

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

---

Кафедра физики полупроводников, электроники и наноэлектроники

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Твердотельная электроника**

---

Уровень высшего образования  
бакалавриат

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль): твердотельная электроника и наноэлектроника

Форма обучения: очная

Нижегород, 2023

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Твердотельная электроника» относится к дисциплинам обязательной части образовательной программы по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника». Для усвоения данного курса необходимо изучить такие модули (дисциплины) в рамках образовательной программы бакалавра как «Общая физика», «Физика конденсированного состояния», «Физика полупроводников», «Теоретические основы электро- и радиотехники» и иметь базовые представления об основных физических явлениях.

Цель освоения дисциплины " Твердотельная электроника "

- формирование у студентов понимания основных физических явлений, на которых основана современная твердотельная электроника;
- развитие навыков в экспериментальном определении и количественных оценках важнейших характеристик элементов твердотельной электроники.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Твердотельная электроника», необходимы для дальнейшего освоения других дисциплин учебного плана и выполнения выпускной квалификационной работы.

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

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	
ПК-1 Способен применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники	ПК-1.1. Знает физические явления и процессы, лежащие в основе работы приборов и устройств электроники и наноэлектроники.  ПК-1.2. Умеет применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах для достижения требуемых функциональных качеств приборов и устройств электроники и наноэлектроники	<b>Знать</b> фундаментальные принципы твердотельной электроники; <b>Уметь</b> применять знания о физических явлениях и процессах в конденсированном состоянии вещества для создания приборов твердотельной электроники и наноэлектроники; <b>Владеть</b> навыками определения основных параметров изделий твердотельной электроники и наноэлектроники	Вопросы по темам/разделам дисциплины.  Комплект задач и заданий к лабораторному практикуму.

### 3. Структура и содержание дисциплины "Твердотельная электроника"

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	5 ЗЕТ
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	48
- занятия лабораторного типа	64
- контроль самостоятельной работы	2
самостоятельная работа	30 (работа в семестре) 36 (на подготовку к и экзамену)
Промежуточная аттестация	7 семестр – экзамен

#### 3.2. Содержание дисциплины

№ п/п	Раздел Дисциплины	С е м е с т р	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	
1	Введение.	7	2	1			1	1
2	Контакт металл-полупроводник. Диоды Шотки. Омические контакты.	7	4	2			2	1
3	р-п-переходы. Полупроводниковые диоды на р-п-переходах.	7	24	8		12	20	4
4	Биполярные транзисторы.	7	20	4		12	16	4
5	Тиристоры.	7	16	2		10	12	4

6	Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом или барьером Шотки.	7	16	4		10	14	4
7	МДП-структуры. Полевые МДП-транзисторы.	7	6	4			4	2
8	Принципы полупроводниковой интегральной электроники. Особенности элементов интегральной электроники	7	10	8			8	2
9	Логические интегральные схемы	7	18	6		10	16	2
10	Аналоговые интегральные схемы	7	14	2		10	12	2
11	Принципы функциональной микроэлектроники	7	4	2			2	2
12	Надежность полупроводниковых приборов и интегральных микросхем		6	4			4	1
13	Электроника на сверхпроводниках	7	2	1			1	1
	Промежуточная аттестация - экзамен 2 часа							
	Самостоятельная подготовка к коллоквиуму и экзамену – 36 часов							

## Содержание разделов дисциплины

### 1. Введение.

Цели и задачи дисциплины. Основные понятия и определения. Контактные явления и контактные системы.

### 2. Контакт металл-полупроводник. Диоды Шотки. Омические контакты.

Идеальный контакт "металл-полупроводник": зонные диаграммы, контактная разность потенциалов, ОПЗ, барьерная емкость. Реальные контакты "металл-полупроводник". Эффект Шотки, роль пограничных состояний. Диодная модель ВАХ идеального контакта "металл-полупроводник" (модель термо-электронной эмиссии). Критерий применимости. Диффузионная модель ВАХ идеального контакта "металл-полупроводник". Критерий применимости. Особенности создания омических контактов к полупроводниковым структурам.

