

**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 /

31 августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины  
«Наноэлектроника»**

**Направление подготовки** 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

**Профиль** Микроэлектроника и твердотельная электроника

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 4 года и 11 мес.

**Форма обучения** очная / заочная

**Год начала подготовки** 2018

Автор программы



Е.Ю. Плотникова

И.о. заведующего кафедрой  
полупроводниковой электроники  
и наноэлектроники



А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП



А.В. Арсентьев

**Воронеж 2021**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** формирование системы знаний по физико-химическим особенностям вещества в наноформе, его получении, обработке и применении в электронике (наноэлектронике); по методам формирования квантово-размерных структур, выборе методик контроля их параметров и принципах построения квантовоэлектронных приборов на их основе; по современным тенденциям развития электроники, приборам, схемам, устройствам и установкам электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

**1.2. Задачи освоения дисциплины:** расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения законов физики низкоразмерных полупроводниковых структур для последующего использования их при создании приборов наноэлектроники, твердотельной электроники и в технологии микро- и наноэлектроники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.О.19 «Наноэлектроника» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1 учебного плана.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Наноэлектроника» направлен на формирование следующих компетенций:

**ОПК-1:** способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности;

**ОПК-2:** способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	<b>знать</b> определения, отличительные черты, классификацию наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных (бинарных, третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок;
	<b>уметь</b> применять полученные знания в области современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности; строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;
	<b>владеть</b> методами расчета наноэлектронных приборов, методами исследования физических свойств наноструктур, методами теоретического анализа физических процессов наноэлектроники.

ОПК-2	<b>знать</b> модели псевдоморфного и метаморфного роста гетероструктур в наноэлектронике; наноэлектронные приборы на основе решеточно-рассогласованных гетероструктур; закон Вегарда (для описания непрерывного ряда твердых растворов, согласованных по параметрам кристаллической решетки с материалом подложки); изменения в электронной (зонной) структуре механически напряженного монокристалла по сравнению с ненапряженным полупроводниковым материалом; механизмы релаксации напряжения в псевдоморфных полупроводниковых структурах; механизмы «замораживания» дислокаций;
	<b>уметь</b> классифицировать типы квантоворазмерных структур в наноэлектронике (квантовые точки, ямы, проволоки, сверхрешетки и их комбинации, приборы с двумерным электронным газом), применять модели «мелкой» и «глубокой» (широкой) квантовых ям, учитывать квантование зонного электронного спектра при конструировании приборов наноэлектроники;
	<b>владеть</b> терминологией квантовой механики с целью описания характеристик квантоворазмерных структур наноэлектроники (квантовых точек, ям, проволок, сверхрешеток и их комбинаций, приборов с двумерным электронным газом).

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Наноэлектроника» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий:

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	68	68
В том числе:		
Лекции	34	34
Лабораторные работы (ЛР)	34	34
<b>Самостоятельная работа</b>	40	40
Вид промежуточной аттестации – зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

##### Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		10
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	24	24
В том числе:		
Лекции	12	12
Лабораторные работы (ЛР)	12	12
<b>Самостоятельная работа</b>	80	80
Контрольная работа	+	+
Часы на контроль	4	4
Вид промежуточной аттестации – зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение в предмет	Нанотехнология. Нанoeлектроника. Закон Мура. Барьеры масштабирования. Физико-химические процессы в наноразмерных структурах.	4	-	4	8
2	Квантово-механические явления, определяющие поведение электронов и дырок	Квантовые ограничения. Баллистический транспорт носителей заряда. Туннелирование носителей заряда. Спиновые эффекты в наноразмерных структурах.	4	4	4	12
3	Элементы низкоразмерных структур	Свободные поверхности и межфазные границы. Сверхрешетки. Моделирование атомных конфигураций. Молекулярная динамика. Молекулярная механика.	4	4	4	12
4	Структуры с квантовым ограничением	Квантовые колодцы (три типа). Модуляционно-легированные структуры. Дельта-легированные структуры. МДП-структуры. Структуры с расщеплённым затвором.	4	4	4	12
5	Методы формирования наноструктур	Традиционные методы нанесения плёнок. Химическое осаждение из газовой фазы. Химическое осаждение из газовой фазы при пониженном давлении. Химическое осаждение из газовой фазы, стимулированное газоразрядной плазмой. Осаждение атомарных слоев. Химическое осаждение, стимулированное электронным лучом. Химическое осаждение, стимулированное ионным лучом. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Электрохимическое осаждение металлов и полупроводников. Электрохимическое оксидирование металлов и полупроводников.	4	4	4	12
6	Методы, основанные на использовании сканирующих зондов	Физические основы зондовых методов. СТМ. АСМ. Атомная инженерия. Параллельные и перпендикулярные процессы переноса атомов. Зондовые методы формирования наноструктур. Локальное окисление металлов и полупроводников. Локальное химическое осаждение из газовой фазы.	4	4	5	13
7	Нанолитография	Электронно-лучевая литография. Зондовая нанолитография. Нанопечать. Нанопечать с фотополимеризацией мономера. Сравнение нанолитографических методов.	4	4	5	13
8	Саморегулирующиеся процессы	Самосборка. Самоорганизация в объемных материалах. Самоорганизация при эпитаксии. Формирование плёнок Ленгмюра-Блоджетт.	4	4	5	13
9	Формирование и свойства наноструктурированных материалов	Пористый кремний. Пористый Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Пористые оксиды тугоплавких металлов. Углеродные наноструктуры. Графен. УНТ. Фуллерены.	2	6	5	13
<b>Итого:</b>			<b>34</b>	<b>34</b>	<b>40</b>	<b>108</b>

#### заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение в предмет	Нанотехнология. Нанoeлектроника. Закон Мура. Барьеры масштабирования. Физико-химические процессы в наноразмерных структурах.	2	2	8	11
2	Квантово-механические явления, определяющие поведение электронов и дырок	Квантовые ограничения. Баллистический транспорт носителей заряда. Туннелирование носителей заряда. Спиновые эффекты в наноразмерных структурах.	2	2	9	15
3	Элементы низкоразмерных структур	Свободные поверхности и межфазные границы. Сверхрешетки. Моделирование атомных конфигураций. Молекулярная динамика. Молекулярная механика.	2	2	9	12
4	Структуры с квантовым ограничением	Квантовые колодцы (три типа). Модуляционно-легированные структуры. Дельта-легированные структуры. МДП-структуры. Структуры с расщеплённым затвором.	2	2	9	16
5	Методы формирования наноструктур	Традиционные методы нанесения плёнок. Химическое осаждение из газовой фазы. Химическое осаждение из газовой фазы при пониженном давлении. Химическое осаждение из газовой фазы, стимулированное газоразрядной плазмой. Осаждение атомарных слоев. Химическое осаждение,	2	2	9	10

		стимулированное электронным лучом. Химическое осаждение, стимулированное ионным лучом. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Электрохимическое осаждение металлов и полупроводников. Электрохимическое оксидирование металлов и полупроводников.				
6	Методы, основанные на использовании сканирующих зондов	Физические основы зондовых методов. СТМ. АСМ. Атомная инженерия. Параллельные и перпендикулярные процессы переноса атомов. Зондовые методы формирования наноструктур. Локальное окисление металлов и полупроводников. Локальное химическое осаждение из газовой фазы.	2	2	9	10
7	Нанолитография	Электронно-лучевая литография. Зондовая нанолитография. Нанопечать. Нанопечать с фотополимеризацией мономера. Сравнение нанолитографических методов.	-	-	9	10
8	Саморегулирующиеся процессы	Самосборка. Самоорганизация в объемных материалах. Самоорганизация при эпитаксии. Формирование плёнок Ленгмюра-Блоджетт.	-	-	9	10
9	Формирование и свойства наноструктурированных материалов	Пористый кремний. Пористый $Al_2O_3$ . Пористые оксиды тугоплавких металлов. Углеродные наноструктуры. Графен. УНТ. Фуллерены.	-	-	9	10
<b>Всего</b>			<b>12</b>	<b>12</b>	<b>80</b>	<b>104</b>
<b>Контроль</b>						<b>4</b>
<b>Итого:</b>						<b>108</b>

## 5.2 Примерный перечень лабораторных работ

1. Вводное занятие. Инструктаж по технике безопасности. Моделирование ВАХ наноразмерного двухзатворного транзистора с помощью функции Грина.
2. Моделирование резонансного туннельного диода n-типа на GaAs.
3. Моделирование туннельных диодов и транзисторов.
4. Моделирование кремниевого FINFET в 3D с BQP.
5. Моделирование SOI структуры.
6. Моделирование 3D SOI структуры.
7. Моделирование технологического процесса SOI структуры.
8. Моделирование солнечного элемента с наноразмерными областями и исследование его характеристик.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Нанoeлектроника» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы).

