**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

**УТВЕРЖДАЮ**
**Проректор по учебной работе**
**_____ П. Е. Троян**
«___» _____ 2016 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

# МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ

**Уровень основной образовательной программы** бакалавриат

**Направления подготовки** **28.03.01** «Нанотехнологии и микросистемная техника»

**Направленность (профиль) программы** Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике

**Форма обучения** очная

**Факультет** электронной техники (ФЭТ)

**Кафедра** физической электроники (ФЭ)

**Курс** 4 **Семестр** 7

**Учебный план набора 2016 года.**

**Распределение рабочего времени:**

| № | Виды учебной работы | Семестр 1 | Семестр 2 | Семестр 3 | Семестр 4 | Семестр 5 | Семестр 6 | Семестр 7 | Семестр 8 | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Лекции | | | | | | | 36 | | 36 | часа |
| 2. | Лабораторные работы | | | | | | | 16 | | 16 | часов |
| 3. | Практические занятия | | | | | | | 20 | | 20 | часов |
| 4. | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная) | | | | | | | - | | - | часов |
| 5. | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4) | | | | | | | 72 | | 72 | часов |
| 6. | Из них в интерактивной форме | | | | | | | 6 | | 6 | часов |
| 7. | Самостоятельная работа студентов (СРС) | | | | | | | 72 | | 72 | часов |
| 8. | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7) | | | | | | | 144 | | 144 | часов |
| 9. | Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена | | | | | | | 36 | | 36 | часов |
| 10. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9) | | | | | | | 180 | | 180 | часов |
| | (в зачетных единицах) | | | | | | | 5 | | 5 | ЗЕ |

**Экзамен** 7 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 1438

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 73 от « 8 » 9 2016 г.

**Лист согласований**

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (квалификация (степень) бакалавр), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 6 марта 2015 г. № 177, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «___» _____ 201__ г., протокол № _____.

**Разработчики:**
Профессор кафедры ФЭ _____ / С.В. Смирнов

Доцент кафедры ФЭ _____ / И.А.Чистоедова

**Заведующий кафедрой**
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки.

Декан ФЭТ _____ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей
кафедрой ФЭ _____ / П.Е. Троян

Зав. выпускающей
кафедрой ФЭ _____ / П.Е. Троян

**Эксперты:**
Председатель методической
комиссии факультета ФЭТ _____ / И.А.Чистоедова

Председатель методической
комиссии кафедры ФЭ _____ / И.А. Чистоедова



Согласована на портале № 1438

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» является формирование знаний в области экспериментальных методов исследования состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем, усвоение фундаментальных принципов, на которых строится функционирование приборов для исследований, формирование у обучающихся общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

Задачей изучения дисциплины является знакомство с конструкцией исследовательской аппаратуры, условиями эксплуатации, современными методами исследований, освоение студентами основных принципов работы с приборами, получение практических навыков при проведении исследований.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

В соответствии с ОПОП дисциплина «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» относится к вариативной части образовательной программы бакалавриата по направлению 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (Б1.В.ОД.10).

Изучение данной дисциплины базируется на знании следующих дисциплин: математика, физика, химия, квантовая механика, физика конденсированного состояния, физика полупроводников, технология материалов микро- и наноэлектроники.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: технология кремниевой наноэлектроники, процессы микро- и нанотехнологии.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих *общепрофессиональных* (ОПК) и *профессиональных* (ПК) компетенций:**

- способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);
- готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-2).

**3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:**

**знать:**

физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии наноэлектроники, условия реализации и границы применения этих методов; тенденции развития методов характеризации материалов и структур нано- и микросистем;

**уметь:**

выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем;

**владеть:**

методами эффективного поиска информации по современным методам исследований, о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур.



