МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан ФРТЭ _____ В.А.Небольсин
«20» января 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Углеродные наноструктуры»

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2023

Автор программы _____ / Костюченко А.В. /

И.о. заведующего кафедрой твердотельной электроники _____ /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП _____ /Стогней О.В./

Воронеж 2023

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины – формирование у обучающихся знаний и навыков в области создания, функциональных свойств и применения углеродных наноструктурированных материалов, проявляющих новые физические свойства.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Формирование у обучающихся знаний о физическо-химических явлениях, происходящих в материлах на наноуровне и изучение влияния размерного фактора на свойства (термодинамические, кристаллохимические, электронные, оптические, механические) углеродных материалов и систем на их основе; ознакомление с имеющимися и потенциальными возможностями практического применения наноструктурированных углеродных материалов при создании устройств для микроэлектроники и последними достижениями в данной области; формирование навыков получения наноструктурированных углеродных материалов и их применения при разработке компонентов микросистемной техники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Углеродные наноструктуры» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Углеродные наноструктуры» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-5 - Способен исследовать, анализировать и прогнозировать влияние различных факторов на параметры наногетероструктурных объектов и изделий.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-5	знать физическо-химические явления, происходящие в материлах на наноуровне; влияние структурного состояния на свойства наноразмерных углеродных структур
	уметь разрабатывать наноразмерные углеродные материалы со свойствами качественно и количественно отличными от свойств объемных материалов
	владеть методами получения наноразмерных углеродных структур с заданными структурными параметрами и свойствами

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Углеродные наноструктуры» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры 7
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	72	72
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	 180 5	 180 5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Аллотропные модификации чистого углерода.	Структура и объекты исследования предмета перспективные углеродные наноструктуры. Основные понятия квантовой химии. Гибридизация атомных орбиталей и многообразие аллотропных модификаций и химических соединений углерода. Аллотропные модификации углерода. Алмаз и алканы. Графит, графен, арены, алкены, чаоит, карбин, алкины. Смешанные и промежуточные аллотропные модификации углерода. Физико-химические свойства графита и алмаза	4	0	0	5	9
2	Фуллерены	Фуллерены. История открытия фуллеренов. Кластеры углерода. Установка и методики Ричарда Смолли. Открытия Бакминстера Фуллера. Теорема Эйлера о многогранниках. Понятие о фуллеренах. Теорема Эйлера и структура молекул фуллеренов и углеродных нанокластеров. Углеродные кластеры фуллероидного типа. Фуллереноподобные структуры в живой природе. Фуллерены как полупроводниковые и наноконструкционные материалы. Свойства легированного фуллерита. Фуллерены как прекурсоры для роста алмазных пленок и пленок карбида кремния. Фуллерены как материал для литографии. Использование фуллеренов в медицине: в качестве основы лекарственных препаратов; для расщепления ДНК. Сверхтвердые фуллериты. Методы получения и разделения фуллеренов. Применение и свойства фуллеренов. Оптические свойства фуллеренов. Фуллерены как материалы	6	4	0	10	20

