

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 от  
«31» мая 2023 № 6

Рабочая программа дисциплины

**Твердотельная электроника**

(наименование дисциплины)

Уровень высшего образования

**бакалавриат**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Информационные системы и технологии**

(наименование профиля подготовки, направленности программы)

Квалификация (степень)

**бакалавр**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

2023 год

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Твердотельная электроника» относится к обязательным дисциплинам вариативной части (блок Б1.В.14) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные системы» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина обязательна для освоения в 7-м семестре.

### Целями освоения дисциплины являются:

- получить совокупность знаний о кристаллической структуре и зонной модели твердого тела, статистике электронов в твердом теле;
- получить совокупность знаний о неравновесных явлениях в полупроводниках, явлениях на поверхности и границе раздела материалов, магнитных свойствах твердых тел; сверхпроводимости;
- рассмотреть процессы происходящие в металлах, диэлектриках и сверхпроводниках.
- получить представления и понятие о колебаниях решетки, поведении электронов в периодическом потенциале;
- получить совокупность знаний о теории классических полупроводниковых приборов – базовых элементов интегральных схем, полупроводниковых СВЧ диодах – базовых элементах систем передачи данных, полупроводниковых приборах с гетеропереходами;
- получить совокупность знаний о принципах функционирования полупроводниковых приборов.

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

Формируемые компетенции Код компетенции (код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ПК-1 – . Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования подходов, решений и выводов по соответствующим научным и профессиональным проблемам.</i>  Этап формирования базовый	<i>31 (ПК-1) Знать</i> такие понятия, как уровень Ферми, концентрация носителей в собственных и примесных полупроводниках, область истощения примесей, комплементарные схемы, базовые элементы логики, туннельный диод, лавинно-пролетный диод, генератор Ганна, фотодетекторы, полупроводниковые лазеры, солнечные батареи. <i>32 (ПК-1) Знать</i> основные устройства на базе диода, такие как выпрямители, стабилизаторы, варисторы, и такие понятия как теорема Блоха, модель Кронига-Пени, зонная структура кристаллов, разрешенные и запрещенные зоны. <i>У1 (ПК-1) Уметь</i> различать основные способы включения транзисторов. <i>У2 (ПК-1) Уметь</i> различать схемы включения транзисторов. <i>В1 (ПК-1) Владеть</i> навыком анализа полупроводниковых приборов СВЧ диапазона и оптоэлектронных приборов. <i>В2(ПК-1) Владеть</i> навыком анализировать режимы работы биполярного транзистора.

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 64 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 16 часов лабораторные работы), в том числе 1 час – мероприятия текущего контроля успеваемости, 43 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего(часы)			В том числе										Самостоятельная работа обучающегося, часы		
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы												
				Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа		Занятия лабораторного типа		Всего						
	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	
1.Кристаллическая структура твердого тела	6			2		2					4		2			
2.Колебания и волны в кристаллической решетке	6			2		2					4		2			
3.Электроны в периодическом потенциале	6			2		2					4		2			
4.Статистика носителей заряда	6			2		2					4		2			
5.Квазиклассическое описание движения носителей заряда	6			2		2					4		2			
6.Неравновесные явления в полупроводниках	6			2		2					4		2			
7.Процессы переноса в неоднородных полупроводниках	6			2		2					4		2			
8. Теория р-п перехода	6			2		2					4		2			
9. Устройства на базе диода	6			2		2					4		2			
10. Биполярный транзистор	6			2		2					4		2			
11. Работа биполярных транзисторов в схемах	6			2		2					4		2			
12. Явления на резкой границе раздела материалов	6			2		2					4		2			
13. Полевой транзистор с р-п преходом и барьеромШоттки	6			2		2					4		2			
14. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник	6			2		2					4		2			
15. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник	6			1		1					2		4			
16. Работа полевых транзисторов в схемах	6			1		1					2		3			
17.Полупроводниковые приборы СВЧ	6			1		1					2		4			

