

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 нанoeлектроники

УТВЕРЖДАЮ

директор института технологий и  
инженерной механики

 Могильная Е.П.  
«18» 09 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ФИЗИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССЫ МИКРО- И  
НАНОТЕХНОЛОГИИ»

По направлению подготовки: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Магистерская программа: «Электронные микроволновые и квантовые приборы  
и устройства»

Лист согласования РПУД


Рабочая программа учебной дисциплины «Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии» по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника. – 32 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22.09.2017 года № 959.

СОСТАВИТЕЛИ:

к.т.н., доцент Войтенко Г.О.;  
к.т.н., доцент Войтенко В.А.

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

Заведующий кафедрой  
микро- и наноэлектроники  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 Г.О., Войтенко В.А., 2023 год  
© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

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

Цель дисциплины – ознакомление с основными физическими свойствами систем с пониженной размерностью, основными технологическими методами получения квантово-размерных структур и использования таких структур в наноэлектронике.

Задачи: ознакомление студентов с принципами размерного квантования и условиями наблюдения квантово-размерных явлений; формирование понимания особенностей функции плотности состояний и статистики носителей заряда в квантово-размерных системах; ознакомление с оптическими свойствами квантовых ям и кинетическими эффектами; владение методами получения квантовых пленок, квантовых нитей и квантовых точек; получение навыков работы с приборами на квантовых эффектах.

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

Дисциплина «Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии» относится к циклу профессиональных дисциплин.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания общей физики и математики, физики твердого тела, физики полупроводников и диэлектриков, технологических процессов микро- и наноэлектроники.

Содержание дисциплины основано на знаниях дисциплин подготовки бакалавра «Математика», «Физика», «Квантовая механика и статистическая физика», «Процессы микро- и нанотехнологии», «Наноэлектроника» и служит основой для выполнения научно-исследовательской работы студентов и магистерской диссертации.

## 3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-1. Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-1.1. Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и наноэлектроники, физические процессы, протекающие в микроволновых и квантовых приборах и устройствах. ПК-1.2. Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники. ПК-1.3. Владеет навыками выбора теоретических и	Знать: принципы построения и функционирования изделий микро- и наноэлектроники, физические процессы, протекающие в микроволновых и квантовых приборах и устройствах, принцип размерного квантования, условия наблюдения квантовых размерных эффектов, метод молекулярно-лучевой эпитаксии, методы нанолитографии, статистику

	<p>экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники.</p>	<p>носителей в низкоразмерных структурах;          Уметь: рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники работа которых основана на применении низкоразмерных ситем; объяснять возможности разных методов получения и исследования наноструктур;          Владеть: навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования низкоразмерных структур, навыками анализа накопленного опыта в области физики низкоразмерных систем и анализа возможностей нанотехнологии; навыками выбора методов и средств для решения проблем современной микро- и наноэлектроники; навыками моделирования процессов микро- и нанотехнологии;</p>
<p>ПК-6. Способен разрабатывать технологическую документацию на проектируемые электронные приборы и устройства систем связи</p>	<p>ПК-6.1. Знает методы отработки и внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники.          ПК-6.2. Умеет разрабатывать технологическую документацию на проектируемые электронные приборы и устройства систем связи.          ПК-6.3. Владеет навыками организации проведения работ по подготовке производства систем связи.</p>	<p>Знать: методы отработки и внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования производства низкоразмерных структур, основы научных исследований, методы математического моделирования и компьютерные технологии в научных исследованиях; научно-технические проблемы современной микро- и нанотехнологии;          Уметь: разрабатывать технологическую документацию на проектируемые электронные приборы и устройства систем связи и анализировать состояние научно-технической</p>

		проблемы в области микро- и нанотехнологии систем микроволновой и оптоволоконной связи; формулировать цели и задачи проектирования электронных приборов и устройств на наноразмерных эффектах;
		Владеть: навыками организации проведения работ по подготовке производства микроволновых и оптоволоконных систем связи, навыками поиска, изучения и анализа литературных и патентных источников; навыками подготовки технического задания на выполнение проектных работ; навыками идентификации новых направлений исследования в области нанотехнологии.