Согласована на портале № 1438

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 7 |
| **Аудиторные занятия (всего)** | **72** | **72** |
| В том числе: | - | |
| Лекции | 36 | 36 |
| Лабораторные работы | 16 | 16 |
| Практические занятия | 20 | 20 |
| **Самостоятельная работа (всего)** | **108** | **108** |
| В том числе: | - | |
| Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям | 10 | 10 |
| Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов и защита | 24 | 24 |
| Подготовка к контрольной работе, тестированию | 10 | 10 |
| Выполнение индивидуального задания | 18 | 18 |
| Вид промежуточной аттестации (экзамен) | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость, час | **180** | **180** |
| Зачетные Единицы Трудоемкости | **5** | **5** |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Лекции | Лабораторные работы | Практич. занятия. | Самост. работа студента | Всего час | Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Введение | 1 | - | - | - | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 2. | Объекты и методы исследований | 4 | - | 1 | 8 | 13 | ОПК-2, ПК-2 |
| 3. | Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур | 4 | 4 | 4 | 19 | 34 | ОПК-2, ПК-2 |
| 4. | Оптические методы исследования | 5 | 4 | 7 | 19 | 35 | ОПК-2, ПК-2 |
| 5. | Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов | 5 | - | 1 | 14 | 20 | ОПК-2, ПК-2 |
| 6. | Ядерно-физические методы анализа | 4 | - | 1 | 14 | 19 | ОПК-2, ПК-2 |
| 7. | Электронная и ионная микроскопия | 5 | 4 | 1 | 10 | 20 | ОПК-2, ПК-2 |
| 8. | Атомно-силовая и туннельная микроскопия | 5 | 4 | 1 | 15 | 25 | ОПК-2, ПК-2 |
| 9. | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов | 3 | - | 1 | 9 | 13 | ОПК-2, ПК-2 |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

| № п/п | Наименование разделов | Содержание разделов | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК) |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Введение | Предмет дисциплины и ее задачи. Связь дисциплины с другими разделами физики. Современное состояние и перспективы развития физических методов исследований. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 2. | Объекты и методы исследований | Исследуемые свойства нано- и микроструктур и методы их контроля. Структурные дефекты и методы их исследований. Влияние дефектов на электри- | 4 | ОПК-2, ПК-2 |



Согласована на портале № 1438

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ческие, оптические, тепловые и механические свойства материалов. | | |
| 3. | Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур | Электропроводность. Концентрация носителей заряда. Подвижность носителей. Время жизни неравновесных носителей. Поверхностная проводимость и поверхностная концентрация носителей заряда. Вольт-фарадные характеристики полупроводниковых структур. Исследование электрохимических процессов на поверхности структур. Полярография. | 4 | ОПК-2, ПК-2 |
| 4. | Оптические методы исследования | Электронная спектроскопия. Молекулярная спектроскопия. Спектроскопия рамановского рассеяния. Эллипсометрия. Оптическая микроскопия. Оптическая профилометрия поверхности структур. Конструкция и характеристики некоторых устройств. | 5 | ОПК-2, ПК-2 |
| 5. | Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов | Физические основы методов. Рентгенофазный, рентгеноспектральный методы. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Конструкция и устройство аппаратуры для рентгенофазового и рентгеноспектрального (электроннозондового) анализа. | 5 | ОПК-2, ПК-2 |
| 6. | Ядерно-физические методы анализа | Методы оже-спектроскопии, масс-спектроскопия вторичных ионов и методы обратного резерфордовского рассеяния. Измерение концентрации концентрационных профилей. Аппаратурная реализация. | 4 | ОПК-2, ПК-2 |
| 7. | Электронная и ионная микроскопия | Просвечивающая и растровая электронная микроскопия. Сканирующая ультразвуковая микроскопия. Аппаратурная реализация. | 5 | ОПК-2, ПК-2 |
| 8. | Атомно-силовая и туннельная микроскопия | Устройство и физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Вольт-амперная характеристика туннельного контакта метелл-вакуум-металл. Формула Симмонса. Контраст работы выхода в СТМ. Устройство и физические основы работы оптико-механического атомно-силового сенсора в контактном режиме. Применение СЗМ для исследования пространственного распределения температуры поверхности твердых тел и микроэлектронных приборов. Методы визуализации СЗМ изображений. Статический анализ СЗМ данных. | 5 | ОПК-2, ПК-2 |
| 9. | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов | 3 | ОПК-2, ПК-2 |

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

| № п/п | Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | № № разделов данной дисциплины из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | |
| **Предшествующие дисциплины** | | | | | | | | | | | | |
| 1. | Математика | | | | | | | + | | | | |
| 2. | Физика | + | | + | + | | | + | | | | |
| 3. | Химия | | | + | + | + | + | + | + | | | |
| 4. | Квантовая механика | + | + | | | | | + | + | | | |
| 5. | Физика конденсированного состояния | + | | + | + | + | + | | + | + | | |
| 6. | Физика полупроводников | + | + | | | + | + | | + | + | | |
| 7. | Технология материалов микро- и наноэлектроники | | + | | + | + | | + | | + | | |