диапазона																	
18.Оптоэлектронные приборы	6		1		1					2		4					
В т.ч. текущий контроль	1				1					1							
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>																	

#### 4. Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных и практических занятий.

**Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях лекционного и практического типа:**

- лекции с проблемным изложением учебного материала.
- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;
- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

#### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

##### 5.1 Темы лекционных занятий, по которым дается домашнее задание

1. Кристаллические решетки. Элементарная ячейка. Симметрии. Решетки Браве. Кристаллографические направления.
2. Законы дисперсии для трехмерной решетки. Акустические и оптические фононы.
3. Теория теплоемкости Дюлонга-Пти. Квантовый подход к описанию кристаллов.
4. Уравнение Шредингера для периодического потенциала. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пени. Зонная структура кристаллов: разрешенные и запрещенные зоны.
5. Механизмы рассеяния носителей заряда: примесное рассеяние, рассеяние на акустических фононах, рассеяние на оптических фононах, рассеяние на дефектах, электрон-электронное рассеяние.
6. Механизмы рекомбинации носителей. Время жизни неравновесных носителей.
7. Распределение заряда, структура поля и потенциала в р-п переходе.
8. Распределение концентрации основных и неосновных носителей в р-п переходе.
9. Р-п переход в состояние равновесия. Обедненный слой. Диод под внешним напряжением.
10. Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики.
11. Барьерная емкость р-п перехода и сопротивление базы.
12. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла.
13. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт.

Выполнение домашних заданий проверяется на занятиях. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

##### 5.2 Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

1. Зоны Бриллюэна. Рентгеноструктурный анализ кристаллов.
2. Основные и неосновные носители заряда. Управление проводимостью с помощью легирования.
3. Эффект Холла
4. Фотоионизация и фотопроводимость.
5. Максвелловская релаксация в проводящей среде.
6. Магнитная восприимчивость и намагниченность.
7. Схемы включения биполярных транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства.

8. Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход.
9. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Высокочастотные свойства.
10. Комплементарные схемы.
11. Лавинно-пролетный диод. Генератор Ганна.
12. Солнечные батареи.

**6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

**6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.**

***ПК-1* Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования подходов, решений и выводов по соответствующим научным и профессиональным проблемам.**

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> <i>Знать</i> 1. такие понятия, как уровень Ферми, концентрация носителей в собственных и примесных полупроводниках, область истощения примесей, комплементарные схемы, базовые элементы логики, туннельный диод, лавинно-пролетный диод, генератор Ганна, фотодетекторы, полупроводниковые лазеры, солнечные батареи. 2. основные устройства на базе диода, такие как выпрямители, стабилизаторы, варисторы, и такие понятия как теорема Блоха, модель Крони-Ганна, зонная структура кристаллов, разрешенные и запрещенные зоны.	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материалом с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> <i>Уметь</i> 1. различать основные способы включения транзисторов. 2. различать схемы включения транзисторов.	Отсутствие умения различать схемы включения транзисторов.	Наличие грубых ошибок при различении схем включения транзисторов.	Способность различать схемы включения транзисторов с существенными ошибками	Способность различать схемы включения транзисторов с незначительными погрешностями	Способность различать схемы включения транзисторов почти без ошибок и погрешностей	Способность различать схемы включения транзисторов	Способность различать схемы включения транзисторов и полупроводниковых приборов
<u>Навыки</u> <i>Владеть</i> 1. навыком анализа полупроводниковых приборов СВЧ диапазона и оптоэлектронных приборов. 2. навыком анализировать режимы работы биполярного транзистора.	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

## **6.2. Описание шкал оценивания.**

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета с оценкой, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть предусматривает решение задачи.

