

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»

Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЭИС, проф.
С.И.Эминов
«29» января 2019 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

по направлению подготовки
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль) Микроэлектроника и твердотельная электроника

СОГЛАСОВАНО

Начальник УОД

А.Н.Макаревич
«23» января 2019 г.

Разработал

Заведующий КФТТМ, профессор

Б.И. Селезнев
«26» 12 2018 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ
Протокол № 4 от 26.12 2018 г.
Заведующий кафедрой, проф.
Б.И.Селезнев
«26» 12 2018 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования свойств твердых тел, в первую очередь – полупроводников, при создании элементов, приборов и устройств микро и нанoeлектроники, формирование компетентности студентов в области физики конденсированного состояния, способствующей становлению их готовности к решению задач профессиональной деятельности.

Задачи:

- изучение электронных процессов в объеме твердых тел;
- изучение роли дефектов в твердых телах;
- изучение оптических процессов в объеме твердых тел;
- применение методов анализа физических процессов в твердых телах при изучении специальных дисциплин;
- анализ состояния теоретических и экспериментальных исследований в области физики конденсированного состояния в России.

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к обязательной части учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника и направленности (профилю) Микроэлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП). В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках изучения следующих дисциплин: «Высшая математика», «Физика», «Квантовая механика и статистическая физика», «Материалы электронной техники», «Компоненты электронной техники».

Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения учебных дисциплин направления подготовки 11.03.04: «Твердотельная электроника»; «Микроэлектроника»; «Основы проектирования и технологии электронной компонентной базы»; «Физические основы нанoeлектроники»; «Нанoeлектроника».

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

обще профессиональные:

- ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности.
- ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных.

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	Знает фундаментальные законы природы и основные физические математические законы	Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера	Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач
ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных		2.1 Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи; 2.6 Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования	2.2 Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки 2.3 Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение; 2.4 Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		5 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	6
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	90	90
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) (при наличии)	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	90	90
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	Экзамен	Экзамен

4.2 Содержание учебной дисциплины

Раздел 1. Электронные состояния в кристаллах, статистика и кинетические явления

1.1 Предмет и задачи курса. Классификация твердых тел.

1.2 Электрон в периодическом потенциальном поле.

- 1.3 Концентрация электронов и уровень Ферми в металлах.
- 1.4 Расчет концентрации носителей заряда в невырожденных полупроводниках.
- 1.5 Уровень Ферми в примесных полупроводниках. Компенсированные полупроводники.
- 1.6 Классификация дефектов. Эффекты легирования.
- 1.7 Примеси в полупроводниках.
- 1.8 Механизмы рассеяния носителей заряда и удельная проводимость.
- 1.9 Эффект Холла.
- Раздел 2. Неравновесные процессы и оптические свойства твердых тел**
- 2.1 Уравнение непрерывности.
- 2.2 Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.
- 2.3 Электронные переходы при взаимодействии с электромагнитным излучением.
- 2.4 Собственное оптическое поглощение.
- 2.5 Экситонное оптическое поглощение. Полупроводниковые твердые растворы.
- 2.6 Примесное оптическое поглощение.
- 2.7 Излучательная и безызлучательная рекомбинация в полупроводниках.
- Люминесценция.
- 2.8 Механизмы излучательной рекомбинации.
- 2.9 Фотопроводимость.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)					Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная			В т.ч. СРС	Экза мен		
		ЛЕ К	ПЗ	ЛР				
	Раздел 1. Электронные состояния в кристаллах, статистика и кинетические явления	18	14	12	9		45	
1.1	Предмет и задачи курса. Классификация твердых тел.	2	1		1		5	решение задач
1.2	Электрон в периодическом потенциальном поле.	2	1		1		5	опрос, решение задач
1.3	Концентрация электронов и уровень Ферми в металлах.	2	2		1		5	опрос, решение задач
1.4	Расчет концентрации носителей заряда в невырожденных полупроводниках	2	2		1		5	опрос, решение задач
1.5	Уровень Ферми в примесных полупроводниках. Компенсированные полупроводники.	2	2		1		5	решение задач, опрос
1.6	Классификация дефектов. Эффекты легирования.	2	1	3	1		5	опрос, решение задач, отчет по ЛР
1.7	Примеси в полупроводниках.	2	2	3	1		5	опрос, решение задач, отчет по ЛР
1.8	Механизмы рассеяния носителей заряда и удельная проводимость.	2	2	3	1		5	опрос, решение задач, отчет по ЛР

