

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
8	4	144	17	17	0	57	17	Э
9	2	72	9	27	0	18	18	3
Итого	6	216	26	44	0	75	35	

АННОТАЦИЯ

Данная дисциплина является одной из основных при подготовке по профилю физики твердого тела. Рассматриваются основы кристаллографии, а также методы определения кристаллических структур, различные виды кристаллических связей и дефектов в твердых телах. Описаны колебания кристаллической решетки атомов и обосновано введение понятия «фонон». Объясняется роль квантовой статистики Бозе-Эйнштейна.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Показать многообразие физических явлений, протекающих в конденсированной фазе вещества. Научить оценивать характерные энергии, длины, времена релаксации различных физических взаимодействий в веществе, познакомить с основными подсистемами кристаллического состояния, показать роль фононов и кристаллической решетки в свойствах твердых тел.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: уравнения математической физики, квантовая механика, макроэлектродинамика, теория вероятностей, статистическая физика и термодинамика.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и университетскому курсу математики. Необходимо знать дифференциальное и интегральное исчисление, тензорный и векторный анализ, статистику и термодинамику, электричество и магнетизм, в том числе в материальных средах. Необходимо ориентироваться в задачах квантовой механики и статистической физики и пользоваться соответствующими формулами.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
проведение научных и аналитических исследований по	математические модели, методы исследования и	ПК-1 [1] - Способен использовать научно-техническую	З-ПК-1[1] - знать отечественный и зарубежный опыт по

<p>отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований; проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых</p>	<p>разработок, компьютерные программы, результаты исследования</p>	<p>информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области, ; У-ПК-1[1] - уметь использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области; В-ПК-1[1] - владеть современными компьютерными технологиями и методами использования информационных ресурсов в своей предметной области</p>
--	--	---	---

<p>процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок; создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>			
<p>проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной</p>	<p>математические модели, методы исследования и разработок, компьютерные программы, результаты</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов</p>	<p>З-ПК-2[1] - знать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного</p>

<p>области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований; проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в</p>	<p>исследования</p>	<p>автоматизированного проектирования и исследований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>проектирования и исследований; ; У-ПК-2[1] - уметь использовать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;; В-ПК-2[1] - владеть навыками математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;</p>
--	---------------------	---	---

<p>предметной области по профилю специализации; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок; создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>			
<p>проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными</p>	<p>математические модели, методы исследования и разработок, компьютерные программы, результаты исследования</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций</p>	<p>З-ПК-3[1] - знать основные физические законы и методы обработки данных ; У-ПК-3[1] - уметь работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных</p>

<p>планами и методиками исследований; проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в обобщении</p>		<p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>публикаций; В-ПК-3[1] - владеть навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией</p>
---	--	--	--

<p>полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок; создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>			
<p>проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований; проведение</p>	<p>математические модели, методы исследования и разработок, компьютерные программы, результаты исследования</p>	<p>ПК-8.1 [1] - Способен пользоваться основами физики твердого тела</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-8.1[1] - знать основы физики конденсированных сред: твердых тел, биологических систем, квантовомеханическое описание твердых тел, энергетические зоны; классификацию кристаллов на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории, физика металлов,; понятие квазичастицы;</p>

<p>фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и</p>			<p>квазиимпульса, энергетического спектра, эффективной массы и заряда квазичастиц; обменное взаимодействие и магнетики; основы физики полупроводников. ; У-ПК-8.1[1] - уметь предложить и обосновать схему эксперимента для задачи физики твердого тела, сформулировать математическую модель изучаемого процесса; В-ПК-8.1[1] - владеть квантовомеханическим описанием твердых тел на языке энергетических зон и квазичастиц, методами исследования структуры, оптических и электрофизических свойств конденсированных сред</p>
---	--	--	--

<p>аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок; создание программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>			
<p>участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты; изучение и анализ научно-технической информации,</p>	<p>проектный компьютерные алгоритмы и программы, техническая документация</p>	<p>ПК-4 [1] - Способен к расчету и проектированию элементов систем в соответствии с техническим заданием, требованиями безопасности и принципами CDIO <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-4[1] - знать типовые методики планирования и проектирования систем ; У-ПК-4[1] - уметь использовать стандартные средства автоматизации проектирования;; В-ПК-4[1] - владеть методами расчета и проектирования деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием , требованиями</p>

