

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
«Физика полупроводниковых приборов»

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность
1.3.19. Лазерная физика
Программа подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Лазерная физика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2025 год

1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Физика полупроводниковых приборов» относится к числу *факультативных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 3-ом году обучения в 6 семестре.

Цель дисциплины – углубленное ознакомление аспирантов с особенностями физики полупроводниковых приборов, а также методами их описания металлов.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

Знать:

- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, знать о понятии кристаллическая решетка в физике полупроводниковых структур, о теории р-п перехода, распределении заряда, структуры поля и потенциала в переходе;
- современное состояние науки в области радиофизики, а также принципы работы современных полевых и биполярных транзисторов в схемах (комплиментарные схемы, базовые элементы логики);
- современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и знать о методах моделирования процессов переноса зарядов в полупроводниковых приборах.

Уметь:

- определять наиболее актуальные направления исследований, уметь разбираться в физических процессах в полупроводниковых структурах;
- самостоятельно формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики и этапов профессионального роста, уметь измерять вольтамперные и вольтфарадные характеристики, анализировать их и рассчитывать различные параметры;
- использовать оптические методы диагностики полупроводниковых структур, в частности уметь различать виды транзисторов в зависимости от теории их работы, от их параметров и режимов работы;
- представлять научные результаты;
- самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования, уметь проводить моделирование полупроводниковых приборов СВЧ диапазона с учетом различных внешних факторов и проводить анализ полученных данных.

Владеть:

- навыками об анализе высокочастотных свойств полупроводниковых приборов: полевой транзистор с р-п переходом и барьером Шоттки, полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник, полевой транзистор металл-окисел-полупроводник, биполярный транзистор;
- самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов, навыками для использования различных методов моделирования для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах;
- навыками моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов, владеть навыками проводить моделирование параметров полевых и биполярных транзисторов и диодов с учетом разброса технологических параметров и внешних факторов;

- современными информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования, владеть навыками проводить статистический анализ характеристик полупроводниковых приборов при различном нагреве, освещении, сравнивать с экспериментальными данными и проводить обобщение полученных результатов;
- методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций, владеть методами составления программ - методик технологии создания СВЧ и терагерцовых полупроводниковых приборов.

3. Структура и содержание дисциплины

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

Таблица 1

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение. Кристаллическая структура твердого тела	9	4	-	-	-	4	5
2. Теория р-п перехода, устройства на базе диода	9	4	-	-	-	4	5
3. Биполярный транзистор. Работа биполярных транзисторов в схемах	9	5	-	-	-	5	4
4. Явления на резкой границе раздела материалов	9	5	-	-	-	5	4
5. Полевой транзистор с р-п переходом и барьером Шоттки, полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник, полевой транзистор металл-окисел-полупроводник	9	5	-	-	-	5	4
6. Работа полевых транзисторов в схемах	8	4	-	-	-	4	4
7. Полупроводниковые приборы СВЧ диапазона	9	4	-	-	-	4	5
8. Оптоэлектронные приборы.	10	5				5	5
Аттестация по дисциплине – зачет							
Итого	72	36	-	-	-	36	36

Таблица 2

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведе ния занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение. Кристаллическа я структура твёрдого тела	Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Прямая и обратная решетка. Ячейка Вигнера- Зейтца. Решетка Браве.	Лекции	-
2	Теория р-п перехода, устройства на базе диода	Резкий и диффузный р-п переходы. Распределение заряда, структура поля и потенциала в переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей. Переход в состояние равновесия. Обедненный слой. Диод под внешним напряжением. Формула Шокли. Вольтамперные характеристики. Барьерная емкость перехода и сопротивление базы. Пробой р-п перехода. Выпрямители. Стабилизаторы. Варисторы. Варакторы. Диоды с накоплением заряда.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставле нного проверяюще му по электронной почте
3	Биполярный транзистор. Работа биполярных транзисторов в схемах	Типы транзисторов. Теория работы транзистора. Токи, созданные основными и неосновными носителями. Вольтамперные характеристики. Модель Эберса- Молла. Параметры для описания транзисторов. Режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставле нного проверяюще му по электронной почте
4	Явления на резкой границе раздела материалов	Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт. Структура металл-диэлектрик- полупроводник. Структура металл- окисел-полупроводник. Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставле нного проверяюще му по электронной почте
5	Полевой транзистор с р-п переходом и барьером	Эффект поля. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольтамперных характеристик. Типы и основные	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов

	Шоттки, полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник, полевой транзистор металл-окисел-полупроводник	параметры транзисторов. Высокочастотные свойства. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольтамперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольтамперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства.		портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
6	Работа полевых транзисторов в схемах	Основные способы включения транзисторов. Комплиментарные схемы. Базовые элементы логики.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
7	Полупроводниковые приборы СВЧ диапазона	Туннельный диод. Лавинно-пролетный диод. Генератор Ганна.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
8	Оптоэлектронные приборы.	Фотодетекторы. Полупроводниковые лазеры. Солнечные батареи.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Еженедельно текст прочитанной лекции и соответствующие вопросы для контроля текущей успеваемости из списка 5.2 рассылаются по электронной почте обучающимся для

стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы и создания личного **портфолио** по дисциплине «**Физика полупроводниковых приборов**».

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);
- 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 сжатости);
- 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, характеризуемый 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 кристаллической структуры твердых тел и правила построения ячейки Вигнера-Зейтца.
2. Причины возникновения зонной структуры твердых тел. Эффективная масса электронов и дырок
3. Типы твердых тел: металлы, диэлектрики, полупроводники. Уровень Ферми. Собственная и примесная проводимость. Основные и неосновные носители заряда.
4. Акустические и оптические фононы. Продольные и поперечные колебания. Законы дисперсии для трехмерной решетки.
5. Кинетическое уравнение Больцмана и механизмы рассеяния электронов. Подвижность носителей заряда.
6. Разогрев электронного газа в полупроводниках. Время релаксации импульса и энергии
7. Фотоионизация и фотопроводимость. Механизмы рекомбинации носителей.

8. Диффузионный и дрейфовый ток. Соотношения Эйнштейна. Система уравнений для описания потенциалов, полей и токов. Время жизни и диффузионная длина неосновных носителей заряда.

9. p-n переход в состояние равновесия и под внешним напряжением. Вольт-амперные характеристики перехода.

10. Контакт металл-полупроводник. Гетеропереход.

11. Принципы работы биполярного и гетробиполярного транзисторов.

12. Биполярный и гетробиполярный транзисторы.

13. Принципы работы полевого транзистора с управляющим переходом, барьером Шоттки, МДП затвором. Гетерополевые транзисторы.

14. Отличие принципов работы туннельного диода, лавинно-пролетного диода и генератора Ганна.

15. Принципы работы фильтров на поверхностных акустических волнах.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Зи С. М. - Физика полупроводниковых приборов: в 2 кн. - М. : Мир , 1984. - 455 с.

2. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. - Физика полупроводников: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М.: Наука, 1977. - 672 с.

3. Киттель Ч. - Элементарная физика твердого тела. - М.: Наука, 1965. - 366 с.

б) дополнительная литература:

1. Зеегер К. - Физика полупроводников: пер. с англ. Р. Бразиса [и др.]. - М.: Мир, 1977. - 615 с.

2. Киреев П. С. – «Физика полупроводников» [учеб. пособие для втузов]. - М.: Высшая школа, 1975. - 584 с.

3. Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 624 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71742>. — Загл. с экрана.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>;

<http://www.biblioclub.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;

- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;

- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

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).

Авторы:

Авторы _____ Д.А. Савинов

Рецензент _____ А.В. Кудрин

Заведующий кафедрой _____ С.А. Бельков

Программа одобрена на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «20» января 2022 года, протокол № 01/22.