### 3. р-п-переходы. Полупроводниковые диоды на р-п-переходах.

р-п-переход: энергетическая диаграмма, контактная разность потенциалов, область пространственного заряда. Концентрация носителей заряда у границы перехода при малых смещениях. Резкий р-п-переход: распределение электрического поля и потенциала. Плавный р-п-переход: распределение электрического поля и потенциала. Барьерная

емкость р-п-перехода, ее зависимость от внешнего напряжения. Варикапы. Статическая ВАХ идеального диода. Влияние процессов генерации и рекомбинации на ВАХ. Распределение носителей в базе диода в приближении толстой и тонкой базы. Полная проводимость диода на переменном токе. Диффузионная емкость. Частотная зависимость полной проводимости для диода с толстой базой. Частотная зависимость полной проводимости для диода с тонкой базой. Основные механизмы пробоя р-п-переходов. Оценка напряжения пробоя при туннельном механизме. Лавинный пробой р-п-переходов. Стабилитроны. Лавинно-пролетные диоды. Тепловой пробой р-п-переходов. Процессы в диодах при высоких уровнях инжекции. ВАХ диода с тонкой базой при больших прямых токах. Переходные процессы в диодах. Шумы в р-п-переходах. Туннельные диоды: ВАХ, энергетическая диаграмма, эквивалентная схема. Фотоэффект в р-п-переходе. Фотодиоды. Фотодиодный и фото-гальванический режимы включения. Инжекционные лазеры и светодиоды. Технологические приемы создания диодов разных типов. Диоды на гетеропереходах.

#### **4. Биполярные транзисторы.**

Биполярный транзистор: принцип действия, основные режимы, энергетические диаграммы, распределение неравновесных носителей в базе. Статические характеристики транзистора в схемах с общей базой и общим эмиттером. Формальная и физическая эквивалентные схемы биполярного транзистора. Система малосигнальных  $h$ -параметров. Упрощенный расчет параметров эквивалентной схемы биполярного транзистора. Частотные зависимости  $h_{216}$  и  $h_{213}$  биполярных транзисторов. Шумы в биполярных транзисторах. Импульсные свойства транзистора в схемах с общей базой и общим эмиттером. Расчет длительности переднего фронта прямоугольного импульса в приближении малого сигнала. Особенности работы транзистора в режиме ключа. Методы создания и конструкция биполярных транзисторов. Особенности мощных и СВЧ-транзисторов. Гетероэпитаксиальные транзисторы.

#### **5. Тиристоры.**

Тиристор: ВАХ, принцип работы, зонные диаграммы. Транзисторная модель тиристора. Динамика переключения тириستоров. Примеры применения тиристоров.

#### **6. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом или барьером Шотки.**

Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом: принцип действия, основные параметры, статические характеристики (качественное рассмотрение). Формальная и физическая эквивалентные схемы полевого транзистора. Система малосигнальных  $u$ -параметров. Расчет статических характеристик полевого транзистора с управляющим р-п-переходом. Частотные свойства.

#### **7. МДП-структуры. Полевые МДП-транзисторы.**

МДП-структуры: зонные диаграммы, вольт-фарадные характеристики. Полевые МДП-транзисторы: разновидности и принцип действия. Расчет статических характеристик МДП-транзистора. Частотные свойства МДП-транзисторов. Комплементарные МДП-транзисторы. Элементы памяти на МДП-транзисторах.

#### **8. Принципы полупроводниковой интегральной электроники. Особенности элементов интегральной электроники.**

Основные термины интегральной электроники. Степень интеграции. Классификация интегральных схем по конструктивно-технологическому и функциональному признакам. Характерные особенности интегральных схем. Полупроводниковые и гибридные, цифровые и аналоговые ИМС. Основные параметры ИМС. Методы изоляции элементов, способы их коммутации. Совмещение. Элементы биполярных ИМС. Особенности структуры и топологии транзисторов в интегральном исполнении: эпитаксиально-планарный и изопланарный. Контакты в интегральных микросхемах.

Элементы полупроводниковых ИМС. Интегральные биполярные транзисторы. Модель интегрального биполярного транзистора. Эпитаксиально-планарный транзистор с изоляцией р-п переходом. Транзистор с диэлектрической изоляцией. Транзисторы с комбинированной изоляцией. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы. Транзисторы с диодом Шоттки. Транзисторы р-п-р типа в интегральных схемах. Полевые транзисторы. Транзисторы металл-диэлектрик-полупроводник. Комплементарные МДП-транзисторы. Структуры "кремний на диэлектрике". Элементы ИМС на основе арсенида галлия. Интегральные диоды. Резисторы, конденсаторы и индуктивные элементы, используемые в полупроводниковых и гибридных интегральных схемах. Стабилизация и подгонка параметров элементов. Основные типы навесных компонентов, техника их монтажа.

