

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

---

**Руководитель ОПОП ВО**  
доцент **И.И. Растворова**

---

**Проректор по образовательной**  
**деятельности**  
**Д.Г. Петраков**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**НАНОЭЛЕКТРОНИКА**

<b>Уровень высшего образования:</b>	Бакалавриат
<b>Направление подготовки:</b>	11.03.04 Электроника и наноэлектроника
<b>Направленность (профиль):</b>	Промышленная электроника
<b>Квалификация выпускника:</b>	бакалавр
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Составитель:</b>	доц. Денисова О.В.

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Наноэлектроника» разработана:**

– в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки, «11.03.04 Электроника и наноэлектроника», утвержденного приказом Минобрнауки России № 927 от 19 сентября 2017 г.;

– на основании учебного плана бакалавриата по направлению подготовки «11.03.04 Электроника и наноэлектроника», направленность (профиль) «Промышленная электроника».

Составитель

\_\_\_\_\_

к.х.н., доц. О.В. Денисова

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена** на заседании кафедры электронных систем от 31.01.2022 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

Д.Т.Н.,  
доц.

И.И. Растворова

**Рабочая программа согласована:**

Начальник управления учебно-методического обеспечения образовательного процесса

\_\_\_\_\_

к.т.н.

Иванова П.В.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Нанoeлектроника»:

– формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования полученных знаний при создании элементов, приборов и устройств микроэлектроники и нанoeлектроники.

Основными задачами дисциплины является:

– расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения законов физики низкоразмерных полупроводниковых структур для последующего использования их при создании приборов нанoeлектроники, твердотельной электроники и в технологии микро- и нанoeлектроники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Нанoeлектроника» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки «11.03.04 Электроника и нанoeлектроника» и изучается в 6-м семестре.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Нанoeлектроника» являются «Материалы электронной техники», «Физические основы электроники», «Микроэлектроника».

Дисциплина «Нанoeлектроника» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Основы микропроцессорной техники», «Основы проектирования электронной компонентной базы», «Основы технологии электронной компонентной базы».

Особенностью дисциплины является ознакомление с современными материалами, особенностями физических процессов, протекающих в них, а также устройствами нанoeлектроники и технологией их производства.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

Формируемые компетенции		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1	УК-1.1. Знать методики поиска, сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа УК-1.2. Уметь применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников; применять системный подход для решения поставленных задач УК-1.3. Владеть методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачётных единицы, 144 ак. часа.

Вид учебной работы	Всего часов	ак.	Ак. часы по семестрам
			6
<b>Аудиторная работа, в том числе:</b>	<b>51</b>		<b>51</b>
Лекции (Л)	17		17
Практические занятия (ПЗ)	34		34
Лабораторные работы (ЛР)	-		-
<b>Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:</b>	<b>57</b>		<b>57</b>
Выполнение курсовой работы (проекта)	-		-
Расчетно-графическая работа (РГР)	-		-
Подготовка к практическим занятиям	37		37
Подготовка к лабораторным занятиям	-		-
Работа с литературой	20		20
<b>Промежуточная аттестация – экзамен (Э)</b>	<b>Э (36)</b>		<b>Э (36)</b>
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>			
	<b>ак. час.</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
	<b>зач. ед.</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

##### 4.2. Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия и самостоятельная работа.

##### 4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование разделов	Виды занятий				
	Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельн. работа студента
Раздел 1. Электроника и элементы квантовой физики	9	2	2	-	5
Раздел 2. Полупроводниковые структуры в электронике и нанoeлектронике	22	4	8	-	10
Раздел 3. Физические основы нанoeлектроники	16	2	4	-	10
Раздел 4. Наноматериалы в электронике	23	2	4	-	17
Раздел 5. Нанотехнологии и элементы нанoeлектроники	18	4	4	-	10
Раздел 6. Современные методы исследования микро- и наноструктур	20	3	12	-	5
<b>Всего:</b>	<b>108</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>57</b>
Экзамен	<b>36</b>				
<b>Итого:</b>	<b>144</b>				

#### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Раздел 1. Электроника и элементы квантовой физики	<p>Нанoeлектроника как область современной электроники. Этапы развития нанoeлектроники. Понятие о наносистемной технике.</p> <p>Связь электроники и квантовой физики. Основные представления квантовой механики. Квантовая модель атома. Понятие о потенциальных ямах и барьерах. Микрочастица в прямоугольной потенциальной яме. Туннельный эффект. Энергетический спектр кристалла. Собственная электропроводность полупроводников. Примесная электропроводность полупроводников. Эффект компенсации примесных уровней. Энергетические зоны на границе дырочного и электронного полупроводников. Понятие эффективной массы электрона. Неравновесная электропроводность собственного полупроводника. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры. Полупроводниковые материалы в твердотельной электронике.</p>	2
2	Раздел 2. Полупроводниковые структуры в электронике и нанoeлектронике	<p>Роль полупроводниковых структур в микро- и оптоэлектронике. Электронно-дырочный переход и его свойства. Транзисторы. Элементы оптоэлектроники. Гетеропереходы. P-n-переход как схемный элемент ИМС.</p>	4
3	Раздел 3. Физические основы нанoeлектроники	<p>Квантоворазмерные эффекты. Простейшие виды низкоразмерных объектов. Квантовые точки, квантовые ямы, квантовые нити. Энергетический спектр электронов и плотность электронных состояний в низкоразмерных областях. Резонансный туннельный эффект. Полупроводниковые сверхрешетки. Одноэлектронные устройства. Некоторые явления и устройства нанoeлектроники, устройства молекулярной электроники.</p>	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
4	Раздел 4. Наноматериалы в электронике	Размерный эффект в технологии получения наноматериалов. Особенности строения и основные физические свойства графена. Перспективы применения. Возможность создания приборов и устройства на основе графена. Особенности строения и основные физические свойства углеродных нанотрубок. Возможности применения.	2
5	Раздел 5. Нанотехнологии и элементы нанoeлектроники	Основные направления развития современной нанотехнологии. Основные подходы к изготовлению структур в нанотехнологиях. Эпитаксиальные методы получения наноструктур. Нанолитография. Технологические процессы получения углеродных нанотрубок. Методы получения графена. Методы формирования сверхрешеток.	4
6	Раздел 6. Современные методы исследования микро- и наноструктур	Зондовые нанотехнологии. Эффект туннелирования и его применение в приборах для исследования наноструктур. Туннельная микроскопия. Физические основы, принцип действия, возможности. Атомно-силовая микроскопия. Техническая реализация. Физические основы и принцип действия.	3
<b>Итого:</b>			<b>17</b>

#### 4.2.3. Практические занятия

№ п/п	Разделы	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. час.
1.	Раздел 1	Вводное занятие	2
2.	Раздел 2	Квантово-размерные эффекты	8
3.	Раздел 3	Устройство и принцип действия приборов на основе квантово-размерных эффектов	4
4	Раздел 4	Наноматериалы в электронике	4
5	Раздел 5	Современные методы исследования микро- и наноструктур	4
6.	Раздел 6	Доклады по темам, выданным преподавателем	12
<b>Итого:</b>			<b>34</b>

#### 4.2.4. Лабораторные работы

Лабораторные работы не предусмотрены.

#### 4.2.5. Курсовые работы (проекты)

Курсовые работы (проекты) не предусмотрены.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся.

Цели лекционных занятий:

- дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;
- стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

Основными формами проведения лекций по дисциплине «Нанoeлектроника» являются:

- **вводная лекция** даёт целостное представление о содержании дисциплины, раскрывает междисциплинарные взаимосвязи, направлена на развитие у студентов интереса к данной области научного знания, что способствует творческому усвоению учебного материала;

- **лекция** подразумевает изложение основного содержания разделов дисциплины с акцентом на заявленную тематику в течение ряда аудиторных занятий;

- **обобщающая лекция** проводится в завершении изучения раздела дисциплины с целью акцентирования наиболее значимой информации для закрепления знаний и компетенций, способствуя их применению в поисково-творческих ситуациях;

- **заключительная лекция** позволяет обобщить изученный материал по данной дисциплине в целом, выделив основополагающие моменты и сформулировав итоговые выводы, сосредоточить внимание на практическом применении полученных знаний и сформированных компетенций в дальнейшем обучении и будущей профессиональной деятельности, стимулировать интерес студентов к данной области знания.

**Практические занятия.** Цели практических занятий:

- совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Консультации** (текущая консультация, накануне экзамена) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля

*успеваемости*

#### Раздел 1. Электроника и элементы квантовой физики

1. Почему нанoeлектроника является областью современной электроники?
2. Какая область линейных размеров объектов нанoeлектроники?
3. В чем заключается основная задача нанoeлектроники?
4. Каковы пределы применимости физических принципов и возможностей технологии, на которых основана классическая микроэлектроника?
5. Технологии нанoeлектроники

#### Раздел 2. Полупроводниковые структуры в электронике и нанoeлектронике

1. Что такое квантово-размерный эффект?