1.9	Эффект Холла.	2	1	3	1		5	опрос, решение задач отчет по ЛР
	Рубежная аттестация по разделу 1							контрольная работа
	Раздел 2. Неравновесные процессы и оптические свойства твердых тел	18	13	15	9		45	
2.1	Уравнение непрерывности	2	2		1		5	опрос, решение задач
2.2	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.	2	2		1		5	опрос, решение задач,
2.3	Электронные переходы при взаимодействии с электромагнитным излучением.	2	1	3	1		5	опрос, решение задач, отчет по ЛР
2.4	Собственное оптическое поглощение.	2	2	3	1		5	опрос, решение задач отчет по ЛР
2.5	Экситонное оптическое поглощение. Полупроводниковые твердые растворы.	2	2		1		5	опрос, решение задач,
2.6	Примесное оптическое поглощение.	2	2	3	1		5	опрос, решение задач отчет по ЛР
2.7	Излучательная и безызлучательная рекомбинация в полупроводниках. Люминесценция.	2	1	3	1		5	опрос, решение задач отчет по ЛР
2.8	Механизмы излучательной рекомбинации.	2			1		5	опрос, решение задач
2.9	Фотопроводимость.	2	1	3	1		5	опрос, решение задач отчет по ЛР
	Аттестация по разделу 2							контрольная работа
	Промежуточная аттестация					36		экзамен
	ИТОГО	36	27	27	18	36	90	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

4.4.1.1 Анализ примесей и дефектов в арсениде галлия оптическим методом.

4.4.1.2 Исследование фотопроводимости полупроводников.

4.4.1.3 Исследование температурной зависимости удельной проводимости полупроводников.

4.4.1.4 Исследование полупроводников методом эффекта Холла.

4.4.1.5 Изучение примесного оптического поглощения.

4.4.1.6 Изучение собственного оптического поглощения.

4.4.1.7 Исследование излучательной рекомбинации в полупроводниках.

4.4.1.8 Анализ поверхности твердых тел методом атомно-силовой микроскопии.

4.4.1.9 Анализ структуры диэлектрических пленок методом ИК Фурье спектроскопии.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоем- кость в АЧ
	Раздел 1. Электронные состояния, кристаллическая решетка, статистика и кинетические явления	
1.1	<i>Предмет и задачи курса. Классификация твердых тел.</i> Предмет, цель и содержание курса, связь с другими дисциплинами. Задачи изучения электронных и других процессов в объеме конденсированных сред и на поверхности. Критерии классификации веществ: по величине удельного электрического сопротивления, по величине ширины запрещенной зоны, зависимости удельной электрической проводимости от температуры, типу носителей заряда. Полупроводники, диэлектрики, полуметаллы, металлы. Элементарные полупроводники и полупроводниковые соединения, их свойства и применение в электронной технике (вводная лекция)	2
1.2	<i>Электрон в периодическом потенциальном поле.</i> Движение свободного электрона. Волновая функция, волновой вектор, импульс электрона. Движение двух невзаимодействующих электронов. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Движение электрона в периодическом потенциальном поле. Модель Кронига-Пенни. Энергетический спектр электронов в модели Кронига-Пенни, энергетические зоны. Зоны Бриллюэна. Волновой вектор электрона, импульс и скорость. Физический смысл понятия эффективной массы (информационная лекция)	2
1.3	<i>Концентрация электронов и уровень Ферми в металлах.</i> Квантовая теория свободных электронов. Периодические краевые условия для волновой функции электрона в кристалле. Плотность энергетических состояний. Распределение Ферми-Дирака, вырожденный электронный газ. Концентрация электронов в металлах. Уровень Ферми, сфера Ферми. Теплоемкость электронного газа (информационная лекция)	2
1.4	<i>Расчет концентрации носителей заряда в невырожденных полупроводниках.</i> Плотности энергетических состояний в разрешенных зонах. Равновесные концентрации электронов и дырок в разрешенных зонах. Эффективная плотность состояний. Концентрация носителей заряда и уровень Ферми в собственных полупроводниках. Закон действующих масс для концентраций носителей заряда. Статистика электронов в полупроводниках с одним типом примесей. Температурная зависимость концентрации носителей заряда. Область температур вблизи температуры перехода к собственной проводимости (информационная лекция)	2
1.5	<i>Уровень Ферми в примесных полупроводниках. Компенсированные полупроводники.</i> Уровень Ферми в полупроводниках с одним типом примесей. Температурная зависимость положения уровня Ферми. Компенсированные полупроводники. Уравнение электронейтральности. Уровень Ферми и концентрация носителей заряда в компенсированных полупроводниках. Вырожденные полупроводники. Критерии вырождения. Концентрация носителей заряда.(информационная лекция)	2
1.6	<i>Классификация дефектов. Эффекты легирования.</i> Классификация дефектов. Точечные дефекты. Собственные дефекты, примеси. Протяженные дефекты: дислокации, поверхность. Влияние точечных дефектов на электронный и колебательный спектры кристалла. Локальные состояния. Акцепторная природа вакансий. Стехиометрические дефекты. Радиационные дефекты. . Эффекты легирования: примесные зоны, сильно легированные полупроводники. Общий случай расчета концентрации носителей заряда при легировании. Интеграл Ферми половинного индекса (информационная лекция)	2
1.7	<i>Примеси в полупроводниках.</i> Водородоподобная модель примесных центров. Энергетический спектр примесных центров. Мелкие и глубокие примеси. Кремний: легирующие примеси, переходные металлы, кислород, углерод. Арсенид галлия: мелкие и глубокие примесные центры. Влияние легирования на энергетический спектр кристалла. Зависимость энергии ионизации примесей от концентрации. Образование «хвостов» плотности состояний. Прыжковая проводимость (информационная лекция)	2
1.8	<i>Механизмы рассеяния носителей заряда и удельная проводимость.</i> Рассеяние носителей заряда в полупроводниках. Основные механизмы рассеяния. Среднее время свободного пробега и время релаксации тока. Рассеяние на ионизированных примесях. Рассеяние на колебаниях кристаллической решетки. Рассеяние на нейтральных примесях и дислокациях. Междолинное рассеяние. Температурная зависимость подвижности носителей заряда при одновременном действии нескольких механизмов рассеяния. Электропроводность	2

