

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра автоматизации физико-технических исследований**



ТВЕРЖДАЮ  
Декан ФФ, д.ф.-м.н  
В.Е.Блинов  
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

**Направление: 03.03.02 Физика**  
**Направленность (профиль): Физическая информатика**  
Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	144	32	32		8	48	18	4			2
Всего 144 часа /4 зачетные единицы, из них: - контактная работа 78 часов											
Компетенции ОПК-3											

Ответственный за образовательную программу  
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу .....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	4
5. Перечень учебной литературы .....	9
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся .....	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	10
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	10
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине .....	10

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Цель дисциплины – знакомство студентов с физическими процессами, протекающими в базовых полупроводниковых элементах, которые составляют основу современных цифровых и аналоговых интегральных схем.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ОПК-3.</b> Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.	<p><b>ОПК - 3.1.</b> Применяет различные источники информации для решения задач профессиональной сферы деятельности.</p> <p><b>ОПК – 3.2.</b> Применяет основные приемы, возможности и правила работы со стандартными и специализированными программными продуктами при решении профессиональных задач.</p> <p><b>ОПК – 3.3.</b> Применяет методологию поиска научной и технической информации в сети Интернет и специализированных базах данных.</p>	<p><b>Знать</b> типы связей в кристаллах, кристаллическую структуру кремния и зонную теорию полупроводников; принципы работы полупроводниковых приборов и их физические пределы быстрогодействия.</p> <p><b>Уметь</b> найти расстояние между плоскостями с различными индексами Миллера в решётке типа алмаза; объяснить различие металлов, полупроводников и диэлектриков с точки зрения зонной теории.</p> <p><b>Использовать</b> способы построения кристаллической решётки, обратной решётки, зоны Бриллюэна; способы для оценки быстрогодействия полупроводниковых приборов.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физические основы микроэлектроники» относится к циклу профессиональных дисциплин и реализуется в осеннем семестре 4-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки **03.03.02 Физика**.

Дисциплина непосредственно связана с дисциплинами математического и естественнонаучного цикла и опирается на освоенные при изучении данных дисциплин знания и умения. Студенту необходимо знать высшую математику, а также физику, включающую следующие разделы: термодинамику и молекулярную физику, электромагнетизм и оптику, введение в физику твердого тела.

**3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	144	32	32		8	48	18	4			2
Всего 144 часа /4 зачетные единицы, из них: - контактная работа 78 часов											
Компетенции ОПК-3											

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента, устный экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости: своевременное выполнение заданий по курсу, контроль решений заданий на занятиях, промежуточный контроль: устный экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **144** академических часа/4 зачетных единицы:

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- консультации в период занятий – 8 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 48 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к экзамену, консультации, экзамен) – 24 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, экзамен) составляет 78 часов.

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Дисциплина представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-ом курсе физического факультета НГУ в 7-ом семестре. Общая трудоемкость составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации	Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы							
				Лекции	Практические занятия	Консультации в период занятий					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Введение. Основы кристаллографии. Фононы.	1-2	16	4	4	2	6				
2	Зонная структура твердых тел	3-4	14	4	4		6				
3	Статистика электронов и дырок в полупроводниках	5-6	16	4	4	2	6				
4	Кинетическое уравнение	7-8	16	4	4		6				
5	Контакт металл- полупроводник, р-п переходы	9-11	22	4	4	4	6				
6	Биполярный транзистор	12-13	14	4	4		6				
7	Полевой транзистор	14-15	14	4	4		6				
8	Основы планарной технологии	16	14	4	4		6				
9	Групповая консультация		4						4		
10	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18					18			
11	Экзамен		2							2	
	<b>Итого:</b>		<b>144</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>48</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	

**Программа и основное содержание лекций (32 часа)**

Наименование темы и их содержание	Объем, час
<b>Лекция 1. Введение.</b> Введение. Полупроводники в современной электронике и оптоэлектронике. Исторический обзор и перспективы микроэлектроники.	1
<b>Лекция 2. Структура, методы роста и исследования полупроводников.</b>	3

