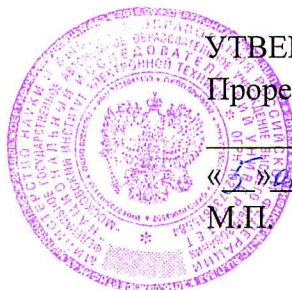


Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 01.09.2023 16:18:54  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736a76c9b9eaa92180852

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
И.Г.Игнатова  
«5» августа 2020 г.  
М.П.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Физико-химические основы нанотехнологий»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и микроэлектроника»  
Направленность (профиль) - «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Москва 2020

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующей компетенции образовательной программы:

**Компетенция ПК-2** «Способен разрабатывать процессы жизненного цикла изделий микро- и нанoeлектроники» сформулирована на основе **сформулирована на основе профессиональных стандартов:**

**40.005** «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники»

**Обобщенная трудовая функция С[7]** Процессы жизненного цикла продукции

**Трудовая функция С/02.7** Планирование разработки продукции в части, касающейся контроля, измерения свойств и испытания основных, вспомогательных и расходных материалов, а также их разработки и выбора

**С/08.7** Разработка и внедрение новых методик контроля, измерения и испытания, а также разработки и выбора материалов

**40.006** «Инженер-технолог в области производства наноразмерных полупроводниковых приборов и интегральных схем»

**Обобщенная трудовая функция В[7]** Разработка и внедрение современных технологических процессов, освоение нового оборудования, технологической оснастки, необходимых режимов производства на выпускаемую организацией продукцию

**Трудовые функции В/01.7** Разработка технологических процессов и внедрение их в производство

**В/02.7** Оптимизация параметров технологических операций

**В/03.7** Освоение и внедрение технологических процессов и необходимых режимов производства на выпускаемую продукцию

**В/04.7** Экспериментальные работы и освоение новых технологических процессов

**В/05.7** Экспериментальные работы и освоение нового оборудования и технологической оснастки

**В/06.7** Экспериментальные работы по освоению новых технологических процессов, новых видов оборудования и технологической оснастки.

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
<p><b>ПК-2.ФХОНт</b> Способен проводить экспериментальные и исследовательские работы по изучению наноразмерных объектов в объеме и на поверхности.</p>	<p><i>Научно-исследовательский тип задач:</i> Разработка методик и проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов.</p>	<p><b>Знание</b> способов организации и проведения экспериментальных исследований <b>Умение</b> самостоятельно проводить экспериментальные исследования <b>Опыт проведения</b> экспериментальных и исследовательских работ, направленных на изучение наноразмерных объектов в объеме и на поверхности</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине - процесс изучения модуля направлен на формирование профессиональных компетенций. Изучению модуля предшествует формирование общепрофессиональных компетенций в дисциплинах: «Математика», «Физика», «Химия».

**знать:**

- базовые процессы микро- и оптоэлектроники;
- химические основы технологии получения и очистки материалов;
- физико-химию равновесных и неравновесных систем;

**уметь:**

- осуществлять поиск и использование литературных источников, включающих периодические научные издания;
- применять методы математической физики для решения задач теплопроводности и диффузии;
- использовать аппарат физической химии для расчета фазовых равновесий;

**иметь опыт:**

- проведения экспериментальных исследований по измерению электрофизических и физико-химических параметров материалов;
- анализа и обобщения результатов экспериментов;
- проведения исследований в группе.

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1	1	3	108	-	16	32	60	ЗаО

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
Модуль 1. Физико-химические процессы на поверхности	-	8	16	30	Тестирование
					Защита лабораторных работ
					Сдача индивидуального задания
					Сдача зачета
Модуль 2. Физические явления в наноразмерных структурах	-	8	16	30	Тестирование
					Защита лабораторных работ
					Сдача индивидуального задания
					Сдача зачета

##### 4.1. Лекционные занятия

*Не предусмотрены.*

##### 4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Общие вопросы технологических переходов от микро- к наноразмерным структурам.
	2	2	Оборудование для получения наноразмерных структур. Преимущества и ограничения.
	3	2	Поведение атомов на поверхности при конденсации. Энергетический спектр конденсируемых частиц.
	4	2	Конденсация и зародышеобразование. Модели зародышеобразования.
	5	2	Влияние параметров процесса осаждения на рост пленок. Особенности структуры пленок.
	6	2	Физико-химические свойства отдельных наночастиц. Влияние

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
			размера частиц на физико-химические свойства материала.
	7	2	Управление структурными характеристиками пленок. Минимальная толщина пленок. Влияние температуры и морфологии поверхности.
	8	2	Упорядоченные и неупорядоченные сверхтонкие пленки. Метастабильные пленки. обсуждение технологических подходов для стабилизации структуры и свойств наноразмерных пленок.
2	9	2	Явления переноса в сверхтонких пленках. Влияние состава и морфологии границы раздела на проводимость сверхтонких пленок.
	10	2	Теории электропроводности. Электропроводность сверхтонких и некристаллических проводящих пленок.
	11	2	Электропроводность диспергированных структур.
	12	2	Электропроводность диэлектрических наноразмерных пленок
	13	2	Размерные и граничные эффекты.
	14	2	Квантовый размерный эффект.
	15	2	Электростатическое экранирование.
	16	2	Переходы Джозефсона. Сверхпроводящие наноструктуры. Эффекты в джозефсоновских структурах.

