

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

| | |
|----------------------------|--|
| | Рабочая программа дисциплины (модуля) |
| по дисциплине: | Физика и химия углеродных наноструктур |
| по направлению: | Материаловедение и технологии материалов |
| профиль подготовки: | Перспективные функциональные материалы |
| | Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики |
| | кафедра физики и химии наноструктур |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.З. Мордкович, д-р хим. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и химии наноструктур 29.05.2020

Аннотация

Курс "Физика и химия углеродных наноструктур" предусматривает освоение студентами фундаментальных знаний в области химии и физики углеродных наноструктур; изучение способов создания материалов и устройств на основе углеродных наноструктур; изучение экспериментальных методов идентификации различных углеродных наноструктур, а также способов исследования их свойств и областей их практического применения.

Задачи курса:

- формирование базовых знаний в области химии и физики углеродных наноструктур как дисциплины, интегрирующей подготовку в различных областях физики твердого тела и смежных областях физики на примере максимального разнообразия наноструктур и материалов, обеспечиваемых уникальными возможностями углерода;
- обучение студентов принципам создания разнообразных углеродных наноструктур, их идентификации и основам практического применения;

По результатам освоения курса студент должен знать:

- ☐ разнообразие углеродных наноструктур и их классификацию;
- ☐ способы идентификации углеродных наноструктур и сертификации материалов на их основе;
- ☐ способы создания углеродных наноструктур и сертификации материалов на их основе;
- ☐ существующие и перспективные практические применения углеродных наноструктур;
- ☐ о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. История науки об углероде с древних времен и ее место в фундаментальном единстве естественных наук
2. Практические применения углеродных наноструктур сегодня и завтра
3. Разнообразие углеродных наноструктур и их классификация
4. Свойства углеродных наноструктур и методы их исследования
5. Способы идентификации углеродных наноструктур и сертификации материалов на их основе
6. Способы создания углеродных наноструктур и материалов на их основе

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами фундаментальных знаний в области химии и физики углеродных наноструктур; изучение способов создания материалов и устройств на основе углеродных наноструктур; изучение экспериментальных методов идентификации различных углеродных наноструктур, а также способов исследования их свойств и областей их практического применения.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области химии и физики углеродных наноструктур как дисциплины, интегрирующей подготовку в различных областях физики твердого тела и смежных областях физики на примере максимального разнообразия наноструктур и материалов, обеспечиваемых уникальными возможностями углерода;
- обучение студентов принципам создания разнообразных углеродных наноструктур, их идентификации и основам практического применения;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области новых материалов в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--------------------------------|--|
| | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований |

| | |
|---|--|
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели |
| | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты |

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ разнообразие углеродных наноструктур и их классификацию;
- ☐ способы идентификации углеродных наноструктур и сертификации материалов на их основе;
- ☐ способы создания углеродных наноструктур и сертификации материалов на их основе;
- ☐ существующие и перспективные практические применения углеродных наноструктуры;
- ☐ о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- ☐ эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- ☐ представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- ☐ работать на современном экспериментальном оборудовании;
- ☐ абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- ☐ планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- ☐ планированием, постановкой и обработкой результатов физического и химического эксперимента;
- ☐ научной картиной мира;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- ☐ математическим моделированием физических задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| № | Тема (раздел) дисциплины | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. | | | |
|---|--|---|----------|-----------------|----------------|
| | | Лекции | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1 | История науки об углероде с древних времен и ее место в фундаментальном единстве естественных наук | | 2 | | 5 |
| 2 | Практические применения углеродных наноструктур сегодня и завтра | | 6 | | 5 |
| 3 | Разнообразие углеродных наноструктур и их классификация | | 4 | | 5 |
| 4 | Свойства углеродных наноструктур и методы их исследования | | 6 | | 5 |
| 5 | Способы идентификации углеродных наноструктур и сертификации материалов на их основе | | 4 | | 5 |

| | | | | | |
|-----------------------|--|--------------------|----|--|----|
| 6 | Способы создания углеродных наноструктур и материалов на их основе | | 8 | | 5 |
| Итого часов | | | 30 | | 30 |
| Подготовка к экзамену | | 30 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 90 час., 2 зач.ед. | | | |

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. История науки об углероде с древних времен и ее место в фундаментальном единстве естественных наук

Углеродные материалы древности: древесный уголь, угольная чернь и печная сажа, их применения в древности и современности. Индустриальная эпоха и открытие аллотропии. Теория Кекуле и современные представления о строении углеродных материалов. Новые углеродные материалы XX века: коксы, графиты, углеродные волокна и их наноструктура. Открытие фуллерена и взрывное развитие науки об углеродных наноструктурах.

2. Практические применения углеродных наноструктур сегодня и завтра

Применения углеродных наноструктур в XX веке: коксы, графиты, углеродные волокна, сажи и черни, детонационные алмазы. Перспективы применения углеродных нанотрубок, фуллеренов и новых материалов на их основе. Реальные и легендарные применения: орбитальный лифт, фуллерен как лекарство. Перспективы нанoeлектронных устройств на основе углеродных наноструктур.

3. Разнообразие углеродных наноструктур и их классификация

Теория гибридизации Полинга и более современные представления о принципах строения углеродных кластеров. Возможности существования ограниченных и протяженных углеродных наноструктур. Взаимная связь графита и графена. Фуллерен. Нановолокна и нанотрубки как структурное развитие фуллерена и как структурное развитие графита. Классификация углеродных наноструктур. Углеродные наноструктуры в углеродных материалах, композитах, нанокомпозитах и интеркалированных структурах.

4. Свойства углеродных наноструктур и методы их исследования

Связь между структурой и свойствами углеродных материалов. Физические и химические свойства. Реальные и легендарные уникальные свойства различных углеродных наноструктур: ферромагнетизм нанографита, химическая стойкость стеклоуглерода, механическая прочность углеродных нановолокон, баллистическая проводимость углеродных нанотрубок. Методы экспериментального исследования свойств, представительность методов.

5. Способы идентификации углеродных наноструктур и сертификации материалов на их основе

Просвечивающая электронная микроскопия как «абсолютный» метод идентификации углеродных наноструктур, недостатки и ограничения этого метода. Другие электронно-микроскопические, зондовые, спектральные, химические методы идентификации. Оптимальная стратегия идентификации с применением нескольких методов исследования. Проблемы и практическая реализация сертификации материалов на основе углеродных наноструктур.

6. Способы создания углеродных наноструктур и материалов на их основе

Самозарождение углеродных наноструктур в природе. Способы создания углеродных наноструктур «снизу вверх»: зарождение в плазме (дуговые, абляционные), газовый пиролиз, рост из расплавов. Способы создания углеродных наноструктур «сверху вниз»: расщепление, интеркалирование, направленный синтез методами органической химии. Способы создания углеродных наноструктур на матрицах: катализ, осаждение в нейтральные матрицы. Углеродные материалы и многокомпонентные композиты на основе углеродных наноструктур.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для практических занятий: учебная аудитория, компьютеры и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века / . Харрис П., М.: Техносфера, 2005, 336 с. ISBN 5-94836-013-X.
2. Фуллерены/. Сидоров Л.Н., Юровская М.А., Борщевский А.Я., Трушков И.В., Иоффе И.Н. Москва: Экзамен, 2005, 687 с. ISBN 5-472-00294-X
3. Electron microscopy of nanotubes / edited by Zhong Liu Wang, Chun Hui, Dordrecht: Kluwer Academic Press, 2003, 310 p., ISBN 1-40204-361-5
4. Фуллерены в биологии / Пиотровский Л.Б., Киселев О.И., СПб: Росток, 2006, 336 с. ISBN 5-94668-039-0

Дополнительная литература

1. Мордкович В. З. Сверхвысокопрочные углеродные нано-волокна/ Хим. пром. сегодня, 2003, № 2, с. 12-21
2. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктуры наноматериалов/. Суздаев И.П. Изд. 2-е, испр. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 592 с/ ISBN 978-5-397-00217-2.
3. Carbon fibers and their composites / Morgan P., Boca Raton: CRC Press, 2005, 1153 p. ISBN 0-8247-0983-7
4. Журналы по углеродным материалам и наноструктурам (Carbon, Fullerenes, nanotubes and carbon clusters, и др.)

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Доступные через Internet научные и научно-технические журналы: <http://scitation.aip.org/>, <http://www.sciencemag.org/> электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса. Обеспечение самостоятельной работы - базы данных по журналам Physica Status Solidi b, Physical Review, J of Apply Physics.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

не предусмотрены.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач. Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|--|---|
| по направлению: | Материаловедение и технологии материалов |
| профиль подготовки: | Перспективные функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики и химии наноструктур |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен | |
| Разработчик: | В.З. Мордкович, д-р хим. наук |

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|--|
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований |
| | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели |
| | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика и химия углеродных наноструктур» обучающийся должен:

знать:

- ☐ разнообразие углеродных наноструктур и их классификацию;
- ☐ способы идентификации углеродных наноструктур и сертификации материалов на их основе;
- ☐ способы создания углеродных наноструктур и сертификации материалов на их основе;
- ☐ существующие и перспективные практические применения углеродных наноструктуры;
- ☐ о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- ☐ эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- ☐ представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- ☐ работать на современном экспериментальном оборудовании;
- ☐ абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- ☐ планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- ☐ планированием, постановкой и обработкой результатов физического и химического эксперимента;
- ☐ научной картиной мира;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- ☐ математическим моделированием физических задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену:

- 1) Основные понятия и величины нано- и оптоэлектроники.
- 2) Принцип построения систем обработки сигналов. Конструирование «сверху-вниз» и «снизу-вверх»
- 3) Квантово-механическая когерентность. Квантовые ямы, проволоки и точки.
- 4) Автоэмиссионные электронные микроскопы на базе электронной колонны GEMINI.
- 5) Двухлучевые микроскопы с ионной колонной. Наноманипуляторы.

- 6) Зондовые микроскопы.
- 7) Нелинейные вольтамперные характеристики и активные элементы молекулярной электроники.
- 8) Химические реакционно-диффузионные среды и средства обработки информации.
- 9) Реакционно-диффузионный процессор.
- 10) Плотность состояний и размерность системы.
- 11) Баллистический транспорт носителей заряда. Подвижность зарядов. Туннелирование носителей заряда.
- 12) Методы формирования нанoeлектронных структур, основанные на использовании сканирующих зондов.
- 13) Нанолитография. Электронно-лучевая литография. Перьевая нанолитография.
- 14) Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур.
- 15) Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины. Параболическая и треугольная квантовые ямы. Параболическая потенциальная яма.
- 16) Напряженные слои. Влияние напряжений на валентную зону. Зонная структура в квантовых ямах.
- 17) Способы гибридизации атомов углерода.
- 18) Многостенные и одностенные углеродные нанотрубки, фуллерены и фуллере-новые полимеры, графит, нанодiamond и аморфные алмазоподобные пленки, углеродные и азот-углеродные нановолокна.
- 19) Графеновые нанoeлектронные устройства.
- 20) Гетеропереходы. Гетеропереходы с модулированным легированием.
- 21) Напряженные гетероструктуры на основе SiGe.
- 22) Модулировано-легированные квантовые ямы. Множественные квантовые ямы (MQW).
- 23) Концепция сверхрешеток. Модель сверхрешетки Крони-Ганна-Пенни.
- 24) Процесс продольного переноса в наноструктурах в электрических полях. Экспериментальные данные по продольному переносу.
- 25) Поперечный перенос.
- 26) Резонансное туннелирование.
- 27) Влияние поперечных электрических полей на свойства сверхрешеток. Квантовый перенос в наноструктурах.
- 28) Воздействие магнитного поля на кристаллы.
- 29) Поведение систем пониженной размерности в магнитных полях.
- 30) Плотность состояний двумерных систем в магнитных полях. Эффект Аронова-Бома. Эффект Шубникова-де Газа.
- 31) Квантовый эффект Холла. Использование квантового эффекта Холла в метрологии.
- 32) Оптические характеристики квантовых точек и нанокристаллов.
- 33) Электрооптические эффекты в квантовых точках. Квантово-размерный эффект Штарка.
- 34) Электрооптические эффекты в сверхрешетках.
- 35) Транзисторы на горячих электронах. Одноэлектронные транзисторы.
- 36) Лазеры на полупроводниковых гетеропереходах.
- 37) Лазеры на полупроводниковых квантовых ямах.
- 38) Лазеры на напряженных структурах с квантовыми ямами. Лазеры на квантовых точках.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Квантово-механическая когерентность. Квантовые ямы, проволоки и точки.
2. Электрооптические эффекты в квантовых точках. Квантово-размерный эффект Штарка.

Пример 2.

1. Гетеропереходы. Гетеропереходы с модулированным легированием.
2. Транзисторы на горячих электронах. Одноэлектронные транзисторы.

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.