



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВПО «ИГУ»  
Кафедра общей и экспериментальной физики



**УТВЕРЖДАЮ**  
**Декан физического факультета**  
/ Н.М. Буднев  
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Код дисциплины Б1.О.22

Наименование дисциплины (модуля) **Физические основы электроники**

Рекомендуется для направления подготовки

**11.03.04 - Электроника и нанoeлектроника**

**Профиль - Электроника и нанoeлектроника**

Степень (квалификация) выпускника - бакалавр

Форма обучения - очная

Согласовано с УМК:  
физического  
факультета  
Протокол № 33 от «31» марта 2022 г.

**Председатель:** д.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_ Н.М. Буднев

**Рекомендовано кафедрой:**  
общей и экспериментальной физики  
**Протокол** № 6  
от «24» марта 2022 г.  
**Зав. кафедрой** д.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_ А.А. Гаврилюк

Иркутск 2022 г.

## Содержание

	стр.
<b>1.</b> Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
<b>2.</b> Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.	3
<b>3.</b> Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
<b>4.</b> Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	4
<b>5.</b> Содержание дисциплины (модуля)	4
5.1 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	
5.2 Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)	
5.3 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий	
<b>6.</b> Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ, план самостоятельной работы студентов, методические указания по организации самостоятельной работы студентов.	10
<b>7.</b> Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	15
<b>8.</b> Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) :	15
а) основная литература;	
б) дополнительная литература;	
в) программное обеспечение;	
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	
<b>9.</b> Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).	15
<b>10.</b> Образовательные технологии	15
<b>11.</b> Оценочные средства. (ОС).	15

## 1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

### Цель дисциплины

- Целью изучения учебной дисциплины «Физические основы электроники» является рассмотрение физических основ и математического описания процессов, определяющих принцип действия твердотельных приборов, явлений переноса в твердых телах.

### Задачи дисциплины:

- ознакомление студентов с физическим и процессами лежащими в основе современной твердотельной электроники;
- ознакомление студентов с основными принципами работы простейших устройств твердотельной электроники;

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП:

Дисциплина «Физические основы электроники» основывается на дисциплинах базового цикла блока «Физика» и дисциплинах «Теоретические основы электротехники», «Основы микро- и наноэлектроники», Общая трудоемкость - 2 зачетных единицы.

Дисциплина является основой для курса «Твердотельная электроника», читаемого в 8 семестре.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 – Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности;

ОПК-6 – способностью осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять её в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;

В результате изучения дисциплины студент должен:

В результате освоения дисциплины «Физические основы электроники» обучающийся должен:

Знать:

Индекс компетенции	Индекс образовательного результата	Образовательный результат
ОПК-1	3-1	общие сведения о физических основах и математическом описании процессов, определяющих принцип действия твердотельных приборов, явлений переноса в твердых телах
ОПК-1	3-2	принципы использования материалов с различной электропроводностью для построения электрических цепей.
ОПК-1	3-3	методы моделирования и проектирования материалов и устройств твердотельной электроники

Уметь:

Индекс компетенции	Индекс образовательного результата	Образовательный результат
ОПК-1	У-1	обеспечивать технологическую и конструктивную реализацию твердотельных материалов для устройств твердотельной электроники;

ОПК-1	У-2	применять современные средства выполнения и редактирования изображений и подготовки конструкторско – технологической документации
-------	-----	---

**Владеть:**

Индекс компетенции	Индекс образовательного результата	Образовательный результат
ОПК-1	В-1	знаниями о современной материаловедческой базе твердотельной электроники
ОПК-1	В-2	методами оценки пригодности твердотельных материалов для использования их при решении технических и технологических задач современной промышленности;

**4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)**

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры			
		6			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	66/1,83	66/1,83			
В том числе:					
Лекции	14/0,39	14/0,39			
Практические занятия (ПЗ)	14/0,39	14/0,39			
КСР	2/0,05	36/1,0			
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	42/1,67	42/1,67			
В том числе:					
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Доклады, подготовка к экзаменам и зачетам					
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	экзамен	экзамен			
Общая трудоемкость	часы	108	108		
	зачетные единицы	3	3		

**5. Содержание дисциплины (модуля)****5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля).****Т1. Зонная структура полупроводников и диэлектриков.**

Валентная зона, зона проводимости, запрещенная зона. Энергетические уровни, расположенные в запрещенной зоне. Донорные и акцепторные уровни. Вырожденный полупроводник. Генерационно–рекомбинационные центры. F-центры, F2- центры. Ловушки.

