

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Полупроводниковая электроника

по направлению подготовки

12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Направленность (профиль) подготовки:
Квантовые приборы и системы

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
А.Г. Коротаев

Председатель УМК
А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с фотонными технологиями обработки информации, проектированием, конструированием и технологиями производства элементов, приборов и систем фотоники и оптоинформатики.

ОПК-3 Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики измерений в системах и устройствах фотоники и оптоинформатики.

ПК-2 Способен к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов фотонных приборов на схемотехническом и элементном уровнях, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.2 Применяет общеинженерные знания в профессиональной деятельности.

ИОПК-3.1 Выбирает и использует соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений

ИОПК-3.2 Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов

ИПК-2.1 Разрабатывает функциональные и структурные схемы фотонных и оптических приборов и комплексов, определяет физические принципы действия устройств в соответствии с техническими требованиями с использованием теоретических методов и программных средств проектирования и конструирования

ИПК-2.2 Создает модели разрабатываемых фотонных, оптических, оптико-электронных, блоков, узлов и деталей с использованием систем автоматизированного проектирования

Цель освоения дисциплины

Обучить студентов методам расчёта и измерения параметров и характеристик полупроводниковых структур и приборов на их основе.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к дисциплинам вариативной части общепрофессионального цикла Блока 1 «Дисциплины/модули».

Данная дисциплина опирается на результаты изучения дисциплин Б1.У.О.02 «Математический анализ», Б1.У.О.03 «Физика», Б1.О.В.03 «Радиоэлектроника», Б1.О.О.02 «Физика полупроводников».

Результаты обучения по данной дисциплине являются необходимыми для изучения дисциплин Б1.П.О.05 «Источники оптического излучения», Б1.П.О.06 «Приемники оптического излучения», Б1.П.В.ДВ.05.02 «Оптическая микрорелектроника» ОПОП.

2. Компетенции и результаты обучения, формируемые в результате освоения дисциплины

Таблица 1

Компетенция	Индикатор компетенции	Код и наименование результатов обучения (планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций)
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с фотонными технологиями обработки информации, проектированием, конструированием и технологиями производства элементов, приборов и систем фотоники и оптоинформатики.	ИОПК-1.2 Применяет общеинженерные знания в профессиональной деятельности.	ОР-1.2 Использует основные положения физики полупроводников и физики полупроводниковых приборов для описания параметров полупроводниковых барьерных структур и характеристик полупроводниковых приборов.
ОПК-3 Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики измерений в системах и устройствах	ИОПК-3.1 Выбирает и использует соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений.	ОР-3.1.1 Понимает смысл измеряемого параметра или характеристики полупроводникового прибора и принцип работы измерительной установки.

<p>фотоники и оптоинформатики.</p>		<p>ОР-3.1.2 Измеряет характеристики полупроводниковых структур с использованием современных приборов.</p>
	<p>ИОПК-3.2 Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов.</p>	<p>ОР-3.2.1 Проводит обработку исходных данных и результатов измерений характеристик полупроводниковых приборов с использованием вычислительной техники и определяет параметры областей полупроводниковых структур.</p> <p>ОР-3.2.2 Корректно представляет результаты экспериментальных измерений и теоретических расчётов на их основе в виде графиков и отчётов.</p>
<p>ПК-2 Способен к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов фотонных приборов на схемотехническом и элементном уровнях, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования.</p>	<p>ИПК-2.1 Разрабатывает функциональные и структурные схемы фотонных и оптических приборов и комплексов, определяет физические принципы действия устройств в соответствии с техническими требованиями с использованием теоретических методов и программных средств проектирования и конструирования.</p>	<p>ОР-2.1.1 Знает конструкции, принципы действия, параметры и характеристики полупроводниковых фотодиодов и светодиодов.</p> <p>ОР-2.1.2 Проводит численный расчёт характеристик полупроводниковых диодов с использованием пакетов программ.</p>
	<p>ИПК-2.2 Создает модели разрабатываемых фотонных, оптических, оптико-электронных, блоков, узлов и деталей с использованием систем автоматизированного проектирования.</p>	<p>ОР-2.2 Использует теоретические модели различных барьерных структур для описания и расчёта характеристик полупроводниковых приборов.</p>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура и трудоемкость видов учебной работы по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины/модуля составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Таблица 2