Согласована на портале № 1438

| Последующие дисциплины | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Технология кремниевой наноэлектроники | + | + | + | + | + | + | + | | + | | |
| 2. | Процессы микро- и нанотехнологии | + | + | | | + | + | | + | | | |

**5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий**

| Перечень компетенций | Виды занятий | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| | Л | Пр | СРС | |
| ОПК-2 | + | + | + | Решение задач на практических занятиях. Допуск к ЛР. Защита отчета по ЛР. Проверка контрольных работ, результаты теста. Защита индивидуального задания |
| ПК-2 | + | + | + | Решение задач на практических занятиях. Допуск к ЛР. Защита отчета по ЛР. Проверка контрольных работ, результаты теста. Защита индивидуального задания. |

## 6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

**Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах**

| Формы / Методы | Лекции (час) | Практические занятия (час) | Всего |
|---|---|---|---|
| *Тесты* | | 6 | 6 |
| Итого интерактивных занятий | | 6 | 6 |

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика лабораторных работ | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК |
|---|---|---|---|---|
| 1. | **3** | Исследования профиля распределения концентрации в полупроводниковых наноструктурах. | 4 | ОПК-2, ПК-2 |
| 2. | **4** | Исследование оптических и геометрических свойств тонкослойных диэлектрических материалов с помощью спектральной эллипсометрии. | 4 | ОПК-2, ПК-2 |
| 3. | **7** | Исследование состава и структуры тонких пленок с помощью электронной растровой микроскопии. | 4 | ОПК-2, ПК-2 |
| 4. | **8** | Исследование топологии наноструктур с помощью оптической и атомно-силовой микроскопии. | 4 | ОПК-2, ПК-2 |

## 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика практических занятий | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК |
|---|---|---|---|---|
| 1. | **3** | Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 2. | **3** | Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 3. | **3** | Определение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда методом Ван дер Пау. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 4. | **3** | Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом. | 2 | ОПК-2, ПК-2 |
| 5. | **3** | Определение концентрации свободных носителей заряда методом вольт-фарадных характеристик. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 6. | **3** | Определение эффективной массы. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 7. | **4** | Определение свойства кристаллов. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 8. | **4** | Определение концентрации носителей методом | 2 | ОПК-2, ПК-2 |



Согласована на портале № 1438

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ИК-эллипсометрии. | | |
| 9. | **4** | Просветляющие покрытия. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 10. | **4** | Отражение поляризованного света. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 11. | **4** | Люминесценция. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 12. | **4** | Эллипсометрия. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 13. | **5** | Рентгеновские методы исследования кристаллической структуры. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 14. | **6** | Методы обратного резерфордовского рассеяния и масс-спектроскопии вторичных ионов. | 1 | ОПК-2, ПК-2 |
| 15. | **2-9** | Контрольная работа. Тест. | 4 | ОПК-2, ПК-2 |

## 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика самостоятельной работы *(детализация)* | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК | Контроль выполнения работы |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | **3-6** | Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям | 20 | ОПК-2, ПК-2 | Решение задач на практических занятиях |
| 2. | **3, 4, 7, 8** | Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов и защита | 24 | ОПК-2, ПК-2 | Допуск к ЛР. Защита отчета по ЛР |
| 3. | **2-9** | Подготовка к контрольной работе, тестированию | 10 | ОПК-2, ПК-2 | Проверка контрольных работ, результаты теста |
| 4. | **2-9** | Выполнение индивидуального задания | 18 | ОПК-2, ПК-2 | Защита индивидуального задания |
| 5. | **2-9** | Подготовка и сдача экзамена | 36 | ОПК-2, ПК-2 | Оценка за экзамен |

**Тематика индивидуальных заданий:**

- Разработка фотоприемного устройства для спектроскопии.
- Метод исследования оптических свойств тонких слоев $SiO_2$ в инфракрасной области спектра.
- Исследование МДП наноструктур методом вольт-фарадных характеристик.
- Разработка устройства для лазерной эллипсометрии.
- Разработка устройства для рамановской спектроскопии.
- Устройство для оптической спектроскопии.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Исследование полупроводниковых наногетероструктур GaN.
- Исследование многослойных тонкопленочных наноструктур металл- $SiO_2$-метал.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом растровой электронной микроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом ИК Фурье-спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом Рамановской спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом спектральной эллипсометрии.