#### **9. Логические интегральные схемы.**

Схемотехника цифровых интегральных схем, основные характеристики логического элемента. Транзисторная логика с непосредственными связями (ТЛНС). Биполярный ключ. Диодно-транзисторная логика. Элементы транзистор-транзисторной логики. Интегральная инжекционная логика И2Л. ТЛЭС (транзисторная логика на эмиттерной связи). МОП-транзисторная логика. Оперативные запоминающие устройства. Запоминающая ячейка. Запоминающая ячейка на биполярных и на МДП-транзисторах. КМОП-логика. Программируемые записывающие устройства. Приборы с зарядовой связью.

#### **10. Аналоговые интегральные схемы.**

Основы аналоговой схемотехники. Элементарная усилительная ячейка. Дифференциальный усилитель. Операционный усилитель. Основные параметры.

#### **11. Принципы функциональной микроэлектроники.**

Физическая интеграция. Основные направления функциональной микроэлектроники. Элементы оптоэлектроники. Характеристика и особенности оптической связи. Оптоэлектронные ИМС и фотоника. Принципы построения запоминающих и логических элементов на основе магниторезистивных элементов

#### **12. Надежность полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.**

Сведения по надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Основные положения и понятия теории надежности. Показатели надежности. Постепенные и катастрофические отказы. Причины отказов полупроводниковых приборов и ИМС. Надежность элементов ИМС в целом. Пути повышения качества и надежности ИМС.

#### **13. Электроника на сверхпроводниках.**

Принципы электроники на сверхпроводниках (эффекты Джозефсона и Дживера). Принцип работы СКВИДа. Особенности схемотехники интегральных схем на сверхпроводниках.

#### **4. Образовательные технологии**

Занятия по дисциплине проводят в лекционной форме, в форме лабораторных занятий, а также в форме самостоятельной работы студентов. На лекциях студенты знакомятся с основными представлениями, моделями и теориями физики конденсированного состояния. На практических занятиях они приобретают навыки математического описания конкретных эффектов и явлений, учатся количественно оценивать важные физические параметры. В ходе лабораторных занятий студенты осваивают экспериментальные методы исследования свойств и параметров изделий твердотельной электроники.

#### **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная работа студентов включает в себя активное изучение лекционного материала при использовании соответствующих разделов учебных пособий и описаний лабораторных работ.

Оценочными средствами для контроля текущей успеваемости являются текущие оценки в ходе регулярной и равномерной для каждой группы студентов работы на лабораторных занятиях и индивидуальные оценки после выполнения всего цикла лабораторных работ.

Для прохождения аттестации по предмету проводится экзамен, включающий в себя теоретические вопросы.

При подготовке к аттестации по предмету используются следующие контрольные вопросы, включаемые в экзаменационные билеты:

1. Идеальный контакт "металл-полупроводник": зонные диаграммы, контактная разность потенциалов, ОПЗ, барьерная емкость.
2. Реальные контакты "металл-полупроводник". Эффект Шотки, роль пограничных состояний.
3. Диодная модель ВАХ идеального контакта "металл-полупроводник" (модель термо-электронной эмиссии). Критерий применимости.
4. Диффузионная модель ВАХ идеального контакта "металл-полупроводник". Критерий применимости.
5. Особенности создания омических контактов к полупроводниковым структурам.
6. р-п-переход: энергетическая диаграмма, контактная разность потенциалов, область пространственного заряда. Концентрация носителей заряда у границы перехода при малых смещениях.
7. Резкий р-п-переход: распределение электрического поля и потенциала.
8. Плавный р-п-переход: распределение электрического поля и потенциала.
9. Барьерная емкость р-п-перехода, ее зависимость от внешнего напряжения. Варикапы.

