

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

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ
КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 4

от 23.07.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИЙ (ЧАСТЬ 1)

Направление подготовки
(специальность)

[1] 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

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
7	3	108	24	24	0		24	0	Э
Итого	3	108	24	24	0	0	24	0	

АННОТАЦИЯ

Учебной задачей данного курса является освоение знаний про основные понятия о наноструктурах, их систематизации, общих физических методах получения наноструктур, основных физических свойствах и применениях наноструктур.

Курс состоит из следующих основных частей: квантование энергетических уровней в одномерных потенциальных ямах, эффект размерного квантования, современные методы получения наноструктур, методы диагностики и характеристики наноструктур, применение наноструктур.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины является получение знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области исследований, разработок и технологий, направленных на понимание процессов, происходящих в области нанофотоники, физики нанообъектов и конденсированного состояния вещества и управление процессами на наноуровне.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Профессиональный блок, дисциплина по выбору

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
производственно-технологический			
Выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и	ПК-10 [1] - Способен к модернизации существующих и внедрению новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и	З-ПК-10[1] - Знание физических основ современных микро- и нанотехнологий, технологий гетероструктурной и СВЧ-электроники.; У-ПК-10[1] - Умение

	конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.	наноструктур <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.003	творчески применять современное оборудование для измерений параметров наноматериалов и наноструктур; В-ПК-10[1] - Владение методами измерений параметров наноматериалов и наноструктур
--	---	--	---

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием

		новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - 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 открытий и теорий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам

		поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование

		воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование коммуникативных навыков в области разработки и производства полупроводниковых изделий (В36)	1.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Введение в специальность», «Введение в технику физического эксперимента», «Измерения в микро- и нанoeлектронике», «Информационные технологии в физических исследованиях», «Экспериментальная учебно-исследовательская работа» для: - формирования навыков безусловного выполнения всех норм безопасности на рабочем месте, соблюдении мер предосторожности при выполнении исследовательских и производственных задач с опасными веществами и на оборудовании полупроводниковой промышленности, а также в помещениях с высоким классом чистоты посредством привлечения действующих специалистов полупроводниковой промышленности к реализации учебных дисциплин и сопровождению проводимых у студентов практических работ в

		этих организациях, через выполнение студентами практических и лабораторных работ, в том числе с использованием современных САПРов для моделирования компонентной базы электроники, измерительного и технологического оборудования на кафедрах, лабораториях и центрах ИНТЭЛ; 2.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Спецпрактикум по физике наносистем», «Спецпрактикум по нанотехнологиям», «Специальный практикум по физике наносистем», «Современные проблемы физики конденсированных сред (спецсеминар)», «Экспериментальные методы исследования наноструктур (спецсеминар)», для: - формирования профессиональной коммуникации в научной среде; - формирования разностороннего мышления и тренировки готовности к работе в профессиональной и социальной средах полупроводниковой промышленности - формирования умений осуществлять самоанализ, осмысливать собственные профессиональные и личностные возможности для саморазвития и самообразования, в целях постоянного соответствия требованиям к эффективным и прогрессивным специалистом для разработок новых материалов и устройств по направлениям, связанным с СВЧ электроникой, микро- и нанопроцессорами, оптическими модуляторами и применением новых материалов
--	--	--

		в нанoeлектронных компонентах через организацию практикумов в организациях по разработке и производству полупроводниковых изделий, использование методов коллективных форм познавательной деятельности, ролевых заданий, командного выполнения учебных заданий и защиту их результатов.
--	--	---

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>7 Семестр</i>						
1	Основные понятия физики твердого тела. Теория энергетического спектра полупроводниковых наногетероструктур	1-8	12/12/0		25	КИ-8	З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
2	Основы технологии создания полупроводниковых наногетероструктур. Применение наногетероструктур в области микро- и оптоэлектроники	9-15	12/12/0		25	КИ-16	З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		24/24/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10

* – 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>7 Семестр</i>	24	24	0
1-8	Основные понятия физики твердого тела. Теория энергетического спектра полупроводниковых наногетероструктур	12	12	0
1	Тема 1 Длина волны Де Бройля. Эффект размерного квантования, классификация наноструктур. Основные понятия физики твердого тела. Кристаллическая структура, элементарная ячейка, понятие об обратной решетке.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Тема 2 Основные понятия физики твердого тела. Уравнение Шредингера в одноэлектронном приближении. Теорема Блоха. Энергетические зоны в кристалле и классификация веществ по типу проводимости (металл, полупроводник, диэлектрик). Модель сильной связи.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Тема 3 Основные понятия физики твердого тела. Понятие дырки. Эффективная масса. Физический смысл эффективной массы. Уравнение движения электрона во внешнем электрическом поле.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Тема 4 Основные понятия физики твердого тела. Заполнение энергетических зон. Функция распределения и плотность состояний и функции распределения в 3D случае. Уровень ферми в металле и полупроводнике. Собственные и примесные полупроводники.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Тема 5 Гетеропереход. Понятие гетероперехода, типы гетеропереходов. Условия сшивки волновой функции на гетерогранице. Уравнение для огибающей волновой функции.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Тема 6 Искажение зонной структуры вблизи гетерограниц. Область объемного заряда, ее масштаб. Энергетический спектр электронов прямоугольной потенциальной ямы различной размерности.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Тема 7 Энергетический спектр в цилиндрической и сферической потенциальных ямах. Экситоны в наноструктурах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

