

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

Заведующий кафедрой
физики твердого тела и наноструктур
Середин П.В.
подпись, расшифровка подписи
28.08.2020г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.11 Физические основы нано- и микротехнологий

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.02 Физика

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика наноматериалов и новых медицинских технологий

3. Квалификация выпускника: бакалавр

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, Манякин
Максим Дмитриевич, к.ф. -м.н.

7. Рекомендована:

8. Учебный год: 2023/2024

Семестр: восьмой

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения дисциплины являются:

- ознакомление с основными идеями и техническими решениями, используемыми в современной микроэлектронике с переходом в наноэлектронику;
- формирование знаний в области теоретических и технологических принципов микроэлектроники (с переходом в наноэлектронику), лежащих в основе построения современных информационных систем;
- овладение навыками в оценке современных технологических методов и возможностей их использовании в микроэлектронике с переходом в наноэлектронику.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина “Физические основы микротехнологий” является дисциплиной профессионального цикла и относится к вариативной части. Индекс Б1. Дисциплина “Физические основы микротехнологий” основывается на дисциплинах модулей “Общая физика” (Б1.Б.05), “Теоретическая физика” (Б1.Б.07).

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-4	способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- теоретические, экспериментальные и технологические основы и специфику в разработке и изготовление микро(нано)электронных приборов и устройств <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- применять знания, полученные при изучении курсов физических и математических дисциплин при рассмотрении вопросов, связанных с теоретическими, экспериментальными и технологическими аспектами разработки и изготовления микро(нано)электронных приборов и устройств. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none">- основами знаний в области базовых и типовых технологических операций современной микро(нано)электроники, владеть терминологией изучаемой дисциплины;- навыками проведения экспертной оценки существующих и перспективных микро(нано)технологий, элементов и устройств микро(нано)электроники.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 3/108.

Форма промежуточной аттестации зачет

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	По семестрам	

	Всего	В том числе в интерактивной форме	8 семестр	
Аудиторные занятия	34	8	34	
в том числе: лекции	12	8	12	
практические				
лабораторные	24		24	
Самостоятельная работа	72		72	
Форма промежуточной аттестации	Зачет		Зачет	
Итого:	108		108	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1	Общие вопросы формирования микро- и наноструктур	Общие вопросы формирования микро- и наноструктур. Физические и технологические ограничения использования пучков частиц при формировании микро- и наноструктур.
2	Источники частиц при процессах микро- и нанотехнологий	Источники фотонов. Лампы, лазеры, рентгеновская трубка, синхротрон. Источники электронов, фокусировка электронных пучков, способы фокусировки и управление, электронно лучевые установки, особенности и ограничения при использовании. Источники ионов. Пробег ионов и его зависимость от энергии иона.
3	Процессы микро- и нанотехнологий	- Фотохимические процессы в фоторезистор. Негативные и позитивные фоторезисты. Формирование изображения. Рентгенолитография. Электроннолитография, радиационные и тепловые процессы при воздействии электронного пучка. Методы совмещения при литографии. - Ионная имплантация. Ионнолегирующие установки Радиационный отжиг без перераспределения и с перераспределением примесей, термический, быстрый термический и импульснофотонные отжики. - Формирование скрытых слоев внутри подложки, квантовых ям, квантовых проволок и квантовых точек. Использование процессов самоорганизации при формировании квантово размерных структур.
1. Лабораторные работы		
1	Источники фотонов, электронов и ионов	Принцип работы рентгеновской трубки, синхротрона. Источники электронов, фокусировка электронных пучков, способы фокусировки и управления. Источники ионов. Пробег ионов и его зависимость от энергии иона.
2	Ионная имплантация	Принципы ионной имплантации. Ионнолегирующие установки. Изучение материалов как результат имплантации.
3	Самоорганизация в формировании квантово размерных структур	Процессы самоорганизации при формировании квантово размерных структур.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Сам. работа	Контроль	
1	Общие вопросы	2		2	18		22

	формирования микро- и наноструктур					
2	Источники частиц при процессах микро- и нанотехнологий	2	8	27		37
3	Процессы миро- и нанотехнологий	8	14	27		49
	Итого:	12	24	72		108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Физические основы нано- и микротехнологий» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Дисциплина «Физические основы нано- и микротехнологий» реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки. 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 студента 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 студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов 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 студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались учащиеся 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 студентом 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 студента 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).

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии (по образовательным формам): лекции и 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-бакалавров. Студентам, 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 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, подбором, изучением, анализом и конспектированием рекомендованной литературы, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа студента-бакалавра при изучении дисциплины «Физические основы нано- и микротехнологий» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение курсовой работы, подбор, изучение, анализ и конспектирование рекомендованной литературы, подготовку к итоговой аттестации.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Степаненко Игорь Павлович. Основы микроэлектроники Учебное пособие для вузов. / И.П. Степаненко, - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000. - 488 с.
2	Бурмаков Александр Пантелеевич. Физические основы технологии микроэлектроники Учебное пособие. / А.П. Бурмаков, П.И. Гайдук, Ф.Ф. Комаров, А.В. Леонтьев. - Минск: БГУ, 2002. - 195 с.
3	Броудай, Ивор. Физические основы микротехнологии / И. Броудай, Дж. Мерей ; пер. с англ. В.А. Володина, В.С. Першенкова и Б.И. Подлепецкого ; под ред. А.В. Шальнова .— М. : Мир, 1985 .— 494с.
4	Моро, Уэйн. Микролитография : Принципы, методы, материалы : В 2 ч. / У. Моро ; пер. с англ. под ред. Р. Х. Тимерова; предисл. К. А. Валиева .— М. : Мир, 1990.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Ефимов, Иван Ефимович. Микроэлектроника : Физические и технологические основы, надежность: Учебное пособие для студ. приборостроительных специальностей вузов / И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь, Ю.И. Горбунов .— М. : Высшая школа, 1986 .— 463,[1] с.
2	Черняев, Владимир Николаевич. Технология производства интегральных микросхем : Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по специальностям "Конструирование и производство радиоаппаратуры" и "Конструирование и производство электронно-вычислительной аппаратуры" / В.Н. Черняев; Под ред. А.А. Васенкова .— М. : Энергия, 1977 .— 374,[1]с.

