

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭКОНОМИКИ И СЕРВИСА

КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ

Рабочая программа дисциплины (модуля)

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Направление и направленность (профиль)

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Интернет-вещей и
оптические системы и сети

Год набора на ОПОП
2019

Форма обучения
очная

Владивосток 2020

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Физические основы наноэлектроники» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (утв. приказом Минобрнауки России от 19.09.2017г. №930) и Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утв. приказом Минобрнауки России от 05.04.2017 г. N301).

Составитель(и):

Евстифеев А.А., старший преподаватель, Кафедра информационных технологий и систем, Artem.Evstifeev91@vvsu.ru

Зотов А.В., доктор физико-математических наук, профессор, Кафедра информационных технологий и систем

Утверждена на заседании кафедры информационных технологий и систем от 24.04.2020 , протокол № 9

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой (разработчика)

Кийкова Е.В.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат	1575633692
Номер транзакции	00000000047775C
Владелец	Кийкова Е.В.

1 Цель, планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

Целью освоения дисциплины «Физические основы нанoeлектроники» является ознакомление с основами нанoeлектроники.

Задачи освоения дисциплины состоят в:

- 1) формирование у студентов необходимых знаний основных законов, определяющих физику нанoeлектроники;
- 2) ознакомление с основными подходами, используемыми в технологии формирования нанoeлектронных устройств;
- 3) ознакомление с основными достижениями и перспективами полупроводниковой нанoeлектроники.

Планируемыми результатами обучения по дисциплине (модулю), являются знания, умения, навыки. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, формируемые в результате изучения дисциплины (модуля)

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции	Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине		
			Код результата	Формулировка результата	
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (Б-ИК)	ОПК-1 : Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.2к : Использует фундаментальные законы природы и основные физические математические законы и методы накопления, передачи и обработки информации для решения задач инженерной деятельности	РД1	Знание	законов и методов накопления, передачи и обработки информации с помощью компьютера
			РД2	Умение	использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения
			РД3	Навыки	способности понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества

2 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Отнесение дисциплины к базовой части ОПОП определяется спецификой и миссией ВГУЭС, а также особенностями взаимодействия ВГУЭС с рынком труда и региональными требованиями, выраженными в результатах образования и компетенциях.

3. Объем дисциплины (модуля)

Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу с обучающимися (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Общая трудоемкость дисциплины

Название ОПОП ВО	Форма обучения	Часть УП	Семестр (ОФО) или курс (ЗФО, ОЗФО)	Трудо-емкость (З.Е.)	Объем контактной работы (час)					СРС	Форма аттес-тации	
					Всего	Аудиторная			Внеауди-торная			
						лек.	прак.	лаб.	ПА			КСР
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи	ОФО	Б1.Б	6	2	37	18	18	0	1	0	35	3

4 Структура и содержание дисциплины (модуля)

4.1 Структура дисциплины (модуля) для ОФО

Тематический план, отражающий содержание дисциплины (перечень разделов и тем), структурированное по видам учебных занятий с указанием их объемов в соответствии с учебным планом, приведен в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Разделы дисциплины (модуля), виды учебной деятельности и формы текущего контроля для ОФО

№	Название темы	Код ре-зультата обучения	Кол-во часов, отведенное на				Форма текущего контроля
			Лек	Практ	Лаб	СРС	
1	Физические свойства объектов нанометрового масштаба, классификация основных подходов формирования наноструктур	РД1	2	0	0	5	Не предусмотрен
2	Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), как метод контроля и модификации поверхности кристаллов на атомном уровне	РД1, РД2, РД3	2	8	0	5	Отчет о выполнении практического задания
3	Структура атомарно-чистых поверхностей кремния. Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии	РД1, РД2, РД3	3	5	0	5	Отчет о выполнении практической работы
4	Формирование наноструктур с помощью СТМ	РД1, РД2, РД3	2	5	0	5	Отчет о выполнении практической работы
5	Формирование наноструктур с использованием процессов самоорганизации на атомарном уровне	РД1	2	0	0	5	Не предусмотрен
6	Фуллерены: формирование, структура, свойства	РД1	2	0	0	3	Не предусмотрен
7	Углеродные нанотрубки	РД1	2	0	0	5	Не предусмотрен
8	Обзор основных достижений и перспективных задач нанoeлектроники	РД1	3	0	0	2	Не предусмотрен
Итого по таблице			18	18	0	35	

4.2 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля) для ОФО

Тема 1 Физические свойства объектов нанометрового масштаба, классификация

основных подходов формирования наноструктур.