		для нелинейной оптики. Светоиндуцированное изменение показателя преломления в фуллеренсодержащих тонких пленках сопряженных систем. Лазерные абсорберы видимого и ближнего ИК-диапазонов спектра. Преобразование частот лазерного излучения в фуллеренсодержащих средах.					
3	Углеродные нанотрубки. Нановолокна	История открытия углеродных нанотрубок. Структура углеродных нанотрубок, хиральность. Одностенные нанотрубки. Многостенные нанотрубки нанотрубки. Дефекты структуры углеродных нанотрубок. Получение заполненных углеродных нанотрубок. Методы получения нанотрубок. Дуговой синтез. Лазерный синтез. Пиролиз углеводородов. Синтез ориентированных углеродных нанотрубок. Очистка и раскрытие нанотрубок: химические способы, физические способы. Электрические и механические свойства нанотрубок. Применение углеродных нанотрубок. Углеродные нанотрубки как зонды АСМ. Углеродная «наноткань». Возможности применения углеродных нанотрубок в создании наноразмерных механических устройств и наноактуаторов; в качестве нанопористых фильтрующих элементов. Углеродные нанотрубки как соединительные проводники. Полевая эмиссия и экранирование. Переключающие устройства из углеродных нанотрубок для компьютера. Химические сенсоры на основе углеродных нанотрубок. Полевой транзистор, нанодиод на основе однослойной углеродной нанотрубки. Токсичность углеродных нанотрубок Углеродные нановолокна. Физико-химические закономерности формирования углеродных нановолокон. Поверхностные свойства углеродных нановолокон. Электрическая проводимость. Механические свойства углеродных нановолокон. Синтез углеродных нановолокон из CO_2.	8	4	6	12	30
4	Графен и наноалмазы	Графен. Структура. Модификации графена: наноленты и двухслойный графен; многослойный эпитаксиальный графен. Электронные свойства графена. Поведение электронов проводимости в графене. Электроны и дырки в графене. Подвижность носителей заряда в графене. Механические свойства графена. Графен как перспективный материал для наноэлектронных устройств, «графеновая» электроника. Приборы на основе графена: современное состояние. Способы получения графена. Наноалмазы. Структура и свойства. Детонационный синтез наноалмазов и извлечение наноалмазов из продуктов взрыва. Традиционные способы применения наноалмазов: абразивные покрытия, компоненты износостойких присадок и покрытий. Перспективные области использования наноалмазов: в биологии, биохимии и медицине.	8	4	4	12	28

		Возможности применения наноалсазов в электронике.					
5	**Нанографит**	Получение и строение ультрадисперсного нанографита. Методы диспергирования графита. Проблема устойчивости нанографита. Магнитные свойства нанографита. Ферромагнитное упорядочение. Применения нанографитов в качестве наноразмерных устройств магнитной и спиновой электроники (спин-фильтры, спин-инверторы, спиновые транзисторы, спиновые кубиты).	4	2	4	12	22
6	Композиты, содержащие углеродные материалы	Композиты на основе пенографита. Структура пенографита. Анизотропия свойств пенографита. Интеркалированный графит как основа наноструктурированного пенографита. Подходы к управляемому интеркалированию. Характерные реакции интеркалированных соединений графита: обмен, гидролиз, термолиз. Методы анализа и контроля графита на стадии интеркалирования Научные основы получения пенографита. Механизм вспенивания (разрушения) графита. Способы синтеза интеркалированных соединений графита. Термическое диспергирование слоистых углеродных структур (термоудар). Применение пенографита: уплотнительне и огнезащитные материалы терморасширяющегося типа, уплотнительные композиты. Пенографит как эффективный сорбент нефтепродуктов. Композиты на основе углеродных нанотрубок. Армированние нанотрубками поликристаллического оксида алюминия как способ повышения трещиностойкости и электропроводности; оксида кремния – как способ создания материала для поглощения СВЧ-излучения; карбида вольфрама – как способ повышения трещиностойкости и электрокаталитической активности. Получение прекурсоров композитов. Синтез композитов. Микроструктура композитов. Армирование углеродными нанотрубками карбидов металлов и карбида кремния. Углерод-углеродные композиты. Виды. Нанокомпозит, состоящий из слоев углеродных нанотрубок и графена. Физико-механические свойства углерод-углеродных композитов. Методы консолидации углеродных наноструктур. Применение углерод-углеродных композитов в качестве элементов конструкций специальной техники, работающих в условиях воздействия экстремальных температур, скоростных газовых потоков, жидких металлов, агрессивных сред, механического и эрозионного износа.	6	4	4	12	26
7	Контроль						45
		Итого	**36**	**18**	**18**	**63**	**180**

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Исследование поверхности высокоориентированного пиролитического графита методом сканирующей туннельной микроскопии

2. Исследование структуры и субструктуры углеродных трубок и нановолокон методом просвечивающей электронной микроскопии

3. Устройство и электрические характеристики суперконденсаторов на основе углеродных трубок и нановолокон

4. Исследование структуры интеркалированного графита методом растровой электронной микроскопии