Темы и варианты контрольных работ приведены в учебно-методическом пособии по аудиторным практическим занятиям (п. 12.3.10).



Согласована на портале № 1438

## 10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) (не предусмотрено)

## 11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

**Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля**

| Элементы учебной деятельности | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| Выполнение практических заданий | 4 | 4 | 4 | **12** |
| Контрольная работа, тест | 10 | | 10 | **20** |
| Выполнение лабораторных работ | | 10 | 10 | **20** |
| Выполнение и защита индивидуального задания | | 12 | | **12** |
| Компонент своевременности | 2 | 2 | 2 | **6** |
| **Итого максимум за период:** | **16** | **28** | **26** | **70** |
| **Сдача экзамена (максимум)** | | | | **30** |
| **Нарастающим итогом** | **16** | **44** | **70** | **100** |

**Таблица 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки**

| Баллы на дату контрольной точки | Оценка |
|---|---|
| ≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 3 |
| < 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ | 2 |

**Таблица 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку**

| Оценка (ГОС) | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS) |
|---|---|---|
| 5 (отлично) (зачтено) | **90 – 100** | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | **85 – 89** | B (очень хорошо) |
| | **75 – 84** | C (хорошо) |
| | **70 – 74** | D (удовлетворительно) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | **65 – 69** | |
| | **60 – 64** | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно), (не зачтено) | **Ниже 60 баллов** | F (неудовлетворительно) |

## 12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 12.1 Основная литература

12.1.1. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2010. - 115 с. (6)

12.1.2. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2010. – 115 с. – [электронный ресурс]. – https://edu.tusur.ru/publications/535

12.1.3. Смирнов С.В. Методы исследования материалов и структур электроники: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 170 с. (96)

### 12.2 Дополнительная литература

12.2.1. Брандон Д., Капран У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: Учебное пособие для вузов: Пер. с англ.; ред. Пер.: С.Л, Баженов; авт. Дополнения: О.В. Егорова. – М.: Техносфера, 2006. – 377 с. (5)



Согласована на портале № 1438

12.2.2. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности: научное издание. – М.: Мир, 1989. – 564 с. (5)

12.2.3. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии : Монография: Пер. с англ. / М.П. Сих [и др.]; ред.: Д. Бриггс, М.П. Сих; ред. Пер.: В.И. Раховский, И.С. Рез. – М.: Мир, 1987. – 598 с. (2)

12.2.4. Вилков Л.В., Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии: Резонансные и электрооптические методы: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 288 с. (1)

**12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

12.3.1. Смирнов С.В. Методы исследования материалов и структур электроники: лабораторный практикум для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника». – Томск: ТУСУР, 2007. – 58 с. (50)

12.3.2. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: лабораторный практикум. – Томск: ТУСУР, 2010. – 97 с. – [электронный ресурс]. – http://edu.tusur.ru/training/publications/536

12.3.3. Методы исследования материалов и структур электроники [Текст] : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104.65 "Микроэлектроника и твердотельная электроника", направления 210100.62 "Электроника и микроэлектроника", направления 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника", 210100.62 "Электроника и наноэлектроника", 210600.62 "Нанотехнология" / С. В. Смирнов, И. А. Чистоедова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск), Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2012. - 52 с. (45)

**12.4 Программное обеспечение**

12.4.1. Математический пакет MathCAD или Mathematica.

12.4.2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

**12.5 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

12.5.1. Свободная энциклопедия «Википедия» - http://ru.wikipedia.org/;

12.5.2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – http://elibtay.ru/defaultx.asp;

12.5.3. сайт «О нанотехнологиях #1 в России» - http://www.nanonewsnet.ru/;

12.5.4. Сайт «Нанотехнологии. Инновации. Нано в России, в мире» - http://www.rusnano.ru/index.php$

12.5.5. База данных Федерального интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы» - http://www.portalnano.ru/read/databases;

12.5.6. Сайт журнала «Нано- и микросистемная техника» - http://www.microsystems.ru/links.php.

## 13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

13.1. Оптический УФ спектрометр USB2000.

13.2. ИК Фурье-спектрометр Infalum FT-801 с приставкой на отражение.

13.3. Монохроматор МДР-23.

13.4. Спектральный лазерный эллипсометр Эллипс-1891 САГ.

13.5. Растровый электронный микроскоп Hitachi TM-1000 с микроанализатором Bruker Quantax 50EDX.

