

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау**

А.В. Рогачев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Methods for the Synthesis of Nanomaterials/Методы синтеза наноматериалов
по направлению:	Фотоника и оптоинформатика
профиль подготовки:	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики и технологии наноструктур
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 15 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.В. Арсенин, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и технологии наноструктур 01.04.2024

Аннотация

Курс включает подробное рассмотрение методов синтеза материалов: осаждение тонких пленок металлов, диэлектриков, полупроводников (включая анализ механизмов роста тонких пленок, способы осаждения и влияния различных рабочих параметров на характеристики пленок), синтез двумерных и квази-двумерных материалов (CVD и др.), эксфолиирование двумерных материалов, атомно-слоевое осаждение, импульсное лазерное осаждение, химическое осаждение из газовой фазы. Создание ван-дер-ваальсовых гетероструктур. Оптическая и электронно-лучевая литография. Локальный анализ, напыление и травление материалов с помощью фокусируемого ионного пучка.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Введение в основные методы синтеза материалов: осаждение тонких пленок металлов, диэлектриков, полупроводников (включая анализ механизмов роста тонких пленок, способы осаждения и влияния различных рабочих параметров на характеристики пленок), синтез двумерных и квази-двумерных материалов (CVD и др.), эксфолиирование двумерных материалов, атомно-слоевое осаждение, импульсное лазерное осаждение, химическое осаждение из газовой фазы и др.

Задачи дисциплины

Изучение:

1. Метода осаждения тонких пленок металлов, диэлектриков, полупроводников.
2. Метода синтеза двумерных и квази-двумерных материалов (CVD и др.).
3. Метода эксфолиирования двумерных материалов.
4. Метода атомно-слоевого осаждения тонких пленок.
5. Метода импульсного лазерного осаждения тонких пленок.
6. Методов оптической и электронно-лучевой литографии.
7. Методов локального анализа, напыления и травления материалов с помощью фокусируемого ионного пучка.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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 в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен самостоятельно или в составе научного коллектива планировать и проводить научные исследования в области фотоники и оптоинформатики
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

1. Основные методы синтеза наноматериалов.
2. Основные методы создания наноструктур.
3. Основные методы анализа наноматериалов и наноструктур.

уметь:

1. Использовать методы синтеза наноматериалов для создания тонкопленочных структур.
2. Использовать методы наноструктурирования для создания наноприборов.

владеть:

Набором навыков и знаний, необходимых для синтеза наноматериалов и создания наноструктур.

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	Получение наноразмерных структур	2			6
2	Получение тонкопленочных структур	2			5
3	Исследование наноструктур методами сканирующей зондовой микроскопии	2			6
4	Исследование наноструктур методами просвечивающей электронной микроскопии	2			6
5	Синтез двумерных материалов	2			6
6	Экслофияция двумерных материалов	2			5

7	Манипулирование нанообъектами и управление наноперемещениями	1			5
8	Обработка структур и изготовление устройств с применением нанотехнологий	2			6
Итого часов		15			45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 3 (Осенний)

1. Получение наноразмерных структур

Коллоидный синтез наночастиц. Лазерная абляция. Фемтосекундная лазерная абляция.

2. Получение тонкопленочных структур

. Термическое и электронно-лучевое осаждение в высоком вакууме. Импульсное лазерное напыление. Ионно-плазменные методы осаждения материалов. Атомно-слоевое осаждение.

3. Исследование наноструктур методами сканирующей зондовой микроскопии

Основы метода сканирующей зондовой микроскопии. Атомно-силовая микроскопия – принципы работы и методы измерений. Принципы работы магнитно-силовых микроскопов.

4. Исследование наноструктур методами просвечивающей электронной микроскопии

Просвечивающая электронная микроскопия – принцип работы и методы измерений.

5. Синтез двумерных материалов

CVD-синтез графена. CVD-синтез дихалькогенидов переходных металлов. Рост слоистых кристаллов.

