

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ГЕТЕРОСТРУКТУР

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

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, экз./зач./КР/КП
2	4	144	30	30	30		18	0	Э
Итого	4	144	30	30	30	0	18	0	

АННОТАЦИЯ

Курс “ Экспериментальная физика полупроводников и гетероструктур ориентирован на ознакомление студентов с фундаментальными свойствами полупроводников и полупроводниковых гетероструктур, и явлениями, в них происходящими, а также дать им начальное представление об основных экспериментальных методах их исследования. Предполагается, что предварительно студенты прослушали вводный курс «Введение в физику полупроводников» и уже знакомы с основными принципами физики твердого тела, а также обладают знаниями по общей физике и нерелятивистской квантовой механике в объеме университетских программ.

Наряду со свойствами объемных полупроводников рассматриваются свойства полупроводниковых гетероструктур, кратко приводятся необходимые сведения по технологическим методам их роста, анализируются энергетические диаграммы гетеропереходов и сложных гетероструктур. Значительное внимание уделено также полупроводниковым структурам пониженной размерности, т.е. структур, в которых движение носителей заряда ограничено в одном или нескольких пространственных направлениях на расстояниях порядка длины волны де-Бройля. Происходящие при этом кардинальные изменения свойств таких систем открывают чрезвычайно широкие возможности для различного рода их применений, прежде всего в полупроводниковой электронике и оптоэлектронике.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – ознакомить студентов с фундаментальными свойствами полупроводников и полупроводниковых гетероструктур, и явлениями, в них происходящими, а также дать им начальное представление об основных экспериментальных методах их исследования.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: физика твердого тела, взаимодействие излучения с веществом. Предполагается, что предварительно студенты уже знакомы с основными принципами физики твердого тела, а также обладают знаниями по общей физике и нерелятивистской квантовой механике в объеме университетских программ.

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	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной	Код и наименование индикатора
-------------------------	---------------------------	-------------------------------------	-------------------------------

деятельности (ЗПД)		компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	достижения профессиональной компетенции
экспертно-аналитический			
<p>Изучение и анализ научно-технической информации, 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; сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций,</p>	<p>Научная и аналитическая информация, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования; научные и аналитические отчеты, публикации и презентации по результатам исследований.</p>	<p>ПК-20.2 [1] - Способен ориентироваться в современных экспериментальных достижениях физики конденсированного состояния, в возможностях современных пучковых и лазерных технологий в применении к конкретным методам создания, обработки и исследования различных твердотельных материалов и наноструктур, основных экспериментальных фактах физики сверхпроводимости и техники низких температур, их применениях в экспериментальной технике и промышленности.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>3-ПК-20.2[1] - последние теоретические и экспериментальные достижения физики конденсированного состояния, применения современных сверхпроводящих материалов, фазовых переходов в современных материалах, применения современных сверхпроводящих материалов, возможности современных пучковых и лазерных технологий в применении к конкретным методам создания, обработки и исследования различных твердотельных материалов и наноструктур; У-ПК-20.2[1] - уметь предложить и обосновать схему эксперимента по лазерной обработке материалов, лазерному напылению тонких пленок, исследованию поверхности, твердотельных материалов или наноструктур, для исследования фазовых переходов в современных материалах; В-ПК-20.2[1] - владеть современными</p>

участие во внедрении результатов исследований и разработок.			экспериментальными данными в области физики взаимодействия излучения оптического диапазона с веществом в конденсированном состоянии, методов исследования структурных и электронных свойств твердых тел
Изучение и анализ научно-технической информации, 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; сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных	Научная и аналитическая информация, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования; научные и аналитические отчеты, публикации и презентации по результатам исследований.	ПК-10 [1] - Способен к построению аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе и к выбору на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	З-ПК-10[1] - Знать основные методы построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе. ; У-ПК-10[1] - Уметь применять методы и принципы построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе для решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера; В-ПК-10[1] - Владеть навыками построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе и к выбору на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера

и аналитических исследований; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок.			
инновационный			
Сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей.	Научно-технические и организационные решения.	ПК-5 [1] - Способен применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 26.003	З-ПК-5[1] - Знать физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования, принципы экспертизы продукции для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий ; У-ПК-5[1] - Уметь применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий; В-ПК-5[1] - Владеть навыками теоретического и экспериментального исследования, математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Прак- т. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	16/16/16		25	КИ-8	3-ПК-20.2, У-ПК-20.2, В-ПК-20.2, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
2	Второй раздел	9-15	14/14/14		25	КИ-15	3-ПК-20.2, У-ПК-20.2, В-ПК-20.2, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		30/30/30		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-20.2, У-ПК-20.2, В-ПК-20.2

