

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

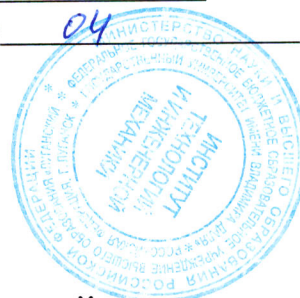
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт технологий и инженерной механики
Кафедра микро- и наноэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

директор института технологий и
инженерной механики


_____ Могильная Е.П.
«18» _____ 04 _____ 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ»

По направлению подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Профиль «Электронные приборы и устройства»

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика полупроводников» по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника. – 30 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика полупроводников» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19.09.2017 года № 927.

СОСТАВИТЕЛИ:

к.т.н., доцент Войтенко Г.О.;

к.т.н., доцент Войтенко В.А.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники «14» 04 2023 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой

микро- и нанoeлектроники  Войтенко В. А.

Переутверждена: « » 202 г., протокол № .

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики «18» 04 2023 г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической

комиссии института технологий и инженерной механики  С. Н. Ясуник

© Войтенко Г.О., Войтенко В.А., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель дисциплины – изучение основных физических явлений и процессов, происходящих в полупроводниках под действием электрического поля, температуры, освещения, магнитного поля; ознакомление с экспериментальными данными и теоретическими представлениями об этих процессах.

Задачи: ознакомление студентов с экспериментальными данными и теоретическими основами явления электропроводности полупроводников; с основами статистики носителей заряда в полупроводниках; кинетическими явлениями; контактными и оптическими явлениями в полупроводниках.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО. Требования к условиям освоения содержания дисциплины

Дисциплина «Физика полупроводников» относится к циклу математических и естественнонаучных дисциплин.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания общей физики и математики, элементов физики твердого тела; умения проводить физико-математические расчеты; умения проводить измерения физических величин и обработку результатов измерений.

Содержание дисциплины основано на знаниях дисциплин «Математика», «Физика», «Физика конденсированного состояния» и служит основой для освоения дисциплин «Специальные разделы физики (физика электронных и полупроводниковых приборов)», «Физические основы сенсорики», «Физика низкоразмерных систем и процессы микро- и нанотехнологии».

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. Знает математическое описание физических процессов, протекающих в материалах, компонентах и приборах электроники. ПК-1.2. Умеет строить физические и математические модели приборов, узлов, блоков. ПК-1.3. Владеет навыками компьютерного моделирования.	Знать: классификацию веществ по удельной электрической проводимости, энергетический спектр носителей заряда в полупроводниках, математическое описание квантовых состояний и распределения Ферми-Дирака, математическое описание механизмов рассеяния электронов и

		<p>дырок, математическое описание контакта металл – металл и металл-полупроводник; элементарную теорию электропроводности полупроводников, зонную теорию полупроводников; математическое описание диффузии и дрейфа неравновесных носителей заряда, контактной разности потенциалов, выпрямления тока в контакте металл–полупроводник, диодную теорию выпрямления тока, диффузионную теорию выпрямления тока; элементарную теорию примесных состояний, теорию рекомбинационного излучения полупроводников при фундаментальных переходах и при переходах между зоной и примесными уровнями, теорию фотопроводимости;</p> <p>Уметь: строить математические модели электронной и дырочной электропроводности в полупроводниках, температурной зависимости электропроводности полупроводников и металлов; строить математические модели зонной структуры полупроводников, рассеяния в полупроводниках, подвижности носителей, контактных явлений, собственного поглощения при прямых и косвенных переходах; составить математическую модель физического процесса и провести моделирование с использованием возможностей математического пакета MATLAB;</p> <p>Владеть: навыками самостоятельной работы с</p>
--	--	--

		учебной и научной литературой по компьютерному моделированию физических процессов в полупроводниках; навыками математического моделирования заполнения примесных уровней, концентрации электронов и дырок в зонах, диффузионного и дрейфового токов; навыками компьютерного моделирования температурной зависимости электропроводности полупроводников и определения ширины запрещенной зоны, вольтамперной характеристики контакта, контактной разности потенциалов; навыками моделирования контактных и фотоэлектрических явлений в полупроводниках в среде MATLAB.
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	144 (4 зач. ед)	144 (4 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	68	14
Лекции	34	6
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	17	4
Лабораторные работы	17	4
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i>)	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	76	130
Форма аттестации	экзамен	экзамен

4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Полупроводники. Элементарная теория электропроводности полупроводников.

