

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 (подпись) Страхов С.Ю.  
 ФИО  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Направление/специальность подготовки	11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы
Специализация/профиль/программа подготовки	Радиолокационные системы и комплексы
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	И Информационных и управляющих систем
Выпускающая кафедра	И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
Кафедра-разработчик рабочей программы	И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
2	4	3	108	51	34	17	0	57	0	0	57	зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы**

год набора группы: 2025

Программу составил:

Кафедра И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
Флёров Александр Николаевич, старший преподаватель

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Заведующий кафедрой Страхов С.Ю., д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Заведующий кафедрой Страхов С.Ю., д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ**

## **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

# 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 — Способен представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

ОПК-2 — Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения

ОПК-4 — Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных

ОПК-6 — Способен учитывать существующие и перспективные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторских работ

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ОПК-1**

*знания:*

физические процессы, конструкции, принцип действия, характеристики и параметры приборов различного назначения и микроэлектронных устройств;

*умения:*

освоение основных характеристик полупроводниковых электронных приборов;

*навыки:*

исследование различных схем включения электронных приборов.

## **ОПК-2**

*знания:*

материалы электронной техники и их электрофизические свойства; характеристики р-п перехода; полупроводниковые диоды, биполярные и полевые транзисторы; фотоэлектрические и излучательные приборы; характеристики, параметры и модели полупроводниковых приборов; элементы интегральных схем; базовые логические элементы на основе биполярных и полевых транзисторов; запоминающие логические элементы; основы функциональной электроники;

*умения:*

умение анализировать работу схем, содержащих полупроводниковые электронные приборы;

*навыки:*

определение основных характеристик электронных приборов;

- исследование различных схем включения электронных приборов;

- работа с макетными установками, включающими электронные приборы;.

## **ОПК-4**

*знания:*

оснать принцип работы полупроводниковых приборов;

*умения:*

уметь снимать характеристики электронных приборов с помощью радиоэлектронной аппаратуры;

*навыки:*

навыки организации и проведения измерения параметров и характеристик, обработки данных.

## **ОПК-6**

*знания:*

знание современных технологий изготовления электронных приборов и радиоэлектронной аппаратуры;

*умения:*

уметь проводить исследования работы полупроводниковых приборов, сравнивать основные характеристики;

*навыки:*

навык анализа и выбора технологий производства радиоэлектронной аппаратуры.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ФИЗИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **СХЕМОТЕХНИКА АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
- ОПК-2 — Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения
- ОПК-3 — Способен к логическому мышлению, обобщению, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения, освоению работы на современном измерительном, диагностическом и технологическом оборудовании, используемом для решения различных научно-технических задач в области радиоэлектронной техники и информационно-коммуникационных технологий

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %			
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ОПК-1	ОПК-2	ОПК-4	ОПК-6
2	4	<b>Раздел 1. Электрофизические свойства полупроводниковых материалов. Р-п-переход, его свойства. Диоды. Стабилитроны.</b> Собственные и примесные полупроводники. Электронно-дырочный р-п переход. Диффузионная разность потенциалов. ВАХ диода. Понятия о зарядной и диффузионной емкостях диода. Эквивалентная схема диода. Особенности диодов различного назначения: выпрямительного, стабилитрона, варикапа, высокочастотного, импульсного, туннельного, диода Шоттки. Пробой диода: туннельный, лавинный, тепловой пробой. Стабилитрон, его устройство и принцип работы. Основные характеристики и параметры стабилитрона.	34	17	8	9	17	25	25	25	25
2	4	<b>Раздел 2. Фотоэлектрические и излучательные приборы.</b> Фотодиод, светоизлучающий диод. Биполярный фототранзистор. Характеристики, параметры и модели полупроводниковых приборов.	12	4	4	0	8	5	5	5	5
2	4	<b>Раздел 3. Биполярные транзисторы (БТ). Усилительные каскады постоянного и переменного тока на БТ.</b> Устройство и работа биполярного транзистора (БТ). Токи прибора, параметры. Схемы включения их свойства. Модель БТ реальные и идеализированные ВАХ. Работа при малом сигнале. Эквивалентные схемы. Зависимости параметров от температуры, режима, частоты сигнала. Работа при большом сигнале. Импульсный режим, способы повышения быстродействия. Мощные БТ: особенности конструкции, работы и применения.	28	14	10	4	14	30	30	30	30
2	4	<b>Раздел 4. Полевые транзисторы (ПТ).</b> ПТ с управляющим р-п-переходом. ПТ с изолированным затвором и собственным каналом. ППТ с изолированным затвором и индуцируемым каналом. Современные полевые транзисторы. Мощные MOSFET (SIPMOS, HEXFET) полевые транзисторы. Структура и принцип действия. Мощные IGBT полевые транзисторы, структура и принцип действия NEMFET транзисторы. Разновидности транзисторов с высокой подвижностью носителей. МДП транзисторы с двойным затвором. Микро FET транзисторы интегральных схем.	20	10	6	4	10	30	30	30	30
2	4	<b>Раздел 5. Перспективные направления транзисторной микроэлектроники.</b> Правило Мура. Наноразмерная электроника. Квантовомеханические эффекты. Понятие о Волнах де Бройля, эффект Аарнонова - Бёма, эффект Джозефсона, эффект Мейснера. Углеродные нанотрубки. Понятие о квантовых точках. Перспективные транзисторные структуры: молекулярный транзистор; спиновый транзистор, графеновый транзистор, квантово-интерференционный транзистор, транзистор на квантовых точках, транзисторы на основе нанотрубок; ферроэлектрический транзистор. Понятие о кремниевой фотонике.	14	6	6	0	8	10	10	10	10
Всего за 4 семестр			108	51	34	17	57	100	100	100	100
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100	100	100