Критерии оценок.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	<p>Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая теоретический материал практическими примерами. Студент активно работал на занятиях.</p> <p>100 %-ное выполнение контрольных заданий</p>
Отлично	<p>Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами. Студент активно работал на занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных заданий на 90% и выше</p>
Очень хорошо	<p>Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей.</p> <p>Студент активно работал на занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных заданий от 80 до 90%.</p>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора. Студент работал на занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, делает существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ. Студент посещал занятия.</p> <p>Выполнение контрольных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора.</p> <p>Выполнение контрольных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы.</p> <p>Выполнение контрольных заданий менее 20 %.</p>

**6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.**  
**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**



- устные и письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:**

- практические контрольные задания, включающие одну или несколько задач

**Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используются:**  
устный опрос, решение практических задач.

**6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.**

**Вопросы к зачету для оценки сформированности компетенции ПК-1**

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. Каковы магнитные свойства твердых тел?
10. Р-п переход в состояние равновесия и под внешним напряжением. Вольт-амперные характеристики перехода.
11. Распределение заряда, структура поля и потенциала в р-п переходе. Распределение концентрации основных и неосновных носителей.
12. Формула Шокли. Вольт-амперные характеристики диода на основе р-п перехода.
13. Барьерная емкость р-п перехода и сопротивление базы. Пробой р-п перехода.
14. Выпрямители. Стабилизаторы.
15. Варисторы. Варакторы. Диоды с накоплением заряда.
16. Биполярный транзистор. Типы транзисторов. Теория работы транзистора. Токи созданные основными и неосновными носителями.
17. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла. Параметры для описания биполярных транзисторов.
18. Режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения транзисторов. Базовые элементы логики. Высокочастотные свойства.
19. Явления на резкой границе раздела материалов. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Омический контакт.
20. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Структура металл-окисел-полупроводник. Плотность поверхностных состояний. Гетеропереход.
21. Полевой транзистор с р-п переходом и барьером Шоттки. Эффект поля. Распределение потенциала и поля в приборе.
22. Расчет статических вольт-амперных характеристик полевых транзисторов. Типы и основные параметры транзисторов. Высокочастотные свойства.
23. Полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик. Типы и основные параметры транзисторов.
24. Полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Принцип работы транзистора. Распределение потенциала и поля в приборе. Расчет статических вольт-амперных характеристик.
25. Работа полевых транзисторов в схемах. Основные способы включения транзисторов. Комплементарные схемы. Базовые элементы логики.

26. Туннельный диод. Лавинно-пролетный диод.
27. Генератор Ганна.
28. Фотодетекторы. Полупроводниковые лазеры. Солнечные батареи.