10. Статическая ВАХ идеального диода. Влияние процессов генерации и рекомбинации на ВАХ.
11. Распределение носителей в базе диода в приближении толстой и тонкой базы.
12. Полная проводимость диода на переменном токе. Диффузионная емкость.
13. Частотная зависимость полной проводимости для диода с толстой базой.
14. Частотная зависимость полной проводимости для диода с тонкой базой.
15. Основные механизмы пробоя р-п-переходов. Оценка напряжения пробоя при туннельном механизме.
16. Лавинный пробой р-п-переходов. Стабилитроны. Лавинно-пролетные диоды.
17. Тепловой пробой р-п-переходов.
18. Процессы в диодах при высоких уровнях инжекции. ВАХ диода с тонкой базой при больших прямых токах.
19. Переходные процессы в диодах.
20. Шумы в р-п-переходах.
21. Туннельные диоды: ВАХ, энергетическая диаграмма, эквивалентная схема.
22. Фотоэффект в р-п-переходе. Фотодиоды. Фотодиодный и фото-гальванический режимы включения.
23. Инжекционные лазеры и светодиоды.
24. Технологические приемы создания диодов разных типов.
25. Биполярный транзистор: принцип действия, основные режимы, энергетические диаграммы, распределение неравновесных носителей в базе.
26. Статические характеристики транзистора в схемах с общей базой и общим эмиттером.
27. Формальная и физическая эквивалентные схемы биполярного транзистора. Система малосигнальных  $h$ -параметров.
28. Упрощенный расчет параметров эквивалентной схемы биполярного транзистора
29. Частотные зависимости  $h_{21б}$  и  $h_{21э}$  биполярных транзисторов.
30. Шумы в биполярных транзисторах.
31. Импульсные свойства транзистора в схемах с общей базой и общим эмиттером. Расчет длительности переднего фронта прямоугольного импульса в приближении малого сигнала. Особенности работы транзистора в режиме ключа.
32. Методы создания и конструкция биполярных транзисторов. Особенности мощных и СВЧ-транзисторов. Интегральные транзисторы.
33. Тиристор: ВАХ, принцип работы, зонные диаграммы.
34. Транзисторная модель тиристора.
35. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом: принцип действия, основные параметры, статические характеристики (качественное рассмотрение).
36. Формальная и физическая эквивалентные схемы полевого транзистора. Система малосигнальных  $y$ -параметров.
37. Расчет статических характеристик полевого транзистора с управляющим р-п-переходом.
38. МДП-структуры: зонные диаграммы, вольтфарадные характеристики.
39. Полевые МДП-транзисторы: разновидности и принцип действия.
40. Расчет статических характеристик МДП-транзистора.
41. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью.
42. Гетеропереходы: энергетическая диаграмма, вольтамперные характеристики.
43. Основные термины интегральной электроники. Актуальность планарной технологии при создании ИМС.
44. Элементы и компоненты ИМС. Классы ИМС по технологическому принципу. Характерные особенности интегральных схем.
45. Классификация интегральных схем по степени интеграции. Параметры, определяющие стоимость ИМС



46. Разновидности ИМС по типу изоляции. Основные методы изоляции элементов биполярных ИМС.
47. Интегральные биполярные транзисторы. Модель интегрального биполярного транзистора.
48. Интегральный эпитаксиально-планарный транзистор с изоляцией р-п переходом. Транзисторы с диэлектрической изоляцией.
49. Интегральные транзисторы с комбинированной изоляцией. Многоэмиттерные транзисторы.
50. Интегральные полевые транзисторы.
51. Комплементарные МДП-транзисторы. Транзисторы с управляющим переходом металл-полупроводник.
52. Резисторы, используемые в интегральных схемах.
53. Конденсаторы и индуктивные элементы, используемые в интегральных схемах.
54. Схемотехника цифровых интегральных схем, основные характеристики логического элемента.
55. Транзисторная логика с непосредственными связями (ТЛНС).
56. Интегральная диодно-транзисторная логика.
57. Элементы транзистор-транзисторной логики.
58. Интегральная инжекционная логика И2Л.
59. Транзисторная логика на эмиттерной связи (ТЛЭС).
60. Интегральная МОП-транзисторная логика.
61. Оперативные запоминающие устройства. Запоминающая ячейка.
62. Запоминающая ячейка на биполярных и на МДП-транзисторах.
63. Программируемые записывающие устройства. Приборы с зарядовой связью.
64. Основы аналоговой схемотехники.
65. Элементарная усилительная ячейка. Дифференциальный усилитель.
66. Операционный усилитель. Основные параметры.
67. Задачи и принципы функциональной микроэлектроники. Физическая интеграция.
68. Элементы оптоэлектроники. Характеристика и особенности оптической связи.
69. Разновидности оптронов, их структуры и основные свойства.
70. Оптоэлектронные ИМС и интегральная оптика.
71. Качество и надежность интегральных схем.
72. Принципы электроники на сверхпроводниках (эффекты Джозефсона и Дживера).
73. Принцип работы СКВИДа.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно

<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, без ошибок.	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 отдельным и несущественным недочетом, 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 владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

## 6.2. Описание шкал оценивания

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена (7 семестр), на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;

- способности студентов использовать полученные знания для выполнения конкретных заданий.

При выставлении экзаменационной оценки применяется семибальная шкала, которая по окончании обучения (в дипломе бакалавра) трансформируется в пятибальную. По итогам освоения дисциплины сдается экзамен. Экзаменационный билет содержит два вопроса и задачу.

### Критерии выставления оценки при сдаче экзамена

Семибальная шкала	Описание семибальной шкалы	Пятибальная шкала
5,5 Превосходно	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление. Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»	5 отлично
5 отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.	
4,5 очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.	4 хорошо
4 хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).	
3 удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.	3 удовлетворительно
2 неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.	2 неудовлетворительно
1 плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.	1 плохо

### 6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний, умений и владений используются следующие процедуры и технологии:**

- для оценивания результатов обучения в виде **знаний** используется фронтальный опрос на лабораторных работах и практических занятиях;
- для оценивания результатов обучения в виде **умений** используются задачи и простые задания для выполнения лабораторных работ, включающих несколько вопросов в виде краткой формулировки действий (комплекса действий) для проведения необходимых операций и измерений, которые следует выполнить, или описание результата, который можно считать достоверным.
- для оценивания результатов обучения в виде **владений** используются комплексные задания лабораторных работ, требующие поэтапного решения в типичной ситуации и развернутого ответа.
- для проведения **итогового контроля** сформированности компетенции используются оформление и защита отчетов по лабораторным работам.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя контрольные вопросы, содержащиеся в учебно-методических пособиях по лабораторным работам. Эти вопросы используются при допуске к выполнению экспериментальной части работ. По итогам проверки отчетов о выполнении работ заполняется контрольный лист, в котором преподаватели, проводившие лабораторные занятия выставляют отметку о выполнении. Лабораторный практикум по курсу считается пройденным, если в контрольном листе набрано 4 отметки о выполнении лабораторных работ.

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

#### **Типовые вопросы для фронтальных опросов:**

1. Изобразить энергетическую диаграмму р-n-перехода.
2. Изобразить энергетическую диаграмму биполярного транзистора в активном режиме, режиме отсечки и режимы насыщения.
3. Какими физическими параметрами определяется быстродействие МДП-транзистора.
4. Изобразить принципиальную схему ячейки И-НЕ на комплементарных парах.
5. В чем отличие интегрального биполярного транзистора от дискретного?
6. Перечислить основные показатели надежности изделий твердотельной электроники.

#### **Типовые задания для лабораторных работ:**

1. Определить контактную разность потенциалов из ВАХ «длинного» диода.
2. Определить рабочую точку биполярного транзистора для работы в активном режиме, используя статические характеристики из справочника.
3. Изобразить схему RS-триггера на основе ячеек И-НЕ.

### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Физика конденсированного состояния»**

а) основная литература:

1. Гуртов В.А. Твердотельная электроника. – М.: «Техносфера», 2005. (Электронная версия: [http://infotechlib.narod.ru/olderfiles/2/Gurtov\\_TE.pdf](http://infotechlib.narod.ru/olderfiles/2/Gurtov_TE.pdf)).
2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы. – М.: «Лань», 2002. (Электронная версия: [mexalib.com/view/17299](http://mexalib.com/view/17299)).
3. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М.: «Энергия», 1973. (Электронная версия: [mexalib.com/view/3110](http://mexalib.com/view/3110)).
4. Смирнов, Ю.А. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург: Лань, 2013. - 496 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/12948>.- Загл. с экрана.
5. Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники. 3-е изд., стер., СПб.: Изд. Лань, 2008. 384 с. ISBN 978-5-8114-0866-5
6. Ефимов, И.Е. Основы микроэлектроники [Электронный ресурс] : учеб. / И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург: Лань, 2008. - 384 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/709>. Загл. с экрана.
7. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 488 с. Сов.радио 1980.- 423 с.
8. Аваев, Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т. Основы микроэлектроники, М. Радио и Связь. 1991 г. - 288 с.
9. Джонс М.Х. Электроника – практический курс. – Постмаркет, 1999.

