

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ

протокол № 6 от 31.05.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Электроника и схемотехника

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

11.05.02 Специальные радиотехнические системы

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Радиотехнические системы и комплексы сбора и обработки информации

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Электроника» относится к дисциплинам обязательной части основной образовательной программы по специальности 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы».

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина Б1.О.26 «Электроника» относится к обязательной части ООП специальности 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные 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	
ОПК-5. Способен учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности	ОПК-5.1 Анализирует современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники	Формулирует: <ul style="list-style-type: none"> - физические процессы, протекающие при группировке электронов в основных типах генераторов и усилителей СВЧ диапазона; - особенности построения электродинамических систем мощных источников электромагнитного излучения в зависимости от типа механизма излучения электронов; - принципы работы современных вакуумных электронных приборов, основанных на тормозном, черенковском и магнитотормозном механизмах излучения частиц; - области применения различных классов электронных приборов в зависимости от требуемых 	Собеседование

		<p>выходных параметров (мощность, частота и т.д.);</p> <ul style="list-style-type: none"> - физические процессы, протекающие в основных полупроводниковых материалах (Ge, Si, GaAs); - особенности кристаллической структуры твердых тел; - принципы работы современных полупроводниковых диодов и транзисторов; - принцип работы приборов оптоэлектроники; - принципы работы генераторных диодов. 	
	ОПК-5.2. Использует современную электронику, измерительную и вычислительную технику	Использует современные методы расчета параметров СВЧ источников электромагнитного излучения большой мощности; методы расчета параметров полупроводниковых материалов и приборов на их основе;	Собеседование
ОПК-7. Способен применить методы анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов современной электроники	ОПК-7.1 Понимает основные методы анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов.	Формулирует и анализирует возможности использования различных классов вакуумных СВЧ приборов и полупроводниковых приборов.	Собеседование
	ОПК-7.2. Использует основные методы анализа и расчета характеристик радиотехнических цепей, аналоговых и цифровых узлов.	Анализирует электродинамические системы СВЧ генераторов и усилителей с целью выбора наиболее адекватных схем для получения требуемых выходных параметров приборов, зонные диаграммы, эквивалентные схемы современных полупроводниковых приборов.	Собеседование

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	8 ЗЕТ
Часов по учебному плану	288
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	115
самостоятельная работа	137
КСР	3
Промежуточная аттестация – экзамен/зачет	Зачет, экзамен

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Часть 1. Вакуумная электроника						
1. Введение	4	2			2	2
2. Движение электронов в электрическом и магнитном статических полях	4	2			2	2
3. Электронно-оптические свойства полей с аксиальной	4	2			2	2

симметрией. Электронные линзы						
4. Электронно-оптические системы	4	2			2	2
5. Интенсивные электронные пучки	4	2			2	2
6. Общие вопросы эмиссионной электроники	4	2			2	2
7. Термоэлектронная эмиссия	6	2		2	4	2
8. Полевая эмиссия	5	2		1	3	2
9. Вторичная электронная эмиссия	5	2		1	3	2
10. Фотоэлектронная эмиссия	5	2		1	3	2
11. Технические применения фото- и вторичной эмиссии	5	2		1	3	2
12. Основные понятия электроники СВЧ	5	2		1	3	2
13. Клитроны	5	2		1	3	2
14. Лампы бегущей и обратной волны типа О (ЛБВ-О, ЛОВ-О)	5	2		1	3	2
15. ЛБВ М-типа. Магнетрон	5	2		1	3	2
16. Релятивистская высокочастотная электроника.	5	2		1	3	2
17. Лазеры и мазеры на свободных электронах	5	2		1	3	2
18. Вакуумная микроэлектроника СВЧ	5	2		1	3	2
Часть 1. Твердотельная электроника						
1. Кристаллическая структура твердого тела. Классификация твердых тел.	5	2	1		3	2
2. Колебания и волны в кристаллической решетке твердых тел. Технология изготовления полупроводниковых приборов.	5	2	1		3	2
3. Теплоемкость, теплопроводность твердых тел. Понятие атома.	5	2	1		3	2

4. Статистика носителей заряда в полупроводниковых материалах.	5	2	1		3	2
5. Температурные зависимости параметров полупроводниковых материалов. Энергетические спектры твердых тел.	7	2	1	2	5	2
6. Процессы переноса в неоднородных полупроводниках	5	2	1		3	2
7. Неравновесные явления в полупроводниковых материалах. Генерация, рекомбинация носителей заряда.	7	2	1	2	5	2
8. Описание движения носителей заряда в полупроводниках. Эффект Холла.	7	2	1	2	5	2
9. Теория p - n перехода.	5	2	1		3	2
10. Емкость p - n перехода. Гетеропереходы.	5	2	1		3	2
11. Контакт металл-полупроводник. Диод Шоттки.	5	2	1		3	2
12. Принципы работы приборов оптоэлектроники.	5	2	1		3	2
13. Принцип работы биполярного транзистора	9	2	1	4	7	2
14. Принцип работы полевого транзистора с управляющим p - n переходом и барьером Шоттки	10	2	1	4	7	3
15. Принцип работы полевых транзисторов с подзатворной конструкцией металл-диэлектрик-полупроводник	5	2	1		3	2
16. Принципы работы генераторных диодов	5	2	1		3	2
Итого:	288	104	16	32	152	136

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием основной и дополнительной учебной литературы.