Классификация веществ по удельной электрической проводимости. Полупроводники. Модельные представления о механизме электропроводности собственных полупроводников. Модельные представления о механизме электропроводности примесных полупроводников. Элементарная теория электропроводности полупроводников.

Тема 2. Элементы зонной теории полупроводников.

Заполнение электронных состояний валентной зоны. Энергетический спектр носителей заряда в полупроводниках. Зонная структура некоторых полупроводников. Элементарная теория примесных состояний.

Тема 3. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.

Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Концентрация электронов и дырок в зонах. Примесный полупроводник. Собственный полупроводник. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника. Зависимость уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью.

Тема 4. Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках.

Механизмы рассеяния электронов и дырок. Кинетическое уравнение Больцмана. Равновесное состояние. Время релаксации. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки.

Тема 5. Кинетические явления в полупроводниках.

Удельная электрическая проводимость полупроводников. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Эффект Холла в полупроводниках. Магниторезистивный эффект. Термоэлектрические явления. Теплопроводность полупроводников.

Тема 6. Генерация и рекомбинация электронов и дырок.

Равновесные и неравновесные носители заряда. Биполярная оптическая генерация носителей заряда. Монополярная оптическая генерация носителей заряда. Максвелловское время релаксации. Механизмы рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Межзонная ударная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через ловушки.

Тема 7. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.

Уравнение непрерывности. Диффузионный и дрейфовый токи. Соотношение Эйнштейна. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости. Диффузия и дрейф неосновных

избыточных носителей заряда в примесном полупроводнике. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводнике с проводимостью, близкой к собственной.

Тема 8. Контактные явления в полупроводниках.

Термоэлектронная работа выхода. Контакт металл – металл. Контактная разность потенциалов. Контакт металл – полупроводник. Выпрямление тока в контакте металл – полупроводник. Диодная теория выпрямления тока. Диффузионная теория выпрямления тока. Контакт электронного и дырочного полупроводников. Выпрямление тока в р-п-переходе. Теория тонкого р-п-перехода. n+-n- и р+-р- переходы. Гетеропереходы. Контакт вырожденных электронного и дырочного полупроводников.

Тема 9. Поглощение света полупроводниками.

Спектр пропускания и спектр поглощения. Собственное поглощение при прямых переходах. Собственное поглощение при косвенных переходах. Влияние внешних факторов на собственное поглощение полупроводников. Экситонное поглощение. Поглощение свободными носителями заряда. Примесное поглощение. Решеточное поглощение.

Тема 10. Люминесценция полупроводников.

Типы люминесценции. Мономолекулярное свечение твердых тел. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями. Релаксация люминесценции полупроводников. Температурное тушение люминесценции полупроводников.

Тема 11. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда. Эффект Дембера. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотоэффект в р-п-переходе.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Полупроводники. Элементарная теория электропроводности.	4	1
2	Элементы зонной теории полупроводников.	2	1
3	Статистика электронов и дырок в полупроводниках.	6	1
4	Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках.	4	1
5	Кинетические явления в полупроводниках.	4	1
6	Генерация и рекомбинация электронов и дырок.	2	1
7	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.	2	-
8	Контактные явления в полупроводниках.	4	-
9	Поглощение света полупроводниками.	2	-
10	Люминесценция полупроводников.	2	-

