторезисты для вакуумного и экстремального ультрафиолета, мягкого рентгеновского излучения. Электроннорезисты. Литографические процессы с использованием вакуумного ультрафиолета и рентгеновского излучения. Электроно литография. Методы совмещения рисунков.
1.3	Приборы и устройства наноэлектроники - новые физические явления и характеристики.	Светодиоды и лазеры на квантовой яме и квантовые точки. Изменение спектра фото и электролюминесценции в квантово размерных структурах. Резонансное туннелирование через квантово размерные структуры. Двух-барьерные, трех-барьерные структуры сверхрешетки. Изменение плотности тока и дифференциальной проводимости для двух- и трех- барьерных структур. Предельная частота генерации и усиления на квантово размерных структурах. Приборные структуры на туннельном эффекте.
<b>2. Лабораторные занятия</b>		
2.1	Лабораторная работа №1	Определение параметров нанопериодических структур по рентгеновской дифракции в области малых углов
2.2	Лабораторная работа №2	Вольтамперные характеристики туннельных диодов
2.3	Лабораторная работа №3	Исследования спектров фотолюминесцентно кремниевых кластеров в диэлектрической матрице

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.	Физические основы наноэлектроники.	6		10	12	28
2.	Современные методы микролитографии.	4			16	20
3.	Приборы и устройства наноэлектроники - новые физические явления и	6		6	12	24

	характеристики.					
	Итого:	16	–	16	40	72

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Нанозлектроника» 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 понятое 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 незнакомое, 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 обучающихся при изучении «Нанозлектроника» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных работ, подготовку к зачету с оценкой.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Нанотехнология: Физика. процессы, диагностика, приборы/ Под ред. Лучинина В.В., Таирова Ю.М./М.: Физматлит 2006 – 552с.
2.	Драгунов, Валерий Павлович. Основы нанозлектроники : Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин .— Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000 .— 331 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	Физика низкоразмерных систем : Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению "Техн. физика" / А. Я. Шик, Л. Г. Бакуев, С. Ф. Мусихин, С. А. Рыков; Под общ.ред. В.И.Ильина, А. Я. Шика .— СПб. : Наука, 2001 .— 154, [1] с.
2.	Херман, Мариан А. Полупроводниковые сверхрешетки / М. Херман ; пер. с англ. А. Я. Шика .— М. : Мир, 1989 .— 238,[2] с.

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

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://xxx.lanl.gov">http://xxx.lanl.gov</a> Базы знаний и библиотеки периодических изданий и препринтов в Интернете
3.	<a href="http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?lnit+lib.xml.simple.xml+rus">http://www.lib.vsu.ru/cgi-bin/zgate?lnit+lib.xml.simple.xml+rus</a> Электронная библиотека учебно-методических материалов ВГУ

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

№ п/п	Источник
1.	Нанoeлектроника: Уч.мет комплекс/ С.п/б.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011, 172 с.

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

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 компьютерных технологий, САПР и математического моделирования кафедры физики твердого тела и наноструктур.

## 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: – состояние и динамику развития современной нанoeлектроники; – новые материалы и принципы конструирования в перспективных технологиях микроэлектроники; – физические ограничения в технологии производства ИС, а также ограничения на размеры элементов, накладываемые механизмом их работы; – современные технологические методы и принципы работы приборов и элементов нанометровых масштабов. Уметь: – применять знания, полученные при изучении курса «Нанoeлектроники» при рассмотрении вопросов, связанных с теоретическими, экспериментальными и технологическими аспектами разработки и изготовления нанoeлектронных приборов и устройств; – использовать для этого методы и знания, полученные при изучении других физических и математических дисциплин. Владеть: – специальной терминологией; – навыками решения типовых задач нанoeлектроники, связанных с оценочными расчетами физических эффектов, оказывающих влияние на процессы	Физические основы нанoeлектроники	Лаб. раб №1
ПК-2, ПК-3		Современные методы микролитографии	Лаб. раб №2
ПК-2, ПК-3		Приборы и устройства нанoeлектроники - новые физические явления и характеристики.	Лаб. раб №3

	изготовления и функционирования элементов и устройств нанометровых размеров; – навыками проведения экспертной оценки новых устройств и технологий нанoeлектроники.		
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет с оценкой			Комплект КИМ

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

Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используются следующие показатели

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретические основы дисциплины);
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ.

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	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
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 выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	Неудовлетворительно

## 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 дифференцированному зачету:

1. Основные пути развития электронной базы электроники и перспективы развития нанoeлектроники.
2. Физические основы нанoeлектроники. Квантовые потенциальные ямы.
3. Туннельный переход через потенциальный барьер.
4. Энергетическая структура сверхрешеток. Модель Кронига-Пенни. Периодический потенциал.
5. Плотность состояний в структурах с различной размерностью.
6. Классификация низкоразмерных структур.
7. Двумерные структуры. Структуры типа полупроводник, наноразмерный слой металла, полупроводники и их ВАХ.
8. Свойства структур с двумя потенциальными барьерами и квантовой ямой.
9. Отрицательное дифференциальное сопротивление и частотные свойства структур с двумя потенциальными барьерами.
10. Полупроводники с прямой и непрямой зоной структурой. Светодиоды на основе p-n перехода.

11. Гетероструктуры. Гетероструктуры с потенциальной ямой. Излучение фотонов при подаче напряжения.
12. Лазеры на полупроводниковых гетероструктурах.
13. Гетероструктуры с квантовой ямой и квантовыми точками.

#### **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.