

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 10.08.2023 16:34:47  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«28»

июня

2022 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Полупроводниковая электроника**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: Белов А.Н.

Тверь, 202

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью освоения дисциплины является:

Получение знаний о физических принципах работы полупроводниковых устройств.

Задачами освоения дисциплины являются:

- получение знаний о полупроводниках и физических процессах протекающих в них;
- изучение теоретических основ функционирования полупроводниковых приборов;
- изучение основных методов радиофизических измерений
- обзор современных технологий изготовления полупроводниковых устройств

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Полупроводниковая электроника» изучается в модуле «Физика и технология радиоэлектронных устройств» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Требования к «входным» знаниям» и уровню начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины включают знание курсов:

- Механика
- Молекулярная физика
- Электричество и магнетизм
- Оптика
- Атомная физика
- Физика атомного ядра и элементарных частиц
- Общий физический практикум
- Основы аналоговой электроники
- Математический анализ

- Дифференциальные уравнения
  - Основы цифровой электроники
  - Радиоэлектроника

Дисциплина формирует базовые представления об основных полупроводниковых приборах и устройствах, физических принципах их работы.

**3. Объем дисциплины:** 4 зачетные единицы, 144 академических часа, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 30 часов, лабораторные работы 30 часов;

**самостоятельная работа:** 84 часа, в том числе контроль 27 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2. Способен осуществлять техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры.	ПК-2.1. Использует техническую документацию при работе с радиоэлектронной аппаратурой при проведении научно-исследовательских и прикладных работ. ПК-2.2. Осуществляет работу с современными средствами измерения, применяемыми в эксперименте.
ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и конструкторские разработки по отдельным разделам темы.	ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

**5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Экзамен в 7 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

## 1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Лабораторные работы		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
1. <b>Введение в дисциплину.</b> Физическая электроника. Микроэлектроника. Исторический обзор. Этапы развития. Наноэлектроника. Перспективы.	5	1		0		4
2. <b>Модели структур полупроводников.</b> Ковалентная связь. Кристаллическая решетка. Электроны и дырки. Модель энергетических зон.	6	2		0		4
3. <b>Носители заряда в полупроводниках.</b> Равновесное состояние проводника. Явления переноса при стационарных неравновесных режимах. Функция распределения Ферми-Дирака. Собственные и примесные полупроводники	10	2		2		6
4. <b>Неравновесные процессы в полупроводниках.</b> Генерация и рекомбинация. Квазиуровни и квазипотенциалы Ферми. Явления переноса.	5	2		0		3
5. <b>Полупроводниковый диод.</b> Смещенный переход. Математическая модель диода. Уравнение Шокли. Явление пробоя. Процессы переключения. Диоды Шотки. Гетеропереход. Диоды для оптоэлектроники.	15	3		6		6
6. <b>Физические принципы работы биполярного транзистора.</b> Структура биполярного транзистора. Схемы включения транзистора. Параметры на постоянном токе. Параметры на переменном токе в режиме малого сигнала. Частотные свойства. Модель Эберса-Молла. Зарядовая модель. Основные принципы работы транзистора.	22	4		12		6
7. <b>Физические принципы работы полевого транзистора.</b> МОП структура. Режимы обогащения, обеднения, инверсии. Поверхностный заряд в	20	4		10		6

различных режимах. МОП–транзистор. ВАХ. Идеальный полевой транзистор с управляющим p-n переходом.					
<b>8. Интегральные схемы.</b> Классификация ИС, их достоинства и недостатки. Производственные процессы. Проектирование ИС. Изготовление ИС. Математический аппарат. Фильтры. Примеры.	8	2		0	6
<b>9. Интегральные схемы на основе МОП-технологий.</b> Логика p, n-МОП. Логика КМОП. МОП-технологии в СБИС. Зарядовая связь.	10	2		0	8
<b>10. Общие тенденции развития физической электроники.</b> Нанoeлектроника. Материалы. Процессы проектирования и изготовления. Примеры.	16	8		0	8
Экзамен:	27				27
Итого:	144	30		30	84