#### 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> <b>(7 зач. ед)</b>	-
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b> <b>в том числе:</b>	<b>112</b>	-
Лекции	56	-
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	28	-
Лабораторные работы	28	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
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>140</b>	-
Форма аттестации	экзамен	-

##### 4.2. Содержание разделов дисциплины

Семестр 1

### **Тема 1. Размерное квантование и квантово-размерные структуры.**

Принцип размерного квантования. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов. Структуры с двумерным электронным газом.

Структуры с одномерным электронным газом (квантовые нити). Структуры с нуль-мерным электронным газом (квантовые точки). Структуры с вертикальным переносом.

### **Тема 2. Технология квантово-размерных структур.**

Проблемы технологии квантово-размерных структур. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.

Методы нанолитографии. Самоорганизация квантовых точек и нитей. Режимы роста гетероэпитаксиальных структур. Рост наноструктур на фасетированных поверхностях.

Трехмерные массивы когерентно-напряженных островков. Поверхностные структуры плоских упругих доменов. Структуры с периодической модуляцией состава в эпитаксиальных пленках твердых растворов полупроводников. Нанотехнологии.

### **Тема 3. Свободные и связанные носители в наноструктурах.**

Плотность состояний в электронных системах пониженной размерности. Статистика носителей в низкоразмерных структурах. Примесные состояния и экситоны в низкоразмерных структурах.

### **Тема 4. Оптические свойства квантовых ям.**

Межзонное поглощение. Межуровневые переходы. Оптическая ионизация квантовых ям. Эффекты деполяризации.

### **Тема 5. Основы теории формирования новой фазы на поверхности твердого тела.**

Термодинамика монослойной пленки. Элементарные процессы на поверхности. Островковый, послойный и промежуточный механизмы роста.

Стадии ростового процесса. Теория нуклеации. Независимый рост островков.

Оствальдовское созревание. Слияние островков. Модель Колмогорова. Трехмерный рост пленки.

Сильнометастабильные системы и спинодальный распад. Рассогласованные гетероэпитаксиальные системы. Квантовые точки. Рост на активированных поверхностях. Нановискеры.

## **Семестр 2**

### **Тема 6. Кинетические эффекты в двумерных системах.**

Время релаксации и подвижность. Механизмы рассеяния. Рассеяние на ионизированных примесях. Рассеяние на фононах. Сплавное рассеяние. Рассеяние на стенках квантовой ямы. Модулированное легирование.

Межуровневое рассеяние. Баллистический транспорт. Вертикальный перенос в системе квантовых ям. Полевая ионизация одиночной ямы. Резонансное туннелирование. Вольтамперная характеристика сверхрешеток.

Самосогласованная модель формирования монослоя. Зарождение островков. Асимптотический метод Куни.

Функция распределения островков по размерам. Самосогласованная теория формирования сплошной пленки: двумерный и трехмерный рост. Средняя высота и шероховатость поверхности пленки.

#### **Тема 7. Сильные магнитные поля и квантовый эффект Холла.**

Энергетический спектр и плотность состояний двумерных систем в магнитном поле. Кинетические явления в сильных магнитных полях. Зависимость проводимости от магнитного поля.

Целочисленный квантовый эффект Холла. Эффекты локализации и их роль в КЭХ. Дробный КЭХ.

#### **Тема 8. Свойства квантовых нитей и точек.**

Баллистическая проводимость нитей. Связь КЭХ с квантованием проводимости в нитях. Кулоновская блокада.

#### **Тема 9. Механизмы формирования квантовых точек в гетероэпитаксиальных системах.**

Качественная картина ростового процесса в гетероэпитаксиальных системах. Свободная энергия образования когерентного островка. Интенсивность зарождения и скорость роста островков.

Начальная стадия образования квантовых точек. Критическая толщина. Рост квантовых точек и их функция распределения по размерам.

#### **Тема 10. Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и нанoeлектроники.**

Лазеры с квантовыми ямами и точками. Оптические модуляторы. Фоточувствительные *ipri*-структуры.

Фотоприемники на квантовых ямах. Лавинные фотодиоды. Транзисторы с высокой подвижностью носителей.

Транзисторы на горячих электронах. Резонансно-туннельный транзистор на квантовой точке. Приборы на основе баллистического транспорта.

Одноэлектронный транзистор. Устройства на основе одноэлектронных транзисторов. Стандарт силы тока (электронный «насос»). Ячейка памяти на основе одноэлектронных транзисторов. Квантово-точечные клеточные автоматы и беспроводная электронная логика.