6. Эксфолиация двумерных материалов

Методы получения кристаллических двумерных структур. Эксфолиация графена, двумерных кристаллов гексагонального нитрида бора, эксфолиация дихалькогенидов переходных металлов.

7. Манипулирование нанообъектами и управление наноперемещениями

Лазерный перенос. Оптический пинцет. Перемещение нанообъектов с помощью атомно-силового микроскопа.

8. Обработка структур и изготовление устройств с применением нанотехнологий

Плазмохимическое травление поверхности подложек и наноразмерных пленок. Оптическая литография. Электронная литография. Изготовление наноструктур с помощью фокусированного ионного пучка.

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

Комплект электронных презентаций/слайдов; аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук); при необходимости специальные технические средства для обучающихся инвалидов и лиц с ОВЗ.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Literature fund of the basic departament:

1. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур [Текст] : лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие / ред. А. С. Сигов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 184 с. : ил. - (Учебник для высшей школы).
2. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение [Текст] / ред. пер. Т. П. Каминская ; пер.: С. А. Иванов, К. И. Домкин. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 582 с.
3. Наноструктуры и наноматериалы [Текст] : научное издание / Г. Цао, И. Ван ; пер.: А. И. Ефимова, С. И. Каргов ; науч. ред. русс. изд. В. Б. Зайцев ; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова., Научно-образовательный центр по нанотехнологиям. - 2-е изд.,испр. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 540 с.

Дополнительная литература

1. Материалы и методы нанотехнологии [Текст] / В. В. Старостин - М.БИНОМ. Лаб. знаний,2010

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

Не используются

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

При подготовке и проведении лекционных занятий используется сеть интернет.
Кроме того, используется Libre Office, а также графический пакет Ink Scape.

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 и понятия, 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 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:	Фотоника и оптоинформатика
профиль подготовки:	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики и технологии наноструктур
курс:	<u>2</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	А.В. Арсенин, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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 в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен самостоятельно или в составе научного коллектива планировать и проводить научные исследования в области фотоники и оптоинформатики
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Methods for the Synthesis of Nanomaterials/Методы синтеза наноматериалов» обучающийся должен:

знать:

1. Основные методы синтеза наноматериалов.
2. Основные методы создания наноструктур.
3. Основные методы анализа наноматериалов и наноструктур.

уметь:

1. Использовать методы синтеза наноматериалов для создания тонкопленочных структур.
2. Использовать методы наноструктурирования для создания наноустройств.

владеть:

Набором навыков и знаний, необходимых для синтеза наноматериалов и создания наноструктур.

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 по теме прошлого занятия.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Физические принципы работы электронно-лучевого литографа и методы электронно-лучевой литографии.
2. Физические принципы, лежащие в основе работы атомно-силового микроскопа и базовые методы исследования рельефа поверхности.
3. Обработка результатов измерений, полученных с помощью атомно-силового микроскопа.
4. Физические основы оптической литографии.
5. Химическое осаждение из паровой фазы.
6. Физические принципы фемтосекундной лазерной абляции.
7. Термическое и электронно-лучевое осаждение в высоком вакууме.
8. Коллоидный синтез наночастиц.
9. Лазерная абляция.
10. Фемтосекундная лазерная абляция.
11. Методы получения кристаллических двумерных структур.
12. Эксфолиация графена, двумерных кристаллов гексагонального нитрида бора, эксфолиация диалкогенидов переходных металлов.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Физические принципы работы электронно-лучевого литографа и методы электронно-лучевой литографии.
2. Коллоидный синтез наночастиц. Лазерная абляция. Фемтосекундная лазерная абляция.

Билет 2.

1. Физические принципы, лежащие в основе работы атомно-силового микроскопа и базовые методы исследования рельефа поверхности.
2. Методы получения кристаллических двумерных структур. Эксфолиация графена, двумерных кристаллов гексагонального нитрида бора, эксфолиация диалкогенидов переходных металлов.

Критерии оценивания

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 балла - 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 балла - 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 балла - 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 балл - 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

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.