

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА"**

СОГЛАСОВАНО  
Зав. выпускающей кафедры

УТВЕРЖДАЮ

**Технологические процессы наноэлектроники**  
**рабочая программа дисциплины (модуля)**

Закреплена за кафедрой **Микро- и наноэлектроники**

Учебный план 11.03.04\_26\_00.plx  
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Квалификация **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **2 ЗЕТ**

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

| Семестр<br>(<Курс>.<Семестр<br>на курсе>) | 5 (3.1) |       | Итого |       |
|-------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|
| Неделя                                    | 16      |       |       |       |
| Вид занятий                               | УП      | РП    | УП    | РП    |
| Лекции                                    | 32      | 32    | 32    | 32    |
| Иная контактная<br>работа                 | 0,25    | 0,25  | 0,25  | 0,25  |
| Итого ауд.                                | 32,25   | 32,25 | 32,25 | 32,25 |
| Контактная работа                         | 32,25   | 32,25 | 32,25 | 32,25 |
| Сам. работа                               | 31      | 31    | 31    | 31    |
| Часы на контроль                          | 8,75    | 8,75  | 8,75  | 8,75  |
| Итого                                     | 72      | 72    | 72    | 72    |

г. Рязань

Программу составил(и):

*к.т.н., доц., Зубков Михаил Владимирович*

Рабочая программа дисциплины

**Технологические процессы нанoeлектроники**

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)

составлена на основании учебного плана:

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

утвержденного учёным советом вуза от 24.04.2026 протокол № 10.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**Микро- и нанoeлектроники**

Протокол от 15.05.2026 г. № 5

Срок действия программы: 2026 - 2030 уч.г.

Зав. кафедрой Литвинов Владимир Георгиевич

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры  
**Микро- и нанoeлектроники**

Протокол от \_\_\_\_ 2027 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры  
**Микро- и нанoeлектроники**

Протокол от \_\_\_\_ 2028 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2029-2030 учебном году на заседании кафедры  
**Микро- и нанoeлектроники**

Протокол от \_\_\_\_ 2029 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2030-2031 учебном году на заседании кафедры

**Микро- и нанoeлектроники**

Протокол от \_\_\_\_ 2030 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

|     |                                                                                                                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1 | Целью освоения дисциплины является формирование перечисленных ниже компетенций и систематических знаний в области технологических процессов, применяемых в нанoeлектронике. |
| 1.2 | Задачи:                                                                                                                                                                     |
| 1.3 | - изучение основных закономерностей технологических процессов изготовления наноразмерных элементов и структур;                                                              |
| 1.4 | - формирование навыков работы на технологическом оборудовании, применяемом при изготовлении компонентов нанoeлектроники;                                                    |
| 1.5 | - формирование представления о методах контроля параметров и свойств наноразмерных объектов;                                                                                |
| 1.6 | - получение навыков научно-исследовательской и инженерной работы.                                                                                                           |

**2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

|                   |                                                                                                                       |       |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Цикл (раздел) ОП: |                                                                                                                       | ФТД.В |
| <b>2.1</b>        | <b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>                                                          |       |
| 2.1.1             | Цифровая обработка сигналов в электронных устройствах                                                                 |       |
| <b>2.2</b>        | <b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> |       |
| 2.2.1             | Производственная практика                                                                                             |       |
| 2.2.2             | Схемотехника                                                                                                          |       |
| 2.2.3             | Тепловые процессы в электронике                                                                                       |       |
| 2.2.4             | Элементы электронной техники                                                                                          |       |
| 2.2.5             | Аналитические приборы и методы в электронике                                                                          |       |
| 2.2.6             | Методы сопряжения вычислительных систем с объектами управления                                                        |       |
| 2.2.7             | Научно-исследовательская практика                                                                                     |       |
| 2.2.8             | Преобразовательная техника                                                                                            |       |
| 2.2.9             | Системы сбора и обработки информации                                                                                  |       |
| 2.2.10            | Цифровая электроника                                                                                                  |       |
| 2.2.11            | Электронные и ионные приборы                                                                                          |       |
| 2.2.12            | Электронные цепи                                                                                                      |       |
| 2.2.13            | Выполнение и защита выпускной квалификационной работы                                                                 |       |
| 2.2.14            | САПР устройств электроники                                                                                            |       |
| 2.2.15            | Тонкопленочные структуры в электронике                                                                                |       |
| 2.2.16            | Физические основы методов анализа вещества                                                                            |       |
| 2.2.17            | Преддипломная практика                                                                                                |       |
| 2.2.18            | Производственная практика                                                                                             |       |
| 2.2.19            | Масс - спектрометрия в органической химии                                                                             |       |
| 2.2.20            | Современные технологии MEMS компонентов                                                                               |       |

