

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИЙ (ЧАСТЬ 1)

Направление подготовки
(специальность)

[1] 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

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	15	0	Э
Итого	3	108	24	24	0	15	0	

АННОТАЦИЯ

Учебная задача курса «Физические основы микро- и нанотехнологий (часть 1)» - дать основные понятия о наноструктурах, их систематизации, общих физических методах получения наноструктур, основных физических свойствах и применениях наноструктур.

Курс «Физические основы микро- и нанотехнологий (часть 1)» 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 «Физические основы микро- и нанотехнологий (часть 1)» является получение знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области исследований, разработок и технологий, направленных на понимание процессов, происходящих в области нанопотоники, физики нанобъектов и конденсированного состояния вещества и управление процессами на наноуровне.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Б1-ПМ.ДВ8.1

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: 29.007, 40.003	творчески применять современное оборудование для измерений параметров наноматериалов и наноструктур; В-ПК-10[1] - Владение методами измерений параметров наноматериалов и наноструктур
научно-исследовательский			
математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования; участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением	электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, математические модели	ПК-2.1 [1] - Способен применять методы и концепции экспериментальной физики конденсированного состояния вещества, лазерной физики, фотоники, физики микро- и наносистем для решения функциональных, технических и технологических проблем при создании и эксплуатации элементов и устройств,	З-ПК-2.1[1] - Знать: законы и экспериментальные методы экспериментальной физики конденсированного состояния вещества, лазерной физики, физики микро- и наносистем, принципы функционирования элементов и устройств фотоники, опто- и нанoeлектроники; У-ПК-2.1[1] - Уметь: анализировать научно-

современных информационных технологий и технических средств; анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятий		функционирующих на принципах опто- и наноэлектроники <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	техническую проблему, поставленную задачу в области физики конденсированного состояния вещества, физики наноструктур, фотоники и предлагать возможные пути ее решения; В-ПК-2.1[1] - Владеть: навыками экспериментальной работы на специализированном научном оборудовании и устройствах в области фотоники, физики наноструктур, лазерной физики, опто- и наноэлектроники, моделирования и численных расчетов применительно к поставленной задаче
математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования; участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств; анализ научно-технической информации, отечественного и	электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, математические модели	ПК-2.3 [1] - Способен определять условия и границы применения существующего исследовательского и технологического оборудования при разработке устройств опто-, наноэлектроники и нанофотоники <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-2.3[1] - Знать: современные технологии и методы физики микро- и наносистем, нано- и оптоэлектроники применительно к разработке новых устройств в предметной области; У-ПК-2.3[1] - Уметь: применять концепции и методы физики конденсированных сред, физики микро- и наносистем и фотоники к решению задач опто- и наноэлектроники и нанофотоники; В-ПК-2.3[1] - Владеть: навыками работы на исследовательском и технологическом оборудовании,

зарубежного опыта по тематике исследования; организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятий			применяемом при создании и исследовании параметров приборов на основе принципов фотоники, нанофотоники и оптоэлектроники
---	--	--	--

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 (B18)	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 (B22)	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	1.Использование воспитательного потенциала

	коммуникативных навыков в области разработки и производства полупроводниковых изделий (В36)	профильных дисциплин «Введение в специальность», «Введение в технику физического эксперимента», «Измерения в микро- и наноэлектронике», «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 специалистам 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/ Прак- т. (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 твер-дого тела. Теория энергетического спектра полупроводниковых наногетероструктур	1-8	12/12/0		25	КИ-8	3-ПК- 2.1, У- ПК- 2.1, В- ПК- 2.1
2	Основы технологии создания полупроводниковых наногетроструктур. Применение наногетроструктур в области микро- и оптоэлектроники	9-15	12/12/0		25	КИ-16	3-ПК- 10, У- ПК- 10, В- ПК- 10, 3-ПК- 2.3, У- ПК- 2.3, В- ПК- 2.3
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		24/24/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	3-ПК- 10, У- ПК- 10, В- ПК- 10, 3-ПК- 2.1, У- ПК- 2.1, В- ПК- 2.1, 3-ПК- 2.3,

							У- ПК- 2.3, В- ПК- 2.3
--	--	--	--	--	--	--	---------------------------------------

* – 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	
		Онлайн		
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	
		Онлайн		
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	
		Онлайн		
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	
		Онлайн		
5	Тема 5 Гетеропереход. Понятие гетероперехода, типы гетеропереходов. Условия сшивки волновой функции на	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		

	гетерогранице. Уравнение для огибающей волновой функции.			
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	
		Онлайн		
7	Тема 7 Энергетический спектр в цилиндрической и сферической потенциальных ямах. Экситоны в наноструктурах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
8	Тема 8 Плотность состояний в системах пониженной размерности (2D, 1D, 0D случаи).	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
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 Кронига-Пенни.	Всего аудиторных часов		
		2	2	
		Онлайн		
10	Тема 10 Некоторые методы исследования наноструктур. Электронная и атомно-силовая микроскопия.	Всего аудиторных часов		
		2	2	
		Онлайн		
11	Тема 11 Основы технологии создания наноструктур. Молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия, литография.	Всего аудиторных часов		
		2	2	
		Онлайн		
12	Тема 12 Поглощение и испускание света полупроводниками. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.	Всего аудиторных часов		
		2	2	
		Онлайн		
13	Тема 13 Использование гетероструктур в технологии полупроводниковых лазеров.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
14	Тема 14 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Использование гетероструктур в технологии фотодетекторов. Фотодетекторы ИК диапазона на множественных квантовых ямах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
15	Тема 15 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Резонансное туннелирование.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		Онлайн		
16	Тема 16 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Полевые транзисторы. Транзистор с плавающим затвором.	Всего аудиторных часов		
		1	1	
		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 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 туннелирование.
	Тема 16 Применение полупроводниковых наноструктур микроэлектронике. Полевые транзисторы. Транзистор с плавающим затвором.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются современные предметно-ориентированные и лично-ориентированные образовательные технологии. При проведении лекций используются наглядные формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступление приглашенных сотрудников кафедры физики микро- и наносистем и других подразделений НИЯУ МИФИ, 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-16
	У-ПК-10	Э, КИ-16
	В-ПК-10	Э, КИ-16
ПК-2.1	З-ПК-2.1	Э, КИ-8
	У-ПК-2.1	Э, КИ-8
	В-ПК-2.1	Э, КИ-8
ПК-2.3	З-ПК-2.3	Э, КИ-16
	У-ПК-2.3	Э, КИ-16
	В-ПК-2.3	Э, 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 формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 –	F	Оценка «неудовлетворительно»

	«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.
--	-----------------------	--	--

Оценочные средства приведены в Приложении.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ П 85 Наноматериалы и нанотехнологии : учебник для вузов, Санкт-Петербург: Лань, 2020
2. ЭИ К 49 Наноплазмоника : научное издание, Москва: Физматлит, 2010
3. ЭИ Д 13 Элементарное введение в теорию наносистем : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2014
4. 537 3-43 Принципы лазеров : , О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008
5. 620 Д93 Углеродные нанотрубки : строение, свойства, применения, П. Н. Дьячков, Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2006

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Ш 18 Физика полупроводников : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2010
2. 541.5 Т88 Молекулярная фотохимия : , Н. Турро, Москва: Мир, 1967
3. 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

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 «Физические основы микро- и нанотехнологий (часть 1)» 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 3- го курса 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 квантовомеханических 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 позволят 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 3-го курса 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 МИФИ. 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.

