

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович  
Должность: И.О. Ректора  
Дата подписания: 30.04.2026 15:23:08  
Уникальный программный ключ:  
f17218015d82e3c1457d1df9e244def505047355

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

А.Г.Балашов

«30» августа 2025г.

М.П.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Физико-химические основы нанотехнологий»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и микроэлектроника»

Направленность (профиль) - «Материалы и технологии микро- и нанoeлектроники»

Москва 2025

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

## 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 направлен на формирование профессиональных компетенций. Изучению дисциплины предшествует формирование общепрофессиональных компетенций в дисциплинах бакалавриата: «Математика», «Физика», «Химия».

### Студент должен 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    | 2       | 4                       | 144                       | -                 | 32                         | 32                          | 80                            | ЗаО                      |

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| № и наименование модуля                                    | Контактная работа |                            |                             | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля                                                    |
|------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                            | Лекции (часы)     | Лабораторные работы (часы) | Практические занятия (часы) |                        |                                                                            |
| Модуль 1.<br>Физико-химические процессы на поверхности     | -                 | 16                         | 16                          | 40                     | Тестирование<br>Защита лабораторных работ<br>Сдача индивидуального задания |
| Модуль 2.<br>Физические явления в наноразмерных структурах | -                 | 16                         | 16                          | 40                     | Тестирование<br>Защита лабораторных работ<br>Сдача индивидуального задания |

##### 4.1. Лекционные занятия

*Не предусмотрены.*

##### 4.2. Практические занятия

| № модуля дисциплины | № практического занятия | Объем занятий (часы) | Наименование занятия                                           |
|---------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1                   | 1                       | 2                    | Нanomатериалы: классификация, модели роста и методы синтеза    |
|                     | 2                       | 2                    | Углеродные нанотрубки, нанонити германия и методы PECVD        |
|                     | 3                       | 2                    | 1d наноматериалы: модели роста и шаблонный синтез нанообъектов |
|                     | 4                       | 2                    | 0d наноматериалы: методы сверху вниз                           |
|                     | 5                       | 2                    | 0d наноматериалы: методы снизу вверх                           |
|                     | 6                       | 2                    | 2d наноматериалы: классификация и виды материалов              |
|                     | 7                       | 2                    | 2d наноматериалы: методы синтеза                               |
|                     | 8                       | 2                    | Гидротермальный синтез наноструктурированных материалов        |
| 2                   | 9                       | 2                    | Современные методы контроля характеристик наночастиц           |
|                     | 10                      | 2                    | Комбинационное рассеяние света в исследованиях наноматериалов  |

| № модуля дисциплины | № практического занятия | Объем занятий (часы) | Наименование занятия                                  |
|---------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|
|                     | 11                      | 2                    | Гигантское комбинационное рассеяние и его применение  |
|                     | 12                      | 2                    | Электрофоретическое осаждение функциональных слоёв    |
|                     | 13                      | 2                    | Методы определения ширины запрещённой зоны            |
|                     | 14                      | 2                    | Методы хроматографического анализа в нанотехнологиях  |
|                     | 15                      | 2                    | Основы работы с патентами в области нанотехнологий    |
|                     | 16                      | 2                    | Научные статьи: структура, поиск и правила оформления |

#### 4.3. Лабораторные работы

| № модуля дисциплины | № лабораторной работы | Объем занятий (часы) | Наименование работы                                                                                                                                |
|---------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                   | 1                     | 4                    | «Формирование наноразмерных плёнок благородных металлов заданной толщины методом вакуум-термического испарения»                                    |
|                     | 2                     | 4                    | «Формирование массивов металлических наночастиц методом быстрого термического отжига»                                                              |
|                     | 3                     | 4                    | «Определение положения локального поверхностного плазмонного резонанса для наноразмерных металлических структур»                                   |
|                     | 4                     | 4                    | «Определение аналитических веществ с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния света и вычисление коэффициента усиления ГКР-подложки» |
| 2                   | 5                     | 4                    | «Формирование одномерных наноструктур методом гидротермального синтеза»                                                                            |
|                     | 6                     | 4                    | «Формирование наноструктурированных слоев методом электрофоретического осаждения»                                                                  |
|                     | 7                     | 4                    | «Определение высоты тонкопленочных структур методом контактной профилометрии»                                                                      |
|                     | 8                     | 4                    | «Определение края оптической ширины запрещенной зоны широкозонного полупроводника»                                                                 |