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах	
	7 семестр	всего
Общая трудоемкость		
Контактная работа:	52,75	52,75
Лекции (Л):	32	32
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
Семинарские занятия (СЗ)	-	-
Групповые консультации	2	2
Индивидуальные консультации	0,5	0,5
Промежуточная аттестация	0,25	0,25
Самостоятельная работа обучающегося:	55,25	55,25
- изучение учебного материала	10	10
- подготовка к практическим занятиям	40	40
- подготовка к зачёту	5,25	5,25
Вид промежуточной аттестации (зачёт)	-	-

3.2. Содержание и трудоемкость разделов дисциплины

Таблица 3

Код занятия	Наименование разделов и тем и их содержание	Вид учебной работы, занятий, контроля	Семестр	Часы в электронной форме	Всего (час.)	Литература	Код (ы) результата(ов) обучения
	Раздел 1. Введение		7				
1.1.	Краткий исторический обзор развития полупроводниковой электроники. Предмет и содержание курса. Некоторые понятия физики полупроводников.	Лекция			4	Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник / К. В. Шалимова. – Изд. 4-е, стер. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2016. – 390 с.	ОР-1.2
1.2.	Изучение учебного материала	СРС		1	4	Гермогенов В.П., Вячистая Ю.В. Полупроводниковая электроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014.	
	Раздел 2. Явления на контакте металл– полупроводник. Диоды Шоттки		7				
2.1.	Образование и свойства запирающего слоя Шоттки. Электрические характеристики барьера Шоттки. Функциональные возможности диодов Шоттки.	Лекции			6	Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – 2-е изд. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с.	ОР-1.2, ОР-2.2
2.2.	Изучение учебного материала	СРС		2	6	Гермогенов В.П., Вячистая Ю.В. Полупроводниковая электроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014.	
	Раздел 3. Электронно-дырочные переходы		7				
3.1.	Образование и характеристики электронно-дырочного перехода. Механизмы протекания тока. Частотные свойства. Функциональные возможности полупроводниковых диодов.	Лекции			12	Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебное пособие для студентов вузов. – 9-е изд. – СПб: Лань, 2021. – 480 с.	ОР-1.2, ОР-2.2
3.2.	Контактная разность потенциалов в $p-n$ -переходах. Ширина и емкость $p-n$ -переходов.	Практики			8	Малянов С.В., Калыгина В.М. Сборник задач по физике биполярных полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во	ОР-1.2, ОР-2.1.2, ОР-2.2

	Теории выпрямления полупроводниковых диодов.					НТЛ, 2008. – 112 с.	
3.3	Изучение вольт-амперной характеристики полупроводникового диода с <i>p-n</i> -переходом. Изучение зависимости барьерной емкости полупроводникового диода с <i>p-n</i> -переходом от напряжения	Практики		2	6	Гермогенов В.П., Вячистая Ю.В. Полупроводниковая электроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014.	ОР-3.1.1, ОР-3.1.2, ОР-3.2.1, ОР-3.2.2
3.4.	Подготовка к практическим занятиям	СРС		8	26		ОР-1.2, ОР-2.2, ОР-3.1.1
	Раздел 4. Гетеропереходы		7				
4.1.	Получение гетеропереходов. Энергетические диаграммы и основные свойства гетероструктур. Использование гетеропереходов в полупроводниковых приборах.	Лекции			6	Гермогенов В.П. Материалы, структуры и приборы полупроводниковой оптоэлектроники: Учебное пособие. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 271 с.	ОР-1.2, ОР-2.2
4.2.	Электрические свойства гетеропереходов.	Практика			2		
4.3.	Подготовка к практическому занятию	СРС		2	8	Гермогенов В.П., Вячистая Ю.В. Полупроводниковая электроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014.	ОР-1.2, ОР-2.1.2, ОР-2.2
	Раздел 5. Оптоэлектронные полупроводниковые приборы		7				
5.1.	Принципы действия и характеристики фотодиодов. Светодиоды и их характеристики.	Лекции			4	Гермогенов В.П. Материалы, структуры и приборы полупроводниковой оптоэлектроники: Учебное пособие. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 271 с.	ОР-2.1.1
5.2.	Оптоэлектронные приборы	Практика			2		
5.3.	Подготовка к практическому занятию.	СРС		2	6	Гермогенов В.П., Вячистая Ю.В. Полупроводниковая электроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014.	ОР-1.2, ОР-2.1.1, ОР-2.1.2, ОР-2.2
6	Подготовка к зачёту	СРС		1	5,25		ОР-1.2, ОР-2.1.1, ОР-2.2
	Зачёт		7				

