



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)
	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	
		ПК-8.2 осуществляет технологический процесс приготовления тонкопленочных систем, литографии и плазмохимического травления	
	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	
	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	
--	--	------------------------------	--

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	ПК-8 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	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Конт роль*	Формы промежуточной аттестации***
			Лек	Лаб	Пр	ОК*	СР		
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 вихриального 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 (101400000025714)</p> <p>5. Система измерения магнитных свойств со сверхпроводящим магнитом MPMSXL5 EVERCOOL (101400000026043, 101400000025932)</p> <p>6. Установка для комплексного исследования поверхностей и наноструктур в комплекте (101400000025712)</p>	
--	---	--