2. Перечислить основные виды квантово-размерных эффектов
3. Причины возникновения дискретного спектра электронов в ограниченном пространстве?
4. При каком условии возможно наблюдение квантово-размерного эффекта?
5. Что такое квантовое ограничение?
6. Каким образом формируются квантовые ямы в полупроводниковых структурах на основе арсенида галлия?

### **Раздел 3. Физические основы наноэлектроники**

1. Какие существенные трудности возникают при создании транзисторов на основе нанотрубок?
2. Что представляет собой явление баллистического транспорта электронов?
3. Чем определяется быстродействие транзистора?
4. Почему графеновые транзисторы и баллистические транзисторы могут работать при частотах в несколько десятков ТГц?
5. Какие предъявляются требования к материалам при формировании структуры баллистического транзистора?
6. Что такое двумерный электронный газ?
7. Какое явление лежит в основе принципа действия баллистического транзистора с отклоняющим полем?

### **Раздел 4. Наноматериалы в электронике**

1. Что представляет собой структура графена?
2. Каким образом на примере графена реализуется связь строение - свойства?
3. Что представляют собой носители заряда в графене?
4. Чем обусловлена исключительно высокая подвижность носителей заряда?
5. По какой причине графен является материалам с исключительно высокой подвижностью носителей заряда?
6. Благодаря каким свойствам графен имеет перспективы применения в электронике?

### **Раздел 5. Нанотехнологии и элементы наноэлектроники**

1. Какие преимущества дает технология атомной сборки ячеек для элементов памяти?
2. Что такое мемристор и каково его назначение?
3. Какие преимущества разрабатываемых в настоящее время ячеек памяти перед существующими чипами флэш-памяти?
4. Для каких целей необходима модернизация существующих систем хранения информации?
5. Какие существуют принципы построения логических элементов?
6. Какие существуют недостатки и ограничения при применении метода атомной сборки ячеек для элементов памяти?

### **Раздел 6. Современные методы исследования микро- и наноструктур**

1. Как объяснить, что физико-химический анализ является методом научного исследования и обеспечения качества и эффективности производства электронных средств?
2. На каком явлении основан метод туннельной микроскопии?
3. Какими методами можно исследовать поверхность и тонкие пленки на поверхности кристаллов?
4. Какие методы относятся к методам исследования поверхности?
5. Какую информацию позволяет получить сканирующий туннельный микроскоп?

#### ***6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (экзамена)***

##### ***6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий к экзамену***

1. Что необходимо понимать под «структурами со сверхмалыми размерами»?
2. Какое основное содержание закона Мура?
3. Что такое степень интеграции электронных элементов на чипе?
4. Какая существует связь между размерами элементов интегральных схем и физическими принципами их функционирования?



5. Каковы пределы применимости физических принципов и возможностей технологии, на которых основана классическая микроэлектроника?
6. Что такое квантово-размерный эффект?
8. Что собой представляет сверхрешетка?
7. В какой квантовой структуре движение электронов ограничено во всех трех направлениях?
9. Какие существуют методы получения квантовых нитей и квантовых точек?
10. Какие существуют перспективы и возможности использования квантовых точек?
11. Какую роль играют рассеивающие дефекты в структуре баллистического транзистора?
12. Какой вид имеет вольт-амперная характеристика одноэлектронного транзистора?
13. Принцип действия каких транзисторов основан на квантово-размерном эффекте с образованием квантовых ям?
14. В чем заключается явление одноэлектронного туннелирования?
15. Что такое эффект кулоновской блокады?
16. При каких условиях электрон приобретает возможность туннелировать через диэлектрик в системе, состоящей из двух проводников и тонкого слоя диэлектрика между ними?
17. Конструктивно что представляют собой электронные приборы, использующие эффект одноэлектронного туннелирования?
18. Каковы перспективы производства и применения графеновых транзисторов?
19. Какое значение имеет подвижность носителей заряда в графене?
20. Как использовать необычайно высокую подвижность носителей заряда графена в нанoeлектронике?
21. Что такое нанотрубки?
22. Какими методами можно получить углеродные нанотрубки?
23. Возможно ли получение графена со свойствами полупроводника или диэлектрика?
24. Какие особые свойства углеродных нанотрубок позволяют использовать их в качестве проводников между элементами интегральной схемы?
25. Как технологически решаются проблемы разделения наносвязок или пучков нанотрубок на отдельные элементы?
26. Что такое туннельный микроскоп?
27. Что такое атомно-силовой микроскоп?
28. Какая существует связь между современными технологическими процессами и методами исследования материалов?
29. Какой современный подход к обеспечению высокого качества изделий электронной техники?
30. Каковы перспективы применения туннельного микроскопа как технологического инструмента?