11	Фотоэлектрические явления в полупроводниках.	2	-
Итого:		34	6

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Статистика электронов и дырок в полупроводниках.	2	-
2	Рекомбинация носителей заряда в полупроводниках	2	1
3	Полупроводники. Элементарная теория электропроводности полупроводников. Элементы зонной теории полупроводников.	2	-
4	Диффузия и дрейф носителей заряда в электрическом поле.	2	1
5	Диффузия и дрейф носителей заряда в магнитном поле.	2	-
6	Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках. Кинетические явления в полупроводниках.	2	1
7	Поверхностные явления.	2	-
8	Фотопроводимость	1	1
9	Гальваномагнитные и термомагнитные явления.	1	-
10	Циклотронный резонанс.	1	
Итого:		17	4

4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Снятие температурной зависимости электропроводности полупроводников и определение ширины запрещенной зоны.	2	1
2	Снятие вольтамперной характеристики полупроводникового диода	2	-
3	Определение контактной разности потенциалов при контакте полупроводник – металл.	2	1
4	Определение контактной разности потенциалов р-п-перехода.	2	-
5	Изучение эффекта Холла в полупроводниках.	2	-
6	Снятие температурной зависимости проводимости р-п-перехода.	2	1
7	Изучение явления фотоэффекта в р-п-переходе.	2	-
8	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Контактные явления в полупроводниках. Поглощение света полупроводниками.	2	1
9	Люминесценция полупроводников. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.	1	-
Итого:		17	4

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма

1	Полупроводники. Элементарная теория электропроводности полупроводников. Элементы зонной теории полупроводников. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.	Подготовка к практическим занятиям	1	5
		Подготовка к тестированию	4	5
		Решение задач домашних заданий	4	5
2	Снятие температурной зависимости электропроводности полупроводников и определение ширины запрещенной зоны.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	4	5
3	Определение контактной разности потенциалов и изучение эффекта Холла.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	4	5
4	Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках. Кинетические явления в полупроводниках. Генерация и рекомбинация электронов и дырок.	Подготовка к практическим занятиям	1	5
		Подготовка к тестированию	4	5
		Решение задач домашних заданий	4	5
5	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Контактные явления в полупроводниках. Поглощение света полупроводниками.	Подготовка к практическим занятиям	1	5
		Подготовка к тестированию	2	5
		Решение задач домашних заданий	2	6
6	Снятие температурной зависимости тока через <i>p-n</i> -переход и изучение явления фотоэффекта в <i>p-n</i> -переходе.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	3	6
7	Люминесценция полупроводников. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.	Подготовка к практическим занятиям	4	6
		Подготовка к тестированию	2	6
		Решение задач домашних заданий	2	20
8	Экзамен по дисциплине	Подготовка к семестровому экзамену	36	36
Итого:			76	130

4.7. Курсовые работы/проекты

Не предусмотрены учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов,

системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования;

технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

6. Формы контроля освоения дисциплины

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем(ями), ведущими лабораторные работы и практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- контрольные вопросы к практическим занятиям;
- вопросы к лабораторным работам;
- тесты;
- вопросы к экзамену.

Фонды оценочных средств, включающие контрольные вопросы, вопросы коллоквиумов, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты

текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины проходит в форме устного экзамена (включает в себя ответ на теоретические вопросы) в 4 семестре. Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Характеристика знания предмета и ответов	Экзамены
Обучающийся глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	отлично (5)
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	хорошо (4)
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.	удовлетворительно (3)
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы	неудовлетворительно (2)

7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Лебедев А.И., Физика полупроводниковых приборов [Электронный ресурс] / Лебедев А. И. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 488 с. - ISBN 978-5-9221-0995-6 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109956.html>

2. Ахманов С.А., Физическая оптика [Электронный ресурс]: учебник / Ахманов С.А. - 2-е изд. - М.: Издательство Московского государственного университета, 2004. - 656 с. (Классический университетский учебник) - ISBN 5-

211-04858-X - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/5-211-04858-X.html>

б) Дополнительная литература:

1. Дикарева Р.П. Физика твердого тела и полупроводников. Определение времени жизни неосновных носителей заряда методом модуляции проводимости [Электронный ресурс] / Дикарева Р.П., Хабаров С.П. - Новосиб.: НГТУ, 2011. - 24 с.: ISBN 978-5-7782-1667-9 - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=556691&spec=1>