13.6. Рамановский спектрометр Avantes-532TEC.

13.7. Атомно-силовой микроскоп Certus Optic U с совмещенным оптическим микроскопом.

13.8. Измеритель параметров полупроводниковых приборов Метроном-03.

13.9. Микроинтерферометр Линника МИИ-4М.

13.10. Цифровой RLC-метр Protek 9216A.

13.11. Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20.



Согласована на портале № 1438

**Приложение к рабочей программе**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИО-ЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

**УТВЕРЖДАЮ**
**Проректор по учебной работе**
**_____ П. Е. Троян**
«___» _____ 2016 г.

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ *ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ*

## Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем

**Уровень основной образовательной программы** **бакалавриат**

**Направление(я) подготовки (специальность)**

**28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**

**Профиль(и)** **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**

**Форма обучения** **очная**

**Факультет** **электронной техники (ФЭТ)**

**Кафедра** **физической электроники (ФЭ)**

**Курс** **4** **Семестр** **7**

**Учебный план набора 2016 года**

**Зачет _____семестр** **Диф. зачет _____ семестр**
**Экзамен _____7_____семестр**

Разработчики: профессор кафедры Смирнов С.В.

доцент кафедры ФЭ Чистоедова И.А.

**Томск 2016**



Согласована на портале № 1438

# 1 Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» компетенций приведен в таблице 1.

**Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций**

| Код | Формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции |
|---|---|---|
| **ОПК-2** | Способностью выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; | Должен знать основные методы исследования состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем.<br>Должен уметь использовать физико-математический аппарат для обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем.<br>Должен владеть навыками интерпретации полученных экспериментальных данных. |
| **ПК-2** | Готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. | Должен знать физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии наноэлектроники, условия и границы применения этих методов.<br>Должен уметь выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем.<br>Должен владеть методами эффективного поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур. |



Согласована на портале № 1438

# 2 Реализация компетенций

## *1 Компетенция ОПК-5*

**ОПК-2: Способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат**

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.

**Таблица 2– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

| 1. Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| **Содержание этапов** | Знает основные методы исследования состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем. | Умеет использовать физико-математический аппарат для обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем. | Владеет навыками интерпретации полученных экспериментальных данных. |
| **Виды занятий** | • Лекции;<br>• Практические занятия;<br>• Индивидуальные задания;<br>• Групповые консультации | • Практические занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Самостоятельная работа студентов | • Лабораторные работы |
| **Используемые средства оценивания** | • Тест;<br>• Контрольные работы;<br>• Выполнение домашнего индивидуального задания;<br>• Выполнение практических заданий;<br>• Экзамен | • Оформление отчетности и защита лабораторных работ;<br>• Выполнение практических заданий;<br>• Конспект самостоятельной работы | • Выполнение лабораторных работ и защита отчетов;<br>• Экзамен |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.



Согласована на портале № 1438

**Таблица 3 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам**

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы |
| **Хорошо (базовый уровень)** | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | Обладает базовыми общими знаниями | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач | Работает при прямом наблюдении |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

**Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | • *знает методы анализа и контроля свойств наноматериалов и наносистем;*<br>• *знает основные методы исследования состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов* | • *умеет использовать физико-математический аппарат для обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем* | • *свободно владеет навыками интерпретации полученных экспериментальных данных*<br>• *свободно владеет разными способами представления результатов обработки экспериментальных данных в графической и математической форме* |



Согласована на портале № 1438

| | | | |
|---|---|---|---|
| | *и наносистем* | | |
| **Хорошо (базовый уровень)** | • *знает методы анализа и контроля свойств наноматериалов и наносистем;*<br>• *знает основные методы исследования состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем* | • *применяет физико-математический аппарат для обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем* | • *владеет навыками интерпретации полученных экспериментальных данных;*<br>• *владеет способами представления результатов обработки экспериментальных данных в графической и математической форме* |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | • *ознакомлен с основными методами исследования состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем* | • *применяет физико-математический аппарат для обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем* | • *способен интерпретировать полученные экспериментальных данные с помощью преподавателя* |

## *2 Компетенция ПК-2*

**ПК-2: Готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники.**

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 5.