<p>отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; разработка проектной и рабочей технической документации: плана работ, технического задания и научно-технического отчета.</p>			<p>безопасности и принципами CDIO</p>
<p>производственно-технологический</p>			
<p>сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; участие в модернизации существующих, разработке и внедрении новых методов контроля качества материалов, производственно-технологических процессов и готовой продукции в квалифицированное использование исходных данных, материалов, оборудования, методов математического и физического моделирования производственно-</p>	<p>техническое задание, текущие рабочие материалы и документация по проекту</p>	<p>ПК-6 [1] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>3-ПК-6[1] - знать технические характеристики и принципы безопасного обслуживания технологического оборудования ; У-ПК-6[1] - уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживание оборудования; В-ПК-6[1] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования</p>

<p>технологических процессов и характеристик наукоемких технических устройств и объектов, включая использование алгоритмов и программ расчета их параметров; контроль соответствия выполненных работ требованиям технического задания и соотношения получаемых результатов с известными мировыми разработками и образцами в данной области исследований. составление технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование и т.п.), а также установленной отчетности по утвержденным формам.</p>			
--	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	9/9/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1
2	Часть 2	9-15	8/8/0		25	КИ-15	3-ПК-1, У-ПК-1, В-

							ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		17/17/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4,

							У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, З-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, З-ПК-1
	<i>9 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	5/14/0		25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, З-ПК-

							8.1, У- ПК- 8.1, В- ПК- 8.1
2	Часть 2	9-16	4/13/0		25	КИ-16	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 6, У- ПК-6, В- ПК-6, 3-ПК- 8.1, У- ПК- 8.1, В- ПК- 8.1
	<i>Итого за 9 Семестр</i>		9/27/0		50		
	Контрольные мероприятия за 9 Семестр				50	3	В- ПК-6, 3-ПК- 8.1, У- ПК-

							8.1, В- ПК- 8.1, 3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 6, У- ПК-6
--	--	--	--	--	--	--	--

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	17	17	0
1-8	Часть 1	9	9	0

1	Тема 1. Зонная структура твердых тел. Зонная структура твердых тел: полупроводники, металлы, диэлектрики - экспериментальные различия и особенности зонной структуры, известные значения ширины запрещенной зоны	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
2 - 3	Тема 2. Эффективная масса и подвижность носителей. Проводимость в тау-приближении (формула Друде).	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
4 - 5	Тема 3. Эффект Холла в полупроводниках. Эффект Холла в полупроводнике с двумя типами носителей. Коэффициент Холла.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
6	Тема 4. Закон действующих масс. Концентрации носителей в валентной зоне и зоне проводимости. Закон действующих масс. Собственная концентрация.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
7 - 8	Тема 5. Собственные полупроводники. Собственные полупроводники (невырожденный случай). Зависимости уровня Ферми и концентраций носителей от температуры.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
9-15	Часть 2	8	8	0
9 - 13	Тема 5. Примесные полупроводники Примесные полупроводники: доноры и акцепторы, уравнение для уровня Ферми, зависимости уровня Ферми и концентраций носителей от температуры. Явление компенсации.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
14 - 15	Тема 7. Диффузия носителей заряда Коэффициент диффузии, соотношение Эйнштейна, диффузионный и дрейфовый токи, уравнение непрерывности.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
	<i>9 Семестр</i>	9	27	0
1-8	Часть 1	5	14	0
1 - 3	Тема 8. Неравновесные носители. Взаимодействие полупроводника с оптическим излучением, темпы генерации и рекомбинации, линейная и квадратичная рекомбинация, характерные времена рекомбинации, механизмы рекомбинации	Всего аудиторных часов		
		2	6	0
		Онлайн		
4	Тема 9. Горячие электроны. Эффект Ганна, ВАХ в вариантах S- и N-типа, пробой.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
5 - 6	Тема 10. Контактные явления. Причины искривления зон около границы, контакт Шоттки. Ток термоэлектронной эмиссии.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
7 - 8	Тема 11. p-n контакт. Основные уравнения. Толщина обедненного слоя, вольт-амперная характеристика полупроводникового диода. Квазиуровни Ферми.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
9-16	Часть 2	4	13	0

9 - 14	Тема 12. Полупроводниковые гетероструктуры. Основные пары материалов, используемые для создания гетероструктур. Технологии изготовления. Размерное квантование и оценки порядков величин, особенности уравнения Шрёдингера для гетероструктур. Современные приборы на базе полупроводниковых гетероструктур.	Всего аудиторных часов		
		2	7	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	Тема 13. Фотовольтаические явления. Физические механизмы генерации электрического тока при освещении р-п перехода. Основные причины потерь энергии. Существующие подходы к повышению КПД.	Всего аудиторных часов		
		2	6	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>8 Семестр</i>
1 - 8	Тема 1 Энергетические зоны электронов в типичных полупроводниках. Электронные переходы через запрещённую зону для полупроводников с прямыми и непрямыми оптическими переходами. Энергетические зоны для типичных полупроводников: арсенид галлия и кремния.
9 - 15	Тема 2 Собственные и примесные полупроводники. Поверхности постоянной энергии для кремния вблизи минимума зоны проводимости. Кристаллическая решётка кремния. Пятивалентный атом примеси в решётке кремния. Трёхвалентный атом примеси в решётке кремния. Концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике. Концентрация электронов и дырок в примесном полупроводнике. Концентрация электронов и дырок в разрешённых зонах для случая вырождения. Температурная зависимость концентрации электронов в кремнии. Критерий вырождения электронного газа. Зависимость энергии Ферми от концентрации свободных носителей в кремнии. Подвижность свободных носителей заряда при различных

	<p>механизмах рассеяния. Подвижность электронов и дырок как функция концентрации легирующих примесей в германии, кремнии, арсениде галлия.</p>
	<i>9 Семестр</i>
1 - 8	<p>Тема 1 Оптические характеристики полупроводников и диэлектриков. Коэффициенты поглощения вблизи и выше края фундаментального поглощения для высокочистых монокристаллов кремния, германия и арсенида галлия. Зависимость коэффициента пропускания для двуокиси кремния, содержащей 1 % оксида кобальта. Зависимость коэффициента пропускания сапфира и рубина. Генерация и рекомбинация в полупроводниках и диэлектриках. Зависимость ширины запрещённой зоны для различных полупроводниковых соединений (нитридов, фосфидов, арсенидов, селенидов) от длины химической связи. Прямые и непрямые экситонные оптические переходы. Спектр поглощения чистого образца GaAs при температуре $T = 1,2$ К.</p>
9 - 16	<p>Тема 2 Поверхностные и контактные явления в полупроводниках. Термодинамическая работа выхода в полупроводниках p- и n- типов. Приборы с электронно-дырочными переходами. Зонная диаграмма p-n перехода. Вольт-амперная характеристика идеального p-n перехода. Зонная диаграмма биполярного транзистора. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора. Зонная диаграмма полупроводникового лазера на двойном гетеропереходе. Схема голубого инжекционного лазера на основе нитрида галлия с двойной гетероструктурой и квантовой ямой. Изменение потенциального барьера на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Коэффициент прозрачности для туннелирования через барьер. Туннельный микроскоп.</p>

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Существенную роль для освоения дисциплины играет разбор и решение задач на практических занятиях

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
ПК-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
ПК-8.1	З-ПК-8.1	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-8.1	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-8.1	Э, КИ-8, КИ-15	З, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные
60-64			

			формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Y91 Fundamentals of Semiconductors : Physics and Materials Properties, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010
2. ЭИ А 71 Введение в теорию полупроводников : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ И 83 Квантовая физика. Основные законы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2021
4. ЭИ Ч-34 Полупроводниковые наногетероструктуры с промежуточной энергетической подзоной : , Москва: Физматлит, 2016
5. 539.2 К 89 Тонкопленочные гетерокомпозиции на основе карбида кремния. Особенности получения гетерокомпозиций на основе карбида кремния. : , Москва: Физматлит, 2019
6. ЭИ Ш 18 Физика полупроводников : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
7. 621.38 Г95 Твердотельная электроника : учебное пособие для вузов, В. А. Гуртов, Москва: Техносфера, 2008
8. 621.38 С72 Физические основы твердотельной электроники : учебное пособие для вузов, О. П. Спиридонов, Москва: Высшая школа, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М75 Semiconductor Device Physics and Design : , Dordrecht: Springer Netherlands,, 2008
2. 620 А53 Избранные труды. Нанотехнологии : , Москва: Магистр-Пресс, 2013
3. 537 А71 Введение в теорию полупроводников : Учебное пособие для вузов, А. И. Ансельм, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008

4. 538.9 В75 Современная физика : конденсированное состояние: учебное пособие для вузов, В. К. Воронов, А. В. Подоплелов, Москва: ЛКИ, 2008
5. 621.38 Г18 Физика полупроводниковых приборов : Учеб.пособие для вузов, Гаман В.И., Томск: Изд-во науч.-техн.лит., 2000
6. 621.3 С49 Основы материаловедения и технологии полупроводников : Учеб. пособие для вузов, И. А. Случинская, Москва: МИФИ, 2002
7. 621.38 К64 Физика полупроводниковых приборов: режимы работы и параметры : учебное пособие, С. В. Кондратенко, В. А. Королев , Москва: МИФИ, 2009
8. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Ч. Киттель , М.: МедиаСтар, 2006

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса необходимо усвоить основные физические характеристики конденсированного состояния вещества, определяющие свойства металлов, диэлектриков и полупроводников.

Иметь чёткое представление о способах анализа легированных полупроводников. Понимать особенности применения способа рассмотрения примесей III и V групп в Si как водородоподобного атома, находящегося в среде с эффективной диэлектрической проницаемостью. Знать определение энергетического уровня Ферми. Уметь анализировать концентрации свободных носителей заряда по поведению уровня Ферми в зависимости от внешних воздействий (температуры, внешнего электрического поля).

Иметь представление об электронной и дырочной проводимости в собственных и примесных полупроводниках. Знать определение подвижности носителей заряда и уметь объяснять её температурную зависимость. Уметь анализировать температурную зависимость собственной и примесной проводимости.

Знать способы экспериментального определения типа проводимости полупроводника. Знать физические основы эффекта Холла, уметь объяснять температурное поведение Холловской разности потенциалов. Иметь качественное представление о гальвано-магнитных явлениях, которые могут сопровождать Холловские измерения.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Особое внимание в курсе необходимо уделить поведению электрона в полупроводниках различных типов, включая примесные и собственные полупроводники. При этом следует рассмотреть как стационарные, так и не стационарные процессы, уделить внимание влиянию примесей на проводимость полупроводника.

Рассказать о способах анализа легированных полупроводников. Обратит внимание на особенности применения способа рассмотрения примесей III и V групп в Si как водородоподобного атома, находящегося в среде с эффективной диэлектрической проницаемостью. Знать определение энергетического уровня Ферми. Научить анализировать концентрации свободных носителей заряда по поведению уровня Ферми в зависимости от внешних воздействий (температуры, внешнего электрического поля).

Дать представление об электронной и дырочной проводимости в собственных и примесных полупроводниках. Дать определение подвижности носителей заряда и объяснять её температурную зависимость. Провести анализ температурной зависимости собственной и примесной проводимости.

Познакомить студентов с экспериментальными способами определения типа проводимости полупроводника. Выявить физические основы эффекта Холла, объяснить температурное поведение Холловской разности потенциалов. Дать краткое описание гальвано-магнитных явлений, которые могут сопровождать Холловские измерения.

Перед описанием контактных явлений необходимо уделить время изучению поведения электронов в кристалле под действием сильного электрического поля, искажения зон и термоэлектронной эмиссии. После этого можно переходить к рассмотрению контакта металл-полупроводник, p-n перехода в равновесном состоянии, а также выравнивающими свойствами p-n перехода.

Автор(ы):

Осипов Максим Андреевич

Карцев Петр Федорович, к.ф.-м.н.