

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Информационно-измерительные системы в полупроводниковой
электронике

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Автоматизация научных исследований

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.01 Информационно-измерительные системы в полупроводниковой электронике относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Знает проблематику и методы научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.2: Имеет навыки выполнения научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.3: Имеет навыки руководства исследованиями и опытно-конструкторскими разработками в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности, и формирования их новых направлений</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать принципы работы основных устройств на базе диода, таких как выпрямители, стабилизаторы, варисторы, варакторы, диоды с накоплением заряда; основы теории работы биполярных и полевых транзисторов различных типов, туннельного диода, лавинно-пролетного диода, генератора Ганна, фотодетекторов, полупроводниковых лазеров, солнечных батарей.</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать основные модели и методы, применяемые для расчетов физических характеристик полупроводниковых приборов.</p> <p>Уметь проводить оценочные расчеты характеристик полупроводниковых приборов, определять физические параметры по вольт-амперным и вольт-фарадным характеристикам.</p> <p>ПК-1.3:</p> <p>Готовность к проведению научно-исследовательской</p>	Опрос	Зачёт: Контрольные вопросы Задания

		деятельности в области полупроводниковых технологий, включая навыки руководства в данном направлении		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Теория р-п перехода	10	3	0	3	7
Устройства на базе диода	11	3	0	3	8
Биполярный транзистор	16	6	0	6	10
Явления на резкой границе раздела материалов	11	3	0	3	8
Полевой транзистор с р-п переходом и барьером Шоттки	11	3	0	3	8
Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник	11	3	0	3	8
Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник	14	6	0	6	8
Полупроводниковые приборы СВЧ диапазона	11	3	0	3	8
Оптоэлектронные приборы	12	2	0	2	10
Аттестация	0				

КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

Часть 1 Физика явлений на границе раздела твердых тел. Выпрямляющие диоды

- 1.1. Классификация границ раздела между двумя полупроводниками
- 1.2. Изотипный (униполярный) гомопереход
- 1.3. Анизотипный (биполярный) гомопереход (р-п переход)
 - 1.3.1. Электронно-дырочный переход в равновесном состоянии
 - 1.3.2. Вольт-амперная характеристика р-п перехода
 - 1.3.3. Емкость электронно-дырочного перехода
- 1.4. Анизотипный (биполярный) и изотипный (униполярный) гетеропереходы
- 1.5. Структура металл – диэлектрик – полупроводник (МДП)
 - 1.5.1. Идеальная МДП-структура
 - 1.5.2. Емкость МДП-структуры
- 1.6. Контакт металл – полупроводник
 - 1.6.1. Зонная диаграмма
 - 1.6.2. Теория процессов переноса зарядов
 - 1.6.3. Омический контакт
- 1.7. Эквивалентные схемы диодов

Часть 2 Суперкомпьютерное моделирование полупроводниковых диодов с учетом радиационного воздействия 46

- 2.1 Особенности создания современных полупроводниковых наногетероструктур диодов и транзисторов
- 2.2. Особенности контроля параметров полупроводниковых структур, диодов и транзисторов
- 2.3. Особенности методов моделирования полупроводниковых структур и интегральных схем
- 2.4. Численные методы решения задачи переноса носителей заряда в полупроводниковых приборах при воздействии проникающих излучений
 - 2.4.1. Нормировка и выбор базиса переменных системы уравнений переноса носителей заряда
 - 2.4.2. Сведение системы уравнений переноса носителей заряда к дифференциально-алгебраической системе уравнений
 - 2.4.3. Методы решения системы дифференциально-алгебраической уравнений
 - 2.4.3.1. Неявные итерационные схемы
 - 2.4.3.2. Многошаговые методы
 - 2.4.3.3. Безитерационные схемы
 - 2.4.3.4. Использование параллельных вычислений
- 2.5. Результаты моделирования
 - 2.5.1. Решение уравнения Пуассона с применением технологии CUDA массивно-параллельных вычислений
 - 2.5.2. Решение системы уравнений переноса носителей заряда в полупроводниковых приборах с применением технологии CUDA массивно-параллельных вычислений
 - 2.5.2.1. Исследование стационарного решения
 - 2.5.2.2. Исследование переходных процессов

Раздел 1.