#### 3.2. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Электрофизические свойства полупроводниковых материалов. Р-п-переход, его свойства. Диоды. Стабилитроны.	исследование полупроводниковых диодов, исследование стабилитрона	9
2	Раздел 3. Биполярные транзисторы (БТ). Усилительные каскады постоянного и переменного тока на БТ.	исследование биполярного транзистора	4
3	Раздел 4. Полевые транзисторы (ПТ).	«исследование полевого транзистора»	4
<b>Всего за 4 семестр</b>			<b>17</b>

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Электрофизические свойства полупроводниковых материалов. Р-п-переход, его свойства. Диоды. Стабилитроны.	физика полупроводников. ВАХ диодов, ВАХ стабилитрона	17
2	Раздел 2. Фотоэлектрические и излучательные приборы.	фотоэлектрические эффекты	8
3	Раздел 3. Биполярные транзисторы (БТ). Усилительные каскады постоянного и переменного тока на БТ.	физика биполярного транзистора	14
4	Раздел 4. Полевые транзисторы (ПТ).	физика работы полевых транзисторов	10
5	Раздел 5. Перспективные направления транзисторной микроэлектроники.	перспективные транзисторы	8
<b>Всего за 4 семестр</b>			<b>57</b>

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4					Вопр. Зач	ДР				ДР				Вопр. Зач		ДР	Вопр. Зач, зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Вопр. Зач – вопросы к зачету;
- зач. – зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы к зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. . Электронные и микроэлектронные приборы. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, 86 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Радиотехника – XXI век.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://urait.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
2. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
3. <http://library.voenmeh.ru> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.



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

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Лабораторные занятия:**

1. Комплект учебного оборудования "Основы электроники" ОЭ-МР-01.1;
2. Осциллограф АКИП-4115;
3. Проектор.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы*. Дисциплина реализуется на факультете И Информационных и управляющих систем БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой И4 РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-1 Способен представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

ОПК-2 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения;

ОПК-4 Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных;

ОПК-6 Способен учитывать существующие и перспективные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторских работ.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с физическими процессами в полупроводниковых материалах и принципами работы электронных и микроэлектронных приборов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы к зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Электрофизические свойства полупроводниковых материалов. Р-п-переход, его свойства. Диоды. Стабилитроны.</b>		
физика полупроводников. ВАХ диодов, ВАХ стабилитрона	А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. . Электронные и микроэлектронные приборы: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (1,2,3)	17
Итого по разделу 1		17
<b>Раздел 2. Фотоэлектрические и излучательные приборы.</b>		
фотоэлектрические эффекты	А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. . Электронные и микроэлектронные приборы: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (2)	8
Итого по разделу 2		8
<b>Раздел 3. Биполярные транзисторы (БТ). Усилительные каскады постоянного и переменного тока на БТ.</b>		
физика биполярного транзистора	А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. . Электронные и микроэлектронные приборы: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (4)	14
Итого по разделу 3		14
<b>Раздел 4. Полевые транзисторы (ПТ).</b>		
физика работы полевых транзисторов	А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. . Электронные и микроэлектронные приборы: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (4)	10
Итого по разделу 4		10
<b>Раздел 5. Перспективные направления транзисторной микроэлектроники.</b>		
перспективные транзисторы	А. Н. Флёров, С. Ю. Страхов, А. А. Флёрова. . Электронные и микроэлектронные приборы: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (3, 4)	8
Итого по разделу 5		8