Учебным планом по дисциплине «Нанoeлектроника» предусмотрено выполнение контрольной работы в 10 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика контрольной работы:

1. Транспорт носителей заряда в твердотельных структурах.
2. Определение оптимального расположения атомов в материале методом молекулярной динамики.
3. Взаимодействие атомов внутри выделенного для анализа объема.
4. Поведение атомов у границы выделенного для анализа объема.
5. Правило Вегарда.
6. Режимы работы сканирующего туннельного микроскопа.
7. Сравнение характеристик монокристаллического и пористого кремния.
8. Процесс формирования низкоразмерного кремния при анодировании.
9. Химического осаждение из газовой фазы при пониженном давлении реагентов.

10. Химического осаждение из газовой фазы, стимулированное газоразрядной плазмой.
11. Рост тонких пленок в режиме Франка - Ван дер Мерве.
12. Рост тонких пленок в режиме Волмера-Вебера.
13. Рост тонких пленок в режиме Странского-Крастанова.
14. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

## 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».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	<b>знать</b> определения, отличительные черты, классификацию наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных (бинарных, третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок;	знание лекционного материала, выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>уметь</b> применять полученные знания в области современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности; строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;	знание лекционного материала, выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> методами расчета нанoeлектронных приборов, методами исследования физических свойств наноструктур, методами теоретического анализа физических процессов нанoeлектроники.	знание лекционного материала, выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	<b>знать</b> модели псевдоморфного и метаморфного роста гетероструктур в нанoeлектронике; нанoeлектронные приборы на основе решеточно-рассогласованных гетероструктур; закон Вегарда (для описания непрерывного ряда твердых растворов, согласованных по параметрам кристаллической решетки с материалом подложки); изменения в электронной (зонной) структуре механически напряженного монокристалла по сравнению с ненапряженным полупроводниковым материалом; механизмы релаксации напряжения в псевдоморфных полупроводниковых структурах; механизмы «замораживания» дислокаций;	знание лекционного материала, выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	<b>уметь</b> классифицировать типы квантоворазмерных структур в нанoeлектронике (квантовые точки, ямы, проволоки, сверхрешетки и их комбинации, приборы с двумерным электронным газом), применять модели «мелкой» и «глубокой» (широкой) квантовых ям, учитывать квантование зонного электронного спектра при конструировании приборов нанoeлектроники;	знание лекционного материала, выполнение и защита лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> терминологией квантовой механики с целью описания характеристик квантоворазмерных структур нанoeлектроники (квантовых точек, ям, проволок, сверхрешеток и их комбинаций, приборов с двумерным электронным газом).	знание лекционного материала, выполнение и защита лабораторных работ	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 6 семестре для очной формы обучения; в 10 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	<b>знать</b> определения, отличительные черты, классификацию наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных (бинарных, третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> применять полученные знания в области современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности; строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> методами расчета нанoeлектронных приборов, методами исследования физических свойств наноструктур, методами теоретического анализа физических процессов нанoeлектроники.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	<b>знать</b> модели псевдоморфного и метаморфного роста гетероструктур в нанoeлектронике; нанoeлектронные приборы на основе решеточно-рассогласованных гетероструктур; закон Вегарда (для описания непрерывного ряда твердых растворов, согласованных по параметрам кристаллической решетки с материалом подложки); изменения в электронной (зонной) структуре механически напряженного монокристалла по сравнению с ненапряженным полупроводниковым материалом; механизмы релаксации напряжения в псевдоморфных полупроводниковых структурах; механизмы «замораживания» дислокаций;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> классифицировать типы квантоворазмерных структур в нанoeлектронике (квантовые точки, ямы, проволоки, сверхрешетки и их комбинации, приборы с двумерным электронным газом), применять модели «мелкой» и «глубокой» (широкой) квантовых ям, учитывать квантование зонного электронного спектра при конструировании приборов нанoeлектроники;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	<b>владеть</b> терминологией квантовой механики с целью описания характеристик квантоворазмерных структур наноэлектроники (квантовых точек, ям, проволок, сверхрешеток и их комбинаций, приборов с двумерным электронным газом).	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован 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**

1. Что такое «нано»?

