

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
ФИЗИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практических подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
8	2	72	0	0	45		27	0	3
Итого	2	72	0	0	45	24	27	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе даются сведения о различных низкоразмерных физических системах. Рассматриваются методы их приготовления и исследования. Основное внимание уделяется технике проведения физических экспериментов с низкоразмерными объектами. Обсуждаются основные области применения наноструктур.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать студентам базовые знания по свойствам наноразмерных объектов, экспериментальной технике получения, исследования и практического применения наноструктур.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина даёт необходимые знания по физике низкоразмерных систем и готовит к проведению НИР и экспериментальной исследовательской работы

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
Разработка лазерных и оптических технологий; анализ поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики; экспериментальные исследования в области фотоники и оптоинформатики новых явлений, материалов, систем и	Лазерные технологии, элементы в составе лазерных систем, оптические материалы и детали, дифракционные оптические элементы, голограммы	ПК-1 [1] - способен к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	3-ПК-1[1] - Знать современное состояние развития фотоники и оптоинформатики ; У-ПК-1[1] - уметь анализировать исходные требования при решении задач в области фотоники и оптоинформатики проводить поиск научно-технической

устройств			информации по теме решаемой задачи уточнять и корректировать требования к решаемой задаче в области фотоники и оптоинформатики ; В-ПК-1[1] - Владеть навыками анализа простых исследовательских задач в области фотоники и оптоинформатики
проектно-конструкторский			
Проектирование и конструирование оптических технологий передачи, приема, обработки, хранения и отображения информации; участие в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов изделий, узлов, элементов приборов и систем фотоники и оптоинформатики	Элементная база фотоники и оптоинформатики и цифровые методы анализа	<p>ПК-4 [1] - способен к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.007</p>	<p>З-ПК-4[1] - Знать основные правила разработки проектной и рабочей технической документации, правила оформления конструкторской документации принципы и методы расчета и проектирования деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием. ;</p> <p>У-ПК-4[1] - Уметь анализировать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым узлам и элементам рассчитывать и проектировать детали и узлы приборов и установок, разрабатывать проекты технических описаний установок и приборов, проводить концептуальную и проектную проработку типовых систем, приборов,</p>

			деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях ; В-ПК-4[1] - Владеть методами анализа и расчета, навыками конструирования и проектирования в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях, методами расчета и проектирования деталей и узлов приборов и установок с использованием стандартных средств автоматизации
--	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-

		исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытых и теорий.

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (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	Раздел 1	1-8	0/0/24		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Раздел 2	9-15	0/0/21		25	КИ-12	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		0/0/45		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	3	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4

* – 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
3	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	0	0	45
1-8	Раздел 1	0	0	24
1 - 2	Тема 1. Введение Место наноразмерных объектов в окружающем нас мире. Подходы «снизу вверх» и «сверху вниз». Манипуляции на квантовом уровне. Низкоразмерные физические системы. Квантовая механика – основа физики наноразмерных структур. Типы и виды наноструктур.	Всего аудиторных часов 0	0	6
		Онлайн		
		0	0	0

	Квантовые ямы, проволоки, точки.			
3 - 4	Тема 2. Методы приготовления наноструктур Понятие эпитаксии. Соизмеримость решеток. Лазерное и магнетронное распыление. Принципы молекулярно-лучевой эпитаксии. Особенности МЛЭ. Критическая температура эпитаксии. Оптическая, электронная и рентгеновская литография. Методы изготовления электрических контактов.	Всего аудиторных часов 0 0 6 Онлайн 0 0 0		
5	Тема 3. Электрические методы исследования. Вольт-амперные характеристики. Особенности двух и четырехконтактой схемы измерений. Классический эффект Холла в случае одного и двух типов носителей. Метод Ван-дер-Пау.	Всего аудиторных часов 0 0 3 Онлайн 0 0 0		
6	Тема 4 Оптические методы исследования наноструктур. Понятие люминесценции. Флуоресценция, фосфоресценция, фотолюминесценция, электролюминесценция, радиолюминесценция, хемилюминесценция, кандолюминесценция. Особенности фотолюминесценции. Стоковые потери. Люминесценция свободных экситонов. Фоновые повторения. Экситонно-примесные уровни. Идентификация примесей. Фотолюминесценция квантово-размерных структур.	Всего аудиторных часов 0 0 3 Онлайн 0 0 0		
7 - 8	Тема 5. Автоэлектронная и автоионная эмиссия. Физические основы автоэлектронной эмиссии. Теория Фаулера-Нордгейма. Полевая эмиссионная микроскопия. Автоэлектронный и автоионный микроскопы. Увеличение и разрешение эмиссионных микроскопов. Требование к игле. Основные направления автоэмиссионных исследований.	Всего аудиторных часов 0 0 6 Онлайн 0 0 0		
9-15	Раздел 2	0 0 21		
9 - 10	Тема 6. Сканирующая зондовая микроскопия нанообъектов. Принципы зондовой микроскопии. Сканирующий туннельный микроскоп. Режимы обратной связи. Параметры, влияющие на туннельный ток. Принципы атомно-силовой микроскопии. Контактная, полуконтактная, бесконтактная моды.	Всего аудиторных часов 0 0 6 Онлайн 0 0 0		
11 - 12	Тема 7. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа. Реплики. Контраст.	Всего аудиторных часов 0 0 6 Онлайн 0 0 0		
13	Тема 8. Нанотрубки. Свойства и характеристики углеродных нанотрубок. Одностенные и многостенные нанотрубки. Методы получения нанотрубок. Хиральность. Связь диаметра и индексов хиральности. Дефекты нанотрубок.	Всего аудиторных часов 0 0 3 Онлайн 0 0 0		
14 - 15	Тема 9. Применение наноструктур. Практическое использование нанотрубок. Применение полупроводниковых наноструктур. Мембранны. Нанодисперсные материалы.	Всего аудиторных часов 0 0 6 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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>8 Семестр</i>
1 - 8	Выполнение лабораторных работ В течение семестра студенты выполняют работы из списка ниже, в группах по 2-3 человека, по индивидуальному графику. 1. Методы лазерного напыления тонких пленок 2. Профилометрия тонких пленок 3. Каталитические свойства халькогенидов переходных металлов 4. Атомно-силовая микроскопия
9 - 15	Выполнение лабораторных работ продолжение выполнения работ из списка