**Таблица 5– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

| 2. Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| **Содержание этапов** | Знает физические принципы основных экспериментальных методов исследова- | Умеет выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых | Владеет методами эффективного поиска информации по современным методам |



Согласована на портале № 1438

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ния материалов и структур, используемых в физике и технологии наноэлектроники, условия и границы применения этих методов. | свойств нано- и микросистем. | исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур |
| **Виды занятий** | • Лекции;<br>• Практические занятия;<br>• Индивидуальные задания;<br>• Групповые консультации | • Практические занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Самостоятельная работа студентов | • Практические занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Выполнение домашнего индивидуального задания |
| **Используемые средства оценивания** | • Тест;<br>• Контрольная работа;<br>• Выполнение домашнего задания;<br>• Выполнение практических заданий;<br>• Экзамен | • Контрольные работы;<br>• Выполнение практических заданий;<br>• Оформление отчетности и защита лабораторных работ;<br>• Конспект самостоятельной работы | • Защита практических заданий;<br>• Выполнение лабораторных работ и защита отчетов<br>• Оформление и защита индивидуального задания;<br>• Экзамен |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 6.

**Таблица 6 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам**

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы |
| **Хорошо (базовый уровень)** | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в облас- | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоя- |



Согласована на портале № 1438

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | ти исследования | тельствам в решении проблем |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | Обладает базовыми общими знаниями | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач | Работает при прямом наблюдении |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 7.

**Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

| **Показатели и критерии** | **Знать** | **Уметь** | **Владеть** |
|---|---|---|---|
| **Отлично (высокий уровень)** | • *знает физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии наноэлектроники,*<br>• *понимает условия и границы применения этих методов;*<br>• *знает тенденции развития методов характеризации материалов и структур нано- и микросистем.* | • *демонстрирует базовые инженерные знания и понимание научных принципов, лежащих в основе методов анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем;*<br>• *обладает диапазоном практических умений, требуемых для сравнения и выбора методов исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем для достижения поставленной цели*<br>• *умеет объяснить и интерпретировать полученные исследовательские и экспериментальные результаты* | • *свободно владеет методами эффективного поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур* |
| **Хорошо (базовый уровень)** | • *знает физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и* | • *умеет выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем* | • *владеет методами эффективного поиска информации по современным методам* |



Согласована на портале № 1438

| | | | |
|---|---|---|---|
| | *структур, используемых в физике и технологии наноэлектроники,*<br>• *понимает условия и границы применения этих методов.* | | *исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур* |
| **Удовлетворительно (пороговый уровень)** | • *имеет представление об физических принципах основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии наноэлектроники* | • *умеет решать простые задачи по выбору методов исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем* | • *имеет навыки поиска информации по современным методам исследований* |

# 3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы: тесты, контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, лабораторные работы, экзамен.

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

**3.1 Тесты по следующим разделам:**

1). Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур.

2). Оптические методы исследования.

3). Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов.

*Примеры тестовых заданий:*

1. По какой формуле определяется электропроводность собственного полупроводника:

а) $\sigma=en\mu_n$ ; б) $\sigma=ep\mu_p$ ; в) $\sigma=en\mu_n + ep\mu_p$ ; г) $\sigma=J/\bar{E}$.

2. Как называется группа эффектов, возникающих в полупроводнике при совместном воздействии на них электрического и магнитного полей:

а) термомагнитные; б) термоэлектрические в) гальваномагнитные; г) тензорезистивные.

3. Какова природа появления полос в УФ спектрах поглощения кристаллов:



Согласована на портале № 1438

а) изменение колебательной энергии молекул;

б) переходы между внешними электронными состояниями;

в) изменение энергетического состояния ядер;

г) переходы между внутренними электронными состояниями.

4. Что такое люминесценция:

а) тепловое излучение твердых тел;

б) отражение и преломление твердым телом света;

в) свечение твердых тел при протекании через них электрического тока;

г) избыточное над тепловым, свечение твердых тел.

**3.2 Контрольные работы:**

Тема контрольной работы № 1: Исследование электрических и оптических свойств наноструктур.

Тема контрольной работы № 2: Рентгеновские и ядерно-физические методы анализа.

