

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий государственный университет»

Физико-технический факультет
Кафедра теоретической физики и нанотехнологий

УТВЕРЖДАЮ
проректор

_____ П. А. Машаров
«17» апреля 2025 г.
МП

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИКА НАНЕСЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК

Укрупненная группа направлений подготовки	28.00.00 Нанотехнологии и наноматериалы
Программа высшего образования	Программа магистратуры
Направление подготовки	28.04.03 Наноматериалы
Направленность (профиль) образовательной программы	Наноматериалы и нанотехнологии
Квалификация	Магистр
Форма обучения	Очная

Рабочая программа может быть адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2025

Рабочая программа дисциплины **«Научные основы и практика нанесения наноструктурированных пленок»** для обучающихся по направлению подготовки 28.04.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы и нанотехнологии), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 28.04.03 Наноматериалы, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22 сентября 2017 г. № 966 (с изм. и доп.), Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2025 года.

Разработчик:

профессор кафедры теоретической
физики и нанотехнологий,
канд. физ.-мат. наук, проф.

Н.П. Иваницын

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий.

Протокол от 10.04.2025 г. № 18.

Заведующий кафедрой

А. Г. Петренко

СОГЛАСОВАНО:

И.о. декана физико-технического факультета
16.04.2025 г.

С. А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета.

Протокол от 16.04.2025 г. № 4

Председатель

В. Н. Котенко

Руководитель основной образовательной
программы, д-р физ.-мат. наук, проф.
10.04.2025 г.

А. Г. Петренко

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной:

дисциплины программы бакалавриата: Основы кристаллографии, Дефекты в кристаллах, Дифракционные методы исследования вещества.

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Современные методы анализа и исследования структуры и свойств наноматериалов, Современные функциональные материалы, Производственная практика: научно-исследовательская работа, Производственная практика: преддипломная практика.

2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы (далее – ОП)	28.04.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы и нанотехнологии)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.Б.9. Научные основы и практика нанесения наноструктурированных пленок
Часть образовательной программы	Базовая часть
Количество зачетных единиц / всего часов	5,5 / 198

В случае предъявления от обучающегося или его родителя (законного представителя) заявления на обучение по адаптированной образовательной программе высшего образования, подкрепленного заключением психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК) или медико-социальной экспертизы (МСЭ) с рекомендациями создания индивидуальной программы реабилитации и абилитации (ИПРА), данная рабочая программа может быть адаптирована с учетом индивидуальных особенностей здоровья обучающегося.

2.2. Распределение часов по формам и периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контроль	всего	
Очная	1	2	28	28	-	142	198	экзамен

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Ознакомление студентов с основными аспектами современных представлений о механизме формирования диспергированных наноразмерных и сплошных тонких пленок, о взаимосвязи параметров и свойств пленок с условиями их формирования. Рассматриваются физические аспекты перспективных технологий нанесения тонкопленочных покрытий и наноструктурированных пленок.

**4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ
ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ
И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ОПК-2. Способен управлять профессиональной и иной деятельностью на основе применения знаний проектного и финансового менеджмента	ОПК-2.1. Планирует работу малого предприятия, специализирующегося на производстве высокотехнологичной продукции	ОПК-2.1.1. Знает как планировать работу малого предприятия исходя из выпуска продукции. ОПК-2.1.2. Умеет организовать работу малого предприятия для производства высокотехнологичной продукции. ОПК-2.1.3. Владеет навыками принятия решений для обеспечения работы малого предприятия, специализирующегося на производстве высокотехнологичной продукции.
ОПК-6. Способен демонстрировать социальную ответственность за принимаемые решения, учитывать правовые и культурные аспекты, обеспечивать устойчивое развитие при ведении профессиональной и иной деятельности	ОПК-6.1. Оценивает по критериям технологии синтеза наноматериалов с точки зрения безопасности для сотрудников и окружающей среды.	ОПК-6.1.1. Знает по каким критериям оценить безопасность используемой технологии. ОПК-6.1.2. Умеет оценивать технологию синтеза материалов с точки зрения безопасности. ОПК-6.1.3. Владеет навыками оценки технологии синтеза наноматериалов с точки зрения безопасности для сотрудников и окружающей среды.