**Т2. Распределение носителей заряда в полупроводниках.**

Концентрация носителей заряда в пределах разрешенной энергетической зоны. Равновесная концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике. Энергия Ферми. Вероятность заполнения энергетического уровня дыркой. Статистическая функция Ферми-Дирака. Химический потенциал. Невырожденный полупроводник. Статистика Максвелла–Больцмана. Концентрация электронов в зоне проводимости невырожденного полупроводника. Эффективная плотность электронных состояний. Уровень Ферми в собственном невырожденном полупроводнике. Закон действующих масс для полупроводников.

**Т3. Равновесная и неравновесная концентрация носителей заряда в примесном полупроводнике**

Критическая температура полупроводника. Неравновесные носители заряда. Положение уровня Ферми в полупроводниках n и p-типа. Квазиуровни Ферми. Мера отклонения неравновесных концентраций носителей заряда от равновесных концентраций.

**Т4. Процессы переноса носителей заряда в полупроводниках.**

Дрейф носителей заряда. Подвижность. Правило Матиссена. Эффективная масса носителей заряда. Зависимость подвижности от температуры. Полевые зависимости подвижности носителей заряда. Удельная электрическая проводимость. Диффузия носителей заряда. Соотношения Эйнштейна. Уравнение непрерывности. Время жизни электронов и дырок. Одномерные уравнения непрерывности для электронов и дырок. Уравнения диффузии. Стационарные уравнения диффузии. Диффузионная длина электронов. Уравнение заряда. Процесс накопления носителей заряда. Время рассасывания неравновесного заряда.

**Т5. Поверхностные явления в полупроводниках.**

Эффект поля. Области пространственного заряда. Изгиб энергетических зон. Электростатический потенциал. Поверхностный потенциал. Поверхностная концентрация носителей заряда. Состояния поверхности полупроводника. Обогащение. обеднение. Слабая инверсия. Сильная инверсия. Инверсионный канал. Дебаевская длина экранирования. Поверхностные состояния в полупроводниках. Поверхностные состояния Тамма и поверхностные состояния Шокли. Диэлектрическая релаксация. Время диэлектрической релаксации.

**Т6. Электрические переходы.**

Определение электрического перехода. Электрический переход между областями полупроводника с электропроводностью p- и n-типов. Электрические переходы между областями полупроводника с различной концентрацией примесей одного типа. Гетеропереход. Переход металл-полупроводник. Структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП – структура). Электронно-дырочные переходы. Неоднородные полупроводники. Сплавной p-n-переход. Диффузионный p-n-переход. Эпитаксиальный p-n-переход. Плавные и резкие p-n-переходы. Симметричные и несимметричные p-n-переходы. Эмиттер. База.

**Т7. Электронно-дырочный переход в равновесном состоянии.**

Диффузионное электрическое поле. Контактная разность потенциалов. Распределение напряженности и потенциала электрического поля. Толщина электронно-дырочного перехода. Зонная диаграмма электронно-дырочного перехода. Высота потенциального барьера в состоянии термодинамического равновесия. Электронно-дырочный переход при

смещении в прямом направлении. Инжекция носителей заряда. Прямой ток. Электронно-дырочный переход при смещении в обратном направлении. Экстракция носителей заряда.. Обратный ток. Термическая генерация носителей заряда при обратном смещении. зонные энергетические диаграммы р-п-перехода при смещении в прямом и обратном направлениях

### 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин (вписываются разработчиком)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1.	Твердотельная электроника	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
2.	Производственная практика	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
3	Государственная итоговая аттестация	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7

### 5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	<b>Зонная структура полупроводников и диэлектриков.</b>	Валентная зона, зона проводимости, запрещенная зона. Энергетические уровни, расположенные в запрещенной зоне. Донорные и акцепторные уровни. Вырожденный полупроводник. Генерационно – рекомбинационные центры. F-центры, F2 - центры. Ловушки.	2	2			6	10
2.	<b>Распределение носителей заряда в полупроводниках.</b>	Концентрация носителей заряда в пределах разрешенной энергетической зоны. Равновесная концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике. энергия Ферми. Вероятность заполнения энергетического уровня дыркой. Статистическая функция Ферми-	2	2			6	10