2. Дикарева Р.П. Физика твердого тела и полупроводников. Исследование температурной зависимости энергии Ферми методом термоЭДС [Электронный ресурс] / Дикарева Р.П., Хабаров С.П. - Новосиб.: НГТУ, 2011. - 20 с.: ISBN 978-5-7782-1666-2 - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=556696&spec=1>

3. Беляков В.В. Физика микроэлектронных структур: Лабораторный практикум [Электронный ресурс] / Беляков В.В., Першенков В.С., Улимов В.Н. - М.: НИЯУ "МИФИ", 2010. - 64 с. ISBN 978-5-7262-1307-1 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/560018>

4. Третьяк О.В. Основы физики полупроводников [Электронный ресурс]: Учебник: в 2-х т. / О.В. Третьяк, В.З. Лозовский. - К.: Издательско-полиграфный центр "Киевский университет", 2007. - Т.1. - 338 с.

в) Методические рекомендации/указания:

1. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика полупроводников». Практические занятия №№ 1-7 / Сост. Г.О. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 21 с.

2. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Физика полупроводников». Лабораторные работы №№ 1-7 / Сост.: Г.О. Войтенко, В.А. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 18 с.

3. Методические рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине «Физика полупроводников» / Сост. Г.О. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 20 с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Далевский педагогический портал – <http://ped.dahluniver.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Университетская библиотека On-line – <http://www.biblioclub.ru>

Научная электронная библиотека eLIBRARY – <http://elibrary.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

Научные журналы

"GNU Scientific Library" (GSL - библиотека для научных вычислений проекта GNU): <http://www.gnu.org/software/gsl>.

Система схмотехнического моделирования LTSpice IV. Краткое руководство: <http://zpostbox.ru/ltspice.html>.

Электронные компоненты: <http://www.elitan.ru/>.

Навигатор по профессиональным электронным ресурсам – http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav_ei.htm

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционные занятия проводятся с использованием комплекта электронных презентаций в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).

Лабораторные работы проводятся с использованием некомпьютеризированных и компьютеризированных лабораторных стендов, пакета специализированных компьютерных программ, а также компьютерной математической среды MATLAB.

Рабочие места преподавателя и студентов в учебной лаборатории оснащены компьютерами с доступом в Интернет, предназначенными для работы в указанных специализированных компьютерных программах и средах.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx

Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Оценочные средства по дисциплине

Паспорт фонда оценочных средств по учебной дисциплине «Физика полупроводников»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-1	Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Тема 1 Полупроводники. Элементарная теория электропроводности и полупроводников	1
				Тема 2 Элементы зонной теории полупроводников	1

		наноэлектроник и различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования		Тема 3 Статистика электронов и дырок в полупроводниках	1
				Тема 4 Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках	1
				Тема 5 Кинетические явления в полупроводниках	1
				Тема 6 Генерация и рекомбинация электронов и дырок	1
				Тема 7 Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда	1
				Тема 8 Контактные явления в полупроводниках	1
				Тема 9 Поглощение света полупроводниками	1
				Тема 10 Люминесценция полупроводников	1
				Тема 11 Фотоэлектрические явления в полупроводниках	1

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ПК-1	ПК-1.1. ПК-1.2. ПК-1.3.	Знать: классификацию веществ по удельной электрической проводимости, энергетический	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7,	Контрольные вопросы к практическим занятиям, вопросы к лабораторным работам,

			<p>спектр носителей заряда в полупроводниках, математическое описание квантовых состояний и распределения Ферми-Дирака, математическое описание механизмов рассеяния электронов и дырок, математическое описание контакта металл – металл и металл-полупроводник; элементарную теорию электропроводности и полупроводников, зонную теорию полупроводников; математическое описание диффузии и дрейфа неравновесных носителей заряда, контактной разности потенциалов, выпрямления тока в контакте металл–полупроводник, диодную теорию выпрямления тока, диффузионную теорию выпрямления тока; элементарную теорию примесных состояний, теорию рекомбинационного излучения полупроводников при фундаментальных переходах и при переходах между зоной и</p>	<p>Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Практическое занятие 1, Практическое занятие 2, Лабораторная работа 1, Лабораторная работа 2</p>	<p>тесты, вопросы экзамену</p>	к
--	--	--	--	---	--------------------------------	---

			<p>примесными уровнями, теорию фотопроводимости ;</p> <p>Уметь: строить математические модели электронной и дырочной электропроводности и в полупроводниках, температурной зависимости электропроводности и полупроводников и металлов; строить математические модели зонной структуры полупроводников, рассеяния в полупроводниках, подвижности носителей, контактных явлений, собственного поглощения при прямых и косвенных переходах; составить математическую модель физического процесса и провести моделирование с использованием возможностей математического пакета MATLAB;</p> <p>Владеть: навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой по компьютерному моделированию физических процессов в полупроводниках; навыками</p>		
--	--	--	--	--	--

			<p>математического моделирования заполнения примесных уровней, концентрации электронов и дырок в зонах, диффузионного и дрейфового токов; навыками компьютерного моделирования температурной зависимости электропроводности и полупроводников и определения ширины запрещенной зоны, вольтамперной характеристики контакта, контактной разности потенциалов; навыками моделирования контактных и фотоэлектрических явлений в полупроводниках в среде MATLAB.</p>		
--	--	--	--	--	--

Фонды оценочных средств по дисциплине «Физика полупроводников»

Контрольные вопросы к практическим занятиям:

1. Какие материалы относят к полупроводникам?
2. Какие процессы называют генерацией и рекомбинацией носителей заряда?
3. Какой полупроводник называют собственным?
4. Объясните, в чем заключается разница между электронным и дырочным токами.
5. Как влияют донорные и акцепторные примеси на электропроводность полупроводников?
6. Приведите примеры возможного заполнения электронами квантовых состояний валентной зоны.
7. Проанализируйте энергетический спектр кристаллов, образованных из элементов IV группы таблицы Менделеева.
8. Опишите особенности зонной структуры кремния и германия.
9. В чем заключаются особенности зонной структуры арсенида галлия?

10. Опишите особенности зонной структуры антимонида индия.
11. Приведите выражение для плотности квантовых состояний у дна зоны проводимости, которая имеет сферическую симметрию.
12. Приведите выражение для плотности квантовых состояний вблизи верхнего края валентной зоны.
13. Приведите выражение для плотности квантовых состояний для случая сложной зоны проводимости.
14. Запишите выражение для функции распределения Ферми — Дирака для электронов и дырок.
15. Запишите выражение для эффективной плотности состояний в зоне проводимости и в валентной зоне.
16. Какую физическую величину называют эффективным сечением рассеяния?
17. Как связаны между собой вероятность столкновения и время свободного пробега?
18. Запишите кинетическое уравнение Больцмана.
19. Какую величину называют интегралом столкновений?
20. Запишите выражение для дифференциального сечения рассеяния
21. Приведите выражение для удельной электрической проводимости однородного невырожденного полупроводника в отсутствие градиента температуры и магнитного поля.
22. Запишите выражение для плотности электронного и дырочного токов.
23. Как зависит подвижность носителей заряда от температуры при разных механизмах рассеяния?
24. В чем заключается эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда?
25. В чем заключается магниторезистивный эффект?
26. Какие носители заряда называют равновесными? Неравновесными?
27. Какую концентрацию носителей заряда называют избыточной?
28. В чем заключается биполярная оптическая генерация носителей заряда?
29. Как при квадратичной рекомбинации изменяется со временем избыточная концентрация носителей заряда?
30. Какой процесс называют монополярной оптической генерацией?
31. Приведите уравнение непрерывности для одномерного однородного образца.
32. В чем заключается физический смысл коэффициентов диффузии электронов и дырок?
33. Запишите выражение для полного электронного и дырочного токов.
34. Запишите соотношение Эйнштейна для электронов и дырок.
35. Опишите диффузию и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости, когда свободные носители заряда возникают только в результате возбуждения их из уровней примеси.
36. Какую величину называют термоэлектронной работой выхода?
37. Объясните, как возникает контактная разность потенциалов при контакте металла с полупроводником.

- 38.Объясните, как происходит выпрямление тока в контакте металл – полупроводник.
- 39.Приведите схему контакта двух полупроводников с разными типами проводимости.
- 40.Объясните, как происходит выпрямление тока при контакте двух полупроводников с разными типами проводимости.
- 41.Что понимают под спектром отражения?
- 42.Что называют коэффициентом поглощения? Коэффициентом отражения? Коэффициентом пропускания?
- 43.Как происходит собственное поглощение при прямых переходах?
- 44.Какое соотношение называют правилом отбора для электронных переходов?
- 45.Приведите выражение для коэффициента собственного поглощения при прямых разрешенных переходах.
- 46.Какое явление называют люминесценцией?
- 47.При каких условиях происходит мономолекулярное излучение твердых тел?
- 48.При каких условиях происходит рекомбинационное излучение полупроводников?
- 49.Когда наблюдаются прямые переходы «зона проводимости - валентная зона»?
- 50.Приведите выражение для спектра излучения при косвенных переходах «зона проводимости - валентная зона».
- 51.Какой эффект называют фоторезистивным?
52. Как расположенный спектр примесного фототока относительно спектра собственной фотопроводимости?
- 53.Что называют фотопроводимостью полупроводника?
- 54.Приведите выражение для темновой проводимости.
- 55.Приведите выражение для полной проводимости полупроводника.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольные вопросы к практическим занятиям

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией)
4	Ответ представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности)
3	Ответ представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией)

Вопросы к лабораторным работам:

1. Классификация веществ по удельной электрической проводимости. Полупроводники.
2. Модельные представления о механизме электропроводности собственных полупроводников.
3. Модельные представления о механизме электропроводности примесных полупроводников.
4. Элементарная теория электропроводности полупроводников.
5. Заполнение электронных состояний валентной зоны.
6. Энергетический спектр носителей заряда в полупроводниках.
7. Элементарная теория примесных состояний.
8. Плотность квантовых состояний.
9. Функция распределения Ферми-Дирака.
10. Степень заполнения примесных уровней.
11. Концентрация электронов и дырок в зонах.
12. Примесный полупроводник.
13. Собственный полупроводник.
14. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.
15. Зависимость уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью.
16. Механизмы рассеяния электронов и дырок.
17. Кинетическое уравнение Больцмана.
18. Равновесное состояние.
19. Время релаксации.
20. Рассеяние на ионах примеси.
21. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.
22. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки.
23. Удельная электрическая проводимость полупроводников.
24. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.
25. Эффект Холла в полупроводниках.
26. Магниторезистивный эффект.
27. Термоэлектрические явления.
28. Теплопроводность полупроводников.
29. Равновесные и неравновесные носители заряда.
30. Биполярная оптическая генерация носителей заряда.
31. Монополярная оптическая генерация носителей заряда.
32. Максвелловское время релаксации.
33. Механизмы рекомбинации.
34. Межзонная излучательная рекомбинация.
35. Межзонная ударная рекомбинация.
36. Рекомбинация носителей заряда через ловушки.
37. Уравнение непрерывности.

38. Диффузионный и дрейфовый токи.
39. Соотношение Эйнштейна.
40. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости.
41. Диффузия и дрейф неосновных избыточных носителей заряда в примесном полупроводнике.
42. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводнике с проводимостью, близкой к собственной.
43. Термоэлектронная работа выхода.
44. Контакт металл – металл. Контактная разность потенциалов.
45. Контакт металл – полупроводник.
46. Выпрямление тока в контакте металл – полупроводник.
47. Диодная теория выпрямления тока.
48. Диффузионная теория выпрямления тока.
49. Контакт электронного и дырочного полупроводников.
50. Выпрямление тока в р-п-переходе.
51. Теория тонкого р-п-перехода.
52. n+-n- и р+-р- переходы.
53. Гетеропереходы.
54. Контакт вырожденных электронного и дырочного полупроводников.
55. Спектр пропускания и спектр поглощения.
56. Собственное поглощение при прямых переходах.
57. Собственное поглощение при косвенных переходах.
58. Влияние внешних факторов на собственное поглощение полупроводников.
59. Экситонное поглощение.
60. Поглощение свободными носителями заряда.
61. Примесное поглощение.
62. Решеточное поглощение.
63. Типы люминесценции.
64. Мономолекулярное свечение твердых тел.
65. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах.
66. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями.
67. Релаксация люминесценции полупроводников.
68. Температурное тушение люминесценции полупроводников.
69. Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость.
70. Релаксация фотопроводимости.
71. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда.
72. Эффект Дембера.
73. Фотоэлектромагнитный эффект.
74. Фотоэффект в р-п-переходе.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству вопросы к лабораторным работам