<p>Структура кристаллов, анизотропия их физических свойств. Трансляционная симметрия и кристаллические решётки. Элементарная ячейка, базис. Примитивная ячейка, способ Вигнера-Зейтца построения примитивной ячейки. Способ задания кристаллографических плоскостей и направлений в кристалле. Индексы Миллера. Полярные и неполярные кристаллы. Основные типы кристаллических решёток полупроводников. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов. Закон Брэгга. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Дефекты кристаллов: точечные дефекты, комплексы дефектов, дислокации, примеси. Методы роста полупроводников и полупроводниковых плёнок.</p>	
<p><b>Лекция 3. Динамика кристаллической решётки. Фононы.</b>          Типы связей в кристаллах – металлическая, валентная и ионная связи. Гармоническое приближение, эффекты ангармонизма. Модель одномерной цепочки, закон дисперсии, поперечные и продольные колебания. Понятие фонона как квазичастицы. Двухатомная линейная цепочка. Акустические и оптические фононы. Локальные фононы в кристаллах с дефектами, поверхностные и интерфейсные колебания.</p>	3
<p><b>Лекция 4. Элементы зонной теории твердого тела.</b>          Расщепление атомных уровней в зоны. Металлы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения зонной теории. Адиабатическое приближение, одноэлектронное приближение. Блоховские волны. Квазиимпульс, модель расширенных и приведённых зон Бриллюэна. Электрон в твердом теле как квазичастица (волновой пакет Блоховских волн). Энергетический спектр электрона в твёрдом теле. Минимумы и максимумы энергии в спектре, долины. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Зонная структура основных полупроводников (Si, Ge, GaAs). Эффективная масса, анизотропия. Понятие дырки. Некоторые экспериментальные методы определения зонной структуры.</p>	3
<p><b>Лекция 5. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.</b>          Тепловое возбуждение носителей заряда. Собственные и примесные полупроводники. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Невырожденные, вырожденные и сильно вырожденные полупроводники. Плотность состояний в особых точках зоны Бриллюэна. Эффективная масса плотности состояний. Зависимость концентрации свободных носителей заряда от температуры в собственных полупроводниках. Проблема очистки полупроводников.</p>	2
<p><b>Лекция 6. Примеси в полупроводниках.</b>          Появление состояний в запрещённой зоне при введении примесей. Мелкие или водородоподобные примеси. Легированные полупроводники, понятие донора и акцептора. Электронейтральность, нахождение уровня Ферми при заданной концентрации доноров и акцепторов. Зависимость концентрации свободных носителей заряда от температуры в легированных полупроводниках. Истощение примеси. Термосопротивление, болометры. Глубокие центры, компенсация. Отклонение от равновесного распределения. Время жизни неравновесных носителей. Понятие квази-уровня Ферми.</p>	2
<p><b>Лекция 7. Кинетические явления в полупроводниках.</b>          Применимость зонной теории в слабых электрических полях. Приближение эффективной массы. Блоховские колебания. Рассеяние электронов и дырок, кинетическое уравнение Больцмана. Малые отклонения от равновесия, время релаксации. Асимметризация функции распределения внешней силой. Дрейфовая скорость. Приближение времени релаксации по импульсу. Подвижность. Проводимость.</p>	2