### 6.2.2. Примерные тестовые задания к экзамену

#### Вариант 1

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	1 нм равен...	1. $10^{-9}$ м 2. 10 мкм 3. $10^{-10}$ м 4. $10^3$ м
2	Степень интеграции микросхемы – это ...	1. число электронных компонентов, расположенных на одном кристалле. 2. расстояния между элементами на кристалле. 3. это взаимосвязь проектирования и

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		технологии производства интегральных схем. 4. характеристика производственного процесса
3	Дефектами кристаллов являются ...	1. вакансии, атомы в междоузлиях кристаллической решетки. 2. кристаллическая решетка 3. атомы в узлах кристаллической решетки 4. все вышеперечисленное.
4.	Подвижность носителей заряда характеризует...	1. амплитуду колебаний ионов в узлах кристаллической решетки. 2. интенсивность движения носителей. 3. энергию электронов. 4. среднюю скорость движения носителей под действием электрического поля единичной напряженности.
5	Что такое квантовая точка?	1. квант, находящийся в электромагнитном поле 2. нанобъект одного материала, находящийся на матрице из другого материала 3. элементарная структура квантового излучения 4. наноразмерный разрыв в электромагнитном излучении
6	Почему квантовые точки называют искусственными атомами?	1. Квантовая точка, как и атом, имеет ядро 2. Квантовая точка может вступать в химические реакции подобно атомам 3. Квантовая точка имеет размеры атома 4. В квантовой точке движение ограничено в трёх направлениях и энергетический спектр полностью дискретный, как в атоме
7	Обращаются ли в нуль волновые функции на границе квантовой ямы?	1. Да 2. Нет 3. Вопрос поставлен некорректно 4. Ответ зависит от ширины квантовой ямы
8	Одноэлектронное туннелирование в условиях кулоновской блокады было впервые рассмотрено....	1. А. Геймом и Л. Новоселовым 2. Д. Авериным и К. Лихаревым 3. Ж. Алферовым 4. У. Томсоном
9	Блокирование прохождения электронов через квантовую точку (включенную между двумя туннельными контактами),	1. туннельный эффект 2. эффект блокирования электрона 3. эффект Кулоновской блокады

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
	обусловленное отталкиванием электронов в контактах от электрона на квантовой точке, а также дополнительным кулоновским потенциальным барьером, который создает электрон, закрепившийся на точке – это...	4. эффект Мейснера
10	Квантовым ограничением называют ...	1. Ограничение движения электронов (дырок) в низкоразмерной структуре, приводящее (вследствие их квантово-волновой природы) к ненулевому минимальному значению их энергии и к дискретности энергий разрешенных состояний 2. Квантово-механическое явление преодоления частицей потенциального барьера в случае, когда ее энергия меньше высоты потенциального барьера 3. это квантовые структуры, где движение носителей ограничено не в одном, а в двух направлениях 4. это квантовые структуры, где движение носителей ограничено в трех направлениях
11	В собственных полупроводниках генерация электронов и дырок происходит ...	1. парами электрон-дырка; 2. парами электронов; 3. парами дырок; 4. редко.
12	Какие существуют виды контактов?	1. выпрямляющие 2. инжектирующие 3. омические 4. все вышеперечисленные
13	P-n-переход – это основа для формирования ...	1. Омического контакта 2. Выпрямляющего контакта 3. Замкнутого контакта 4. Всех вышеперечисленных видов контактов
14	В качестве областей истока и стока полевого транзистора может быть использован ....	1. Конденсатор 2. Затвор 3. Барьер Шоттки 4. Все вышеперечисленное
15	В полевых транзисторах с изолированным затвором управление зарядами производится через ...	1. диэлектрик. 2. металл. 3. интерметаллическое соединение. 4. полупроводник.
16	На основе какого материала формируются гетероструктуры и гетеропереходы?	1. графен 2. кремний 3. арсенид галлия 4. углерод
17	Эффект смыкания – это ...	1. смыкание стока с истоком, которое происходит при увеличении напряжения