	полупроводников и диэлектриков. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводников в случае смешанного рассеяния при наличии компенсирующих примесей. Эффективная масса электропроводности (информационная лекция)	
1.9	<i>Эффект Холла.</i> Движение электрона под действием электрического и магнитного полей и столкновений. Угол Холла в электронном и дырочном полупроводниках. Сильные и слабые магнитные поля и угол Холла. Связь между углом Холла и постоянной Холла. Эффект Холла в случае смешанной проводимости. Температурная зависимость постоянной Холла. Холловская и дрейфовая подвижности. Холл-фактор. Постоянная Холла при наличии примесной зоны (информационная лекция)	2
	Раздел 2. Неравновесные процессы и оптические свойства твердых тел	
2.1	<i>Уравнение непрерывности.</i> Генерация и рекомбинация носителей заряда. Время жизни неравновесных носителей заряда. Диффузионные и дрейфовые токи. Отступления от равновесного распределения концентрация носителей заряда: процессы генерации, рекомбинации, диффузии и дрейфа. Уравнение непрерывности (информационная лекция)	2
2.2	<i>Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.</i> Движение неравновесных основных носителей заряда. Длина экранирования Эффективное время установления диффузионного равновесия. Движение неосновных носителей заряда. Диффузионная длина неосновных носителей заряда. Диффузионные длины «вдоль поля» и «против поля» (длины затягивания). Длина дрейфа неравновесных носителей заряда (информационная лекция)	2
2.3	<i>Электронные переходы при взаимодействии с электромагнитным излучением.</i> Комплексная диэлектрическая проницаемость. Комплексный показатель преломления. Коэффициент оптического поглощения. Коэффициент пропускания. Квантовые переходы под действием возмущения, периодически изменяющегося во времени. Графическое представление теории возмущений. Правило отбора по волновому вектору (информационная лекция)	2
2.4	<i>Собственное оптическое поглощение.</i> Механизмы оптического поглощения. Край собственного поглощения при прямых переходах. Спектральная зависимость коэффициента оптического поглощения. Непрямые переходы. Диаграммы для непрямых оптических переходов. Спектральные зависимости коэффициента оптического поглощения для переходов зона-зона (информационная лекция)	2
2.5	<i>Экситонное оптическое поглощение. Полупроводниковые твердые растворы.</i> Спектр собственных значений экситона. Прямые и непрямые экситоны. Спектральные зависимости коэффициента оптического поглощения. Экситоны, локализованные на изоэлектронных ловушках. Собственное поглощение полупроводниковых твердых растворов (информационная лекция)	2
2.6	<i>Примесное оптическое поглощение.</i> Мелкие и глубокие примеси. Отклонения от водородоподобной модели и неводородоподобные примеси. Изображение примеси в пространстве волновых векторов. Общая схема оптических переходов для примесного поглощения. Спектры оптического поглощения для переходов с участием примесей. Поглощение свободными носителями заряда (информационная лекция)	2
2.7	<i>Излучательная и безызлучательная рекомбинация в полупроводниках. Люминесценция.</i> Основные понятия и определения. Механизмы рекомбинации и люминесценция. Квантовый выход люминесценции. Методы возбуждения люминесценции. Схематическое изображение электронных переходов для различных механизмов излучательной рекомбинации. Механизмы безызлучательной рекомбинации (информационная лекция)	2
2.8	<i>Механизмы излучательной рекомбинации.</i> Межзонная излучательная рекомбинация. Диаграммы излучательных переходов. Параметры излучательной рекомбинации в полупроводниках. Спектры собственного излучения. Излучательная рекомбинация свободных и связанных экситонов. Излучательная рекомбинация примесь-зона. Принцип Франка-Кондона. Межпримесная излучательная рекомбинация (информационная лекция)	2
2.9	<i>Фотопроводимость.</i> Общие представления. Релаксация неравновесной проводимости. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации. Спектральные распределения фототока для полупроводниковых материалов. Примесная фотопроводимость. Эффекты комбинированного возбуждения (информационная лекция)	2
	ИТОГО	36