8	Тема 8 Плотность состояний в системах пониженной размерности (2D, 1D, 0D случаи).	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Основы технологии создания полупроводниковых наногетроструктур. Применение наногетроструктур в области микро- и оптоэлектроники	12	12	0
9	Тема 9 Сверхрешетки. Особенности энергетического спектра. Метод сильной связи. Задача Крони-Гини.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Тема 10 Некоторые методы исследования наноструктур. Электронная и атомно-силовая микроскопия.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Тема 11 Основы технологии создания наноструктур. Молекулярно-лучевая эпитаксия, газоплазменная эпитаксия, литография.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Тема 12 Поглощение и испускание света полупроводниками. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Тема 13 Использование гетероструктур в технологии полупроводниковых лазеров.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	Тема 14 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Использование гетероструктур в технологии фотодетекторов. Фотодетекторы ИК диапазона на множественных квантовых ямах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Тема 15 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Резонансное туннелирование.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
16	Тема 16 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Полевые транзисторы. Транзистор с плавающим затвором.	Всего аудиторных часов		
		1	1	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>7 Семестр</i>
	Тема 1 Длина волны Де Бройля. Эффект размерного квантования, классификация наноструктур. Основные понятия физики твердого тела. Кристаллическая структура, элементарная ячейка, понятие об обратной решетке.
	Тема 2 Основные понятия физики твердого тела. Уравнение Шредингера в одноэлектронном приближении. Теорема Блоха. Энергетические зоны в кристалле и классификация веществ по типу проводимости (металл, полупроводник, диэлектрик). Модель сильной связи.
	Тема 3 Основные понятия физики твердого тела. Понятие дырки. Эффективная масса. Физический смысл эффективной массы. Уравнение движения электрона во внешнем электрическом поле.
	Тема 4 Основные понятия физики твердого тела. Заполнение энергетических зон. Функция распределения и плотность состояний и функции распределения в 3D случае. Уровень ферми в металле и полупроводнике. Собственные и примесные полупроводники.
	Тема 5 Гетеропереход. Понятие гетероперехода, типы гетеропереходов. Условия сшивки волновой функции на гетерогранице. Уравнение для огибающей волновой функции.
	Тема 6 Искажение зонной структуры вблизи гетерограниц. Область объемного заряда, ее масштаб. Энергетический спектр электронов прямоугольной потенциальной ямы различной размерности.
	Тема 7 Энергетический спектр в цилиндрической и сферической потенциальных ямах. Экситоны в наноструктурах.
	Тема 8 Плотность состояний в системах пониженной размерности (2D, 1D, 0D случаи).
	Тема 9 Сверхрешетки. Особенности энергетического спектра. Метод сильной связи. Задача Кронига-Пенни.
	Тема 10 Некоторые методы исследования наноструктур. Электронная и атомно-силовая микроскопия.
	Тема 11 Основы технологии создания наноструктур. Молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия, литография.
	Тема 12 Поглощение и испускание света полупроводниками. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.
	Тема 13 Использование гетероструктур в технологии полупроводниковых лазеров.
	Тема 14 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Использование

	гетероструктур в технологии фотодетекторов. Фотодетекторы ИК диапазона на множественных квантовых ямах.
	Тема 15 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Резонансное туннелированные.
	Тема 16 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Полевые транзисторы. Транзистор с плавающим затвором.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются современные предметно-ориентированные и личностно-ориентированные образовательные технологии. При проведении лекций используются наглядны формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступление приглашенных ученых, занимающихся исследованиями в области физики микро- и наносистем. Проведение семинаров предусматривает проведение дискуссий и выступления студентов с докладами на темы связанные с физикой и технологией наносистем.

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-10	З-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-10	Э, 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»	В	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		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	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			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	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 П 85 Наноматериалы и нанотехнологии : учебное пособие, Ганзуленко О. Ю. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ К 49 Наноплазмоника : учебное пособие, Климов В. В., Москва: Физматлит, 2010
3. 537 З-43 Принципы лазеров : , Звелто О., Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008
4. 620 Д93 Углеродные нанотрубки : строение, свойства, применения, Дьячков П.Н., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2006
5. ЭИ Ш 18 Физика полупроводников : учебное пособие, Шалимова К. В., Санкт-Петербург: Лань, 2022
6. ЭИ Д 13 Элементарное введение в теорию наносистем : , Лебедев А. А., Посредник О. В., Давыдов С. Ю., Санкт-Петербург: Лань, 2022

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Киттель Ч., М.: МедиаСтар, 2006
2. 541.5 Т88 Молекулярная фотохимия : , Турро Н., Москва: Мир, 1967

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

1. Образцы фотонных кристаллов (Э-205)
2. Образцы пористого кремния (Э-205)
3. Образцы полупроводниковых коллоидных квантовых точек (Э-205)
4. Демонстрационный проектор

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса студент должен твердо усвоить понятие наноструктур, их систематизацию, общие физические методы получения наноструктур и их характеристики, основные физические свойства и применения наноструктур.