#### **Типовые задачи для оценивания сформированности умений и навыков по компетенции ПК-1**

1. Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристики р-п перехода. Объяснить физическую природу обратного тока диода. С использованием зонной диаграммы и распределения концентрации электронов и дырок дать качественную интерпретацию наличию небольшого наклона на участке насыщения обратной ветви ВАХ для реальных р-п переходов.
2. Вывести вольт-амперную характеристику р-п перехода. По аналогии с р-п переходом объяснить процессы протекания тока в гетеропереходе. Объяснить причины возникновения униполярной инжекции в биполярном гетеропереходе. Оценить соотношение электронной и дырочной компоненты токов в биполярном гетеропереходе. В какой конструкции гетероперехода возможна биполярная инжекция?
3. Вывести вольт-амперную и вольт-фарадную характеристику диода Шоттки. Как будет трансформироваться вольт-фарадная характеристика и напряжение пробоя  $\text{Au-p-n}^+$  диода Шоттки при уменьшении толщины п-слоя? Ответы обосновать с помощью зонной диаграммы. Объяснить технологию изготовления барьерного и омического контактов (фотолитография, напыление, травление, «взрыв»)
4. Объяснить распределение концентрации электронов, наличие электрического поля и потенциального барьера на границе  $\text{p}^+\text{-n}$  перехода. Используя условия равновесия в такой системе вывести соотношение Эйнштейна. Объяснить физический смысл теплового потенциала как коэффициента пропорциональности между подвижностью и коэффициентом диффузии.
5. Найти положение уровня Ферми и концентрацию электронов в собственном германии при температуре 600 К, если известно, что ширина запрещенной зоны при таких температурах меняется по закону  $E_g = (0.7 - 3 \cdot 10^{-4} T(K))$  эВ ( $m_n = 0.02m_0$ ,  $m_p = 0.2m_0$ ). Как зависит уровень Ферми от температуры в примесном полупроводнике и получить (качественно) зависимость контактной разности потенциалов в р-п переходе от температуры.
6. Получив зависимость крутизны ВАХ полевого транзистора с затвором Шоттки и его коэффициента статического усиления от напряжения на затворе и уровня легирования канала, объяснить преимущество канала на основе двумерного электронного газа.
7. Получить зависимость коэффициента усиления полевого транзистора с управляющим р-п переходом от концентрации примеси в канале и напряжения на затворе. Для конкретной выходной ВАХ транзистора построить нагрузочную прямую и графически (качественно) определить динамический диапазон амплитуды входного сигнала (в схеме с общим истоком) для которого реализуется режим линейного усиления.
8. Объяснить преимущества гетеробиполярного транзистора перед биполярным для чего численно оценить: 1) степень влияния униполярной инжекции на коэффициент переноса носителей через базу; 2) амплитуду встроенного поля в варизонной базе и связанного с ним увеличения скорости носителей заряда.
9. Вывести ВАХ ПТ с управляющим р-п переходом. Качественно, исходя из распределений концентрации носителей заряда и напряженности электрического поля вдоль канала транзистора, объяснить причины возникновения участка насыщения на выходной ВАХ транзистора. Объяснить правила выбора сопротивления нагрузки и напряжения питания транзистора для получения максимальной мощности выходного сигнала.
10. Вывести ВАХ МДП транзистора с индуцированным каналом. Качественно, используя зонную диаграмму и распределение электрического поля в транзисторе, объяснить причины возникновения насыщения на выходной ВАХ транзистора. Вывести коэффициент статического

усиления прибора и объяснить почему для реализации максимального усиления транзистора необходимо использовать участок насыщения выходной ВАХ.

11. Вывести ВАХ биполярного транзистора. Объяснить причины наличия небольшого наклона на выходных ВАХ транзистора (эффект Эрли). Для ответа использовать зонную диаграмму, график распределения концентраций электронов и дырок от продольной координаты в структуре транзистора и эквивалентную схему. Объяснить технологию формирования биполярного транзистора с помощью ионного легирования.

12. На конкретном примере распределения электрического поля вдоль канала полевого транзистора с коротким затвором объяснить физический смысл уравнений релаксации энергии и импульса электронов в полупроводнике. Количественно оценить длину затвора GaAs полевого транзистора Шоттки при которой эффект всплеска скорости будет давать наибольший положительный эффект (считать времена релаксации энергии и импульса известными)?

13. Исходя из времени релаксации импульса (10-13 с), эффективной массы электронов ( $0.55m_0$  для GaAs и  $0.2 m_0$  для Si) и ширины запрещенной зоны (1.2 эВ в Si и 1.4 эВ в GaAs) оценить напряженность поля при котором возникает лавинный пробой в GaAs и Si.

14. Вывести соотношение для плотности состояний в полупроводниковом кристалле. Получить выражение для концентрации электронов в зоне проводимости исходя из плотности состояний и функции Ферми. Объяснить при каких условиях электронный газ является вырожденным.

15. В однородный полубесконечный электронный полупроводник с поверхности  $x=0$  стационарно инжектируются дырки. Вдоль образца в направлении  $x$  приложено электрическое поле  $E$ . Определить на каком расстоянии от поверхности образца концентрация неравновесных дырок уменьшится в  $e$  раз. Коэффициент диффузии дырок  $D_p$ , подвижность  $\mu_p$  и время жизни  $\tau_p$ . Объяснить, чем отличаются характеристики (ВАХ, ВФХ и т.д.) фоторезистора и фотодиода Шоттки.