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы к зачету;
- зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы к зачету

1. Электронный энергетический спектр кристалла.
2. Энергетические зоны в кристаллах.
3. Туннельный эффект.
4. Образование энергетических зон.
5. Соотношение Гейзенберга для энергии и времени.
6. Зонная диаграмма. Валентная зона и зона проводимости. Проводники, полупроводники и изоляторы.
7. Статистика Ферми- Дирака
8. Тепловое движение электронов, длина свободного пробега.
9. Собственный полупроводник. Электроны и дырки.
10. Генерация и рекомбинация.
11. Световая генерация и рекомбинация. Излучательная рекомбинация.
12. Время жизни неравновесных носителей заряда.
13. Примесные полупроводники (р и n полупроводники). Донорные и акцепторные примеси.
14. Зонные диаграммы примесных полупроводников.
15. Электронно- дырочная проводимость п/п.
16. Основные и неосновные носители заряда.
17. Механизм электронной и дырочной проводимости полупроводника.
18. Концентрация носителей заряда в примесных полупроводниках.
19. Энергия ионизации примесей.
20. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в примесных полупроводниках.
21. Процессы переноса зарядов в полупроводнике.
22. Дрейф носителей заряда. Дрейфовая скорость насыщения. Подвижность носителей заряда. Плотность дрейфового тока.
23. Диффузия носителей заряда. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Плотность диффузионного тока.
24. Диффузионная длина.
25. Полупроводники в сильном электрическом поле. Трансформация зонной диаграммы.
26. Ударная ионизация. Лавинный пробой.
27. Туннелирование. Туннельный пробой.
28. Электронно-дырочный переход (р-п). Классификация.
29. р-п –переход в равновесном и неравновесном состояниях. Энергетическая диаграмма р-п-перехода. Потенциальный барьер.
30. Прямосмещенный р-п –переход. Инжекция носителей заряда, Прямой ток.
31. Обратносмещенный р-п –переход, Экстракция носителей заряда. Обратный ток.
32. Ширина и емкость р-п –перехода. Барьерная и диффузионная емкость.
33. Вольтамперная характеристика р-п –перехода. Прямая и обратная ветви.
34. Электрический и тепловой пробой р-п перехода.
35. Дифференциальное сопротивление р-п –перехода.
36. Переход полупроводник- полупроводник.
37. Переход металл-полупроводник. Выпрямляющий контакт, омический контакт.
38. Переход Шоттки.
39. Выпрямительный диод. Вольтамперные характеристики.
40. Диод Шоттки. Вольтамперные характеристики.

41. Параметры диодов.
42. Стабилитрон. Вольтамперные характеристики.
43. Параметры стабилитрона.
44. Биполярные транзисторы. Устройство и принцип действия биполярного транзистора.
45. Коэффициенты инжекции, переноса и усиления тока.
46. Статические характеристики биполярного транзистора.
47. Параметры БТ транзисторов.
48. Малосигнальные параметры биполярного транзистора.
49. Эффект поля. Режимы обеднения, обогащения и инверсии приповерхностного слоя полупроводника.
50. Структура металл-диэлектрик- полупроводник (МДП).
51. Полевой транзистор с изолированным затвором. Устройство и принцип действия МОП транзистора с встроенным и индуцированным каналами.
52. Статические характеристики МОП (MOSFET) транзисторов.
53. Параметры полевых транзисторов

### **Зачет**

На зачете студенту предлагается 2 теоретических вопроса, на которые студент должен развернуто ответить. После этого он получает зачет по дисциплине.

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %				НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум		ОПК-1	ОПК-2	ОПК-4	ОПК-6	
2	4	Раздел 1. Электрофизические свойства полупроводниковых материалов. Р-п-переход, его свойства. Диоды. Стабилитроны.	34	17	8	9	17	25	25	25	25	Вопросы к зачету
2	4	Раздел 2. Фотоэлектрические и излучательные приборы.	12	4	4	0	8	5	5	5	5	Вопросы к зачету
2	4	Раздел 3. Биполярные транзисторы (БТ). Усилительные каскады постоянного и переменного тока на БТ.	28	14	10	4	14	30	30	30	30	Вопросы к зачету
2	4	Раздел 4. Полевые транзисторы (ПТ).	20	10	6	4	10	30	30	30	30	Вопросы к зачету
2	4	Раздел 5. Перспективные направления транзисторной микроэлектроники.	14	6	6	0	8	10	10	10	10	Вопросы к зачету
Всего за 4 семестр			108	51	34	17	57	100	100	100	100	
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100	100	100	

## Оценочные материалы по дисциплине ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

**ОПК-1 - Способен представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Теоретической основой процесса диффузии является\_\_\_\_\_

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Ширина базы биполярного транзистора должна быть\_\_\_\_\_

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Перед Вами представлены некоторые полупроводниковые приборы и количество  $p$ - $n$  переходов в них. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца.

