

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Практикум по физике полупроводников

по направлению подготовки

03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки :
Радиофизика, электроника и информационные системы

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
_М.Л. Громов

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 базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;

ПК-2 Способен проводить математическое моделирование процессов в приборах и устройствах радиофизики и электроники, владеть современными отечественными и зарубежными пакетами программ при решении профессиональных задач..

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.3 Применяет базовые знания в области физики и радиофизики при осуществлении профессиональной деятельности.

ИПК 2.1 Понимает принцип действия и модели разрабатываемого радиоэлектронного прибора или устройства.

ИПК 2.3 Владеет современными пакетами программ при решении задач в области радиофизики и радиоэлектроники.

2. Задачи освоения дисциплины

– научиться основам моделирования и расчета параметров полупроводниковых материалов;

– научиться анализировать полученные численные результаты для использования в профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль «Твердотельная электроника».

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Пятый семестр, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Основы информатики», «Программирование», «Материалы микро- и нанoeлектроники», «Введение в физику полупроводников».

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-практические занятия: 36 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Раздел 1. Элементарная теория электропроводности

Классификация веществ по величине удельной проводимости. Основные свойства полупроводниковых материалов, особенности их химического строения. Основные

понятия, описывающие электрофизические процессы в материале (носители заряда, концентрация носителей, подвижность носителей, удельные проводимость и сопротивление, вольт-амперная характеристика).

Раздел 2. Основы зонной теории твердого тела

Спектр электронов в изолированном атоме. Уравнение Шредингера для кристалла, одноэлектронное приближение. Зоны разрешенных значений энергии электрона в кристалле.

Движение носителей заряда в кристалле под действием электрического поля, понятие эффективной массы; физический смысл эффективной массы. Связь энергии носителей заряда с эффективной массой.

Плотность квантовых состояний в разрешенных зонах. Зависимости плотности квантовых состояний в разрешенных зонах от энергии.

Раздел 3. Электроны и дырки в полупроводниках

Типы примесей в полупроводниках. Функция распределения в статистике Ферми – Дирака. Концентрации электронов и дырок в разрешенных зонах и на примесных уровнях. Уравнение электронейтральности.

Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации носителей заряда в полупроводнике, легированном одним типом примеси. Вырожденные и частично вырожденные полупроводники.

Перераспределение носителей заряда в компенсированных полупроводниках. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в частично компенсированном полупроводнике.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, устных опросов в процессе аудиторных занятий, выполнения контрольных тестов по темам занятий, оценивания качества выполнения практических заданий. Текущий контроль фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Самостоятельная работа студентов проводится в форме подготовки учебного материала по теме занятия к устному опросу, выполнения тренировочных тестов и интерактивных заданий, составления кратких отчетов по выполнению практических заданий.

Примеры контрольных вопросов по дисциплине для самостоятельной работы

1. В каких случаях говорят, что полупроводник обладает собственной проводимостью?
2. Каков вид уравнения электронейтральности в случае собственной проводимости?
3. Запишите для собственного полупроводника зависимость положения уровня Ферми от температуры?
4. Как, не вычисляя, определить положение уровня Ферми относительно середины запрещенной зоны в случае собственного полупроводника?
5. Как ведет себя концентрация собственных носителей при изменении температуры?
6. Что можно сказать о степени вырождения собственного полупроводника?

Примеры практических заданий

1. В соответствии с условием персональной задачи оцените границы температурного интервала, в пределах которого концентрация основных носителей остается примерно постоянной и равной концентрации легирующей примеси. Воспользуйтесь своей программой по теме «Решение уравнения электронейтральности

для материала с одним типом примеси» и для любой из найденных температурных границ определите концентрацию основных носителей.

2. Для заданных параметров легированного материала и двух температур, а также температуры в соответствии с номером вашего варианта, вычислить удельные сопротивления материала. Для каждого значения температуры: получить значения концентраций электронов и дырок, решив уравнение электронейтральности; определить из графиков Приложения 6 необходимые подвижности для вашей концентрации примеси и заданной температуры; рассчитать удельные сопротивления.

Сравните полученное значение с концентрацией примесных атомов. Выскажите мнение о возможности использовать при расчетах концентрацию примесных атомов в качестве замены концентрации основных носителей при данной температуре?