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

| № модуля<br>дисциплины | Объем занятий<br>(часы) | Вид СРС                                                                                                                            |
|------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                      | 8                       | Проработка теоретического материала (практические занятия 1-8)                                                                     |
|                        | 6                       | Подготовка к лабораторным работам 1-4                                                                                              |
|                        | 6                       | Подготовка к защите лабораторных работ 1-4                                                                                         |
|                        | 4                       | Подготовка к тестированию                                                                                                          |
|                        | 6                       | Поиск, изучение и анализ периодической научной литературы для выполнения индивидуального задания по темам семинарских занятий 1-8  |
|                        | 6                       | Выполнение индивидуального задания с учетом найденной и проанализированной по темам семинарских занятий 1-8 информации             |
|                        | 4                       | Подготовка к сдаче итогового зачета по материалам Модуля 1                                                                         |
| 2                      | 8                       | Проработка теоретического материала (практические занятия 9-16)                                                                    |
|                        | 6                       | Подготовка к лабораторным работам 3 и 4                                                                                            |
|                        | 6                       | Подготовка к защите лабораторных работ 3 и 4                                                                                       |
|                        | 6                       | Поиск, изучение и анализ периодической научной литературы для выполнения индивидуального задания по темам семинарских занятий 9-16 |
|                        | 6                       | Выполнение индивидуального задания с учетом найденной и проанализированной по темам семинарских занятий 9-16 информации            |
|                        | 4                       | Подготовка к тестированию                                                                                                          |
|                        | 4                       | 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/>)

Сценарий обучения по дисциплине

**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. 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.
3. Мансури, Г. Али. Принципы нанотехнологии. Исследование конденсированных веществ малых систем на молекулярном уровне : Пер. с англ. / Г. Али Мансури ; Пер. А.С. Пак и Л.М. Павлова. - М. : Научный мир, 2008. - 320 с.
4. Самоорганизация и самоформирование в технологии наноструктур : учебное пособие / О. В. Воловликова, И. М. Гаврилин ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - Москва : МИЭТ, 2024. - 160 с. - ISBN 978-5-7256-1025-3

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

1. **Лань:** электронно-библиотечная система. – Санкт-Петербург, 2011. – URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 21.01.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
2. **eLIBRARY.RU:** научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 11.01.2025). – 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: 20.01.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется **традиционное обучение**.

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.

## 5. 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 №                                                   | Технические средства обучения:<br>Проектор Epson EB-G5600, мультимедийный | Операционная система Windows 7 и выше.<br>Специализированное |

|                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 4136<br>«Лаборатория микроскопии»                                                  | комплекс, компьютеры, принтеры                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ПО от производителя.                                                              |
| Учебная аудитория № 4349<br>«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 | Операционная система Windows 7 и выше.<br>Специализированное ПО от производителя. |
| Учебная аудитория № 4309                                                           | Установка быстрого термического отжига AS-One RTP System. Персональный компьютер, Высокоточный микроскоп (спектрометр комбинационного рассеяния) Confotec® MR200 (SOL instruments),                                                                                                                                                                                                     | Операционная система Windows 7 и выше.<br>Специализированное ПО от производителя. |
| Учебная аудитория № 4342                                                           | Спектрофотометр СФ-102, держатель для тонких твердотельных образцов. Персональный компьютер.                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Операционная система Windows 7 и выше.<br>Специализированное ПО от производителя. |
| Помещение для самостоятельной работы                                               | Компьютерная техника с возможностью подключения к интернету обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ                                                                                                                                                                                                                                                 | Операционная система Windows 7 и выше.                                            |

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

ФОС по подкомпетенции **ПК-2.ФХОНТ** «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.

Наиболее сложные и проблемные вопросы курса могут быть разъяснены обучающимся во время очных и дистанционных консультаций с использованием современных коммуникационных платформ 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:

Доцент Института ПМТ  
к.т.н.

 /С.В.Дубков/

Рабочая программа дисциплины «Физико-химические основы нанотехнологий» по направлению подготовки – 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» направленности (профилю) «Материалы и технологии микро- и нанoeлектроники» разработана в Институте ПМТ и утверждена на заседании Ученого совета Института ПМТ 29 августа 2025 года, протокол № 23.

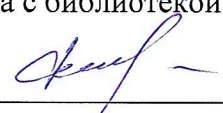
Директор Института ПМТ  /С.В.Дубков/

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

Начальник АНОК  /И.М.Никulina /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки  /Т.П.Филиппова/