		Дирака. Химический потенциал. Невырожденный полупроводник. Статистика Максвелла – Больцмана. Концентрация электронов в зоне проводимости невырожденного полупроводника. Эффективная плотность электронных состояний. Уровень Ферми в собственном невырожденном полупроводнике. Закон действующих масс для полупроводников.						
3.	<b>Равновесная и неравновесная концентрация носителей заряда в примесном полупроводнике</b>	Критическая температура полупроводника. Неравновесные носители заряда Положение уровня Ферми в полупроводниках n и p – типа. Квазиуровни Ферми. Мера отклонения неравновесных концентраций носителей заряда от равновесных концентраций.	2	2			6	10
4.	<b>Процессы переноса носителей заряда в полупроводниках</b>	Дрейф носителей заряда. Подвижность. Правило Матиссена. Эффективная масса носителей заряда. Зависимость подвижности от температуры. Полевые зависимости подвижности носителей заряда. Удельная электрическая проводимость. Диффузия носителей заряда. Соотношения Эйнштейна. Уравнение непрерывности. Время жизни	2	2			6	10

		<p>электронов и дырок.          Одномерные уравнения непрерывности для электронов и дырок.          Уравнения диффузии.          Стационарные уравнения диффузии.          Диффузионная длина электронов.          Уравнение заряда.          Процесс накопления носителей заряда.          Время рассасывания неравновесного заряда..</p>					
5.	<b>Поверхностные явления в полупроводниках.</b>	<p>Эффект поля.          Области пространственного заряда. Изгиб энергетических зон.          Электростатический потенциал.          Поверхностный потенциал.          Поверхностная концентрация носителей заряда.          Состояния поверхности полупроводника.          Обогащение. Обеднение. Слабая инверсия. Сильная инверсия.          Инверсионный канал. Дебаевская длина экранирования.          Поверхностные состояния в полупроводниках.          Поверхностные состояния Тамма и поверхностные состояния Шокли.          Диэлектрическая релаксация. Время диэлектрической релаксации.</p>	2	2		6	10
6	<b>Электрические переходы</b>	<p>Определение электрического перехода          Электрический переход между областями полупроводника с электропроводностью р- и n-типов.          Электрические</p>	2	2		6	10



		<p>переходы между областями полупроводника с различной концентрацией примесей одного типа. Гетеропереход. Переход металл-полупроводник. Структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП – структура). Электронно-дырочные переходы. Неоднородные полупроводники. Сплавной р-п-переход. Диффузионный р-п-переход. Эпитаксиальный р-п-переход. Плавные и резкие р-п-переходы. Симметричные и несимметричные р-п-переходы. Эмиттер. База.</p>					
7	<b>Электронно-дырочный переход в равновесном состоянии</b>	<p>Диффузионное электрическое поле. Контактная разность потенциалов. Распределение напряженности и потенциала электрического поля. Толщина электронно-дырочного перехода. Зонная диаграмма электронно-дырочного перехода. Высота потенциального барьера в состоянии термодинамического равновесия. Электронно-дырочный переход при смещении в прямом направлении. Инжекция носителей заряда. Прямой ток. Электронно-дырочный переход при смещении в обратном направлении. Экстракция носителей заряда. Обратный ток.</p>	3	3		6	12

		Термическая генерация носителей заряда при обратном смещении. зонные энергетические диаграммы р-п-перехода при смещении в прямом и обратном направлениях					
--	--	--	--	--	--	--	--

### 6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	<b>Зонная структура полупроводников и диэлектриков.</b>	Пз1. Валентная зона, зона проводимости, запрещенная зона. Энергетические уровни, расположенные в запрещенной зоне. Донорные и акцепторные уровни. Вырожденный полупроводник. Пз-2 - Генерационно – рекомбинационные центры. F-центры, F2 - центры. Ловушки.. Люминисценция. Виды люминисценции. Процессы рекомбинации носителей заряда	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1
2	<b>Распределение носителей заряда в полупроводниках.</b>	ПЗ.3 Концентрация носителей заряда в пределах разрешенной энергетической зоны. Равновесная концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике. энергия Ферми. Вероятность заполнения энергетического уровня дыркой.  ПЗ-4 Статистическая функция Ферми-Дирака. Химический потенциал. Невырожденный полупроводник. Статистика Максвелла – Больцмана.	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1

