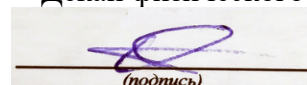


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике  
В ЯФ ФГБУН «Физико-технологический институт» РАН

**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан физического факультета



(подпись)

И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Физические основы электроники»**

Направление подготовки  
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)  
« Интегральная электроника и наноэлектроника »

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «30» марта 2023 г. протокол №8

Программа одобрена НМК  
физического факультета  
протокол №5 от «25» апреля 2023г.

Ярославль



## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Физические основы электроники» являются явления и закономерности протекания потоков заряженных частиц в различных средах, конструкции и принципы действия приборов электроники. Курс вырабатывает у студентов навыки анализа и проектирования электронных приборов и электрических цепей, необходимые для освоения курсов «Микросхемотехника», «Микроэлектроника», «Нанoeлектроника».

## 2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Дисциплина «Физические основы электроники» относится к базовой части Блока 1 и является частью модуля «Физика» и включает последовательное изучение процессов переноса заряда в вакууме, плазме и кристалле, и приложения означенных явлений для разработки и применения электронных приборов.

Для освоения данного курса студенты должны владеть математическим аппаратом линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, знать основы электричества, физики атома и основы физики полупроводников.

Полученные в ходе изучения дисциплины «Физические основы электроники» знания необходимы для изучения последующих дисциплин модуля «физика», а также для продолжения обучения в магистратуре по направлению Физика.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ИД_ПК-1.1. Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и наноэлектроники.  ИД_ПК-1.2. Осуществляет расчет предельно-допустимых и предельных режимов работы изделий микро- и наноэлектроники.  ИД_ПК-1.3. Демонстрирует умение выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники. может строить физические и	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;</li><li>• понимание современных тенденций развития материаловедения, электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий;</li></ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современного материаловедения;</li><li>• самостоятельно изучать и понимать; специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами современной электроники.</li></ul> <b>Владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности</li></ul>

	математические модели процессов, приборов, блоков в области электроники и наноэлектроники.	
<p>ПК-2</p> <p>Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	<p>ИД_ПК-2.1. Знает методы разработки эффективных алгоритмов решения научно-исследовательских задач.</p> <p>ИД_ПК-2.2. Применяет алгоритмы решения исследовательских задач с использованием современных языков программирования.</p> <p>ИД_ПК-2.3. Обладает навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• состояние и перспективы научно-технической проблемы разработки технологических процессов производства материалов и изделий электронной и микросистемной техники;</li> <li>• современные языки программирования, методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или технологических процессов микро- и наноэлектроники.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• создавать и анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели явлений природы, получить навыки использования в практике важнейших физических измерительных приборов и приемов</li> <li>• самостоятельно изучать и понимать; специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами современной электроники.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники, методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности</li> </ul>

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 акад.часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)  Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Введение	7	1						
2	Вакуумная электроника	7	3			1		10	
3	Плазменная электроника	7	3			1		8	
4	Полупроводниковые приборы	7	10		34	3		70	
						2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего		17		34	7	0,5	121,5	

Содержание разделов дисциплины:

- I. Введение**
  1. Историческая справка – зарождение и развитие электроники.
  2. Классификация электронных приборов.
- II. Основы вакуумной электроники**
  1. Измерение уровня вакуума.
  2. Методы получения вакуума. Вакуумные насосы.
  3. Вакуумные камеры технологических установок. Электронные и ионные источники.
  4. Электровакуумные приборы. Электровакуумный выпрямитель – диод. Электровакуумный триод – прообраз полевого транзистора.
- III. Физика газового разряда**
  1. Плазма. Качественные признаки и количественное описание плазмы.
  2. Физика газового разряда. Условия и применение различных видов разряда.
  3. Приборы газоразрядной электроники. Приборы тлеющего разряда. Газоразрядные индикаторы.
  4. Приборы дугового разряда. Устройства защиты от превышения напряжения.
- IV. Полупроводниковая электроника**
  1. Выпрямительные диоды.
  2. Диоды Шоттки. Варикапы. Стабилитроны.
  3. Светодиоды, фотодиоды. Влияние температуры на ВАХ полупроводникового диода.
  4. Солнечные элементы.
  5. Историческая справка – изобретение полевого транзистора.
  6. Униполярные транзисторы как элемент интегральной электроники.
  7. Структура и принцип действия полевого транзистора.
  8. Принципы работы, классификация МДП транзисторов

## 9. Параметры и характеристики МДП транзисторов

### 5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Лабораторные работы** - организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов и физических явлений.