<p>Механизмы рассеяния носителей заряда, температурная зависимость подвижности. Модулированное легирование. Экспериментальные методы измерения удельного сопротивления. «Греющее» поле. Время релаксации по энергии, электронная и фононная температура. Насыщение дрейфовой скорости. Явления в сильном электрическом поле. Эффект Ганна.</p>	
<p><b>Лекция 8. Термоэлектрические и термомагнитные явления. Диффузионный ток.</b>  Эффект Холла и магнетосопротивление. Холловская подвижность. Квантование в сильном магнитном поле. Квантовый эффект Холла. Уровни Ландау. Циклотронный резонанс.  Диффузия. Соотношение Эйнштейна. Термоэлектрические и термомагнитные явления. Основные уравнения, описывающие движение свободных носителей в полупроводниках. Классификация времён релаксации в полупроводниках.</p>	2
<p><b>Лекция 9. Поверхность полупроводника, поверхностные состояния. Область пространственного заряда - ОПЗ. Гетерограница, гетероструктуры.</b>  Поверхность как двумерный дефект (оборванные связи). Реконструкция поверхности, методы исследования реконструкции. Поверхностные (Таммовские) состояния. Проникновение поля в полупроводник, область пространственного заряда. Пиннинг уровня Ферми. Изгиб зон. Обогащение, обеднение, инверсия. Размер ОПЗ. Гетерограница, гетероструктуры.</p>	2
<p><b>Лекция 10. Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки.</b>  Гетероструктура металл-полупроводник. Вольтамперная характеристика структуры металл-полупроводник, диодное приближение. Прямое и обратное смещение. Диод Шоттки. Ёмкость ОПЗ. Варикапы. Параметрический усилитель.</p>	2
<p><b>Лекция 11. P-n переход.</b>  Способы создания p-n переходов. Энергетическая диаграмма p-n перехода. Вольт-амперные характеристики p-n переходов. Ударная ионизация и напряжение пробоя. Генерационный ток. Мощные полупроводниковые выпрямители, их быстродействие.</p>	2
<p><b>Лекция 12. Приборное применение p-n переходов. Биполярный транзистор.</b>  Приборное применение p-n переходов. Энергетическая диаграмма p-n переходов. Коллектор, база, эмиттер. Усиление по току. Быстродействие, частота отсечки.</p>	1
<p><b>Лекция 13. Эффект поля. МДП-транзистор.</b>  Первые эксперименты по эффекту поля (исторический обзор). Роль границы раздела. Полевой транзистор с p-n переходом. МДП-транзистор. Встроенный и индуцированный канал. Основные характеристики МДП-транзистора.</p>	2
<p><b>Лекция 14. Приборы на основе МДП-структур.</b>  МДП-транзистор в режиме ключа. Широкоформатная микроэлектроника. Ячейки энергонезависимой памяти. Приборы с зарядовой связью.</p>	2
<p><b>Лекция 15. Элементы планарной технологии.</b>  Гетерограница Si-SiO<sub>2</sub> и её свойства. Рост кристаллов и плёнок, окисление. Металлизация, изоляция в СБИС, диэлектрики с низкой диэлектрической проницаемостью. Фотолитография, селективное травление. Легирование и активация примеси.</p>	2
<p><b>Лекция 16. Проблемы и предельные параметры планарной технологии. Нанозлектроника.</b>  Масштабирование при уменьшении планарных размеров. Диэлектрики с</p>	2

высокой диэлектрической проницаемостью. Способы повышения быстродействия МДП-транзисторов, НЕМТ-транзисторы, увеличение подвижности, индуцированное механическими напряжениями. Приборы на основе квантово-размерных структур.	
<b>Итого:</b>	<b>32</b>

