МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по образовательной деятельности КФУ
Проф. Д.А. Таюрский
_____ «___»_____20__г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем Б1.Б.20

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника
Профиль подготовки: не предусмотрено
Квалификация выпускника: бакалавр
Форма обучения: очное
Язык обучения: русский

Автор(ы):
Ахмадеев А.А. , Гайнутдинов Р.Х. , Хамадеев М.А.
Рецензент(ы):
Нефедьев Л.А.

СОГЛАСОВАНО:
Заведующий(ая) кафедрой: Салахов М. Х.
Протокол заседания кафедры No ___ от "____" _____ 201__г
Учебно-методическая комиссия Института физики:
Протокол заседания УМК No ____ от "____" _____ 201__г

Регистрационный No 6153518

Казань
2018

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) инженер 1 категории Ахмадеев А.А. Кафедра оптики и нанофотоники Отделение физики , Albert.Akhmadeev@kpfu.ru ; профессор, д.н. (профессор) Гайнутдинов Р.Х. Кафедра оптики и нанофотоники Отделение физики , Renat.Gainutdinov@kpfu.ru ; доцент, к.н. Хамадеев М.А. Кафедра оптики и нанофотоники Отделение физики , Marat.Khamadeev@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Изучение основных методов анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем, их классификации и применение совместно с другими дисциплинами цикла, формирование у студентов современного понимания основных научно-технических проблем и перспектив развития нанотехнологий и взаимодействие со смежными областями.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.Б.20 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 3, 4 курсах, 6, 7, 8 семестры.

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.Б.6 Профессиональный" основной образовательной программы 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 3 и 4 курсе, 6-8 семестры.

Является частью цикла профессиональных дисциплин Б3 подготовки студентов по направлению "Нанотехнологии и микросистемная техника". Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке студентов в сфере естественнонаучных и технических знаний.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способностью к самоорганизации и самообразованию
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат
ПК-2 (профессиональные компетенции)	готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способностью проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов
ПК-6 (профессиональные компетенции)	готовностью рассчитывать и проектировать основные параметры наноструктурных материалов различного функционального назначения
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- классификацию и содержание методов анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем;
- алгоритм применения изученных методов в зависимости от объекта исследования

2. должен уметь:

- правильно подбирать методы анализа и контроля в зависимости от объекта исследования;
- использовать методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем;
- определять конкретную профессиональную задачу, собирать необходимую исходную информацию в периодической литературе, на основе анализа сформулировать последовательность решения задачи.

3. должен владеть:

- методикой работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой;
- системного научного анализа профессиональных проблем нанотехнологии различного уровня сложности

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- к использованию методов анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем и на практике

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных(ые) единиц(ы) 324 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 6 семестре; отсутствует в 7 семестре; экзамен в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение в предмет	6	1	2	2	0	
2.	Тема 2. Физика низкоразмерных структур	6	2,3	4	4	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
3.	Тема 3. Низкоразмерные углеродные структуры	6	4	2	2	0	
4.	Тема 4. Нанороботы и наномашины	6	5	2	2	0	
5.	Тема 5. Наноплазмоника	6	6,7	4	4	0	
6.	Тема 6. Метаматериалы	6	8,9	4	4	0	Письменная работа
7.	Тема 7. Фотонные кристаллы.	6	10	2	2	0	
8.	Тема 8. Дисперсионные соотношения	6	11	2	2	0	
9.	Тема 9. Методы расчета оптических свойств периодических наноструктур.	6	12	2	2	0	
10.	Тема 10. Метод плоских волн для 2-х и 3-хмерных фотонных кристаллов	6	13	2	2	0	
11.	Тема 11. Метод матриц переноса	6	14	2	2	0	
12.	Тема 12. Одномерный фотонный кристалл	6	15	2	2	0	
13.	Тема 13. Метод конечных разностей во временной области	6	16	2	2	0	
14.	Тема 14. Метод связанных мод в пространстве Фурье	6	17	2	2	0	
15.	Тема 15. Плотность фотонных состояний	6	18	2	2	0	Письменная работа
16.	Тема 16. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на оптической спектроскопии	7	1,2	4	0	12	