Полупроводниковый прибор	Количество $p$ - $n$ переходов
1. Фоторезистор	А. Один $p$ - $n$ переход
2. Биполярный транзистор	Б. Два $p$ - $n$ переход
3. Полупроводниковый диод	В. Три $p$ - $n$ переход
4. Тиристор	Г. Не имеет $p$ - $n$ переходов

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Перед Вами представлены некоторые типы транзисторов. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца.

1. Биполярный транзистор	А. Транзистор <i>MOSFET</i>
2. МОП (МДП) транзистор	Б. Транзистор <i>FET</i>
3. Полевой транзистор	В. Транзистор <i>JFET</i>
4. Полевой транзистор с управляющим $p$ - $n$ переходом	Г. Транзистор <i>BJT</i>

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Для определения вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода необходимо выполнить следующие шаги в правильном порядке:

1. Подготовка измерительного оборудования – собрать схему с диодом, источником питания, амперметром и вольтметром.
2. Подача напряжения на диод – плавно изменять напряжение от нуля в прямом и обратном направлениях.
3. Фиксация показаний приборов – записывать значения тока через диод и напряжения на нём для каждого шага.
4. Построение графика ВАХ – нанести полученные точки на график (ток по вертикали, напряжение по горизонтали) и соединить их в кривую.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева на право.

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

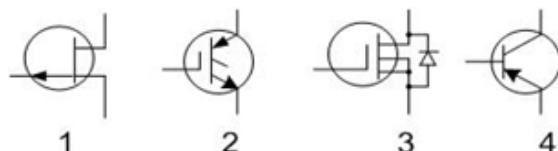
Для определения входных характеристик биполярного транзистора (зависимости тока базы от напряжения база-эмиттер при фиксированном напряжении коллектор-эмиттер) нужно выполнить следующие шаги в правильном порядке:

1. Подготовка схемы – подключить транзистор по схеме с общим эмиттером (ОЭ), подать постоянное напряжение  $U_{кэ}$  и подготовить регулируемый источник  $U_{бэ}$ .
2. Фиксация  $U_{кэ}$  – установить постоянное напряжение между коллектором и эмиттером (например, 0 В, 1 В, 5 В).
3. Изменение  $U_{бэ}$  и измерение  $I_b$  – плавно увеличивать  $U_{бэ}$ , фиксируя соответствующие значения тока базы.
4. Построение графика – нанести полученные зависимости  $I_b(U_{бэ})$  для каждого  $U_{кэ}$  на один график.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева на право.

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Укажите условно - графическое обозначение *IJB*Т транзистора.



№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Арсенид галлия входит в группу соединений полупроводников \_\_\_\_\_

1.  $A^{IV}B^{VI}$ ;
2. Элементарных;
3.  $A^{II}B^{VI}$ ;
4.  $A^{III}B^V$

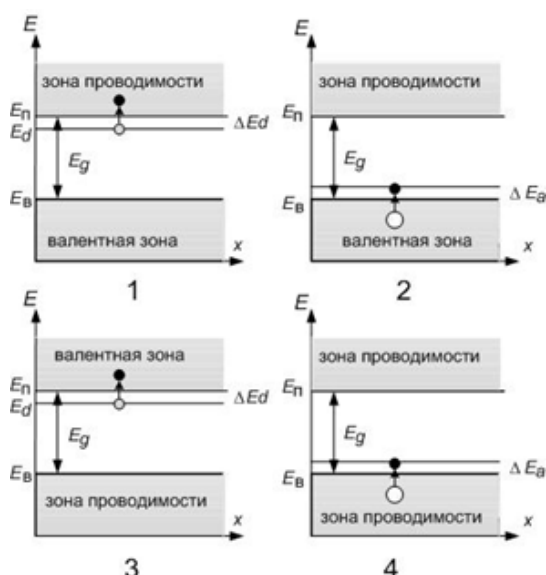
№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

От чего зависит проводимость примесных полупроводников в их рабочем диапазоне температур?