**3.3 Выполнение домашних индивидуальных заданий:**

Примерная тематика домашних индивидуальных заданий:

- Разработка фотоприемного устройства для спектроскопии.
- Метод исследования оптических свойств тонких слоев $SiO_2$ в инфракрасной области спектра.
- Исследование МДП наноструктур методом вольт-фарадных характеристик.
- Разработка устройства для лазерной эллипсометрии.
- Разработка устройства для рамановской спектроскопии.
- Устройство для оптической спектроскопии.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Исследование полупроводниковых наногетероструктур GaN.
- Исследование многослойных тонкопленочных наноструктур металл- $SiO_2$-метал.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом растровой электронной микроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом ИК Фурье-спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом Рамановской спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом спектральной эллипсометрии.

**3.4 Темы практических занятий:**

1) Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда.

2) Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.



Согласована на портале № 1438

3) Определение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда методом Ван дер Пау.

4) Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом.

5) Определение концентрации свободных носителей заряда методом вольт-фарадных характеристик.

6) Определение эффективной массы.

7) Определение свойства кристаллов.

8) Определение концентрации носителей методом ИК-эллипсометрии.

9) Просветляющие покрытия.

10) Отражение поляризованного света.

11) Люминесценция.

12) Эллипсометрия.

13) Рентгеновские методы исследования кристаллической структуры.

14) Методы обратного резерфордовского рассеяния и масс-спектроскопии вторичных ионов.

### 3.5 Темы лабораторных работ

1) Исследования профиля распределения концентрации в полупроводниковых наноструктурах.

2) Исследование оптических и геометрических свойств тонкослойных диэлектрических материалов с помощью спектральной эллипсометрии.

3) Исследование состава и структуры тонких пленок с помощью электронной растровой микроскопии.

4) Исследование топологии наноструктур с помощью оптической и атомно-силовой микроскопии.

### 3.6 Темы для самостоятельной работы

1) Туннельная микроскопия.

2) Атомно-силовая микроскопия.

3) Образование резерфордовского рассеяния.

4) Аннигиляция позитронов.



Согласована на портале № 1438

**3.7 Экзаменационные вопросы:**

1 Физические характеристики поверхности материалов и методы их исследования.

2 Рентгеноструктурный анализ.

3 Электрофизические характеристики материалов и их измерение.

4 Электронная ОЖЕ – спектроскопия.

5 Тонкие диэлектрические пленки и методы измерения их параметров.

6 Масс – спектроскопия вторичных ионов.

7 Квантоворазмерные эффекты в тонкопленочных структурах и методы их исследования.

8 Электронная и оптическая микроскопия.

9 Методы измерения профиля распределения элементов в тонкопленочных структурах.

10 Туннельная и силовая микроскопия.

11 Методы диагностики наноструктур.

12 Оптическая ИК – спектроскопия.

# 4 Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

– методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, в составе:

Методические материалы:

**4.1 Основная литература**

4.1.1. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2010. - 115 с. (6)

4.1.2. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2010. – 115 с. – [электронный ресурс]. – https://edu.tusur.ru/publications/535

4.1.3. Смирнов С.В. Методы исследования материалов и структур электроники: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 170 с. (96)

**4.2 Дополнительная литература**

4.2.1. Брандон Д., Капран У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: Учебное пособие для вузов: Пер. с англ.; ред. Пер.: С.Л, Баженов; авт. Дополнения: О.В.



Согласована на портале № 1438

Егорова. – М.: Техносфера, 2006. – 377 с. (5)

4.2.2. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности: научное издание. – М.: Мир, 1989. – 564 с. (5)

4.2.3. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии : Монография: Пер. с англ. / М.П. Сих [и др.]; ред.: Д. Бриггс, М.П. Сих; ред. Пер.: В.И. Раховский, И.С. Рез. – М.: Мир, 1987. – 598 с. (2)

4.2.4. Вилков Л.В., Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии: Резонансные и электрооптические методы: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 288 с. (1)

**4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

4.3.1. Смирнов С.В. Методы исследования материалов и структур электроники: лабораторный практикум для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника». – Томск: ТУСУР, 2007. – 58 с. (50)

4.3.2. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: лабораторный практикум. – Томск: ТУСУР, 2010. – 97 с. – [электронный ресурс]. – http://edu.tusur.ru/training/publications/536

4.3.3. Методы исследования материалов и структур электроники [Текст] : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104.65 "Микроэлектроника и твердотельная электроника", направления 210100.62 "Электроника и микроэлектроника", направления 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника", 210100.62 "Электроника и наноэлектроника", 210600.62 "Нанотехнология" / С. В. Смирнов, И. А. Чистоедова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск), Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2012. - 52 с. (45)



Согласована на портале № 1438