Конструктивные элементы полупроводниковых транзисторов

- 1.1. Классификация границ раздела между двумя полупроводниками
- 1.2. Изотипный (униполярный) гомопереход
- 1.3. Анизотипный (биполярный) гомопереход (р-п переход)⁹
- 1.3.1. Электронно-дырочный переход в равновесном состоянии
- 1.3.2. Вольт-амперная характеристика р-п перехода
- 1.3.3. Емкость электронно-дырочного перехода
- 1.4. Анизотипный (биполярный) и изотипный (униполярный) гетеропереходы
- 1.5. Структура металл–диэлектрик–полупроводник (МДП)
- 1.5.1. Идеальная МДП-структура
- 1.5.2. Емкость МДП-структуры
- 1.6. Контакт металл–полупроводник
- 1.6.1. Зонная диаграмма
- 1.6.2. Теория процессов переноса зарядов
- 1.6.3. Омический контакт
- 1.7. Эквивалентные схемы

Раздел 2

Биполярный транзистор

- 2.1 Устройство биполярного транзистора
- 2.2 Физические процессы в биполярном транзисторе
 - 2.2.1 Зонная диаграмма равновесного транзистора
 - 2.2.2 Схемы включения транзистора
 - 2.2.3 Зонная диаграмма транзистора в активном режиме
 - 2.2.4 Основные процессы в транзисторе, включенном по схеме ОБ
 - 2.2.5. Схема с общим эмиттером (ОЭ)
- 2.3. Теория идеализированного транзистора
 - 2.3.1. Исходные предположения
 - 2.3.2. Уравнения Эберса - Мола
 - 2.3.3. Система уравнений транзистора в схеме с ОБ
 - 2.3.4. Параметры α и $I_{КО}$
- 2.4. Статические характеристики транзистора
 - 2.4.1. Схема ОБ (идеализированный транзистор)
 - 2.4.2. Схема ОБ (реальные характеристики)
 - 2.4.3. Схема ОЭ
- 2.5. Линеаризованные уравнения транзистора
 - 2.5.1. Линеаризованные уравнения для схемы ОБ
 - 2.5.2. Сопротивление базы
 - 2.5.3. Линеаризованные уравнения для схемы ОЭ
 - 2.5.4. Т-образные эквивалентные схемы
 - 2.5.5. h -параметры для схемы ОЭ
- 2.6. Дрейфовый транзистор
- 2.7. Гетеробиполярный транзистор
 - 2.7.1. Широкозонный эмиттер
 - 2.7.2. Варизонная база
 - 2.7.3. Широкозонный коллектор

Раздел 3

Полевой транзистор

- 3.1. Полевые транзисторы с управляющим переходом

- 3.1.1. Структура и принцип действия
- 3.1.2. Статические характеристики
- 3.1.3 Основные параметры полевого транзистора
- 3.1.4 Расчет статических характеристик полевого транзистора с управляющим р-п переходом
- 3.1.5 Эквивалентная схема полевого транзистора с управляющим р-п переходом и его частотные свойства
- 3.2 Полевые транзисторы с изолированным затвором
 - 3.2.1 Структура и принцип действия
 - 3.2.2 МДП -транзисторы с индуцированным каналом
 - 3.2.3 МДП-транзисторы со встроенным каналом
 - 3.2.4 Расчет статических характеристик полевого транзистора с изолированным затвором
 - 3.2.5 Частотные свойства транзисторов с изолированными затворами
- 3.3 Полевые транзисторы с гетеропереходами

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Введение в физику полупроводниковых диодов и методы их проектирования с использованием высокопроизводительных вычислений : учебное пособие / Волкова Е. В., Пузанов А. С., Оболенский С. В., Тарасова Е. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. - 78 с.

<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=709287&idb=0>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Опрос) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Теория р-п перехода. Резкий и диффузный р-п переходы.
2. Распределение заряда, структура поля и потенциала в р-п переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей. Переход в состоянии равновесия.
3. Обедненный слой. Диод под внешним напряжением. Барьерная и диффузионная емкости перехода. Сопротивление базы.