1. от наличия источника внешнего излучения;
2. **от концентрации примесей;**
3. от энергии фононов;
4. от температуры

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

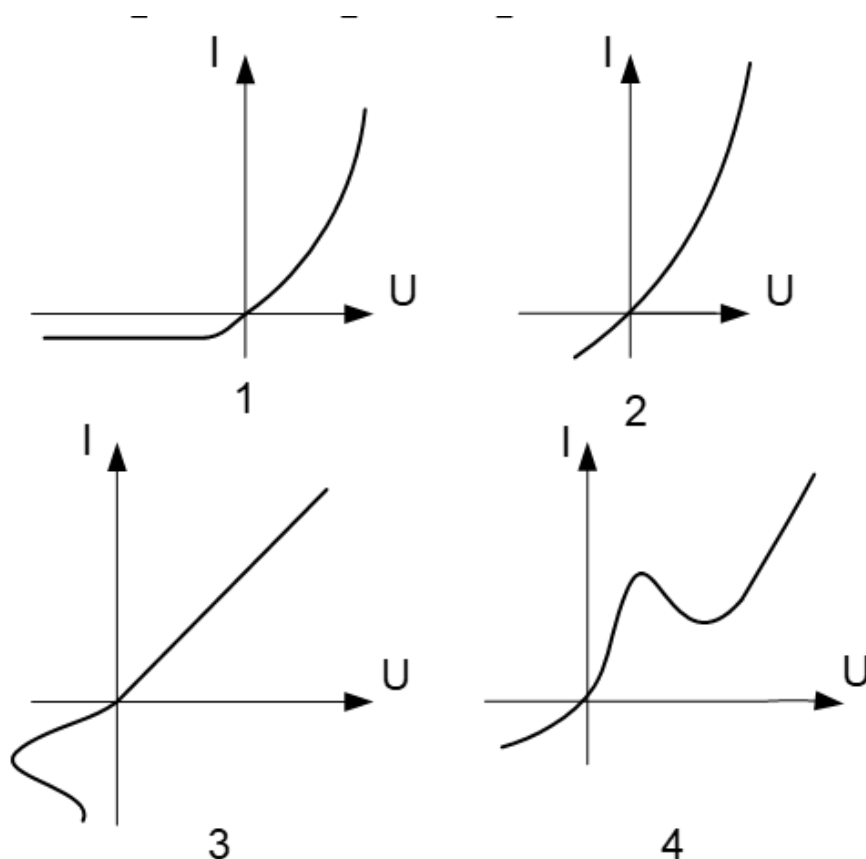
Укажите какие из представленных ниже энергетических диаграмм соответствуют полупроводникам *p*- и *n*- типов?





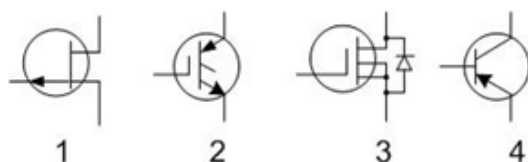
№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Укажите какие из представленных ниже вольт-амперных характеристик соответствуют туннельному диоду и диоду с  $p$ - $n$  переходом?



№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Укажите какие из представленных ниже условно-графических обозначений соответствуют  $JGBT$  и  $BT$   $p$ - $n$ - $p$  транзисторам?



**ОПК-2 - Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Резкое увеличение тока в полупроводнике вследствие ионизации атомов полупроводника неосновными носителями заряда под действием электрического поля называется \_\_\_\_\_

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Дрейф электронов через  $p$ - $n$ -переход происходит в направлении \_\_\_\_\_

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Вам даны  $h$  параметры биполярного транзистора с ОЭ и значения этих параметров. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца.

$h$ параметры биполярного транзистора с ОЭ	Значение $h$ параметра

- |              |  |
|--------------|--|
| 1. $h_{11э}$ | А. Выходная проводимость                       |
| 2. $h_{21э}$ | Б. Входное сопротивление                       |
| 3. $h_{12э}$ | В. Коэффициент обратной передачи по напряжению |
| 4. $h_{22э}$ | Г. Коэффициент передачи по току                |

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Вам даны  $h$  параметры биполярного транзистора (БТ) и значения этих параметров. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца.

$h$  параметры БТ      Значение  $h$  параметра

- |              |  |
|--------------|--|
| 1. $h_{11э}$ | А. Выходная проводимость БТ с ОК                       |
| 2. $h_{21б}$ | Б. Входное сопротивление БТ с ОЭ                       |
| 3. $h_{12э}$ | В. Коэффициент обратной передачи по напряжению БТ с ОЭ |
| 4. $h_{22к}$ | Г. Коэффициент передачи по току БТ с ОБ                |

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Для определения дифференциального сопротивления ( $R_{дифф}$ ) обратной ветви ВАХ полупроводникового стабилитрона необходимо выполнить следующие действия:

1. Выбрать на обратной ветви ВАХ рабочую точку (р.т.) ;
2. Рассчитать параметр  $R_{дифф} = DU_{ст} / DI_{ст}$
3. В окрестности р.т. задать приращение тока стабилитрона ( $DI_{ст}$ );
4. В окрестности р.т. задать приращение напряжения на стабилитроне ( $DU_{ст}$ ).