### **4.3. Лекции**

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
	Семестр I		
1	Размерное квантование и квантово-размерные структуры.	8	-

2	Технология квантово-размерных структур.	6	-
3	Свободные и связанные носители в наноструктурах.	3	-
4	Оптические свойства квантовых ям.	3	-
5	Основы теории формирования новой фазы на поверхности твердого тела	8	-
Семестр 2			
6	Кинетические эффекты в двумерных системах.	6	-
7	Сильные магнитные поля и квантовый эффект Холла.	8	-
8	Свойства квантовых нитей и точек.	2	-
9	Механизмы формирования квантовых точек в гетероэпитаксиальных системах	4	-
10	Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и нанoeлектроники.	8	-
<b>Итого:</b>		<b>56</b>	<b>-</b>

#### 4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
Семестр 1			
1	Расчет параметров процесса эпитаксиального роста методом молекулярно-лучевой эпитаксии.	2	-
2	Статистика носителей в двумерных структурах.	2	-
3	Статистика носителей в одномерных структурах.	2	-
4	Статистика носителей в нуль-мерных структурах	2	-
5	Термодинамика монослойной пленки.	2	-
6	Теория нуклеации.	2	-
Семестр 2			
7	Самосогласованная модель формирования монослоя.	2	-
8	Применение асимптотического метода Куни.	2	-
9	Самосогласованная теория формирования сплошной пленки: двумерный рост.	2	-
10	Самосогласованная теория формирования сплошной пленки: трехмерный рост.	2	-
11	Энергетический спектр и плотность состояний двумерных систем в магнитном поле.	1	-
12	Кинетические явления в сильных магнитных полях.	1	-
13	Зависимость проводимости от магнитного поля.	1	-
14	Квантовый эффект Холла	1	-
15	Баллистическая проводимость нитей.	1	-
16	Кулоновская блокада.	1	-
17	Квантовые точки в гетероэпитаксиальных системах.	1	-
18	Рост квантовых точек и их функция распределения по размерам.	1	-
<b>Итого:</b>		<b>28</b>	<b>-</b>

#### 4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма



	Семестр 1		
1	Соотношение неопределенностей для фотонов.	4	-
2	Дифракция электронов на кристаллических структурах	4	-
3	Метод молекулярно-лучевой эпитаксии.	2	-
4	Размерное квантование и квантово-размерные структуры. Технология квантово-размерных структур.	2	-
5	Свободные и связанные носители в наноструктурах. Оптические свойства квантовых ям.	2	-
6	Основы теории формирования новой фазы на поверхности твердого тела.	2	-
	Семестр 2		
7	Исследование энергетического спектра и волновых функций электронов и дырок.	2	-
8	Исследование резонансного тунеллирования электронов через потенциальные барьеры.	2	-
9	Емкостная диагностика полупроводниковых квантово-размерных структур.	2	-
10	Мелкие водородоподобные уровни в квантовых ямах.	2	-
11	Кинетические эффекты в двумерных системах. Сильные магнитные поля и квантовый эффект Холла. Свойства квантовых нитей и точек	2	-
12	Механизмы формирования квантовых точек в гетероэпитаксиальных системах. Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и нанoeлектроники	2	-
<b>Итого:</b>		<b>28</b>	<b>-</b>

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
	Семестр 1			
1	Размерное квантование и квантово-размерные структуры. Технология квантово-размерных структур.	Подготовка к практическим занятиям	16	-
		Подготовка к тестированию	4	-
		Решение задач домашних заданий	2	-
2	Соотношение неопределенностей для фотонов. Дифракция электронов на кристаллических структурах. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	4	-
3	Свободные и связанные носители в наноструктурах. Оптические свойства квантовых ям.	Подготовка к практическим занятиям	6	-
		Подготовка к тестированию	4	-
		Решение задач домашних заданий	4	-
4		Подготовка к практическим занятиям	6	-