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Научные основы и практика нанесения наноструктурированных пленок	
Наноструктуры	Основные термины и определения. Введение в физику наноструктурированных материалов. Физико-химические особенности наноструктурированных материалов. Изменение свойств материалов при переходе к нанометровым размерам. Классификация методов создания наноматериалов и наносистем.
Методы синтеза наночастиц и компактирования наноматериалов	Физическое диспергирование. Конденсация из жидкой и газовой фазы. Технологические процессы получения нанодисперсных систем.

	Формирование структур на основе коллоидных растворов. Золь-гель технология. Порошковые технологии компактирования материалов. Ультразвуковое компактирование. Керамика, ситаллы.
Методы получения углеродных наноматериалов	Углеродные нанотрубки. Методы получения графена. Формирование нанокомпозитов с углеродными нанотрубками в качестве наполнителя. Карбин, графан, графит. Фуллерены, фуллериты, фуллероиды.
Электрохимические методы синтеза наноматериалов	Создание диэлектрических матриц с упорядоченной структурой. Объекты исследования – структуры на основе оксида алюминия, оксида кремния. Получение упорядоченных массивов нанопроволок посредством заполнения пористых диэлектрических матриц различными металлами.
Методы эпитаксиального рога наноструктур	Общие сведения об эпитаксии. Кристалло-геометрический, кристалло-химический, термодинамический подходы в проблеме ориентированной кристаллизации. Твердофазная, жидкофазная, газофазная эпитаксия. Влияние параметров процесса эпитаксии на скорость роста пленок. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Сверхтонкие пленки металлов и диэлектриков. Аппаратура, применяемая для изучения структуры эпитаксиальных пленок. Гетероэпитаксия.
Самоорганизация и самосборка наноструктур	Самоорганизация при эпитаксиальном росте. Гетероструктуры на основе наноструктур. Металлические и полупроводниковые нанопленки. Синтез двумерных и трехмерных упорядоченных массивов нанокристаллов металлов, сплавов, полупроводников. Формирование упорядоченных полимерных структур.
Литографические методы формирования наноструктур	Сущность процессов литографии. Фотолитография. Фоторезисты и хим. процессы протекающие в них. Фотошаблоны и их свойства. Рентгеновская и электронная литография. Ионная и электронно-лучевая литография.
Формирование наноструктур зондовыми методами	Физические основы зондовых технологий. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). Межэлектродный массоперенос. Локальное анодное окисление. Лазерное наноманипулирование. Методы сканирующей зондовой литографии. Нанобиотехнологии.

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 1, семестр – 2

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 1. Научные основы и практика нанесения наноструктурированных пленок	28	28	142	142	198
Наноструктуры	2	2	18		22
Методы синтеза наночастиц и компактирования наноматериалов	2	2	18		22
Методы получения углеродных наноматериалов	4	4	18		26
Электрохимические методы синтеза наноматериалов	4	4	18		26
Методы эпитаксиального рога наноструктур	4	4	18		26
Самоорганизация и самосборка наноструктур	4	4	18		26
Литографические методы формирования наноструктур	4	4	17		25
Формирование наноструктур зондовыми методами	4	4	17		25
ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	28	28	16	142	198

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1

1. Основные термины и определения.
2. Введение в физику наноструктурированных материалов.
3. Физико-химические особенности наноструктурированных материалов.
4. Изменение свойств материалов при переходе к нанометровым размерам.
5. Классификация методов создания наноматериалов и наносистем.
6. Физическое диспергирование.
7. Конденсация из жидкой и газовой фазы.
8. Технологические процессы получения нанодисперсных систем.
9. Формирование структур на основе коллоидных растворов .
10. Золь-гель технология.
11. Порошковые технологии компактирования материалов.
12. Ультразвуковое компактирование.
13. Керамика, ситаллы.
14. Углеродные нанотрубки.
15. Методы получения графена.
16. Формирование нанокомпозитов с углеродными нанотрубками в качестве наполнителя.
17. Карбин, графан, графит.
18. Фуллерены, фуллериты, фуллероиды.
19. Создание диэлектрических матриц с упорядоченной структурой.
20. Объекты исследования – структуры на основе оксида алюминия, оксида кремния.