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		на стоке; 2. смыкание подложки с затвором 3. замыкание затвора со стоком 4. увеличение длины канала
18	При эффекте смыкания длина канала ...	1. уменьшается до 0 2. увеличивается до бесконечности 3. уменьшается незначительно 4. остается постоянной
19	Какова функция эмиттера в биполярном транзисторе, работающем в активном режиме?	экстракция носителей. инжекция носителей. создание запирающего слоя. формирование барьера между эмиттером и базой.
20	Как называется металлический электрод в МДП-транзисторе?	Затвор. Исток. Подложка. Канал.

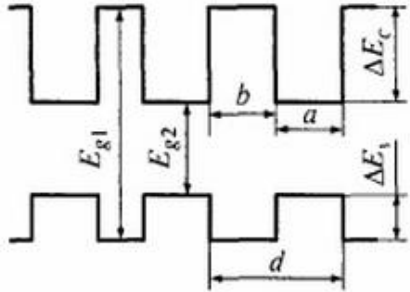
#### Вариант № 2

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	Квантовые размерные эффекты – это ...	1. эффекты, связанные с квантованием энергии носителей заряда, движение которых ограничено в одном, двух или трёх направлениях 2. эффект рассеяния носителей заряда 3. ограничение движения носителей заряда 4. эффект отсутствия квантования энергии
2	Количество транзисторов на кристалле удваивается каждые 2 года – это формулировка ...	1. закона Мура 2. эффекта Гомпсона 3. принципа Ландау 4. закона Гейма-Новоселова
3	Что необходимо учитывать при проведении масштабирования интегральных схем?	1. критерии масштабирования. 2. параметры элементов, поддающихся масштабированию. 3. экономическую целесообразность. 4. все вышеперечисленное.
4.	Выбрать правильное утверждение: ....	1. Процессу микроминиатюризации нет предела 2. Уменьшение размеров элементов в технологии кремния достигло нижнего предела 3. Нет необходимости для поиска новых материалов для нанoeлектроники 4. Предел применимости кремниевой

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		технологии 1 -2 нм
5	Главное средство совершенствования изделий микроэлектроники и их микроминиатюризации – это...	1. масштабирование. 2. уплотнение; 3. изменение компоновки; 4. использование новых пакетов прикладных программ при проектировании.
6	Микроминиатюризация предполагает ....	1. Уменьшение размеров элементов 2. Увеличение плотности компоновки 3. Уменьшение потребляемой мощности 4. Все вышеперечисленное
7	Какая из перечисленных примесей дает акцепторный уровень в кремнии?	1. Фосфор. 2. Мышьяк. 3. Титан. 4. Бор
8	У низкоразмерных структур энергетический спектр разрешенных состояний является...	1. непрерывным 2. дискретным; 3. узким 4. широким.
9	Носителями электрического заряда в полупроводниках являются...	1. ионы металла, находящиеся в узлах кристаллической решетки. 2. электроны и дырки. 3. свободные электроны. 4. электроны и ионы.
10	К квантовым размерным эффектам относятся ...	1. квантовые точки; 2. квантовые ямы; 3. квантовые нити; 4. все вышеперечисленное
11	Структуры с нульмерным электронным газом (квантовые точки) – это структуры, в которых...	1. движение носителей ограничено во всех трех направлениях (x, y и z). 2. Движение носителей никак не ограничено 3. Спектр непрерывный 4. Спектр дискретно-непрерывный
12	Структуры с двумерным электронным газом (квантовые ямы) – это структуры, в которых...	1. Движение носителей никак не ограничено 2. Движение носителей ограничено в 1 направлении 3. Спектр дискретный 4. Носители находятся в N-мерном пространстве
13	Структуры с одномерным электронным газом (квантовые нити) – это структуры, в которых...	1. Движение носителей никак не ограничено 2. Движение носителей ограничено в 1 направлении 3. движение носителей ограничено в двух направлениях (y и z).