		<p>ПЗ-5 Концентрация электронов в зоне проводимости невырожденного полупроводника. Эффективная плотность электронных состояний. Уровень Ферми в собственном невырожденном полупроводнике. Закон действующих масс для полупроводников.</p>			
3	<p><b>Равновесная и неравновесная концентрация носителей заряда в примесном полупроводнике</b></p>	<p>ПЗ.6. Критическая температура полупроводника. Неравновесные носители заряда</p> <p>ПЗ-7 Положение уровня Ферми в полупроводниках n и p – типа. Квазиуровни Ферми. Мера отклонения неравновесных концентраций носителей заряда от равновесных концентраций.</p>	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1
4	<p><b>Процессы переноса носителей заряда в полупроводниках</b></p>	<p>ПЗ 8. Дрейф носителей заряда. Подвижность. Правило Матиссена. Эффективная масса носителей заряда. Зависимость подвижности от температуры. Полевые зависимости подвижности носителей заряда.</p> <p>ПЗ-9 Удельная электрическая проводимость. Диффузия носителей заряда. Соотношения Эйнштейна. Уравнение непрерывности. Время жизни электронов и дырок. Одномерные уравнения непрерывности для электронов и дырок. Уравнения диффузии. Стационарные уравнения диффузии. Диффузионная длина электронов. Уравнение</p>	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1

		заряда. Процесс накопления носителей заряда. Время рассасывания неравновесного заряда			
5	<b>Поверхностные явления в полупроводниках.</b>	<p>ПЗ-10Эффект поля. Области пространственного заряда. Изгиб энергетических зон. Электростатический потенциал. Поверхностный потенциал. Поверхностная концентрация носителей заряда. Состояния поверхности полупроводника. Обогащение. Обеднение. Слабая инверсия. Сильная инверсия. Инверсионный канал. Дебаевская длина экранирования.</p> <p>ПЗ-11. Поверхностные состояния в полупроводниках. Поверхностные состояния Тамма и поверхностные состояния Шокли. Диэлектрическая релаксация. Время диэлектрической релаксации.</p>	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1
6	<b>Электрические переходы</b>	<p>ПЗ.-12  Определение электрического перехода  Электрический переход между областями полупроводника с электропроводностью р- и п-типов.  Электрические переходы между областями полупроводника с различной концентрацией примесей одного типа.  Гетеропереход.  Переход металл-полупроводник.  Структура металл-диэлектрик - полупроводник (МДП – структура</p>	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1

		<p>Пз-13. Электронно-дырочные переходы. Неоднородные полупроводники. Сплавной p-n-переход. Диффузионный p-n-переход. Эпитаксиальный p-n-переход. Плавные и резкие p-n-переходы. Симметричные и несимметричные p-n-переходы. Эмиттер. База.</p>			
7	<b>Электронно-дырочный переход в равновесном состоянии</b>	<p>Пз-14. Диффузионное электрическое поле. Контактная разность потенциалов. Распределение напряженности и потенциала электрического поля. Толщина электронно-дырочного перехода. Зонная диаграмма электронно-дырочного перехода. Высота потенциального барьера в состоянии термодинамического равновесия.</p> <p>Пз-15. Электронно-дырочный переход при смещении в прямом направлении. Инжекция носителей заряда. Прямой ток. Электронно-дырочный переход при смещении в обратном направлении. Экстракция носителей заряда. Обратный ток. Термическая генерация носителей заряда при обратном смещении. Энергетические диаграммы p-n-перехода при смещении в прямом и обратном направлениях.</p>	2	Письменный текущий контроль	ОПК-1

### 6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
--------	------	----------------------------	---------	--------------------------	------------------

1	T1	Работа с учебником, справочной литературой, первоисточниками, конспектом	Повторение и углубленное изучение учебного материала лекции, ПЗ с использованием конспекта лекций, литературы, Интернет - ресурсов	Источники 1 -2 из основной и 1-4 из дополнительной литературы; Самостоятельный поиск литературы на образовательных ресурсах, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ	6
3	T2				6
6	T3				6
8	T4.				6
10	T5.				6
12	T6				6
14	T7				6

### Вопросы для самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов – индивидуальная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства преподавателя (научного руководителя (консультанта)), в ходе которой студент активно воспринимает, осмысливает полученную информацию, решает теоретические и практические задачи. В процессе проведения самостоятельной работы формируются компетенции ОПК-1, ОПК-6.