### III. Образовательные технологии

Учебная программа- наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
<b>1. Введение в дисциплину.</b> Физическая электроника. Микроэлектроника. Исторический обзор. Этапы развития. Нанoeлектроника. Перспективы.	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач.</i>
<b>2. Модели структур полупроводников.</b> Ковалентная связь. Кристаллическая решетка. Электроны и дырки. Модель энергетических зон.	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач.</i>
<b>3. Носители заряда в полупроводниках.</b> Равновесное состояние проводника. Явления переноса при стационарных неравновесных режимах. Функция распределения Ферми-Дирака. Собственные и примесные полупроводники	<i>Лекции, лабораторные работы</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач</i>
<b>4. Неравновесные процессы в полупроводниках.</b> Генерация и рекомбинация. Квазиуровни и квазипотенциалы Ферми. Явления переноса.	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач.</i>
<b>5. Полупроводниковый диод.</b> Смещенный переход. Математическая модель диода. Уравнение Шокли. Явление пробоя. Процессы переключения. Диоды Шоттки. Гетеропереход. Диоды для оптоэлектроники.	<i>Лекции, лабораторные работы</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач</i>

<b>6. Физические принципы работы биполярного транзистора.</b> Структура биполярного транзистора. Схемы включения транзистора. Параметры на постоянном токе. Параметры на переменном токе в режиме малого сигнала. Частотные свойства. Модель Эберса-Молла. Зарядовая модель. Основные принципы работы тиристора.	<i>Лекции, лабораторные работы</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач</i>
<b>7. Физические принципы работы полевого транзистора.</b> МОП структура. Режимы обогащения, обеднения, инверсии. Поверхностный заряд в различных режимах. МОП–транзистор. ВАХ. Идеальный полевой транзистор с управляющим p-n переходом.	<i>Лекции, лабораторные работы</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Решение индивидуальных задач</i>
<b>8. Интегральные схемы.</b> Классификация ИС, их достоинства и недостатки. Производственные процессы. Проектирование ИС. Изготовление ИС. Математический аппарат. Фильтры. Примеры.	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач.</i>
<b>9. Интегральные схемы на основе МОП-технологий.</b> Логика p, n-МОП. Логика КМОП. МОП-технологии в СБИС. Зарядовая связь.	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач.</i>
<b>10. Общие тенденции развития физической электроники.</b> Нанoeлектроника. Материалы. Процессы проектирования и изготовления. Примеры.	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач.</i>

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

Форма проведения промежуточного контроля: студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

## **ПК-2. Способен осуществлять техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры:**

ПК-2.1. Использует техническую документацию при работе с радиоэлектронной аппаратурой при проведении научно-исследовательских и прикладных работ.

ПК-2.2. Осуществляет работу с современными средствами измерения, применяемыми в эксперименте.

### **Задание:**

Некоторая трехмерная решетка, имеющая форму куба со стороной  $L$ , содержит  $N$  атомов, каждый из которых имеет  $Z$  валентных электронов. Считается, что электроны свободно перемещаются под действием приложенного электрического поля. Выведите выражение для оценки радиуса сферы Ферми в обратном пространстве.

### **Способ аттестации: письменный**

### **Критерии оценки:**

*Высокий уровень (3 балла)* Умеет использовать известные решения дифференциального уравнения Шредингера. Умеет правильно и осмысленно использовать дифференциальное и интегральное исчисление. Умеет давать физическое объяснение полученному решению. Умеет рационально пользоваться математическим аппаратом.

*Средний уровень (2 балла)* Умеет использовать известные решения дифференциального уравнения Шредингера. Умеет правильно и осмысленно использовать дифференциальное и интегральное исчисление. Умеет давать физическое объяснение полученному решению.

*Низкий уровень (1 балл)* Умеет использовать известные решения дифференциального уравнения Шредингера. Умеет правильно использовать дифференциальное и интегральное исчисление. Умеет давать физическое объяснение полученному решению.

## **ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:**

ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

**Задание:**

1. Провести моделирование работы источника тока с заданными параметрами на транзисторе.
2. Исследование вольт-амперной и вольт-фарадной характеристик диода.

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

*Высокий уровень (3 балла)* Умеет проводить электрические и радиофизические измерения. Умеет самостоятельно разработать методику простейших измерений. Умеет оценить погрешности. Умеет правильно интерпретировать результат. Умеет дать физическое объяснение результату.

*Средний уровень (2 балла)* Умеет проводить электрические и радиофизические измерения. Умеет оценить погрешности. Умеет правильно интерпретировать результат. Умеет дать физическое объяснение результату.

*Низкий уровень (1 балл)* Умеет проводить электрические и радиофизические измерения. Умеет оценить погрешности. Умеет правильно интерпретировать результат.

