




Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:

**Целью дисциплины** является изучение активных элементов радиоэлектроники, их моделей, областей и особенностей использования в радиоэлектронных системах.

### **Задачи дисциплины:**

- Достигнуть понимания принципов работы активных элементов радиоэлектроники.
- Дать информацию об основных эксплуатационных характеристиках, параметрах и схемах включения активных элементов.
- Познакомить с моделями элементов для использования в компьютерных технологиях проектирования радиоэлектронных систем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП:

«Физика активных элементов» относится к обязательным дисциплинам вариативной части Б1.В (Б1.В.04). Данная дисциплина формирует навыки измерения и анализа входных и выходных характеристик полупроводниковых приборов. «Физика активных элементов» базируется на основах физики, знании физики конденсированного состояния вещества, зонной теории и физики полупроводниковых структур, способов создания *p-n*-переходов. Она читается в 1-ом семестре 1-ого курса и основывается на следующих входных знаниях, умениях, навыках и компетенциях студента, полученных им при изучении предшествующих дисциплин:


- Математический анализ
- Дифференциальные уравнения
- Квантовая теория
- Физическое материаловедение
- Основы электро- и радиоизмерений
- Основы оптоэлектроники
- Основы нанотехнологий.

Данная дисциплина является предшествующей для будущего изучения следующих специальных дисциплин:

- Физическая кинетика
- Физические методы исследований
- Автоматизация эксперимента
- Методы современного геофизического эксперимента
- Механика геофизических сред
- Государственная итоговая аттестация

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Код компетенции	Наименование компетенции	Описание компетенции
ПК-3	Организационно инновационная	способность свободно владеть разделами и физики, необходимыми для решения научно-

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		


	педагогическая деятельность	инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.
ПК-4	Опытно-конструкторская деятельность	способность моделировать научные задачи и новые технологические процессы в области физики полупроводников, микроэлектроники и радиофизики.

#### 4. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) 7 ЗЕ

##### 4.2. Объем дисциплины по видам учебной работы (в часах) 252 ч

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения очная)			
	Всего по плану	В т.ч. по семестрам		
		6	7	8
1	2	3	4	5
Контактная работа обучающихся с преподавателем в соответствии с УП	42/42*		42/42*	
Аудиторные занятия:	42/42*		42/42*	
лекции	14/14*		14/14*	
Семинары и практические занятия				
Лабораторные работы, практикумы	28/28*		28/28*	
Самостоятельная работа	174/174*		174/174*	
Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы: тестирование, контр. работа, коллоквиум, рефераты др. (не менее 2 видов)	Тестирование		Тестирование	
Курсовая работа	-		-	
Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	Экзамен (36)		Экзамен (36)	
Всего часов по дисциплине	252/252*		252/252*	

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

\* В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий в таблице через слеш указывается количество часов работы ППС с обучающимися для проведения занятий в дистанционном формате с применением электронного обучения

#### 4.3. Содержание дисциплины (модуля.) Распределение часов по темам и видам учебной работы:


Форма обучения очная

Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий					Форма текущего контроля знаний
		Аудиторные занятия			Занятия в интерактивной форме	Самостоятельная работа	
		Лекции	Практические занятия, семинары	Лабораторные работы, практикумы			
1	2	3	4	5	6	7	
Тема 1. Диоды с контактом металл-полупроводник	22	2	-	3	10	19	тестирование
Тема 2. Полупроводниковые диоды	26	2	-	3	20	19	тестирование
Тема 3. Лавинно-пролетные диоды.	6	2	-	3		20	тестирование
Тема 4. Полевые транзисторы, управляемые р-п-переходом	8	2	-	3		19	тестирование
Тема 5. Биполярные транзисторы	9	1	-	3	2	19	тестирование
Тема 6. Динисторы и тиристоры	7	2	-	3		20	тестирование
Тема 7. МДП-транзисторы.	10	1	-	4		19	тестирование
Тема 8. Оптоэлектронные п/п приборы	6	1	-	3		19	тестирование
Тема 9. Диод Ганна	8	1	-	3		20	тестирование
Экзамен	36						тестирование
ИТОГО	252	14	-	28	32	174	тестирование

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Тема 1. Диоды с контактом металл-полупроводник.

Содержание темы: Зонные диаграммы контактов металл-полупроводник. Запорный и антизапорные слои. Распределение поля и потенциала в

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

обедненном слое (Барьер Шоттки). Ширина обедненного слоя в тепловом равновесии и при наличии смещения. Вольтамперные характеристики диодов с контактом Шоттки. Высота барьера в реальных контактах металл-кремний, силицид кремний-кремний, металл-арсенид галлия. Омический контакт.

#### Тема 2. Полупроводниковые диоды.

Содержание темы: Образование р-п- перехода, контактная разность потенциалов. Зонная диаграмма р-п- перехода в тепловом равновесии. Распределение поля, потенциала и ширина резкого и плавного р-п- переходов в тепловом равновесии. Зонные диаграммы р-п- переходов при прямом и обратном смещениях. Ширина резкого и плавного р-п- перехода при смещениях. Вольт-емкостная характеристика. Диодная теория выпрямления р-п- перехода в диффузионном приближении. Диод с короткой базой. Рекомбинационные процессы в р-п- переходах. Влияние различных факторов на величину рекомбинационного тока. Работа р-п- перехода при большом уровне инжекции. Механизм Холла. Влияние сопротивления базы. Механизм инжекционного усиления в диодах с длинной базой. Магнитодиоды. Проводимость диода с р-п- переходом на малом переменном сигнале, мало-сигнальная эквивалентная схема. Диффузионная емкость, зависимость от частоты переменного сигнала. Переходные процессы в диодах при включении из прямого направления в обратное и из прямого в нейтральное.

#### Тема 3. Лавинно-пролетные диоды.


Содержание темы: Лавинно-пролетный режим работы и режим с захваченной плазмой. р-і-п- диоды. Виды пробоя р-п- перехода: тепловой, туннельный, лавинный. Коэффициенты ионизации электронов и дырок, критерий лавинного пробоя, коэффициенты умножения электронов и дырок. Соотношения для зависимости напряжения лавинного пробоя резкого р-п- перехода от концентрации примесей. Туннельные и обращенные диоды. Особенности вольтамперных характеристик. Влияние электрон-фононного взаимодействия на туннельные процессы. Механизмы переноса тока в диэлектриках. Токи, ограниченные пространственным зарядом.

#### Тема 4. Полевые транзисторы, управляемые р-п- переходом.

Содержание темы: Полевые транзисторы с управляющим р-п- переходом. Принцип действия. Расчет входных вольтамперных характеристик полевого транзистора с управляющим р-п- переходом. Много и мало сигнальные параметры. Частотные свойства транзисторов с управляющим р-п- переходом. Транзисторы со статической индукцией.

#### Тема 5. Биполярные транзисторы.

Содержание темы: Режим работы: нормальный активный режим, инверсный активный режим, режим насыщения, режим отсечки. Транзистор как усилитель мощности. Схемы включения с общей базой и общим эмиттером. Зонная диаграмма транзистора в нормальном активном режиме. Бездрейфовый и дрейфовый транзисторы. Образование встроенного поля на базе планарного и мезапланарного транзисторов. Входные и выходные данные вольтамперные характеристики. Интегральные параметры - коэффициент переноса базы, коэффициент инжекции эмиттера, коэффициенты передачи тока в схемах с ОБ

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

и ОЭ. Зависимости от частоты малосигнальных коэффициентов передачи тока, предельная частота коэффициента передачи тока и граничная частота усиления. Влияние встроенного поля в базе и барьерной емкости эмиттер-база на частоты. Эффект вытеснения эмиттерного тока к краям эмиттеров. Особенности лавинного пробоя - тепловой и токовой. Переходные процессы в транзисторном ключе. Шумовые свойства биполярных транзисторов. Разновидность биполярных транзисторов, используемых в интегральных микросхемах: многоэмиттерный транзистор, многоколлекторный транзистор, горизонтальный транзистор, переключающий транзистор с барьером Шоттки. Биполярные транзисторы с гетеропереходами и вариозонной базой.

Тема 6. Динисторы и тиристоры.

Содержание темы: Вольтамперные характеристики тиристора. Условия переключения. Основные параметры тиристора, импульсные параметры тиристоров. Основные конструкции силовых тиристоров.

Тема 7. МДП-транзисторы.

Содержание темы: Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы). МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами. Расчет входных вольтамперных характеристик МДП-транзисторов на крутых и пологих участках. Малосигнальные параметры. Частотные свойства МДП-транзисторов. Мощные МДП-транзисторы. Особенности применения МДП-транзисторов в БИС. Эффекты короткого и узкого канала. Горячие носители в канале.

Тема 8. Оптоэлектронные п/п приборы.

Содержание темы: Фоторезисторы. Светоизлучающие диоды, п/п инжекционные лазеры. Электролюминесцентные излучатели. Принцип действия, основные характеристики и параметры. Фотодиоды на основе диодов с р-п- переходом, контакта металл-полупроводник, гетероперехода, интегральная чувствительность и спектральная характеристика. Фотоэлементы и солнечные батареи с р-п- переходом. Вольтамперные характеристики, коэффициент полезного действия, световая характеристика. Биполярные, МДП- фототранзисторы и фототиристоры.


Тема 9. Диод Ганна.

Содержание темы: Принцип действия и режим работы диодов Ганна (при наличии доменов сильного поля, с ограничением накопления объемного заряда). Зависимость дрейфовой скорости электронов от поля в арсениде галлия и фосфиде индия. Основные параметры генераторов Ганна; выходная мощность, рабочая частота и коэффициент полезного действия.

## 6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

Тема 1. Диоды с контактом металл-полупроводник. Вопросы к теме: Расчет потока термоэлектронной эмиссии в контактах металл-полупроводник и р-п- переходах. Вычисление величины электронного поля, потенциала и барьерной емкости в структурах с ОПЗ. Семинар.

Тема 2. Полупроводниковые диоды. Вопросы к теме: Расчет

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

термостимулированных и релаксационных процессов в п/п структурах. Расчет ВАХ п/п приборов с короткой базой. Расчет ВАХ с учетом рекомбинационных процессов и ВАХ при большом уровне инжекции. Семинар.

Тема 4. Полевые транзисторы, управляемые р-п- переходом. Вопросы к теме: Расчет параметров полевых транзисторов с управляющим р-п- переходом для пологих участков выходных ВАХ. Семинар.

## **Раздел 2. Физические процессы в активных элементах**

Тема 5. Биполярные транзисторы. Вопросы к теме: Расчет переходных процессов в импульсном режиме. Расчет частоты в дрейфовом транзисторе с экспоненциальным законом распределения примесей в базе. Семинар.

Тема 6. Динисторы и тиристоры. Вопросы к теме: Что такое динистор и тиристор. Основные конструкции силовых тиристоров. Дискуссия.

Тема 7. МДП-транзисторы. Вопросы к теме: Полевые транзисторы с изолированным затвором. Дискуссия.

Тема 8. Оптоэлектронные п/п приборы. Вопросы к теме: Фоторезисторы, фотоэлементы и солнечные батареи с р-п- переходом, биполярные, МДП-фототранзисторы и фототиристоры. Принцип работы и примеры их применения. Дискуссия

## **7.ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ, ПРАКТИКУМЫ**

**не предусмотрено учебным планом**


## **8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ**

Данный вид работы не предусмотрен УП.

### **9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ (ЗАЧЕТУ)**

1. Рекомбинационные процессы в р-п- переходах. Влияние различных факторов на величину рекомбинационного тока.
2. МДП- транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
3. Вольтамперные характеристики диодов с контактом Шоттки. Высота барьера в реальных контактах металл- кремний, силицид-кремний, металл-арсенид галлия. Омический контакт.
4. Биполярные транзисторы с гетеропереходами и вариозонной базой.
5. Диоды с контактом металл- полупроводник. Зонные диаграммы контактов металл- полупроводник. Запорный и антизапорные слои.
6. Переходные процессы в транзисторном ключе. Шумовые свойства биполярных транзисторов.
7. Диодная теория выпрямления р-п-перехода в диффузном приближении. Диод с короткой базой.
8. Полевые транзисторы с изолированным затвором(МДП- транзисторы).
9. Распределение поля и потенциала в обедненном слое (Барьер Шоттки). Ширина обедненного слоя в тепловом равновесии и при наличии смещения.



Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

10. Разновидность биполярных транзисторов, используемых в интегральных микросхемах: многоэмиттерный транзистор, многоколлекторный транзистор, горизонтальный транзистор, переключающий транзистор с барьером Шоттки.
11. Классификация дискретных п/п приборов и активных элементов ИС. Особенности тенденции и перспективы развития.
12. Эффект вытеснения эмиттерного тока к краям эмиттеров. Особенности лавинного пробоя- тепловой и токовой.
13. Распределение поля, потенциала и ширина резкого и плавного р-п- переходов в тепловом равновесии.
14. Вольтамперные характеристики тиристора. Условия переключения.
15. Вольт-емкостная характеристика.
16. Основные конструкции силовых тириستоров.
17. Проводимость диода с р-п- переходом на малом переменном сигнале, мало-сигнальная эквивалентная схема.
18. Малосигнальные параметры. Частотные свойства МДП- транзисторов.
19. Лавинно- пролетные диоды. Лавинно-пролетный режим работы и режим с захваченной плазмой. р-і-п- диоды.
20. МДП- транзисторы: эффекты короткого и узкого канала. Горячие носители в канале.
21. Коэффициенты ионизации электронов и дырок, критерий лавинного пробоя, коэффициенты умножения электронов и дырок. Соотношения для зависимости напряжения лавинного пробоя резкого р-п- перехода от концентрации примесей.
22. Полупроводниковые диоды. Образование р-п- перехода, контрактная разность потенциалов. Зонная диаграмма р-п- перехода в тепловом равновесии.
23. Динисторы и тиристоры.
24. Зонные диаграммы р-п-переходов при прямом и обратном смещениях. Ширина резкого и плавного р-п- перехода при смещениях.
25. Основные параметры тиристора, импульсные параметры тиристортов.
26. Работа р-п- перехода при большом уровне инжекции. Механизм Холла. Влияние сопротивления базы. Механизм инжекционного усиления в диодах с длинной базой.
27. Расчет входных вольтамперных характеристик МДП-транзисторов на крутых и пологих участках.
28. Диффузионная емкость, зависимость от частоты переменного сигнала. Переходные процессы в диодах при включении из прямого направления в обратное и из прямого в нейтральное.
29. Мощные МДП-транзисторы. Особенности применения МДП-транзисторов в БИС.
30. Виды пробоя р-п- перехода: тепловой, туннельный, лавинный.  
Полевые транзисторы на основе арсенида галлия и фосфида индия. Выходные характеристики в условиях насыщения дрейфовой скорости.


## 10.САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ

Содержание, требования, условия и порядок организации самостоятельной работы обучающихся с учетом формы обучения определяются в соответствии с «Положением об организации самостоятельной работы обучающихся», утвержденным Ученым советом УлГУ (протокол №8/268 от 26.03.2019г.).

Форма обучения очная



Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы (проработка учебного материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, экзамена и др.)	Объем в часах	Форма контроля (проверка решения задач, реферата и др.)																																								
Тема 1. Диоды с контактом металл-полупроводник	<p>1. Обратный ток насыщения диода с барьером Шоттки равен 2 мкА. Диод соединен последовательно с резистором и источником постоянного напряжения <math>E = 0,2</math> В так, что на диод подается прямое напряжение рисунок 7. а). Определить сопротивление резистора, если падение напряжения на нем равно 0,1 В. Диод работает при <math>T = 300</math> К.</p> <p>2. Известен обратный ток насыщения некоторого диода <math>I_0</math> с барьером Шоттки. Диод соединен последовательно с резистором и источником постоянного напряжения смещения <math>E_{см}</math>, так что на диод подается прямое напряжение. Определить сопротивление резистора, если задано падение напряжения на нем <math>UR</math>, В (табл. 2).</p> <table border="1" data-bbox="475 943 1161 1218"> <thead> <tr> <th>№ варианта</th> <th>0</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>I_0</math>, мкА</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1,2</td> <td>1,5</td> <td>1,3</td> <td>1,4</td> <td>2,2</td> <td>2,5</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td><math>E_{см}</math>, В</td> <td>0,2</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,3</td> <td>0,2</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td><math>UR</math>, В</td> <td>0,1</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> <td>0,1</td> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>0,1</td> <td>0,1</td> <td>0,3</td> </tr> </tbody> </table>	№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	$I_0$ , мкА	2	1	1,2	1,5	1,3	1,4	2,2	2,5	3	$E_{см}$ , В	0,2	0,6	0,8	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2	0,6	$UR$ , В	0,1	0,3	0,4	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	4	Проверка домашнего задания
№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8																																		
$I_0$ , мкА	2	1	1,2	1,5	1,3	1,4	2,2	2,5	3																																		
$E_{см}$ , В	0,2	0,6	0,8	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2	0,6																																		
$UR$ , В	0,1	0,3	0,4	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3																																		
Тема 2. Полупроводниковые диоды	<p>1. Имеется сплавной германиевый p-n-переход с концентрацией <math>N_d = 10^3 \cdot N_a</math>, причем на каждые 108 атомов германия приходится один атом акцепторной примеси. Определить контактную разность потенциалов при температуре <math>T = 300</math> К (концентрации атомов N и ионизованных атомов <math>n_i</math> принять равными <math>n_i = 4,4 \cdot 10^{22}</math> и <math>2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}</math> соответственно).</p> <p>2. Германиевый сплавной p-n-переход имеет обратный ток насыщения <math>I_0 = 1</math> мкА, а кремниевый с такими же размерами ток <math>I_0 = 10^{-8}</math> А. Вычислить и сравнить прямые напряжения на переходах при <math>T = 293</math> К, если через каждый диод протекает прямой ток 100 мА.</p> <p>3. Германиевый диод, имеющий обратный ток насыщения <math>I_0 = 25</math> мкА, работает при прямом напряжении, равном 0,1 В и <math>T = 300</math> К. Определить сопротивление диода постоянному току <math>R_0</math> и дифференциальное сопротивление <math>r_{диф}</math></p> <p>4. В идеальном p-n-переходе обратный ток насыщения <math>I_0 = 10^{-14}</math> А при <math>T = 300</math> К и <math>I_0 = 10^{-9}</math> А при <math>T = 125</math> °С. Определить напряжения на p-n-переходе в обоих</p>	4	Проверка домашнего задания																																								

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

	<p>случаях, если прямой ток равен 1 мА.</p> <p>5. Барьерная емкость диода равна 200 пФ при обратном напряжении</p> <p>2 В. Какое обратное напряжение следует приложить, чтобы емкость уменьшилась до 50 пФ, если контактная разность потенциалов <math>\phi_k = 0,82</math> В.</p>		
Тема 3. Лавинно-пролетные диоды.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить длину пролетного пространства ЛПД, предназначенного для работы на частоте <math>f = 5</math> ГГц. Материал – кремний. Движение электронов происходит с дрейфовой насыщенной скоростью. Максимальный угол пролета следует взять величиной <math>\pi</math> радиан.</li> <li>2. Определить эквивалентное сопротивление нагрузки, если выходная мощность ЛПД составляет 2 Вт, а постоянная составляющая тока <math>I_0 = 0,6</math> А.</li> <li>3. Определить длину свободного пробега электронов в германии и его электропроводность при комнатной температуре, если концентрация собственных носителей <math>n_i = 2,5 \cdot 10^{13}</math> см<sup>-3</sup>, подвижность электронов <math>\mu_n = 3600</math> см<sup>2</sup>/(с·В), и подвижность дырок <math>\mu_p = 1700</math> см<sup>2</sup>/(с·В). Средняя скорость электронов в полупроводнике 105 м/с.</li> <li>4. Определить активное сопротивление арсенид галлиевого ЛПД, имеющего величину тока пробоя 50 мА и напряжение пробоя 50 В, работающего в качестве генератора на частоте 10 ГГц с КПД 22%. Длина пространства дрейфа равна 0,1 см.</li> <li>5. Определить величину пускового тока генератора арсенид галлиевого ЛПД для случая <math>\Theta = \pi</math>, если коэффициент ионизации <math>\alpha = 105</math> см<sup>-1</sup>, толщина и площадь полупроводниковой структуры 5 мкм и 0,01 см<sup>2</sup> сопротивление потерь 1,0 Ом.</li> <li>6. Каких размеров должна быть длина пространства дрейфа ЛПД, выполненного на GaAs в 3-х сантиметровом диапазоне длин волн и постоянное напряжение смещения, чтобы величина КПД была бы 20%, при напряженности электрического поля на диоде <math>1 \cdot 10^5</math> В/см, подвижности <math>\mu_n = 8500</math> см<sup>2</sup>/В·с.</li> </ol>	4	Проверка домашнего задания
Тема 4. Полевые транзисторы, управляемые р-п-переходом	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. У некоторого полевого транзистора с управляющим р-п-переходом <math>I_{C, max} = 1</math> мА, <math>U_{oms} = 4</math> В. Определить: <ol style="list-style-type: none"> <li>а) какой ток будет протекать при обратном напряжении смещения затвор-исток, равном 2 В;</li> <li>б) чему равна крутизна и максимальная крутизна в этом случае</li> </ol> </li> <li>2. Полевой транзистор с управляющим р-п-переходом, имеющий <math>I_{C, max} = 2</math> мА и <math>S_{max} = 2</math> мА/В, включен в усилительный каскад по схеме с общим истоком. Сопротивление резистора нагрузки <math>R_H = 10</math> кОм. Определить коэффициент усиления по напряжению, если: а) <math>U_{зи} = -1</math> В; б) <math>U_{зи} = -0,5</math> В; в) <math>U_{зи} = 0</math>.</li> <li>3. В усилительном каскаде с общим истоком,</li> </ol>	4	Проверка домашнего задания





включения  
транзистора по схеме  
с ОЭ.

Номер варианта	Uбэ, В	Rк, кОм	Ек, В
1	0,4	0,05	40
2	0,15	0,2	40
3	0,15	0,1	40
4	0,1	0,05	40
5	0,15	1	40
6	0,25	10	20
7	0,3	0,1	20
8	0,3	5	40
9	0,25	1	40
10	0,2	1	20

Рис. Входная и выходные характеристики транзистора (вариант 1,11,21).

Рис. Входная и выходные характеристики транзистора (вариант 2,12,22).



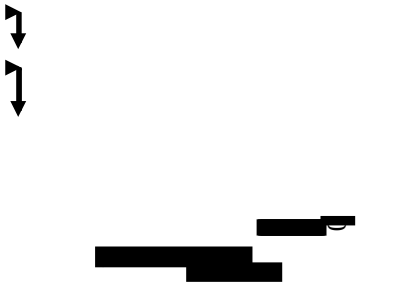

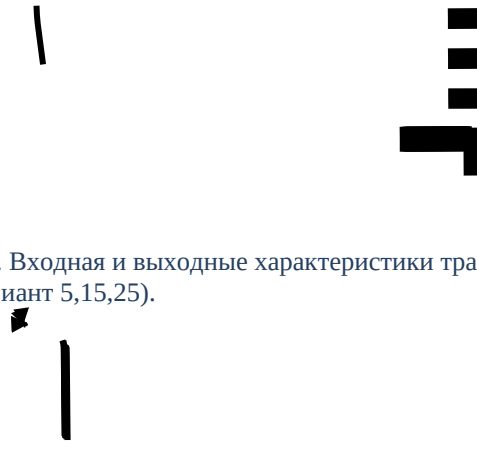
	<p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;">Рис. Входная и выходные характеристики транзистора (вариант 3,13,23).</p> <p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;">Рис. Входная и выходные характеристики транзистора (вариант 4,14,24).</p> <p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;">Рис. Входная и выходные характеристики транзистора (вариант 5,15,25).</p>		
--	--	--	--



Рис. Входная и выходные характеристики транзистора  
(вариант 6,16,26).

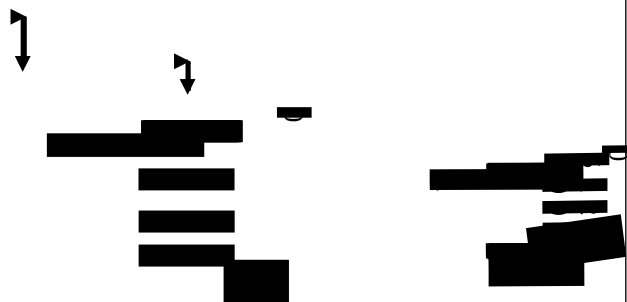
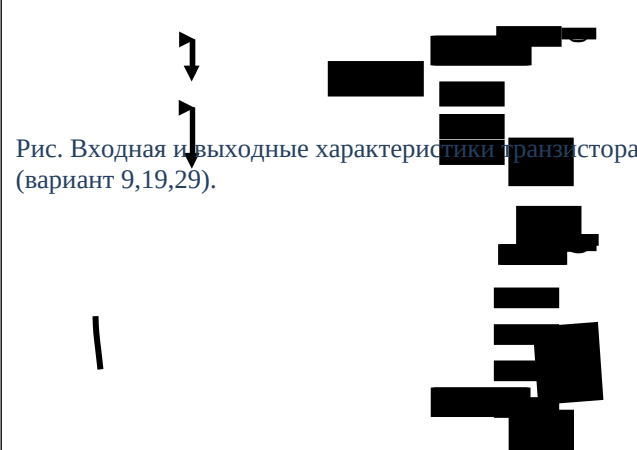
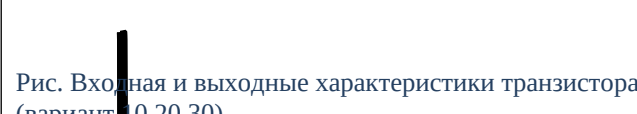


Рис. Входная и выходные характеристики транзистора  
(вариант 7,17,27).



Рис. Входная и выходные характеристики транзистора  
(вариант 8,18,28).

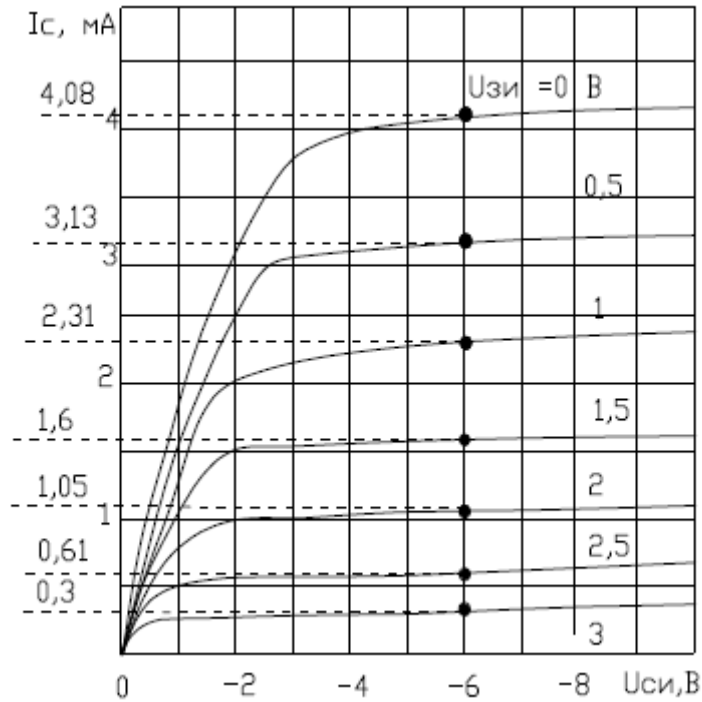


	 <p>Рис. Входная и выходные характеристики транзистора (вариант 9,19,29).</p>  <p>Рис. Входная и выходные характеристики транзистора (вариант 10,20,30).</p>		
Тема 6. Динисторы и тиристоры	<p>Вопросы к теме: 10. Приведите определение тиристора.</p> <p>11. Укажите области практического использования тиристоров</p> <p>12. Перечислите и охарактеризуйте виды тиристоров</p> <p>13. Поясните структуру, принцип действия, ВАХ динисторов.</p> <p>14. Поясните структуру, принцип действия, ВАХ тринисторов.</p> <p>15. Поясните структуру, принцип действия, ВАХ симисторов.</p> <p>16. Какими техническими параметрами характеризуются тиристоры?</p> <p>17. Поясните систему условных обозначений тиристоров.</p> <p>18. Поясните систему обозначений (маркировку) тиристоров.</p>	4	Проверка домашнего задания



Тема 7. МДП-транзисторы.

Пусть дан полевой транзистор типа КП103, напряжение сток-исток  $U_{стк} = -6 В$ ;  $U_{зщ} = 4 В$ . Даны выходные характеристики (рисунок 3.1). Для построения стокзатворной характеристики (прямой передачи) определим ток стока при  $U_{зщ} = 0 В, 0,5 В$  и т.д.



Определить дифференциальные параметры полевого транзистора и построить их зависимость от напряжения на затворе:  $\mu$ ;  $R_i$ ;  $S = f(U_{зи})$ .

6 Проверка домашнего задания

Тема 8. Оптоэлектронные п/п приборы

8. Ответить письменно на вопросы согласно варианту задания

32. Определение, особенности и достоинства оптоэлектронных приборов.

33. Фоторезистор: определение, условно-графическое обозначение, принцип работы, характеристики, параметры и назначение.


34. Фотодиод: определение, условно-графическое обозначение, принцип работы, характеристики, параметры и назначение.

35. Фототранзистор: определение, условно-графическое обозначение, принцип работы, характеристики, параметры и назначение.

36. Фототиристор: определение, условно-графическое обозначение, принцип работы, характеристики, параметры и назначение.


37. Светодиод: определение, условно-графическое обозначение, принцип работы, характеристики, параметры и назначение.

4 Проверка домашнего задания

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

	38.Оптроны: определение, разновидности, условно-графическое обозначение и применение. 39.Приборы индикации: разновидности, назначение и пример работы.		
Тема 9. Диод Ганна	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить соотношение концентрации электронов в долинах диода Ганна, если известна эффективная масса электронов в боковой долине, равная <math>m_{эфф2} = 1,2 m_0</math>, и в центральной долине- <math>m_{эфф1} = 0,07 m_0</math>, интервал между минимумами энергии в долинах равен <math>\Delta E = 36.0</math> , при температуре <math>T=300</math> К.</li> <li>2. Определить максимальную выходную мощность, обеспечиваемую генератором на диоде Ганна на основе GaAs, если он включен в камеру с активной проводимостью нагрузки <math>0,01</math> 1/Ом и работает в пролетном режиме на рабочей частоте <math>10</math> ГГц. Длина образца диода <math>8</math> мкм, рабочее напряжение <math>8,4</math> В. При изменении напряжения на диоде от <math>4</math> В до <math>8,4</math> В величина тока падала с <math>400</math> мА до <math>350</math> мА</li> <li>3. В генераторном режиме работы диода Ганна, домен возникает при постоянном напряжении большем порогового напряжения <math>U_0 &gt; U_{пор}</math>. Найти частоту генерации в пролетном режиме, если известны величины: пороговое напряжение <math>0,21</math>В; скорость носителей в пороговом режиме <math>6 \cdot 10^3</math> м/с, скорость насыщения <math>5 \cdot 10^3</math> м/с.</li> <li>4. Определить постоянную времени релаксации объёмного заряда и определить существование домена в диоде Ганна на основе GaAs n-типа при <math>L=1</math>мкм, скорости домена с <math>v = 10^7</math> см/с и исходной концентрации - <math>n = 2 \cdot 10^{15}</math> см<sup>-3</sup> , <math>\epsilon r = 12,5</math> , дифференциальная подвижность <math>\mu = 0,1</math> м<sup>2</sup>/В</li> <li>5. .Определить величину пороговой напряженности электрического поля на диоде Ганна, если средняя длина образца диода <math>14,3</math> мкм, а при напряжении питания <math>5</math>В начинается уменьшение тока диода от максимального значения.</li> </ol>	4	Проверка домашнего задания
Экзамен	Подготовка к сдаче экзамена: проработка вопросов и прорешивание типовых задач	36	экзамен