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоем- кость в АЧ
Раздел 1		
1.	Оценка основных характеристик твердых тел (решение задач с обсуждением результатов)	1
2.	Энергетический спектр электрона в модели Кронига-Пенни (решение задач с обсуждением результатов)	1
3.	Расчет концентрации электронов и уровня Ферми в металлах (решение задач с обсуждением результатов)	2
4.	Расчет концентрации электронов в невырожденных полупроводниках(решение задач с обсуждением результатов)	2
5.	Расчет положения уровня Ферми (решение задач с обсуждением результатов)	2
6.	Расчет концентрации носителей заряда в вырожденных полупроводниках(решение задач с обсуждением результатов)	1
7.	Анализ влияния примесей на характеристики твердых тел (решение задач с обсуждением результатов)	2
8.	Расчет удельной проводимости твердых тел (решение задач с обсуждением результатов)	2
9.	Расчет постоянной Холла (решение задач с обсуждением результатов).	1
Раздел 2		
1.	Основные уравнения для анализа работы полупроводниковых приборов (решение задач с обсуждением результатов).	2
2.	Неравновесные электронные процессы и движение носителей заряда в полупроводниках (решение задач с обсуждением результатов)	2
3.	Расчет оптических характеристик твердых тел (решение задач с обсуждением результатов)	1
4.	Расчет спектров собственного оптического поглощения (решение задач с обсуждением результатов)	2
5.	Анализ оптического поглощения полупроводниковых твердых растворов (решение задач с обсуждением результатов)	1
6.	Расчет спектров примесного оптического поглощения (решение задач с обсуждением результатов)	2
7.	Анализ модели Шокли-Рида (решение задач с обсуждением результатов)	1
8.	Анализ спектров излучательной рекомбинации (решение задач с обсуждением результатов)	1
9.	Расчет характеристик фотопроводимости (решение задач с обсуждением результатов)	1
ИТОГО		27

Таблица 6 – Методические рекомендации по организации лабораторных занятий

№	Темы лабораторных занятий	Трудоем- кость в АЧ
1.6	Анализ примесей и дефектов в арсениде галлия оптическим методом	3
1.7	Исследование фотопроводимости полупроводников	3
1.8	Исследование температурной зависимости удельной проводимости полупроводников	3
1.9	Исследование полупроводников методом эффекта Холла	3
2.3	Изучение примесного оптического поглощения.	3
2.4	Изучение собственного оптического поглощения	3
2.6	Исследование излучательной рекомбинации в полупроводниках	3
2.7	Анализ поверхности твердых тел методом атомно-силовой микроскопии	3
2.9	Анализ структуры диэлектрических пленок методом ИК Фурье спектроскопии	3
ИТОГО		27

Рекомендации к проведению лекционных занятий.

Теоретическая часть учебной дисциплины направлена на формирование системы знаний о физических явлениях и эффектах, определяющих принципы действия основных приборов вакуумной, плазменной, твердотельной, квантовой и оптической электроники. Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных

занятиях, а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела.

Как правило, в начале лекции проводится опрос (не более 15 мин.) для экспресс-оценки уровня усвоения теоретического материала студентами. Опрос состоит из закрытых вопросов.

Рекомендации по проведению практических занятий.

Цель практических занятий – закрепление теоретического материала и выработка у студентов умения решать задачи по практическим аспектам учебной дисциплины.

Практические занятия в рамках раздела 1 строятся следующим образом:

- 20% аудиторного времени отводится на объяснение решения типовой задачи у доски;
- 70% аудиторного времени – самостоятельное решение задач студентами;
- 10% аудиторного времени в конце текущего занятия – разбор типовых ошибок при решении задач.

Большинство задач содержится в учебном пособии: Физика конденсированного состояния: контрольные задания к практическим занятиям / сост. Б.И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 18 с.

На 9 неделе проводится контрольная работа. Состоит из трех задач в соответствии с изученными темами. Задачи для контрольных работ аналогичны задачам, разбираемым на практических занятиях.

На практических занятиях в рамках раздела 2 проводится анализ оптических процессов в твердых телах, их увязка с электрическими характеристиками, проведение расчетов.

Рекомендации по проведению лабораторных работ.

При проведении лабораторного практикума студенты самостоятельно выполняют лабораторные работы, получая необходимые консультации у преподавателя. Занятия строятся следующим образом.

Первое занятие:

- проводится инструктаж по технике безопасности;
- студенты разбиваются на группы для выполнения ЛР;
- студенты знакомятся с порядком выполнения, защиты ЛР, правилами оформления отчета (в соответствии с СТО 1.701-2010. Текстовые документы. Общие требования к построению и оформлению);
- студентам указывается число баллов, которое можно набрать при выполнении лабораторного практикума;
- выдаются задания по лабораторным работам.

Второе занятие:

- студенты выполняют лабораторную работу.

На каждом последующем занятии:

- проводится защита выполненной лабораторной работы;

– выполняются последующие работы.

