МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Балахнинский филиал ННГУ

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«26» июня 2019 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень высшего образования
БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки
13.03.02. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Направленность (профиль) образовательной программы
ЭЛЕКТРОРАДИОТЕХНИКА

Квалификация

БАКАЛАВР

Формы обучения
ОЧНО-ЗАОЧНАЯ

Балахна
2019

Лист актуализации

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Пересмотренная рабочая программа утверждена на заседании учёного совета Балахнинского филиала ННГУ
10 июня 2020 г. Протокол № 6. Председатель учёного совета БФ ННГУ _____А.К. Балдин

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2020-2021 учебном году на заседании кафедры
Прикладной информатики, информационных технологий, радио- и электротехники БФ ННГУ

Протокол от 6 июня 2020 г. № 10
И.о. Зав. кафедрой _____Д.Н. Шуваев

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель ОМК
__ _____ 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры
_____

Протокол от __ _____ 2020 г. № __
Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель ОМК
__ _____ 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры
_____

Протокол от __ _____ 20___ г. № __
Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель ОМК
__ _____ 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры
_____

Протокол от __ _____ 20___ г. № __
Зав. кафедрой _____

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.10), ориентирована на подготовку выпускников к решению эксплуатационного типа задач профессиональной деятельности и частичное формирование компетенции ПК-4, определяемое индикатором ПК-4.3.

Формирование компетенции ПК-4 начато в ходе освоения дисциплины Основы экономики (ПК-4.6), Техника высоких напряжений (ПК-4.2, 4.4), будет продолжено при изучении дисциплин Силовая электроника, защита и автоматизация (ПК-4.3), Источники электропитания радиотехнических систем и электрический привод (ПК-4.2), Электрические станции и подстанции (ПК-3.4, 4.4), Основы релейной защиты и автоматики (ПК-4.4), Технологии производства и эксплуатации радиотехнических систем (ПК-4.1,4.6), и завершено в ходе выполнения Технологической и Преддипломной практик и подготовки Выпускной квалификационной работы (бакалаврской работы).

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	**Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции**		**Наименование оценочного средства**
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	**Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-4. Способен участвовать в техническом сопровождении и контроле эксплуатации объектов электротехники и электрорадиотехнических систем	ПК-4.3. Применяет методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации электроники, силовой электроники.	Знает основные устройства электроники; принципы функционирования полупроводниковых и вакуумных приборов. Умеет участвовать в техническом сопровождении и контроле эксплуатации объектов электротехники. Владеет навыками применения методов и средств контроля технического состояния и эксплуатации электроники.	Тематика практических занятий, Практические задания, Тематика домашних заданий, Темы лабораторных работ, Вопросы для экзаменов, Задачи для экзаменов

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоёмкость дисциплины

	очно-заочная форма обучения
Общая трудоёмкость	7 ЗЕТ
Часов по учебному плану	252
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия лабораторного типа - занятия семинарского типа - КСР	74 34 28 8 4
самостоятельная работа	106
Промежуточная аттестация – экзамен, зачёт	72

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	**Всего (часы)**	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы, из них				**Самостоятельная работ обучающегося, часы**
		Занятия лекционного типа	**Занятия семинарского типа**	**Занятия лабораторного типа**	**Всего**	
	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная
Часть 1. Вакуумная электроника						
1. Введение	4	0,5			0,5	3,5
2. Движение электронов в электрическом и магнитном статических полях	4	1			1	3
3. Электронно-оптические свойства полей с аксиальной симметрией. Электронные линзы	4	1			1	3
4. Электронно-оптические системы	4	1			1	3
5. Интенсивные электронные пучки	4	1			1	3
6. Общие вопросы эмиссионной электроники	4	1			1	3
7. Термоэлектронная эмиссия	4	1		1	2	2
8. Полевая эмиссия	7	1		2	3	4
9. Вторичная электронная эмиссия	7	1		2	3	4
10. Фотоэлектронная эмиссия	7	1		2	3	4
11. Технические применения фото- и вторичной эмиссии	4	1			1	3
12. Основные понятия электроники СВЧ	4	1			1	3
13. Клистроны	7	1		2	3	4

14. Лампы бегущей и обратной волны типа О (ЛБВ-О, ЛОВ-О)	4	1		1	2	2
15. ЛБВ М-типа. Магнетрон	7	1		2	3	4
16. Релятивистская высокочастотная электроника.	4	1			1	3
17. Лазеры и мазеры на свободных электронах	4	1		1	2	2
18. Вакуумная микроэлектроника СВЧ	4	1		1	2	2
Часть 2. Твердотельная электроника						
1.Кристаллическая структура твёрдого тела	4	0,5		2	2,5	1,5
2.Колебания и волны в кристаллической решётке	7	1		2	3	4
3.Электроны в периодическом потенциале	7	1		2	3	4
4.Статистика носителей заряда	7	1		2	3	4
5.Квазиклассическое описание движения носителей заряда	4	1	1		2	2
6.Неравновесные явления в полупроводниках	4	1			1	3
7.Процессы переноса в неоднородных полупроводниках	4	1	1		2	2
8. Теория p-n перехода	4	1		1	2	2
9. Устройства на базе диода	4	1			1	3
10. Биполярный транзистор	7	1		2	3	4
11. Работа биполярных транзисторов в схемах	7	1	2		3	4
12. Явления на резкой границе раздела материалов	4	1		1	2	2
13. Полевой транзистор с p-n переходом и барьером Шоттки	6	1	2		3	3
14. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник	3	0,5			0,5	2,5
15. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник	4	0,5		1	1,5	2,5
16. Работа полевых транзисторов в схемах	4	1		1	2	2
17.Полупроводниковые приборы СВЧ диапазона	3	1			1	2
18.Оптоэлектронные приборы. Проектирование систем электроники. Принципы контроля технического состояния и эксплуатации электроники	6	1	2		3	3
КСР	4				4	
Промежуточная аттестация – зачёт, экзамен	72					
Итого	252/176	34	8	28	74	106

Часть 1. Вакуумная электроника

Введение. Движение электронов в электрическом и магнитном статических полях

Электронно-оптические свойства полей с аксиальной симметрией. Электронные линзы. Электронно-оптические системы.

Интенсивные электронные пучки.

Общие вопросы эмиссионной электроники. Термоэлектронная эмиссия. Полевая эмиссия. Вторичная электронная эмиссия. Фотоэлектронная эмиссия. Технические применения фото- и вторичной эмиссии.

Основные понятия электроники СВЧ.

Клистроны.

Лампы бегущей и обратной волны типа О (ЛБВ-О, ЛОВ-О).

ЛБВ М-типа. Магнетрон.

Релятивистская высокочастотная электроника. Лазеры и мазеры на свободных электронах. Вакуумная микроэлектроника СВЧ.

Часть 2. Твердотельная электроника

Кристаллическая структура твёрдого тела. Кристаллические решётки. Элементарная ячейка. Симметрии. Решётки Браве. Кристаллографические направления. Колебания и волны в кристаллической решётке.

Законы дисперсии для трёхмерной решётки. Акустические и оптические фононы.

Электроны в периодическом потенциале. Статистика носителей заряда. Квазиклассическое описание движения носителей заряда. Механизмы рассеяния носителей заряда: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фононах, рассеяние на оптических фононах, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние. Механизмы рекомбинации носителей. Время жизни неравновесных носителей.

Неравновесные явления в полупроводниках. Процессы переноса в неоднородных полупроводниках.

Теория p-n перехода. Распределение заряда, структура поля и потенциала в p-n переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей в p-n переходе. P-n переход в состояние равновесия. Обеднённый слой. Диод под внешним напряжением. Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики. Барьерная ёмкость p-n перехода и сопротивление базы. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт.

Устройства на базе диода. Биполярный транзистор. Работа биполярных транзисторов в схемах. Биполярные транзисторы с изолированным затвором. Явления на резкой границе раздела материалов. Полевой транзистор с p-n переходом и барьером Шоттки. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Работа полевых транзисторов в схемах.

Полупроводниковые приборы СВЧ диапазона.

Оптоэлектронные приборы.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского и лабораторного типов, групповых или индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (экзамены).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Подготовка к практическим, лабораторным и лекционным занятиям. Подготовка и защита результатов выполнения лабораторных работ. Подготовка к прохождению и прохождение испытаний промежуточной аттестации (экзамены).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
Знания	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объёме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объёме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объёме, но некоторые с недочётами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объёме, но некоторые с недочётами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочётами, выполнены все задания в полном объёме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объёме без недочётов
Навыки	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочётами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочётами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочётов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочётов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удо-

		влетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
Не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1. Вопросы к экзаменам

1) Интеграл энергии при релятивистских скоростях электронов. Виды электронных траекторий при движении в статических однородных электрическом и магнитном полях.	ПК-4
2) Преставление радиус-вектора и скорости электрона при движении в слабо неоднородных полях. Условия сохранения поперечного адиабатического инварианта. Теорема Буша. Устройство и принцип работы магнетронно-инжекторной пушки гиротрона.	ПК-4
3) Вариационные принципы динамики заряженных частиц (принцип Гамильтона, укороченного действия, Мопертюи). Электронно-оптический коэффициент преломления.	ПК-4
4) Классификация электростатических линз. Построение изображения в тонкой и толстой линзах.	ПК-4
5) Классификация магнитных линз. Понятие о квадрупольных линзах и электронных зеркалах. Виды аберраций электронных линз.	ПК-4
6) Виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный, автоионный), принцип их действия. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
7) Принцип работы системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.	ПК-4
8) Отличия режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Закон «трёх вторых» для плоского диода.	ПК-4
9) Пушки Пирса. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
10) Силы, действующие на электрон при выходе из твёрдого тела. Профиль потенциального барьера на границе твёрдого тела.	ПК-4
11) Теория термоэлектронной эмиссии из твёрдого тела. Механизмы действия плёночного и оксидного катодов.	ПК-4
12) Изменение профиля потенциального барьера на границе твёрдого тела под действием внешнего электрического поля. Эффект Шоттки. Автоэлектронная и взрывная эмиссия.	ПК-4
13) Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям.	ПК-4
14) Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Типы фотокатодов и их сравнительные характеристики.	ПК-4
15) Принцип работы и быстродействие фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Фотоумножители. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4

16) Особенности кристаллической структуры твёрдых тел и правила построения ячейки Вигнера-Зейтца.	ПК-4
17) Причины возникновения зонной структуры твёрдых тел. Эффективная масса электронов и дырок	ПК-4
18) Типы твёрдых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Уровень Ферми. Собственная и примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда.	ПК-4
19) Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания. Законы дисперсии для трёхмерной решётки.	ПК-4
20) Кинетическое уравнение Больцмана и механизмы рассеяния электронов. Подвижность носителей заряда.	ПК-4
21) Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии	ПК-4
22) Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей.	ПК-4
23) Диффузионный и дрейфовый ток. Соотношения Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда.	ПК-4
24) Магнитные свойства твёрдых тел.	ПК-4

Вопросы	Код формируемой компетенции
1) Понятие о наведённом токе в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли-Рамо. Метод полного тока. Проводимость диода на СВЧ.	ПК-4
2) Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.	ПК-4
3) Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролётного клистрона. Пространственно-временная диаграмма. Принцип работы многорезонаторного клистрона.	ПК-4
4) Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-временная диаграмма.	ПК-4
5) Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.	ПК-4
6) Принцип действия ЛБВ-О. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники. Устройство ЛБВ.	ПК-4
7) Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ.	ПК-4
8) Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД ЛБВ-О.	ПК-4
9) Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.	ПК-4
10) Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.	ПК-4
11) Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона. Методы и средства	ПК-4

контроля технического состояния и эксплуатации.	
12) Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
13) Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.	ПК-4
14) Конструкция и параметры решётки автоэмиссионных катодов на основе катодов Спиндта. Диод и триод с катодом Спиндта.	ПК-4
15) Особенности устройства и работы ЛБВ **О** и **М** типов с катодами Спиндта.	ПК-4
16) P-n переход в состояние равновесия и под внешним напряжением. Вольт-амперные характеристики перехода.	ПК-4
17) Распределение заряда, структура поля и потенциала в p-n переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей.	ПК-4
18) Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики диода на основе p-n перехода.	ПК-4
19) Барьерная ёмкость p-n перехода и сопротивление базы. Пробой p-n перехода.	ПК-4
20) Выпрямители. Стабилизаторы. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
21) Варисторы. Варакторы. Диоды с накоплением заряда. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
22) Биполярный транзистор. Типы транзисторов. Теория работы транзистора. Токи созданные основными и неосновными носителями.	ПК-4
23) Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла. Параметры для описания биполярных транзисторов.	ПК-4
24) Режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
25) Явления на резкой границе раздела материалов. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт.	ПК-4
26) Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Структура металл-окисел-полупроводник. Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход.	ПК-4
27) Полевой транзистор с p-n преходом и барьером Шоттки. Эффект поля. Распределение потенциала и поля в приборе.	ПК-4
28) Расчет статических вольт-амперных характеристик полевых транзисторов. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства.	ПК-4
29) Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчёт статических вольт-амперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
30) Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчёт статических вольт-амперных характеристик.	ПК-4
31) Работа полевых транзисторов в схемах. Основные способы включения транзисторов. Комплементарные схемы. Базовые элементы логики.	ПК-4
32) Туннельный диод. Лавинно-пролётный диод.	ПК-4
33) Генератор Ганна.	ПК-4
34) Фотодетекторы. Полупроводниковые лазеры. Солнечные батареи.	ПК-4

Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	
35) Общие методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации элементов и систем электроники.	ПК-4

5.2.2. Тематика практических занятий для оценки компетенции ПК-4

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Зоны Бриллюэна. Рентгеноструктурный анализ кристаллов.	ПК-4
2. Основные и неосновные носители заряда. Управление проводимостью с помощью легирования.	ПК-4
3. Эффект Холла	ПК-4
4. Фотоионизация и фотопроводимость.	ПК-4
5. Максвелловская релаксация в проводящей среде.	ПК-4
6. Магнитная восприимчивость и намагниченность.	ПК-4
7. Схемы включения биполярных транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства.	ПК-4
8. Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход.	ПК-4
9. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Высокочастотные свойства.	ПК-4
10. Комплементарные схемы.	ПК-4
11. Лавинно-пролётный диод. Генератор Ганна.	ПК-4
12. Солнечные батареи.	ПК-4
13. Движение в слабонеоднородных полях (дрейфовая теория). Поперечный адиабатический инвариант. Дрейфовые уравнения. Уравнения Лагранжа. Теорема Буша.	ПК-4
14. Вариационные принципы динамики заряженных частиц. Электронно-оптический коэффициент преломления.	ПК-4
15. Классификация магнитных линз. Электронно-оптические свойства короткой (слабой) и длинной магнитных линз. Сильные магнитные линзы. Аберрации электронных линз. Электронные зеркала. Квадрупольные линзы. Отклоняющие системы.	ПК-4
16. Прожекторы электронно-лучевых трубок. Электронно-лучевые технологические установки. Электронные микроскопы (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы). Разрешающая сила электронных микроскопов просвечивающего типа.	ПК-4
17. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа. Формирование ленточных электронных пучков. Пушки Пирса.	ПК-4
18. Особенности работы электронных ламп на СВЧ. Инерция электронов. Наведённые токи в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо.	ПК-4
19. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.	ПК-4
20. Принцип работы многорезонаторного клистрона.	ПК-4
21. Электронная проводимость клистрона. Стартовый ток и перестройка частоты клистрона.	ПК-4
22. Свойства периодических замедляющих систем. Пространственные гармоники. Фазовая скорость пространственной гармоники.	ПК-4
23. Нелинейная теория ЛБВ. Модель электронного потока в электронных приборах СВЧ. Метод крупных частиц. Дебаевский радиус электронного	ПК-4

пучка.	
24. Лампа обратной волны. Принцип действия. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.	ПК-4
25. Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов. Виды колебаний колебательной системы магнетрона, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.	ПК-4
26. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Высокочастотные свойства. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
27. Солнечные батареи. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
28. Прожекторы электронно-лучевых трубок. Электронно-лучевые технологические установки. Электронные микроскопы (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы). Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
29. Особенности работы электронных ламп на СВЧ. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
30. Принцип работы многорезонаторного клистрона. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
31. Лампа обратной волны. Принцип действия. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
32. Статический режим работы магнетрона. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
33. Классические электроны-осцилляторы и электронные мазеры. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров. Устройство и работа гиротрона. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
34. Релятивистские электронные мазеры - МЦАР и убитрон. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.	ПК-4
35. Общие методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации элементов и систем электроники	ПК-4

5.2.4. Практические задания для оценки компетенции ПК-4.

1) Зоны Бриллюэна. Рентгеноструктурный анализ кристаллов.
2) Основные и неосновные носители заряда. Управление проводимостью с помощью легирования.
3) Эффект Холла.
4) Фотоионизация и фотопроводимость.
5) Максвелловская релаксация в проводящей среде.
6) Магнитная восприимчивость и намагниченность.
7) Схемы включения биполярных транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства.
8) Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход.
9) Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Высокочастотные свойства. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.
10) Комплементарные схемы.
11) Лавинно-пролётный диод. Генератор Ганна.
12) Солнечные батареи. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.
13) Движение в слабонеоднородных полях (дрейфовая теория). Поперечный адиабати-

ческий инвариант. Дрейфовые уравнения. Уравнения Лагранжа. Теорема Буша.

14) Вариационные принципы динамики заряженных частиц. Электронно-оптический коэффициент преломления.

15) Классификация магнитных линз. Электронно-оптические свойства короткой (слабой) и длинной магнитных линз. Сильные магнитные линзы. Аберрации электронных линз. Электронные зеркала. Квадрупольные линзы. Отклоняющие системы.

16) Прожекторы электронно-лучевых трубок. Электронно-лучевые технологические установки. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.Электронные микроскопы (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы). Разрешающая сила электронных микроскопов просвечивающего типа. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

17) Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа. Формирование ленточных электронных пучков. Пушки Пирса.

18) Особенности работы электронных ламп на СВЧ. Инерция электронов. Наведённые токи в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли-Рамо.

19) Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.

20) Принцип работы многорезонаторного клистрона. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

21) Электронная проводимость клистрона. Стартовый ток и перестройка частоты клистрона.

22) Свойства периодических замедляющих систем. Пространственные гармоники. Фазовая скорость пространственной гармоники.

23) Нелинейная теория ЛБВ. Модель электронного потока в электронных приборах СВЧ. Метод крупных частиц. Дебаевский радиус электронного пучка.

24) Лампа обратной волны. Принцип действия. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.

25) Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов. Виды колебаний колебательной системы магнетрона, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.

26) Классические электроны-осцилляторы и электронные мазеры. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров. Устройство и работа гиротрона.

27) Релятивистские электронные мазеры - МЦАР и убитрон. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

28) Интеграл энергии при релятивистских скоростях электронов. Виды электронных траекторий при движении в статических однородных электрическом и магнитном полях.

29) Классификация магнитных линз. Понятие о квадрупольных линзах и электронных зеркалах. Виды аберраций электронных линз.

30) Виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный, автоионный), принцип их действия. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

31) Принцип работы системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.

32) Отличия режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Закон “трех вторых” для плоского диода.

33) Пушки Пирса. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа.

34) Силы, действующие на электрон при выходе из твердого тела. Профиль потенциального барьера на границе твёрдого тела.

35) Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Типы фотокатодов и их сравнительные характеристики.

36) Принцип работы и быстродействие фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Фотоумножители. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

37) Понятие о наведённом токе в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо. Метод полного тока. Проводимость диода на СВЧ.

38) Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.

39) Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

40) Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.

41) Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

42) Конструкция и параметры решетки автоэмиссионных катодов на основе катодов Спиндта. Диод и триод с катодом Спиндта. Особенности устройства и работы ЛБВ **О** и **М** типов с катодами Спиндта.

43) Кристаллические решетки. Элементарная ячейка. Симметрии. Решетки Браве.

44) Кристаллографические направления. Области Дирихле. Обратная решетка. Индексы Миллера. Ячейка Вигнера-Зейтца. Зоны Бриллюэна.

45) Рентгеноструктурный анализ кристаллов. Описание решетки кремния.

46) Колебания простой и сложной цепочки. Продольные и поперечные колебания. Решетка с одним атомом в ячейке. Решетка с несколькими атомами в ячейке.

47) Законы дисперсии для трехмерной решетки. Акустические и оптические фононы.

48) Теория теплоемкости Дюлонга-Пти.

49) Квантовый подход к описанию кристаллов. Статика Бозе-Эйнштейна. Теории теплоемкости Эйнштейна и Дебая.

50) Уравнение Шредингера для периодического потенциала. Теорема Блоха.

51) Модель Кронига-Пени. Зонная структура кристаллов: разрешенные и запрещенные зоны. Закон дисперсии.

52) Классификация: металлы, диэлектрики, полупроводники. Классификация: ковалентные и ионные кристаллы. Свободные носители заряда: электроны и дырки. Эффективные массы электронов и дырок. Граничные условия Борна-Кармана. Плотность состояний

53) Теория p-n перехода. Резкий и диффузный p-n переходы.

54) Распределение заряда, структура поля и потенциала в p-n переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей. Переход в состояние равновесия.

55) Обеднённый слой. Диод под внешним напряжением. Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики. Барьерная ёмкость перехода и сопротивление базы.

56) Пробой p-n перехода. Устройства на базе диода. Выпрямители. Стабилизаторы. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

57) Диоды с накоплением заряда. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

58) Биполярный транзистор. Типы транзисторов. Теория работы биполярного транзистора, токи, созданные основными и неосновными носителями. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

59) Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла. Параметры для описания биполярных транзисторов.

60) Работа биполярных транзисторов в схемах. Режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

61) Преставление радиус-вектора и скорости электрона при движении в слабо неоднородных полях. Условия сохранения поперечного адиабатического инварианта. Теорема Буша. Устройство и принцип работы магнетронно-инжекторной пушки гиротрона.

62) Вариационные принципы динамики заряженных частиц (принцип Гамильтона, укороченного действия, Мопертюи). Электронно-оптический коэффициент преломления.

63) Классификация электростатических линз. Построение изображения в тонкой и толстой линзах.

64) Теория термоэлектронной эмиссии из твёрдого тела. Механизмы действия плёночного и оксидного катодов.

65) Изменение профиля потенциального барьера на границе твёрдого тела под действием внешнего электрического поля. Эффект Шоттки. Автоэлектронная и взрывная эмиссия.

66) Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям.

67) Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона. Пространственно-временная диаграмма. Принцип работы многорезонаторного клистрона. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

68) Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-временная диаграмма. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

69) Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.

70) Принцип действия ЛБВ-О. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники. Устройство ЛБВ.

71) Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ.

72) Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД ЛБВ-О.

73) Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

74) Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.

75) Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей.

76) Время жизни неравновесных носителей. Диффузия свободных носителей заряда. Ток диффузии и ток дрейфа. Возникновение внутреннего поля в неоднородном полупроводнике. Соотношение Эйнштейна.

77) Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Максвелловская релаксация в проводящей среде. Время жизни неосновных носителей заряда. Диффузионная длина.

78) Уравнение Шредингера для периодического потенциала. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пени.

79) Зонная структура кристаллов: разрешённые и запрещённые зоны. Закон дисперсии.

80) Классификация: металлы, диэлектрики, полупроводники. Классификация: ковалентные и ионные кристаллы. Свободные носители заряда: электроны и дырки. Эффективные массы электронов и дырок. Граничные условия Борна-Кармана.

81) Плотность состояний. Функция Ферми и поверхность Ферми. Заселение состояний в металлах и диэлектриках. Электронная теплоёмкость в металлах. Заселение состояний в полупроводниках. Уравнение электронейтральности.

82) Уровень Ферми и концентрация носителей в собственных и примесных полупроводниках. Область истощения примесей. Основные и неосновные носители заряда.

83) Явления на резкой границе раздела материалов. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт.

84) Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Структура металл-окисел-полупроводник. Плотность поверхностных состояний.

85) Гетеропереход. Полевой транзистор с p-n переходом и барьером Шоттки, принципы их работы, распределение потенциала и поля в приборах, расчёт статических вольт-амперных характеристик, типы и основные параметры транзисторов, высокочастотные свойства.

86) Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник, принципы его работы, распределение потенциала и поля в приборе, расчёт статических вольт-амперных характеристик, типы и основные параметры транзисторов, высокочастотные свойства. Методы и средства кон-

троля технического состояния и эксплуатации.

87) Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник, принципы его работы, распределение потенциала и поля в приборе, расчёт статических вольт-амперных характеристик, типы и основные параметры транзисторов, высокочастотные свойства. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

88) Работа полевых транзисторов в схемах, основные способы включения транзисторов. Комплементарные схемы. Базовые элементы логики. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

89) Фотодетекторы. Полупроводниковые лазеры. Солнечные батареи. Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации.

5.2.5. Тематика домашних заданий для оценки компетенции ПК-4

1) Кристаллические решётки. Элементарная ячейка. Симметрии. Решётки Браве. Кристаллографические направления.
2) Законы дисперсии для трёхмерной решётки. Акустические и оптические фононы.
3) Теория теплоёмкости Дюлонга-Пти. Квантовый подход к описанию кристаллов.
4) Уравнение Шредингера для периодического потенциала. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пени. Зонная структура кристаллов: разрешённые и запрещённые зоны.
5) Механизмы рассеяния носителей заряда: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фононах, рассеяние на оптических фононах, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние.
6) Механизмы рекомбинации носителей. Время жизни неравновесных носителей.
7) Распределение заряда, структура поля и потенциала в p-n переходе.
8) Распределение концентрации основных и неосновных носителей в p-n переходе.
9) P-n переход в состояние равновесия. Обеднённый слой. Диод под внешним напряжением.
10) Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики.
11) Барьерная емкость p-n перехода и сопротивление базы.
12) Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла.
13) Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт.

5.2.6. Темы лабораторных работ для оценки компетенции ПК-4

1) Термоэлектронная эмиссия
2) Полевая эмиссия
3) Вторичная электронная эмиссия
4) Фотоэлектронная эмиссия
5) Технические применения фото- и вторичной эмиссии
6) Основные понятия электроники СВЧ
7) Клистроны
8) Лампы бегущей и обратной волны типа О (ЛБВ-О, ЛОВ-О)
9) ЛБВ М-типа. Магнетрон
10) Релятивистская высокочастотная электроника.
11) Лазеры и мазеры на свободных электронах
12) Вакуумная микроэлектроника СВЧ
13) Кристаллическая структура твёрдого тела
14) Колебания и волны в кристаллической решётке
15) Электроны в периодическом потенциале
16) Статистика носителей заряда
17) Теория p-n перехода
18) Биполярный транзистор
19) Явления на резкой границе раздела материалов

20) Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник
21) Работа полевых транзисторов в схемах

5.2.7. Задачи для экзаменов (оценка сформированности компетенции ПК-4)

1) Найти предельную частоту (длину волны) для плоского диода при которой можно пренебречь инерцией электронов. Рассмотреть 2 случая: а) диод работает в режиме ограничения тока пространственным зарядом; б) влиянием пространственного заряда можно пренебречь. Ускоряющее напряжение U=300 В, зазор анод-катод d=5 мм.

2) Найти заряд, прошедший во внешней цепи плоского диода при пролёте единичного электрона.

3) Найти частоту генерации монотрона с d=20 мм, U=400 В.

4) Пользуясь методом полного тока найти время пролёта электрона в диоде в режиме ограничения тока пространственным зарядом.

5) Доказать, что в монотроне активная и реактивная проводимости электронного пучка $Y_a(0)=Y_r(0)=0$.

6) При какой частоте f в клистроне после прохождения первого резонатора отсутствует модуляция электронного пучка по скорости? Ускоряющее напряжение U_o=300 В, зазор между сетками модулятора d=5 мм.

7) Найти частоту f, при которой коэффициент взаимодействия электронов с полем резонатора в клистроне M=0.9, если d=5 мм, U_o=400 В.

8) На каком расстоянии x от 1-го резонатора в 2-резонаторном клистроне образуется наиболее плотный электронный сгусток, если λ=4см, U_o=4 кВ, d=2 мм, U_{1M}=150 В.

9) На каком расстоянии x от 1-го резонатора в 2-резонаторном клистроне надо поставить второй резонатор, чтобы получить максимальный КПД на второй гармонике рабочей частоты, если λ =8 см, U_o=4 кВ, d=6 мм, U_{1M}=100 В.

10) Найти связь между номером зоны генерации n и потенциалом $U_{отр}$ отражателя в отражательном клистроне.

11) Найти величину параметра группировки и номер зоны генерации для отражательного клистрона при следующих параметрах: U_o=300 В, $U_{отр}$=50 В, f=500 МГц, D=5мм, U_{1M}=40 В, d=2мм.

12) Оценить, на каком расстоянии x от замедляющей системы надо пропускать электронный пучок, если λ =3 см, U_o=1 кВ.

13) Найти коэффициент усиления G в ЛБВ-О, если длина лампы L=10 см, λ =3 см, Uo=4 кВ, Rc=10 ом, Io=10 mA, считая, что влиянием поля пространственного заряда можно пренебречь, а скорость электронного пучка равна холодной фазовой скорости волны.

14) На сколько скорость электронного пучка должна превышать холодную фазовую скорость волны, чтобы в ЛБВ-О отсутствовала экспоненциально нарастающая волна ? Uo=1 кВ, Rc=40 ом, Io=100 mA. Полем пространственного заряда пренебречь.

15) В ЛБВ-О отношение ускоряющих напряжений при работе на 1-ой и 3-ей пространственных гармониках U_{01}/U_{03}=1.4. Определить постоянную распространения нулевой гармоники o, если период системы D=4мм.

16) Найти величину фазовой скорости в ЛБВ-М на границах полосы усиления, если λ =3 см, Io=3 mA, Rc=50 Ом, магнитное поле B=100 Гс, потенциалы отрицательного электрода и замедляющей системы относительно катода соотвественно U_1=-100 В, U_2=900 В, а расстояние между ними d=1 см.

17) Найти фазовую скорость для вида колебаний в 24-резонаторном магнетроне, если =10 см, Ra=5 см. Чему примерно равно замедление и анодное напряжение?

18) Оценить оптимальные параметры гиротрона, если Uo=70 кВ, λ =2.14 мм, g=1, длина резонатора L=10 .

19) Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристики p-n перехода. Объяснить физическую природу обратного тока диода. С использованием зонной диаграммы и рас-

пределения концентрации электронов и дырок дать качественную интерпретацию наличию небольшого наклона на участке насыщения обратной ветви ВАХ для реальных p-n переходов.

20) Вывести вольт-амперную характеристику p-n перехода. По аналогии с p-n переходом объяснить процессы протекания тока в гетеропереходе. Объяснить причины возникновения униполярной инжекции в биполярном гетеропереходе. Оценить соотношение электронной и дырочной компоненты токов в биполярном гетеропереходе. В какой конструкции гетероперехода возможна биполярная инжекция?

21) Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристику диода Шоттки. Как будет трансформироваться вольт-фарадная характеристика и напряжение пробоя Au-n--n+ диода Шоттки при уменьшении толщины n-слоя? Ответы обосновать с помощью зонной диаграммы. Объяснить технологию изготовления барьерного и омического контактов (фотолитография, напыление, травление, «взрыв»)

22) Объяснить распределение концентрации электронов, наличие электрического поля и потенциального барьера на границе n+-n перехода. Используя условия равновесия в такой системе вывести соотношение Эйнштейна. Объяснить физический смысл теплового потенциала как коэффициента пропорциональности между подвижностью и коэффициентом диффузии.

23) Найти положение уровня Ферми и концентрацию электронов в собственном германии при температуре 600 К, если известно, что ширина запрещенной зоны при таких температурах меняется по закону $E_g=(0.7 - 3\cdot10^{-4}T(K))$ эВ ($m_n=0.02m_0$, $m_p=0.2m_0$). Как зависит уровень Ферми от температуры в примесном полупроводнике и получить (качественно) зависимость контактной разности потенциалов в p-n переходе от температуры.

24) Получив зависимость крутизны ВАХ полевого транзистора с затвором Шоттки и его коэффициента статического усиления от напряжения на затворе и уровня легирования канала, объяснить преимущество канала на основе двумерного электронного газа.

25) Получить зависимость коэффициента усиления полевого транзистора с управляющим p-n переходом от концентрации примеси в канале и напряжения на затворе. Для конкретной выходной ВАХ транзистора построить нагрузочную прямую и графически (качественно) определить динамический диапазон амплитуды входного сигнала (в схеме с общим истоком) для которого реализуется режим линейного усиления.

26) Объяснить преимущества гетеробиполярного транзистора перед биполярным для чего численно оценить: 1) степень влияния униполярной инжекции на коэффициент переноса носителей через базу; 2) амплитуду встроенного поля в варизонной базе и связанного с ним увеличения скорости носителей заряда.

27) Вывести ВАХ ПТ с управляющим p-n переходом. Качественно, исходя из распределений концентрации носителей заряда и напряжённости электрического поля вдоль канала транзистора, объяснить причины возникновения участка насыщения на выходной ВАХ транзистора. Объяснить правила выбора сопротивления нагрузки и напряжения питания транзистора для получения максимальной мощности выходного сигнала.

28) Вывести ВАХ МДП транзистора с индуцированным каналом. Качественно, используя зонную диаграмму и распределение электрического поля в транзисторе, объяснить причины возникновения насыщения на выходной ВАХ транзистора. Вывести коэффициент статического усиления прибора и объяснить почему для реализации максимального усиления транзистора необходимо использовать участок насыщения выходной ВАХ.

29) Вывести ВАХ биполярного транзистора. Объяснить причины наличия небольшого наклона на выходных ВАХ транзистора (эффект Эрли). Для ответа использовать зонную диаграмму, график распределения концентраций электронов и дырок от продольной координаты в структуре транзистора и эквивалентную схему. Объяснить технологию формирования биполярного транзистора с помощью ионного легирования.

30) На конкретном примере распределения электрического поля вдоль канала полевого транзистора с коротким затвором объяснить физический смысл уравнений релаксации энергии и импульса электронов в полупроводнике. Количественно оценить длину затвора GaAs полевого транзистора Шоттки, при которой эффект всплеска скорости будет давать наибольший положительный эффект (считать времена релаксации энергии и импульса известными)?

31) Исходя из времени релаксации импульса (10-13 с), эффективной массы электронов ($0.55m_o$ для GaAs и 0.2 m_o для Si) и ширины запрещённой зоны (1.2 эВ в Si и 1.4 эВ в GaAs) оценить напряжённость поля, при которой возникает лавинный пробой в GaAs и Si.

32) Вывести соотношение для плотности состояний в полупроводниковом кристалле. Получить выражение для концентрации электронов в зоне проводимости исходя из плотности состояний и функции Ферми. Объяснить при каких условиях электронный газ является вырожденным.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Воробьев М.Д. Полупроводниковая и вакуумная электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. - ISBN 978-5-383-01128-7 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011287.html [26.09.2019]

2. Бишоп О. Электронные схемы и системы [Электронный ресурс]. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 576 с. - ISBN 978-5-97060-172-3 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970601723.html [26.09.2019]

3. Водовозов А.М. Основы электроники [Электронный ресурс]. – М.: Инфра-Инженерия, 2017. – 130 с. - ISBN 978-5-9729-0137-1 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785972901371.html [26.09.2019]

б) дополнительная литература

1. Меренков В.М. Электроника [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 80 с. - ISBN 978-5-7782-3278-5 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778232785.html [26.09.2019]

2. Суханова Н.В. Основы электроники и цифровой схемотехники [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. – 95 с. - ISBN 978-5-00032-226-0 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785000322260.html [26.09.2019]

в) программное обеспечение лицензионное и свободно распространяемое

- Операционная система Microsoft Windows
- Пакет прикладных программ Microsoft Office
- Правовая система «Консультант плюс»
- Micro-Cap – SPICE программа для аналогового и цифрового моделирования электрических и электронных цепей с интегрированным визуальным редактором
- KTechLab программа для проектирования и симуляции электрических схем
- Браузер Google Chrome

г) Интернет-ресурсы

- Сайт Министерства энергетики РФ. - www.minenergo.gov.ru
- http://novostienergetiki.ru
- Известия вузов «Электромеханика», http://electromeh.npi-tu.ru/ru/archive/
- ЭБС «Юрайт». Режим доступа: http://biblio-online.ru
- ЭБС «Консультант студента». Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru
- ЭБС «Лань». Режим доступа: http://e.lanbook.com/
- ЭБС «Znanium.com». Режим доступа: www.znanium.com

д) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

– Информационный проект для работников энергетических служб и студентов электротехнических вузов http://electrichelp.ru

– Электрика и электроэнергетика https://pomegerim.ru

– Электричество и электроснабжение http://enginer-electric.ru

– Радиоэлектроника http://window.edu.ru/catalog/resources?p_str=Радиоэлектроника [26.10.19]

– Список сайтов по радиоэлектронике http://radiostorage.net/page/3-spisok-sajtov-po-radioelektronike.html [26.10.19]

– Банк изобретений, технологий и научных открытий: http://www.ntpo.com [26.10.19]

– Научная электронная библиотека www.elibrary.ru [26.10.19]

– База данных ВИНИТИ РАН http://www.viniti.ru/ [26.10.19]

– База данных рецензируемой литературы Scopus https://www.scopus.com [26.10.19]

– База данных Web of Science https://apps.webofknowledge.com [26.10.19]

– ГАРАНТ. Информационно-правовой-портал http://www.garant.ru/

– Правовая система «Консультант плюс»

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения, используемые при реализации дисциплины, представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий.

Лекционные, практические занятия и лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории электронной техники, микропроцессоров и микропроцессорных систем, электрических измерений, оснащённой комплектами лабораторного оборудования, лабораторными стендами измерительным оборудованием, техническим оборудованием, обеспечивающим проведение занятий.

Помещения (аудитории) для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключённой к сети «Интернет» и обеспеченной доступом в электронную информационно-образовательную среду вуза.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Автор: д.т.н., профессор С.В. Оболенский.

Рецензент:
д.т.н., начальник отдела АО "Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения им. И. И. Африкантова" В.А. Панов

Программа утверждена на заседании объединённой методической комиссии Института открытого образования и филиалов университета, протокол № 13 от 29.04.2019 г.