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) Список рекомендуемой литературы

#### основная

1. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов [Электронный ресурс]/ Лебедев А.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.— 488 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12950>. — ЭБС «IPRbooks»
2. Исследование параметров и характеристик полупроводниковых приборов с применением интернет-технологий [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.С. Глинченко [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: ДМК Пресс, 2009.— 352 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/7735> .— ЭБС «IPRbooks»,
3. Толмачев В.В. Физические основы электроники [Электронный ресурс]/ Толмачев В.В., Скрипник Ф.В.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2011.— 496 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16656> .— ЭБС «IPRbooks»

#### дополнительная :

1. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов / В. И. Старосельский. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 463 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-0808-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/425163>
2. Червяков, Г. Г. Электронная техника : учебное пособие для академического бакалавриата / Г. Г. Червяков, С. Г. Прохоров, О. В. Шиндор. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 250 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-10000-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/429122>
3. Данилов В.С. Анализ работы и применение активных полупроводниковых элементов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Данилов В.С., Раков Ю.Н.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014.— 418 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45077> .html. — ЭБС «IPRbooks»

#### учебно-методическая:

1. Евсеев Д. А. Методические указания для практической, лабораторной, самостоятельной работы студентов на всех специальностях и по всем направлениям по дисциплине «Физика активных элементов» / Д. А. Евсеев. - 2022. - Неопубликованный ресурс. - URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/11393>

Согласовано:

Вед. специалист ООП НБ УлГУ / \_\_\_\_\_  
Должность сотрудника научной библиотеки


  
ФИО

  
подпись

дата

### б) Программное обеспечение:

#### 1. Пакет MS Office, MS Windows, MATLAB, Maple

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

## в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы:

### 1. Электронно-библиотечные системы:

1.1. Цифровой образовательный ресурс IPRsmart: электронно-библиотечная система : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». - Саратов, [2022]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru>. - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. Образовательная платформа ЮРАЙТ : образовательный ресурс, электронная библиотека : сайт / ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. - Москва, [2022]. - URL: <https://ura.it.ru>. - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. База данных «Электронная библиотека технического ВУЗа (ЭБС «Консультант студента»): электронно-библиотечная система : сайт / ООО Политехресурс. - Москва, [2022]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.4. Консультант врача. Электронная медицинская библиотека : база данных : сайт / ООО Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг. - Москва, [2022]. - URL: <https://www.rosmedlib.ru>. - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Букап. - Томск, [2022]. - URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/>. - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.6. ЭБС Лань: электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС Лань. - Санкт-Петербург, [2022]. - URL: <https://e.lanbook.com>. - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.7. ЭБС [Znaniyum.com](http://znaniyum.com): электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Москва, [2022]. - URL: <http://znaniyum.com>. - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.8. ClinicalCollection : научно-информационная база данных EBSCO // EBSCOhost : [портал]. - URL: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/search/advanced?vid=1&sid=9f57a3e1-1191-414b-8763-e97828f9f7e1%40sessionmgr102>. - Режим доступа : для авториз. пользователей. - Текст : электронный.

1.9. База данных «Русский как иностранный» : электронно-образовательный ресурс для иностранных студентов : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». - Саратов, [2022]. - URL: <https://ros-edu.ru>. - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

**2. Консультант Плюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система. / ООО «Консультант Плюс» - Электрон. дан. - Москва : Консультант Плюс, [2022].

### 3. Базы данных периодических изданий:


3.1. База данных периодических изданий EastView : электронные журналы / ООО ИВИС. - Москва, [2022]. - URL: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>. - Режим доступа: для авториз. пользователей. - Текст : электронный.

3.2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО Научная Электронная Библиотека. - Москва, [2022]. - URL: <http://elibrary.ru>. - Режим доступа : для авториз. пользователей. - Текст : электронный

3.3. Электронная библиотека «Издательского дома «Гребенников» (Grebinnikon) : электронная библиотека / ООО ИД Гребенников. - Москва, [2022]. - URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. - Режим доступа : для авториз. пользователей. - Текст : электронный.

### 4. Федеральная государственная информационная система «Национальная



Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

~ для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий, организация работы ППС с обучающимися с ОВЗ и инвалидами предусматривается в электронной информационно-образовательной среде с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Разработчик



подпись

доцент. Евсеев Д.А.

должность ФИО