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компе-тенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-5	знать физическо-химические явления, происходящие в материлах на наноуровне; влияние структурного состояния на свойства наноразмерных углеродных структур	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь разрабатывать наноразмерные углеродные материалы со свойствами качественно и количественно отличными от свойств объемных материалов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	владеть методами получения наноразмерных углеродных структур с заданными структурными параметрами и свойствами	Решение прикладных задач в конкретной предметной области; проведение анализа данных, полученных по результатам диагностики физических и структурных параметров наносистем	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компе-тенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-5	знать физическо-химические явления, происходящие в материлах на наноуровне; влияние структурного состояния на свойства наноразмерных углеродных структур	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретически е вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренны й в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренны й в рабочих программах	знать физическо-химические явления, происходящие в материлах на наноуровне; влияние структурного состояния на свойства наноразмерны х углеродных структур	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретически е вопросы
	уметь разрабатывать наноразмерные углеродные материалы со свойствами качественно и количественно отличными от свойств объемных материалов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренны й в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренны й в рабочих программах	уметь разрабатывать наноразмерны е углеродные материалы со свойствами качественно и количественно отличными от свойств объемных материалов	Решение стандартных практических задач
	владеть методами получения наноразмерных углеродных структур с заданными структурными параметрами и свойствами	Решение прикладных задач в конкретной предметной области; проведение анализа данных, полученных по	Выполнение работ в срок, предусмотренны й в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренны й в рабочих программах	владеть методами получения наноразмерны х углеродных структур с заданными структурными параметрами и свойствами	Решение прикладных задач в конкретной предметной области; проведение анализа данных, полученных по

		результатам диагностики физических и структурных параметров наносистем				результатам диагностики физических и структурных параметров наносистем

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Сопоставьте термин и его определение

(Укажите соответствие для всех 5 вариантов ответа):

1) наночастица
2) квантовая точка
3) кластер
4) нанотрубка
5) фуллерен

а. компактная обособленная группа связанных друг с другом атомов, молекул или ионов, которая обладает свойствами, в той или иной степени отличными от свойств составляющих ее элементов.

б. аллотропная модификация углерода, часто называемая молекулярной формой углерода, включает целый ряд атомных кластеров Cn (n > 20), представляющих собой построенные из атомов углерода замкнутые выпуклые многогранники с пяти- и шестиугольными гранями

в. изолированный твердофазный объект, имеющий отчетливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которого во всех трех измерениях составляют от 1 до 100 нм.

г. частица материала с размером, близким к длине волны электрона в этом материале (обычно размером 1-10 нм), внутри которой потенциальная энергия электрона ниже, чем за его пределами, таким образом, движение электрона ограничено во всех трех измерениях.

д. полая цилиндрическая структура диаметром от десятых до нескольких десятков нм и длиной от одного до нескольких сотен микрометров и более, образованная атомами углерода и представляющая собой свернутую в цилиндр графеновую плоскость.

2. Что такое фуллерен?

(Выберите один из 4 вариантов ответа):

1) Перколированный графит
2) Углеродная нанотрубка
3) Семейство шарообразных полых молекул общей формулы Cn
4) Плоский лист графита мономолекулярной толщины

3. Эндофуллерены – это:

(Выберите один из 4 вариантов ответа)

1) эндоэдральные комплексы, содержащие неуглеродный атом внутри фуллерена
2) эндоэдральные комплексы, содержащие неуглеродный атом снаружи фуллерена
3) ионизованные фуллерены
4) фуллереновые кластеры

4. Какая разновидность фуллеренов является наиболее стабильной?

(Выберите один из 5 вариантов ответа):

1) C_{24}

2) C_{28}

3) C_{36}

4) C_{50}

5) C_{60}

6) C_{70}

5. Что такое углеродные нанотрубки?

(Выберите один из 3 вариантов ответа):

1) Протяженные структуры, состоящие из свёрнутых гексагональных сеток с атомами углерода в узлах

2) Семейство шарообразных полых молекул общей формулой Cn

3) Протяженные структуры из углеродных переплетённых цепей

6. Все однослойные углеродные нанотрубки обладают следующими свойствами:

(выберите одно некорректное утверждение)

1) высокой прочностью

2) высокой упругостью

3) высокой электропроводностью

4) высокой теплопроводностью

5) высокой химической стойкостью

7. Как называется слой атомов углерода, соединённых посредством sp^2 связей в гексагональную двумерную кристаллическую решётку?

(Выберите один из 4 вариантов ответа):

1) фуллерен

2) графен

3) нанотрубка

4) карбин

8. Каким способом был получен впервые исследованный графен:

(Выберите один из 3 вариантов ответа):

1) Химическим осаждением из газовой фазы

2) Послойным расщеплением монокристаллического графита

3) Термическим разложением карбида кремния

9. Какие углеродные наноструктуры перспективны для изготовления защитных экранов от э/м излучения и высоких температур, в технологии «стелс»?

(выберите один из 3 вариантов ответа)

1) углеродные нанотрубки

2) углеродные нановолокна

3) фуллерены

10. Чем объясняется высокая стоимость углеродных наноструктур?

(Выберите один из 3 вариантов ответа):

1) высокой стоимостью исходных реагентов

2) высокой сложностью процесса синтеза

3) сложностью системы очистки

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Какие материалы можно получить при детонационном синтезе с использованием углеродосодержащей атмосферы?

(Выберите один из 4 вариантов ответа):

1) углеродные нанотрубки или нитевидные кристаллиты

2) смесь графита с металлом или наноалмазы

3) соли или комплексы металлов

4) низкотемпературные или высокотемпературные метастабильные кристаллические модификации

2. В узлах кристаллической решетки фуллеритов находятся:

(Выберите один из 3 вариантов ответа)

1) атомы углерода

2) фуллерены

3) наночастицы

3. Сопоставьте материал и присущие ему свойства:

(Укажите соответствие для вариантов ответа)

1) Алмаз

2) Графит

а. Проводник

б. Изолятор

в. Максимальная твердость

г. Максимальная теплопроводность

4. Как связана величина проводимости нанотрубки с ее длиной и толщиной:

(Выберите один из 4 вариантов ответа)

1) проводимость нанотрубки уменьшается с увеличением ее длины и увеличивается с увеличением ее толщины

2) проводимость нанотрубки увеличивается с увеличением ее длины и увеличивается с увеличением ее толщины

3) проводимость нанотрубки уменьшается с увеличением ее длины и уменьшается с увеличением ее толщины

4) проводимость нанотрубки не зависит ни от ее длины, ни от ее толщины и равна кванту проводимости

5. Для какого типа нанотрубок характерен только металлический тип проводимости

(Выберите один из 3 вариантов ответа)

1) ахиральные типа «кресло»

2) ахиральные типа «зигзаг»

3) хиральные

6. Какой метод не относится к основным методам получения углеродных нанотрубок и нановолокон?

(Выберите один из 4 вариантов ответа):

1) Дуговой

2) Лазерно-термический

3) Пиролитический

4) Детонационный

7. Оцените твердость при нормальных условиях полимеризованного из C_{60} фуллерита:

(Выберите один из 4 вариантов ответа):
1) существенно меньше твердости графита и алмаза
2) выше твердости графита, но меньше твердости алмаза
3) выше твердости графита и алмаза
4) практически равна твердости графита

8. На основе какой углеродной нанотрубки возможно создание выпрямляющего нанодиода?
(выберите один из 3 вариантов ответа):
1) Многослойная углеродная нанотрубка
2) Заполненная однослойная углеродная нанотрубка
3) Однослойная углеродная нанотрубка с дефектом «локтевое соединение» между кресельной и зигзагообразной частями

9. Какая из углеродных структур отличается наименьшей химической стойкостью?
(Выберите один из вариантов ответа):
1) Графен
2) Графит
3) Фуллерен
4) Углеродная нанотрубка

10. С чем связана сложность создания полевого транзистора на основе однослойного графена?
(выберите один из трех вариантов ответов):
1) высокая подвижность носителей заряда
2) амбиполярность проводимости
3) высокая вероятность образования заряженных дефектов на поверхности графена

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Удельная поверхность открытых одностенных углеродных нанотрубок равна 1000 м2/г, а плотность составляет 1.3 г/см3. Считая, что у всего материала отношение объема к поверхности – такое же, как и у одной трубки, оцените диаметр нанотрубки.

2. Найдите расстояние между центрами соседних молекул фуллерена в его низкотемпературной модификации (плотность 1.7 г/см3), которая имеет примитивную кубическую решетку, где молекулы находятся только в вершинах кубической элементарной ячейки.

3. Рассчитайте массу графенового квадрата размером 10×10 мм. Длина связи С–С в графите равна 0,142 нм.

4. Для насыщения свободных валентностей углерод в графене способен образовывать связи с газообразными веществами. Чему равно максимальное число атомов водорода, которые может присоединить указанный выше графеновый квадрат?

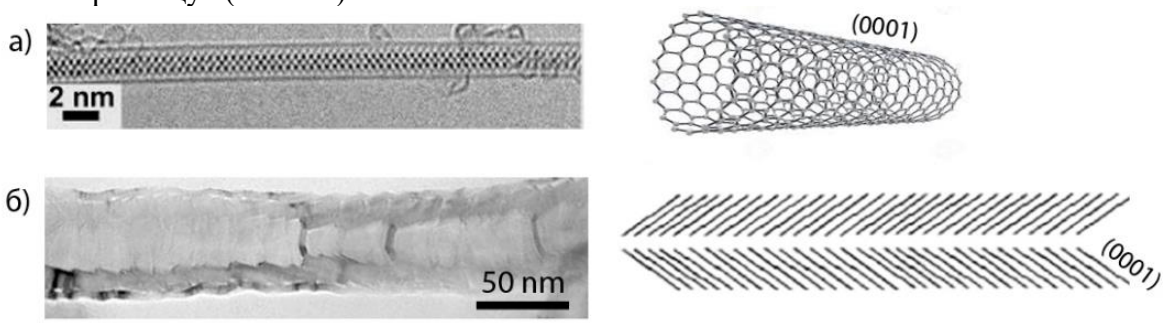
5. Сколько атомов углерода входит в состав наноалмаза диаметром 5.0 нм? Какой процент от общего объема алмаза занимают атомы углерода? Необходимая информация:

ковалентный радиус атома углерода составляет 0,077 нм (половина длины связи C–C). Плотность алмаза 3.52 г/см^3.

6. Углеродные нанотрубки были получены в 1991 году испарением графита в электрической дуге с последующим водяным охлаждением. Другой способ получения углеродных нанотрубок – высокотемпературное разложение бензола. В каком случае речь идет о физическом, а в каком – о химическом осаждении из газовой фазы?

7. Предложите экспериментальные методы определения прочности и модуля Юнга для нанотрубок.

8. Удельная прочность (получена в испытаниях на растяжение) однослойных углеродных нанотрубок (рис. а), составляет 300-1500 ГПа, удельная прочность углеродных волокон с «ёлочной» структурой пластин графита (рис. б) – 2-4 ГПа. Объясните разницу? (2 балла)



9. Оцените толщину пленки наноалмаза, полученной методом химического осаждения из метана на поверхности субстрата размером 10x10 см в камере объемом 3 л при температуре 1000 K, если исходное давление метана составляло 18 мм рт. ст. Плотность алмаза равна 3.52 г/см^3.

10. Чему равна максимально возможная масса углеродных нанотрубок, которые можно получить из 1.00 г графита?

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Аллотропные модификации чистого углерода. Смешанные и промежуточные аллотропные модификации углерода. Физико-химические свойства графита и алмаза.

2. Фуллерены. История открытия. Кластеры углерода. Установка и методики Ричарда Смолли. Открытия Бакминстера Фуллера. Теорема Эйлера о многогранниках. Теорема Эйлера и структура молекул фуллеренов и углеродных нанокластеров. Углеродные кластеры фуллероидного типа. Фуллереноподобные структуры в живой природе.

3. Фуллерены как полупроводниковые и наноконструкционные материалы. Свойства легированного фуллерита.

4. Фуллерены как прекурсоры для роста алмазных пленок и пленок карбида кремния. Фуллерены как материал для литографии.

5. Использование фуллеренов в медицине: в качестве основы лекарственных препаратов; для расщепления ДНК. Сверхтвердые фуллериты.

6. Методы получения и разделения фуллеренов.

7. Оптические свойства фуллеренов. Фуллерены как материалы для нелинейной оптики. Светоиндуцированное изменение показателя преломления в фуллеренсодержащих тонких пленках сопряженных систем. Лазерные абсорберы видимого и ближнего ИК-диапазонов спектра. Преобразование частот лазерного излучения в фуллеренсодержащих средах.

8. Углеродные нанотрубки. История открытия углеродных нанотрубок. Структура углеродных нанотрубок, хиральность. Одностенные нанотрубки. Многостенные нанотрубки нанотрубки. Дефекты структуры углеродных нанотрубок.

9. Методы получения нанотрубок. Дуговой синтез. Лазерный синтез.

10. Методы получения нанотрубок. Пиролиз углеводородов. Синтез ориентированных углеродных нанотрубок. Очистка и раскрытие нанотрубок: химические способы, физические способы. Получение заполненных углеродных нанотрубок.

11. Электрические и механические свойства нанотрубок.

12. Применение углеродных нанотрубок. Углеродные нанотрубки как зонды АСМ. Углеродная «нанотканъ». Возможности применения углеродных нанотрубок в создании наноразмерных механических устройств и наноактуаторов; в качестве нанопористых фильтрующих элементов.

13. Углеродные нанотрубки как соединительные проводники. Полевая эмиссия и экранирование. Переключающие устройства из углеродных нанотрубок для компьютера. Полевой транзистор, нанодиод на основе однослойной углеродной нанотрубки.

14. Химические сенсоры на основе углеродных нанотрубок.

15. Углеродные нановолокна. Физико-химические закономерности формирования углеродных нановолокон. Поверхностные свойства углеродных нановолокон.

16. Синтез углеродных нановолокон из CO2. Электрическая проводимость углеродных нановолокон. Механические свойства углеродных нановолокон.

17. Графен. Структура. Модификации графена: наноленты и двухслойный графен; многослойный эпитаксиальный графен.

18. Электронные свойства графена. Поведение электронов проводимости в

графене. Электроны и дырки в графене. Подвижность носителей заряда в графене.

19. Графен как перспективный материал для наноэлектронных устройств, «графеновая» электроника. Приборы на основе графена: современное состояние. Способы получения графена.

20. Наноалмазы. Структура и свойства. Детонационный синтез наноалмазов и извлечение наноалмазов из продуктов взрыва.

21. Традиционные способы применения наноалмазов: абразивные покрытия, компоненты износостойких присадок и покрытий. Перспективные области использования наноалмазов: в биологии, биохимии и медицине. Возможности применения наноалмазов в электронике.

22. Нанографит. Получение и строение ультрадисперсного нанографита. Методы диспергирования графита. Проблема устойчивости нанографита. Магнитные свойства нанографита. Ферромагнитное упорядочение.

23. Применения нанографитов в качестве наноразмерных устройств магнитной и спиновой электроники (спин-фильтры, спин-инверторы, спиновые транзисторы, спиновые кубиты).

24. Композиты на основе пенографита. Структура пенографита. Анизотропия свойств пенографита. Интеркалированный графит как основа наноструктурированного пенографита. Подходы к управляемому интеркалированию. Характерные реакции интеркалированных соединений графита: обмен, гидролиз, термолиз. Методы анализа и контроля графита на стадии интеркалирования.

25. Методы получения пенографита. Механизм вспенивания (разрушения) графита. Способы синтеза интеркалированных соединений графита. Термическое диспергирование слоистых углеродных структур (термоудар).

26. Применение пенографита: уплотнительне и огнезащитные материалы терморасширяющегося типа, уплотнительные композиты. Пенографит как эффективный сорбент нефтепродуктов.

27. Композиты на основе углеродных нанотрубок. Армированние нанотрубками поликристаллического оксида алюминия; оксида кремния; карбида вольфрама. Получение прекурсоров композитов. Синтез композитов. Микроструктура композитов. Армирование углеродными нанотрубками карбидов металлов и карбида кремния.

28. Углерод-углеродные композиты. Виды. Нанокомпозит, состоящий из слоев углеродных нанотрубок и графена. Физико-механические свойства углерод-углеродных композитов. Методы консолидации углеродных наноструктур.

29. Применение углерод-углеродных композитов в качестве элементов конструкций специальной техники, работающих в условиях воздействия экстремальных температур, скоростных газовых потоков, жидких металлов, агрессивных сред, механического и эрозионного износа.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 15 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов (3 балла верное решение и 2 балла за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение. Аллотропные модификации чистого углерода.	ПК-5	Защита реферата
2	Фуллерены	ПК-5	Тест, контрольная работа
3	Углеродные нанотрубки. Нановолокна	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
4	Графен и наноалмазы	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
5	Нанографит	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
6	Композиты, содержащие углеродные материалы	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
7.1.1. Основная литература				
7.1.1.1	И. В. Золотухин, О. В. Стогней	Физика наносистем: графены и гранулированные нанокомпозиты : Учеб. пособие	2011 печатн.	0,9
7.1.1.2	И. В. Золотухин, Л. И. Янченко, А. В. Нефедов	Графены и термоэлектрические материалы нанометрового масштаба	2010 печатн.	0,6
7.1.1.3	Гусев, А.И.	Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии	2009 печатн.	0,6
7.1.2. Дополнительная литература				
7.1.2.	И.П. Суздалев	Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов	2006	0,2
7.1.2.	С. А. Гриднев	Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах	2012	0,4
7.1.2.	И. В. Золотухин, Ю. Е. Калинин	Углеродные нанотрубки и нановолокна	2006	0,9
7.1.2.	Р.А. Андриевский,	Наноструктурные материалы : учеб. пособие	2005	0,2
7.1.3 Методические разработки				
7.1.3.1	Ю. Е. Калинин, И. В. Золотухин, Л. И. Янченко	Методические указания к лабораторным работам № 1-3 по курсу «Экспериментальные методы исследования» обучения	2010 электр.	1,0
7.1.3.2	Ю. Е. Калинин, И. В. Золотухин, Л. И. Янченко	Методические указания к лабораторным работам № 4-5 по курсу «Экспериментальные методы исследования»	2010 электр.	1,0
7.1.3.3	О. И. Сысоев, Л. Н. Коротков, И. В. Бабкина, М. А. Каширин	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1-2 по дисциплине "Физико-химические основы технологии материалов и структур твердотельной электроники"	2012 электр.	1,0
7.1.3.4	О. И. Сысоев, Л. Н. Коротков,	Методические указания к выполнению лабораторных работ	2012	1,0

	И. В. Бабкина, М. А. Каширин	№ 3-4 по дисциплине "Физико-химические основы технологии материалов и структур твердотельной электроники"	электр.	

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных

8.2.1	**Компьютерные практические работы**:
	– Обработка результатов сканирующей туннельной микроскопии с использова программы «Image_Analysis_P9» Работа с базой межплоскостных расстояний «Powder Diffraction File Alphabetical Inc Compounds»
8.2.2	**Мультимедийные видеофрагменты:**
	– Лекции с сайта http://www.nanometer.ru
8.2.3	**Мультимедийные лекционные демонстрации:**
	– Презентации по курсу «Углеродные наноструктуры» (30 слайдов)

профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

9.1	**Специализированная лекционная аудитория**, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой
9.2	**Учебные лаборатории:** Просвечивающей электронной микроскопии и электронографии
9.3	**Дисплейный класс**, оснащенный компьютерными программами
9.4	**Натурные лекционные демонстрации**: Напылительные вакуумные установки ВУП-5, УВН-74М – Сканирующий зондовый микроскоп Solver47 – Углеродные нанотрубки, нанопористые оксидные покрытия, биосовместимые нанокристаллические покрытия

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Углеродные наноструктуры» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета режимов синтеза и контроля структуры углеродных наноматериалов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомится с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.