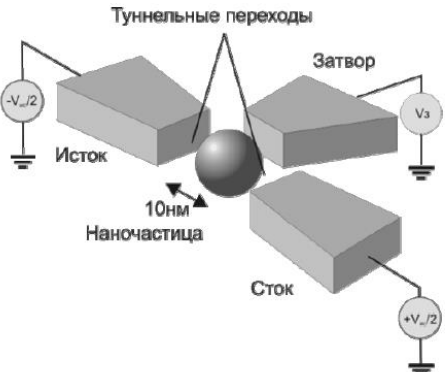
№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		4. Носители находятся в N-мерном пространстве
14	Ограничение движения электронов (дырок) в низкоразмерной структуре, приводящее (вследствие их квантово-волновой природы) к ненулевому минимальному значению их энергии и к дискретности энергий разрешенных состояний, называют ....	1. Потенциальной ямой 2. квантовым ограничением. 3. Вероятностью 4. Пространственным ограничением
15	В полевых транзисторах с изолированным затвором управление зарядами производится через ...	1. диэлектрик. 2. металл. 3.интерметаллическое соединение. 4. полупроводник.
16	Туннелирование – это ....	1.Квантово-механическое явление преодоления частицей потенциального барьера в случае, когда ее энергия меньше высоты потенциального барьера 2.Движение носителей заряда по туннелю; 3.Пробой потенциального барьера 4.Оптическое явление
17	К квантово-размерным эффектам относятся....	1.квантовое ограничение, баллистический транспорт; 2. квантовая интерференция, 3. туннелирование 4. Все вышеперечисленное
18	Наблюдение квантово-размерного эффекта возможно только если ....	1. все размеры объекта менее 10 нм 2. хотя бы один из размеров кристалла достаточно мал 3. достаточно электронов в объекте 4. наблюдается продольная проводимость
19	Поведение подвижных носителей заряда (электронов и дырок) в наноразмерных структурах определяют фундаментальные явления ....	1. квантовое ограничение, 2. баллистический транспорт и 3. квантовая интерференция и туннелирование 4. все вышеперечисленное
20	Ограничение движения электронов (дырок) в низкоразмерной структуре, приводящее (вследствие их квантово-волновой природы) к ненулевому минимальному значению их энергии и к дискретности энергий разрешенных состояний, называют...	1. спектром 2. наноограничением 3. квантовым ограничением 4. дискретностью

Вариант № 3

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1.	Если движение электронов ограничено в 1 направлении – это...	1. квантовая точка 2. квантовое пространство 3. квантовая яма 4. все вышеперечисленное
2.	Если движение электронов ограничено в 2 направлениях – это...	1. квантовая нить 2. квантовое пространство 3. квантовая яма 4. все вышеперечисленное
3.	Если движение электронов ограничено в 3 направлениях – это...	1. квантовая точка 2. квантовая яма 3. квантовая нить 4. квантовое ограничение
4.	Квантовой точкой является ...	1. одиночный атом 2. кристалл 3. совокупность малых кристаллов с искаженной структурой 4. поверхность кристалла
5.	Примером квантовой ямы является ...	кристалл тонкая пленка, толщиной в 1 атом; коллоидная частица поверхность кристалла
6.	На рис. представлена ... 	1. система барьеров 2. система параллельных квантовых ям 3. схема транзисторов 4. система квантовых точек
7.	Какая из перечисленных примесей дает акцепторный уровень в кремнии?	1. Фосфор. 2. Мышьяк. 3. Титан. 4. Бор
8.	У низкоразмерных структур энергетический спектр разрешенных состояний является...	1. непрерывным 2. дискретным; 3. узким 4. широким.
9.	Носителями электрического заряда в полупроводниках являются...	1. ионы металла, находящиеся в узлах кристаллической решетки. 2. электроны и дырки. 3. свободные электроны. 4. электроны и ионы.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
10	К квантовым размерным эффектам относятся ...	1. квантовые точки; 2. квантовые ямы; 3. квантовые нити; 4. все вышеперечисленное
11	В чем заключается основное отличие собственных полупроводников от примесных?	1. В изменении кристаллической решетки. 2. В наличии электрически активных примесей. 3. В изменении подвижности носителей заряда. 4. В изменении агрегатного состояния.
12	Какая из перечисленных примесей дает донорный уровень в кремнии?	1. фосфор. 2. алюминий. 3. бор. 4. углерод.
13	Какая из перечисленных примесей дает акцепторный уровень в кремнии?	1. Фосфор. 2. Мышьяк. 3. Титан. 4. Бор
14	Физическими ограничениями для уменьшения размеров МДП-транзисторов являются ...	1. максимально допустимое напряжение стока; 2. эффект смыкания; 3. ограничения по мощности 4. все вышеперечисленное
15	Носителями электрического заряда в полупроводниках являются...	1. ионы металла, находящиеся в узлах кристаллической решетки. 2. электроны и дырки. 3. свободные электроны. 4. электроны и ионы.
16	Экспериментально кулоновская блокада проявляется как ...	1. пикообразная зависимость проводимости квантовой точки от потенциала точки 2. пороговое увеличение напряжения между электродами 3. генерация электронов 4. прерывание сигнала
17	Одноэлектронный транзистор имеет .... электрода	1. Один 2. Три 3. Два 4. Не имеет электродов
18	Преимуществом одноэлектронного транзистора является ...	1. Малые размеры 2. Возможность высокой степени интеграции 3. Низкая потребляемая мощность 4. Все вышеперечисленное