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Для успешного освоения материала курса рекомендуется посещение научных семинаров, конференций, проводимых в НИЯУ МИФИ и институтах РАН, популярных лекций приглашенных ученых

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)
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-12
ПК-4	З-ПК-4	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-4	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-4	З, КИ-8, КИ-12

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		E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»		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.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ H99 Solid-State Physics : An Introduction to Principles of Materials Science, Luth, Hans. , Ibach, Harald. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009

2. ЭИ S98 Synchrotron Light Sources and Free-Electron Lasers : Accelerator Physics, Instrumentation and Science Applications, , Cham: Springer International Publishing, 2016
3. ЭИ М31 Введение в физику наноструктур : учебное пособие для вузов, Опенов Л.А., Маслов М.М., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. ЭИ Б 82 Лазеры: применения и приложения : , Ивакин С. В. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022
5. 620 Г87 Материаловедение для микро- и наноэлектроники : учебное пособие для вузов, Краснюк А.А., Громов Д.В., Москва: МИФИ, 2008
6. ЭИ А 19 Прикладной катализ : учебник, Аветисов А. К., Брук Л. Г., Санкт-Петербург: Лань, 2020
7. ЭИ М 92 Физические методы нанесения нанопокрытий : учебное пособие для вузов, Мухин В. С., Москва: Юрайт, 2021
8. ЭИ Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : учебное пособие для вузов, Троян В.И. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
9. ЭИ Д 93 Электронные свойства и применение нанотрубок.—4-е изд., электрон. — (Нанотехнологии) : , Дьячков П. Н., Москва: Лаборатория знаний, 2020

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 К55 Введение в нанотехнологию : , Кобаяси Н., М.: Бином, Лаборатория знаний, 2008
2. 539.2 К55 Введение в нанотехнологию : , Кобаяси Н., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2005
3. 621.38 Н40 Зондовые нанотехнологии в электронике : , Неволин В.К., М.: Техносфера, 2005
4. 542 И 88 Исследование свойств катализаторов : Методические указания к выполнению лабораторных работ, , Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2021
5. ЭИ А72 Методические указания и лабораторные работы по курсам "Технология наноструктур" и "Технология тонких пленок" : учебно-методическое пособие для вузов, Антоненко С.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
6. 621.38 Р25 Методы получения epitаксиальных гетерокомпозиций : учебное пособие для вузов, Ратушный В.И., Ермолаева Н.В., Смолин А.Ю., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
7. 620 Н25 Наноматериалы и нанотехнологии : учебник для вузов, Калинин В.Т. [и др.], Запорожье: Мотор Сич, 2014
8. 620 Н25 Наноматериалы: свойства и перспективные приложения : , , Москва: Научный мир, 2014

9. 621.3 М29 Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники : , Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Руеда Ф., Мартинес-Дуарт Дж.М., Москва: Техносфера, 2007
10. 539.2 С89 Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов : , Суздалев И.П., Москва: Либроком, 2013
11. 535 А91 Оптические методы диагностики нанообъектов : учебное пособие, Зайцев С.А., Астапенко В.А., Москва: МФТИ, 2011
12. 539.2 Б 49 Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением : , Сейдман Л.А., Берлин Е.В., Москва: Техносфера, 2014
13. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., : Физматлит, 2004
14. ЭИ А72 Технология тонких пленок : учебное пособие для вузов, Антоненко С.В., Москва: МИФИ, 2008
15. 539.2 Х21 Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века : , Харрис П., М.: Техносфера, 2003
16. 533 Ц93 Физические основы плазменной и лазерной технологий : Учеб. пособие, Цыбин А.С., Москва: МИФИ, 2002

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Nanonewsnet (<http://www.nanonewsnet.ru>)
2. Nanomarket (<http://www.nanomarket.ru/>)
3. Nanotech (<http://www.nanotech.ru/>)

<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

После изучения курса студент должен твердо знать типы и виды наноструктур. Квантовые ямы, проволоки, точки. Понятие гетеропереходов. Свойства германия и кремния. Свойства полупроводниковых соединений типа А₁В₁В₂. Характеристики Твердые растворы (тройные сплавы) на основе соединений А₁В₁В₂. Мелкие доноры и мелкие акцепторы. Дельта-

легирование. Понятие эпитаксии. Принципы молекулярно-лучевой эпитаксии. Особенности МЛЭ. Критическая температура эпитаксии. Оптическая, электронная и рентгеновская литография. Методы изготовления электрических контактов. Особенности двух и четырехконтактной схемы измерений. Классический эффект Холла в случае одного и двух типов носителей. Метод Ван-дер-Пау. Измерение и применение вольтфарадных характеристик. Принципы резонансного туннелирования. Вольт-амперные характеристики двух- и трехбарьерного резонансно-туннельного диода. Генерация микроволнового излучения в квантово-размерных диодных резонансно-туннельных структурах. Понятие двумерного электронного газа. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Осцилляции Шубникова де Гааза. Понятие люминесценции. Особенности фотолюминесценции. Люминесценция свободных экситонов. Идентификация примесей. Фотолюминесценция квантово-размерных структур. Физические основы автоэлектронной эмиссии. Теория Фаулера-Нордгейма. Полевая эмиссионная микроскопия. Автоэлектронный и автоионный микроскопы. Принципы зондовой микроскопии. Сканирующий туннельный микроскоп. Режимы обратной связи. Параметры, влияющие на туннельный ток. Принципы атомно-силовой микроскопии. Контактная, полуконтактная, бесконтактная моды. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Свойства и характеристики углеродные нанотрубок. Хиральность. Методы получения нанотрубок. Практическое использование нанотрубок. Применение наноструктур.

Студент должен уметь применять фундаментальные законы в области физики наноструктур для самостоятельного комбинирования и синтеза реальных идей, применять теоретические и компьютерные методы исследований в области физики наноструктур, производить поиск нужной информации в специальной научно-технической и патентной литературе по тематике исследований и разработок, применять экспериментальные методы электрофизических, оптических и структурных исследования наноструктур, а также владеть методами измерения вольтамперных, вольфарадных, магнитных, оптических и структурных характеристик нанообъектов.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При чтении курса следует придерживаться следующей последовательности изложения. Сначала рассматриваются общие вводные понятия. Место наноразмерных объектов в окружающем нас мире. Подходы «снизу вверх» и «сверху вниз». Манипуляции на квантовом уровне. Низкоразмерные физические системы. Квантовая механика – основа физики наноразмерных структур. Типы и виды наноструктур. Квантовые ямы, проволоки, точки. Даётся понятие гетеропереходов. Гетеропереходы на основе полупроводников. Свойства германия и кремния. Свойства полупроводниковых соединений типа А₁В₂. Твердые растворы (тройные сплавы) на основе соединений А₁В₂. Мелкие доноры и мелкие акцепторы. Дельта-легирование. Затем обсуждаются методы приготовления наноструктур. Понятие эпитаксии. Соизмеримость решёток. Лазерное и магнетронное распыление. Принципы молекулярно-лучевой эпитаксии. Особенности МЛЭ. Критическая температура эпитаксии. Оптическая, электронная и рентгеновская литография. Методы изготовления электрических контактов. Рассматриваются электрические методы исследования. Вольт-амперные характеристики. Особенности двух и четырехконтактной схемы измерений. Классический эффект Холла в случае одного и двух типов носителей. Метод Ван-дер-Пау. Подробно изучается резонансно-туннельный диод. Принципы резонансного туннелирования. Вольт-амперные характеристики

двух- и трехбарьерного резонансно-туннельного диода. Влияние температуры на свойства РТД. Генерация микроволнового излучения в квантово-размерных диодных резонансно-туннельных структурах. Вольтфарадные характеристики структур с квантовыми ямами. После этого переходят к теме, связанной с квантовыми явлениями в двумерном электронном газе. Понятие двумерного электронного газа. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Осцилляции Шубникова де Гааза. Экспериментальное изучение квантового эффекта Холла в двумерном электронном газе. После электрических свойств изучаются оптические методы исследования наноструктур. Даётся понятие люминесценции. Флуоресценция, фосфоресценция, фотолюминесценция, электролюминесценция, радиолюминесценция, хемилюминесценция, кандолюминесценция. Особенности фотолюминесценции. Стоковые потери. Люминесценция свободных экситонов. Фононные повторения. Экситонно-примесные уровни. Идентификация примесей. Фотолюминесценция квантово-размерных структур. Из структурных методом исследований изучаются автоэлектронная и автоионная эмиссия, сканирующая зондовая микроскопия нанообъектов, просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Заканчивается курс обсуждением свойств нанотрубок и применением применение наноструктур.

Во время проведения лекций желательно использовать проекционную технику, а также инициировать обсуждение материала методом «вопросов в аудиторию».

Автор(ы):

Руднев Игорь Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент

Покровский Сергей Владимирович