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

№ п/п	Ресурс
1	http://www.lib.vsu.ru – Зональная научная библиотека ВГУ
2	http://www.moodle.vsu.ru
3	https://elibrary.ru – Научная электронная библиотека
4	https://lanbook.com – ЭБС «Лань»
5	https://biblioclub.ru – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
6	https://edu.vsu.ru – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

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

№ п/п	Источник
1	Степаненко Игорь Павлович. Основы микроэлектроники Учебное пособие для вузов. / И.П. Степаненко, - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000. - 488 с.
2	Бурмаков Александр Пантелеевич. Физические основы технологии микроэлектроники Учебное пособие. / А.П. Бурмаков, П.И. Гайдук, Ф.Ф. Комаров, А.В. Леонтьев. - Минск: БГУ, 2002. - 195 с.
3	Броудай, Ивор. Физические основы микротехнологии / И. Броудай, Дж. Мерей ; пер. с англ. В.А. Володина, В.С. Першенкова и Б.И. Подлепецкого ; под ред. А.В. Шальнова .— М. : Мир, 1985 .— 494с.

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

№ п/п	Источник
1	http://www.lib.vsu.ru – Зональная научная библиотека ВГУ
2	http://www.moodle.vsu.ru
3	https://elibrary.ru – Научная электронная библиотека
4	https://lanbook.com – ЭБС «Лань»
5	https://biblioclub.ru – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
6	https://edu.vsu.ru – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

- совместная лаборатория "Электронное строение твердого тела"
- центр коллективного пользования научным оборудованием ВГУ
- мультимедийная система представления презентационного материала: проекционное оборудование, демонстрационный экран, ноутбук.
- беспроводной доступ в локальную компьютерную сеть ВГУ, глобальную информационно-коммуникационную сеть Интернет.
- Интернет ресурсы ВГУ, отечественных и международных научных центров, электронных баз данных, электронных библиотек, наукометрических систем.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

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-4	Знать: - теоретические, экспериментальные и технологические основы и специфику в разработке и изготовлении микро(нано)электронных приборов и устройств	Общие вопросы формирования микро- и наноструктур Источники частиц при процессах микро- и нанотехнологий Процессы микро- и нанотехнологий	Комплект КИМ.

	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять знания, полученные при изучении курсов физических и математических дисциплин при рассмотрении вопросов, связанных с теоретическими, экспериментальными и технологическими аспектами разработки и изготовления микро(нано)электронных приборов и устройств. 	<p>Общие вопросы формирования микро- и наноструктур Источники частиц при процессах микро- и нанотехнологий Процессы миро- и нанотехнологий</p>	Комплект КИМ.
	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основами знаний в области базовых и типовых технологических операций современной микро(нано)электроники, владеть терминологией изучаемой дисциплины; - навыками проведения экспертной оценки существующих и перспективных микро(нано)технологий, элементов и устройств микро(нано)электроники. 	<p>Общие вопросы формирования микро- и наноструктур Источники частиц при процессах микро- и нанотехнологий Процессы миро- и нанотехнологий</p>	Комплект КИМ.
Промежуточная аттестация			КИМ

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

Знания:

- теоретические, экспериментальные и технологические основы и специфику в разработке и изготовление микро(нано)электронных приборов и устройств

Умения:

- применять знания, полученные при изучении курсов физических и математических дисциплин при рассмотрении вопросов, связанных с теоретическими, экспериментальными и технологическими аспектами разработки и изготовления микро(нано)электронных приборов и устройств.

Владение:

- основами знаний в области базовых и типовых технологических операций современной микро(нано)электроники, владеть терминологией изучаемой дисциплины;

- навыками проведения экспертной оценки существующих и перспективных микро(нано)технологий, элементов и устройств микро(нано)электроники.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей или в случае предоставления отчетов по лабораторным работам позже установленного срока. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из	<i>Базовый уровень</i>	<i>Зачтено</i>

перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень		
Работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины	–	<i>Не зачтено</i>

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Физические основы микротехнологий» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой не зачтено.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

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. Физические и технологические ограничения использования пучков частиц при формировании микро- и наноструктур.
2. Источники фотонов. Лампы, лазеры, рентгеновская трубка, синхротрон.
3. Источники электронов, фокусировка электронных пучков, способы фокусировки и управление, электронно лучевые установки, особенности и ограничения при использовании.
4. Фотохимические процессы в фоторезистор. Негативные и позитивные фоторезисты. Формирование изображения.
5. Рентгенолитография. Электроннолитография, радиационные и тепловые процессы при воздействии электронного пучка. Методы совмещения при литографии.
6. Ионная имплантация, источники ионов, ионнолегирующие установки. Пробег ионов и его зависимость от энергии иона.
7. Радиационный отжиг без перераспределения и с перераспределением примесей, термический, быстрый термический и импульснофотонные отжиги.
8. Формирование скрытых слоев внутри подложки, квантовых ям, квантовых проволок и квантовых точек.
9. Использование процессов самоорганизации при формировании квантово размерных структур.

19.3.3 Тестовые задания

Усовершенствование научного понятийного и презентационного материала

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 формах: устного опроса (доклады); Критерии оценивания приведены выше.

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

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используются количественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.