**V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:

1. Бурков А.Т. Электроника и преобразовательная техника: Том 1: Электроника [Электронный ресурс]: учебник. — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. — 480 с. — 978-5-89035-796-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45343.html>

б) Дополнительная литература:



1. Максина Е. Л. Электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Саратов: Научная книга, 2012. — 159 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6270.html>

2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1.ЭБС«ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2.ЭБС «Университетская библиотека онлайн»<https://biblioclub.ru/>;

3.ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### ***Список лабораторных занятий***

1. Моделирование поведения носителей заряда в полупроводниках. Распределение Ферми-Дирака.
2. Полупроводниковый диод. Выпрямители.
3. Эмиттерный повторитель
4. Усилитель на транзисторе
5. Источник тока на транзисторе
6. Изучение эффекта Эрли.
7. Частотные характеристики транзистора

– *методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:*

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.

3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при выполнении лабораторных работ задач с преподавателем.

**Требования к рейтинг-контролю.** В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

- 1) Сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач
- 2) Выполнить и сдать преподавателю соответствующее количество лабораторных работ
- 3) ответить на теоретические вопросы. Примеры вопросов:
  1. Что такое полупроводники? Удельное сопротивление полупроводников. Температурный коэффициент сопротивления. Факторы, влияющие на удельное сопротивление. Вещества, относящиеся к полупроводникам. Параметры полупроводников.
  2. Кристаллическая структура германия и кремния. Виды дефектов кристаллической решетки и их влияние на свойства полупроводников.
  3. Свободные носители зарядов в полупроводниках. Процессы генерации и рекомбинации. Время жизни носителей зарядов. Полупроводники с собственной проводимостью. Полупроводники n-типа и p-типа.
  4. Элементы зонной теории твердого тела. Сравнение зонных структур металлов, полупроводников и диэлектриков. Процессы, происходящие в металлах, полупроводниках и диэлектриках при энергетических воздействиях.
  5. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Функция Ферми-Дирака и ее смысл. Уровень Ферми. Зонная структура и функция Ферми-Дирака в полупроводниках с собственной проводимостью. Зависимость концентраций электронов и дырок от температуры в собственных и примесных полупроводниках.

6. Зонная структура и функция Ферми-Дирака в полупроводниках с примесной проводимостью и их кристаллическая структура. Донорные и акцепторные уровни. Энергия активации. Полуметаллы. Влияние температуры на положение уровня Ферми в примесных полупроводниках.
7. Закон действующих масс и принцип нейтральности.
8. Диффузия носителей зарядов. Зависимость концентрации инжектированных неосновных носителей зарядов от времени и от координаты. Время жизни носителей зарядов –  $\tau$ . Диффузионная длина носителей зарядов –  $L$ .
9. Идеальный плоскостной p-n-переход в равновесном состоянии.
10. Идеальный плоскостной p-n-переход в неравновесном состоянии (прямое и обратное включение). Вольт-амперная характеристика идеального p-n-перехода. Понятие теплового тока.
11. Явление пробоя p-n перехода.
12. Выпрямительные диоды.
13. Высокочастотные диоды.
14. Импульсные диоды, диоды с накоплением заряда и диоды Шоттки.
15. Туннельные и обращенные диоды.
16. Стабилитроны.
17. Варикапы.
18. Биполярные n-p-n и p-n-p транзисторы. Схемы включения. Принцип действия.
19. Технологические разновидности биполярных транзисторов.
20. Полевые транзисторы.

– **темы рефератов:**

1. Спиновая электроника
2. Литографические процессы
3. Методы формирования диэлектрических пленок
4. Формирование наноструктур в технологии изготовления электронных устройств
5. Оптоэлектронные устройства.

## VII. Материально-техническое обеспечение

<p>Базовая учебная лаборатория общей физики. Лаборатория физики жидких кристаллов № 215 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1 Монитор 15" TFT Proview (3 шт)                  3 Компьютер:(процессор-i5-2400+ монитор LG Flatron                  4 Монитор Dell 1300488-00                  5 Системный блок Intel Original LGA775/Asus/DDR2 1024Mb/Segate SATA-11 80Gb/вентилятор ISoc-775                  6 Генератор National Instruments 1300488-00                  7 Измерительная станция PXI на базе оборудования National Instruments 1300488-00                  8 Контролер National Instruments 1300488-00                  9 Многофункциональная плата National Instruments 1300488-00                  10 Мультиметр National Instruments 1300488-00                  11 Осциллограф National Instruments 1300488-00                  12 Программный источник питания National Instruments 1300488-00</p>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise -                  MS Office 365 pro plus                  Kaspersky Endpoint Security для Windows                  Архиватор 7-Zip - бесплатно                  Acrobat Reader DC - бесплатно                  Google Chrome – бесплатно                  Почта Outlook – бесплатно                  Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;</p>
---	--	--

## VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			