**3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>ПК-1: Способен строить физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования и проводить анализ результатов</b>          |  |
| <b>ПК-1.1. Проводит моделирование и исследования функциональных, статических, динамических, временных, частотных характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения</b>                                                     |  |
| <b>Знать</b><br>основы основные характеристики приборов, схемы и установки электроники и нанoeлектроники<br><b>Уметь</b><br>проводить моделирование характеристик приборов, схем и установок электроники и нанoeлектроники<br><b>Владеть</b><br>навыками работы с исследовательскими установками |  |
| <b>ПК-2: Способен анализировать, систематизировать и обобщать результаты исследований приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения</b>                                                                                              |  |
| <b>ПК-2.1. Анализирует научные данные, результаты экспериментов и наблюдений</b>                                                                                                                                                                                                                 |  |

**Знать**  
методы анализа научных данных, результатов экспериментов и наблюдений

**Уметь**  
анализировать научные данные, результаты экспериментов и наблюдений

**Владеть**  
навыками анализа данных

**ПК-2.2. Систематизирует и обобщает результаты исследований приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, представляет материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций**

**Знать**  
способы систематизации и обобщения, а так же представления результатов исследований установок электроники и нанoeлектроники

**Уметь**  
систематизировать, обобщать и предоставлять научные материалы

**Владеть**  
навыками работы с научными документами

**В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен**

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3.1</b> | <b>Знать:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 3.1.1      | основы физики вакуума, плазмы и твердого тела, принципы использования физических эффектов в вакууме, плазме и в твердом теле; основные проблемы и особенности современного этапа развития науки о технологических процессах микро- и нанoeлектроники.                                                                                                                                     |
| <b>3.2</b> | <b>Уметь:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 3.2.1      | применять на практике основные приемы и программные средства обработки и представления данных в соответствии с поставленной задачей проводить расчеты физико-химических закономерностей, отражающих взаимосвязь между составом, структурой, свойствами и условиями получения полупроводниковых материалов и приборов, анализировать результаты расчетов и обосновывать полученные выводы. |
| <b>3.3</b> | <b>Владеть:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 3.3.1      | разработки нормативно-технической документации в области изделий современной микро- и нанoeлектроники; грамотным физическим научным языком; международной системой единиц измерений физических величин (СИ) при физических расчетах и формулировке физических закономерностей; навыками измерения основных физических величин.                                                            |

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/                                                                                                                                                               | Семестр / Курс | Часов | Компетенции                                                                                              | Литература                                                                                      | Форма контроля |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|             | <b>Раздел 1. Введение.</b>                                                                                                                                                                              |                |       |                                                                                                          |                                                                                                 |                |
| 1.1         | Введение. /Тема/                                                                                                                                                                                        | 5              | 0     |                                                                                                          |                                                                                                 |                |
| 1.2         | Предмет дисциплины, ее задачи. Цели и задачи нанотехнологий. Основные понятия и определения. Физические и технологические проблемы и ограничения микроминиатюризации полупроводниковых устройств. /Лек/ | 5              | 1     | ПК-1.1-3<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-3<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-3<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5<br>Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.         |
| 1.3         | Понятие мезоскопического размера. Классификация наноматериалов по техническому назначению, составу и свойствам. /Лек/                                                                                   | 5              | 1     | ПК-1.1-3<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-3<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-3<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7         | Зачёт.         |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |   |                                                                                                          |                                                                                         |                                |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 1.4 | Классификация наноматериалов по техническому назначению, составу и свойствам. Цели и задачи нанотехнологий. /Ср/                                                                                                                                                                   | 5 | 2 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Аналитический<br>отчёт. Зачёт. |
|     | <b>Раздел 2. Виды материалов нанoeлектроники.</b>                                                                                                                                                                                                                                  |   |   |                                                                                                          |                                                                                         |                                |
| 2.1 | Виды материалов нанoeлектроники. /Тема/                                                                                                                                                                                                                                            | 5 | 0 |                                                                                                          |                                                                                         |                                |
| 2.2 | Золи, гели, суспензии, коллоидные растворы, матрично-изолированные кластерные сверхструктуры, фуллерены, фуллереноподобные материалы, углеродные нанотрубки и их производные, полимеры, сверхрешетки, биомембраны, самоорганизующиеся среды. /Лек/                                 | 5 | 2 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.                         |
| 2.3 | Материалы на основе наноструктурных элементов. Нанокристаллы. Структурные элементы для наноматериалов более высокого порядка. Самоорганизующиеся упорядоченные пористые материалы. /Лек/                                                                                           | 5 | 1 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.                         |
| 2.4 | Материалы электроники для нанотехнологий. Кремний и его модификации. Пористый кремний. Гетероструктуры на основе твердых растворов АЗВ5. Гетероструктуры с двумерным электронным газом. Гетероструктуры с квантовыми ямами. /Лек/                                                  | 5 | 1 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.                         |
| 2.5 | Материалы на основе нитридов и их применение. Проблемы подложек и выращивание буферных слоев. Металлические нанокластеры. Конструкционные материалы для несущих конструкций изделий микро- и наносистемной техники. Функциональные материалы микро- и наносистемной техники. /Лек/ | 5 | 2 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.                         |
| 2.6 | Золи, гели, суспензии, коллоидные растворы, матрично-изолированные кластерные сверхструктуры, фуллерены, фуллереноподобные материалы, углеродные нанотрубки и их производные, полимеры, сверхрешетки, биомембраны, самоорганизующиеся среды. /Ср/                                  | 5 | 8 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Аналитический<br>отчёт. Зачёт. |
|     | <b>Раздел 3. Базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нанoeлектроники.</b>                                                                                                                                             |   |   |                                                                                                          |                                                                                         |                                |
| 3.1 | Базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нанoeлектроники. /Тема/                                                                                                                                                       | 5 | 0 |                                                                                                          |                                                                                         |                                |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |   |                                                                                                          |                                                                                                 |                             |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 3.2 | Методы синтеза нанокристаллических порошковых материалов. Газофазный метод. Плазмохимический синтез. Осаждение из коллоидных растворов. Метод термического разложения и восстановления. Методы механосинтеза, детонационного синтеза и электровзрыва. /Лек/                                                                                                              | 5 | 1 | ПК-1.1-3<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-3<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-3<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5<br>Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.                      |
| 3.3 | Основы технологии углеродных нанотрубок. Схема установки для получения угле-родных нанотрубок методом лазерной абляции. Дуговой способ получения углеродных нанотрубок. Метод пиролиза углеводородов. Синтез из углеродсодержащих газов. /Лек/                                                                                                                           | 5 | 1 | ПК-1.1-3<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-3<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-3<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7         | Зачёт.                      |
| 3.4 | Технология поликристаллических алмазов. Технология алмазных и алмазоподобных пленок. Технология металлоорганических соединений. Технология некристаллических материалов. Технология изготовления металлических и полупроводниковых наноточек, нанонитей литографическими методами. /Лек/                                                                                 | 5 | 1 | ПК-1.1-3<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-3<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-3<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7         | Зачёт.                      |
| 3.5 | Эпитаксиальные методы получения материалов микросистемной техники. Гомо- и гетерозепитаксия. Физическое осаждение из паровой фазы. Получение аморфных, поликристаллических и монокристаллических пленок. Молекулярно-лучевая эпитаксия элементарных полупроводников и полупроводников на основе соединений А3В5, осаждение пленок диэлектриков и металлов. /Лек/         | 5 | 2 | ПК-1.1-3<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-3<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-3<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7         | Зачёт.                      |
| 3.6 | Химическое осаждение из газовой фазы: основные закономерности и методика. Эпитаксия из металлоорганических соединений и летучих неорганических гидридов. Механизмы гетерозепитаксиального роста: Франка-ван-дер-Верме, Фольмера-Вебера, Странского-Крастанова. Ионный синтез наноструктур. Процессы самоорганизации наноструктур при ионном синтезе. /Лек/               | 5 | 2 | ПК-1.1-3<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-3<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-3<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7         | Зачёт.                      |
| 3.7 | Технология двумерных гетерозепитаксиальных полупроводниковых систем. Традиционные технологические циклы изготовления интегральных схем, адаптированные для создания трехмерных механических структур: объемная микрообработка, поверхностная микрообработка, технология LIGA. /Лек/                                                                                      | 5 | 1 | ПК-1.1-3<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-3<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-3<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7         | Зачёт.                      |
| 3.8 | Ионный синтез наноструктур. Процессы самоорганизации наноструктур при ионном синтезе. Технология двумерных гетерозепитаксиальных полупроводниковых систем. Традиционные технологические циклы изготовления интегральных схем, адаптированные для создания трехмерных механических структур: объемная микрообработка, поверхностная микрообработка, технология LIGA. /Ср/ | 5 | 7 | ПК-1.1-3<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-3<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-3<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7         | Аналитический отчет. Зачёт. |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |                                                                                                          |                                                                                         |                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|     | <b>Раздел 4. Свойства материалов нанoeлектроники.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   |   |                                                                                                          |                                                                                         |                                |
| 4.1 | Свойства материалов нанoeлектроники. /Тема/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 5 | 0 |                                                                                                          |                                                                                         |                                |
| 4.2 | Свойства наноматериалов. Механические, теплофизические, физико-химические, электрофизические, магнитные, оптические. Критерии выбора и совместимость наноматериалов. Кристаллохимическая и термомеханическая совместимость. Основы кристаллофизики и кристаллохимии наноматериалов. /Лек/                                                                                                                    | 5 | 4 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.                         |
| 4.3 | Физико-химия процессов синтеза наноструктурированных материалов. Принципы выбора полупроводниковых материалов. Материаловедческие проблемы в создании микро- и наносистемных устройств. Роль размерных эффектов в физико-химических и механических свойствах наноматериалов. /Лек/                                                                                                                           | 5 | 4 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.                         |
| 4.4 | Свойства наноматериалов. Механические, теплофизические, физико-химические, электрофизические, магнитные, оптические. Критерии выбора и совместимость наноматериалов. Кристаллохимическая и термомеханическая совместимость. Основы кристаллофизики и кристаллохимии наноматериалов. Физико-химия процессов синтеза наноструктурированных материалов. /Ср/                                                    | 5 | 6 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Аналитический<br>отчёт. Зачёт. |
|     | <b>Раздел 5. Технологические особенности изготовления современных приборов нанoeлектроники.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |                                                                                                          |                                                                                         |                                |
| 5.1 | Технологические особенности изготовления современных приборов нанoeлектроники. /Тема/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 5 | 0 |                                                                                                          |                                                                                         |                                |
| 5.2 | Функционально-активные материалы для электростатических, электромагнитных, пьезоэлектрических, оптических, электрооптических и термоэлектрических преобразователей энергии, движения, информации. Гетероструктуры с высокой плотностью двумерного электронного газа (ДЭГ). Транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ-транзисторы). /Лек/                                                           | 5 | 4 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.                         |
| 5.3 | Структуры на микроскопически упорядоченных фасетированных поверхностях. Структуры с периодической модуляцией состава в эпитаксиальных пленках твердых растворов полупроводников. Перспективы изготовления электронных приборов с применением нанотрубок. Перспективы создания эффективных миниатюрных и сверхминиатюрных систем, обусловленные особыми физико-механическими свойствами наноматериалов. /Лек/ | 5 | 4 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Зачёт.                         |



|                                            |                                                                                                                                                                                                        |   |      |                                                                                                          |                                                                                          |                                |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 5.4                                        | Функционально-активные материалы для электростатических, электромагнитных, пьезоэлектрических, оптических, электрооптических и термоэлектрических преобразователей энергии, движения, информации. /Ср/ | 5 | 8    | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В | Л1.1 Л1.2<br>Л1.3 Л1.4<br>Л1.5 Л2.1<br>Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.6<br>Э1 Э2 Э3 Э4<br>Э5 Э6 Э7 | Аналитический<br>отчёт. Зачёт. |
| <b>Раздел 6. Промежуточная аттестация.</b> |                                                                                                                                                                                                        |   |      |                                                                                                          |                                                                                          |                                |
| 6.1                                        | Подготовка к аттестации, иная контактная работа. /Тема/                                                                                                                                                | 5 | 0    |                                                                                                          |                                                                                          |                                |
| 6.2                                        | Подготовка к зачёту. /Зачёт/                                                                                                                                                                           | 5 | 8,75 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В |                                                                                          | Контрольные<br>вопросы.        |
| 6.3                                        | Приём зачёта. /ИКР/                                                                                                                                                                                    | 5 | 0,25 | ПК-1.1-З<br>ПК-1.1-У<br>ПК-1.1-В<br>ПК-2.1-З<br>ПК-2.1-У<br>ПК-2.1-В<br>ПК-2.2-З<br>ПК-2.2-У<br>ПК-2.2-В |                                                                                          | Контрольные<br>вопросы.        |

#### 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Оценочные материалы по дисциплине "Технологические процессы нанoeлектроники").