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в пятом семестре выставляется в рамках балльно-рейтинговой системы оценивания образовательных результатов.

Суммарный балл складывается из оценок ответов во время устного опроса (0.1 балла за вопрос), оценок за выполнение контрольных тестов (7 тестов, максимальная оценка за каждый – 1 балл), оценок за выполнение индивидуальных или групповых практических заданий (7 заданий, максимальная оценка за каждое – 1 балл), оценок за выполнение (по желанию) дополнительных заданий (максимальная оценка за каждое) – 1 балл.

Оценка «зачтено» выставляется обучающемуся при достижении суммой всех указанных баллов значения 12 и выше.

Результаты промежуточной аттестации по дисциплине характеризуются оценками «зачтено» или «не зачтено» в соответствии с таблицей.

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачтено	Зачтено
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.	ИОПК-1.3 Применяет базовые знания в области физики и радиофизики при осуществлении профессиональной деятельности.	Не имеет представления об основных характеристиках полупроводниковых материалов.	Имеет полное представление об основных характеристиках полупроводниковых материалов. Допускает отдельные неточности в описании основных характеристик полупроводниковых материалов.

ПК-2 Способен проводить математическое моделирование процессов в приборах и устройствах радиофизики и электроники, владеть современными отечественными и зарубежными пакетами программ при решении при решении профессиональных задач.	ИПК 2.1 Понимает принцип действия и модели разрабатываемого радиоэлектронного прибора или устройства.	Не понимает смысла физических процессов, определяющих характеристики полупроводниковых материалов, не владеет общими алгоритмами расчета характеристик полупроводниковых материалов.	Грамотно представляет теоретические модели и физические процессы в полупроводниковых материалах; поясняет принципы определения характеристик полупроводниковых материалов, анализирует полученные результаты. Допустимы незначительные ошибки.
	ИПК 2.3 Владеет современными пакетами программ при решении задач в области радиофизики и радиоэлектроники.	Не способен использовать программные средства для моделирования процессов и расчета характеристик полупроводниковых материалов.	Способен выбрать оптимальные программные средства для решения поставленной задачи, корректно составить и отладить алгоритм, произвести вычисления, верифицировать результаты. Допустимы незначительные ошибки.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=2548>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (п. 9, 10).

в) в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (п.9, <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=2548>).

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Шалимова К. В. Физика полупроводников / Шалимова К. В.. - 4-е изд. - Санкт-Петербург : Лань. - 384 с. - 2021. - Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). - URL: <https://e.lanbook.com/book/167840>

2. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников / Ансельм А. И. - 4-е изд. - Санкт-Петербург : Лань. - 624 с. - 2021. - Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). - URL: https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71742

3. Панюшкин Н. Физика полупроводников и полупроводниковые приборы. - Воронеж : ФГБОУ ВПО ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова, 2016. - Электронный ресурс: ЭБС Знаниум (доступно в локальной сети ТГУ). - 131 с.. URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=295140>

б) дополнительная литература:

1. Сорокин В.С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : учебник для студентов вузов. [Т. 1] / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. - Изд. 2-е, испр. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2015. - 1 онлайн-ресурс (442 с.). URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=67462

2. Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие для студентов вузов / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко ; науч. ред. Л.А. Алешина. - Москва: Техносфера, 2007. - 518 с.

3. Бонч-Бруевич В.Л. Физика полупроводников: учебное пособие для студентов физических специальностей вузов / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1990. - 685 с.

4. Малянов С. В. Сборник задач по физике полупроводников : (учебное пособие для практических занятий) / С. В. Малянов, В. М. Калыгина ; Том. гос. ун-т. - Томск : Изд-во НТЛ, 2011. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000416249>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (GoogleDocs, Яндекс диск и т.п.);

– пакет программного обеспечения PTC MathCad Education (Договор поставки №7193 от 14.10.2015;

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– Новые полупроводниковые материалы: характеристики и свойства [Электрон. ресурс] // Интернет-сайт ФТИ им А.Ф.Иоффе РАН, 1998-2001. – URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html>, доступ свободный.

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля, в том числе оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Вячислая Юлия Валерьевна, радиофизический факультет ТГУ, кафедра полупроводниковой электроники, старший преподаватель.