#### 4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Эффект Холла
	2	4	Исследование проводящих свойств наноразмерных покрытий.
2	3	4	Исследование свойств пьезоэлектрических элементов.
	4	4	Моделирование в среде Matlab упругих характеристик текстурированных поликристаллов и композитов

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	8	Проработка теоретического материала (практические занятия 1-8)
	4	Подготовка к лабораторным работам 1 и 2
	4	Подготовка к защите лабораторных работ 1 и 2
	3	Подготовка к тестированию
	4	Поиск, изучение и анализ периодической научной литературы для выполнения индивидуального задания по темам семинарских занятий 1-8
	4	Выполнение индивидуального задания с учетом найденной и проанализированной по темам семинарских занятий 1-8 информации
	3	Подготовка к сдаче итогового зачета по материалам Модуля 1
2	8	Проработка теоретического материала (практические занятия 9-16)
	4	Подготовка к лабораторным работам 3 и 4
	4	Подготовка к защите лабораторных работ 3 и 4
	4	Поиск, изучение и анализ периодической научной литературы для выполнения индивидуального задания по темам семинарских занятий 9-16
	4	Выполнение индивидуального задания с учетом найденной и проанализированной по темам семинарских занятий 9-16 информации
	3	Подготовка к тестированию
	3	Подготовка к сдаче итогового зачета по материалам Модуля 2

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

*Не предусмотрены.*

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС// URL:<http://orioks.miet.ru/>)

**Модули 1-2** Методические указания для студентов по организации самостоятельной работы по Модулю 1, Методические указания для студентов по организации самостоятельной работы по Модулю 2.

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Литература

1. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники : учебное пособие. Ч. 2 / В. М. Рошин, М. В. Силибин. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 184 с. - ISBN 978-5-94774-913-7; 978-5-94774-910-6
2. Пул Ч. Нанотехнологии : Учеб. пособие / Ч. Пул, Ф. Оуэнс; Пер. с англ. под ред. Ю.И. Головина. - 4-е изд., испр. и доп. - М. : Техносфера, 2009. - 336 с. - (Мир материалов и технологий). - ISBN 978-5-94836-201-4
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела : [учебное руководство] / Ч. Киттель. - 2-е изд., стер. ; Перепечатка с изд. 1978 г. - М. : Альянс, 2014. - 792 с.
4. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки : Пер. с англ. / М. Херман. - М. : Мир, 1989. - 240 с.
5. Дьячков П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок / П.Н. Дьячков. - 3-е изд., электронное. - М. : Бинум. Лаборатория знаний, 2015. - 491 с. - (Нанотехнологии). - URL: <https://e.lanbook.com/book/66217> (дата обращения: 30.09.2020).

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. **Лань**: электронно-библиотечная система. – Санкт-Петербург, 2011. – URL: <https://e.lanbook.com/>(дата обращения: 21.09.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
2. **eLIBRARY.RU**: научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru>(дата обращения: 11.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. **РУКОНТ** : Национальный цифровой ресурс : Электронно-библиотечная система : сайт. - Москва : Сколково, 2010 - . - URL: <https://lib.rucont.ru/search>(дата обращения: 20.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
4. **SCOPUS**: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики: сайт. – URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/)(дата обращения: 20.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется **смешанное обучение** (реализовывается с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий).

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС (<http://orioks.miet.ru>).

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: раздел ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория № 4136 «Лаборатория микроскопии»	Технические средства обучения: Проектор Epson EB-G5600, мультимедийный комплекс, компьютеры, принтеры	Операционная система Windows, пакет MS Office
Учебная аудитория № 4349 «Лабораторный практикум по функциональной электронике»	Малогабаритная вакуумная установка термического испарения МВУ ТМ ТИС, малогабаритная вакуумная установка магнетронного напыления МВУ ТМ Магна, малогабаритная вакуумная установка реактивно-ионного травления МВУ ТМ РИТ, установка осаждения нитевидных нанокристаллов и углеродных нанотрубок, FirstNanoInc USA, измерительное оборудование: вольтметры, омметры, генераторы сигналов	Не требуется
Помещение для самостоятельной работы	Помещение, оснащенное компьютерной техникой, с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	ОС Microsoft Windows Microsoft Office браузер Acrobat reader DC

## 10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции **ПК-2.ФХОНг** «Способен проводить экспериментальные и исследовательские работы по изучению наноразмерных объектов в объеме и на поверхности».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.



## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 11.1. Особенности организации процесса обучения

В соответствии с программой учебная дисциплина включает 2 модуля:

- «Модуль 1» направлен на изучение физическо-химических аспектов процессов формирования низкоразмерных структур.

- «Модуль 2» направлен на изучение свойств наноструктур и их взаимосвязи с размерностью объектов.

В процессе освоения дисциплины студенты самостоятельно готовят и выполняют предусмотренные контрольные мероприятия на проверку усвоения необходимых знаний в форме тестов, на проверку умений – в форме защиты лабораторных работ, на проверку опыта деятельности – в форме защиты (представления) индивидуального задания, результат выполнения которых отражается в накопительной балльной системе.

Качество самостоятельной работы студентов проверяется на каждом семинарском занятии и в процессе выполнения индивидуальных заданий, на которых отрабатываются и проверяются способности студента публично презентовать материалы выполнения СРС, вести дискуссию, приводить аргументы, логично и последовательно излагать свою точку зрения, демонстрируя понятийное и критическое мышление.

Индивидуальное задание выполняется самостоятельно в рамках отведенного времени на СРС. При подготовке к выполнению индивидуального задания студент должен продемонстрировать знания, умения и опыт деятельности, включающие поиск необходимой и дополнительной информации по темам практических занятий в научных источниках (рекомендованных ПБД и ИСС, а также найденных самостоятельно), анализ и обобщение современного состояния проблемы, выбор методов и технологий для достижения планируемого результата, способность применять знания и умения для построения моделей и продемонстрировать опыт использования современных программных средств.

Результаты выполнения индивидуального задания представляются публично (в краткой форме в течение 10 минут) на практических занятиях на 14-16 учебных неделях и обсуждаются с преподавателем и одногруппниками.

Для выполнения индивидуального задания студенту на выбор предлагается одна из ниже представленных тем:

1. Обзор альтернативных теорий зародышеобразования на поверхности (исключая термодинамическую и атомистическую). Основные предположения и принципы построения.

2. Поверхностная диффузия частиц (атомов, молекул). Энергетические, кинетические и временные параметры.

3. Явление увеличения параметра решетки кристаллического материала вблизи поверхности. Поверхностная перестройка.

4. Электропроводящие свойства некристаллических пленок.

5. Магнитные свойства некристаллических пленок.

6. Понижение температуры плавления наноразмерных частиц.

7. Влияние механических напряжений (изменение параметра кристаллической решетки) на ширину запрещенной зоны полупроводниковых материалов (пленок).

8. Оптические эффекты в наноструктурированных материалах. Возможные направления применения.

9. Сверхрешетки. Особенности электрофизических параметров. Применение.

10. Сверхатом. Структурные и энергетические модели. Возможные направления применения.

11. Сверхпроводящие свойства углеродных нанотрубок. Зависимость температуры перехода в сверхпроводящее состояние от параметров нанотрубок.

12. Разработка технологии создания транзисторной (вентильной) структуры на графене.

13. Конденсация материальных потоков при формировании сверхтонких пленок. Особенности конденсации частиц повышенной энергии.

14. Эффект поля. Изменение электропроводности сверхтонких пленок в электрическом поле.

15. Р16. Магнитные материалы для нанотехнологии. Основные свойства и требования к ним.

17. Доменная структура материалов. Ферро- и сегнетоэлектрики. Стенка Блоха.

Наиболее сложные и проблемные вопросы курса могут быть разъяснены обучающимся во время очных и дистанционных консультаций с использованием современных коммуникационных платформ (Zoom, Skype и др.) и электронной почты.

Зачет проходит в форме выполнения заданий для промежуточной аттестации.

### 11.2. Система контроля и оценивания

По завершению изучения дисциплины предусмотрен *зачёт с оценкой*, при этом оценка итогов учебной деятельности студента основана на накопительно-балльной системе. Баллами оцениваются выполнение контрольных мероприятий, активность на практических занятиях, посещаемость.

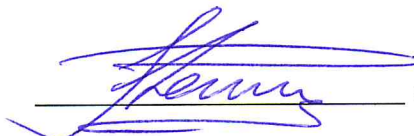
По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

Сумма баллов	Оценка
Менее 50	2
50 – 70	3
71 – 85	4
86 – 100	5

### РАЗРАБОТЧИК:

Профессор Института ПМТ  
д.т.н., профессор

  
/В.М. Рошин/


Рабочая программа дисциплины «Физико-химические основы нанотехнологий» по направлению подготовки – 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» направленности (профилю) «Микроэлектроника и твердотельная электроника» разработана в Институте ПМТ и утверждена на заседании Ученого совета Института ПМТ 30 сентября 2020 года, протокол № 39.

Зам. директора Института ПМТ  /А.В. Железнякова /

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК

 /И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

/Директор библиотеки

 /Т.П.Филиппова/