### Программа и основное содержание практических занятий (32 часа)

Наименование темы и их содержание	Объем, час
<b>Введение</b> Основные элементы интегральных схем. Основные физические свойства полупроводников. Методы получения кристаллического кремния. Базовые процессы планарной технологии.	4
<b>Раздел 1. Зонная структура твердых тел</b> Кристаллическая решетка. Решетки Бравэ. Кристаллическая структура основных полупроводников. Ковалентная связь. Индексы Миллера. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Энергетический спектр. Проводники, изоляторы и полупроводники. Электрон в периодическом поле. Закон дисперсии. Модель Кронига – Пенни. Приближения слабой и сильной связи. Тензор обратной эффективной массы. Дырки почти заполненной валентной зоны. Легкие и тяжелые дырки. Зонная структура наиболее важных полупроводников Si, Ge и GaAs. Энергетический спектр электрона в постоянном электрическом поле. Туннельный эффект.	4
<b>Раздел 2. Статистика носителей при тепловом равновесии</b> Роль дефектов в полупроводниках. Собственные и примесные полупроводники. Примеси акцепторного и донорного типа. Компенсация. Водородоподобная модель примесных уровней. Вырожденный и невырожденный электронный газ. Распределения Ферми – Дирака, Максвелла–Больцмана. Функции распределения электронов на примесных уровнях. Плотность состояний. Интеграл Ферми. Эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный полупроводники. Закон действующих масс. Уровень Ферми собственного полупроводника. Уравнение электронейтральности. Уровень Ферми донорного и акцепторного полупроводника. Эффективная масса для расчета плотности состояний.	4
<b>Раздел 3. Свободные носители в полупроводниках</b> Тепловая скорость электронов. Время релаксации, длина свободного пробега. Механизмы рассеяния и подвижность. Проводимость. Эффективная масса для расчета проводимости. Эффект Холла. Дрейф в электрическом поле. Насыщение дрейфовой скорости. Эффект Ганна. Диффузия свободных носителей. Соотношение Эйнштейна. Диффузионно-дрейфовое уравнение. Амбиполярная диффузия. Диэлектрическая релаксация. Дебаевская длина экранирования. Эффект Дембера. Инжекция и рекомбинация. Механизмы рекомбинации. Время жизни неосновных носителей заряда. Квазиуровни Ферми. Встроенное электрическое поле. Эффект Зеебека. Уравнение непрерывности.	4
<b>Раздел 4. Контакт металл-полупроводник</b> Уравнение непрерывности. Термоэлектронная работа выхода металла и полупроводника. Эффект Шоттки. Уровень Ферми контактирующих тел. Правила построения зонных диаграмм. Поверхностные состояния. Зонные диаграммы реальной поверхности полупроводников. Зонные диаграммы	4



контакта металл–полупроводник. Приближение обеднения, электрическое поле, потенциал, толщина и емкость области пространственного заряда. Вольт–амперная характеристика идеального барьера Шоттки. Омический контакт. Полевой транзистор с барьером Шоттки.	
<b>Раздел 5. Электронно-дырочный переход</b> Методы получения $n-p$ перехода. Зонная диаграмма $n-p$ перехода. Приближение обеднения, электрическое поле, потенциал, толщина и емкость области пространственного заряда. Туннельный и лавинный пробой. Вольт–амперная характеристика. Длинная и короткая база. Генерация и рекомбинация в ОПЗ. Полевой транзистор с управляющим $n-p$ переходом. Биполярный транзистор: энергетическая диаграмма, принцип работы, составляющие базового тока, вольт–амперная характеристика, активный режим, усиление по току. Время пролета носителей через базу.	4
<b>Раздел 6. Система металл – окисел – полупроводник</b> Энергетическая диаграмма МОП–структуры. Пороговое напряжение. Вольт–фарадная характеристика. Заряд в окисле. Полевой транзистор с изолированным затвором на основе структуры металл–окисел–полупроводник. Приборы с зарядовой связью. Основные этапы изготовления МОП–транзистора с поликремниевым затвором.	4
<b>Итого:</b>	32

### Самостоятельная работа студентов (66 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	26
Повторение изученного материала	22
Подготовка к экзамену	18

