


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета



(подпись)

И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников»

Направление подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения
очная

Программа рассмотрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

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

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями преподавания дисциплины «Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников» являются:

- формирование у студентов естественнонаучного мировоззрения путем знакомства с теорией оптических переходов и фотоэлектрических явлений в полупроводниковых материалах, влияние внешних воздействий на эти свойства;
- формирование умений и навыков использования теоретических знаний в данной области для объяснения имеющихся и предсказания новых оптических и фотоэлектрических свойств и явлений в полупроводниковых материалах.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 (дисциплина по выбору Б1.В.ДВ.4) и является частью, формируемая участниками образовательных отношений.

Дисциплина «Физический практикум по электричеству и магнетизму» опирается на содержание дисциплин «Оптика», «Электродинамики», «Квантовой механики». Полученные в курсе «Физический практикум по электричеству и магнетизму» знания необходимы для изучения дисциплин «Физические методы исследования микро- и наноструктур», «Поляритоны в полупроводниках и низкоразмерных структурах»

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

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

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Общепрофессиональные компетенции		
ПК-5. Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники.	ИД_ПК-5.1. Знает физические характеристики материалов и изделий электронной техники.	Знать: <ul style="list-style-type: none"> • физику оптических переходов в полупроводниках; • основные явления и эффекты определяющие оптическими переходами в полупроводниках; • основы физики, определяющие фотоэлектрические явления в полупроводниках; • основные фотоэлектрические явления и эффекты в полупроводниках.
	ИД_ПК-5.2. Знает технологические процессы создания материалов, приборов и устройств электроники и нанoeлектроники.	Знать: <ul style="list-style-type: none"> • технологические процессы создания светодиодов, фотодиодов, фотоэлектронных умножителей, лазеров; • практическое использование оптических и фотоэлектрических свойств полупроводников.
	ИД_ПК-5.3. Осуществляет настройку приборов и оборудования в соответствии с правилами настройки и эксплуатации.	Уметь: <ul style="list-style-type: none"> • определять тип зонной структуры и ширину запрещенной зоны полупроводника по спектрам поглощения; • планировать и осуществлять экспериментальные и теоретические исследования в области оптических и фотоэлектрических свойств полупроводников и структур на их основе; • определять наличие примеси в полупроводнике по спектрам прозрачности. Владеть: <ul style="list-style-type: none"> • навыками работы на однолучевых и двухлучевых спектрометрах; • навыками проведения исследования спектров прозрачности и отражения.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Введение. Методы и экспериментальная техника для исследования оптических и фотоэлектрических свойств полупроводников.	7	3		8	1		2	Задания для самостоятельной работы, Коллоквиум
2	Межзонные оптические переходы в чистых кристаллах.	7	4		8			2	Задания для самостоятельной работы, Коллоквиум
3	Влияние примесей на оптические переходы.	7	2		8	1		2	Задания для самостоятельной работыКоллоквиум
4	Взаимодействие света со свободными носителями заряда и с кристаллической решеткой.	7	3		3	1		3	Задания для самостоятельной работы.
5	Влияние внешних воздействий на оптические свойства.	7	2		3	1		3	Задания для самостоятельной работы
6	Фотоэлектрические явления в полупроводниках	7	3		4	1		3,7	Задания для самостоятельной работы,
							0,3		Зачет
	Всего		17		34	5	0,3	15,7	

Содержание разделов дисциплины:

1. Введение. Методы и экспериментальная техника для исследования оптических и фотоэлектрических свойств полупроводников.

Задачи курса в процессе подготовки специалиста в области микроэлектроники и нанoeлектроники. Оптические константы и их взаимосвязь. Экспериментальные методы определения коэффициента отражения. Методы определения коэффициента прозрачности полупроводника. Измерение и расчет оптических констант для пленок

при наличии интерференции. Источники оптического излучения. Приемники излучения. Спектральные приборы.

2. Межзонные оптические переходы в чистых кристаллах.

Прямые оптические переходы. Непрямые оптические переходы. Влияние кулоновского взаимодействия электронно-дырочных пар на край фундаментального поглощения. Экситоны Ванье-Мотта.