21. Получение упорядоченных массивов нанопроволок посредством заполнения пористых диэлектрических матриц различными металлами.
22. Общие сведения об эпитаксии.
23. Кристалло-геометрический, кристалло-химический, термодинамический подходы в проблеме ориентированной кристаллизации.
24. Твердофазная, жидкофазная, газофазная эпитаксия.
25. Влияние параметров процесса эпитаксии на скорость роста пленок.
26. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
27. Сверхтонкие пленки металлов и диэлектриков.
28. Аппаратура, применяемая для изучения структуры эпитаксиальных пленок.
29. Гетероэпитаксия.
30. Самоорганизация при эпитаксиальном росте.
31. Гетероструктуры на основе наноструктур.
32. Металлические и полупроводниковые нанопленки.
33. Синтез двумерных и трехмерных упорядоченных массивов нанокристаллов металлов, сплавов, полупроводников.
34. Формирование упорядоченных полимерных структур.
35. Сущность процессов литографии. Фотолитография.
36. Фоторезисты и хим. процессы протекающие в них. Фотошаблоны и их свойства.
37. Рентгеновская и электронная литография.
38. Ионная и электронно-лучевая литография.
39. Физические основы зондовых технологий.
40. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ).
41. Межэлектродный массоперенос.
42. Локальное анодное окисление.
43. Лазерное наноманипулирование.
44. Методы сканирующей зондовой литографии.
45. Нанобиотехнологии.

7.2. Темы докладов (рефератов)

1. Гетерогенные системы и их классификация.
2. Физико-химические особенности наноструктурированных материалов.
3. Процессы самоорганизации гетероэпитаксиальных структур.
4. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
5. Методы получения наногофрированных структур.
6. Атомно-слоевая эпитаксия.
7. Рентгеновская литография . Преимущества и недостатки.
8. Физические основы электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии.
9. Физические и химические методы синтеза наночастиц.
10. Порошковые методы и технологии получения наноматериалов.
11. Золь-гель технология.
12. Физические основы зондовых технологий.
13. Перспективы развития нанотехнологий.
14. Перспективы развития нанотехнологий.
15. Керамика.
16. Золь-гель технология.
17. Порошковые технологии компактирования материалов.
18. Ультразвуковое компактирование.
19. Керамика.
20. Ситаллы.
21. Фотолитография.
22. Фоторезисты

- 23. Сканирующий туннельный микроскоп.
- 24. Кристаллография.
- 25. Гетероэпитаксия.

7.3. Темы лабораторных работ

- Методы создания наноматериалов и наносистем.
- Технологические процессы получения нанодисперсных систем.
- Формирование нанокомпозитов с углеродными нанотрубками в качестве наполнителя.
- Электрохимические методы синтеза наноматериалов.
- Эпитаксия. Методы эпитаксиального рога наноструктур.
- Самоорганизация и самосборка наноструктур.
- Литографические методы.
- Зондовые методы.

Контрольная работа по проверке теоретических знаний – по всем темам, с использованием указанных выше контрольных вопросов.

7.4. Образец содержания экзаменационного билета (при наличии экзамена по дисциплине)

Донецкий государственный университет
Физико-технический факультет
Кафедра теоретической физики и нанотехнологий

Программа высшего образования	Программа магистратуры
Направление подготовки	28.04.03 Наноматериалы
Профиль	Наноматериалы и нанотехнологии
Форма обучения	Очная
Семестр	Второй
Дисциплина	Научные основы и практика нанесения наноструктурированных пленок

Экзаменационный билет № 1

1. Рентгеновская литография. Преимущества и недостатки
2. Золь-гель технология.
3. Физические и химические методы синтеза наночастиц.

Утверждено на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий, протокол № _
от _____ 202_ г.

Заведующий кафедрой

Экзаменатор

В случае ведения учебного процесса с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, содержание билета может отличаться от приведенного.

8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже.

Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, своевременное и качественное выполнение домашних заданий, активность во время проведения лекционных и практических занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

Самостоятельная работа оценивается на основе предоставленных на проверку выполненных домашних, индивидуальных заданий с учетом своевременности их предоставления и соответствия требованиям к их выполнению.

Количество баллов за контрольную работу вычисляется как сумма баллов за все входящие в её состав задания. Каждое задание оценивается исходя из максимально возможного количества баллов с учетом правильности выполнения задания, полноты приводимых обоснований.