Без защиты лабораторных работ допускается выполнить только две работы.

Лабораторный практикум считается выполненным, если студент выполнил и защитил все лабораторные работы. Перечень ЛР указан в 4.4 настоящей рабочей программы.

Для выполнения лабораторного практикума по учебной дисциплине студенты должны пользоваться методическими указаниями:

1. Физика конденсированного состояния: метод. указания к лаб. работам: в 2 ч. Ч. 1: Фотоэлектрические свойства и электропроводность полупроводников / сост. Б. И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 31 с.

2. Физика конденсированного состояния: метод. указания к лаб. работам: в 2 ч. Ч. 2: Оптические явления в полупроводниках / сост. Б. И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 31 с.

Методические указания содержат описания объекта исследования, используемого лабораторного оборудования, методику и порядок проведения лабораторных работ, методы измерений и расчетов, указания по выполнению отчета о работе, контрольные вопросы.

Рекомендации по самостоятельной работе студентов.

Примеры задач с решением для самостоятельной работы представлены в учебном пособии: Физика конденсированного состояния: метод. указания к курсовым работам / сост. Б.И. Селезнев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2011. – 40 с.

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методическое обеспечение учебной дисциплины представлено в приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 7 – Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению согласно ФГОС ВО	Наличие материально-технического оборудования
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	аудитория для проведения лекционных и/или практических занятий: учебная мебель (столы, стулья, доска) <i>лаборатория:</i> - ПК с подключением к сети «Интернет» (монитор ЖК17, системный блок Iwin EN021-2/4Hz) – 1 ед. - лабораторный комплекс - ФОЭЛ-5 – 2 ед.; - осциллограф TDS - 1 ед.

		- гониометр Г5М – 1 ед. - генератор ГОР-100М – 1 ед. - измеритель средней мощности лазерного излучения ИМО-2Н – 1 ед. - ИК Фурье-спектрометр – 1 ед. - монохроматор – 1 ед. - стенд лабораторный автоматизированный – 2 ед. - сканирующий зондовый микроскоп Solver NEXT. - установка «Исследование полупроводников методом эффекта Холла»; - установка «Инфракрасный Фурье-спектрометр»; - макет «Исследование температурной зависимости удельной проводимости полупроводников»; - макет «Изучение примесного оптического поглощения»; - макет «Изучение собственного оптического поглощения»; - макет «Анализ примесей и дефектов в арсениде галлия оптическим методом»; - макет «Исследование фотопроводимости полупроводников»; - макет «Исследование излучательной рекомбинации в полупроводниках».
		помещения для самостоятельной работы (наличие компьютера , выход в Интернет)
2.	Мультимедийное оборудование	ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети «Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800х600)
3.	Программное обеспечение	
	Наименование программного продукта	Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)
	Microsoft Windows 7 Professional	Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212
	Microsoft Windows 10 for Educational Use	Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212
	Microsoft Imagine (Microsoft Azure Dev Tools for Teaching) Standard	Договор №243/ю, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212
	Kaspersky Endpoint Security Standard*	Лицензия № 1C1C-180910-103950-813-1463
	Microsoft Office 2013 Standard	Open License № 62018256
	Подписка Microsoft Office 365	свободно распространяемое для вузов
	Adobe Acrobat	свободно распространяемое
	Skype	свободно распространяемое
	Teams	свободно распространяемое

* отечественное производство

Приложение А (обязательное)

Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния»

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (вопросы к контрольной работе, коллоквиуму и пр.) и которая хранится на кафедре.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1.	Опрос	Раздел 1. Темы 1.2 – 1.9	5x8	ОПК-1, ОПК-2
		Раздел 2. Темы 2.1 – 2.9	5x9	
2.	Решение задач	Раздел 1. Темы 1.1 –1.9	5x9	
		Раздел 2. Темы 2.1 – 2.9	5x9	
3.	Отчет по ЛР	Раздел 1. Темы 1.6 , 1.7, 1.8, 1.9	5x4	
		Раздел 2. Темы 2.3, 2.4 , 2.6, 2.7, 2.9	5x5	
4.	Контрольная работа	Раздел 1	15	
		Раздел 2	15	
Промежуточная аттестация				
	Экзамен		50	
	ИТОГО		300	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

1) Опрос

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
Способен дать правильные ответы на вопрос (ы)	1	1

Примерные вопросы:

1. Уравнение непрерывности учитывает:

- а) изменение концентрации носителей заряда за счет генерации;
- б) неоднородное распределение концентрации носителей заряда по объему полупроводника;
- в) генерацию и рекомбинацию носителей заряда;
- г) генерацию, рекомбинацию и диффузию носителей заряда.

2. Концентрация свободных носителей заряда в компенсированных полупроводниках определяется:

- а) концентрацией доноров;
- б) концентрацией акцепторов;
- в) разностью концентраций доноров и акцепторов.

3. Сдвиг края собственного поглощения в сторону меньших энергий определяется:

- а) «хвостами» плотности состояний;
- б) малой эффективной массой носителей заряда;
- в) переходами акцептор – зона проводимости.

2) Решение задач

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество задач
Способен правильно подобрать нужные формулы и правильно их применить	3	2
Выполнены нужные вычисления и преобразования		
Получен правильный ответ		

Пример решения задачи:

Концентрация электронов в образце однородного слаболегированного кремния n-типа при комнатной температуре изменяется линейно от 10^{17} см^{-3} при $x = 0$ до $6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при $x = 2 \text{ мкм}$. В образец поставляются электроны так, чтобы все время сохранялась эта концентрация. Рассчитать плотность электронного тока в кремнии в отсутствие электрического поля, считая, что $\mu_n = 1000 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $T = 300 \text{ К}$.

Решение:

$$\frac{dn}{dx} = \frac{(10^{23} - 10^{22})}{2 \cdot 10^{-6}} = \frac{4 \cdot 10^{22}}{2 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-4}$$

$$j_n = eD_n \frac{dn}{dx}, \quad D_n = \frac{\mu_n kT}{e}$$

$$j_n = \mu_n kT \frac{dn}{dx} = 10^3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,025 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{28} = 0,08 \cdot 10^8 =$$

$$= 8 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2 = 8 \cdot 10^2 \text{ А/см}^2$$

3) Отчёт по ЛР

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Лабораторная работа выполнена в полном объеме	1
Соблюдены требования по технике безопасности	
Правильно и аккуратно составлен отчет в соответствии с требованиями СТО 1.701-2010	
Студент грамотно формулирует ответы	
Свободно владеет материалом по изучаемому разделу	

Пример контрольных вопросов к защите лабораторной работы «Изучение собственного и оптического поглощения в полупроводниках»:

1. Кратко охарактеризуйте основные механизмы оптического поглощения в полупроводниках.
2. Какова зонная структура карбида кремния и фосфида галлия?
3. Каковы механизмы оптического поглощения в карбиде кремния и фосфиде галлия в области собственной полосы поглощения?
4. Поясните назначение отдельных элементов оптической схемы измерений и представьте обоснование выбора источника и приемника излучения.

4) Контрольная работа

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество задач
Способен правильно подобрать нужные формулы и правильно их применить	1	3
Выполнены нужные вычисления и преобразования		
Получен правильный ответ		

Пример контрольной работы.

1. Нарисовать температурную зависимость $\mathcal{E}_F = f(T)$ для полупроводника p-типа проводимости. Показать приблизительно температуры T_C и T_H .
2. Образец кремния n-типа имеет при 27°C удельное сопротивление 3 Ом·см. Найти концентрацию дырок.
3. Вычислить отношение электронного дрейфового тока к дырочному дрейфовому току при 300 К для кремния n-типа с удельным сопротивлением 5 Ом·см.

5) Экзамен

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество вопросов
Демонстрирует всестороннее и глубокое знание теоретического материала	16	3
Полнота ответа		
Аргументированный выбор метода решения задачи		
Задача решена правильно		

Экзамен состоит из двух частей: теоретической и практической. Теоретическая часть экзамена представляет собой два вопроса. Практическая часть экзамена состоит из задачи.

Вопросы к экзамену:

- 1 Классификация твердых тел.
- 2 Качественные особенности твердых тел: электрические свойства.
- 3 Качественные особенности твердых тел: оптические свойства.
- 4 Движение свободного электрона.
- 5 Квантовая теория металлов. Плотность энергетических состояний.
- 6 Металлы: концентрация носителей заряда.
- 7 Уровень Ферми в металлах.
- 8 Расчет концентраций носителей заряда в полупроводниках.
- 9 Собственные полупроводники: концентрация носителей заряда.

- 10 Собственные полупроводники: уровень Ферми.
- 11 Закон действующих масс для концентраций носителей заряда в полупроводниках.
- 12 Полупроводники с одним типом примесей: концентрация носителей заряда.
- 13 Полупроводники с одним типом примесей: уровень Ферми.
- 14 Область температур вблизи температуры T_c .
- 15 Компенсированные полупроводники. Эффект компенсации.
- 16 Компенсированные полупроводники: концентрация носителей заряда.
- 17 Примеси и дефекты в полупроводниках.
- 18 Водородоподобная модель примесных центров.
- 19 Эффекты легирования.
- 20 Вырожденные полупроводники.
- 21 Вычисление концентраций носителей заряда в общем случае (графически и интеграл Ферми половинного индекса).
- 22 Примеси и дефекты в полупроводниках. Влияние легирования на свойства полупроводников.
- 23 Рассеяние носителей заряда в полупроводниках. Механизмы рассеяния.
- 24 Температурная зависимость удельной проводимости (один тип примесей).
- 25 Температурная зависимость удельной проводимости (компенсированные полупроводники).
- 26 Эффект Холла в полупроводниках. Угол Холла.
- 27 Вывод выражения для постоянной Холла.
- 28 Температурная зависимость постоянной Холла.
- 29 Постоянная Холла при наличии примесной зоны.
- 30 Диффузионные и дрейфовые токи.
- 31 Уравнение непрерывности.