3. Влияние примесей на оптические переходы.

Оптические переходы, обусловленные примесными состояниями. Эффект Бурштейна.

4. Взаимодействие света со свободными носителями заряда и с кристаллической решеткой.

Спектры отражения и поглощения, обусловленные взаимодействием с носителями заряда. Спектр колебаний решетки. Однофононный резонанс (полоса остаточных лучей). Плазмон-фононный резонанс. Многофононное поглощение.

5. Влияние внешних воздействий на оптические свойства.

Поглощение и отражение при наличии внешнего электрического поля (эффект Франца-Келдыша). Влияние сильного магнитного поля на спектр поглощения (зоны Ландау). Влияние давления и температуры на оптические переходы.

6. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Уравнение переноса с учетом оптической генерации. Фотодиффузионный эффект. Фотопроводимость. Фотоэлектромагнитный эффект. Фотовольтаические эффекты. Внешняя фотоэмиссия. Практическое применение фотоэлектрических явлений в полупроводниках.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

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

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

Лабораторное занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для формирования текстов методических материалов для лабораторных работ, промежуточной и текущей аттестации, а также отчетов студентов по лабораторным работам – пакеты Microsoft Office и Open/Libre Office;
- для расчёта формул – программа Wolfram Mathematica;
- для обработки результатов данных Excel.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. О. Н. Ермаков, А. Н. Пихтин, Ю. Ю. Протасов, С. А. Тарасов. Оптоэлектроника. М.: Янус-К, 2011.
2. Шалимова, К. В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 1985.

б) дополнительная литература

1. Ж. Симон, Ж.-Ж. Андре. Молекулярные полупроводники. Фотоэлектрические свойства и солнечные элементы. М.: Мир, 1988.
2. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников: учеб. пособие для вузов. СПб.: Лань, 2008.

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

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

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

Автор:

старший преподаватель кафедры микроэлектроники

и общей физики, к.ф.-м.н.

_____ Романов Д.Н.

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

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

Задания для самостоятельной работы

(данные задания выполняются студентом самостоятельно и преподавателем в обязательном порядке проверяются) Проверяется сформированность компетенции ПК-5 (индикатор ИД_ПК-5.1.).

Задания по теме № 1 «Введение. Методы и экспериментальная техника для исследования оптических и фотоэлектрических свойств полупроводников»:

Оптические константы и их взаимосвязь. Спектральные приборы.

Задания по теме № 2 «Межзонные оптические переходы в чистых кристаллах»:

Экситоны Ванье-Мотта.

Задания по теме № 3 «Влияние примесей на оптические переходы»:

Эффект Бурштейна.

Задания по теме № 4 «Взаимодействие света со свободными носителями заряда и с кристаллической решеткой»:

Плазмон-фононный резонанс. Многофононное поглощение.

Задания по теме № 5 «Влияние внешних воздействий на оптические свойства»:

Влияние давления и температуры на оптические переходы.

Задания по теме № 6 «Фотоэлектрические явления в полупроводниках»:

Внешняя фотоэмиссия. Практическое применение фотоэлектрических явлений в полупроводниках.

При выполнении лабораторной работы, студент должен представить её результаты в форме отчета, согласно единым требованиям. Отчёт подаётся каждым студентом индивидуально. При сдаче лабораторных работ проверяется сформированность компетенции ПК-5 (индикаторы ИД_ПК-5.2, ИД_ПК-5.3).

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

На коллоквиуме проверяется сформированность компетенции ПК-5 (индикатор ИД_ПК-5.1.).

Список вопросов на коллоквиум:

1. Экспериментальные методы исследования оптических свойств твердых тел.
2. Прямые оптические межзонные переходы (разрешенные в дипольном приближении).
3. Экспериментальная техника исследования оптических свойств твердых тел.
4. Учет многократного отражения при измерении спектров прозрачности.
5. Прямые оптические межзонные переходы (запрещенные в дипольном приближении).
6. Непрямые оптические межзонные переходы (разрешенные в дипольном приближении).

7. Учет интерференции при измерении спектров прозрачности.
8. Непрямые оптические межзонные переходы (запрещенные в дипольном приближении).
9. Экситонные состояния
10. Влияние кулоновского взаимодействия электронов и дырок на оптические межзонные переходы.
11. Прямые оптические межзонные переходы (разрешенные в дипольном приближении).
12. Влияние примеси на оптические переходы. Эффект Бурштейна.
13. Непрямые оптические межзонные переходы (разрешенные в дипольном приближении).

Список вопросов к зачету:

На зачёте проверяется сформированность компетенции ПК-5 (индикатор ИД_ПК-5.1.).

1. Экспериментальные методы исследования оптических свойств твердых тел.
2. Прямые оптические межзонные переходы (разрешенные в дипольном приближении).
3. Влияние магнитного поля на оптические межзонные переходы.
4. Экспериментальная техника исследования оптических свойств твердых тел.
5. Учет многократного отражения при измерении спектров прозрачности.
6. Прямые оптические межзонные переходы (запрещенные в дипольном приближении).
7. Непрямые оптические межзонные переходы (разрешенные в дипольном приближении).
8. Учет интерференции при измерении спектров прозрачности.
9. Влияние электрического поля на оптические межзонные переходы.
10. Непрямые оптические межзонные переходы (запрещенные в дипольном приближении).
11. Экситонные состояния
12. Влияние механического давления, температуры на оптические межзонные переходы.
13. Влияние кулоновского взаимодействия электронов и дырок на оптические межзонные переходы.
14. Прямые оптические межзонные переходы (разрешенные в дипольном приближении).
15. Влияние примеси на оптические переходы. Эффект Бурштейна.
16. Непрямые оптические межзонные переходы (разрешенные в дипольном приближении).
17. Уравнение переноса с учетом оптической генерации.
18. Фотодиффузионный эффект.
19. Фотопроводимость.
20. Фотоэлектромагнитный эффект.
21. Фотовольтаические эффекты.
22. Внешняя фотоэмиссия.

Правила выставления оценки

По итогам зачёта выставляется одна из оценок: «зачет» или «незачет».

Оценка «зачет» выставляется студенту, который **знает** физику оптических переходов, основные явления и эффекты определяющие оптическими переходами в полупроводниках; основы физики, определяющие фотоэлектрические явления в

полупроводниках; основные фотоэлектрические явления и эффекты в полупроводниках; практическое использование оптических и фотоэлектрических свойств полупроводников; **умеет** определять тип зонной структуры и ширину запрещенной зоны полупроводника по спектрам поглощения; определять наличие примеси в полупроводнике по спектрам прозрачности; проводить информационный поиск в рамках поставленной научно-исследовательской задачи; планировать и осуществлять экспериментальные и теоретические исследования в области оптических и фотоэлектрических свойств полупроводников и структур на их основе; **владеет** навыками работы на однолучевых и двухлучевых спектрометрах; навыками проведения исследования спектров прозрачности и отражения; **подготовил** отчёты по лабораторным работам, знает физические величины и их единицы измерения, формулировки основных физических законов оптики, методов обработки результатов, умеет пользоваться предоставленными приборами и установками, умеет использовать материалы к лабораторным работам, владеет навыками практического применения лабораторных установок и приборов в конкретной лабораторной работе.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, у которого не подготовлен хотя бы один отчёт по необходимым лабораторным работам, у которого знания, умения и навыки ниже, чем при пороговом уровне, соответствующем оценке «зачет».

Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины «Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников» являются лекции с использованием демонстрационного эксперимента. По большинству тем предусмотрены лабораторные занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным физическим эффектам и явлениям и отработка экспериментальных навыков работы с физическими приборами и оборудованием.

Для успешного освоения дисциплины очень важна самостоятельная работа студентов над: конспектами прослушанных лекций, разделами курса для самостоятельного изучения и лабораторными работами. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, лабораторных занятиях или из учебной литературы при самостоятельной проработке разделов курса.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы и проведения расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде коллоквиума и самостоятельных работ. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы и лабораторным работам, которые вызвали затруднения.

Зачет принимается по экзаменационным билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса. На самостоятельную подготовку к экзамену выделяется не менее 3 дней, во время зачетной сессии.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объемом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать зачет по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.