	Основы теории формирования новой фазы на поверхности твердого тела.	Подготовка к тестированию	4	-
		Решение задач домашних заданий	4	-
5	Экзамен по дисциплине	Подготовка к семестровому экзамену	16	-
	Семестр 2			
6	Кинетические эффекты в двумерных системах.	Подготовка к практическим занятиям	6	-
		Подготовка к тестированию	4	-
		Решение задач домашних заданий	4	-
7	Исследование энергетического спектра и волновых функций электронов и дырок. Исследование резонансного тунелирования электронов через потенциальные барьеры. Емкостная диагностика полупроводниковых квантово-размерных структур. Мелкие водородоподобные уровни в квантовых ямах.	Подготовка к лабораторным работам и оформлению отчетов	14	-
8	Сильные магнитные поля и квантовый эффект Холла. Свойства квантовых нитей и точек.	Подготовка к практическим занятиям	6	-
		Подготовка к тестированию	4	-
		Решение задач домашних заданий	4	-
9	Механизмы формирования квантовых точек в гетерозипитаксиальных системах. Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и нанoeлектроники.	Подготовка к практическим занятиям	6	-
		Подготовка к тестированию	4	-
		Решение задач домашних заданий	2	-
10	Экзамен по дисциплине	Подготовка к семестровому экзамену	16	-
<b>Итого:</b>			<b>140</b>	-

#### 4.7. Курсовые работы/проекты

Не предусмотрены учебным планом.

#### 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 практическим занятиям;
- 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). 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. Ковалев А.Н. Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций [Электронный ресурс] / Ковалев А.Н. - М. : МИСиС, 2015. - 460 с. - ISBN 978-5-87623-941-9 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - Режим доступа : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876239419.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. Зебрёв Г.И. Физические основы кремниевой наноэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / Г.И. Зебрёв. — 3-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 243 с.). — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — (Нанотехнологии). ISBN 978-5-9963-2630-3 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/544326>

2. Гриднев С.А. Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Гриднев С.А., Калинин Ю.Е., Ситников А.В., - 2-е изд., (эл.) - М.:БИНОМ. Лаб. знаний, 2015. - 355 с.: ISBN 978-5-9963-2634-1 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/539265>

3. Пивоваров С.С. Физические основы теории оптической и рентгеновской спектроскопии [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Пивоваров С.С. - СПб: СПбГУ, 2016. - 64 с.: ISBN 978-5-288-05653-6 - Текст : электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/941494>

4. Драгунов В.П. Микро- и наноэлектроника [Электронный ресурс] / Драгунов В.П., Остертак Д.И. - Новосиб.: НГТУ, 2012. - 38 с.: ISBN 978-5-7782-2095-9 - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=547779&spec=1>

в) Методические рекомендации/указания

1. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии» (для студентов, обучающихся по направлению 11.04.04 “Электроника и наноэлектроника”, магистерская программа “Электронные микроволновые и квантовые приборы и устройства”) / Сост.: Войтенко Г.О., Войтенко В.А. – Луганск: Изд-во ГОУВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В. Даля», 2017. – 28 с.

2. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии» (для студентов, обучающихся по направлению 11.04.04 “Электроника и наноэлектроника”, магистерская программа “Электронные микроволновые и квантовые приборы и устройства”) / Сост.: Войтенко Г.О., Войтенко В.А. – Луганск: Изд-во ГОУВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В. Даля», 2017. – 26 с.

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, установки для получения тонких пленок, 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 обеспечение</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

«Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии»

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

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижения компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Тема 1 Размерное квантование и квантово-размерные структуры	1

		соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач		Тема 2 Технология квантово-размерных структур	1
				Тема 3 Свободные и связанные носители в наноструктурах	1
				Тема 4 Оптические свойства квантовых ям	1
				Тема 5 Основы теории формирования новой фазы на поверхности твердого тела	1
				Тема 6 Кинетические эффекты в двумерных системах	2
				Тема 7 Сильные магнитные поля и квантовый эффект Холла	2
				Тема 8 Свойства квантовых нитей и точек	2
				Тема 9 Механизмы формирования квантовых точек в гетероэпитаксиальных системах	2
				Тема 10 Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и наноэлектроники	2
2.	ПК-6	Способен разрабатывать технологическую	ПК-6.1. ПК-6.2. ПК-6.3.	Тема 2 Технология квантово-размерных структур	1



		документацию на проектируемые электронные приборы и устройства систем связи		Тема 4 Оптические свойства квантовых ям	1
				Тема 7 Сильные магнитные поля и квантовый эффект Холла	2
				Тема 9 Механизмы формирования квантовых точек в гетероэпитаксиальных системах	2
				Тема 10 Применение квантово-размерных структур	2