Содержание темы: Введение в предмет, рассмотрение физических процессов, определяющих свойства объектов нанометрового масштаба, основные определения (квантовые пленки, квантовые точки, квантовые проволоки, объекты пониженной размерности и др.), основные подходы формирования наноструктур (процессы самоорганизации, управление атомными процессами).

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Подготовка к тесту.

Тема 2 Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), как метод контроля и модификации поверхности кристаллов на атомном уровне.

Содержание темы: История создания сканирующей туннельной микроскопии, принцип работы, устройство и аппаратура, основные режимы (режим постоянной высоты, режим постоянного тока, режим сканирующей туннельной спектроскопии), возможности, демонстрация изображений, полученных с помощью метода СТМ.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекция, практическая работа.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Подготовка к тесту, подготовка отчета о выполнении практического задания.

Тема 3 Структура атомарно-чистых поверхностей кремния. Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии.

Содержание темы: Кремний как основной материал полупроводниковой электроники, его физические свойства и кристаллическая структура, атомное строение основных граней монокристаллического кремния, осаждение адсорбатов на поверхность кремния и формирование поверхностных фаз, характеристики субмонослойных пленок адсорбатов (покрытие адсорбата, поверхностная плотность атомов подложки, суперструктура), фазовая диаграмма системы “адсорбат-кремний”, примеры поверхностных фаз.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекция, практическая работа.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Подготовка к тесту, подготовка отчета о выполнении практической работы.

Тема 4 Формирование наноструктур с помощью СТМ.

Содержание темы: Основные технологические приемы формирования наноструктур с помощью СТМ (осаждение атома с иглы СТМ на поверхность, испарение атома с поверхности, перемещение атома вдоль поверхности), физические процессы, используемые для атомных манипуляций (меж-8 атомное взаимодействие, электростатические эффекты в сильных полях, электронно-стимулированные процессы), примеры наноструктур, сформированных с помощью метода СТМ.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекция, практическая работа.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Подготовка к тесту, подготовка отчета о выполнении практической работы.

Тема 5 Формирование наноструктур с использованием процессов самоорганизации на атомарном уровне.

Содержание темы: Процессы самоорганизации на примере роста островковых пленок, распределение нанокластеров по размеру, нанокластеры повышенной стабильности при фиксированном размере (“магические нанокластеры”), возможность формирования упорядоченных массивов нанокластеров идентичного размера (искусственный двумерный кристалл), модификация нанокластеров.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Подготовка к тесту.

Тема 6 Фуллерены: формирование, структура, свойства.

Содержание темы: Графит и алмаз как известные формы существования углерода, фуллерены как новая форма углерода, история открытия фуллеренов, способы их получения и структура, легирование фуллеренов, фуллерит, физические свойства, адсорбция фуллеренов на поверхности монокристаллов.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Подготовка к тесту.

Тема 7 Углеродные нанотрубки.

Содержание темы: Углеродные нанотрубки, история открытия, многостенные и одностенные нанотрубки, размер и структура углеродных нанотрубок, электронные и физические свойства нанотрубок, возможные перспективы их применения.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Подготовка к тесту.

Тема 8 Обзор основных достижений и перспективных задач нанoeлектроники.

Содержание темы: Современное состояние исследований в области полупроводниковой нанoeлектроники, основные достижения и результаты, перспективы использования на практике при производстве электронной аппаратуры.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: Лекция.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: Подготовка к тесту.

5 Методические указания для обучающихся по изучению и реализации дисциплины (модуля)

5.1 Методические рекомендации обучающимся по изучению дисциплины и по обеспечению самостоятельной работы

В ходе изучения дисциплины «Физические основы нанoeлектроники» студенты могут посещать аудиторные занятия (лекции, практические занятия, консультации).

Особое место в овладении частью тем данной дисциплины может отводиться самостоятельной работе, при этом во время аудиторных занятий могут быть рассмотрены и проработаны наиболее важные и трудные вопросы по той или иной теме дисциплины, а второстепенные и более легкие вопросы, а также вопросы, специфичные для направления подготовки, могут быть изучены студентами самостоятельно.