б) дополнительная литература:

1. Коледов, Л.А. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок [Электронный ресурс]: учеб. пособие - Электрон. дан. - Санкт-Петербург: Лань, 2009. - 400 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/192>.- Загл. с экрана.
2. Приборы квантовой и оптической электроники [Электронный ресурс] / Юрчук С.Ю. - М.: МИСиС, 2016. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876239426.html>
3. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств [Электронный ресурс]: учеб. пособие - Электрон. дан. - Москва : ДМК Пресс, 2011. - 528 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/61027>- Загл. с экрана.
4. Алексенко А.Г. Шагурин И.И. Микросхемотехника: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
5. Основы электроники [Электронный ресурс] / Водовозов А.М. - М. : Инфра-Инженерия, 2017. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785972901371.html>
6. Основы теории электрических цепей. Основные понятия и определения. Методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. Частотные характеристики R - L и R - C цепей [Электронный ресурс] / Копылов А.Ф., Саломатов Ю.П., Былкова Г.К. - Красноярск: СФУ, 2013. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763825077.html>
7. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] / Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113793.html>

8. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов / Игумнов Д.В., Костюнина Г.П. - 2-изд., дополн. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201803.html>
9. Основы схемотехники микроэлектронных устройств [Электронный ресурс] / Белоус А.И., Емельянов В.А., Турцевич А.С. - М.: Техносфера, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363073.html>
10. Основы схемотехники аналого-цифровых устройств [Электронный ресурс] : учебное пособие по курсу "Схемотехника ЭВМ" / Аверченков О.Е. - М. : ДМК Пресс, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940743507.html>

#### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Научная электронная библиотека (электронная библиотека периодических изданий - доступ через компьютеры, подключенные к сети ННГУ): <https://elibrary.ru/defaultx.asp>.
2. Электронная база данных по свойствам полупроводниковых материалов: <http://www.matprop.ru>.
3. Электронная база данных по физическим, химическим и структурным свойствам веществ и соединений (доступ через компьютеры, подключенные к сети ННГУ): <http://www.springermaterials.com>.

Учебно-методическое обеспечение дисциплины «Твердотельная электроника» обусловлено наличием необходимого количества учебников в библиотеке и на сайте ННГУ в электронном виде.

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

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

При выполнении лабораторных работ используются лаборатории кафедры физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники и соответствующее оборудование:

- контрольно-измерительные комплексы на базе NI Elvis II и NI PXI 1042 Q, включающие в себя мультиметры, осциллографы, генераторы стандартных сигналов, источники постоянного тока 0-( $\mp$ 20)В и 0-(+6)В;
- измеритель статических параметров полевых транзисторов Л2-31;
- а также сопряженные с этим оборудованием макеты лабораторных работ:
  - «Полупроводниковые диоды: вольтамперные характеристики и импульсные свойства»,
  - «Туннельные диоды»,
  - «Импульсные свойства биполярного транзистора в режиме малого сигнала»,
  - «Тиристоры»,
  - «Полевые транзисторы»,
  - «Ключ на биполярном транзисторе»,
  - «Интегральные микросхемы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ)»,
  - «Интегральный операционный усилитель (ОУ)»

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника".

Авторы:

к.ф.-м. н., доцент кафедры физики полупроводников,  
электроники и наноэлектроники

В.В. Карзанов

к.ф.-м. н., доцент кафедры физики полупроводников,  
электроники и наноэлектроники

А.В. Ершов

Рецензент:

заведующий кафедрой  
теоретической физики, д.ф.-м.н.

В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой  
физики полупроводников, электроники  
и наноэлектроники д.ф.-м.н. профессор

Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ

А.А. Перов