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

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ПК-1	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Знать: принципы построения и функционирования изделий микро- и наноэлектроники, физические процессы, протекающие в микроволновых и квантовых приборах и устройствах, принцип размерного квантования, условия наблюдения квантовых размерных эффектов, метод молекулярно-лучевой эпитаксии, методы нанолитографии,	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Практическое занятие 1, Практическое занятие 2, Лабораторная работа 1, Лабораторная работа 2	Контрольные вопросы к практическим занятиям, вопросы к лабораторным работам, тесты, вопросы к экзамену

			<p>статистику носителей в низкоразмерных структурах;  Уметь:  рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники работа которых основана на применении низкоразмерных систем; объяснять возможности разных методов получения и исследования наноструктур;  Владеть: навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования низкоразмерных структур, навыками анализа накопленного опыта в области физики низкоразмерных систем и анализа возможностей нанотехнологии;  навыками выбора методов и средств для решения проблем современной микро- и наноэлектроники;  навыками моделирования процессов микро- и нанотехнологии;</p>		
2.	ПК-6	ПК-6.1. ПК-6.2. ПК-6.3.	<p>Знать: методы отработки и внедрения новых материалов, технологических</p>	Тема 2, Тема 4, Тема 7, Тема 9,	Контрольные вопросы к практическим занятиям, вопросы к

			<p>процессов и оборудования производства низкоразмерных структур, основы научных исследований, методы математического моделирования и компьютерные технологии в научных исследованиях; научно- технические проблемы современной микро- и нанотехнологии; Уметь: разрабатывать технологическую документацию на проектируемые электронные приборы и устройства систем связи и анализировать состояние научно- технической проблемы в области микро- и нанотехнологии систем микроволновой и оптоволоконной связи; формулировать цели и задачи проектирования электронных приборов и устройств на наноразмерных эффектах; Владеть: навыками организации проведения работ по подготовке производства микроволновых и оптоволоконных</p>	<p>Тема 10, Практическое занятие 3, Практическое занятие 4, Лабораторная работа 3, Лабораторная работа 4</p>	<p>лабораторны м работам, тесты, к вопросы к экзамену</p>
--	--	--	---	--	---

			<p>систем связи, навыками поиска, изучения и анализа литературных и патентных источников; навыками подготовки технического задания на выполнение проектных работ; навыками идентифицирования новых направлений исследования в области нанотехнологии.</p>	
--	--	--	---	--

**Фонды оценочных средств по дисциплине «Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии»**

**Контрольные вопросы к практическим занятиям:**

1. Сформулируйте принцип размерного квантования.
2. Какие твердотельные структуры называют квантовыми точками?
3. Какие твердотельные структуры называют квантовыми нитями?
4. Какие твердотельные структуры называют квантово-размерными пленками?
5. Каков характер спектра энергии носителей в квантовой точке?
6. Какого порядка должно быть расстояние между соседними энергетическими уровнями, чтобы возможно было наблюдение квантово-размерных эффектов?
7. В каких структурах наблюдается наибольшая подвижность двумерных размерно-квантованных носителей?
8. В каких структурах наблюдается наибольшая концентрация двумерных размерно-квантованных носителей?
9. Каково соотношение между периодом сверхрешетки и параметром решетки кристалла?
10. Что необходимо для создания структур с двумерным электронным газом на основе гетеропереходов?
11. Какие методы применяют для изготовления качественных гетероструктур?
12. В чем заключается суть метода самораспространяющийся высокотемпературный синтез?
13. Назовите параметры квантовых точек.
14. Изложите базовую теорию кулоновской блокады.
15. В чем заключается суть термина кулоновская лестница?

