



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»**

(ДВФУ)

**Институт наукоемких технологий и передовых материалов**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

Саранин А.А.

(Ф.И.О. рук. ОП)

« 28 » февраля \_\_\_\_\_ 2023 г. \_\_\_\_\_



«УТВЕРЖДАЮ»

и.о. директора департамента

Общей и экспериментальной физики

Короченцев А.А.

(Ф.И.О.)

« 28 » февраля \_\_\_\_\_ 2023 г. \_\_\_\_\_

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

*Технологии синтеза наноструктурированных материалов*

*Направление подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника*

*Профиль: Электроника и наноэлектроника (совместно с ИАПУ ДВО РАН)*

*Форма подготовки: очная*

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями *Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного приказом Минобрнауки России*

*от 29 сентября 2017 г. № 959 / ОС ДВФУ, утвержденного \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 г. № \_\_\_\_\_.*

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики, протокол № 5 от «28» февраля 2023 г.

и.о. директора департамента общей и экспериментальной физики: канд. хим. наук, доцент Короченцев В.В.

Составители: к.ф.-м.н. Козлов А.Г.

Владивосток

2023

1. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» \_\_\_\_\_ 2023г.№
2. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» \_\_\_\_\_ 202 г.№
3. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» \_\_\_\_\_ 202 г.№
4. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» \_\_\_\_\_ 202 г.№
5. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики и утверждена на заседании Департамента общей и экспериментальной физики, протокол от «» \_\_\_\_\_ 202 г.№

## **Аннотация дисциплины**

### *Технологии синтеза наноструктурированных материалов*

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётных единицы / 144 академических часа. Является дисциплиной обязательной части ОП, изучается на 1 курсе и завершается экзаменом. Учебным планом предусмотрено проведение лабораторных занятий в объеме 34 часа, а также выделены часы на самостоятельную работу студента - 74 часа.

*Язык реализации: русский*

#### **Цель:**

Изучение физических, химических и физико-химических методов и технологий создания нанобъектов и наноматериалов для применения в современной наноэлектронике

#### **Задачи:**

- углубление знаний о физических явлениях, на основе которых разрабатываются методы синтеза наноструктур;
- изучение методов и механизмов роста наноструктур
- получение знаний о физико-химических процессах, происходящих на поверхности твердого тела в процессе формирования нанопокровов в зависимости от внешних условий;
- приобретение навыков комплексного рассмотрения технологических процессов;
- формирование представления о перспективах развития технологических процессов и о новых физико-химических явлениях, которые могут быть использованы для создания новых устройств наноэлектроники;
- приобретение навыков работы с лабораторным оборудованием в котором осуществляются методы синтеза наноматериалов и наноструктур.

*Для успешного изучения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:*

*ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности*

*ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, полученные в результате изучения дисциплин (перечислить), обучающийся должен быть готов к изучению таких дисциплин, как Структура и свойства материалов, спинтроника и наномагнетизм, формирующих компетенции*

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, характеризуют формирование следующих компетенций, индикаторов достижения компетенций:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	<b>ПК-8</b> Способен проектировать технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства	ПК-8.1 применяет методы проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники	
		ПК-8.2 осуществляет технологический процесс приготовления тонкопленочных систем, литографии и плазмохимического травления	
	<b>ПК-9</b> Способен разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники	ПК-9.1 анализирует, выбирает и применяет методы разработки технологической документации на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники	
		ПК-9.2 использует ГОСТы и ОСТы на технологическую документацию	
	<b>ПК-15</b> Способен проводить обучение сотрудников непосредственно на предприятии/в лаборатории	ПК-15.1 использует современные средства и технологии обучения, применяет современные образовательные технологии	
		ПК-15.2 проводит обучение сотрудников непосредственно	

		на предприятии/в лаборатории	
--	--	------------------------------	--

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «технологии синтеза наноструктурированных материалов» применяются следующие дистанционные образовательные технологии и методы / активного / интерактивного обучения: работа в малых группах.

## I. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: Изучение физических, химических и физико-химических методов и технологий создания нанообъектов и наноматериалов для применения в современной наноэлектронике

Задачи:

- углубление знаний о физических явлениях, на основе которых разрабатываются методы синтеза наноструктур;
- изучение методов и механизмов роста наноструктур
- получение знаний о физико-химических процессах, происходящих на поверхности твердого тела в процессе формирования нанопокровов в зависимости от внешних условий;
- приобретение навыков комплексного рассмотрения технологических процессов;
- формирование представления о перспективах развития технологических процессов и о новых физико-химических явлениях, которые могут быть использованы для создания новых устройств наноэлектроники;
- приобретение навыков работы с лабораторным оборудованием в котором осуществляются методы синтеза наноматериалов и наноструктур.

Место дисциплины в структуре ОПОП (учебном плане) (пререквизиты дисциплины, дисциплины, следующие после изучения данной дисциплины)

Профессиональные компетенции студентов, индикаторы их достижения и результаты обучения по дисциплине

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
Тема 1. Сверхвысоко вакуумные методы	<b>ПК-8</b> Способен проектировать технологические процессы производства	ПК-8.1 применяет методы проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники	

получения наноструктур	материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства	ПК-8.2 осуществляет технологический процесс приготовления тонкопленочных систем, литографии и плазмохимического травления	
Тема 2. Получение многослойных структур	ПК-9 Способен разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники	ПК-9.1 анализирует, выбирает и применяет методы разработки технологической документации на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники	
		ПК-9.2 использует ГОСТы и ОСТы на технологическую документацию	
Тема 3. Создание наноструктурированных материалов и наношаблонов в при помощи автоматизированных литографических систем	ПК-15 Способен проводить обучение сотрудников непосредственно на предприятии/в лаборатории	ПК-15.1 использует современные средства и технологии обучения, применяет современные образовательные технологии	
		ПК-15.2 проводит обучение сотрудников непосредственно на предприятии/в лаборатории	

## II. Трудоемкость дисциплины и виды учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётных единиц (144 академических часа)

### Структура дисциплины:

Форма обучения – очная

№	Наименование раздела дисциплины	С е м е с т р	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации***	
			Лек	Лаб	Пр	ОК*	СР		Конт роль* *
1	Тема 1	1					74	36	ПР-6, ПР-7
	Тема 2	1							

...	Тема 3	1							
	Итого:							**	***

\*онлайн курс

\*\* указать часы из УП

\*\*\*зачет/экзамен

### **III. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА** ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ НЕ ПРЕДУСМОТРЕНЫ УЧЕБНЫМ ПЛАНОМ.

### **IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

#### **Лабораторные занятия**

#### **Занятие 1. Планирование эксперимента и подготовка оборудования.**

Планирование эксперимента. Знакомство с основными узлами сверхвысоковакуумной техники. Подготовка лабораторного оборудования к эксперименту. Напуск сверхвысоковакуумной камеры, загрузка материалов для напыления. Подготовка к отжигу камеры.

#### **Занятие 2. Молекулярно-лучевая эпитаксия.**

Получение тонких эпитаксиальных пленок в вакууме методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Калибровка скоростей напыления. Автоматизация процесса напыления. Методы исследования структуры и морфологии поверхности. Сканирующая туннельная микроскопия.

#### **Занятие 3. Электронно-лучевое испарение.**

Получение тонких пленок с использованием комбинации методов молекулярно-лучевой эпитаксии и электронно-лучевого испарения. Создание многослойных структур с использованием слоев из тугоплавких материалов

#### **Занятие 4. Магнетронное распыление в вакууме.**

Получение поликристаллических пленок методом магнетронного распыления, калибровка скоростей напыления при помощи кварцевого измерителя толщин и атомно-силовой микроскопии. Напыление многослойных пленок.

#### **Занятие 5. Получение анизотропных пленок методом наклонного осаждения.**

Создание тонких поликристаллических пленок с одноосной магнитной анизотропией путем наклонного осаждения материала.

#### **Занятие 6. Создание массивов самоорганизованных нанопроволок.**

Создание пространственно-модулированных решеток на поверхности вихревого монокристаллического кремния. Формирование массивов самоорганизованных нанопроволок при помощи наклонного осаждения.

#### **Занятие 7. Литографические методы создания шаблонов наноструктур**

Формирование шаблона на полимерной пленке электронным пучком. Физико-химические основы процесса взаимодействия электронного пучка с полимером. Этапы процесса: подготовка образца, создание цифрового шаблона, расчет параметров экспонирования, экспозиция, проявка, Lift-off процедура.

## V. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения	Результаты обучения	Оценочные средства *	
				текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	Тема 1. Сверхвысоковакуумные методы получения наноструктур	ПК-8 Способен проектировать технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства	ПК-8.1 применяет методы проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники	ПР-7	-
			ПК-8.2 осуществляет технологический процесс приготовления тонкопленочных систем, литографии и плазмохимического травления		
2	Тема 2. Получение многослойных структур	ПК-9 Способен разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники	ПК-9.1 анализирует, выбирает и применяет методы разработки технологической документации на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники	ПР-7	

			ПК-9.2 использует ГОСТы и ОСТы на технологическ ую документацию	ПР-7	
	Тема 3. Создание наноструктурированных материалов и наношаблонов при помощи автоматизированных литографических систем	ПК-15 Способен проводить обучение сотрудников непосредственно на предприятии/в лаборатории	ПК-15.1 использует современные средства и технологии обучения, применяет современные образовательные технологии	ПР-7	
			ПК-15.2 проводит обучение сотрудников непосредственно на предприятии/в лаборатории	ПР-7	
3	Экзамен				

\* Рекомендуемые формы оценочных средств:

1) собеседование (УО-1), коллоквиум (УО-2); доклад, сообщение (УО-3); круглый стол, дискуссия, полемика, диспут, дебаты (УО-4); и т.д.

2) тесты (ПР-1); контрольные работы (ПР-2), эссе (ПР-3), рефераты (ПР-4), курсовые работы (ПР-5), научно-учебные отчеты по практикам (ПР-6); лабораторная работа (ПР-7); портфолио (ПР-8); проект (ПР-9); деловая и/или ролевая игра (ПР-10); кейс-задача (ПР-11); рабочая тетрадь (ПР-12); и т.д.

3) тренажер (ТС-1); и т.д.

## **VI. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем. Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий зависит и определяется самим студентом.

Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня, что в

итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своему направлению подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов:

- работа с основной и дополнительной литературой, Интернет ресурсами;
- самостоятельное ознакомление с лекционным материалом, представленным на электронных носителях, в библиотеке образовательного учреждения;
- подготовка реферативных обзоров источников периодической печати, опорных конспектов, заранее определенных преподавателем;
- поиск информации по теме, с последующим ее представлением в аудитории в форме доклада, презентаций;
- подготовка к выполнению аудиторных контрольных работ;
- выполнение домашних контрольных работ;
- выполнение тестовых заданий, решение задач;
- составление кроссвордов, схем;
- подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции;
- заполнение рабочей тетради;
- написание эссе, курсовой работы;
- подготовка к деловым и ролевым играм;
- составление резюме;
- подготовка к зачетам и экзаменам;
- другие виды деятельности, организуемые и осуществляемые образовательным учреждением и органами студенческого самоуправления.

## **VII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И**

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Иванов, Н. Б. Нанотехнологии материалов и покрытий : учебное пособие / Н. Б. Иванов, Н. А. Покалюхин. — Казань : КНИТУ, 2019. — 236 с. — ISBN 978-5-7882-2538-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/166186> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури ; художник С. Инфантэ. — 6-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 368 с. — ISBN 978-5-93208-550-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/176410> — Режим доступа: для авториз. Пользователей
3. Зеленин, В. А. Высокостабильные элементы и структуры для изделий наноэлектроники : монография / В. А. Зеленин. — Минск : Белорусская наука, 2022. — 290 с. — ISBN 978-985-08-2875-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/302105> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Борисенко, В. Е. Спинтроника : учебное пособие / В. Е. Борисенко, А. Л. Данилюк, Д. Б. Мигас. - 2-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2021. - 232 с. - (Учебник для высшей школы). - ISBN 978-5-93208-558-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1984915> – Режим доступа: по подписке.
5. Морис, П. Поверхность и межфазные границы в окружающей среде. От наноуровня к глобальному масштабу / П. Морис. — 3-е изд. (эл.). — Москва : Лаборатория знаний, 2022. — 543 с. — ISBN 978-5-93208-579-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/221681>— Режим доступа: для авториз. пользователей.

### Дополнительная литература

1. Основы нанотехнологии : учебник / Н. Т. Кузнецов, В. М. Новоторцев, В. А. Жабрев, В. И. Марголин ; художник И. Е. Марев. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 400 с. — ISBN 978-5-906828-26-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/176415> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Плоmoditya, P. L. Нанотехнологии. Получение, методы контроля и международная стандартизация наноматериалов : учебное пособие / Р. Л. Плоmoditya. — Краснодар : КубГТУ, 2018. — 135 с. — ISBN 978-5-8333-0787-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151171> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Пархоменко, Ю. Н. Физика и технология приборов фотоники. Солнечная энергетика и нанотехнологии : учебное пособие / Ю. Н. Пархоменко, А. А. Полисан. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : МИСИС, 2014. — 183 с. — ISBN 978-5-87623-848-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/117199> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Возможности нанотехнологий - <http://kbogdanov1.narod.ru>
2. Новости о нанотехнологиях - <http://www.nanonewsnet.ru/>
3. Российские нанотехнологии - <http://nanoru.ru/>

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине, а также для проведения простых расчетов и построения графиков может использоваться стандартное программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows, Microsoft Office).

## **VIII. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы: лекциях и практиках, выполнение аттестационных мероприятий. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться на проработку лекционного материала, подготовку к практическим занятиям на лабораторном оборудовании.

Освоение дисциплины «основы спиновой электроники» предполагает рейтинговую систему оценки знаний студентов и предусматривает со стороны преподавателя текущий контроль за посещением студентами лекций, подготовкой и выполнением всех практических заданий, выполнением всех видов самостоятельной работы.

Промежуточной аттестацией по дисциплине « Технологии синтеза наноструктурированных материалов» является экзамен.

Студент считается аттестованным по дисциплине при условии выполнения всех видов текущего контроля и самостоятельной работы, предусмотренных учебной программой.

Шкала оценивания сформированности образовательных результатов по дисциплине представлена в фонде оценочных средств (ФОС).

## **IX. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебные занятия по дисциплине проводятся в помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением.

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

### **Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Специализированная лаборатория департамента общей и экспериментальной физики: Лаборатория плёночных технологий корпус L, ауд L320	Оборудование: 1. Система электронной литографии Raith E-LINE (10140000026344) 2. Сверхвысоковакуумная установка MBE system (10140000026343) 3. Сверхвысоковакуумная установка PVD module (10140000025715) 4. Сверхвысоковакуумная установка	

	<p>Multiprobe (10140000025714)</p> <p>5. Система измерения магнитных свойств со сверхпроводящим магнитом MPMSXL5 EVERCOOL (10140000026043, 10140000025932)</p> <p>6. Установка для комплексного исследования поверхностей и наноструктур в комплекте (10140000025712)</p>	
--	---	--