

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт технологий и инженерной механики  
Кафедра микро- и наноэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

директор института технологий и  
инженерной механики

  
Могильная Е.П.  
« 18 » 04 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

По направлению подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль «Электронные приборы и устройства»

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Нанoeлектроника» по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника. – 32 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Нанoeлектроника» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19.09.2017 года № 927.

СОСТАВИТЕЛИ:

к.т.н., доцент Войтенко В.А.;

к.т.н., доцент Войтенко Г.О.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники «14» 04 2023 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой

микро- и нанoeлектроники  Войтенко В. А.

Переутверждена: «  »    202   г., протокол №   .

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики «18» 04 2023 г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической

комиссии института технологий и инженерной механики  С. Н. Ясуник

© Войтенко В.А., Войтенко Г.О., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

## 1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Целью изучения дисциплины «Наноэлектроника» является ознакомление с принципами работы и конструирования наноэлектронных приборов.

Задачами изучения дисциплины «Наноэлектроника» является ознакомление студентов с основными направлениями развития современной электроники, использующей физические эффекты, имеющие место в наноструктурах; ознакомление студентов с наноматериалами, элементами и приборами наноэлектроники.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП ВО. Требования к условиям освоения содержания дисциплины

Дисциплина «Наноэлектроника» относится к циклу профессиональных дисциплин.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания основ специальности, физики и химии, технологических основ электроники, материалов и компонентов электроники, электронных и полупроводниковых приборов; умения проводить измерения физических величин и обработку результатов измерений.

Содержание дисциплины основано на знаниях дисциплин «Основы отраслевых знаний», «Технологические основы электроники», «Материалы и компоненты электроники», «Специальные разделы физики (физика электронных и полупроводниковых приборов)», «Квантовая механика и статистическая физика», «Специальные разделы химии (химические основы технологии электронных средств)», «Функциональная электроника» и служит основой для выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра.

## 3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. Знает математическое описание физических процессов, протекающих в материалах, компонентах и приборах электроники. ПК-1.2. Умеет строить физические и математические модели приборов, узлов, блоков. ПК-1.3. Владеет навыками компьютерного моделирования.	Знать: математическое описание наноструктур, оптических и фотоэлектрических явлений в квантово-размерных структурах; математическое описание работы солнечных и термоэлектрических преобразователей энергии на наноструктурах; теорию фотолюминесценции на структурах Si-Ge;
		Уметь: строить математические модели физических процессов, протекающих в структурах

		<p>и приборах наноэлектроники; осуществлять поиск информации по математическому моделированию наноструктур и их свойств с использованием информационных технологий;</p> <p>Владеть: навыками компьютерного моделирования периодических структур; навыками работы с программным обеспечением для постановки компьютерных экспериментов; навыками компьютерного моделирования работы электронных приборов на основе наноструктур;</p>
<p>ПК-3. Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования</p>	<p>ПК-3.1. Знает принципы конструирования отдельных блоков электронных приборов, систем сбора, обработки данных и управления.</p> <p>ПК-3.2. Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов.</p> <p>ПК-3.3. Умеет разрабатывать топологию интегральных микросхем.</p> <p>ПК-3.4. Умеет программировать микропроцессоры и микроконтроллеры.</p> <p>ПК-3.5. Владеет навыками принципиальных и монтажных электрических схем.</p>	<p>Знать: принципы конструирования установок просвечивающей электронной микроскопии, ионно-полевой микроскопии, сканирующей микроскопии, спектроскопии; принципы конструирования солнечных элементов на основе нанокристаллических материалов; основы конструирования технологического оборудования для реализации методов получения наноструктур; перспективные технологии синтеза наноструктур и их технологическое обеспечение;</p> <p>Уметь: выполнить оценочные расчеты режима работы установки для термического испарения в вакууме; Разрабатывать топологию устройств наноэлектроники; программировать микроконтроллеры и другие</p>

		программируемые приборы микро и наноэлектроники; Владеть: навыками разработки принципиальных схем микроэлектроники и наноэлектроники.
--	--	--

## 4. Структура и содержание дисциплины

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

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
<b>Общая учебная нагрузка (всего)</b>	<b>252</b> (7зач. ед)	<b>252</b> (7зач. ед)
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b> <b>в том числе:</b>	<b>121</b>	<b>36</b>
Лекции	58	16
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	17	4
Лабораторные работы	46	16
Курсовая работа (курсовой проект)	36	36
Другие формы и методы организации образовательного процесса ( <i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i> )	-	-
<b>Самостоятельная работа студента (всего)</b>	<b>131</b>	<b>216</b>
Форма аттестации	экзамен	экзамен

### 4.2. Содержание разделов дисциплины

Семестр 6

#### Тема 1. Методы измерения наноструктур.

Основные сведения о дисциплине «Основы наноэлектроники». Возникновение нанотехнологий. Развитие нанотехнологий. Наномир и законы физики. Особенности наноэлектроники.

Определение структуры наноматериалов. Определение размеров частиц. Структура поверхности. Микроскопия.

Просвечивающая электронная микроскопия. Ионно-полевая микроскопия. Сканирующая микроскопия. Методы спектроскопии.

#### Тема 2. Методы синтеза наноструктур.

Методы синтеза наноструктур. Газофазный синтез. Плазмохимический синтез. Химическое восстановление. Реакции в мицеллах, эмульсиях и дендримерах. Криохимический синтез.

Термическое разложение и восстановление. Механосинтез. Детонационный синтез и электровзрыв.

Синтез высокодисперсных оксидов в жидких металлах. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Кристаллизация аморфных сплавов.

### **Тема 3. Кремниевая одноэлектроника.**

Кремниевая одноэлектроника. Параметры квантовых точек. Базовая теория кулоновской блокады.

Кулоновская лестница. Сотуннелирование. Квантово-размерные эффекты. Влияние внешних переменных полей на квантовые кулоновские точки. Эффекты, связанные с кулоновской блокадой.

Реализация одноэлектронных приборов. Кремниевые одноэлектронные приборы. Квантовые точки Ge в МДП-структурах.

### **Тема 4. Оптические и фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур Si-Ge.**

Квантовые точки Ge в фототранзисторных структурах. Оптические и фотоэлектрические свойства наноразмерных структур Si-Ge.

Фотолюминесценция на структурах Si-Ge, полученных с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии. Si-Ge-структуры с квантовыми точками.

### **Тема 5. Методы получения самоорганизованных Ge-Si-наноструктур.**

Фундаментальные предпосылки. Формирование трехмерных островков в системе Ge-Si. Размеры и плотность островков. Особенности создания гетероструктур Si-Ge с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии.

### **Тема 6. Методы получения наноструктур.**

Буферные слои с изменяющимся параметром решетки. Факторы, влияющие на процесс упорядочения. Эффекты упорядочения при формировании наноструктур на основе SiGe/Si.

Формирование квантовых объектов на поверхности (001). Формирование квантовых объектов на поверхности (111). Формирование квантовых объектов на ребре (101)-(001).

### **Тема 7. Свойства самоорганизованных Si-Ge-наноструктур.**

Свойства самоорганизованных Si-Ge-наноструктур, полученных методом ионной имплантации. Механизм вязкого течения аморфного материала при наличии радиационных дефектов. Получение наноразмерных Si-Ge-структур методом термического испарения.

## **Семестр 7**

### **Тема 8. Получение нанокристаллов кремния различными способами.**

Получение нанокристаллических пленок кремния методом CVD. Нанокристаллы кремния, полученные с помощью электрохимического процесса. Образование собственных нанокристаллов в монокристаллическом

кремнии. Нанокристаллы кремния в матрице аморфного кремния. Получение нанокристаллов кремния через образование пористого кремния.

### **Тема 9. Солнечные и термоэлектрические преобразователи энергии на наноструктурах.**

Солнечные преобразователи энергии. Глобальные энергетические проблемы. Солнечные элементы на основе нанокристаллических материалов.

Фотоэлектрохимические солнечные элементы. Солнечные элементы на основе двух наноразмерных структур. Солнечные элементы на полупроводниковых 1D наноструктурах.

### **Тема 10. Наностолбчатые фотопреобразователи. Термоэлектрические преобразователи энергии.**

Солнечные элементы на основе наностолбчатых материалов. Наностолбчатые фотогальванические преобразователи. Материалы для солнечных ячеек. Фотогальванические ячейки на подложке из оксида алюминия. Изготовление подложек алюминия. Преобразование энергии в солнечных ячейках. Конструкции наностолбчатых ячеек на полупроводниковых подложках.

Термоэлектрические явления. Применение наноразмерных структур для термоэлектрических преобразователей энергии. Наноматериалы халькогенидов висмута и сурьмы.

### **Тема 11. Фотоника волноводных наноразмерных структур. Практическая реализация световодов с фотонно-кристаллической структурой.**

Оптические волокна с фотонно-кристаллической структурой. Формирование фотонной запрещенной зоны с помощью субмикронных брэгговских решеток. Волоконные световоды с брэгговскими решетками.

Сенсоры на основе оптических волноводов с фотонно-кристаллической структурой. Периодические доменные структуры в сегнетоэлектрических кристаллах. Образование сегнетоэлектрических доменов в электрических полях.

### **Тема 12. Микро- и нанoeлектро-механические системы. Технологии изготовления элементов микро-механики.**

Микро и наномеханические приборы. Тенденции развития микро- и наносистемной техники. Практическое применение микро- и нанoeлектро-механических приборов и устройств. Гироскопы.

Основные технологические процессы изготовления элементов микро-механики. Кремниевые технологии. Соединение подложек и фрагментов структуры. Создание структур кремний на изоляторе для формирования микро- и наносистем.

Перспективы развития технологии кремний на изоляторе. Синтез высокодисперсных материалов для структур КНИ и МЭМС. Изготовление многоуровневых структур. Формирование чувствительных элементов.

## **4.3. Лекции**

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
	Семестр 6		
1	Методы измерения наноструктур.	6	1
2	Методы синтеза наноструктур.	6	1
3	Кремниевая одноэлектроника.	6	1
4	Оптические и фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур Si-Ge.	4	1
5	Методы получения самоорганизованных Ge-Si-наноструктур.	4	1
6	Методы получения наноструктур	4	2
7	Свойства самоорганизованных Si-Ge-наноструктур.	4	1
	Семестр 7		
8	Получение нанокристаллов кремния различными способами.	4	2
9	Солнечные и термоэлектрические преобразователи энергии на наноструктурах.	6	2
10	Наностолбчатые фотопреобразователи. Термоэлектрические преобразователи энергии.	6	2
11	Фотоника волноводных наноразмерных структур. Практическая реализация световодов с фотонно-кристаллической структурой.	6	2
12	Микро- и наноэлектромеханические системы. Технологии изготовления элементов микромеханики.	2	-
<b>Итого:</b>		<b>58</b>	<b>16</b>