#### 5. Перечень учебной литературы

1. Володин, Владимир Алексеевич Физические основы микроэлектроники: курс лекций: [для студентов 4 курса Физ. фак. НГУ] / В.А. Володин; Федер. агентство по образованию, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак, Каф. автоматизации физ. исслед., Ин-т физики полупроводников Сиб. отд-ния РАН Новосибирск : Редакционно-издательский центр НГУ, 2009 189, [2] с. : ил. ; 20 см. В вып. дан. ошибочно авт.: Володин Владимир Александрович [!] Библиогр.: с.191 (12 назв.) ISBN 978-5-94356-672-1 (11 экз.)
2. Гинзбург, Илья Файвильевич Введение в физику твёрдого тела: курс лекций: [для студентов отделения информатики физического факультета НГУ: в 3 ч.] / И.Ф. Гинзбург; М-во общего и проф. образования Рос. Федерации, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. теорет. Физики Новосибирск : Редакционно-издательский отдел НГУ, 1997-1998 20 см. (2 экз.)
3. Ю, Питер Основы физики полупроводников / Питер Ю, Мануэль Кардона ; пер. с англ. И. И. Решинной ; под ред. Б. П. Захарчени [3-е изд.] М. : Физматлит, 2002 256 с. : ил. ; 25 см. Пер. ориг.: Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties/ Peter Y. Yu, Manuel Cardona. - Springer, 2002. Библиогр.: с.509-541. ISBN 5-9221-0268-0 (11 экз.)

#### 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

4. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника, М.: Высшая школа, 1991, 352 с.
5. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников, М.: Наука, 1990, 685 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

### **7.1 Ресурсы сети Интернет**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.2 Современные профессиональные базы данных**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **8.1 Перечень программного обеспечения**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

### **8.2 Информационные справочные системы**

Не используются.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, лабораторных занятий и промежуточной аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### **Текущий контроль успеваемости**

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения опроса студентов в начале каждого занятия на темы, рассмотренные на предыдущем занятии.

## Промежуточная аттестация

Освоение компетенции оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-3 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области использования языков описания аппаратуры в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в сессию в устной форме. Вопросы подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ОПК-3.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<b>ОПК - 3.1.</b> Применяет различные источники информации для решения задач профессиональной сферы деятельности.	<b>Знать</b> типы связей в кристаллах, кристаллическую структуру кремния и зонную теорию полупроводников; принципы работы полупроводниковых приборов и их физические пределы быстрогодействия.	Опрос, задания для самостоятельного решения, экзамен.
<b>ОПК – 3.2.</b> Применяет основные приемы, возможности и правила работы со стандартными и специализированными программными продуктами при решении профессиональных задач. <b>ОПК – 3.3.</b> Применяет методологию поиска научной и технической информации в сети Интернет и специализированных базах данных.	<b>Уметь</b> найти расстояние между плоскостями с различными индексами Миллера в решётке типа алмаза; объяснить различие металлов, полупроводников и диэлектриков с точки зрения зонной теории. <b>Использовать</b> способы построения кристаллической решётки, обратной решётки, зоны Бриллюэна; способы для оценки быстрогодействия полупроводниковых приборов.	Опрос, задания для самостоятельного решения, экзамен.

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физические основы микроэлектроники».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ОПК-3.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ОПК 3.2 ОПК 3.3	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

## 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### Примеры заданий:

- найти расстояние между плоскостями с различными индексами Миллера в решётке типа алмаза;
- объяснить различие металлов, полупроводников и диэлектриков с точки зрения зонной теории.;
- рассчитывать и строить температурные зависимости уровня Ферми и концентрации носителей заряда;
- найти связь между подвижностью электронов и временем релаксации по импульсу;
- определить размеры области пространственного заряда в случае обеднения, определить изгиб зон для случаев обеднения, обогащения, инверсии;
- объяснить эффект поля;
- объяснить вольт-амперную характеристику диода Шоттки;
- вычислить коэффициент усиления по току в биполярном транзисторе с тонкой базой.

**Вопросы к экзамену:**

- принципы работы полупроводникового диода;
- принципы работы биполярного транзистора;
- энергетическую диаграмму МОП–структуры;
- принципы работы полевого транзистора;
- физические пределы быстродействия полевого транзистора;
- основные технологические подходы в планарной технологии.

**Форма экзаменационного билета представлена на рисунке**

<p><b>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</b></p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p><b>Физический факультет</b></p>
<p><b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</b></p> <p>1. .... 2. .... 3. ....</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Физические основы микроэлектроники»  
Направление: 03.03.02 Физика  
Направленность (профиль): Физическая информатика**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного