Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
к.т.н. Стрельцов С. А.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ НЕКВАЛИФИЦИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
31.08.2026
Владелец: к.т.н. Стрельцов С. А.
Срок действия: не ограничен
Адрес хранения электронного документа:
https://www.nstu.ru/university/info/sveden/education

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
# Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль: Полупроводниковые микро- и наносистемы

Курс: 4, семестр : 7

Факультет радиотехники и электроники,

| | | **Семестр** |
|---|---|---|
| **№** | **Вид деятельности** | **7** |
| **1** | Всего зачетных единиц (кредитов) | 4 |
| **2** | Всего часов | 144 |
| **3** | Всего занятий в контактной форме, час. | 54 |
| **4** | Лекции, час. | 34 |
| **5** | Практические занятия, час. | 0 |
| **6** | Лабораторные занятия, час. | 16 |
| **7** | из них в активной и интерактивной форме, час. | 8 |
| **8** | из них практической подготовки, час. | 16 |
| **9** | Аттестация, час. | 2 |
| **10** | Консультации, час. | 2 |
| **11** | Самостоятельная работа, час. | 90 |
| **12** | Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ(Р)/реферат, подготовка к контрольной работе) | Р контр. |
| **13** | Вид аттестации | 3 |

Новосибирск 2026

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №924 от 19.09.2017 г. , дата утверждения: 09.10.2017 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, формируемая участниками образовательных отношений

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, 31.08.2026

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 8 от 31.08.2026

Заведующий кафедрой:

доцент, к.т.н. Остертак Д. И.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Остертак Д. И.

## 1. Внешние требования

Таблица 1.1

| Группа | Компетенции |
|---|---|
| | **Индикаторы достижения компетенций** |
| Профессиональные компетенции | ПК-1/НА Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий |
| | ПК-1/НА. 1 Знает физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники |
| Профессиональные компетенции | ПК-2/НА Готов проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нанои микросистемной техники |
| | ПК-2/НА. 1 Знает основные методики экспериментальных исследований синтеза и анализа материалов и компонентов нано- и микросистемной техники |

## 2. Требования НГТУ к планируемым результатам обучения, соотнесенным с индикаторами достижения компетенций

Таблица 2.1

| Индикаторы достижения компетенций<br>Результаты обучения | Формы организации занятий |
|---|---|
| **ПК-1/НА. 1 Знает физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники** | |
| знает основные виды и свойства нанообъектов, наноматериалов, современные физические модели электронных и ионных процессов в твердых телах, воздействие ионных и электронных пучков на поверхностные и объемные свойства твердых тел и наноструктур. | Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа |
| **ПК-2/НА. 1 Знает основные методики экспериментальных исследований синтеза и анализа материалов и компонентов нано- и микросистемной техники** | |
| знает экспериментальные методы определения электрофизических и структурных свойств наноматериалов и структур, физические принципы, режимы работы погрешности и ограничения методов | Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа |
| Владеет методами экспериментального исследования параметров и характеристик материалов и компонентов нано- и микросистемной техники | Лекции; Лабораторные работы; |

## 3. Содержание и структура дисциплины

Таблица 3.1

| Темы лекций | Часы | Из них в форме практ. подг., час. | Активные формы, час. | Индикаторы достижения компетенций | Учебная деятельность |
|---|---|---|---|---|---|
| **Семестр: 7** | | | | | |
| **Дидактическая единица: Обзор методов анализа и контроля наноструктурированных материалов** | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Особенности и свойства наноструктурированных материалов. Основы классификации и типа структур наноматериалов. Физические причины специфики наноматериалов и доминирующая роль поверхности. Квантовые и классические размерные эффекты. Обеспечение единства измерений параметров наноматериалов. . Классификация методов диагностики по зондирующим воздействиям и детектируемым частицам, характер получаемой информации Доминирующая роль поверхности и обзор методов, применяемых для ее исследования | 2 | 0 | 0 | ПК-1/НА.1, ПК-2/НА.1 | лекция |
| **Дидактическая единица: Дифракционные методы исследования** | | | | | |
| 2. ДМЭ, аппаратура. Инструментальные ограничения метода. Интерпретация картин ДМЭ. ДБЭ, аппаратура, особенности (преимущества и недостатки по сравнению с ДМЭ). Анализ картин ДБЭ | 4 | 0 | 0 | ПК-1/НА.1, ПК-2/НА.1 | лекции |
| **Дидактическая единица: Методы электронной спектроскопии** | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3. Энергетический спектр электронов в методах электронной спектроскопии. Процессы и эффекты при взаимодействии электронов с веществом. Анализаторы задерживающего поля, типа "цилиндрического зеркала". концентрический полусферический и секторный цилиндрический анализаторы Преимущества и недостатки.Электронная Оже-спектроскопия. Физические принципы. Экспериментальное оборудование для электронной Оже-спектроскопии (ЭОС). Оже-анализ. Применение ЭОС.. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронами (СХПЭЭ).Спектроскопия характеристических потерь энергии электронами глубоких уровней, низкоэнергетическая и плазмонная спектроскопия характеристических потерь энергии электронами и спектроскопия характеристических потерь энергии электронами высокого разрешения. Экспериментальное оборудование. Фотоэлектронная спектроскопия: РФЭС, физические принципы метода. ФЭС. Источники. Энергия связи, влияние конечных состояний и химические сдвиги в РФЭС. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия | 12 | 0 | 0 | ПК-1/НА.1, ПК-2/НА.1 | лекции |
| **Дидактическая единица: Методы электронной микроскопии** | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Экспериментальное оборудование, разрешающая способность, образцы. Формирование изображения в электронном микроскопе. Дифракционный контраст. Фазовый контраст в ПЭМ. Подготовка образцов в ПЭМ. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Вторичные процессы при взаимодействии электронов с веществом. Формирование изображения в СЭМ. Контраст изображения во вторичных и отраженных электронах. Кристаллографический и магнитный типы контрастов.Экспериментальное оборудование, разрешающая способность СЭМ. Детекторы вторичных и обратно рассеянных электронов. Электронно-ионный сканирующий микроскоп 1540 EsB | 8 | 0 | 0 | ПК-1/НА.1, ПК-2/НА.1 | лекции |
| **Дидактическая единица: Методы сканирующей зондовой микроскопии.** | | | | | |
| 5. Принцип работы. Сканеры и зонды СЗМ. Артефакты в СЗМ. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Режимы работы, особенности СТМ. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Режимы работы, особенности АСМ. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Принцип работы и области применения | 8 | 0 | 0 | ПК-1/НА.1, ПК-2/НА.1 | лекции |

| Темы лабораторных работ | Часы | Из них в форме практ. подг., час. | Активные формы, час. | Индикаторы достижения компетенций | Учебная деятельность |
|---|---|---|---|---|---|
| **Семестр: 7** | | | | | |
| **Дидактическая единица: Методы сканирующей зондовой микроскопии.** | | | | | |
| 1. Получение СЗМ изображения. Обработка и представление результатов. | 4 | 4 | 2 | ПК-1/НА.1, ПК-2/НА.1 | лабораторная работа |
| 2. Обработка и количественный анализ СЗМ изображения | 4 | 4 | 2 | ПК-1/НА.1, ПК-2/НА.1 | лабораторная работа |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3. Исследование поверхности твердых тел методом сканирующей туннельной микроскопии | 4 | 4 | 2 | ПК-1/НА.1, ПК-2/НА.1 | лабораторная работа |
| 4. Артефакты в сканирующей зондовой микроскопии | 4 | 4 | 2 | ПК-1/НА.1, ПК-2/НА.1 | лабораторная работа |

### 3.1 Практическая подготовка

Таблица 3.2

| № | Темы занятий | Формы организации занятий | Содержание практической подготовки (виды работ) |
|---|---|---|---|
| 1 | Получение СЗМ изображения. Обработка и представление результатов. | Лб | Выполняет следующие виды работ: выполняет настройку, наладку и калибровку оборудования для освоения методов СЗМ с целью исследования параметров поверхности наноструктурированных материалов |
| 2 | Обработка и количественный анализ СЗМ изображения | Лб | Выполняет следующие виды работ: выполняет анализ данных, полученных в ходе эксперимента с целью получения навыков анализа и обработки метрологических параметров экспериментальных данных и овладения методами экспериментального исследования характеристик |
| 3 | Исследование поверхности твердых тел методом сканирующей туннельной микроскопии | Лб | Выполняет следующие виды работ: выбирает методы решения профессиональных задач для исследования параметровнаноструктурированных материалов , осваивает метода сканирующей туннельной микроскопии , осуществляет интерпретацию результатов, полученных в ходе эксперимента с целью осоение методов анализа и обработки экспериментальных данных |
| 4 | Артефакты в сканирующей зондовой микроскопии | Лб | Выполняет следующие виды работ: выполняет интерпретацию и анализ результатов, полученных в ходе эксперимента с целью овладения методами анализа и обработки экспериментальных данных, в том числеметрологической обработки и овладения методами экспериментального исследования параметров структур |

### 3.2 Самостоятельная работа обучающегося

Таблица 3.3

| № | Виды самостоятельной работы | Индикаторы достижения компетенций | Часы на выполнение | Часы на консультации |
|---|---|---|---|---|
| **Семестр: 7** | | | | |
| 1 | Контрольные работы | ПК-1/НА.1,ПК-2/НА.1 | 22 | 0 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Подготовка к контрольной работе, подробная информация приведена в приложении №3 : Физические методы исследования материалов : методические указания к лабораторным и практическим занятиям по курсам 'Физические методы исследования материалов' и 'Основы экспериментальных исследований' для механико-технологического факультета / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. А. Никулина].- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.- 23, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000236937 Филимонова Н. И. Методы исследования поверхности твердых тел [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, [2021].- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000243659.- Загл. с экрана. | | | | |
| 2 | описание работы СТМ | ПК-1/НА.1,ПК-2/НА.1 | 38 | 2 |
| , подробная информация приведена в приложении №4 : Физические методы исследования материалов : методические указания к лабораторным и практическим занятиям по курсам 'Физические методы исследования материалов' и 'Основы экспериментальных исследований' для механико-технологического факультета / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. А. Никулина].- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.- 23, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000236937 Филимонова Н. И. Методы исследования поверхности твердых тел [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, [2021].- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000243659.- Загл. с экрана. | | | | |
| 3 | Подготовка к занятиям | ПК-2/НА.1 | 30 | 0 |
| усвоение лекционного материала: Филимонова Н. И. Методы исследования поверхности твердых тел [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, [2021].- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000243659.- Загл. с экрана. | | | | |

### 3.3 Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 3.4).

Таблица 3.4

| Деятельность | Информационно-коммуникационные технологии |
|---|---|
| Информирование | e-mail |
| Консультирование | Личный типовой сайт |
| Контроль | Портал НГТУ |
| Размещение учебных материалов | Портал НГТУ; Среда электронного обучения НГТУ |

## 4. Правила аттестации обучающихся по дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставлять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

| Оцениваемые виды деятельности обучающихся | Мин. балл | Максимальный балл |
|---|---|---|
| **Семестр: 7** | | |
| *Лекция:* | 5 | 10 |
| Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Филимонова Н. И. Методы исследования поверхности твердых тел [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, [2021].- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000243659.- Загл. с экрана." | | |
| *Лабораторная:* | 20 | 40 |

| | | |
|---|---|---|
| Контролирующие материалы приводятся в "Физические методы исследования материалов : методические указания к лабораторным и практическим занятиям по курсам 'Физические методы исследования материалов' и 'Основы экспериментальных исследований' для механико-технологического факультета / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. А. Никулина].- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.- 23, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000236937" | | |
| *Контрольные работы:* | 5 | 10 |
| Контролирующие материалы приводятся в "Филимонова Н. И. Методы исследования поверхности твердых тел [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, [2021].- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000243659.- Загл. с экрана." | | |
| *РГЗ/Реферат:* | 10 | 20 |
| Контролирующие материалы приводятся в "Филимонова Н. И. Методы исследования поверхности твердых тел [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, [2021].- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000243659.- Загл. с экрана." | | |
| *Зачет:* | 10 | 20 |
| Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Филимонова Н. И. Методы исследования поверхности твердых тел [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, [2021].- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000243659.- Загл. с экрана." | | |

В таблице 4.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 4.2

| Коды компетенций | Индикаторы достижения компетенций | Формы контроля | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Защита Л/Р | Контр. раб. | Защита РГЗ/Р | Зачет |
| **ПК-1/НА** | ПК-1/НА 1. Знает физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники | + | + | + | + |
| **ПК-2/НА** | ПК-2/НА 1. Знает основные методики экспериментальных исследований синтеза и анализа материалов и компонентов нано- и микросистемной техники | + | + | + | + |

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

## 5. Литература

*Основная литература*

**1.** Илюшин В. А. Наноматериалы : [учебное пособие] / В. А. Илюшин ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019.- 112, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000240967

**2.** Процессы и технологии получения наноразмерных порошков и наноструктурированных материалов : [учебное пособие / В. А. Батаев и др.].- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.- 281, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000236859

**3.** Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062

**4.** Батаев В. А. Материалы с нанокристаллической структурой : учебное пособие / В. А. Батаев, З. Б. Батаева ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.- 262, [1] с. : ил., схемы.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000086242.- Инновационная образовательная программа НГТУ 'Высокие технологии'.

*Дополнительная литература*

**1.** Илюшин В. А. Процессы нанотехнологии : учебное пособие / В. А. Илюшин, А. А. Величко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 107 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029072

*Интернет-ресурсы*

**1.** ГПНТБ СО РАН : Государственная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук : сайт. – Новосибирск, 2013– . – URL: http://www.spsl.nsc.ru/ (дата обращения: 09.03.2022). – Текст : электронный.

**2.** Znanium.com [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - Научно-издательский центр Инфра-М, 2011-2017. - Режим доступа: http://znanium.com/. - Загл. с экрана.

## 6. Методическое и программное обеспечение, информационные технологии

### *6.1 Методическое обеспечение*

**1.** Физические методы исследования материалов : методические указания к лабораторным и практическим занятиям по курсам 'Физические методы исследования материалов' и 'Основы экспериментальных исследований' для механико-технологического факультета / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. А. А. Никулина].- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.- 23, [1] с. : ил.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000236937

**2.** Филимонова Н. И. Методы исследования поверхности твердых тел [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, [2021].- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000243659.- Загл. с экрана.

### *6.2 Специализированное программное обеспечение*

**1** Операционная система Microsoft Windows

**2** Пакет офисных приложений Microsoft Office

### *6.3 Информационные технологии*

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине применяются элементы дистанционных образовательных технологий, а также синхронного и асинхронного взаимодействия в электронной информационно-образовательной среды НГТУ.

## 7. Материально-техническое обеспечение

Специальное оборудование

| № | Наименование | Назначение |
|---|---|---|
| 1 | Учебная нанолаборатория NanoEducator-4 | Проводятся исследования топологии поверхности гетероэпитаксиальных структур |