На самостоятельную работу выносятся следующие вопросы по темам дисциплины:

#### **T1. Зонная структура полупроводников и диэлектриков**

Генерационно – рекомбинационные центры. F-центры, F2 - центры. Ловушки (6 ч).

#### **T2. Распределение носителей заряда в полупроводниках.**

Эффективная плотность электронных состояний. (4 ч) Уровень Ферми в собственном невырожденном полупроводнике (2ч).

#### **T3. Равновесная и неравновесная концентрация носителей заряда в примесном полупроводнике**

Положение уровня Ферми в полупроводниках n и p – типа. Квазиуровни Ферми (4ч) .  
Электростатический потенциал (2ч).

#### **T4. Процессы переноса носителей заряда в полупроводниках**

Одномерные уравнения непрерывности для электронов и дырок. Уравнения диффузии. Стационарные решения уравнений (6 ч.)

#### **T5. Поверхностные явления в полупроводниках**

Гетеропереход и двумерный электронный газ. (3 час.). Диэлектрическая релаксация. Время диэлектрической релаксации (3 час)

#### **T.6 . Электрические переходы**

Электронно-дырочные переходы. Плавные и резкие p-n-переходы. Симметричные и несимметричные p-n- переходы. Эмиттер. Запоминающие устройства (3ч). Проработка лекционного материала и материала практических занятий (3ч).

#### **T7. Электронно-дырочный переход в равновесном состоянии**

Электронно-дырочный переход при смещении в прямом направлении. (3ч). Обратный ток. (3ч.)

Контроль самостоятельной работы проводится на практических занятиях и на КСР по окончании Т.8 и Т.15.

## **7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)**

планом не предусмотрено

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):**

а) основная литература

1. Старосельский, В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов. - ЭВК. - М. : Юрайт : ИД Юрайт, 2011. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9916-0808-4. - ISBN 978-5-9692-0962-6 (электронный ресурс)

2. Барыбин, А. А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы [Текст] : [учеб. пособие]. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 426 с.- Режим доступа: ЭБС "Рукопт". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9221-0679-5 (электронный ресурс, <http://rucont.ru/efd/152088>)

б) дополнительная литература

1. Коваленко А. А. Основы микроэлектроники. Учебное пособие. Гриф УМО МО РФ для студентов высших учеб. Заведений. М.: Academia. 2006. 239с (1 экз.)

2. Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники. Учебник для вузов. М.: Лань 2008. 384 с. (1 экз.)

3. Кравченко, Александр Филиппович. Физические основы функциональной электроники [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по группе спец. "Электрон. техника, радиотехника и связь" / А. Ф. Кравченко ; Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки на 1997-2000 гг.". - Новосибирск : Изд-во НГУ, 2000. - 442 с. : ил. ; 22см. - Библиогр. в конце гл. - ISBN 5761504898 (2 экз.)

4. Степаненко, Игорь Павлович. Основы микроэлектроники [Текст] : учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Лаборатория Базовых Знаний, Физматлит; СПб.: Невский Диалект, 2001. - 488 с. : ил. ; 22см. - (Технический университет). - ISBN 5932080450 (28 экз.)

в) программное обеспечение – тест по основным разделам дисциплины

1. Microsoft PowerPoint

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Поисковые системы Google, Yandex.

2. Электронные ресурсы доступные по логину и паролю, предоставляемые Научной библиотекой ИГУ

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):**

Чтение лекций может сопровождаться демонстрацией информации в виде мультимедийных презентаций, выдачей студентам раздаточного лекционного материала.

## **10. Образовательные технологии:**

На лекциях используются активные методы обучения (компьютерных симуляций, разбор конкретных ситуаций).

## **11. Оценочные средства (ОС):**

### **11.1. Оценочные средства для входного контроля**

Не предусмотрено.

### а. Оценочные средства текущего контроля

Текущий контроль реализуется в виде письменного текущего контроля на ПЗ1-ПЗ-Текущий контроль направлен на выявление сформированности компетенций ОПК-1, ОПК-6.

Для реализации текущего контроля используется балльно-рейтинговая система оценки, принятая в университете.

Усвоение студентом изучаемой дисциплины максимально оценивается 100 баллами. Максимальное количество баллов за текущую работу в семестре ограничивается 60-ю баллами, на оценку зачета максимально предусмотрено 30 баллов. Возможны «премиальные» баллы (от 0 до 10), которые могут быть добавлены студенту за активные формы работы, высокое качество выполненных практических работ и т.д.

