

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**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 11.04.04 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, экс./зач./КР/КП
3	2	72	25	0	0		47	0	3
Итого	2	72	25	0	0	20	47	0	

## АННОТАЦИЯ

Учебная задача курса «Современные проблемы физики микро- и наносистем» дать основные представления о физических процессах, происходящих в микро- и наносистемах различной размерности.

В курсе «Современные проблемы физики микро- и наносистем» рассматривается влияние квантоворазмерных эффектов на энергетический спектр носителей заряда, оптические и теплофизические свойства полупроводниковых и металлических микро- и наноструктур. Дается представление о современных методах создания, характеристики и исследования микро- и наносистем, при этом особое внимание уделяется практическому использованию уникальных свойств нанобъектов.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины «Современные проблемы физики микро- и наносистем» является получение знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области исследований, разработок и технологий, направленных на создание функционализированных нано- и микрообъектов, понимание процессов, происходящих в области нанопластики, физики нанобъектов и конденсированного состояния вещества и управление процессами на наномасштабе.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Профессиональный модуль, 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
научно-исследовательский			
разработка рабочих планов и программ проведения научных исследований и технических	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства,	ПК-1 [1] - способен формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с	З-ПК-1[1] - Знать: современное состояние, тенденции и перспективы развития электроники,

<p>разработок, подготовка отдельных заданий для исполнителей</p>	<p>установки, методы их исследования, проектирования и 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.</p>	<p>тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>нанoeлектроники и смежных областей науки и техники. ; У-ПК-1[1] - Уметь: формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники, нанoeлектроники, физики конденсированных сред и других смежных областей науки и техники; В-ПК-1[1] - Владеть: навыками обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач в области электроники и нанoeлектроники</p>
<p>организация и проведение экспериментальных исследований, технологических и измерительных операций, необходимых для создания и изучения свойств материалов, элементной базы и приборов электроники и нанoeлектроники</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование,</p>	<p>ПК-4 [1] - способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-4[1] - Знать: современные экспериментальные методы в области физики конденсированного состояния, электроники и нанoeлектроники ; У-ПК-4[1] - Уметь: проводить экспериментальные исследования в электронике и нанoeлектронике с</p>

	<p>математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>		<p>применением современных средств и методов.; В-ПК-4[1] - Владеть: компьютерными технологиями в применении к экспериментальным исследованиям в электронике и наноэлектронике</p>
--	---	--	---

#### 4. 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>3 Семестр</i>						
1	Современные наноматериалы	1-8	13/0/0		25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
2	Квантовые точки и их применение	9-16	12/0/0		25	КИ-16	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4

	<i>Итого за 3 Семестр</i>		25/0/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 3 Семестр</b>				50	3	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-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
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	25	0	0
<b>1-8</b>	<b>Современные наноматериалы</b>	13	0	0
1 - 2	<b>Тема 1</b> Углеродные наноструктуры. Углеродные нанотрубки (УНТ), строение, получение, свойства.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
2 - 3	<b>Тема 2</b> Базовые представления о энергетической структуре органических соединений. Метод ЛКАО. Кулоновский и резонансный интегралы. Система $\pi$ -электронов ненасыщенных углеводородов. Особенности метода ЛКАО для полимеров.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
3 - 4	<b>Тема 3</b> Дисперсионного выражения для энергии электрона $E(k)$ для УНТ типа седло и кресло.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
4 - 5	<b>Тема 4</b> Графен. Структура. Способы получения. Вид $E(k)$ , особенности в точках $K$ и $K'$ первой зоны Бриллюэна.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
5 - 6	<b>Тема 5</b> Фуллерены, строение получение, свойства.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0

		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Тема 6</b> Пористый кремний (ПК). Классификация. Методы получения. Спрямление зонной структуры ПК. Фотолюминесценция ПК.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 7	<b>Тема 7</b> Понятие фотонного кристалла. Область применения. Аналогия между уравнением Шредингера и основным уравнением теории дифракции. Понятие фотонной запрещенной зоны. Фотонные структуры на базе ПК.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Тема 8</b> Матричный метод в оптике многослойных структур. Матрица передачи и матрица рассеяния.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Квантовые точки и их применение</b>	12	0	0
9 - 10	<b>Тема 9</b> Одномерная брэгговская решетка и микрорезонатор на основе ПК. Основные формулы. Аналогия между задачей о прохождении излучения через решетку Брэгга и задачей Кронига-Пенни.	Всего аудиторных часов		
		3	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Тема 10</b> Механизмы переноса энергии в наносистемах. Примеры переноса энергии для систем на базе ПК.	Всего аудиторных часов		
		3	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Тема 11</b> Коллоидные полупроводниковые наночастицы. Технология синтеза. Оптические свойства, энергетический спектр. Применение полупроводниковых наночастиц в оптоэлектронике.	Всего аудиторных часов		
		3	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>Тема 12</b> Основы наноплазмоники.	Всего аудиторных часов		
		3	0	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

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При проведении лекций используются наглядны 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. Студенты в обязательном порядке посещают лекции ведущих мировых ученых выступающих в НИЯУ МИФИ с лекциями на тему физики наносистем. Проведение семинаров предусматривает проведение дискуссий и выступления студентов с докладами на темы связанные с физикой и технологией наносистем.