#### 4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
	Семестр 6		
1	Теоретическое моделирование наночастиц.	1	1
2	Энергетический спектр кристаллов с квантовыми точками.	1	-
3	Методы измерения наноструктур. Методы синтеза наноструктур.	1	1
4	Компьютерное моделирование энергетического спектра кристаллов с квантовыми точками.	1	1
5	Цифровые отображения наноструктур.	1	-
6	Кремниевая одноэлектроника. Оптические и фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур Si-Ge.	1	1
7	Методы получения самоорганизованных Ge-Si-наноструктур.	1	-
8	Методы получения наноструктур. Свойства самоорганизованных Si-Ge-наноструктур. (Коллоквиум)	2	-
	Семестр 7		
9	Непрерывная модель формирования квантовых точек.	1	-
10	Расчет периодических структур.	1	-
11	Получение нанокристаллов кремния различными способами. Солнечные и термоэлектрические преобразователи энергии на наноструктурах.	1	
12	Методы расчета гетероструктур с наноструктурами.	1	



13	Наностолбчатые фотопреобразователи. Термоэлектрические преобразователи энергии.	1	
14	Фотоника волноводных наноразмерных структур. Практическая реализация световодов с фотонно-кристаллической структурой.	1	-
15	Микро- и наноэлектромеханические системы. Технологии изготовления элементов микромеханики.	2	-
<b>Итого:</b>		<b>17</b>	<b>4</b>

#### 4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
	Семестр 6		
1	КНИ-транзисторы.	4	2
2	Транзисторы на структурах Si-Ge.	4	2
3	Многозатворные транзисторы.	4	2
4	Гетеротранзисторы на квантовых точках.	4	2
5	Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок.	2	-
6	Спиновой нанотранзистор.	2	-
7	Наноэлектромеханический транзистор.	2	-
8	Устройства на одноэлектронных транзисторах.	4	-
	Семестр 7		
9	Приборы на магнитостатических волнах.	2	2
10	Приборы спинтроники.	4	2
11	Квантовые компьютеры.	4	-
12	Молекулярные транзисторы и элементы логики.	4	2
13	Органические транзисторы и диоды.	2	-
14	Нанопроводники.	2	2
15	Эластичная электроника.	2	-
<b>Итого:</b>		<b>46</b>	<b>16</b>

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
	Семестр 6			
1	Методы измерения наноструктур. Методы синтеза наноструктур.	Подготовка к практическому занятию	1	9
		Подготовка к тестированию	1	9
2	Кремниевая одноэлектроника. Оптические и фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур Si-Ge.	Подготовка к практическому занятию	1	9
		Подготовка к тестированию	1	9
3	Методы получения самоорганизованных Ge-Si-наноструктур.	Подготовка к практическому занятию	1	9
		Подготовка к тестированию	1	9
4	Методы получения наноструктур. Свойства	Подготовка к практическому занятию	1	9
		Подготовка к тестированию	2	7

	самоорганизованных Si-Ge-наноструктур.			
5	Экзамен по дисциплине	Подготовка к семестровому экзамену	36	36
	Семестр 7			
6	Получение нанокристаллов кремния различными способами. Солнечные и термоэлектрические преобразователи энергии на наноструктурах.	Подготовка к практическому занятию	1	5
		Подготовка к тестированию	1	5
7	Наностолбчатые фотопреобразователи. Термоэлектрические преобразователи энергии.	Подготовка к практическому занятию	1	5
		Подготовка к тестированию	1	5
8	Практическая реализация световодов с фотонно-кристаллической структурой.	Подготовка к практическому занятию	1	5
		Подготовка к тестированию	1	5
9	Микро- и наноэлектромеханические системы. Технологии изготовления элементов микромеханики.	Подготовка к практическому занятию	1	5
		Подготовка к тестированию	7	3
10	Курсовая работа по дисциплине	Подготовка и оформление курсовой работы	36	36
11	Экзамен по дисциплине	Подготовка к семестровому экзамену	36	36
<b>Итого:</b>			<b>131</b>	<b>216</b>

#### 4.7. Курсовые работы/проекты

Учебным планом предусмотрено выполнение студентами курсовой работы в 7 семестре обучения. Тематика курсовой работы – моделирование движения электронов в системах с одномерными прямоугольными потенциальными барьерами с использованием физико-математических моделей движения заряженных частиц в многослойных полупроводниковых структурах и специальных программ для моделирования в среде MatLab.

#### 5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам

активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования;

технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

## **6. Формы контроля освоения дисциплины**

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем(ями), ведущими лабораторные работы и практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- контрольные вопросы к курсовой работе;
- вопросы к лабораторным работам;
- тесты;
- вопросы к экзамену.

Фонды оценочных средств, включающие контрольные вопросы, вопросы коллоквиумов, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины проходит в форме устного экзамена (включает в себя ответ на теоретические вопросы), защита курсовой работы. Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Характеристика знания предмета и ответов	Экзамены
Обучающийся глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	отлично (5)
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	хорошо (4)
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.	удовлетворительно (3)
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы	неудовлетворительно (2)

## 7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная литература:

1. Щука А.А. Нанозлектроника [Электронный ресурс] / Щука А.А.; под ред. А.С. Сигова. - М.: БИНОМ, 2012. - 342 с. - ISBN 978-5-9963-1055-5 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996310555.html>

2. Мальцев П.П. Системы на кристалле со встроенными антеннами на наногетероструктурах АЗВ5 [Электронный ресурс] / Под редакцией д.т.н., профессора П.П. Мальцева - М.: Техносфера, 2019. - 528 с. - ISBN 978-5-94836-526-8 – Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. – Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948365268.html>

