

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО

решением ученого совета ННГУ

протокол от "16" января 2024 г.

№1

Рабочая программа дисциплины

«СВЧ-электроника»

Уровень высшего образования

Подготовка научных и научно-педагогических кадров

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и наноэлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакommunikации и журналистика

Нижний Новгород
2024 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «СВЧ-электроника» относится к числу факультативных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 4 семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

Формирование знаний и умений в области современной СВЧ электроники. Освоение методов расчета и определения важнейших параметров твердотельных электронных приборов, структур и интегральных схем. Изучение новых физических принципов работы и технологии изготовления современных электронных твердотельных приборов и структур.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Знать:

- основные результаты, теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники
- базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу в области СВЧ – электроники,
- основные методики выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе

Уметь:

- применять знания теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ – электроники,
- критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники,
- оценивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно-измерительное оборудование.

Владеть:

- методологией теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ – электроники,
- Способностью понимать, критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники,
- практическими навыками по применению современных методов исследования в области СВЧ – электроники.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

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	
	Очное					
Основы вакуумной СВЧ электроники	8	4			4	4
Передающие линии в интегральных схемах.	16	8			8	8
Фильтры, фазовращатели,циркуляторы СВЧ	8	4			4	4
Линейные СВЧ усилители	8	4			4	4
Автогенераторы и смесители	8	4			4	4
Гетероструктурная СВЧ электроника	16	8			8	8
Применение твердотельной СВЧ-электроники	8	4			4	4
ВСЕГО		72				35
В т.ч.текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация - зачет						

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Основы вакуумной СВЧ электроники	Особенности сверхвысокочастотной электроники. Стационарные уравнения возбуждения линии передачи электронным потоком. Нестационарная теория возбуждения волновода. Элементарная теория	Лекции	Зачёт

		отражательного клистрона. Индуктивное и спонтанное излучение в резонансных автогенераторах. Магнетрон, амплитрон, гиратрон. Полые резонаторы, волноводы. Нелинейная теория лампы бегущей волны. Взаимодействие электронного потока с бегущей электромагнитной волной.		
2	Передающие линии в интегральных схемах.	Пассивные и активные элементы полупроводниковых схем. Линии с распределенными параметрами. Волновое сопротивление. Матрицы рассеяния. Волноводы. Микрополосковые линии, щелевые линии, компланарный волновод. Заземляющая плоскость. Связанные микрополосковые линии. Плоские катушки индуктивности. Встречно-штыревые конденсаторы, межслойные конденсаторы. Эквивалентные схемы, добротность. Потери в передающих линиях. Сосредоточенные резисторы.	Лекции	Зачёт
3	Фильтры, фазовращатели, преобразователи СВЧ	Фильтры высоких и низких частот. Полосовые фильтры. Полосно-заграждающие фильтры. Инверторы сопротивлений, ферритовые СВЧ-устройства, Y – циркуляторы. Невзаимные фазовращатели, двухплечий гиратор. Преобразователи сопротивлений и видов колебаний. Устройства СВЧ на p-i-n диодах.	Лекции	Зачёт
4	СВЧ усилители	Основные характеристики. Принцип действия полевого транзистора с затвором Шоттки, основные режимы работы. Статические характеристики транзисторов и их параметры.	Лекции	Зачёт

		<p>Схемы включения транзисторов. Коэффициент усиления. Усилители с распределенным усилением. Согласование усилителей. Каскадное соединений секций. Нелинейные искажения. Туннельный диод, его вольт-амперные характеристики и частотные свойства. Лавинно-пролетный диод, механизм усиления переменного сигнала, мощность и коэффициент полезного действия. Диоды Ганна, принцип действия и возможные режимы работы.</p>		
5	Автогенераторы и смесители	<p>Автогенераторы с фиксированной частотой генерации. Коаксиальный генератор Ганна. Волноводный генератор Ганна. Преобразование частоты с помощью активного элемента. Зеркальная частота. Смесители на полевых транзисторах с затвором Шоттки. Смесители с двумя затворами Шоттки.</p>	Лекции	Зачёт
6	Гетероструктурная СВЧ электроника	<p>Гетероэпитаксиальные структуры, квантовые ямы, двумерный электронный газ, подвижность носителей, плотность состояний, коэффициента шума. Сверхрешетки, осцилляции Блоха, резонансное туннелирование, резонансно-туннельный диод.</p>	Лекции	Зачёт
7	Применение твердотельной СВЧ-электроники	<p>Устройства сотовой и спутниковой связи, телевидения. КМОП-схемы. Программируемые логические схемы на основе GaAs рНЕМТ-транзисторов. Малошумящие транзисторы для приемных каналов и мощные усилительные модули.</p>	Лекции	Зачёт

		Приемопередающие модули АФАР.		
--	--	-------------------------------	--	--

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа аспирантов выполняется в следующих видах: в читальном зале библиотеки, в учебных лабораториях, компьютерных классах и в домашних условиях, с доступом к лабораторному оборудованию, приборам, базам данных, к ресурсам Интернет.

Самостоятельная работа аспирантов обеспечивается учебно-методическими пособиями, учебной и научной литературой.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные экзаменаторами);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая лаконичности);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка	Уровень подготовленности, характеризующий оценкой
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

1. Особенности СВЧ диапазона.
2. Элементарная теория отражательного клистрона.
3. Линии с распределенными параметрами. Волновое сопротивление.
4. Взаимодействие электронного потока с бегущей электромагнитной волной.
5. Пассивные элементы полупроводниковых микросхем.
6. Сравнительные характеристики передающих линий. Диапазон волновых сопротивлений.
7. Характеристики микрополосковой линии и компланарного волновода.
8. Принцип действия полевого транзистора с затвором Шоттки.
9. Влияние отрицательно смещенной полупроводниковой подложки.
10. Цепи с диодами переменной емкости. Варакторы. Плавный фазовращатель на варакторе.
11. Двухзатворные полевые транзисторы.
12. Преобразователи сопротивлений и видов колебаний.
13. СВЧ фильтры высоких и низких частот. Полосовые фильтры.
14. Фазовращатели и аттенюаторы СВЧ.
15. Устройства СВЧ на р-і-п диодах.
16. Транзисторные усилители СВЧ. Схемы включения транзисторов.
17. Согласование усилителей на входе и выходе..
18. Усилители с распределенным усилением.
19. СВЧ усилители мощности.
20. Диоды Ганна, принцип действия и возможные режимы работы.
21. Определение коэффициента усиления по мощности в усилителях СВЧ..
22. Волноводный генератор Ганна. Коаксиальный генератор Ганна.
23. Преобразование частоты с помощью активного элемента.
24. Смесители на полевых транзисторах с затвором Шоттки. Балансный смеситель.
25. Гетеропереходы: зонные диаграммы, двумерный электронный канал, подвижность двумерного электронного газа.
26. Электрофизические параметры РНЕМТ –транзисторов. Частотные свойства.
27. Применение твердотельной СВЧ-электроники

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) основная литература:

1. Д.И. Трубецков, А.Е.Храмов. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. – М.: Физматлит, 2003, 496 с.
2. В.Н.Данилин, А.И.Кушниренко, Г.В.Петров. Аналоговые полупроводниковые интегральные схемы. – М.: Радио и связь, 1985.
3. Дж. Хелзайн. Пассивные и активные цепи СВЧ.- М.: Радио и связь, 1981, 200 с.
4. Ю.Пожела. Физика быстродействующих транзисторов. – Вильнюс: Моклас, 1989.
5. Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. Основы наноэлектроники, Новосибирск, Изд. НГТУ, 2000, 332 с.

б) дополнительная литература:

1. И.М.Викулин, В.И.Стафеев. Физика полупроводниковых приборов. - М.: Сов. Радио, 1990.
2. Демиховский В. Я., Вугальтер Г. А., Физика квантовых низкоразмерных структур, М., Логос, 2000, 248 с.
3. Кульбачинский В. А. Структуры малой размерности в полупроводниках, М., Изд. МГУ, 1998.

4. Дудкин В. И., Пахомов Л. Н., Квантовая электроника. Приборы и их применение: Учеб. Пособие, М., Техносфера, 2006., 423с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы :

1. Пакет компьютерных аналитических и графических вычислений для персонального компьютера. Допускается применение сред Wolfram Mathematica или любых иных компьютерных ресурсов аналогичного назначения.
2. Интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом www.eqworld.ipmnet.ru

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование – комплекс учебного оборудования фирмы Natinal Instruments;
- лицензионное программное обеспечение фирмы Natinal Instruments.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Автор (ы) к.ф.-м.н., доц. _____ Хазанова С.В.

Рецензент (ы) _____

Заведующий кафедрой д.ф.м.н., профессор _____ Павлов Д.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от _____ года, протокол № _____

ОПК-1 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: основные результаты теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание основных результатов теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ – электроники.	В целом успешное знание основных результатов теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ – электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных результатов теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ – электроники.	Успешное и систематическое знание основных и дополнительных результатов теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ – электроники.
Уметь: применять знания теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники	Отсутствие умений	Частично освоенное умение применять знания теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение применять знания теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники	Сформированное умение применять знания теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники
Владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методологии теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники	В целом успешное, но не систематическое применение методологии теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методологии теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ – электроники.	Успешное и систематическое применение методологии теоретических и экспериментальных исследований в области СВЧ - электроники

ПК-1 Способность понимать, критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу в области СВЧ – электроники.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание базовой информации, современной научной, технической и патентной литературы в области СВЧ – электроники	В целом успешное знание базовой информации, современной научной, технической и патентной литературы в области СВЧ – электроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание базовой информации, современной научной, технической и патентной литературы в области СВЧ – электроники	Успешное и систематическое знание базовой информации, современной научной, технической и патентной литературы в области СВЧ – электроники
Уметь: критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники	В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники	Сформированное умение критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники
Владеть: Способностью понимать, критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение базовой информации, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники.	В целом успешное, но не систематическое применение базовой информации, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение базовой информации, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники.	Успешное и систематическое применение базовой информации, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в области СВЧ – электроники.

ПК-2 Способность осваивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно-измерительное оборудование, а также соответствующие методики выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: основные методики выращивания и	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание основных	В целом успешное знание основных	В целом успешное, но содержащее	Успешное и систематическое

исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе		методик выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе	методик выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе	отдельные пробелы знание основных методик выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе	знание основных методик выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе
Уметь: оценивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно- измерительное оборудование	Отсутствие умений	Частично освоенное умение оценивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно- измерительное оборудование	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение оценивать новое технологическое, исследовательское , и контрольно- измерительное оборудование	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение оценивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно- измерительное оборудование	Сформированное умение оценивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно- измерительное оборудование
Владеть: практическими навыками по применению современных методов исследования в области СВЧ – электроники.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных методов исследования в области СВЧ – электроники.	В целом успешное, но не систематическое применение современных методов исследования в области СВЧ – электроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных методов исследования в области СВЧ – электроники	Успешное и систематическое применение современных методов исследования в области СВЧ – электроники