4. Образовательные технологии, учебно-методическое и информационное обеспечение для освоения дисциплины

Дисциплина «Полупроводниковая электроника» знакомит обучающихся с основными принципами построения и функционирования полупроводниковых приборных структур, теоретическими и экспериментальными методами оценки параметров электронных приборов. В процессе освоения дисциплины обучающиеся приобретают навыки работы с современным экспериментальным оборудованием.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать основные типы полупроводниковых барьерных структур, их функциональные возможности и области применения;

уметь качественно объяснить и математически описать физические процессы, лежащие в основе действия полупроводниковых диодов;

владеть навыками экспериментального определения и расчетов параметров и характеристик полупроводниковых диодов.

Формирование необходимых компетенций осуществляется в процессе освоения теоретического лекционного материала, решения практических задач и выполнения практических работ. Изучение дисциплины сопровождается работой с электронным учебным курсом (ЭУК) в виртуальной обучающей среде MOODLE.

Для закрепления лекционного материала каждый раздел электронного курса содержит текстовый материал и презентацию в виде набора слайдов, в которых кратко повторяется содержание раздела.

Для формирования навыков расчетов параметров и характеристик полупроводниковых приборов на практических занятиях электронный ресурс включает наборы задач по основным разделам курса и рекомендации по их решению. В качестве базового сборника задач в ЭУК выбран «Сборник задач по физике биполярных полупроводниковых приборов» (авторы Малянов С.В., Калыгина В.М. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008).

Для развития навыков экспериментальных исследований параметров и характеристик полупроводниковых приборов обучающиеся выполняют 2 практические работы. Методические пособия и указания к выполнению практических работ включены в ЭУК для самостоятельного изучения.

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих формах:

– изучение учебного материала (работа с конспектами лекций, изучение теоретического материала в ЭУК, поиск другой литературы и электронных источников информации по изучаемому разделу курса);

– подготовка к практическим занятиям (изучение теоретического материала в электронном учебном курсе, выполнение индивидуальных заданий);

– подготовка к зачёту.

С учётом этого ЭУК содержит интерактивные элементы для обмена информацией между преподавателем и студентами (консультирование, отправка решенных задач на проверку, отправка отчетов по практическим работам); организации взаимодействия в группе (форум); формирования итогового мнения об ЭУК с целью его дальнейшего развития (опрос).

Формой промежуточной аттестации по дисциплине является зачёт в седьмом семестре.

4.1. Литература и учебно-методическое обеспечение

Основная учебная литература

1. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы / Пасынков В.В., Чиркин Л.К. – 9-е изд. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 480 с. – Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). – URL: <https://e.lanbook.com/book/167773>

2. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учебное пособие. – М.: Юрайт, 2019. – 463 с. – Электронный ресурс: Образовательная платформа Юрайт». – URL: <https://urait.ru/bcode/425163>

3. Гермогенов В.П. Материалы, структуры и приборы полупроводниковой оптоэлектроники: учебное пособие: для студентов старших курсов вузов / В.П. Гермогенов; Нац. исслед. Том. гос. ун-т. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 271 с. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000511917>

Дополнительная литература

1. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – 2-е изд. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с.

2. Малянов С.В., Калыгина В.М. Сборник задач по физике биполярных полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 112 с.

3. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник / К. В. Шалимова. – Изд. 4-е, стер. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2016. – 390 с.

4.2. Базы данных и информационно-справочные системы, в том числе зарубежные

1. Гермогенов В.П., Вячистая Ю.В. Полупроводниковая электроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды MOODLE Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014. – URL: <http://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=1821>

2. Полупроводниковые приборы (материалы клуба 155): электронный ресурс. – URL: <http://www.club155.ru/stintro>

3. Полупроводниковые и оптоэлектронные приборы (Методичкус): электронный ресурс. – URL: <https://3ys.ru/poluprovodnikovye-i-optoelektronnye-pribory.html>