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
17.	Тема 17. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на недеструктивной лазерной дифракции	7	3,4	4	0	12	
18.	Тема 18. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на основе рассеяния света	7	5,6	4	0	12	
19.	Тема 19. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на сканирующей зондовой микроскопии	7	7-9	6	18	0	Письменная работа
20.	Тема 20. Практикум по исследованию фотонных кристаллов	8	1-5	0	18	18	
.	Тема . Итоговая форма контроля	6		0	0	0	Зачет
.	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Экзамен
	Итого			54	72	54	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в предмет

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Понятие наноструктурированных материалов и систем. Классификация наноструктурированных материалов и систем. Связь наноструктурированных материалов и систем с нанотехнологиями и наноматериалами. История появления. Подходы "сверху-вниз" и "снизу-вверх" к синтезу наночастиц и наноматериалов.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Ознакомительная работа на приборе Photocor Complex

Тема 2. Физика низкоразмерных структур

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Полупроводниковый гетеропереход. Иерархия понятий. Размерное квантование и квантово-размерные структуры. Типы квантоворазмерных структур. Квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки. Трансформация энергетического спектра элементарных наноструктур. Размерное квантование электронной подсистемы квантовых точек. Проблемы технологии квантово-размерных структур.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Ознакомительная работа на приборе Photocor Complex

Тема 3. Низкоразмерные углеродные структуры

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Структуры на основе углерода. Аллотропия. Особенности С-С связи. Алмаз, графит, графен. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Получение углеродных наноструктур. Механические, электрические и химические свойства углеродных наноструктур.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение размеров частиц методом динамического рассеяния света на приборе Photocor Complex

Тема 4. Нанороботы и наномашины

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Основные определения и история вопроса. Принципы построения наномеханизмов. Теория нанороботов и наномашин. Предполагаемые варианты конструкций нанороботов. Потенциальная сфера применений. Нанороботы в массовой культуре.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение размеров частиц методом динамического рассеяния света на приборе Photocor Complex

Тема 5. Наноплазмоника

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Основы плазмоники. Электромагнитные свойства металлов. Поверхностные плазмон-поляритоны на границе раздела металл-диэлектрик. Возбуждение поверхностных плазмон-поляритонов на плоских границах раздела сред. Локализованные поверхностные плазмоны. Применение плазмонов. Преодоление дифракционного предела

практическое занятие (4 часа(ов)):

Влияние температуры раствора на измерение размеров частиц методом динамического рассеяния света (проверка формулы Стокса-Эйнштейна)

Тема 6. Метаматериалы

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Определение и основные понятия. Классификация. Отрицательный коэффициент преломления. Основы эффекта. История открытия. ?Правые? и ?Левые? изотропные среды. Перенос энергии правой и левой волнами. Дисперсия левой среды. Примеры распространения волны в левой среде. Возможные приложения. Суперлинза. Плащ-невидимка

практическое занятие (4 часа(ов)):

Влияние температуры раствора на измерение размеров частиц методом динамического рассеяния света (проверка формулы Стокса-Эйнштейна)

Тема 7. Фотонные кристаллы.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Определение. Интерференция в тонких пленках. 1D, 2D, 3D фотонные кристаллы. Фотонные запрещенные зоны. История открытия. Яблоновит. Примеры. Фотонные кристаллы в природе. Полезные свойства запрещенных зон и приложения.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Влияние концентрации наночастиц на результат измерения методом динамического рассеяния света (выбор оптимальной концентрации)

Тема 8. Дисперсионные соотношения

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Дисперсионные соотношения. Связь ?энергия-импульс? электрона в обычных кристаллах. Расширенная зонная схема. Схема приведенных зон. Периодическая зонная схема. Зонные диаграммы. Стоячие волны как источник запрещенных зон.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Влияние концентрации наночастиц на результат измерения методом динамического рассеяния света (выбор оптимальной концентрации)