Комплект экзаменационных билетов представлен в закрытой части ФОС (хранится на кафедре).

Пример экзаменационного билета

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

Учебная дисциплина «**Физика конденсированного состояния**»
Для направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль) Микроэлектроника твердотельная электроника

1. Классификация твердых тел.
2. Вывод выражения для постоянной Холла.
3. Задача.

Вычислить среднюю подвижность. Записать выражение для подвижности, если времена свободного пробега для различных частиц одинаковы.

Принято на заседании кафедры

«___» _____ 20__ г.

Протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ (ФИО)

Приложение Б
(обязательное)
Карта учебно-методического обеспечения
учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния»

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учебное пособие. – 3-е изд. испр. – СПб; М.; Краснодар: Лань, 2010 – 287, [1] с.	5	
2 Матухин В.Л. Физика твердого тела: учебное пособие. – СПб: Лань, 2010. – 218, [1] с.	3	
3 Шалимова К.В. Физика полупроводников: учеб. для вузов. – 4-е изд., стер. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. - 390, [2] с.	15	
4 Физика конденсированного состояния: оптические явления в полупроводниках: метод. указания к курсу лекций / сост. Б.И. Селезнев, Г.О.Тимофеев; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 67, [1] с.	15	https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1347
5 Физика конденсированного состояния: метод. указания к курсовым работам / сост. Б.И. Селезнев; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2011. – 40 с.	16	https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1345
6 Физика конденсированного состояния: метод. указания к лаб. работам. Ч. 1: Фотоэлектрические свойства и электропроводность полупроводников / сост. Б.И.Селезнев; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 31, [1] с.	16	https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1345
7 Физика конденсированного состояния: метод. указания к лаб. работам. Ч. 2: Оптические явления в полупроводниках / сост. Б.И.Селезнев; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого – Великий Новгород, 2012. – 31, [1] с.	16	https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1346
8 Физика конденсированного состояния: контрол. задания к практ. занятиям / сост. Б.И. Селезнев; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012. – 18, [1] с.	17	https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1349
Электронные ресурсы		

Таблица Б.2 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Павлов П.В. Физика твердого тела: учеб. для вузов. - 3-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2000. - 493,[1]с.	23	
2 Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. – М.: Высшая школа, 2001. – 573 с.: ил.	15	
3 Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров: учеб. пособие для вузов / Науч. ред. Л.А.Алешина. – М.: Техносфера, 2007. – 518 с.	3	
Электронные ресурсы		
Электронная библиотека по физике		https://mexalib.com/?id=55

Таблица Б.3 – Информационное обеспечение

Наименование ресурса	Договор	Срок договора
Профессиональные базы данных		
База данных электронной библиотечной системы вуза «Электронный читальный зал-БиблиоТех» https://www.novsu.ru/dept/1114/bibliotech/	Договор № БТ-46/11 от 17.12.2014	бессрочный
Электронный каталог научной библиотеки http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
База данных «Аналитика» (картотека статей) http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU https://elibrary.ru/	в открытом доступе	-
Национальная подписка в рамках проекта Министерства образования и науки РФ (Госзадание № 4/2017 г.) к наукометрическим БД Scopus и Web of Science https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic	регистрация (территория вуза)	2022
База данных электронно-библиотечной системы «Национальная электронная библиотека» https://нэб.пф	в открытом доступе	-
Информационные справочные системы		
Университетская информационная система «РОССИЯ» https://uisrussia.msu.ru	в открытом доступе	-
Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» https://openedu.ru	в открытом доступе	-
Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии http://protect.gost.ru/	в открытом доступе	-

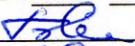
Зав. кафедрой  Б.И.Селезнев

« 26 » 12 20 18 г.

Приложение В
(обязательное)

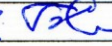
Лист актуализации рабочей программы
учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния»

Рабочая программа актуализирована на 2020/2021 учебный год.
 Протокол № 13 заседания кафедры от «02» 06 2020 г.
 Разработчик: Сенюшев Б.И. 
 Зав. кафедрой Сенюшев Б.И. 

Рабочая программа актуализирована на 2021/2022 учебный год.
 Протокол № 7 заседания кафедры от «10» 02 2021 г.
 Разработчик: Сенюшев Б.И. 
 Зав. кафедрой Сенюшев Б.И. 

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
 Протокол № __ заседания кафедры от «__» __ 20__ г.
 Разработчик: _____
 Зав. кафедрой _____

Таблица В.1 Перечень изменений, внесенных в рабочую программу:

Номер изменения	№ и дата протокола заседания кафедры	Содержание изменений	Зав.кафедрой	Подпись
1	Протокол №13 от 02.06.2020	Обновления и актуализация таблицы в п. 7.2	Сенюшев Б.И.	
2	Протокол №7 от 10.02.2021	Обновления и актуализация таблицы в п. 7.2	Сенюшев Б.И.	