4. Пробой р-п перехода. Устройства на базе диода. Выпрямители. Стабилизаторы. Варисторы. Варакторы.
5. Образование барьерного контакта металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Вывод вольт-амперной и вольт-фарадной характеристик. Омический контакт.
6. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Типы состояния поверхности. Плотность поверхностных состояний.
6. Биполярный транзистор. Типы транзисторов. Теория работы биполярного транзистора, токи созданные основными и неосновными носителями.
7. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла. Параметры для описания биполярных транзисторов.
8. Работа биполярных транзисторов в схемах. Режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения транзисторов. Базовые элементы логики.
9. Сравнение МДП полевых транзисторов с индуцированным и встроенным каналом (структура, зонная диаграмма, вольт-амперные характеристики).
10. Гетеропереход.
11. Полевые транзисторы с р-п переходом и барьером Шоттки. Расчет статических вольт-амперных характеристик, типы и основные параметры транзисторов, высокочастотные свойства.
4. Полевые транзисторы металл-диэлектрик-полупроводник: принципы работы, распределение потенциала в приборе, расчет статических вольт-амперных характеристик, типы и основные параметры транзисторов, высокочастотные свойства.
5. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник, принципы его работы, распределение потенциала и поля в приборе, расчет статических вольт-амперных характеристик, типы и основные параметры транзисторов, высокочастотные свойства.
6. Работа полевых транзисторов в схемах, основные способы включения транзисторов. Комплементарные схемы. Базовые элементы логики.
7. Туннельный диод. Лавинно-пролетный диод.
8. Генератор Ганна.
9. Фотодетекторы. Полупроводниковые лазеры. Солнечные батареи.

Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, при отсутствии или минимальном количестве ошибок несущественных ошибок
не зачтено	Выявленный при ответе уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<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. Ошибок нет.	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 несущественными 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 базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы навыки при решении нестандарт	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартны

	вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	стандартны х задач с некоторым и недочетами	х задач с некоторым и недочетами	х задач без ошибок и недочетов	ных задач без ошибок и недочетов	х задач
--	--	---------------------	--	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	---------

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	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».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Р-п переход в состояние равновесия и под внешним напряжением. Вольт-амперные характеристики перехода.
2. Распределение заряда, структура поля и потенциала в р-п переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей.
3. Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики диода на основе р-п перехода.
4. Барьерная емкость р-п перехода и сопротивление базы. Пробой р-п перехода.
5. Выпрямители. Стабилизаторы.
6. Варисторы. Варакторы. Диоды с накоплением заряда.

7. Гетеропереход.
8. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт.
9. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Структура металл-окисел-полупроводник. Плотность поверхностных состояний.
10. Биполярный транзистор. Теория работы транзистора. Токи, созданные основными и неосновными носителями. Типы биполярных транзисторов.
11. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла. Параметры для описания биполярных транзисторов.
12. Режимы работы биполярного транзистора. Различные схемы включения транзисторов. Высокочастотные свойства. Базовые элементы логики.
13. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом и барьером Шоттки. Эффект поля. Распределение потенциала и поля в приборе.
14. Расчет статических вольт-амперных характеристик полевых транзисторов. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства.
15. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов.
16. Работа полевых транзисторов в схемах. Основные способы включения транзисторов. Комплементарные схемы. Базовые элементы логики.
17. Принцип работы туннельного диода. Принцип работы лавинно-пролетного диода.
18. Принцип работы генератора на основе диода Ганна.
19. Принцип работы фотодетекторов. Преимущества использования гетеропереходов. Принцип работы солнечных батарей.
20. Светодиоды. Суперлюминесцентные диоды. Полупроводниковые лазеры. Преимущества использования гетероструктур.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, при отсутствии или минимальном количестве ошибок несущественных ошибок
не зачтено	Выявленный при ответе уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задание 1.

Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристики р-п перехода. Объяснить физическую природу обратного тока диода

Задание 2.

Проанализировать физические процессы протекания тока в гетеропереходе. Объяснить причины возникновения униполярной инжекции.