При изучении первого раздела, необходимо учитывать, что основные принципы квантовой механики студентами младших курсов усваиваются обычно достаточно формально. Поэтому необходимо повторить основные принципы квантовой механики: операторы физических величин, принцип неопределенности, уравнение Шредингера и др. Основное внимание нужно уделить физическим выводам из решения квантомеханических уравнений. При этом важным является вопрос: при каких размерах наноструктур и температурах экспериментально проявляется эффект размерного квантования. Для усвоения этих вопросов необходимо решить задачи, предложенные преподавателем по этой теме. Особое внимание нужно уделить сферической потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Это – модель полупроводниковой сферической квантовой точки. Студент должен познакомиться с поведением частицы в центральном поле, где сохраняется момент количества движения, с уравнением для квадрата момента, повторить закон квантования момента и его проекции на произвольную ось.

Второй раздел посвящен изложению современных методов получения наноструктур. Студент должен познакомиться с методами коллоидной химии, молекулярно-лучевой эпитаксии и др. Однако, с методической точки зрения особое место занимает метод термического напыления. Для успешного повторения этого раздела студент должен повторить молекулярно-кинетическую теорию газов и элементы вакуумной техники. Знания по молекулярной физике в объеме курса общей физики позволит студентам решать задачи, которые достаточно глубоко проясняют сущность метода и позволяют провести практически важные оценки и расчеты. Отдельного рассмотрения требуют методы получения наночастиц со свойствами плазмонного резонанса. Для успешного усвоения темы требуется в качестве

самостоятельной работы повторить в рамках курса общей физики элементарную теорию дисперсии для газов, твердых тел и плазмы и решать задачи, предложенные преподавателем по этой теме.

Студент должен усвоить общие принципы характеристики наноструктур как сразу после их изготовления, так и в процессе работы с ними. Одним из основных методов характеристики является электронная и атомно-силовая микроскопия. Для освоения электронной микроскопии необходимо вспомнить оптическую микроскопию и устройство оптического микроскопа. Это позволит лучше понять формирование изображений и увеличение в электронных лучах. При рассмотрении работы атомно-силового микроскопа студент должен знать устройство полупроводниковых фотодиодов. Для более эффективного усвоения метода интерференционной микроскопии полезно, в качестве самостоятельной работы, вспомнить общие принципы оптической интерферометрии, устройства наиболее популярных интерферометров.

В качестве самостоятельной работы студент должен решать задачи, предложенные преподавателем.

Последний раздел курса – применения наноструктур. Студент должен усвоить общие направления применения наноструктур – в функциональной оптоэлектронике, медицине, современных методах анализа и т.п. При этом он должен понимать, в чем преимущества использования наноструктур по сравнению с традиционными методами

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При изложении первого раздела необходимо учитывать, что основные принципы квантовой механики студентами младших курсов усваиваются обычно достаточно формально. Поэтому необходимо повторение в общих чертах принципов квантовой механики: операторов физических величин, принципа неопределенности, уравнения Шредингера. С методами решения уравнения Шредингера для одномерных потенциальных ям студенты знакомы достаточно хорошо. Поэтому этот раздел можно дать для самостоятельной проработки или в форме задач. Основное внимание нужно уделить физическим выводам из решения квантовомеханических уравнений. При этом важным является вопрос: при каких размерах наноструктур и температурах экспериментально проявляется эффект размерного квантования. Этот вопрос можно оформить в виде задачи, но нужно помнить, что ее решение возможно только с помощью преподавателя. Часть занятия интересно посвятить сферической потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Это – модель полупроводниковой сферической квантовой точки. Полезно познакомить студента с поведением частицы в центральном поле, где сохраняется момент количества движения, рассмотреть уравнения для квадрата момента, закон квантования момента и его проекции на произвольную ось.

Второй раздел посвящен изложению современных методов получения наноструктур. Здесь необходимо рассмотреть методы коллоидной химии, молекулярно-лучевой эпитаксии и др. Однако, с методической точки зрения особое место занимает метод термического напыления. Действительно, изложение этого метода позволяет вспомнить и существенно дополнить знания студента по вакуумной технике. Знания по молекулярной физике в объеме курса общей физики позволяет студентам решать задачи, которые достаточно глубоко проясняют сущность метода и позволяют провести практически важные оценки и расчеты. Здесь уместно познакомить студентов с методом лазерного напыления, который активно развивается в университете. Отдельного рассмотрения требуют методы получения наночастиц

со свойствами плазмонного резонанса. Эффекты плазмонного резонанса можно изложить на основании элементарной теории дисперсии для плазмы.

Автор(ы):

Мартынов Игорь Леонидович, к.ф.-м.н.