№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
19	В основе принципа действия одноэлектронного транзистора эффект .....	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Кулоновской блокады</li> <li>2. Торможения электронов</li> <li>3. Электронной ловушки</li> <li>4. Формирование множественных барьеров на пути движения электронов</li> </ol>
20	<p>Схема устройства какого прибора представлена на рисунке?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Биполярного транзистора</li> <li>2. Туннельного диода</li> <li>3. Одноэлектронного транзистора</li> <li>4. генератора</li> </ol>

### 6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

#### 6.3.1. Критерии оценок промежуточной аттестации (экзамен)

*Примерная шкала оценивания знаний по вопросам/выполнению заданий экзамена:*

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения «3» (удовлетворительно)	Углубленный уровень освоения «4» (хорошо)	Продвинутый уровень освоения «5» (отлично)
Студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Иногда находит решения, предусмотренные программой обучения заданий	Уверенно находит решения, предусмотренные программой обучения заданий	Безошибочно находит решения, предусмотренные программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

**Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:**

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-49	Неудовлетворительно
50-65	Удовлетворительно
66-85	Хорошо
86-100	Отлично

**7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДИСЦИПЛИНЫ**

**7.1. Рекомендуемая литература**

**7.1. 1. Основная литература:**

1. Орлова М.Н. Нанoeлектроника. Курс лекций [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.Н. Орлова, И.В. Борзых. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2013. — 50 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47464>.
2. Игнатов А.Н. Микросхемотехника и нанoeлектроника [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Н. Игнатов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 528 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2035>.
3. Канева И.И. Технология микро-и нанoeлектроники. Технология материалов магнитоэлектроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.И. Канева, С.В. Подгорная, В.Г. Андреев. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2011. — 161 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/>
4. Сушков В.П. Конструирование компонентов и элементов микро-и нанoeлектроники. Компьютерное моделирование оптоэлектронных приборов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.П. Сушков, Г.Д. Кузнецов, О.И. Рабинович. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2012. — 128 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47472>.
5. Шашурин В.Д. Нанотехнология и микромеханика. Ч. 5: Надежность наноприборов и радиоэлектронных устройств на их основе [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Д. Шашурин, Н.А. Ветрова. — Электрон. дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 84 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/58523>.

**7.1.2. Дополнительная литература**

1. Растворова, Ирина Ивановна. Электроника и нанoeлектроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. И. Растворова, В. Г. Терехов. - СПб. : Горн. ун-т, 2016. - 205 с. : рис., табл. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). - Библиогр.: с. 203 (9 назв.). - Предм. указ.: с. 204. - ISBN 978-5-94211-763-4. Режим доступа:

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set\\_static\\_req&ns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=32%2E85%2F%D0%A0%2024%2D333757322<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&ns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=32%2E85%2F%D0%A0%2024%2D333757322<.>)

**7.1.3. Учебно-методическое обеспечение**

1. Сушков, В.П. Конструирование компонентов и элементов микро-и нанoeлектроники. Компьютерное моделирование оптоэлектронных приборов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.П. Сушков, Г.Д. Кузнецов, О.И. Рабинович. — Электрон. дан. — Москва: МИСИС, 2012. — 128 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47472>.