16. Как влияют внешние переменные поля на квантовые кулоновские точки?
17. Какие возникают эффекты, связанные с кулоновской блокадой?
18. Как реализуют кремниевые одноэлектронные приборы?
19. Опишите особенности квантовых точек в МДП-структурах.
20. Опишите особенности квантовых точек в фототранзисторных структурах.
21. Каковы оптические и фотоэлектрические свойства наноразмерных структур?
22. Как происходит фотолюминесценция на структурах Si–Ge, полученных с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии?
23. Назовите фундаментальные предпосылки для получения самоорганизованных наноструктур.
24. Как происходит формирование трехмерных островков?
25. Каковы размеры и плотность трехмерных островков?
26. Каковы особенности создания гетероструктур с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии?
27. Назовите факторы, влияющие на процесс упорядочения островков.
28. Перечислите свойства самоорганизованных наноструктур, полученных методом ионной имплантации.
29. В чем состоит механизм вязкого течения аморфного материала при наличии радиационных дефектов?
30. Как получают наноразмерные структуры методом термического испарения?
31. Каковы особенности получения нанокристаллических пленок методом химического осаждения из газовой фазы?
32. Как получают нанокристаллы кремния с помощью электрохимического процесса?
33. Каков механизм образования собственных нанокристаллов в монокристаллическом кремнии?
34. Как происходит создание структур кремний на изоляторе для формирования микро- и наносистем?
35. Чем обеспечивается устойчивость трехмерных массивов когерентно-напряженных островков?
36. Что представляет собой активная область полупроводникового лазера на двойной гетероструктуре?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольные вопросы к практическим занятиям

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. Принцип размерного квантования.
2. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.
3. Структуры с двумерным электронным газом.
4. Структуры с одномерным электронным газом (квантовые нити).
5. Структуры с нуль-мерным электронным газом (квантовые точки).
6. Структуры с вертикальным переносом.
7. Проблемы технологии квантово-размерных структур.
8. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии.
9. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.
10. Методы нанолитографии.
11. Самоорганизация квантовых точек и нитей.
12. Режимы роста гетероэпитаксиальных структур.
13. Рост наноструктур на фасетированных поверхностях.
14. Трехмерные массивы когерентно-напряженных островков.
15. Поверхностные структуры плоских упругих доменов.
16. **Структуры с периодической модуляцией состава в эпитаксиальных пленках твердых растворов полупроводников.**
17. Нанотехнологии.
18. Плотность состояний в электронных системах пониженной размерности.
19. Статистика носителей в низкоразмерных структурах.
20. Примесные состояния и экситоны в низкоразмерных структурах.
21. Межзонное поглощение.
22. Межуровневые переходы.
23. Оптическая ионизация квантовых ям.
24. Эффекты деполяризации.
25. Термодинамика монослойной пленки.
26. Элементарные процессы на поверхности.
27. Островковый, послойный и промежуточный механизмы роста.
28. Стадии ростового процесса.
29. Теория нуклеации.
30. Независимый рост островков.
31. Оствальдовское созревание.
32. Слияние островков.
33. Модель Колмогорова.
34. Трехмерный рост пленки.
35. Сильнометастабильные системы и спинодальный распад.
36. Рассогласованные гетероэпитаксиальные системы.
37. Квантовые точки.

38. Рост на активированных поверхностях.
39. Нановискеры.
40. Время релаксации и подвижность.
41. Механизмы рассеяния.
42. **Рассеяние на ионизованных примесях.**
43. Рассеяние на фононах.
44. Сплавное рассеяние.
45. **Рассеяние на стенках квантовой ямы.**
46. Модулированное легирование.
47. Межуровневое рассеяние.
48. Баллистический транспорт.
49. Вертикальный перенос в системе квантовых ям.
50. Полевая ионизация одиночной ямы.
51. Резонансное туннелирование. Вольтамперная характеристика сверхрешеток.
52. Самосогласованная модель формирования монослоя.
53. Зарождение островков.
54. Асимптотический метод Куни.
55. Функция распределения островков по размерам.
56. Самосогласованная теория формирования сплошной пленки: двумерный и трехмерный рост.
57. Средняя высота и шероховатость поверхности пленки.
58. Энергетический спектр и плотность состояний двумерных систем в магнитном поле.
59. Кинетические явления в сильных магнитных полях.
60. Зависимость проводимости от магнитного поля.
61. Целочисленный квантовый эффект Холла.
62. **Эффекты** локализации и их роль в КЭХ.
63. Дробный КЭХ.
64. Баллистическая проводимость нитей.
65. Связь КЭХ с квантованием проводимости в нитях.
66. Кулоновская блокада.
67. Качественная картина ростового процесса в гетероэпитаксиальных системах.
68. Свободная энергия образования когерентного островка.
69. Интенсивность зарождения и скорость роста островков.
70. Начальная стадия образования квантовых точек.
71. Критическая толщина.
72. Рост квантовых точек и их функция распределения по размерам.
73. Лазеры с квантовыми ямами и точками.
74. Оптические модуляторы.
75. Фоточувствительные *ipri*-структуры.

76. Фотоприемники на квантовых ямах.
77. Лавинные фотодиоды.
78. Транзисторы с высокой подвижностью носителей.
79. Транзисторы на горячих электронах.
80. Резонансно-туннельный транзистор на квантовой точке.
81. Приборы на основе баллистического транспорта.
82. Одноэлектронный транзистор.
83. Устройства на основе одноэлектронных транзисторов.
84. **Стандарт силы тока (электронный «насос»).**
85. **Ячейка памяти на основе одноэлектронных транзисторов.**
86. Квантово-точечные клеточные автоматы и беспроводная электронная логика.

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. Твердотельные структуры, в которых движение носителей ограничено вдоль одного направления, называют:

- А) квантовыми точками.
- Б) квантовыми нитями.
- В) квантово-размерными пленками.

2. Спектр энергии носителей в квантовой точке является:

- А) дискретным.
- Б) дискретно-непрерывным.
- В) непрерывным.

3. Для наблюдения квантово-размерных эффектов необходимо, чтобы расстояние между соседними энергетическими уровнями было:



- А) гораздо меньше тепловой энергии носителей.  
Б) гораздо больше тепловой энергии носителей.  
В) порядка тепловой энергии носителей.
4. Для наблюдения квантово-размерных эффектов необходимо, чтобы длина свободного пробега носителей была:  
А) гораздо меньше размера области, в которой движется носитель.  
Б) гораздо больше размера области, в которой движется носитель.  
В) порядка размера области, в которой движется носитель.
5. Наибольшая подвижность двумерных размерно-квантованных носителей наблюдается:  
А) в гетероструктурах.  
Б) в МДП-структурах.  
В) в дельта-слоях.
6. Наибольшая концентрация двумерных размерно-квантованных носителей наблюдается:  
А) в гетероструктурах.  
Б) в МДП-структурах.  
В) в дельта-слоях.
7. Для получения одномерных и нуль-мерных квантовых структур используется специфический метод:  
А) термическое напыление.  
Б) субмикронная литография.  
В) вакуумное испарение.
8. В структурах с вертикальным переносом происходит:  
А) туннелирование электронов через широкозонный слой.  
Б) обмен электронами между квантовыми ямами.  
В) ограниченное движение электронов в квантовых ямах.
9. Период сверхрешетки:  
А) гораздо больше, чем параметр решетки кристалла.  
Б) гораздо меньше, чем параметр решетки кристалла.  
В) порядка параметра решетки кристалла.
10. Для создания структур с двумерным электронным газом на основе гетеропереходов необходимо:  
А) равенство ширины запрещенной зоны обоих полупроводников.  
Б) равенство подвижности носителей обоих полупроводников.  
В) равенство постоянных решетки обоих полупроводников.
11. Для изготовления качественных гетероструктур применяют метод:  
А) газотранспортная эпитаксия.

- Б) жидкостная эпитаксия.
- В) молекулярно-лучевая эпитаксия.

12. Эффекты самоорганизации упорядоченных наноструктур используют при получении:

- А) квантовых точек.
- Б) квантовых нитей.
- В) одномерных квантово-размерных структур.

13. Молекулярно-лучевая эпитаксия представляет собой разновидность метода:

- А) самоорганизации наноструктур.
- Б) термического напыления.
- В) литографии.

14. В установке молекулярно-лучевой эпитаксии составом основного материала и легирующих примесей управляют при помощи:

- А) заслонок.
- Б) эффузионных ячеек.
- В) подложек.

15. В качестве акцепторной примеси для арсенида галлия используют:

- А) алюминий.
- Б) бериллий.
- В) фосфор.

16. В качестве донорной примеси для арсенида галлия используют:

- А) бор.
- Б) магний.
- В) кремний.

17. Особенности метода молекулярно-лучевой эпитаксии:

- А) малая скорость роста.
- Б) высокая температура роста.
- В) возможность контроля в ходе роста.

18. Методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений получают:

- А) эпитаксиальные структуры большой площади.
- Б) сверхрешетки.
- В) свободные носители.