1. одна миллиардная;
2. одна миллионная;
3. одна десятая.

2. Какая структура на основе атомов С является перспективной для создания наноразмерного транзистора?

1. УНТ;
2. Фуллерен;
3.  $\text{CH}_4$ ;
4. Графитовая ячейка.

3. Какой САПР из перечисленных позволяет строить технологические модели дискретных элементов и простейших ИС?

1. TannerEDA;
2. SilvacoTCAD;
3. OrCAD;
4. Ansys.

4. Какая из перечисленных структур не имеет квантового ограничения?

1. квантовая точка;
2. квантовый шнур;
3. квантовая пленка;
4. классическая трехмерная структура.

5. Какая из перечисленных структур имеет квантовое ограничение в 1 направлении?

1. квантовая точка;
2. квантовый шнур;
3. квантовая пленка;
4. классическая трехмерная структура.

6. Какая из перечисленных структур имеет квантовое ограничение в 2 направлениях?

1. квантовая точка;
2. квантовый шнур;
3. квантовая пленка;
4. классическая трехмерная структура.

7. Какая из перечисленных структур имеет квантовое ограничение в 3 направлениях?

1. квантовая точка;
2. квантовый шнур;
3. квантовая пленка;



4. классическая трехмерная структура.
8. Выберите самый быстрый метод нанолитографии:
  1. сканирующий зонд;
  2. электронный луч;
  3. рентгеновский степпер;
  4. проекционная фотолитография.
9. На каком материале нельзя создать наноразмерную оксидную пленку методом электрохимического анодного окисления?
  1. Si;
  2. Al;
  3. В;
  4. Nb.
10. Наночастицы принадлежат одному из измерений:
  1. от 1 до 1 000 000 000 нанометров;
  2. от 1 до 100 нанометров;
  3. от 1 до 2 нанометров.

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

1. Назовите, какие причины сдерживают использование монокристаллического кремния в оптоэлектронике.
2. Перечислите, какими параметрами характеризуют транспорт носителей заряда в твердотельных структурах.
3. Изобразите, как выглядит анодная поляризационная кривая. Каким процессам соответствуют ее основные участки?
4. Перечислите, какова последовательность действий по определению оптимального расположения атомов в материале методом молекулярной динамики.
5. Опишите взаимодействие атомов внутри выделенного для анализа объема.
6. Опишите поведение атомов у границы выделенного для анализа объема.
7. Назовите, какие группы процессов используют для манипулирования атомами.
8. Сформулируйте правило Вегарда.
9. Приведите соотношение, которым описывается туннельная прозрачность прямоугольного потенциального барьера конечной ширины.
10. Приведите соотношение, которым описывается туннельная прозрачность потенциального барьера произвольной формы.

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Назовите основные режимы работы сканирующего туннельного микроскопа.
2. Изобразите ВАХ при получении пористого кремния на образцах n- и p-типа.
3. Сравните электрические сопротивления монокристаллического и пористого кремния.
4. Сравните теплопроводности монокристаллического и пористого кремния.
5. Объясните влияние вязкости электролита на процесс формирования низкоразмерного кремния при анодировании.
6. Перечислите особенности химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении реагентов.
7. Перечислите особенности химического осаждения из газовой фазы, стимулированного газоразрядной плазмой.
8. Поясните, как устроена установка для химического осаждения из газовой фазы.

9. Поясните, как происходит рост тонких пленок в режимах Франка - Ван дер Мерве, Волмера-Вебера, Странского-Крастанова.
10. Поясните, как устроена установка молекулярно-лучевой эпитаксии.