Тема 9. Методы расчета оптических свойств периодических наноструктур.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Методы расчета оптических свойств периодических наноструктур. Состояния света в фотонном кристалле. Общие соображения. Теорема Блоха. Блоховская структура. Поляризация. Метод плоских волн. Одномерный случай. Двух- и четырехкомпонентные приближения.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение спектрального положения запрещенной зоны ФК на спектрофотометре Lambda 35

Тема 10. Метод плоских волн для 2-х и 3-хмерных фотонных кристаллов

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Метод плоских волн для 2-хмерных фотонных кристаллов. Метод плоских волн для 3-хмерных фотонных кристаллов. Примеры. Новые эффекты на особенностях дисперсионных соотношений. Эффект суперпризмы. Медленный свет. Отрицательная рефракция на фотонных кристаллах.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение спектрального положения запрещенной зоны ФК на спектрофотометре Lambda 35

Тема 11. Метод матриц переноса

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Метод матриц переноса. Нормальное падение. Матрицы 2x2. Дефектные моды. Матрицы, соответствующие слоям и границам. Падение под углом. Матрицы 4x4. Учет поглощения. Учет неидеальности. Магнитные фотонные кристаллы

практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение параметров ФК (период структуры, диаметр частиц, эффективный показатель преломления) по спектрам ФК на спектрофотометре Lambda 35

Тема 12. Одномерный фотонный кристалл

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Одномерный фотонный кристалл: мультислой. TE-поляризация. TM-поляризация. Конечное диэлектрическое зеркало. Случай волновода. Полубесконечное диэлектрическое зеркало. Бесконечный периодический мультислой. Теорема блоха и дисперсионные соотношения.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение параметров ФК (период структуры, диаметр частиц, эффективный показатель преломления) по спектрам ФК на спектрофотометре Lambda 35

Тема 13. Метод конечных разностей во временной области

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Метод конечных разностей во временной области (FDTD). Постановка задачи для вычисления распределения поля. Метод конечных разностей во временной области. Разностный вид уравнений Максвелла. Определение диэлектрической функции. Определение начальных и граничных условий. Устойчивость метода FDTD. Примеры расчетов.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение периода структуры ФК методом лазерной дифракции

Тема 14. Метод связанных мод в пространстве Фурье

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Метод связанных мод в пространстве Фурье (RCWA). Уравнения Максвелла в усеченном пространстве Фурье. Нахождение собственных волн каждого слоя. Сшивка решений на границах слоев. Метод множественных мультиполей (MMM). Разложение в ряд по аналитическим решениям уравнений Максвелла. Сходимость потенциала на границах.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение периода структуры ФК методом лазерной дифракции

Тема 15. Плотность фотонных состояний

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Плотность фотонных состояний. Плотность фотонных состояний в вакууме и в фотонных кристаллах. Примеры. Применение плотности состояний. Локальная плотность состояний. Моделирование плотности состояний.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение периода структуры ФК методом лазерной дифракции

Тема 16. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на оптической спектроскопии

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Особенности прохождения света через среду фотонного кристалла. Спектры пропускания. Спектры отражения от поверхности и от подложки. Закон Брегга-Вульфа. Дифракционные эффекты в оптических спектрах. Люминесценция атомов, помещенных в среду фотонного кристалла.

лабораторная работа (12 часа(ов)):

Ознакомительная работа на атомно-силовом микроскопе Ntegra Prima

Тема 17. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на недеструктивной лазерной дифракции

лекционное занятие (4 часа(ов)):

1-мерные, 2-мерные и 3-мерные дифракционные решетки. Экспериментальная схема наблюдения дифракции монохроматического пучка на структуре фотонного кристалла. Дифракция на бездефектном фотонном кристалле. Дифракция на фотонном кристалле с дефектами и неоднородностями.

лабораторная работа (12 часа(ов)):

Ознакомительная работа на атомно-силовом микроскопе Ntegra Prima

Тема 18. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на основе рассеяния света

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Основные принципы анализа размеров частиц. Вопрос о том, что такое частица. Проблематика размера частиц. Эквивалентная сфера. Различные методы анализа - разные средние. Методы определения размеров наночастиц, взвешенных в растворе. Статическое и динамическое рассеяние света. Броуновское движение. Уравнение Стокса-Эйнштейна. От рассеянного света к коэффициенту диффузии.

лабораторная работа (12 часа(ов)):

Работы по калибровке АСМ с использованием тестовых структур

Тема 19. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на сканирующей зондовой микроскопии

лекционное занятие (6 часа(ов)):

Эволюция методов сканирующей зондовой микроскопии, основные физические принципы. Особенности работы. Обработка полученной информации и восстановление полученных изображений. Методы определения размеров частиц на изображении. Особенности изучения фотонных кристаллов.

практическое занятие (18 часа(ов)):

Работы по калибровке АСМ с использованием тестовых структур

Тема 20. Практикум по исследованию фотонных кристаллов

практическое занятие (18 часа(ов)):

Определение качества фотонных кристаллов по АСМ-изображению с помощью прикладного программного обеспечения

лабораторная работа (18 часа(ов)):

Определение периода структуры ФК методом АСМ

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
6.	Тема 6. Метаматериалы	6	8,9	подготовка к письменной работе	36	Письменная работа
15.	Тема 15. Плотность фотонных состояний	6	18	подготовка к письменной работе	36	Письменная работа
19.	Тема 19. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на сканирующей зондовой микроскопии	7	7-9	подготовка к письменной работе	36	Письменная работа
	Итого				108	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Лекции (использование проблемных ситуаций, демонстрационного эксперимента), практические занятия (решение задач и интерактивные методы работы - это активное, постоянное взаимодействие между преподавателем и студентом в процессе обучения), самостоятельная работа студента (выполнение индивидуальных домашних заданий), консультации

Выполнение лабораторных работ.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Тема 1. Введение в предмет

зачет и экзамен

Тема 2. Физика низкоразмерных структур

зачет и экзамен

Тема 3. Низкоразмерные углеродные структуры

зачет и экзамен

Тема 4. Нанороботы и наномашины

зачет и экзамен

Тема 5. Наноплазмоника

зачет и экзамен

Тема 6. Метаматериалы

Письменная работа , примерные вопросы:

1. Назовите как можно больше приложений фотонных кристаллов. 2. В каком году был создан Яблоновит? 3. Перечислите все варианты зонных схем. 4. Докажите, что в запрещенной зоне у волнового вектора появляется мнимая компонента 5. Найдите элементарную ячейку у одномерного фотонного кристалла. 6. Найдите ячейку Вигнера-Зейца у одномерного фотонного кристалла. 7. Получите алгебраическое уравнение для электрического поля 8. Взяв векторные произведения в разных базисах, получите матрицу M(G, G') 9. Выведите соотношение ортогональности для электрического поля через аналогичное соотношение для магнитного

Тема 7. Фотонные кристаллы.

зачет и экзамен

Тема 8. Дисперсионные соотношения

зачет и экзамен

Тема 9. Методы расчета оптических свойств периодических наноструктур.

зачет и экзамен

Тема 10. Метод плоских волн для 2-х и 3-хмерных фотонных кристаллов

зачет и экзамен

Тема 11. Метод матриц переноса

зачет и экзамен

Тема 12. Одномерный фотонный кристалл

зачет и экзамен

Тема 13. Метод конечных разностей во временной области

зачет и экзамен

Тема 14. Метод связанных мод в пространстве Фурье

зачет и экзамен

Тема 15. Плотность фотонных состояний

Письменная работа , примерные вопросы:

10. Докажите эрмитовость оператора LH 11. Докажите неэрмитовость оператора LE 12. Докажите эрмитовость оператора LQ 13. Выведите общий вид матрицы переноса в слое для нормального падения 14. Выведите общий вид матрицы переноса на границе двух слоёв для нормального падения 15. Как будет выглядеть теорема Блоха в терминах матриц переноса? 16. Постройте зонную диаграмму одномерного фотонного кристалла для нормального падения. 17. Докажите, что плотность состояний одномерного фотонного кристалла будет вести себя сингулярно на границе запрещенной зоны. 18. Выведите характер сингулярностей плотности состояний в точках Ван-Хова

Тема 16. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на оптической спектроскопии

зачет и экзамен

Тема 17. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на недеструктивной лазерной дифракции

зачет и экзамен

Тема 18. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на основе рассеяния света

зачет и экзамен

Тема 19. Методы исследования наноструктурированных материалов, основанные на сканирующей зондовой микроскопии

Письменная работа , примерные вопросы:

19. Приведите примеры методов синтеза "снизу-вверх". 20. Приведите примеры методов синтеза "сверху-вниз". 21. Приведите определение эффективного показателя преломления 22. Чему равна объёмная доля заполнения частиц для случая ГЦК и ГПУ упаковок 23. Сколько по времени длится реакция синтеза частиц диоксида кремния? 24. Сколько по времени длится вертикальное осаждение? 25. Приведите способ вычисления эффективного показателя преломления по спектрам отражения 26. Приведите способ определения толщин плёнок фотонных кристаллов по спектрам пропускания 27. Объясните, чем явление отрицательной рефракции на фотонных кристаллах отличается от аналогичного в метаматериалах. 28. Укажите направление групповой и фазовой скоростей при отрицательном преломлении.

Тема 20. Практикум по исследованию фотонных кристаллов

зачет и экзамен

Итоговая форма контроля

зачет и экзамен

Итоговая форма контроля

зачет и экзамен

Примерные вопросы к :

При подготовке к опросам и экзамену обучающимся приобретаются следующие обязательные компетенции: ПК-2, ПК-4, ПК-6, ОК-7, ОПК-2, ПК-1

Приложение к программе дисциплины "Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем"

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА

[1] Текущая работа студента (активность на лекциях, посещаемость) 10

[2] Письменные работы (3) 40

[3] Экзамен 50

Методические указания к подготовке к коллоквиумам находятся в Приложении 1, экзаменационные билеты находятся в Приложении 2.

Примерные вопросы к зачету:

1. История развития физики наноразмерных систем. Основные характеристики наночастиц и дисперсных систем.

2. Размерный эффект. Образование кластеров, агрегатов наночастиц. Стабилизация наночастиц.

3. Применение наноструктур и наноразмерных систем.

4. Классификация методов синтеза по принципам "сверху вниз" и "снизу вверх".

5. Зондовые методы нанолитографии. Ионно-лучевая эпитаксия. Газофазное компактирование.

6. Методы лазерного испарения. Диспергирование и измельчение. Нуклеация и агломерация.

7. Химическая конденсация паров. Получение золей путем жидкофазного восстановления. Радиолиз. Матричный синтез.

8. Особенности анализа высокодисперсных систем. Определение среднего размера частиц.

9. Метод статического рассеяния света. Метод динамического рассеяния света.

10. Определение состава и структуры отдельной наночастицы.

11. Просвечивающая электронная микроскопия. Растровая электронная микроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия.

12. Атомно-силовая микроскопия. Магнитно-силовая микроскопия. Спектральные методы исследования.

13. История развития фотонных кристаллов. Классификация фотонных кристаллов.

14. Фотонная кристаллическая решетка. Зонная структура фотонных кристаллов.

15. Применение фотонных кристаллов. Основные принципы вычисления характеристик фотонных кристаллов.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

16. Вычисление зонной структуры одномерных фотонных кристаллов. Вычисление зонной структуры двумерных и трехмерных фотонных кристаллов.

17. Термодинамические и кинетические аспекты гомогенного зародышеобразования. Кооперативные явления в системе наночастиц, агрегирование.

18. Методы осаждения: вертикальный, естественная седиментация, центрифугирование, фильтрование с использованием мембран, электрофорез.

19. Золь-гель технология. Поликонденсация.

20. Влияние кислотности раствора. Реакция гидролиза.

Примерные вопросы к экзамену:

1. Понятие наноструктурированных материалов и систем. Классификация наноструктурированных материалов и систем. Связь наноструктурированных материалов и систем с нанотехнологиями и наноматериалами.

2. История появления. Подходы "сверху-вниз" и "снизу-вверх" к синтезу наночастиц и наноматериалов.

3. Полупроводниковый гетеропереход. Иерархия понятий. Размерное квантование и квантово-размерные структуры. Типы квантоворазмерных структур. Квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки.

4. Трансформация энергетического спектра элементарных наноструктур. Размерное квантование электронной подсистемы квантовых точек. Проблемы технологии квантово-размерных структур.

5. Структуры на основе углерода. Аллотропия. Особенности С-С связи. Алмаз, графит, графен. Фуллерены.

6. Углеродные нанотрубки. Получение углеродных наноструктур. Механические, электрические и химические свойства углеродных наноструктур.

7. Основные определения и история вопроса. Принципы построения наномеханизмов. Теория нанороботов и наномашин.

8. Предполагаемые варианты конструкций нанороботов. Потенциальная сфера применений. Нанороботы в массовой культуре.

9. Основы плазмоники. Электромагнитные свойства металлов. Поверхностные плазмон-поляритоны на границе раздела металл-диэлектрик. Возбуждение поверхностных плазмон-поляритонов на плоских границах раздела сред.

10. Локализованные поверхностные плазмоны. Применение плазмонов. Преодоление дифракционного предела

11. Определение и основные понятия. Классификация. Отрицательный коэффициент преломления. Основы эффекта. История открытия. ?Правые? и ?Левые? изотропные среды.

12. Перенос энергии правой и левой волнами. Дисперсия левой среды. Примеры распространения волны в левой среде. Возможные приложения. Суперлинза. Плащ-невидимка

13. Определение. Интерференция в тонких пленках. 1D, 2D, 3D фотонные кристаллы. Фотонные запрещенные зоны.

14. История открытия. Яблоновит. Примеры. Фотонные кристаллы в природе. Полезные свойства запрещенных зон и приложения.

15. Дисперсионные соотношения. Связь ?энергия-импульс? электрона в обычных кристаллах. Расширенная зонная схема. Схема приведенных зон. Периодическая зонная схема.

16. Зонные диаграммы. Стоячие волны как источник запрещенных зон.

17. Методы расчета оптических свойств периодических наноструктур. Состояния света в фотонном кристалле. Общие соображения. Теорема Блоха.

18. Блоховская структура. Поляризация. Метод плоских волн. Одномерный случай. Двух- и четырехкомпонентные приближения.

19. Метод плоских волн для 2-хмерных фотонных кристаллов. Метод плоских волн для 3-хмерных фотонных кристаллов. Примеры.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

20. Новые эффекты на особенностях дисперсионных соотношений. Эффект суперпризмы. Медленный свет. Отрицательная рефракция на фотонных кристаллах.

21. Метод матриц переноса. Нормальное падение. Матрицы 2x2. Дефектные моды. Матрицы, соответствующие слоям и границам.

22. Падение под углом. Матрицы 4x4. Учет поглощения. Учет неидеальности. Магнитные фотонные кристаллы

23. Одномерный фотонный кристалл: мультислой. TE-поляризация. TM-поляризация. Конечное диэлектрическое зеркало. Случай волновода.

24. Полубесконечное диэлектрическое зеркало. Бесконечный периодический мультислой. Теорема блоха и дисперсионные соотношения.

25. Метод конечных разностей во временной области (FDTD). Постановка задачи для вычисления распределения поля. Метод конечных разностей во временной области.

26. Разностный вид уравнений Максвелла. Определение диэлектрической функции. Определение начальных и граничных условий. Устойчивость метода FDTD. Примеры расчетов.

27. Метод связанных мод в пространстве Фурье (RCWA). Уравнения Максвелла в усеченном пространстве Фурье. Нахождение собственных волн каждого слоя. Сшивка решений на границах слоев.

28. Метод множественных мультиполей (MMM). Разложение в ряд по аналитическим решениям уравнений Максвелла. Сходимость потенциала на границах.

29. Плотность фотонных состояний. Плотность фотонных состояний в вакууме и в фотонных кристаллах. Примеры.

30. Применение плотности состояний. Локальная плотность состояний. Моделирование плотности состояний.

31. Особенности прохождения света через среду фотонного кристалла. Спектры пропускания. Спектры отражения от поверхности и от подложки. Закон Брегга-Вульфа.

32. Дифракционные эффекты в оптических спектрах. Люминесценция атомов, помещенных в среду фотонного кристалла.

33. 1-мерные, 2-мерные и 3-мерные дифракционные решетки. Экспериментальная схема наблюдения дифракции монохроматического пучка на структуре фотонного кристалла.

34. Дифракция на бездефектном фотонном кристалле. Дифракция на фотонном кристалле с дефектами и неоднородностями.

35. Основные принципы анализа размеров частиц. Вопрос о том, что такое частица. Проблематика размера частиц. Эквивалентная сфера. Различные методы анализа - разные средние.

36. Методы определения размеров наночастиц, взвешенных в растворе. Статическое и динамическое рассеяние света. Броуновское движение. Уравнение Стокса-Эйнштейна. От рассеянного света к коэффициенту диффузии.

37. Эволюция методов сканирующей зондовой микроскопии, основные физические принципы. Особенности работы. Обработка полученной информации и восстановление полученных изображений.

38. Методы определения размеров частиц на изображении. Особенности изучения фотонных кристаллов.

7.1. Основная литература:

Климов, Василий Васильевич. Наноплазмоника / В. В. Климов .? Издание 2-е, исправленное .? Москва : Физматлит, 2010 .? 480 с. : ил., цв. ил. ; 22 см. - Библиогр. в конце гл. - ISBN 978-5-9221-1205-5 ((в пер.)) , 700

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2204

Кульчин, Ю.Н. Современная оптика и фотоника нано- и микросистем / Ю.Н. Кульчин. - М.: Физматлит, 2015. - 488 с.

https://e.lanbook.com/book/72018#book_name

Шпольский Э.В., Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику. - 'Лань', 2010. - 560 с. - ISBN: 978-5-8114-1005-7 // http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=442

7.2. Дополнительная литература:

Пархоменко Ю.Н. и др. Физика и технология приборов фотоники. Солнечная энергетика и нанотехнологии / Пархоменко Ю.Н., Полисан А.А.. Москва : МИСИС, 2013.? 142 с. : https://e.lanbook.com/book/47466#book_name

Гаврилов А.В. и др. Дифракционная нанофотоника / [Гаврилов А. В., Головашкин Д. Л., Досколович Л. Л. и др.] ; под ред. В. А. Сойфер .? Моска : ФИЗМАТЛИТ, 2011 .? 679 с. : ил. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=5296

7.3. Интернет-ресурсы:

Наноструктурированные материалы и устройства (Великобритания) - http://www3.imperial.ac.uk/chemistry/research/sections/nanostructuredmaterialsgroup

Национальный центр наноструктурированных материалов (ЮАР) - http://ls-ncnsm.csir.co.za/

Статья по наноматериалам - http://en.wikipedia.org/wiki/Nanomaterials

Статья по наноструктурам - http://en.wikipedia.org/wiki/Nanostructure

Физика наноструктурированных материалов (Австрия) - http://physnano.univie.ac.at/

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB,audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудованием имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Лаборатория по синтезу и исследованию наноструктурированных материалов и систем

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):
Гайнутдинов Р.Х. _____
Ахмадеев А.А. _____
Хамадеев М.А. _____
"__" _____ 201 __ г.

Рецензент(ы):
Нефедьев Л.А. _____
"__" _____ 201 __ г.