За посещение одного вида занятия дается 2 балла (17 занятий (Л+Пз+КСР) \* 2 балла = 34 балла), максимальное количество баллов за письменный контроль на СКР и Пз – 2.6 балла (10 занятий (КСР+ПЗ)\*2.6 балла = 26 баллов).

Параметры оценочного средства для письменного текущего контроля на ПЗ1-П7, КСР1-КСР3.

Критерии оценки	Оценка / баллы			
	Отлично 2.6 баллов.	Хорошо 1.8 баллов	Удовлетв. 1, 0 балла.	Неудовл. ➤ 1,0 балла
Выполнение заданий	Полностью и корректно выполнены все задания.	Полностью выполнены все задания, допущены одна – две ошибки.	Не полностью выполнены задания, допущены одна – две ошибки.	Задание не выполнены или задание выполнено не полностью и допущено более 3-х ошибок.

### Вопросы для письменного текущего контроля:

#### ПЗ-1

Классификация интегральных микросхем. Полупроводниковые, пленочные, совмещенные и гибридные микросхемы. Проектирование и процессы изготовления интегральных схем. Планарная технология.

#### ПЗ –2

Биполярный транзистор. Принципы работы биполярного транзистора. Схемы включения биполярного транзистора (с общей базой, с общим эмиттером, общим коллектором). Полевые транзисторы. МДП–транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. Вольт - амперные характеристики полевых транзисторов.

#### ПЗ-3

Транзисторные ключи на биполярных и МДП-транзисторах. Ключи на комплементарных МДП-структурах как основа для построения микромощных схем.

#### ПЗ-4

Диффузионные резисторы и пленочные резисторы. Коэффициент формы пленочного резистора. Металлооксидные резисторы. Тонкопленочные и толстопленочные резисторы и конденсаторы, распределенные RC-структуры, интегральные индуктивности.

#### ПЗ-5

Контактные явления на границе металл – полупроводник. Работа выхода носителей заряда. Барьер Шоттки. Диод Шоттки. Физические ограничения на уменьшение размеров активных элементов ИС и степень их интеграции. Технологические факторы, определяющие предельные возможности микроэлектроники.



**ПЗ-6**

Транзисторно-транзисторные структуры и элементы с эмиттерной связью. Логическая ячейка на элементах с инжекционным питанием. 36. Биполярные и МДП-элементы для интегральных операционных усилителей.

**ПЗ-7**

Схемы памяти. Запоминающие ячейки оперативной памяти. Постоянные запоминающие устройства. Флэш-память.

**в. Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация направлена на проверку сформированности компетенций ОПК-1, ОПК-6 и проводится в форме экзамена. Форма проведения зачета – устный по билетам. Зачет проводится во время экзаменационных сессий в соответствии с расписанием. Экзаменационный билет состоит из одного теоретического и одного практического вопроса. Вопросы для самостоятельной подготовки студентов к экзамену приведены в приложении 1.

Студент допускается к зачету в том случае, если в течение семестра за текущую работу набрано 40 баллов и более. В противном случае выставляется 0 сессионных баллов. Во время зачета студент может набрать до 30 баллов. Если на ответ студента оценивается менее чем 10-ю баллами, то экзамен считается не сданным, студенту выставляется 0 баллов, а в ведомость выставляется оценка «не зачтено».

Если на зачете студент набирает 10 и более баллов, то они прибавляются к сумме баллов за текущую работу и переводятся в академическую оценку, которая фиксируется в ведомости и зачетной книжке студентов.

Преподаватель выставляет зачет без процедуры его сдачи, если сумма баллов, набранная студентом за текущую работу составит не менее 60 баллов.

Итоговый семестровый рейтинг	Академическая оценка
Не менее 60-баллов	«зачтено»
Менее 60 баллов	«не зачтено»

Критерии				
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
Знание	Всесторонние глубокие знания <b>(10 -11 баллов)</b>	Знание материала в пределах программы <b>(7 -9 баллов)</b>	Отмечены пробелы в усвоении программного материала <b>(4 -6 баллов)</b>	Не знает основное содержание дисциплины <b>(0-3 балла)</b>
Понимание	Полное понимание материала, приводит примеры, дополнительные вопросы не требуются <b>(8 -10 баллов)</b>	Понимает материал, приводит примеры, но испытывает затруднения с выводами, однако достаточно полно отвечает на дополнительные вопросы <b>(6 -8 баллов)</b>	Суждения поверхностны, содержат ошибки, примеры не приводит, ответы на дополнительные вопросы неуверенные <b>(4 -6 баллов)</b>	С трудом формулирует свои мысли, не приводит примеры, не дает ответа на дополнительные вопросы <b>(0-3 балла)</b>