#### 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

##### 6.1. Рекомендуемая литература

##### 6.1.1. Основная литература

| №    | Авторы, составители             | Заглавие                                                                 | Издательство, год                                   | Количество/<br>название ЭБС |
|------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
| Л1.1 | Рамбиди Н.Г.,<br>Березкин А.В.  | Физические и химические основы нанотехнологий                            | М.:<br>ФИЗМАТЛИТ,<br>2009, 456с.                    | 978-5-9221-<br>0988-8, 1    |
| Л1.2 | Старостин В.В.                  | Материалы и методы нанотехнологий : учеб. пособие                        | М.: БИНОМ.<br>Лаборатория<br>знаний, 2010,<br>431с. | 978-5-9963-<br>0346-5, 1    |
| Л1.3 | Раскин А.А.,<br>Прокофьева В.К. | Технология материалов микро-, опто- и нанoeлектроники :<br>учеб. пособие | М.: БИНОМ.<br>Лаборатория<br>знаний, 2010,<br>164с. | 978-5-94774-<br>909-0, 1    |
| Л1.4 | Рощин В.М., Силибин<br>М.В.     | Технология материалов микро-, опто- и нанoeлектроники :<br>учеб. пособие | М.: БИНОМ.<br>Лаборатория<br>знаний, 2010,<br>180с. | 978-5-94774-<br>910-6, 1    |

| №                                                                                | Авторы, составители                                                                                                                                                                                                                               | Заглавие                                                                                              | Издательство, год                          | Количество/название ЭБС                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Л1.5                                                                             | Юсупов А. Р.,<br>Кондратьев Д. В.                                                                                                                                                                                                                 | Материалы и методы нанотехнологий                                                                     | Уфа: БГПУ имени М. Акмуллы, 2020, 99 с.    | 978-5-907176-81-2,<br><a href="https://e.lanbook.com/book/170438">https://e.lanbook.com/book/170438</a>                                                                 |
| <b>6.1.2. Дополнительная литература</b>                                          |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                       |                                            |                                                                                                                                                                         |
| №                                                                                | Авторы, составители                                                                                                                                                                                                                               | Заглавие                                                                                              | Издательство, год                          | Количество/название ЭБС                                                                                                                                                 |
| Л2.1                                                                             | Батурин В. К.,<br>Ратников В. П.,<br>Останина О. А.,<br>Уледова И. А.,<br>Чурочкина Л. С.,<br>Скрипкина Ж. Б.,<br>Подвойская Л. Т.,<br>Юдин В. В., Батурин В. К.                                                                                  | Социология : учебник для студентов вузов                                                              | Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2017, 487 с.           | 978-5-238-02266-6,<br><a href="http://www.iprbookshop.ru/71057.html">http://www.iprbookshop.ru/71057.html</a>                                                           |
| Л2.2                                                                             | Коледов Л. А.                                                                                                                                                                                                                                     | Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок                                    | Санкт-Петербург: Лань, 2009, 400 с.        | 978-5-8114-0766-8,<br><a href="https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=192">https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=192</a> |
| Л2.3                                                                             | Маллер Р., Кейминс Т.                                                                                                                                                                                                                             | Элементы интегральных схем                                                                            | М.:Мир, 1989, 630с.                        | 5-03-001100-5, 1                                                                                                                                                        |
| Л2.4                                                                             | Покровский Ф.Н.                                                                                                                                                                                                                                   | Материалы и компоненты радиоэлектронных средств : Учеб.пособие для вузов                              | М.:Горячая линия-Телеком, 2005, 350с.      | 5-93517-215-1, 1                                                                                                                                                        |
| Л2.5                                                                             | Лозовский В.Н.,<br>Константинова Г.С.,<br>Лозовский С.В.                                                                                                                                                                                          | Нанотехнология в электронике. Введение в специальность : учеб. пособие                                | СПб.: Лань, 2008, 336с.                    | 978-5-8114-0827-6, 1                                                                                                                                                    |
| Л2.6                                                                             | Королев М.А.,<br>Крупкина Т.Ю.,<br>Ревелева М.А.                                                                                                                                                                                                  | Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование : учеб. пособие | М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009, 397с. | 978-5-94774-336-4, 1                                                                                                                                                    |
| <b>6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"</b> |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                       |                                            |                                                                                                                                                                         |
| Э1                                                                               | Сайт кафедры микро- и нанoeлектроники РГРТУ. <a href="http://www.rsreu.ru/faculties/fe/kafedri/mnel">http://www.rsreu.ru/faculties/fe/kafedri/mnel</a>                                                                                            |                                                                                                       |                                            |                                                                                                                                                                         |
| Э2                                                                               | Система дистанционного обучения ФГБОУ ВО «РГРТУ», режим доступа: по паролю. <a href="http://cdo.rsreu.ru/">http://cdo.rsreu.ru/</a>                                                                                                               |                                                                                                       |                                            |                                                                                                                                                                         |
| Э3                                                                               | Единое окно доступа к образовательным ресурсам, режим доступа: по паролю. <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>                                                                                                               |                                                                                                       |                                            |                                                                                                                                                                         |
| Э4                                                                               | Интернет Университет Информационных Технологий. <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>                                                                                                                                         |                                                                                                       |                                            |                                                                                                                                                                         |
| Э5                                                                               | Электронно-библиотечная система «IPRbooks» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ – свободный, доступ из сети Интернет – по паролю. <a href="https://iprbookshop.ru/">https://iprbookshop.ru/</a>              |                                                                                                       |                                            |                                                                                                                                                                         |
| Э6                                                                               | Электронно-библиотечная система издательства «Лань» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ – свободный, доступ из сети Интернет – по паролю. <a href="https://www.e.lanbook.com">https://www.e.lanbook.com</a> |                                                                                                       |                                            |                                                                                                                                                                         |
| Э7                                                                               | Электронная библиотека РГРТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: из корпоративной сети РГРТУ – по паролю. <a href="http://elib.rsreu.ru/">http://elib.rsreu.ru/</a>                                                                            |                                                                                                       |                                            |                                                                                                                                                                         |

**6.3 Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем****6.3.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства**

| Наименование                    | Описание                                                                    |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Операционная система Windows XP | Microsoft Imagine, номер подписки 700102019, бессрочно                      |
| Операционная система MS DOS     | Бессрочно. Корпоративная лицензия Microsoft Imagine Membership ID 700565239 |
| Kaspersky Endpoint Security     | Коммерческая лицензия                                                       |
| LibreOffice                     | Свободное ПО                                                                |
| Adobe Acrobat Reader            | Свободное ПО                                                                |
| LabVIEW                         | Коммерческая лицензия                                                       |

**6.3.2 Перечень информационных справочных систем**

|         |                                                                                         |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.3.2.1 | Система КонсультантПлюс <a href="http://www.consultant.ru">http://www.consultant.ru</a> |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|

**7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 267 учебно-административный корпус. Учебная аудитория для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Специализированная мебель. 80 мест, доска. Мультимедийное оборудование, компьютер.              |
| 2 | 501 лабораторный корпус. Учебная аудитория для проведения учебных занятий Специализированная мебель (37 посадочных мест)<br>ПК: Intel Celeron CPVJ1800 – 25 шт.<br>Возможность подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ                                         |
| 3 | 341 учебно-административный корпус. Учебная лаборатория, оснащенная лабораторным оборудованием<br>столы лабораторные (22 шт.), доска магнитно-маркерная, экран настенный, 5 компьютеров, блок питания ВИП-01 0(3 шт.), вольтметры В7-21А (3 шт.), В7-21, В7-35 (3 шт.), осциллографы С1-64А (3 шт.), С1-75, измерители Е4-7, Е9-4 |
| 4 | 343 учебно-административный корпус. Учебно-вспомогательная Аудитория для хранения и ремонта оборудования<br>2 компьютера, принтер, сканер, 5 мест                                                                                                                                                                                 |

**8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

Методическое обеспечение дисциплины приведено в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические указания по дисциплине "Технологические процессы нанoeлектроники").

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО  
ЗАВЕДУЮЩИМ  
КАФЕДРЫ**ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ**, Литвинов Владимир  
Георгиевич, Заведующий кафедрой МНЭЛ**25.06.26** 14:07 (MSK)

Простая подпись

ПОДПИСАНО  
ЗАВЕДУЮЩИМ  
ВЫПУСКАЮЩЕЙ  
КАФЕДРЫ**ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ**, Круглов Сергей  
Александрович, Заведующий кафедрой ПЭЛ**26.06.26** 09:04 (MSK)

Простая подпись