### 6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

### 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

#### а) основная литература

1. Щука А.А. Электроника / Щука А.А. Электроника. — 2-е изд. — СПб: БХВ-Петербург, 2008. — 752 с.

#### б) дополнительная литература

1. Егоров Н. М. Электроника. Версия 1.0 [Электронный ресурс]. - Красноярск: ИПКСФУ, 2008. 330 с.

2. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк – 12-е изд. Том I: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832 с.

3. Глазачев А. В. Физические основы электроники. Конспект лекций / А. В. Глазачев, В. П. Петрович - Томск: Томский политехнический университет, 2015. – 136 с.

4. Лебедев М.Е. Физические основы электроники. Учебно-методическое пособие / М. Е. Лебедев, А. Б. Чурилов – Ярославль: ЯрГУ, 2018 – 70 с. [принято к печати]

### 8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор(ы) :

Профессор базовой кафедры  
нанотехнологий в электронике, д.ф.-м.н.  
*должность, ученая степень*

*подпись*

В.И. Бачурин

*И.О. Фамилия*

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Физические основы электроники»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Список лабораторных работ**

**Лабораторная работа № 1**

Определение контактной разности потенциалов между полупроводником и металлом

**Лабораторная работа № 2**

Изучение выпрямляющего действия электронно-дырочного перехода

**Лабораторная работа № 3**

Исследование емкостных свойств р-п структур

**Лабораторная работа № 4**

Изучение переходных процессов в р-п переходах, работающих в импульсном режиме

**Лабораторная работа № 5**

Излучательная рекомбинация в р-п переходах и характеристики светодиодов

**Лабораторная работа № 6**

Изучение влияния магнитного поля на вольтамперные характеристики р-п переходов

**Лабораторная работа № 7**

Вольт-емкостные характеристики МДП-структур

**Лабораторная работа № 8**

Изучение принципа работы солнечных элементов

**2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации**

Классификация электронных приборов.

Определение понятий: вакуум, ионизованный газ и плазма, газовый разряд. Первичное формирование потоков заряженных частиц.

Работа выхода электрона и электронное сродство.

Контакт Ме-полупроводник. Искривление энергетических зон полупроводника на границе. Запорные и антизапорные слои.

Распределение потенциала в ЗС. Ширина ЗС. Распределение электрического поля в ОПЗ

Приборы на основе контакта Ме-полупроводник. Электронно-дырочные переходы.

Выпрямляющие свойства барьера Шоттки. Изменение энергетических диаграмм в электрическом поле.

Диодная теория выпрямления Шоттки.

Энергетическая диаграмма р-п перехода. Вывод формулы для  $\phi_k$ .

Ширина ОПЗ. Случай резкого р-п перехода. Случай плавного перехода.

р-п переход во внешнем поле. Изменение энергетических диаграмм.

Барьерная емкость р-п перехода.

Выпрямление на р-п переходе. ВАХ в рамках диодной теории.

ВАХ диода с учетом сопротивления базы.

Виды пробоя р-п перехода.

Функциональные возможности полупроводниковых диодов



### Список вопросов к экзамену:

1. Определение понятия вакуум; способы измерения – принципы работы вакуумметров, единицы измерения качества вакуума.
2. Определение понятия вакуум; единицы измерения качества вакуума, виды вакуумных насосов.
3. Определение понятия вакуум; единицы измерения качества вакуума, электровакуумные приборы: примеры и сравнение с приборами твердотельной электроники (подсказка: КПД, степени интеграции, устойчивость к внешним воздействиям, мощность и частота).
4. Электронные источники излучения: применение, условия использования, способы получения (минимум 2) и управления пучком.
5. Ионизованный газ и плазма, газовый разряд. Применение потоков заряженных частиц, плазмы и газового разряда в науке и технике.
6. Примеры полупроводниковых приборов с одним рп-переходом: выпрямительный диод, стабилитрон, варикап, светодиод. Вольтамперные (при наличии и вольт-фарадные) характеристики. Принцип работы, применение.
7. Примеры полупроводниковых приборов с двумя рп-переходами. Транзистор биполярный, транзистор полевой, разновидности, топология, применение.
8. Классификация полупроводниковых приборов: предложить критерий для классификации и привести примеры (по числу выводов не предлагать!). Заполнить пробелы в классификации, предложенной преподавателем.
9. Классификация диодов и транзисторов отечественного производства. Расшифровать маркировку, например, КД209.
10. Контакт Ме-полупроводник. Выпрямляющие свойства барьера Шоттки. контакты к полупроводникам. Приборы на основе контакта Ме-полупроводник.
11. Электронно-дырочные переходы. Вольтамперная характеристика выпрямительного диода (р-п-перехода) (показать масштабы осей). Ширина ОПЗ.
12. Электронно-дырочные переходы. Вольтамперная характеристика выпрямительного диода (р-п-перехода) (показать масштабы осей). Барьерная емкость р-п перехода. Температурные изменения ВАХ.
13. Электронно-дырочные переходы. Вольтамперная характеристика выпрямительного диода (р-п-перехода) (показать масштабы осей). Функциональные возможности полупроводниковых диодов. Выпрямительные диоды. Стабилитроны. Светодиоды.
14. Выпрямляющее свойство рп-перехода. Вывод статической вольтамперной характеристики рп перехода (задача Шокли). Температурные изменения ВАХ.
15. От выпрямительного диода – к полевому транзистору с управляющим р-п-переходом. Входные, выходные и переходные характеристики полевого транзистора с управляющим р-п-переходом. Схема включения с общим истоком. Коэффициент усиления.
16. Входные, выходные и переходные характеристики полевого транзистора с управляющим р-п-переходом. Топология транзистора в интегральном исполнении. Схема включения с общим истоком. Коэффициент усиления.
17. Шесть видов полевых транзисторов: три конструкции по два типа проводимости. Применение, входные и выходные характеристики, схемы включения.
18. МДП транзисторы: со встроенным и индуцированным каналом. Топология, применение, входные и выходные характеристики, схемы включения. Коэффициент усиления.
19. Биполярные транзисторы. Входные и выходные характеристики, схема включения NPN транзистора с общим эмиттером. Коэффициент усиления.
20. Биполярные и полевые транзисторы. Принципиальные различия, не менее четырех.

21. Степени интеграции в электронике – понятие о единицах измерения, история изменения. Формирование цены продукции.
22. Топологическая норма как критических размер изделий микроэлектроники. Историческое изменение размеров используемых пластин, изменение требований к чистоте помещений, сырья, квалификации персонала.
23. Современное оборудование микроэлектронных производств. Приемы для организации закрытого цикла обработки пластин. Виды литографии с высокой разрешающей способностью.
24. Проблемы миниатюризации в электронике. Фундаментальные ограничения.
25. Защита полевых транзисторов от пробоя, неправильной полярности, превышения напряжения. Внешние способы защиты и способы защиты интегральных транзисторов.
26. Схемы включения биполярных транзисторов с общим эмиттером и с общим коллектором. Усиление тока и напряжения, усиление мощности, изменение фазы, входные и выходные сопротивления.
27. Составные транзисторы, схема Дарлингтона. Принцип работы, способ проверки, применение.
28. Элементы логических схем. Инвертор, элементы «И», «ИЛИ», «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ». Реализация элементов с помощью диодов, биполярных транзисторов, полевых транзисторов. Не менее 4 схем.
29. Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT). Технология, применения, отличия от других видов
30. Оптоэлектроника – разновидности излучающих и фотоприёмных устройств. Оптопары.
31. Перспективные материалы для использования в нанотехнологии в будущем.

### **Правила выставления оценки на экзамене.**

В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

**Оценка «Отлично»** выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом физических основ электроники; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию физических основ электроники.

**Оценка «Хорошо»** выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствует указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

**Оценка «Удовлетворительно»** выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах физических основ электроники, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

**Оценка «Неудовлетворительно»** выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Физические основы электроники»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Физические основы электроники» являются лекции. Особое внимание на лекциях отводится «электронике начала 20 века» - разделам вакуумной и плазменной электроники, поскольку другие разделы электроники достаточно широко освещены другими дисциплинами, а основа твердотельной электроники – рп-переход – подробно разбирается в ходе лабораторных занятий.

Одной из главных целей освоения дисциплины ставится формирование широкого профессионального кругозора и усвоения исторической картины эволюций электроники. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы. Большое количество вопросов на лекциях способствуют установлению более тесного взаимного понимания в системе преподаватель – группа.

Курс продолжается один семестр, итоговым контрольным мероприятием является экзамен. Для получения допуска к экзамену необходимо своевременное и полное выполнение лабораторных работ. Это обстоятельство не указывает на необходимость выполнения лабораторных работ в высоком темпе. Напротив, практика показывает, что поспешное выполнение лабораторных измерений является причиной повторного выполнения лабораторной работы. Безопасность проведения работ должна быть в приоритете перед любыми факторами, требующими ускоренного проведения измерений.

Экзамен является двухуровневым – минимум – для претендующих на оценку «удовлетворительно» представляет собой набор из определенного количества вопросов, на которые нужно ответить кратко или тестово с итоговым результатом не менее 90% успешно выполненных заданий. Претендующие на более высокие оценки после прохождения минимума сдают классический устный экзамен по билетам.