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Что такое наноэлектроника?
2. Что такое низкоразмерная структура?
3. Что такое наноразмерная структура?
4. Какие электронные волны могут существовать в квантовом колодце, размеры которого соизмеримы с длиной волны электрона?
5. Каким соотношением описывается спектр разрешенных энергетических состояний электронов в прямоугольной и параболической квантовых ямах?
6. Какой критерий используется для классификации элементарных низкоразмерных структур?
7. Что такое квантовая пленка, квантовый шнур, квантовая точка?
8. Что такое двумерный электронный газ?
9. Что такое длина свободного пробега носителя заряда?
10. Что такое баллистический транспорт носителей заряда?
11. Что такое модуляционно-легированная структура?
12. Что такое дельта-легированная структура?
13. Что такое нанотехнология?
14. В чем отличие технологических принципов «сверху-вниз» и «снизу-вверх»?
15. Какие соединения называют металлогорганическими?
16. Какие соединения называют гидридами?
17. Каковы основные достоинства и недостатки метода молекулярно-лучевой эпитаксии?
18. В чем суть метода электрохимического осаждения материалов?
19. Как формулируются законы Фарадея для электрохимического осаждения материалов?
20. Какими параметрами процесса электрохимического осаждения определяются свойства сформированных таким образом пленок?
21. Почему кремний является основным материалом современной микро- и наноэлектроники?
22. Что такое точка поворота?
23. Что такое собственная спиновая поляризация электронов в материале?
24. В чем сущность метода молекулярной механики?
25. В чем состоит принципиальное отличие методов молекулярной динамики и молекулярной механики?
26. Какие основные достоинства и недостатки присущи методам атомной инженерии?
27. Какой механизм окисления металлов и полупроводников реализуется при использовании сканирующих зондов?
28. Что такое вицинальная поверхность?
29. Какие низкоразмерные структуры можно формировать самоорганизацией на вицинальных поверхностях?
30. При каких условиях реализуется режим Странского-Крастанова?
31. Каковы критические условия для перехода от двумерного роста сплошной пленки к трехмерному росту островков в режиме Странского-Крастанова?
32. Как распределены напряжения в монокристаллических островках, сформированных в режиме Странского-Крастанова?
33. Какие низкоразмерные структуры возможно формировать в режиме Странского-Крастанова?
34. Как описывается формирование островковых структур в режиме Волмера-Вебера?
35. Что представляет собой Ленгмюровская пленка?

36. Что представляет собой пленка Ленгмюра-Блоджетт?
37. Что такое гидрофильные, гидрофобные, амфифильные вещества?
38. Каковы области применения наноструктурированных оксидов тугоплавких металлов?
39. Каковы низкоразмерные формы углеродных структур?
40. Что такое графен?

### 7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

### 7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по вопросам (5 шт.) или тестовым заданиям. Каждый правильный ответ на вопрос оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 5.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал 3 балла и выше.

В случае аттестации с использованием тестовых материалов оценка «Зачтено» ставится, если студент по итогам тестирования набрал более 75 % правильных ответов.

При получении оценки «Зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение в предмет	ОПК-1, ОПК-2	Тест
2	Квантово-механические явления, определяющие поведение электронов и дырок	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
3	Элементы низкоразмерных структур	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
4	Структуры с квантовым ограничением	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
5	Методы формирования наноструктур	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
6	Методы, основанные на использовании сканирующих зондов	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
7	Нанолитография	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
8	Саморегулирующиеся процессы	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ
9	Формирование и свойства наноструктурированных материалов	ОПК-1, ОПК-2	Тест, защита лабораторных работ

### 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/электронном 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 аттестации.

## 8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

#### Основная литература

1. **Зебрев Г.И.** Физические основы кремниевой наноэлектроники: учеб. пособие / Г.И. Зебрев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. - 240 с. - ISBN 978-5-9963-0181-2

2. **Смирнов Ю.А.** Основы нано- и функциональной электроники: учеб. пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - 2-е изд., испр. - СПб.: Лань, 2013. - 320 - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1378-2

3. **Смирнов Ю.А.** Основы нано- и функциональной электроники [Электронный ресурс] учеб. пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - 2-е изд., испр. - СПб: Лань, 2021. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-1378-2. URL: <https://e.lanbook.com/book/168521>

4. **Рембеза С.И.** Физические свойства низкоразмерных структур / С.И. Рембеза, Е.С. Рембеза, Н.Н. Кошелева. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. - 139 с.

5. **Золотухин И.В.** Физика наносистем: графены и гранулированные нанокompозиты : учеб. пособие. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. - 226 с.