19. При субмикронной литографии в качестве исходного объекта используют структуры:

- А) с одномерным электронным газом.
- Б) с двумерным электронным газом.

В) с трехмерным электронным газом.

20. Трехмерные массивы когерентно-напряженных островков получают в режиме роста:

- А) Франка – ван дер Мерве (FM).
- Б) Фолмера – Вебера (VW).
- В) Странского –Крастанова (SK).

21. Устойчивость трехмерных массивов когерентно-напряженных островков обеспечивается:

- А) силами притяжения между островками.
- Б) силами отталкивания между островками.
- В) наличием свободной энергии.

22. Спонтанная ориентация ряда молекул в энергетически выгодную супермолекулярную структуру происходит при использовании:

- А) сканирующего туннельного микроскопа.
- Б) атомно-силового микроскопа.
- В) химической самосборки.

23. Плотность состояний в квантовых нитях рассчитывается:

- А) на единицу длины.
- Б) на единицу площади.
- В) на единицу объема.

24. Плотность состояний для сверхрешеток рассчитывается:

- А) на единицу длины.
- Б) на единицу площади.
- В) на единицу объема.

25. Специфическим механизмом рассеяния для квантово-размерных систем по сравнению с массивными образцами является:

- А) рассеяние на ионизированных примесях.
- Б) фононное рассеяние.
- В) рассеяние на стенках квантовой ямы.

#### 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)

### Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен)

1. Принцип размерного квантования.
2. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.
3. Структуры с двумерным электронным газом.
4. Структуры с одномерным электронным газом (квантовые нити).
5. Структуры с нуль-мерным электронным газом (квантовые точки).
6. Структуры с вертикальным переносом.
7. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии.
8. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.
9. Методы нанолитографии.
10. Самоорганизация квантовых точек и нитей.
11. Режимы роста гетероэпитаксиальных структур.
12. Рост наноструктур на фасетированных поверхностях.
13. Трехмерные массивы когерентно-напряженных островков.
14. Поверхностные структуры плоских упругих доменов.
15. **Структуры с периодической модуляцией состава в эпитаксиальных пленках твердых растворов полупроводников.**
16. Плотность состояний в электронных системах пониженной размерности.
17. Статистика носителей в низкоразмерных структурах.
18. Примесные состояния и экситоны в низкоразмерных структурах.
19. Межзонное поглощение.
20. Межуровневые переходы.
21. Оптическая ионизация квантовых ям.
22. Эффекты деполяризации.
23. Термодинамика монослойной пленки.
24. Островковый, послойный и промежуточный механизмы роста.
25. Стадии ростового процесса.
26. Трехмерный рост пленки.
27. Сильнометастабильные системы и спинодальный распад.
28. Рассогласованные гетероэпитаксиальные системы.
29. Рост на активированных поверхностях.
30. Нановискеры.
31. Время релаксации и подвижность носителей.
32. Механизмы рассеяния носителей.
33. Баллистический транспорт.
34. Вертикальный перенос в системе квантовых ям.
35. Резонансное туннелирование.
36. Вольтамперная характеристика сверхрешеток.
37. Функция распределения островков по размерам.
38. Средняя высота и шероховатость поверхности пленки.

39. Энергетический спектр и плотность состояний двумерных систем в магнитном поле.
40. Зависимость проводимости от магнитного поля.
41. Целочисленный квантовый эффект Холла.
42. Дробный КЭХ.
43. Баллистическая проводимость нитей.
44. Кулоновская блокада.
45. Качественная картина ростового процесса в гетероэпитаксиальных системах.
46. Рост квантовых точек и их функция распределения по размерам.
47. Лазеры с квантовыми ямами и точками.
48. Оптические модуляторы.
49. Фоточувствительные *pn*-структуры.
50. Фотоприемники на квантовых ямах.
51. Лавинные фотодиоды.
52. Транзисторы с высокой подвижностью носителей.
53. Транзисторы на горячих электронах.
54. Резонансно-туннельный транзистор на квантовой точке.
55. Приборы на основе баллистического транспорта.
56. Одноэлектронный транзистор.
57. Устройства на основе одноэлектронных транзисторов.
58. **Стандарт силы тока (электронный «насос»).**
59. **Ячейка памяти на основе одноэлектронных транзисторов.**
60. Квантово-точечные клеточные автоматы и беспроводная электронная логика.

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)