По результатам работы в семестре обучающийся, набравший не менее 60 баллов, имеет право получить оценку. Те, кто претендует на более высокий балл, проходят промежуточную аттестацию. Максимальное количество баллов на промежуточной аттестации – 100. Общее количество баллов за семестр вычисляется как максимальная из полученных за семестр и на промежуточной аттестации и выставляется согласно принятому порядку.

8.1. Семестр 2

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1	Организационно-учебная работа в аудитории	20
	Самостоятельная работа	10
	Контрольные работы по практике	10
	Контрольная работа по теоретическому материалу	20
ИТОГО		60
Промежуточная аттестация (экзамен)		40
Общий итог за семестр		100

Соответствие баллов оценке

Количество баллов из 100	ECTS	Оценка по пятибалльной шкале	
		Экзамен, дифференцированный зачет	Зачет
90-100	A	отлично	зачтено
80-89	B	хорошо	зачтено
75-79	C		зачтено
70-74	D	удовлетворительно	зачтено
60-69	E		зачтено
35-59	FX	неудовлетворительно	не зачтено
0-34	F		не зачтено

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в 4 учебном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, комплект учебной

мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных, учебно-методическое обеспечение, представленное в учебно-методическом кабинете кафедры теоретической физики и нанотехнологий (ауд. 256).

Обучающиеся имеют возможность использовать учебные материалы по дисциплине, размещенные на платформе Moodle Центра дистанционного образования ФГБОУ ВО «ДонГУ». При изучении дисциплины могут применяться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

С использованием ресурсов платформы дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

10.1. Основная литература

1. Иваницын, Н. П. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах [Электронный ресурс] : для студентов, аспирантов, специализирующихся по направлению подготовки 030402 «физика» и специалистов в области физики конденсированных сред, теоретической физики и нанотехнологий. / Н. П. Иваницын, С. В. Терехов, В. М. Юрченко ; ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет", Физико-технический факультет, Кафедра теоретической физики и нанотехнологий. - Донецк : ДонНУ, 2019. - Электронные текстовые данные (1 файл).

2. Терехов С. В. Физика нанобъектов: [учебное пособие] / С. В. Терехов, В. Н. Варюхин; ГОУ ВПО «ДонНУ» - Донецк: ДонНУ, 2013. – 418 с.

3. Пул, Ч. П. Нанотехнологии : учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подгот. "Нанотехнологии" / Ч. Пул, Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина. - 3-е изд. - М. : Техносфера, 2007. - 375 с.

4. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – Изд. 2-е. – Москва: Физматлит, 2009. – 414 с.

10.2. Дополнительная литература

1. Милославский, А. Г. Конспект лекций по курсу "Основы процессов микро- и нанотехнологий" / А. Г. Милославский ; ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет". - Донецк : ДонНУ, 2018. - 246 с

2. Получение и исследование наноструктур : лабораторный практикум по нанотехнологиям / [А. А. Евдокимов и др.] ; под ред. А. С. Сигова. - Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 146 с.

3. Нанотехнологии и специальные материалы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140140 - Техн. физика / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, С. А. Вологжанина, А. П. Петкова ; под ред. Ю. П. Солнцева. - Санкт-Петербург : Химиздат, 2009. - 334, [1] с.

11. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Национальная электронная библиотека (НЭБ):** федеральная государственная информационная система / Министерство Культуры РФ; Российская государственная библиотека. – Москва, 2019- . – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный, подписка. Необходима установка программного обеспечения. – Текст: электронный.

2. **eLIBRARY.RU**: научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000- . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»**: сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Электронно-библиотечная система **«Лань»**: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания Сетевой электронной библиотеки, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
5. **ЭБС Юрайт**: электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://urait.ru/library/svobodnyy-dostup/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания свободного доступа, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
6. **Электронно-библиотечная система ДонГУ**: сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
7. **Электронный каталог** Научной библиотеки ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://library.donnu.ru/catalog/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: поиск свободный, электронные документы – для пользователей ДонГУ.
8. **Электронный архив ДонГУ**: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://repo.donnu.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный.

12. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДонГУ № 46484614)
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДонГУ № 46472919)
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы Dream Spark для высших учебных заведений)
4. Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF (лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения).