

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 «02» декабря 2024 г. № 10

Рабочая программа дисциплины
«СВЧ-электроника»

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность
1.3.11. Физика полупроводников

Программа подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Физика полупроводников

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2025 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. Индуцированное 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 тунелирование, 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 p-i-n 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 нанoeлектроники, 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