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответы представлены на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 90-100% вопросов)
4	Ответы представлены на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности, правильные ответы даны на 75-89% вопросов)
3	Ответы представлены на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 50-74% вопросов)
2	Ответы представлены на неудовлетворительном уровне или не представлены (студент не готов отвечать или правильные ответы даны менее чем на 50% вопросов)

Тесты:

- Электропроводность полупроводников с повышением температуры:
 - быстро увеличивается.
 - медленно уменьшается.
 - быстро уменьшается.

- Примесные уровни донорного полупроводника расположены:
 - несколько выше верхнего края валентной зоны.
 - несколько ниже нижнего края зоны проводимости.
 - посередине запрещенной зоны.

- Акцепторные уровни присутствуют в энергетическом спектре:
 - электронного полупроводника.
 - дырочного полупроводника.
 - собственного полупроводника.

- В слабых электрических полях электропроводность полупроводника:
 - пропорциональна подвижности носителей.
 - обратнопропорциональна концентрации носителей.
 - пропорциональна напряженности электрического поля.

- Подвижность носителей определяется отношением:
 - напряженности электрического поля к дрейфовой скорости носителей.
 - дрейфовой скорости носителей к напряженности электрического поля.
 - концентрации носителей к напряженности электрического поля.

- Контактная разность потенциалов определяется:
 - разностью потенциалов, приложенной к контакту.
 - разностью работ выхода контактирующих материалов.

В) разностью уровней Ферми в контактирующих материалах.

7. При контакте двух материалов запирающий слой:

А) не обладает выпрямляющими свойствами.

Б) обеднен основными носителями.

В) обогащен основными носителями.

8. Диффузионный ток возникает при наличии:

А) градиента потенциала.

Б) градиента концентрации.

В) внешнего электрического поля.

9. Дрейфовый ток возникает при наличии:

А) градиента потенциала.

Б) градиента концентрации.

В) внешнего электрического поля.

10. При подаче на контакт прямого смещения:

А) двойной электрический слой расширяется.

Б) потенциальный барьер увеличивается.

В) потенциальный барьер уменьшается.

11. Сущность явления термоЭДС заключается в том, что в электрической цепи:

А) состоящей из параллельно соединенных разных материалов, возникает электродвижущая сила, если места контактов поддерживаются при одинаковой температуре.

Б) состоящей из последовательно соединенных разных материалов, возникает электродвижущая сила, если места контактов поддерживаются при одинаковой температуре.

В) состоящей из последовательно соединенных разных материалов, возникает электродвижущая сила, если места контактов поддерживаются при различных температурах.

12. ТермоЭДС термопары увеличивается, если:

А) температура горячего спая увеличивается, а холодного уменьшается.

Б) температура холодного спая увеличивается, а горячего уменьшается.

В) увеличивается температура как горячего спая, так и холодного.

13. Если концы полупроводника поддерживают при различных температурах, то положительный потенциал возникает:

А) на горячем конце дырочного полупроводника.

Б) на горячем конце электронного полупроводника.

В) на холодном конце электронного полупроводника.

14. Гальваномагнитные явления возникают:

- А) при действии электрического либо магнитного полей.
- Б) при совместном действии магнитного поля и градиента потенциала.
- В) при совместном действии электрического поля и градиента температуры.