4. Демонстрационные модели свойств полупроводников и полупроводниковых приборов (Purdue University, Gerhard Klimeck, Benjamin P Haley): электронный ресурс. – URL: <https://nanohub.org/resources/6842>

5. Физика и техника полупроводников (научный журнал РАН): электронная версия. – URL: <https://journals.ioffe.ru/journals/2>

6. Справочник по электронным компонентам. – URL: <http://kazus.ru/>

7. eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp?>

8. Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://e.lanbook.com/>

9. Scopus: база данных цитирования издательства Elsevier (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://www.scopus.com/>

10. Web of Science: база данных цитирования компании Clarivate Analytics (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://webofknowledge.com/WOS>

4.3. Перечень лицензионного и программного обеспечения

- Microsoft Office 2010 Russian Academic Open, Microsoft Windows Professional 7 Academic Open (Лицензия №47729022 от 26.11.2010);
- пакет программного обеспечения PTC MathCad Education (Договор поставки №7193 от 14.10.2015);
- пакет SMath Studio для решения задач на практических занятиях (в свободном доступе).

4.4. Оборудование и технические средства обучения

Для работы с ЭУК и ресурсами сети Интернет на радиофизическом факультете имеются лекционные аудитории и компьютерные классы с рабочими местами, имеющими необходимое программное обеспечение и выход в Интернет.

Освоение дисциплины обеспечено также наличием учебной лаборатории полупроводниковой электроники на кафедре полупроводниковой электроники НИ ТГУ, где имеются маркерная доска, мультимедийный проектор с экраном, 9 компьютерных рабочих мест для обработки результатов и моделирования характеристик полупроводниковых приборов, а также приборы и установки для измерения характеристик полупроводниковых приборов: установка для измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов на базе источника-измерителя Keithley 2611В с компьютером; цифровой измеритель индуктивности, емкости и сопротивления E7-12.

Учебно-наглядные пособия: таблица фундаментальных физических постоянных, Периодическая система элементов Д.И. Менделеева, демонстрационные наборы полупроводниковых приборов.

5. Методические указания обучающимся по освоению дисциплины

Изучать материал курса рекомендуется последовательно, двигаясь от первой темы к последней. Подразделы темы 1 напоминают об основных понятиях и соотношениях физики полупроводников, которые используются при изложении материала в последующих разделах. Обучающимся необходимо с самого начала уяснить смысл энергетической диаграммы полупроводника, понятия уровня Ферми и его связь с концентрациями основных и неосновных носителей заряда.

Приступая к изучению характеристик барьерных структур (барьера Шоттки, $p-n$ -перехода, гетероперехода), следует обратить внимание на природу электрических зарядов, создающих электрическое поле барьера, на связь вольт-амперных характеристик полупроводниковой структуры с параметрами барьерной и квазинейтральных областей.

Разобрав теоретический материал раздела, полезно просмотреть презентацию к разделу, ответить на контрольные вопросы по теме и пройти соответствующий тест.

Перед началом решения задач по какой-либо теме следует изучить теоретический материал нужной главы задачника. Затем начать знакомство с соответствующей презентацией в разделе ЭУК «Практические занятия» (папка «Пояснения к решению задач») и разбором типовых задач.

В этом же разделе ЭУК находятся справочные данные, необходимые для решения конкретных задач. При самостоятельной работе с задачами результаты решения можно отправить на проверку, используя ресурсы раздела.

Справочный материал ресурса представлен таблицами физических постоянных и параметров полупроводниковых материалов. Дополнительный справочный материал содержится в Интернет-ресурсах. Этот материал используется при решении задач, а также может потребоваться в процессе выполнения практических работ.

Перед выполнением практической работы по дисциплине следует ознакомиться с теорией и заданием к работе по методическому пособию в разделе «Лабораторные работы» ЭУК и затем перейти к изучению методических указаний.

Методические указания не дублируют содержание методического пособия, а являются необходимым дополнением к нему. В методических указаниях дается описание экспериментальных установок, принципов их действия. Излагается порядок проведения эксперимента и обработки его результатов.

Обработанные результаты в виде отчета по практической работе могут быть отправлены преподавателю.

6. Преподавательский состав, реализующий дисциплину

Гермогенов Валерий Петрович, профессор, доктор физико-математических наук, профессор (лекции);

Вячислая Юлия Валерьевна, старший преподаватель (практические занятия, практические работы).

7. Язык преподавания – русский