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Для определения обратного сопротивления ( $R_{обр}$ ) полупроводникового диода необходимо выполнить следующие действия:

1. Выбрать на обратной ветви ВАХ рабочую точку (р.т.) ;
2. Рассчитать параметр  $R_{обр} = DU_{д} / DI_{д}$
3. В окрестности р.т. задать приращение тока диода ( $DI_{д}$ );
4. В окрестности р.т. задать приращение напряжения на стабилитроне ( $DU_{д}$ ).

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Каково примерно напряжение открывания кремниевого диода?

1. (0,01-0,05) В;
2. (0,05-0,1) В;
3. **(0,5-0,7) В;**
4. (1,8-2) В

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Зонные энергетические диаграммы кристалла это:

1. Энергетический спектр ионов примеси в кристалле полупроводника;
2. Энергетический спектр валентных электронов собственного полупроводника;
3. **Энергетический спектр электронов в кристалле полупроводника;**
4. Энергетический спектр электронов проводимости в кристалле полупроводника

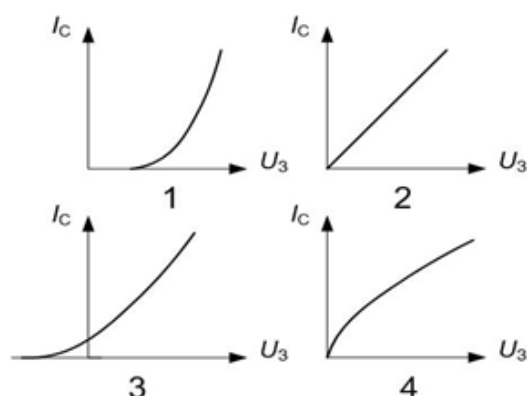
№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Как изменяется ширина  $p$ - $n$ -перехода при прямом включении полупроводникового диода?

1. Увеличивается при больших значениях внешнего источника напряжения;
2. Увеличивается;
3. Не изменяется;
4. **Уменьшается**

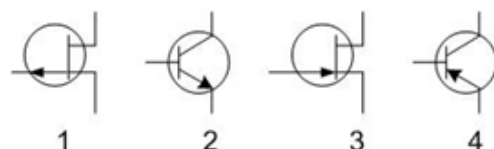
№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Укажите какие из представленных ниже стоко-затворных характеристик соответствуют МДП транзистору с встроенным каналом и МДП транзистору с индуцированным каналом?



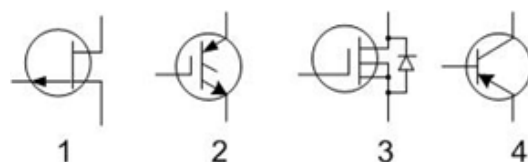
№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Укажите какие из представленных ниже УГО соответствуют полевому транзистору с управляющим  $p-n$  переходом и каналом  $p$  – типа и биполярного  $p-n-p$  транзистора?



№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Укажите какие из представленных ниже УГО соответствуют MOSFET транзистору и ПТ транзистору с управляющим  $p-n$  переходом?



**ОПК-4 - Способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Уровень Ферми (энергия уровня Ферми) \_\_\_\_\_

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Неопределенность Гейзенберга для энергии и времени в квантовой механике: \_\_\_\_\_

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Вам даны формулы расчетов параметров и описание этих параметров. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца.

Формула

расчета  
параметра

Описание параметра

1.  $S = di_c/dU_{3u}$

А. Выходная проводимость биполярного транзистора

2.  $R_{диф} = dU_{cm}/di_c$

Б. Крутизны стоко – затворной характеристики полевого транзистора

3.  $KU = S/R_n$

В. Коэффициент передачи по напряжению каскада на полевом транзисторе в схеме ОИ

4.  $h_{22} = di_k/dU_{кз}$

Г. Дифференциальное сопротивление обратной ветви стабилитрона

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Вам даны формулы расчетов параметров и описание этих параметров. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца.