## 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-1	З-ПК-1	З, КИ-8
	У-ПК-1	З, КИ-8
	В-ПК-1	З, КИ-8
ПК-4	З-ПК-4	З, КИ-16
	У-ПК-4	З, КИ-16
	В-ПК-4	З, 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			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»	Е	
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.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 49 Наноплазмоника : , Москва: Физматлит, 2010
2. ЭИ И 26 Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2020
3. 53 М43 Современные проблемы физики и технологий Ч.1 , Москва: НИЯУ МИФИ, 2019
4. ЭИ Ш 18 Физика полупроводников : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
5. 537 3-43 Принципы лазеров : , О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008
6. 620 Д93 Углеродные нанотрубки : строение, свойства, применения, П. Н. Дьячков, Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2006

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 541.5 Т88 Молекулярная фотохимия : , Н. Турро, Москва: Мир, 1967
2. 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/>



## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

При изучении курса «Современные проблемы физики микро- и наносистем» студент должен освоить основные знания о строении, энергетической структуре и оптических свойствах полупроводниковых, органических и металлических нано- и микроструктур, а также иметь представление о методах создания наноструктур и областях их практического применения.

Темы курса знакомят студентов с конкретными классами нанообъектов и специфическими свойствами.

По завершению изучения данных тем студент должен:

- познакомиться с классом углеродных наноструктур,
- иметь четкое представление о структуре УНТ, фуллеренов и графена, методах их получения и областях практического применения,
- знать определение молекулярной орбитали и основных приближений положенных в основу метода ЛКАО,
- овладеть основами расчета энергетической структуры УНТ различной хиральности,
- познакомиться с понятием пористых наноструктур в частности с пористым кремнием (ПК),
- усвоить основные свойства ПК, иметь четкое представление о методах его изготовления и природе его люминесценции,
- усвоить понятия фотонного кристалла, Брэгговской решетки и микрорезонатора,
- обратить особое внимание на понимание таких понятий как запрещенная фотонная зона и плотность фотонных состояний,
- с практической точки зрения студент должен освоить методы расчета отражения и пропускания многослойной структуры с использованием метода матрицы передачи,
- усвоить понятия излучательного и безызлучательного переноса энергии,
- понимать природу и условия протекания механизмов переноса энергии по Ферстеру и по Декстеру,
- знать примеры практического использования перечисленных явлений,
- иметь четкое представление о методах получения коллоидных полупроводниковых квантовых точек (КТ) их структуре и энергетическом спектре,
- уметь оценивать длину волны излучения КТ, зная их размер и вещество из которого они синтезированы,
- знать примеры практического применения КТ,
- иметь четкое представление о явлении плазмонного резонанса,
- знать классификацию плазмонов и иметь четкое представление об оптических свойствах металлических нанокристаллов.

В качестве самостоятельной работы студент должен:

- решать задачи предложенные преподавателем.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Преподаватель должен использовать знания студентов в области органической химии, при этом следует обратить их внимание на новую более глубокую интерпретацию понятий гибридизации и молекулярной орбитали. При рассмотрении метода ЛКАО следует обратить внимание студентов на его аналогию с методом сильной связи в физике твердого тела. Следует обратить внимание студентов на широкие возможности использования пористых сред для построения сенсорных систем. Необходимо использовать знания студентов из курса оптики и физики твердого тела. Также следует обратить особое внимание на такие понятия как запрещенная фотонная зона и плотность фотонных состояний. Следует подробно рассказать принцип диполь-дипольного взаимодействия и на основе этого перейти к изложению механизмов Ферстера. При рассмотрении механизма Декстера обратить внимание на возможность изменения спина электрона. Рассказывая о коллоидных квантовых точках (КТ) обратить внимание студентов на простоту метода их синтеза и комплементарность технологий создания пленок из КТ с технологиями создания пленок органических полимеров.

При изложении темы плазмонного резонанса обязательно привести классификацию плазмонов, после чего отдельное внимание уделить локализованным плазмонам и их оптическим свойствам. Подчеркнуть, что в отличие от спектра электронов в квантовых точках спектра плазмонов в металлических наночастицах слабо зависит от их размера.

Автор(ы):

Чистяков Александр Александрович, д.ф.-м.н., с.н.с.