Применение проф. терминологии	Дает емкие определения основных понятий, корректно использует профессиональную терминологию (3-5 баллов)	Допускает неточности в определении понятий, не в полном объеме использует профессиональную терминологию (2-3 балла)	Путает понятия, редко использует профессиональную терминологию (1-2 балла)	Затрудняется в определении основных понятий дисциплины, некорректно использует профессиональную терминологию (0-2 балла)
Соблюдение норм литературного языка	Соблюдает нормы литературного языка, преобладает научный стиль изложения (3-4 балла)	Соблюдает нормы литературного языка, допускает единичные ошибки (2-3 балла)	Допускает множественные речевые ошибки при изложении материала (1-2 балла)	Косноязычная речь искажает смысл ответа (0-1 балл)

### Приложение 1

#### Примерный перечень вопросов и заданий к экзамену

1. Классификация интегральных микросхем. Полупроводниковые, пленочные, совмещенные и гибридные микросхемы. Простейшие интегральные схемы.
2. Проектирование и процессы изготовления интегральных схем. Планарная технология.
3. Технологические основы микроэлектроники, Эпитаксия, легирование, травление, нанесение тонких пленок, металлизация.
4. Основные типы ИМС и конструкторско-технологические особенности их изготовления. Этапы производства полупроводниковой интегральной схемы.
5. Физические ограничения на уменьшение размеров активных элементов ИС и степень их интеграции.
6. Технологические факторы, определяющие предельные возможности микроэлектроники. Ограничения современных литографических методик и перспективные методы повышения их разрешающей способности.
7. Методы изоляции элементов ИМС. Структуры «кремний на изоляторе» и «кремний на сапфире».
8. Интегральные пассивные и активные элементы ИМС. Особенности микроэлектронных схем, изготовленных методами планарной, изопланарной и гибридной технологий.
9. Транзисторные ключи на биполярных и МДП-транзисторах.
10. Ключи на комплементарных МДП-структурах как основа для построения микромощных схем.
11. Примеры схемотехнических решений ИМС на основе полевых транзисторов. Базовые логические схемы.
12. Транзисторно-транзисторные структуры и элементы с эмиттерной связью. Логическая ячейка на элементах с инжекционным питанием.
13. Биполярные и МДП-элементы для интегральных операционных усилителей.
14. Запоминающие ячейки оперативной памяти. Постоянные запоминающие устройства. Флэш-память.
15. Основные компоненты и характеристики интегральных схем СВЧ — диапазона.

Ширина запрещенной зоны зависит от температуры. Дельта  $E(T) = \text{дельта}E(0) - nT$ , где  $n$  – температурный коэффициент ширины запрещенной зоны, а  $\text{дельта}E(0)$  – ширина запрещенной зоны при \_\_\_\_\_

- 1). 0 К
- 2). 300 К
- 3). 500 К
- 4). температуре Кюри

Верный ответ - 1

№ 2

Время жизни зависит от концентрации легирующей примеси и количества дефектов в полупроводнике: с \_\_\_\_\_ концентрации примеси время жизни \_\_\_\_\_, т.к. примеси выступают в роли центров рекомбинации.

- 1). ростом, уменьшается
- 2). падением, уменьшается
- 3). ростом, растёт
- 4). падением, растёт

Верный ответ - 1

№ 3

Под длиной диффузионного смещения понимается расстояние, на котором концентрация носителей уменьшается в \_\_\_\_\_ раз.

- 1).  $e$
- 2). 2
- 3). 4
- 4). 10

Верный ответ - 1

№ 4

Тепловой потенциал  $kT/q$  при 300 К примерно равен (с точностью до порядка)

- 1). 0,000258
- 2). 0,0258
- 3). 2,58
- 4). 25,8

Верный ответ - 2

Разработчик:  доцент кафедры общей и экспериментальной физики ИГУ,

к.ф.-м.н., Голыгин Е.А.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики ИГУ  
«24» марта 2022 г.

Протокол № 6

Зав. кафедрой



д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**