В соответствии с учебным планом направления подготовки процесс изучения дисциплины может предусматривать проведение лекций, практических занятий, консультаций, а также самостоятельную работу студентов. Обязательным является проведение практических занятий в специализированных компьютерных аудиториях, оснащенных подключенными к центральному серверу терминалами или персональными компьютерами.

5.2 Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

При необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и

инвалидов (по заявлению обучающегося) предоставляется учебная информация в доступных формах с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания, консультации и др.

6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

В соответствии с требованиями ФГОС ВО для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю) созданы фонды оценочных средств. Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 1.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

0.1 Основная литература

0.2 Дополнительная литература

0.3 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы (при необходимости):

Отсутствуют

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

Основное оборудование:

Программное обеспечение:

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭКОНОМИКИ И СЕРВИСА

КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ

Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля
и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Направление и направленность (профиль)
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Интернет-вещей и
оптические системы и сети

Год набора на ОПОП
2019

Форма обучения
очная

Владивосток 2020

1 Перечень формируемых компетенций

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции	Код и формулировка индикатора достижения компетенции
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (Б-ИК)	ОПК-1 : Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.2к : Использует фундаментальные законы природы и основные физические математические законы и методы накопления, передачи и обработки информации для решения задач инженерной деятельности

Компетенция считается сформированной на данном этапе в случае, если полученные результаты обучения по дисциплине оценены положительно (диапазон критериев оценивания результатов обучения «зачтено», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). В случае отсутствия положительной оценки компетенция на данном этапе считается несформированной.

2 Показатели оценивания планируемых результатов обучения

Компетенция ОПК-1 «Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности»

Таблица 2.1 – Критерии оценки индикаторов достижения компетенции

Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине			Критерии оценивания результатов обучения
	Код результата	Тип результата	Результат	
ОПК-1.2к : Использует фундаментальные законы природы и основные физические математические законы и методы накопления, передачи и обработки информации для решения задач инженерной деятельности	РД1	Знание	законов и методов накопления, передачи и обработки информации с помощью компьютера	сформировавшееся знание законов и методов накопления, передачи и обработки информации с помощью компьютера
	РД2	Умение	использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения	сформировавшееся умение использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения
	РД3	Навыки	способности понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества	сформировавшееся владение способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества

Таблица заполняется в соответствии с разделом 2 Рабочей программы дисциплины (модуля).

3 Перечень оценочных средств

Таблица 3 – Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)

Контролируемые планируемые результаты обучения	Контролируемые темы дисциплины	Наименование оценочного средства и представление его в ФОС

		Текущий контроль	Промежуточная аттестация	
Очная форма обучения				
РД1	Знание : законов и методов накопления, передачи и обработки информации с помощью компьютера	1.1. Физические свойства объектов нанометрового масштаба, классификация основных подходов в формировании наноструктур	не предусмотрен	Тест
		1.2. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), как метод контроля и модификации поверхности кристаллов на атомном уровне	Практическая работа	Тест
		1.3. Структура атомарно-чистых поверхностей кремния. Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии	Практическая работа	Тест
		1.4. Формирование наноструктур с помощью СТМ	Практическая работа	Тест
		1.5. Формирование наноструктур с использованием процессов самоорганизации на атомарном уровне	не предусмотрен	Тест
		1.6. Фуллерены: формирование, структура, свойства	не предусмотрен	Тест
		1.7. Углеродные нанотрубки	не предусмотрен	Тест
		1.8. Обзор основных достижений и перспективных задач нанoeлектроники	не предусмотрен	Тест
РД2	Умение : использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения	1.2. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), как метод контроля и модификации поверхности кристаллов на атомном уровне	Практическая работа	Тест
		1.3. Структура атомарно-чистых поверхностей кремния. Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии	Практическая работа	Тест
		1.4. Формирование наноструктур с помощью СТМ	Практическая работа	Тест
РД3	Навыки : способности понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества	1.2. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), как метод контроля и модификации поверхности кристаллов на атомном уровне	Практическая работа	Тест

		1.3. Структура атомарно-чистых поверхностей кремния. Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии	Практическая работа	Тест
		1.4. Формирование наноструктур с помощью СТМ	Практическая работа	Тест

4 Описание процедуры оценивания

Качество сформированности компетенций на данном этапе оценивается по результатам текущих и промежуточных аттестаций при помощи количественной оценки, выраженной в баллах. Максимальная сумма баллов по дисциплине (модулю) равна 100 баллам.