### б) Дополнительная литература:

1. Драгунов В.П. Микро- и нанозлектроника [Электронный ресурс] / Драгунов В.П., Остертак Д.И. - Новосиб.: НГТУ, 2012. - 38 с.: ISBN 978-5-7782-2095-9 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/547779>

2. Игнатов А.Н. Классическая электроника и нанозлектроника [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Н. Игнатов [и др.]. — 3-е изд., стер. -

Москва: ФЛИНТА, 2017. - 728 с. - ISBN 978-5-9765-0263-5. - Текст: электронный.  
- URL: <https://new.znaniyum.com/catalog/product/1032535>

3. Келсалл Р. Научные основы нанотехнологий и новые приборы [Электронный ресурс]: Учебник-монография / Под ред. Келсалл Р. - Долгопрудный: Интеллект, 2011. - 528 с. ISBN 978-5-91559-048-8 - Режим доступа: <http://znaniyum.com/catalog/product/319358>

4. Зевайль А. Трехмерная электронная микроскопия в реальном времени [Электронный ресурс]: Учебное пособие / А. Зевайль, Д. Томас; Пер. с англ. А.В. Сухова. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 328 с.: ил.; 60x90 1/16. (обложка) ISBN 978-5-91559-102-7 - Режим доступа: <http://znaniyum.com/catalog/product/438915>

в) Методические рекомендации/указания:

1. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Наноэлектроника» (для студентов, обучающихся по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль 11.03.04.02 «Электронные приборы и устройства») / Сост.: В.А. Войтенко, Г.О. Войтенко. – Луганск: Изд-во ГОУВПО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля», 2016. – 45 с.

2. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Основы наноэлектроники» (для студентов направления «Микро- и наноэлектроника») / Сост.: Г.Н. Кожемякин. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2014 – 22с.

3. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Основы наноэлектроники» (для студентов, обучающихся по направлению 6.050801 «Микро- и наноэлектроника») / Сост.: Кожемякин Г.Н. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2014 – 22с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Далевский педагогический портал – <http://ped.dahluniver.ru/>

**Электронные библиотечные системы и ресурсы**

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Университетская библиотека On-line – <http://www.biblioclub.ru>

Научная электронная библиотека eLIBRARY – <http://elibrary.ru>

**Информационный ресурс библиотеки образовательной организации**

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

**Научные журналы**

"GNU Scientific Library" (GSL - библиотека для научных вычислений проекта GNU): <http://www.gnu.org/software/gsl>.

Система схемотехнического моделирования LTSpice IV. Краткое руководство: <http://zpostbox.ru/ltspice.html>.

Электронные компоненты: <http://www.elitan.ru/>.

Навигатор по профессиональным электронным ресурсам – [http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav\\_ei.htm](http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav_ei.htm)

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекционные занятия проводятся с использованием комплекта электронных презентаций в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).

Лабораторные работы проводятся с использованием некомпьютеризированных и компьютеризированных лабораторных стендов, пакета специализированных компьютерных программ, компьютерной математической среды MATLAB.

Рабочие места преподавателя и студентов в учебной лаборатории оснащены компьютерами с доступом в Интернет, предназначенными для работы в указанных специализированных компьютерных программах и средах.

Программное обеспечение:

<b>Функциональное назначение</b>	<b>Бесплатное программное</b>	<b>Ссылки</b>
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	<a href="https://www.libreoffice.org/">https://www.libreoffice.org/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice">https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice</a>
Операционная система	UBUNTU 19.04	<a href="https://ubuntu.com/">https://ubuntu.com/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu">https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu</a>
Браузер	Firefox Mozilla	<a href="http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx">http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx</a>
Браузер	Opera	<a href="http://www.opera.com">http://www.opera.com</a>
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	<a href="http://www.mozilla.org/ru/thunderbird">http://www.mozilla.org/ru/thunderbird</a>
Файл-менеджер	Far Manager	<a href="http://www.farmanager.com/download.php">http://www.farmanager.com/download.php</a>
Архиватор	7Zip	<a href="http://www.7-zip.org/">http://www.7-zip.org/</a>
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	<a href="http://www.gimp.org/">http://www.gimp.org/</a> <a href="http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8">http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8</a> <a href="http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP">http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP</a>

Редактор PDF	PDFCreator	<a href="http://www.pdfforge.org/pdfcreator">http://www.pdfforge.org/pdfcreator</a>
Аудиоплеер	VLC	<a href="http://www.videolan.org/vlc/">http://www.videolan.org/vlc/</a>

## 8. Оценочные средства по дисциплине

### Паспорт фонда оценочных средств по учебной дисциплине «Наноэлектроника»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-1	Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроник и различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Тема 1 Методы измерения наноструктур	1
				Тема 2 Методы синтеза наноструктур	1
				Тема 3 Кремниевая одноэлектроника	1
				Тема 4 Оптические и фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур Si-Ge	1
				Тема 5 Методы получения самоорганизованных Ge-Si-наноструктур	1
				Тема 6 Методы получения наноструктур.	1
				Тема 7 Свойства самоорганизованных Si-Ge-наноструктур	1
				Тема 8 Получение нанокристаллов кремния	2

				различными способами	
				Тема 9 Солнечные и термоэлектрические преобразователи энергии на наноструктурах	2
				Тема 10 Наностолбчатые фотопреобразователи. Термоэлектрические преобразователи энергии	2
				Тема 11 Фотоника волноводных наноразмерных структур. Практическая реализация световодов с фотонно-кристаллической структурой	2
				Тема 12 Микро- и нано-электромеханические системы. Технологии изготовления элементов микромеханики	2
2.	ПК-3	Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	ПК-3.1. ПК-3.2. ПК-3.3. ПК-3.4. ПК-3.5.	Тема 1 Методы измерения наноструктур	1
				Тема 2 Методы синтеза наноструктур	1
				Тема 3 Кремниевая одноэлектроника	1
				Тема 4 Оптические и фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур Si-Ge	1
				Тема 5 Методы получения самоорганизованных Ge-Si-наноструктур	1