Формула расчета параметра	Описание параметра
1. $R_{np} = U_{np\_pm} / i_{np\_pm}$	А. Прямое сопротивление полупроводникового диода в выбранной рабочей точке (р.т.)
2. $R_{\partial u \phi \phi} = dU_{бэ\_np} / di_{бэ\_np}$	Б. Обратное сопротивление полупроводникового диода
3. $R_{обp} = U_{обp} / i_{обp}$	В. Коэффициент передачи по току биполярного транзистора в схеме ОЭ
4. $h_{21} = i_{ik\_pm} / i_{iб\_pm}$	Г. Дифференциальное сопротивление прямой ветви полупроводникового диода в выбранной рабочей точке (р.т.)

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Для определения параметра  $h_{11}$  биполярного транзистора включенного по схеме ОЭ необходимо выполнить следующие действия:

1. Рассчитать параметр  $h_{11} = dU_{бэ} / di_{бэ}$
2. Выбрать на входной ВАХ рабочую точку (р.т.);
3. В окрестности р.т. задать приращение тока базы ( $di_{бэ}$ );
4. В окрестности р.т. задать приращение напряжения база- эмиттер ( $dU_{бэ}$ ).

Запишите соответствующую последовательность цифр слева на право.

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Для определения параметра  $h_{22}$  биполярного транзистора включенного по схеме ОЭ необходимо выполнить следующие действия:

1. Рассчитать параметр  $h_{22} = di_k / dU_{кэ}$
2. Выбрать на выходной ВАХ рабочую точку (р.т.);
3. В окрестности р.т. задать приращение тока коллектора ( $di_k$ );
4. В окрестности р.т. задать приращение напряжения коллектор- эмиттер ( $dU_{кэ}$ ).

Запишите соответствующую последовательность цифр слева на право.

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Что такое режим насыщения транзистора?

1. Эмиттерный и коллекторный переходы закрыты;
2. **Эмиттерный и коллекторный переходы открыты;**
3. Эмиттерный переход открыт коллекторный переход закрыт;
4. Эмиттерный переход закрыт коллекторный переход открыт

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Соотношение неопределенности Гейзенберга для энергии и времени?

( $dt$ ,  $dE$  - неопределенности времени и энергии)

1.  $dE dt > h/2p$ ;
2.  $dt dE < h/2p$ ;
3.  **$dt dE = h/2p$ ;**
4.  $dt dE = c/2p$ ;

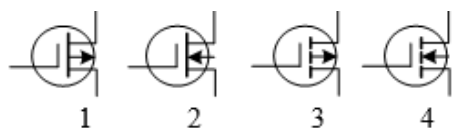
№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какова величина входного сопротивления полевого МДП транзистора по постоянному току?

1. сотни Ом;
2. единицы кило Ом;
3. **единицы и десятки мега Ом;**
4. единицы Ом;

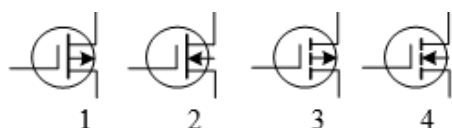
№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Укажите условно- графическое обозначение МДП - транзистора с встроенным каналом \_\_\_\_\_



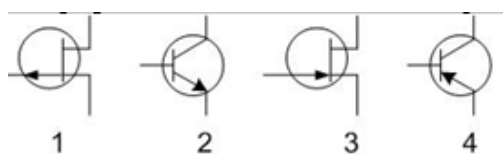
№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Укажите условно- графическое обозначение МДП - транзистора с индуцированным каналом \_\_\_\_\_



№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Укажите условно - графическое обозначение биполярного транзистора \_\_\_\_\_



**ОПК-6 - Способен учитывать существующие и перспективные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторских работ**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Ток базы в биполярном транзисторе это разность \_\_\_\_\_

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Тепловой пробой полупроводникового диода развивается при \_\_\_\_\_

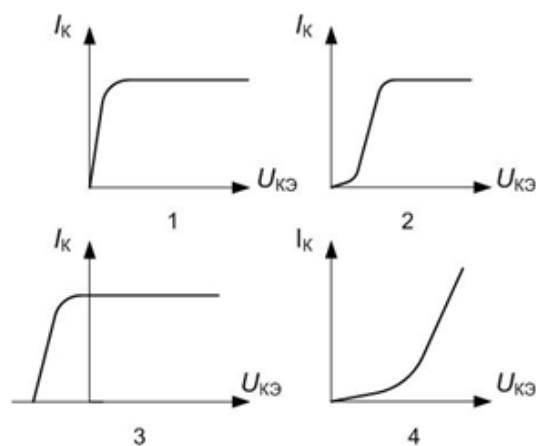
№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Вам даны названия режимов работы транзистора и описание этих режимов. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца.