#### **6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.**

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД, Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

#### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

##### **а) основная литература:**

1. Гапонов В.И. "Электроника" Часть 1 Физматгиз М. 1960 (25)
2. Гапонов В.И. "Электроника" Часть 2 Физматгиз М. 1960 (25)
3. Орешкин П.Т. "Физика полупроводников и диэлектриков" Высш.школа М. 1977(1)
4. Овечкин Ю.А. "Полупроводниковые приборы" Высш. школа М.1986. (24)
5. Степаненко И.П. "Основы микроэлектроники" Сов. радио М. 1980 (14)
6. Степаненко И.П. "Основы теории транзисторов и транзисторных схем" Энергия. М. 1977 (9)
7. Митрофанов О.В., Симонов Б.М., Коледов Л.А. "Физические основы функционирования изделий микроэлектроники" Микроэлектроника. Высшая школа, М., 1987 (0)
8. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.П., "Полупроводниковые приборы" Высшая школа, М., 1981. (48)
9. Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. "Полупроводниковые приборы" Энергоатомиздат, М., 1990 (24)
10. Федотов Я.А. "Основы физики полупроводниковых приборов" Сов.Радио М. 1969 (4)
11. Зи С. "Физика полупроводниковых приборов" т. 1, т. 2, Мир. М., 1984
12. Кремлев В.Я. "Физикотопологическое моделирование структур элементов БИС" Высшая школа, М., 1990 (0)
13. Пожела Ю., Юцене В. "Физика сверхбыстродействующих транзисторов" Мокслас, Вильнюс, 1985 (1)

14. Киттель Ч. "Элементарная физика твердого тела" Наука М. 1965 (1)
15. Займан Дж. "Принципы теории твердого тела" Мир, М., 1966 (2)

#### **б) дополнительная литература:**

1. Шалимова К.В. "Физика полупроводниковых приборов" Энергия М. 1971 (64)
2. Маллер Р., Крейминс Т. "Элементы интегральных схем"(0)
3. Ржевкин К.С. "Физические принципы действия полупроводниковых приборов" МГУ, М., 1986 (1)
4. Ефимов Е.И., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. "Микроэлектроника. Физические и технологические основы. Надежность." Высшая школа, М., 1986 (0)
5. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. "Микроэлектроника. Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника. Высшая школа, М., 1987 (0)
6. Росадо Л. "Физическая электроника и микроэлектроника" М. Высшая школа, 1991 (1)
7. Пикус Г.Е. "Основы теории полупроводниковых приборов" Наука, М., 1965 (0)
8. Зеегер К. "Физика полупроводниковых приборов" Мир, М., 1977 (14)
9. Смит Р. "Полупроводники" Мир, М., 1982 (7)
10. Фистуль В.И. "Введение в физику полупроводников" Высшая школа, М., 1984 (8)
11. Шалобутов Ю.К. "Введение в физику полупроводников" Наука, Л., 1969 (0)
12. Викулин И.М., Стафеев В.И. "Физика полупроводниковых приборов" Радио и связь М. 1990 (18)
13. Блатт Ф. "Физика электронной проводимости в твердых телах" Мир, М., 1971 (1)
14. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. "Физика полупроводниковых приборов" Наука, М., 1977 (0)
15. Киреев П.С. "Физика полупроводников" Высшая школа, М., 1969 (9)
16. Ансельм А.И. "Введение в теорию полупроводников" Наука М. 1978 (0)

#### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекционный зал, аудитории для практических занятий в группах.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор \_\_\_\_\_ Оболенский С.В.

Рецензент \_\_\_\_\_ Шкелев Е.И.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Бельков С.А

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от 25 мая 2023 № 04/23.