				Тема 6 Методы получения наноструктур.	1
				Тема 7 Свойства самоорганизованных Si-Ge-наноструктур	1
				Тема 8 Получение нанокристаллов кремния различными способами	2
				Тема 9 Солнечные и термоэлектрические преобразователи энергии на наноструктурах	2
				Тема 10 Наностолбчатые фотопреобразователи. Термоэлектрические преобразователи энергии	2
				Тема 11 Фотоника волноводных наноразмерных структур. Практическая реализация световодов с фотонно-кристаллической структурой	2
				Тема 12 Микро- и наномеханические системы. Технологии изготовления элементов микромеханики	2

### Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемо	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
-------	--------------------------------	--	----------------------------------	--	----------------------------------

		й дисциплине )			
1.	ПК-1	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	<p>Знать: математическое описание наноструктур, оптических и фотоэлектрических явлений в квантово-размерных структурах; математическое описание работы солнечных и термоэлектрических преобразователей энергии на наноструктурах; теорию фотолюминесценции и на структурах Si-Ge;</p> <p>Уметь: строить математические модели физических процессов, протекающих в структурах и приборах нанoeлектроники; осуществлять поиск информации по математическому моделированию наноструктур и их свойств с использованием информационных технологий;</p> <p>Владеть: навыками компьютерного моделирования периодических структур; навыками работы с программным обеспечением для постановки компьютерных экспериментов; навыками компьютерного моделирования</p>	<p>Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12,</p> <p>Практическое занятие 1, Практическое занятие 2, Лабораторная работа 1, Лабораторная работа 2, Курсовая работа по теме: моделирование движения электронов в системах с одномерными прямоугольными потенциальными барьерами с использованием физико-математических моделей движения заряженных частиц в многослойных полупроводниковых структурах и специальных программ для моделирования в среде MatLab.</p>	<p>Контрольные вопросы курсовой работе, вопросы к лабораторным работам, тесты, вопросы к экзамену</p>

			работы электронных приборов на основе наноструктур;		
2.	ПК-3	ПК-3.1. ПК-3.2. ПК-3.3. ПК-3.4. ПК-3.5.	<p>Знать: принципы конструирования установок просвечивающей электронной микроскопии, ионно-полевой микроскопии, сканирующей микроскопии, спектроскопии;</p> <p>принципы конструирования солнечных элементов на основе нанокристаллических материалов; основы конструирования технологического оборудования для реализации методов получения наноструктур; перспективные технологии синтеза наноструктур и их технологическое обеспечение;</p> <p>Уметь: выполнить оценочные расчеты режима работы установки для термического испарения в вакууме;</p> <p>Разрабатывать топологию устройств наноэлектроники; программировать микроконтроллеры и другие программируемые приборы микро и наноэлектроники;</p> <p>Владеть: навыками разработки принципиальных</p>	<p>Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12,</p> <p>Практическое занятие 3, Практическое занятие 4, Лабораторная работа 3, Лабораторная работа 4, Курсовая работа по теме: моделирование движения электронов в системах с одномерными прямоугольными потенциальными барьерами с использованием физико-математических моделей движения заряженных частиц в многослойных полупроводниковых структурах и специальных программ для моделирования в среде MatLab.</p>	<p>Контрольные вопросы курсовой работе, вопросы к лабораторным работам, тесты, вопросы к экзамену</p>

			схем микроэлектроники и наноэлектроники.		
--	--	--	--	--	--

## Фонды оценочных средств по дисциплине «Наноэлектроника»

### Контрольные вопросы к курсовой работе:

1. Назовите предпосылки возникновения нанотехнологий.
2. Охарактеризуйте этапы развития нанотехнологий.
3. Что представляет собой наномир с позиции законов физики?
4. Каковы особенности наноэлектроники как науки?
5. Каковы трудности в определении структуры наноматериалов?
6. Перечислите методы определения размеров наночастиц.
7. Какими методами определяют структуру поверхности материала?
8. В чем заключается суть метода просвечивающая электронная микроскопия?
9. В чем заключается суть метода ионно-полевая микроскопия?
10. В чем заключается суть метода сканирующая микроскопия?
11. Перечислите методы синтеза наноструктур и охарактеризуйте газофазный синтез.
12. В чем заключается суть метода плазмохимический синтез?
13. В чем заключается суть химического восстановления?
14. Как протекают реакции в мицеллах, эмульсиях и дендримерах?
15. В чем заключается суть метода криохимический синтез?
16. В чем заключается суть термического разложения и восстановления?
17. В чем заключается суть метода механосинтез?
18. Охарактеризуйте детонационный синтез и взрывозрыв.
19. Как происходит синтез высокодисперсных оксидов в жидких металлах?
20. В чем заключается суть метода самораспространяющийся высокотемпературный синтез?
21. Как происходит кристаллизация аморфных сплавов?
22. Назовите параметры квантовых точек.
23. Изложите базовую теорию кулоновской блокады.
24. В чем заключается суть термина кулоновская лестница?
25. Как влияют внешние переменные поля на квантовые кулоновские точки?
26. Какие возникают эффекты, связанные с кулоновской блокадой?
27. Как реализуют кремниевые одноэлектронные приборы?
28. Опишите особенности квантовых точек Ge в МДП-структурах.
29. Опишите особенности квантовых точек Ge в фототранзисторных структурах.
30. Каковы оптические и фотоэлектрические свойства наноразмерных структур Si-Ge?
31. Как происходит фотолюминесценция на структурах Si-Ge, полученных с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии?

32. Назовите фундаментальные предпосылки для получения самоорганизованных Ge-Si наноструктур.
33. Как происходит формирование трехмерных островков в системе Ge-Si?
34. Каковы размеры и плотность Ge-Si островков?
35. Каковы особенности создания гетероструктур Si-Ge с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии?
36. Назовите факторы, влияющие на процесс упорядочения островков.
37. Перечислите свойства самоорганизованных Si-Ge-наноструктур, полученных методом ионной имплантации.
38. В чем состоит механизм вязкого течения аморфного материала при наличии радиационных дефектов?
39. Как получают наноразмерные Si-Ge-структур методом термического испарения?
40. Каковы особенности получения нанокристаллических пленок кремния методом химического осаждения из газовой фазы?
41. Как получают нанокристаллы кремния с помощью электрохимического процесса?
42. Каков механизм образования собственных нанокристаллов в монокристаллическом кремнии?
43. Как получают нанокристаллы кремния в матрице аморфного кремния?
44. Каковы особенности получения нанокристаллов кремния через образование пористого кремния?
45. Перечислите основные технологические процессы изготовления элементов микромеханики.
46. Как происходит создание структур кремний на изоляторе для формирования микро- и наносистем?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольные вопросы к курсовой работе

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией)
4	Ответ представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности)
3	Ответ представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией)
2	Ответ представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов отвечать)

### Вопросы к лабораторным работам:

1. Возникновение нанотехнологий.

2. Развитие нанотехнологий.
3. Наномир и законы физики.
4. Особенности нанoeлектроники.
5. Определение структуры.
6. Определение размеров частиц.
7. Структура поверхности.
8. Просвечивающая электронная микроскопия.
9. Ионно-полевая микроскопия.
10. Сканирующая микроскопия.
11. Методы синтеза наноструктур. Газофазный синтез.
12. Плазмохимический синтез.
13. Химическое восстановление.
14. Реакции в мицеллах, эмульсиях и дендримерах.
15. Криохимический синтез.
16. Термическое разложение и восстановление.
17. Механосинтез.
18. Детонационный синтез и электровзрыв.
19. Синтез высокодисперсных оксидов в жидких металлах.
20. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез.
21. Кристаллизация аморфных сплавов.
22. Параметры квантовых точек.
23. Базовая теория кулоновской блокады.
24. Кулоновская лестница.
25. Сотуннелирование, Квантово-размерные эффекты.
26. Влияние внешних переменных полей на квантовые кулоновские точки.
27. Эффекты, связанные с кулоновской блокадой.
28. Реализация одноэлектронных приборов.
29. Кремниевые одноэлектронные приборы.
30. Квантовые точки Ge в МДП-структурах.
31. Квантовые точки Ge в фототранзисторных структурах.
32. Оптические и фотоэлектрические свойства наноразмерных структур Si-Ge.
33. Фотолюминесценция на структурах Si-Ge, полученных с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии.
34. Si-Ge-структуры с квантовыми точками.
35. Фундаментальные предпосылки для получения самоорганизованных Ge-Si наноструктур.
36. Формирование трехмерных островков в системе Ge-Si.
37. Размеры и плотность Ge-Si островков.
38. Особенности создания гетероструктур Si-Ge с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии.
39. Буферные слои с изменяющимся параметром решетки.
40. Факторы, влияющие на процесс упорядочения островков.
41. Эффекты упорядочения при формировании наноструктур на основе SiGe/Si: Формирование квантовых объектов на поверхности (001), (111) и на ребре (101)-(001).

42. Свойства самоорганизованных Si-Ge-наноструктур, полученных методом ионной имплантации.
43. Механизм вязкого течения аморфного материала при наличии радиационных дефектов.
44. Получение наноразмерных Si-Ge-структур методом термического испарения.
45. Получение нанокристаллических пленок кремния методом химического осаждения из газовой фазы (CVD).
46. Нанокристаллы кремния, полученные с помощью электрохимического процесса.
47. Образование собственных нанокристаллов в монокристаллическом кремнии.
48. Нанокристаллы кремния в матрице аморфного кремния.
49. Получение нанокристаллов кремния путем образования пористого кремния.
50. Солнечные преобразователи энергии.
51. Глобальные энергетические проблемы.
52. Солнечные элементы на основе нанокристаллических материалов.
53. Фотоэлектрохимические солнечные элементы.
54. Солнечные элементы на основе двух наноразмерных структур.
55. Солнечные элементы на полупроводниковых 1D наноструктурах.
56. Наностолбчатые фотопреобразователи.
57. Солнечные элементы на основе наностолбчатых материалов.
58. Наностолбчатые фотогальванические преобразователи.
59. Материалы для солнечных ячеек.
60. Фотогальванические ячейки на подложке из оксида алюминия. Изготовление подложек алюминия.
61. Преобразование энергии в солнечных ячейках.
62. Конструкции наностолбчатых ячеек на полупроводниковых подложках.
63. Термоэлектрические преобразователи энергии.
64. Термоэлектрические явления. Применение наноразмерных структур для термоэлектрических преобразователей энергии.
65. Наноматериалы халькогенидов висмута и сурьмы.
66. Оптические волокна с фотонно-кристаллической структурой.
67. Формирование фотонной запрещенной зоны с помощью субмикронных брэгговских решеток.
68. Волоконные световоды с брэгговскими решетками.
69. Сенсоры на основе оптических волноводов с фотонно-кристаллической структурой.
70. Периодические доменные структуры в сегнетоэлектрических кристаллах.
71. Образование сегнетоэлектрических доменов в электрических полях.
72. Микро и наномеханические приборы. Тенденции развития микро- и наносистемной техники.
73. Практическое применение микро- и наноэлектромеханических приборов и устройств. Гироскопы.

74. Основные технологические процессы изготовления элементов микромеханики. Кремниевые технологии.
75. Соединение подложек и фрагментов структуры.
76. Создание структур кремний на изоляторе для формирования микро- и наносистем.
77. Перспективы развития технологии кремний на изоляторе.
78. Синтез высокодисперсных материалов для структур КНИ и МЭМС.
79. Изготовление многоуровневых структур. Формирование чувствительных элементов.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству вопросы к лабораторным работам

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответы представлены на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 90-100% вопросов)
4	Ответы представлены на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности, правильные ответы даны на 75-89% вопросов)
3	Ответы представлены на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 50-74% вопросов)
2	Ответы представлены на неудовлетворительном уровне или не представлены (студент не готов отвечать или правильные ответы даны менее чем на 50% вопросов)

### Тесты:

1. Нанoeлектроника изучает:
  - а) структуры, состоящие из чередующихся полупроводниковых слоев с различными электрофизическими свойствами;
  - б) полупроводниковые приборы, размеры которых составляют единицы микрометров;
  - в) интегральные микросхемы большой степени интеграции.
  
2. Структуры, состоящие из чередующихся полупроводников с различными электрофизическими свойствами, отличаются от свойств однородных полупроводников потому что:
  - а) в них присутствуют дополнительные резкие изменения потенциала;
  - б) имеют разную толщину;
  - в) получаются путем эпитаксиального наращивания.
  
3. Наиболее часто для описания свойств многослойных структур используют метод:
  - а) контурных токов;



- б) огибающих волновых функций;
  - в) узловых потенциалов.
4. Задача рассеивания частиц на потенциальной ступеньке сводится к:
- а) решению общего уравнения Шредингера;
  - б) решению стационарного одномерного уравнения Шредингера;
  - в) отысканию максимума волновой функции.
5. Коэффициент прохождения частиц через потенциальную ступеньку зависит от:
- а) энергии частицы;
  - б) высоты потенциальной ступеньки;
  - в) отношения энергии частицы к высоте потенциальной ступеньки.
6. Коэффициент отражения частиц от потенциальной ступеньки зависит от:
- а) энергии частицы;
  - б) высоты потенциальной ступеньки;
  - в) отношения энергии частицы к высоте потенциальной ступеньки.
7. Для определения коэффициентов отражения и прохождения через потенциальный барьер конечной ширины требуется решение:
- а) уравнений Шредингера для трех областей;
  - б) уравнений Шредингера для двух областей;
  - в) уравнений Шредингера для одной области внутри потенциального барьера.
8. Туннельный эффект – это:
- а) проникновение частицы с энергией  $E < U$  через потенциальный барьер;
  - б) проникновение частицы с энергией  $E = U$  через потенциальный барьер;
  - в) проникновение частицы с энергией  $E > U$  через потенциальный барьер;
9. Проницаемость потенциального барьера для частиц, падающих на барьер:
- а) слева больше, чем справа;
  - б) одинакова с обеих сторон;
  - в) справа больше, чем слева.
10. При пролете частицы над потенциальным барьером коэффициенты отражения и прохождения:
- а) остаются постоянными;
  - б) испытывают осцилляции;
  - в) увеличиваются при увеличении энергии частицы.
11. При надбарьерном пролете частицы с изменением ее энергии:
- а) вероятность прохождения будет увеличиваться;
  - б) вероятность отражения будет уменьшаться;

в) будут наблюдаться осцилляции коэффициентов прохождения и отражения.

12. При надбарьерном прохождении частиц амплитуда осцилляций будет:

а) постоянна;

б) зависеть от энергии частицы;

в) зависеть от отношения высоты потенциального барьера к энергии  $n$ -ого уровня частицы.

13. При надбарьерном прохождении частиц амплитуда осцилляций коэффициентов отражения и прохождения будет с ростом отношения  $U / E$ :

а) возрастать;

б) уменьшаться;

в) не изменится.

14. При надбарьерном пролете частиц существует вероятность:

а) отражения частицы от резких изменений потенциала на границах потенциального барьера;

б) поглощения частиц потенциальным барьером;

в) рекомбинации электронов и дырок внутри потенциального барьера.

15. При надбарьерном пролете частиц плотность частиц внутри потенциального барьера:

а) больше, чем перед барьером;

б) больше, чем после барьера;

в) такая же, как за пределами барьера.

16. Прохождение частицы над потенциальной ямой приводит к:

а) изменению энергии частицы;

б) осцилляциям коэффициентов прохождения и отражения;

в) отражению частиц от потенциальной ямы.

17. Амплитуда осцилляций коэффициентов прохождения и отражения при прохождении частицы над потенциальной ямой с увеличением отношения глубины потенциальной ямы к энергии частицы:

а) не изменяется;

б) уменьшается;

в) увеличивается.

18. Энергия частицы в потенциальной яме:

а) не меняется;

б) увеличивается;

в) оказывается квантованной.

19. Симметричная одномерная потенциальная яма:

а) всегда имеет не менее одного энергетического уровня;

- б) не имеет энергетических уровней;
- в) всегда имеет более одного энергетического уровня.

20. Двухмерная потенциальная яма:

- а) может не иметь ни одного энергетического уровня;
- б) всегда имеет один энергетический уровень;
- в) всегда имеет более одного энергетического уровня.

21. Согласно классической механике частица, имеющая малую энергию:

- а) может быть захвачена потенциальной ямой;
- б) всегда будет захвачена потенциальной ямой;
- в) не может быть захвачена потенциальной ямой.

22. Согласно квантовой механике частица, имеющая малую энергию:

- а) всегда будет захвачена потенциальной ямой;
- б) может быть захвачена потенциальной ямой;
- в) не может быть захвачена потенциальной ямой.

23. В случае прямоугольной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками на ширине ямы укладывается:

- а) три длины волны де Бройля;
- б) дробное число волн де Бройля;
- в) целое число волн де Бройля.

24. В случае движения частиц над потенциальной ямой:

- а) энергия частицы должна быть выше глубины потенциальной ямы;
- б) энергия частицы должна быть равна глубине потенциальной ямы;
- в) возможно отражение частиц от областей с резким изменением потенциала.

25. При прохождении частицы над потенциальной ямой:

- а) частица либо отразится, либо пройдет над потенциальной ямой;
- б) частица пройдет над потенциальной ямой;
- в) частица будет захвачена потенциальной ямой.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству тесты

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Тесты выполнены на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% тестов)
4	Тесты выполнены на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% тестов)
3	Тесты выполнены на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% тестов)
2	Тесты выполнены на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50% тестов)

## Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен)

1. Просвечивающая электронная микроскопия.
2. Ионно-полевая микроскопия.
3. Сканирующая микроскопия.
4. Методы синтеза наноструктур. Газофазный синтез.
5. Плазмохимический синтез.
6. Криохимический синтез.
7. Термическое разложение и восстановление.
8. Механосинтез.
9. Детонационный синтез и электровзрыв.
10. Синтез высокодисперсных оксидов в жидких металлах.
11. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез.
12. Кристаллизация аморфных сплавов.
13. Параметры квантовых точек.
14. Базовая теория кулоновской блокады.
15. Кулоновская лестница.
16. Сотуннелирование.
17. Влияние внешних переменных полей на квантовые кулоновские точки.
18. Кремниевые одноэлектронные приборы.
19. Квантовые точки Ge в МДП-структурах.
20. Квантовые точки Ge в фототранзисторных структурах.
21. Оптические и фотоэлектрические свойства наноразмерных структур Si-Ge.
22. Фотолюминесценция на структурах Si-Ge, полученных с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии.
23. Si-Ge-структуры с квантовыми точками.
24. Формирование трехмерных островков в системе Ge-Si.
25. Особенности создания гетероструктур Si-Ge с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии.
26. Буферные слои с изменяющимся параметром решетки.
27. Факторы, влияющие на процесс упорядочения островков.
28. Эффекты упорядочения при формировании наноструктур на основе SiGe/Si: Формирование квантовых объектов на поверхности (001), (111) и на ребре (101)-(001).
29. Свойства самоорганизованных Si-Ge-наноструктур, полученных методом ионной имплантации.
30. Получение наноразмерных Si-Ge-структур методом термического испарения.
31. Получение нанокристаллических пленок кремния методом химического осаждения из газовой фазы (CVD).
32. Нанокристаллы кремния, полученные с помощью электрохимического процесса.
33. Образование собственных нанокристаллов в монокристаллическом кремнии.

34. Нанокристаллы кремния в матрице аморфного кремния.
35. Получение нанокристаллов кремния путем образования пористого кремния.
36. Солнечные преобразователи энергии.
37. Глобальные энергетические проблемы.
38. Солнечные элементы на основе нанокристаллических материалов.
39. Фотоэлектрохимические солнечные элементы.
40. Солнечные элементы на основе двух наноразмерных структур.
41. Солнечные элементы на полупроводниковых 1D наноструктурах.
42. Наностолбчатые фотопреобразователи.
43. Солнечные элементы на основе наностолбчатых материалов.
44. Наностолбчатые фотогальванические преобразователи.
45. Материалы для солнечных ячеек.
46. Фотогальванические ячейки на подложке из оксида алюминия. Изготовление подложек алюминия.
47. Преобразование энергии в солнечных ячейках.
48. Конструкции наностолбчатых ячеек на полупроводниковых подложках.
49. Термоэлектрические преобразователи энергии.
50. Термоэлектрические явления. Применение наноразмерных структур для термоэлектрических преобразователей энергии.
51. Наноматериалы халькогенидов висмута и сурьмы.
52. Оптические волокна с фотонно-кристаллической структурой.
53. Формирование фотонной запрещенной зоны с помощью субмикронных брэгговских решеток.
54. Волоконные световоды с брэгговскими решетками.
55. Сенсоры на основе оптических волноводов с фотонно-кристаллической структурой.
56. Периодические доменные структуры в сегнетоэлектрических кристаллах.
57. Образование сегнетоэлектрических доменов в электрических полях.
58. Микро и наномеханические приборы. Тенденции развития микро- и наносистемной техники.
59. Практическое применение микро- и наноэлектромеханических приборов и устройств. Гироскопы.
60. Основные технологические процессы изготовления элементов микромеханики. Кремниевые технологии.
61. Соединение подложек и фрагментов структуры.
62. Создание структур кремний на изоляторе для формирования микро- и наносистем.
63. Перспективы развития технологии кремний на изоляторе.
64. Синтез высокодисперсных материалов для структур КНИ и МЭМС.
65. Изготовление многоуровневых структур. Формирование чувствительных элементов.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (экзамен)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

## Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)