Вид учебной деятельности	Оценочное средство		
	Теоретические задания	Практические работы	Итого
Лекции		10	10
Практические занятия		40	40
Самостоятельная работа		30	30
Промежуточная аттестация	20		20
Итого	20	80	100

Сумма баллов, набранных студентом по всем видам учебной деятельности в рамках дисциплины, переводится в оценку в соответствии с таблицей.

Сумма баллов по дисциплине	Оценка по промежуточной аттестации	Характеристика качества сформированности компетенции
от 91 до 100	«зачтено» / «отлично»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, умеет свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, свободно оперирует приобретенными знаниями и умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
от 76 до 90	«зачтено» / «хорошо»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
от 61 до 75	«зачтено» / «удовлетворительно»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков по некоторым дисциплинарным компетенциям, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
от 41 до 60	«не зачтено» / «неудовлетворительно»	У студента не сформированы дисциплинарные компетенции, проявляется недостаточность знаний, умений, навыков.
от 0 до 40	«не зачтено» / «неудовлетворительно»	Дисциплинарные компетенции не сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний, умений, навыков.

5 Примерные оценочные средства

5.1 Примеры тестовых заданий

К теме 1:

- 1.1. Чему соответствует в атомном масштабе 1 нанометр?
- 1.2. Какие физические явления определяют возникновение особых свойств в объектах нанометрового масштаба?
- 1.3. Что такое квантовый размерный эффект?
- 1.4. Что такое квантовая проволока и квантовая точка?
- 1.5. Каких два основных подхода используются для формирования наноструктур?

К теме 2:

- 1.1. На каких физических принципах основано действие сканирующего туннельного микроскопа (СТМ)?
- 1.2. Перечислите основные блоки, используемые в СТМ.
- 1.3. Перечислите основные режимы работы СТМ. Охарактеризуйте каждый из них.
- 1.4. Как зависит туннельный ток от величины зазора между иглой и образцом?
- 1.5. Какое пространственное разрешение обеспечивает СТМ в вертикальном и горизонтальном направлениях?

К теме 3:

- 3.1. Какую кристаллическую решетку и структуру имеет кремний?
- 3.2. Какие основные грани кремния Вы знаете и каково их атомное строение?
- 3.3. В каких единицах измеряется покрытие адсорбата?
- 3.4. Чему соответствует покрытие в 1 монослой.
- 3.5. В каких координатах обычно строится фазовая диаграмма “адсорбат-подложка”?

К теме 4:

- 4.1. Перечислите основные типы воздействий иглы СТМ на атом адсорбата на поверхности кристалла.
- 4.2. Каковы основные типы атомных манипуляций с помощью СТМ?
- 4.3. В каких атомных манипуляциях используются силы межатомного взаимодействия?
- 4.4. В чем заключается электронно-стимулированная десорбция?

К теме 5:

- 5.1. В чем заключаются процессы самоорганизации?
- 5.2. Приведите примеры процессов самоорганизации.
- 5.3. Что такое магические кластеры?

К теме 6:

- 6.1. Какие формы углерода Вам известны? Какова их структура?
- 6.2. Что такое фуллерены?
- 6.3. Каково строение молекулы C₆₀?
- 6.4. Что такое фуллерит? Каковы его свойства?

К теме 7:

- 7.1. Что такое углеродные нанотрубки? Каков их размер и форма?
- 7.2. Какие два типа нанотрубок известны?
- 7.3. Каковы электронные свойства нанотрубок?
- 7.4. Как структура нанотрубок влияет на их электронные свойства?
- 7.5. Перечислите возможные применения углеродных нанотрубок.

Краткие методические указания

Промежуточная аттестация проводится в электронной форме во время последнего в учебном периоде практического занятия. Тест состоит из 20 теоретических заданий. На выполнение теоретического задания отводится 20 минут. Во время выполнения теоретического задания использование литературы и других информационных ресурсов допускается только по предварительному согласованию с преподавателем.

Шкала оценки

№	Баллы	Описание
5	19–20	Процент правильных ответов от 95% до 100%
4	16–18	Процент правильных ответов от 80 до 94%
3	13–15	Процент правильных ответов от 65 до 79%
2	9–12	Процент правильных ответов от 45 до 64%
1	0–8	Процент правильных ответов менее 45%