Содержание изменений:

1 Актуализировать п. 7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица - Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению согласно ФГОС ВО	Наличие материально-технического оборудования	
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	аудитория для проведения лекционных и/или практических занятий: учебная мебель (столы, стулья, доска)	
		лаборатория: - ПК с подключением к сети «Интернет» (монитор ЖК17, системный блок Iwin EN021-2/4Hz) – 1 ед. - лабораторный комплекс - ФОЭЛ-5 – 2 ед.; - осциллограф TDS - 1 ед. - гониометр Г5М – 1 ед. - генератор ГОР-100М – 1 ед. - измеритель средней мощности лазерного излучения ИМО-2Н – 1 ед. - ИК Фурье-спектрометр – 1 ед. - монохроматор – 1 ед. - стенд лабораторный автоматизированный – 2 ед. - сканирующий зондовый микроскоп Solver NEXT. - установка «Исследование полупроводников методом эффекта Холла»; - установка «Инфракрасный Фурье-спектрометр»; - макет «Исследование температурной зависимости удельной проводимости полупроводников»; - макет «Изучение примесного оптического поглощения»; - макет «Изучение собственного оптического поглощения»; - макет «Анализ примесей и дефектов в арсениде галлия оптическим методом»; - макет «Исследование фотопроводимости полупроводников»; - макет «Исследование излучательной рекомбинации в полупроводниках».	
		помещения для самостоятельной работы (наличие компьютера , выход в Интернет)	
2.	Мультимедийное оборудование	ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети «Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800x600)	
3.	Программное обеспечение		
Наименование программного продукта		Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи
Microsoft Windows 7 Professional		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Windows 10 for Educational Use		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Office 2013 Standard		Open License № 62018256	31.07.2016
Microsoft Imagine (Microsoft Azure Dev Tools for Teaching) Standard		Договор №243/ю, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	19.12.2018
Kaspersky Endpoint Security Standard*		Лицензия № 1C1C1909170834236571324	17.09.2019
Антиплагиат. Вуз.*		Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВБ	10.02.2020
Подписка Microsoft Office 365		свободно распространяемое для вузов	-
Adobe Acrobat		свободно распространяемое	-
Teams		свободно распространяемое	-
Skype		свободно распространяемое	-
Zoom		свободно распространяемое	-

* отечественное производство

2 Актуализировать п. 7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица - Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению согласно ФГОС ВО	Наличие материально-технического оборудования	
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	аудитория для проведения лекционных и/или практических занятий: учебная мебель (столы, стулья, доска)	
		лаборатория: - ПК с подключением к сети «Интернет» (монитор ЖК17, системный блок Iwin EN021-2/4Hz) – 1 ед. - лабораторный комплекс - ФОЭЛ-5 – 2 ед.; - осциллограф TDS - 1 ед. - гониометр Г5М – 1 ед. - генератор ГОР-100М – 1 ед. - измеритель средней мощности лазерного излучения ИМО-2Н – 1 ед. - ИК Фурье-спектрометр – 1 ед. - монохроматор – 1 ед. - стенд лабораторный автоматизированный – 2 ед. - сканирующий зондовый микроскоп Solver NEXT. - установка «Исследование полупроводников методом эффекта Холла»; - установка «Инфракрасный Фурье-спектрометр»; - макет «Исследование температурной зависимости удельной проводимости полупроводников»; - макет «Изучение примесного оптического поглощения»; - макет «Изучение собственного оптического поглощения»; - макет «Анализ примесей и дефектов в арсениде галлия оптическим методом»; - макет «Исследование фотопроводимости полупроводников»; - макет «Исследование излучательной рекомбинации в полупроводниках».	
		помещения для самостоятельной работы (наличие компьютера , выход в Интернет)	
2.	Мультимедийное оборудование	ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети «Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800x600)	
3.	Программное обеспечение		
Наименование программного продукта		Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи
Microsoft Windows 7 Professional		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Windows 10 for Educational Use		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Office 2013 Standard		Open License № 62018256	31.07.2016
Microsoft Imagine (Microsoft Azure Dev Tools for Teaching) Standard		Договор №243/ю, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	19.12.2018
ABBYY FineReader PDF 15 Business. Версия для скачивания (годовая лицензия с академической скидкой)*		Договор №191/Ю	16.11.2020
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 500-999. Node 1 year Educational Renewal License *		Договор №148/ЕП(У)20-ВБ, 1C1C-200914-092322-497-674	11.09.2020
Антиплагиат. Вуз.*		Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВБ	29.01.2021
Подписка Microsoft Office 365		свободно распространяемое для вузов	-
Adobe Acrobat		свободно распространяемое	-
Teams		свободно распространяемое	-
Skype		свободно распространяемое	-
Zoom		свободно распространяемое	-

* отечественное производство