Режим работы транзистора	Описание режима работы транзистора
1. Режим отсечки	А. Эмиттерный переход открыт, а коллекторный переход закрыт
2. Инверсный режим	Б. Эмиттерный переход открыт, коллекторный переход открыт
3. Активный режим	В. Эмиттерный переход закрыт, коллекторный переход закрыт
4. Режим насыщения	Г. Эмиттерный переход закрыт, а коллекторный переход открыт

№ 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Укажите выходную вольт амперную характеристику биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером при  $I_b = \text{const}$



№ 5 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Транзистор *MOSFET* (*metal – oxide-semiconductor field- effect transistor*) это \_\_\_\_\_

1. Биполярный транзистор;
2. **МДП транзистор;**
3. Транзистор с переходом Шоттки;
4. Транзистор с управляющим р-п переходом

№ 6 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Укажите формулу крутизны полевого транзистора при постоянном напряжении на затворе:

1.  $S = \frac{dI_H}{dU_{CH}}$  ;

2.  $S = \frac{dI_C}{dU_{ZH}}$  ;

3.  $S = \frac{dI_C}{dU_{CH}}$  ;

4.  $S = \frac{dI_C}{dU_{CЗ}}$

$I_C$  - ток стока;

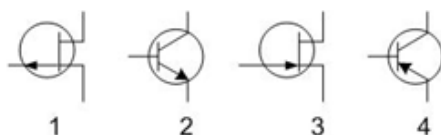
$U_{CH}$  - напряжение сток-исток,

$U_{ZH}$  - напряжение затвор-исток,

$U_{CЗ}$  - напряжение затвор- сток

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Укажите условно - графическое обозначение полевого транзистора с управляющим р-п переходом.



№ 8 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Состояние переходов биполярного транзистора, соответствующее ключевому режиму работы

1. Эмиттерный переход открыт, а коллекторный переход закрыт
2. Эмиттерный переход открыт, коллекторный переход открыт
3. Эмиттерный переход закрыт, коллекторный переход закрыт
4. Эмиттерный переход закрыт, а коллекторный переход открыт

№ 9 Прочитайте текст и установите соответствие

Вам даны формулы расчета параметров и название этих параметров. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца.

Формула расчета параметра	Название параметра
1. $S = dic/dU_{zi}$	А. Выходная проводимость биполярного транзистора
2. $h_{21} = dik/di_{б}$	Б. Крутизны стоко – затворной характеристики полевого транзистора
3. $h_{11} = dU_{бэ} / di_{б}$	В. Коэффициент передачи по току биполярного транзистора
4. $h_{22} = dik/dU_{кэ}$	Г. Эмиттерный переход закрыт, а коллекторный переход открыт

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какова теоретическая зависимость тока через  $p$ - $n$  переход и тока стока полевого (МДП) транзистора от величины приложенного внешнего управляющего напряжения?

$I_0$  - обратный ток насыщения  $p$ - $n$  перехода;

$U$  – управляющее напряжение;

$T$  – абсолютная температура;

$k$  – постоянная Больцмана

1.  $I = aU^2$ ;
2.  $I = I_0 \left( e^{\frac{aU}{kT}} - 1 \right)$ ;
3.  $I = I_0 \left( 1 - e^{\frac{aU}{kT}} \right)$ ;
4.  $I = a(1 + U^{3/2})$ ;

№ 11 Прочитайте текст и установите последовательность

Для определения параметра  $h_{21}$  биполярного транзистора включенного по схеме ОЭ необходимо выполнить следующие действия:

1. Выбрать на ВАХ передачи тока выбрать рабочую точку (р.т.);
2. Рассчитать параметр  $h_{21} = dik/id_{б}$
3. В окрестности р.т. задать приращение тока базы ( $dik$ );
4. В окрестности р.т. задать приращение тока коллектора ( $di_{б}$ );

Запишите соответствующую последовательность цифр слева на право.

№ 12 Прочитайте текст и установите последовательность

Для определения крутизны стоко – затворной характеристики полевого транзистора включенного по схеме ОИ необходимо выполнить следующие действия:

1. Выбрать на стоко – затворной ВАХ рабочую точку (р.т.);
2. Рассчитать крутизну стоко – затворной характеристики  $S = dic/dU_{zi}$
3. В окрестности р.т. задать приращение тока стока ( $dic$ );

4. В окрестности р.т. задать приращение напряжения на затворе ( $dU_{зи}$ );

Запишите соответствующую последовательность цифр слева на право.