Задание 3.

Изобразить конструкцию и объяснить принцип работы диода Шоттки. Объяснить зонные диаграммы, идеальные и реальные вольт-амперные характеристики, вольт-фарадную характеристику, эквивалентную схему диода. Объяснить принцип реализации омического контакта металл-полупроводник.

Задание 4.

Проанализировать эффект поля в структуре металл-диэлектрик-полупроводник. Объяснить влияние поверхностных состояний и ловушек в диэлектрике. Объяснить преимущества кремниевой структуры металл-окисел-полупроводник.

Задание 5.

Вывести ВАХ биполярного транзистора. Объяснить причины наличия небольшого наклона на выходных ВАХ транзистора (эффект Эрли).

Задание 6.

Объяснить преимущества гетеробиполярного транзистора перед гомоструктурным.

Задание 7.

Получить зависимость крутизны ВАХ полевого транзистора с затвором Шоттки и его коэффициента статического усиления от напряжения на затворе и уровня легирования канала. На основе результата объяснить преимуществ полевого транзистора с двумерным электронным газом.

Задание 4.

Качественно объяснить причины возникновения участка насыщения на выходной вольт-амперной характеристике полевого транзистора.

Задание 5.

Вывести критерий Кремера для диода Ганна. Сравнить режимы работы диода Ганна.

Задание 6.

Объяснить отличия между светодиодом, суперлюминесцентным диодом и полупроводниковым лазером. Проанализировать преимущества использования гетероструктур при реализации оптических генераторов на основе полупроводников.

Задание 7.

Могут ли одни и те же GaAs и Si p-n переходы (или гетеропереходы) работать в роли как свето- так и фотодиода? Ответ обосновать с помощью зонной диаграммы, законов сохранения энергии и импульса.

Задание 8.

Изобразить зонные диаграммы p-n-перехода при термодинамическом равновесии и при освещении. Вывести выражение для фото-ЭДС в p-n-переходе.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, при отсутствии или минимальном количестве ошибок несущественных ошибок
не зачтено	Выявленный при ответе уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Шалимова Клавдия Васильевна. Физика полупроводников : [учеб. для вузов по специальности

"Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы"]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. :

Энергоатомиздат, 1985. - 391 с. : ил. - 1.20., 38 экз.

2. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов : в 2 кн. [Кн.] 1 / пер. с англ. В. А. Гергеля, В. В. Ракитина ; под ред. Р. А. Суриса. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир , 1984. - 455 с. : ил. - 2.20., 16 экз.

3. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов : в 2 кн. [Кн.] 2 / пер. с англ. В. А. Гергеля [и др.] ; под ред. Р. А. Суриса. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир , 1984. - 455 с. : ил. - 2.20., 16 экз.

4. Бонч-Бруевич Виктор Леопольдович. Физика полупроводников : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, 1990. - 685 с. : ил. - ISBN 5-02-014032-5 : 2.00., 7 экз.

Дополнительная литература:

1. Степаненко Игорь Павлович. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергия, 1977. - 671 с. : ил. - 2.80., 3 экз.

2. Пасынков Владимир Васильевич. Полупроводниковые приборы : [учеб. для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики"]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1981. - 431 с. - 18.00., 6 экз.

3. Ефимов И. Е. Основы микроэлектроники : учебник. - Изд. 3-е, стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2008. - 384 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0866-5 : 442.97., 3 экз.

4. Пикус Григорий Езекиелевич. Основы теории полупроводниковых приборов. - М. : Наука, 1965. - 448 с. : черт. - (Физика полупроводников и полупроводниковых приборов). - 1.23., 42 экз.

5. Ансельм Андрей Иванович. Введение в теорию полупроводников : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - 2-е изд., доп. и перераб. - М. : Наука, 1978. - 615 с. : ил. - 1.60., 25 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=795266&idb=0>

Введение в физику транзисторов : учебное пособие / Е. А. Тарасова, А. С. Пузанов, Е. В. Волкова [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2019. - 88 с. - Текст : электронный

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Мультимедийный проектор

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Волкова Екатерина Валерьевна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.