Текущий контроль усвоения материала проводится путем проведения опроса.

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
<u>Знания</u>	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 ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом.	При решении стандартных задач не	Имеется минимальны	Продemonстрированы базовые	Продemonстрированы базовые	Продemonстрированы	Продemonстрирован творческий

	Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	подход к решению нестандартных задач
--	--	--	---	--	--	--	--------------------------------------

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
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 «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
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.

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Кристаллическая структура твердых тел. Зонная структура энергетического спектра электронов в кристалле. Заполнение энергетических состояний электронами.	ОПК-5, ОПК-7
2. Понятие эффективной массы. Параболический изотропный закон дисперсии. Понятие дырки.	ОПК-5, ОПК-7
3. Распределение Ферми-Дирака (график, формула). Уровень Ферми. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Вырожденные и невырожденные полупроводники.	ОПК-5, ОПК-7
4. Собственные и примесные полупроводники. Донорная и	ОПК-5, ОПК-7

акцепторная легирующие примеси.	
5. Функция плотности энергетических состояний (график, формула). Эффективная плотность состояний.	ОПК-5, ОПК-7
6. Зависимости концентрации носителей заряда и уровня Ферми от температуры в собственных полупроводниках.	ОПК-5, ОПК-7
7. Зависимости концентрации носителей заряда и уровня Ферми от температуры в примесных невырожденных полупроводниках. Области примесной проводимости, истощения примесей и собственной проводимости.	ОПК-5, ОПК-7
8. Колебания простой и сложной цепочки атомов. Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания.	ОПК-5, ОПК-7
9. Процессы рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Основные механизмы рассеяния. Проводимость и подвижность носителей заряда, их зависимость от температуры.	ОПК-5, ОПК-7
10. Движение носителей заряда в малых электрических полях. Разогрев электронного газа в полупроводниках. Эффект всплеска скорости носителей заряда. Электрический пробой в полупроводниках и полупроводниковых структурах.	ОПК-5, ОПК-7
11. Диффузия свободных носителей заряда. Диффузионный и дрейфовый токи. Соотношение Эйнштейна.	ОПК-5, ОПК-7
12. Эффект Холла в полупроводниках.	ОПК-5, ОПК-7
13. Уравнение непрерывности. Физический смысл слагаемых. Понятие времени жизни носителей.	ОПК-5, ОПК-7
14. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда.	ОПК-5, ОПК-7
15. Генерация и рекомбинация носителей заряда.	ОПК-5, ОПК-7
16. Система уравнений для описания движения носителей заряда в полупроводниках.	ОПК-5, ОПК-7
17. p - n переход в равновесном состоянии. Формирование области пространственного заряда. Распределение заряда, поля и потенциала в переходе.	ОПК-5, ОПК-7
18. p - n переход при подаче внешнего напряжения. Движение носителей заряда в структуре при прямом и обратом смещениях. Идеальная ВАХ диода.	ОПК-5, ОПК-7
19. Барьерная емкость p - n перехода и сопротивление базы. Эквивалентная схема диода. Пробой p - n перехода. Реальная ВАХ p - n перехода. Зависимость тока диода от температуры.	ОПК-5, ОПК-7
20. Контакт металл-полупроводник. Формирование барьера Шоттки. Движение носителей заряда при подаче положительного и отрицательного смещений.	ОПК-5, ОПК-7
21. Идеальная структура металл-диэлектрик-полупроводник. Состояния поверхности в МДП-структуре при подаче внешнего напряжения: обогащение, обеднение, инверсия.	ОПК-5, ОПК-7
22. Принципы работы полупроводниковых фоторезисторов, фотодиодов и солнечных батарей.	ОПК-5, ОПК-7
23. Принципы работы светодиодов и полупроводниковых лазеров.	ОПК-5, ОПК-7
24. Конструкция и принцип работы классического биполярного транзистора в схеме с общей базой (зонные диаграммы, основные физические процессы, протекающие в структуре,	ОПК-5, ОПК-7

вид ВАХ, эквивалентная схема).	
25. Уравнения Эберса-Молла. Преимущества дрейфового и гетероструктурного биполярных транзисторов.	ОПК-5, ОПК-7
26. Структура, принцип работы и качественный вид ВАХ полевого транзистора с управляющим $p-n$ переходом. Преимущества транзистора с двумерным электронным газом (НЕМТ).	ОПК-5, ОПК-7
27. МДП полевой транзистор со встроенным каналом (конструкция, принцип работы, ВАХ).	ОПК-5, ОПК-7
28. МДП полевой транзистор с индуцированным каналом (конструкция, принцип работы, ВАХ).	ОПК-5, ОПК-7
29. Принципы работы туннельного и туннельно-резонансного диодов.	ОПК-5, ОПК-7
30. Принципы работы лавино- и инжекционно-пролетных диодов.	ОПК-5, ОПК-7
31. Зависимость средней скорости от напряженности электрического поля в GaAs. Конструкция и принцип работы диода Ганна. Причины нарастания и стабилизации домена в диоде Ганна.	ОПК-5, ОПК-7
32. Интеграл энергии при релятивистских скоростях электронов. Виды электронных траекторий при движении в статических однородных электрическом и магнитном полях.	ОПК-5, ОПК-7
33. 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.	ОПК-5, ОПК-7
34. Вариационные принципы динамики заряженных частиц (принцип Гамильтона, укороченного действия, Мопертюи). Электронно-оптический коэффициент преломления.	ОПК-5, ОПК-7
35. Классификация электростатических линз. Построение изображения в тонкой и толстой линзах.	ОПК-5, ОПК-7
36. Классификация магнитных линз. Понятие о квадрупольных линзах и электронных зеркалах. Виды aberrаций электронных линз.	ОПК-5, ОПК-7
37. Виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный, автоионный), принцип их действия.	ОПК-5, ОПК-7
38. Принцип работы системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.	ОПК-5, ОПК-7
39. Отличия режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Закон “трех вторых” для плоского диода.	ОПК-5, ОПК-7
40. Пушки Пирса. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа.	ОПК-5, ОПК-7
41. Силы, действующие на электрон при выходе из твердого тела. Профиль потенциального барьера на границе твердого тела.	ОПК-5, ОПК-7
42. Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела. Механизмы действия пленочного и оксидного катодов.	ОПК-5, ОПК-7
43. Изменение профиля потенциального барьера на границе твердого тела под действием внешнего электрического поля.	ОПК-5, ОПК-7

Эффект Шоттки. Автоэлектронная и взрывная эмиссия.	
44. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям.	ОПК-5, ОПК-7
45. Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Типы фотокатодов и их сравнительные характеристики.	ОПК-5, ОПК-7
46. Понятие о наведенном токе в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо. Метод полного тока. Проводимость диода на СВЧ.	ОПК-5, ОПК-7
47. Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.	ОПК-5, ОПК-7
48. Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона. Пространственно-временная диаграмма. Принцип работы многорезонаторного клистрона.	ОПК-5, ОПК-7
49. Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-временная диаграмма.	ОПК-5, ОПК-7
50. Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.	ОПК-5, ОПК-7
51. Принцип действия ЛБВ-О. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники. Устройство ЛБВ.	ОПК-5, ОПК-7
52. Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ.	ОПК-5, ОПК-7
53. Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД ЛБВ-О.	ОПК-5, ОПК-7
54. Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.	ОПК-5, ОПК-7
55. Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.	ОПК-5, ОПК-7
56. Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.	ОПК-5, ОПК-7
57. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.	ОПК-5, ОПК-7
58. Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.	ОПК-5, ОПК-7
59. Конструкция и параметры решетки автоэмиссионных катодов на основе катодов Спиндта. Диод и триод с катодом Спиндта.	ОПК-5, ОПК-7
60. Особенности устройства и работы ЛБВ О и М типов с катодами Спиндта.	ОПК-5, ОПК-7

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Зи С. М. - Физика полупроводниковых приборов: в 2 кн. [Кн.] 1. - М. : Мир , 1984. - 455 с. – 16 экз.
2. Зи С. М. - Физика полупроводниковых приборов: в 2 кн. [Кн.] 2. - М. : Мир , 1984. - 455 с. – 16 экз.
3. Шалимова, К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 384 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/648>. — Загл. с экрана.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 2005. 656 с. Электронный ресурс: ЭБС Лань <https://e.lanbook.com/>
5. В.М.Березин, В.С.Буряк, Э.М.Гутцайт, В.П.Марин. Электронные приборы СВЧ. М. Высшая школа, 1985. 296 — 43 экз.

б) дополнительная литература:

1. Ржевкин К.С. "Физические принципы действия полупроводниковых приборов" МГУ, М., 1986.
2. Электроника : Энцикл. словарь/ Гл. ред. В.Г.Колесников. М. : Сов. энцикл., 1991. 688с.
3. Соболева Н.А., Берковский А.Г. и др. Фотоэлектронные приборы. Наука. М.: 1963.
4. Электронные приборы сверхвысоких частот: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Радиофизика и электроника"/Андрушкевич В. С., Будников Н. П., Бочаров Е. П., Григорьев М. А., Жарков Ю. Д., [и др.]. - Саратов: Изд-во Саратов (42 экз.)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 11.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем «Специальные радиотехнические системы».

Автор (ы) _____ Мануилов В.Н. Тарасова Е.А.

Заведующий кафедрой квантовой радиофизики и электроники _____ Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 25 мая 2023 г., протокол № 04/23.