15. Эффект Холла заключается:

- А) в возникновении поперечной разности потенциалов.
- Б) в отклонении носителей заряда на боковые грани исследуемого образца.
- В) в увеличении концентрации носителей заряда в полупроводнике.

16. При помещении полупроводника в магнитное поле:

- А) сопротивление полупроводника увеличивается.
- Б) проводимость полупроводника уменьшается.
- В) эффективная длина свободного пробега носителей увеличивается.

17. Сущность явления фотопроводимости:

- А) изменение сопротивления вещества под действием света.
- Б) уменьшение проводимости вещества под действием света.
- В) испускание квантов света веществом при протекании тока.

18. В собственных полупроводниках концентрация фотоносителей увеличивается по причине:

- А) тепловых забросов электронов из валентной зоны в зону проводимости.
- Б) вырывания электронов из заполненной зоны и их забросов в свободную зону.
- В) поглощения веществом квантов света и перебросов электронов на примесные уровни.

19. Временем релаксации для фотопроводимости называют время, в течение которого в полупроводнике после выключения света уменьшается в экспоненту раз:

- А) концентрация носителей.
- Б) равновесная концентрация носителей.
- В) неравновесная концентрация носителей.

20. При излучательной рекомбинации электрон переходит:

- А) из свободной зоны в заполненную, и освободившаяся энергия выделяется в виде фотонов.
- Б) из зоны проводимости в валентную зону, и освободившаяся энергия выделяется в виде фононов.
- В) из валентной зоны в зону проводимости, и освободившаяся энергия выделяется в виде фононов.

21. Квантовым выходом называют отношение:

- А) числа свободных электронов к общему числу поглощенных квантов.
- Б) числа поглощенных квантов к общему числу фотоэлектронов.

В) числа излученных квантов к общему числу фотоэлектронов.

22. Экситоном называют:

А) ионизированный атом.

Б) возбужденное состояние основного атома решетки.

В) возбужденное состояние примесного атома.

23. Полоса собственного поглощения полупроводника отражает следующие процессы:

А) межзонные переходы.

Б) поглощение свободными электронами.

В) ионизацию примесных атомов.

24. Синяя граница фотоэффекта находится:

А) в полосе собственного поглощения.

Б) в полосе пропускания.

В) на границе полос собственного поглощения и пропускания.

25. Наибольшие значения фототока наблюдают в области:

А) синей границы фотоэффекта.

Б) красной границы фотоэффекта.

В) коротких длин волн.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству тесты

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Тесты выполнены на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% тестов)
4	Тесты выполнены на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% тестов)
3	Тесты выполнены на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% тестов)
2	Тесты выполнены на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50% тестов)

Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен)

1. Энергетический спектр носителей заряда в полупроводниках.
2. Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака.
3. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.
4. Зависимость уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью.
5. Механизмы рассеяния электронов и дырок.
6. Кинетическое уравнение Больцмана.
7. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.

8. Эффект Холла в полупроводниках.
9. Магниторезистивный эффект.
10. Термоэлектрические явления.
11. Теплопроводность полупроводников.
12. Биполярная оптическая генерация носителей заряда.
13. Монополярная оптическая генерация носителей заряда.
14. Механизмы рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация.
15. Уравнение непрерывности.
16. Диффузионный и дрейфовый токи.
17. Соотношение Эйнштейна.
18. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости.
19. Диффузия и дрейф неосновных избыточных носителей заряда в примесном полупроводнике.
20. Контакт металл – полупроводник. Выпрямление тока в контакте металл – полупроводник.
21. Диодная теория выпрямления тока. Диффузионная теория выпрямления тока.
22. Контакт электронного и дырочного полупроводников. Выпрямление тока в p-n-переходе.
23. Гетеропереходы.
24. Контакт вырожденных электронного и дырочного полупроводников.
25. Спектр пропускания и спектр поглощения.
26. Типы люминесценции.
27. Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость.
28. Эффект Дембера.
29. Фотоэлектромагнитный эффект.
30. Фотоэффект в p-n-переходе.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (экзамен)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет

	умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)