* – 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
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	30	30	30
1-8	Первый раздел	16	16	16
1	Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Рекомбинация носителей. Время жизни. Кинетика неравновесных носителей. Уравнение непрерывности. Максвелловское время релаксации.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	2 0
2	Фотопроводимость. Методы измерения времени жизни и коэффициента диффузии неравновесных носителей. Детекторы на основе эффекта фотопроводимости.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	2 0
3	Экспериментальные методы измерения электропроводности. 4-х зондовый метод. Метод Ван дер Пау. Метод Ван дер Пау для измерения эффекта Холла.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	2 0
4	Контакт металл-полупроводник. Зонная диаграмма. Барьер Шоттки. Вольт-амперная характеристика и выпрямление тока. Омический контакт.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	2 0
5	P-n переход. Вольт-амперная характеристика. Выпрямление. Область пространственного заряда. Емкость p-n перехода.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	2 0
6	Фотовольтаический эффект – фотоэдс. Фотовольтаические преобразователи электромагнитного излучения. Фотодиод.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	2 0
7	Полупроводниковый инжекционный лазер. Принцип действия полупроводникового инжекционного лазера. Инверсия населенностей и квазиуровни Ферми.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	2 0
8	Биполярный транзистор. Принцип действия и основные характеристики.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	2 0
9-15	Второй раздел	14	14	14
9	Гетероструктуры. Элементы теории гетеропереходов. Типы гетеропереходов. Построение энергетической диаграммы анизотипного и изотипного гетероперехода.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	1 0	1 0
9	Материалы для гетероструктур. Принцип изопериодического замещения в многокомпонентных твердых растворах. Четырехкомпонентные диаграммы для выбора изопериодических составов в системах A3B5, A2B6 и A4B6. Технологии молекулярно-пучковой и МОС-гидридной эпитаксии для роста полупроводниковых гетероструктур.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	1 0	1 0

10	Полевой МДП транзистор. Транзистор на одиночном гетеропереходе. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT).	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		
11	Тонкая полупроводниковая пленка. Размерное квантование спектра электрона в тонкой полупроводниковой пленке. Двумерный электронный газ. Плотность состояний.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		
12	Низкоразмерные электронные системы. МДП-структуры, одиночный гетеропереход, квантовые ямы, нити и точки.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		
13	Светодиоды и лазеры на низкоразмерных гетероструктурах. Светодиоды и лазеры на низкоразмерных гетероструктурах.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		
14	Резонансное туннелирование в структурах с квантовыми ямами. Резонансно-туннельный диод. Сверхрешетки.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		
15	Квантовые каскадные лазеры. Принцип действия и типы рабочих переходов. Инжектор. Характеристики квантового каскадного лазера.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		

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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 2	Вводная лекция и инструктаж по технике безопасности Вводная лекция по оформлению лабораторных работ, содержанию отдельных лабораторных, эффектам и методам расчета, на которые надо обратить внимание, рекомендуемая литература. Инструктаж по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.
3 - 8	Выполнение лабораторных работ Работы выполняются в подгруппах по 2-3 человека по индивидуальному плану. Каждый студент должен выполнить определенное количество работ из следующего списка:

	1. Методы лазерного напыления тонких пленок 2. Профилометрия тонких пленок 3. Ферромагнитный резонанс 4. Эффект Холла 5. Электронный парамагнитный резонанс
9 - 15	Выполнение лабораторных работ продолжение выполнения работ из списка

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия с использованием компьютерных технологий, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашних заданий и повторении ранее пройденного материала.

Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе проводимых в НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

6. 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)
ПК-10	З-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-20.2	З-ПК-20.2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-20.2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-20.2	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15

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	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка
-------	------------------------------	------------------	--------

баллов			ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Киттель Ч., М.: МедиаСтар, 2006
2. ЭИ Р25 Методы получения эпитаксиальных гетерокомпозиций : учебное пособие для вузов, Ратушный В.И., Ермолаева Н.В., Смолин А.Ю., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
3. ЭИ П 19 Полупроводниковые приборы : , Пасынков В. В., Чиркин Л. К., Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. ЭИ Н63 Сборник задач по курсу "Физика твердого тела" : , Маймистов А.И., Николаев И.Н., Москва: МИФИ, 2009

5. 621.38 Ф50 Физика низкоразмерных систем : Учеб. пособие для вузов, Бакуева Л.Г. [и др.], СПб: Наука, 2001

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Н19 Development of an Effusive Molecular Beam Apparatus : , Halwidl, Daniel. , Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016
2. 539.2 3-15 Задачи по физике наноструктур для научно-исследовательской работы студентов : учебно-методическое пособие, Подливаев А.И. [и др.], Москва: МИФИ, 2007
3. ЭИ Д 72 Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 2 : учебное пособие для вузов, Драгунов В. П., Москва: Юрайт, 2022
4. 537 Г90 Основы физики полупроводников. Нанofизика и технические приложения : , Грундман М., Москва: Физматлит, 2012
5. ЭИ Б 83 Полупроводник и ферромагнетик монооксид европия в спинтронике : учебное пособие, Трошин А. В., Борухович А. С., Санкт-Петербург: Лань, 2022
6. 539.2 Б 49 Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением : , Сейдман Л.А., Берлин Е.В., Москва: Техносфера, 2014
7. ЭИ А 46 Технология полупроводниковых материалов : , Греков Ф. Ф., Александров С. Е., Санкт-Петербург: Лань, 2022
8. ЭИ Т 57 Тонкопленочные гетерокомпозиции на основе карбида кремния. Раздел: Физико-технологические основы получения гетероструктур. : учебно-метод. пособие, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2018
9. ЭИ Е50 Физика и техническое применение наноструктур : лабораторный практикум, Катеев И.Ю., Елесин В.Ф., Безотосный И.Ю., Москва: МИФИ, 2008
10. 537 3-47 Физика полупроводников : , Зеегер К., М.: Мир, 1977

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

После изучения курса студент должен ориентироваться в следующих аспектах физики полупроводников и полупроводниковых гетероструктур:

- Кинетика неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Решения уравнения непрерывности совместно с уравнениями кинетики в простых случаях.

- Диффузия и дрейф неравновесных носителей в полупроводниках.

- Зонная структура контакта металл-полупроводник, выпрямление тока в контакте Шоттки

- свойства p-n перехода.

- фотоэдс и физические механизмы генерации электрического тока при освещении p-n перехода.

- гетероструктуры, принципы построения зонных диаграмм гетеропереходов, основные типы гетероструктур;

- размерное квантование и низкоразмерные электронные системы.

Если студент обнаруживает у себя пробелы в необходимых разделах математики и физики, он должен немедленно обратиться к преподавателю за методическими указаниями по их устранению.

При подготовке к лабораторным работам необходимо проработать соответствующее учебное пособие и теоретический материал, понять суть явления и схему установки, задачи каждого элемента установки, порядки величин и основные расчетные формулы.

Работа состоит из допуска (ответа на вопросы по содержанию прочитанного практикума, теории эффекта и схеме установки), выполнения лабораторной работы и защиты отчета с полученными результатами.

Помимо слушания лекций для самостоятельной проработки материала настоятельно рекомендуется пользоваться рекомендуемыми ниже учебными пособиями

ОСНОВНАЯ

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 2006.

2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1977, 1990.

3. А. Я. Шик и др., Физика низкоразмерных систем, СПб: Наука, 2001

4. Николаев И. Н., Маймистов А. И. Сборник задач по курсу "Физика твердого тела". М.: МИФИ, 2009.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Основы физики полупроводников. Нанопизика и технические приложения : , Москва: Физматлит, 2012

2. Зеегер К. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977

3. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников / Пер. с англ. И.И.Решиной. Под ред. Б.П. Захарчени. — 3-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

После изучения курса студент должен ориентироваться в следующих аспектах физики полупроводников и полупроводниковых гетероструктур:

- Кинетика неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Решения уравнения непрерывности совместно с уравнениями кинетики в простых случаях.

- Диффузия и дрейф неравновесных носителей в полупроводниках.

- Зонная структура контакта металл-полупроводник, выпрямление тока в контакте

Шоттки

- свойства p-n перехода.

- фотоэдс и физические механизмы генерации электрического тока при освещении p-n перехода.

- гетероструктуры, принципы построения зонных диаграмм гетеропереходов, основные типы гетероструктур;

- размерное квантование и низкоразмерные электронные системы.

Порядок выполнения лабораторных работ и конкретное распределение студентов по подгруппам определяются с учётом тематики и профиля НИР студентов.

Перед началом каждой лабораторной работы проводится теоретический допуск, проверяется знакомство с теоретическим материалом и соответствующим учебным пособием, студентов просят объяснить понятие сути явления и схему установки, задачи каждого элемента установки, проверяется ориентация в порядках величин и знание основных расчетных формул.

Результаты выполнения работы необходимо оформить в виде отчёта и защитить, для чего ответить на дополнительные вопросы.

Автор(ы):

Митягин Юрий Алексеевич, к.ф.-м.н., с.н.с.