**7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы**

1. БД JSTOR полнотекстовая база англоязычных научных журналов [www.jstor.org](http://www.jstor.org)
2. Научная электронная библиотека [www.eLibrary.ru](http://www.eLibrary.ru) (доступ к полным текстам ряда научных журналов с 2007 по 2009 г. )
3. Российская государственная библиотека <http://www.rsl.ru>
4. Российская национальная библиотека <http://www.nlr.ru>
5. Всероссийская государственная библиотека иностранной литературы им. М.И.Рудомино <http://www.libfl.ru>
6. Библиотека Академии Наук <http://www.rasl.ru>

7. Библиотека РАН по естественным наукам <http://www.benran.ru>
8. Государственная публичная научно-техническая библиотека <http://www.gpntb.ru>
9. Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения РАН <http://www.spsl.nsc.ru/>
10. Центральная научная библиотека Дальневосточного отделения РАН <http://lib.febras.ru>
11. Центральная научная библиотека Уральского отделения РАН <http://www.uran.ru>
12. Библиотека Конгресса <http://www.loc.gov/index.html>
13. Британская национальная библиотека <http://www.bl.uk>
14. Французская национальная библиотека <http://www.bnf.fr>
15. Немецкая национальная библиотека <http://www.ddb.de>
16. Библиотечная сеть учреждений науки и образования RUSLANet <http://www.ruslan.ru:8001/rus/rcls/resources>
17. Центральная городская универсальная библиотека им. В.Маяковского <http://www.pl.spb.ru>
18. Научная библиотека им. М.Горького Санкт-Петербургского Государственного университета (СПбГУ) <http://www.lib.pu.ru>
19. Фундаментальная библиотека Санкт-Петербургского Государственного Политехнического университета (СПбГПУ) <http://www.unilib.neva.ru/rus/lib/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий:**

#### **Аудитории для проведения лекционных занятий и практических занятий**

Специализированные аудитории учебно-лабораторного комплекса National Instruments, используемые при проведении занятий лекционного типа, практических занятий, оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

Общее оборудование: стол 8 шт., компьютерное кресло 17 шт., шкаф 2 шт., мультимедийный проектор, экран, доска аудиторная.

Тематические стенды - 2 шт., возможность доступа к сети «Интернет».

13 моноблоков Lenovo 3571JAG, 12 посадочных мест.

#### **8.2. Помещения для самостоятельной работы**

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional:ГК № 1464-12/10 от 15.12.10 «На поставку компьютерного оборудования» ГК № 959-09/10 от 22.09.10 «На поставку компьютерной техники» (обслуживание до 2025 года) ГК № 447-06/11 от 06.06.11 «На поставку оборудования» (обслуживание до 2025 года) ГК № 984-12/11 от 14.12.11 «На поставку оборудования" (обслуживание до 2025 года) Договор № 1105-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования» (обслуживание до 2025 года), Договор № 1106-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования» (обслуживание до 2025 года) ГК № 671-08/12 от 20.08.2012 «На поставку продукции» (обслуживание до 2025 года), Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011, Microsoft Open License 49487710 от 20.12.2011, Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 (обслуживание до 2025 года),

Microsoft Office 2010 Standard: Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012 (обслуживание до 2025 года), Microsoft Open License 60853086 от 31.08.2012 (обслуживание до 2025 года), Kaspersky antivirus 6.0.4.142.

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть Университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт.

(системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Операционная система Microsoft Windows XP Professional: Microsoft Open License 16020041 от 23.01.200.

Операционная система Microsoft Windows 7 Professional Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 (обслуживание до 2025 года).

Microsoft Office 2007 Standard Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007 (обслуживание до 2025 года).

3. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для студентов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011 (обслуживание до 2025 года).

Microsoft Office 2007 Professional Plus: Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010 (обслуживание до 2025 года).

CorelDRAW Graphics Suite X5 Договор №559-06/10 от 15.06.2010 «На поставку программного обеспечения» (обслуживание до 2025 года), Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1.

Cisco Packet Tracer 7.1 (свободно распространяемое ПО), Quantum GIS (свободно распространяемое ПО), Python (свободно распространяемое ПО), R (свободно распространяемое ПО), Rstudio (свободно распространяемое ПО), SMath Studio (свободно распространяемое ПО), GNU Octave (свободно распространяемое ПО), Scilab (свободно распространяемое ПО).

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:**

1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012).

Microsoft Office 2010 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012).

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17).

2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012).

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010).

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17).

3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 2 шт., стуля – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011).

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010).

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17).

#### **8.4. Лицензионное программное обеспечение**

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный ГК № 875-09/13 от 30.09.2013 «На поставку компьютерной техники»).

2. Microsoft Office 2007 Standard (договор бессрочный Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007).

3. Microsoft Office 2010 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, договор бессрочный Microsoft Open License 47665577 от 10.11.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011).

4. LabView Professional, ГК №1142912/09 от 04.12.2009 "На поставку программного обеспечения".