6. **Драгунов В.П.** Основы наноэлектроники: учеб. пособие / В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. - Новосибирск: Новосиб. ун-т, 2000. - 322 с. - ISBN 5-7782-0281-4

7. **Игнатов А.Н.** Микросхемотехника и наноэлектроника [Электронный ресурс] учеб. пособие / А.Н. Игнатов. – СПб.: Лань, 2021. - 528 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-1161-0. URL: <https://e.lanbook.com/book/167901>

#### Дополнительная литература

8. **Щука А.А.** Наноэлектроника: учеб. пособие / А.А. Щука ; под ред. А. С. Сигова. - 2-е изд. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2017. - 342 с. - ISBN 978-5-9963-0735-7

9. **Шишкин Г.Г.** Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учеб. пособие / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. - М.: БИНОМ, 2012. - 408 с. - ISBN 978-5-9963-0638-1

10. **Ибрагимов И.М.** Основы компьютерного моделирования наносистем: учеб. пособие / И.М. Ибрагимов, А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. - 384 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-88114-1032-3

11. **Раков Э.Г.** Нанотрубки и фуллерены: учеб. пособие для вузов : рек. Ученым советом Рос. хим.-технолог. ун-та / Э.Г. Раков. - М.: Логос, 2006. - 374 с. - (Новая университетская библиотека). - ISBN 5-98699-009-9

12. **Физика низкоразмерных систем:** учеб. пособие / А.Я. Шик и др.; под общ. ред. В.И. Ильина, А.Я. Шика. - СПб. : Наука , 2001. - 160 с. - (Новые разделы физики полупроводников). - ISBN 5-02-024966-1

13. **Орлова М.Н.** Нанoeлектроника [Электронный ресурс]: курс лекций / М.Н. Орлова, И.В. Борзых. - М.: Издательский Дом МИСиС, 2013. - 50 с. - Текст. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 01.03.2023 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-87623-725-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/56246.html>

14. **Дробот П.Н.** Нанoeлектроника [Электронный ресурс]: учеб. пособие / П.Н. Дробот. - М.: ТУСУР, 2016. - 286 с. - Книга из коллекции ТУСУР - Инженерно-технические науки. URL: <https://e.lanbook.com/book/110241>

15. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1, 2 по дисциплине «Нанoeлектроника» для студентов направления 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») очной формы обучения** [Электронный ресурс] / Каф. полупроводниковой электроники и нанoeлектроники; Сост.: Н.Н. Кошелева, А.В. Строгонов. - Электрон. текстовые, граф. дан.(1,9 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. (№ 514-2015)

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

**Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:**

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

**Используемые электронные библиотечные системы:**

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

### **Информационные справочные системы:**

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

**1. Лекционная аудитория 311/4**, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);  
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.  
проектор BenQ MP515 DLP;  
экран ScreenMedia настенный.  
огнетушитель.

**2. Дисплейный класс** для проведения лабораторных занятий и самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179), оснащенный необходимым оборудованием:

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);  
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.  
компьютер-сборка каф.9;  
компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);  
компьютер-сборка каф.7;  
компьютер-сборка каф.3;  
компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);  
компьютер-сборка каф.5;  
компьютер-сборка каф.4;  
компьютер-сборка каф.8;  
компьютер-сборка каф.2;  
компьютер-сборка каф.6;  
компьютер-сборка каф.10;  
комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;  
компьютер-сборка каф.1;  
экран Projecta ProScreen настенный рулонный;  
проектор BenQ MP515 DLP;  
огнетушитель.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Наноэлектроника» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия, студентами заочной формы обучения выполняется контрольная работа.

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


Лабораторные работы выполняются на персональных компьютерах в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Контроль усвоения материала дисциплины производится решением тестов и практических заданий, примеры которых приведены в данной рабочей программе и в блоке с оценочными материалами.

Освоение дисциплины оценивается на зачете.

<b>Вид учебных занятий</b>	<b>Деятельность студента</b>
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить 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.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.
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; - 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 зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.2: при осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется образовательный портал ВГТУ – <a href="https://old.education.cchgeu.ru">https://old.education.cchgeu.ru</a>	31.08.2021	
2			
3			
4			