

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

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

Г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ

Уровень основной

образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) программы Микроэлектроника и твердотельная электроника

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

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (квалификация (степень) бакалавр), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 218, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «__» _____ 201__ г., протокол № _____.

Разработчик:

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

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 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» (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 нанoeлектроники.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: технология кремниевой нанoeлектроники, 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 использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5);
- способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (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 нанoeлектроники, условия реализации и границы применения этих методов; тенденции развития методов характеристики 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.

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 | 10 | 10 |
| Выполнение индивидуального задания | 18 | 18 |
| Вид промежуточной аттестации (экзамен) | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость, час | 180 | 180 |
| Зачетные Единицы | 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, ПК, ПСК) |
|-------|--|--------|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------|---------------------------------------|
| 1. | Введение | 1 | - | - | - | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 2. | Объекты и методы исследований | 4 | - | 1 | 8 | 13 | ОПК-5, ПК-2 |
| 3. | Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур | 4 | 4 | 4 | 19 | 34 | ОПК-5, ПК-2 |
| 4. | Оптические методы исследования | 5 | 4 | 7 | 19 | 35 | ОПК-5, ПК-2 |
| 5. | Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов | 5 | - | 1 | 14 | 20 | ОПК-5, ПК-2 |
| 6. | Ядерно-физические методы анализа | 4 | - | 1 | 14 | 19 | ОПК-5, ПК-2 |
| 7. | Электронная и ионная микроскопия | 5 | 4 | 1 | 10 | 20 | ОПК-5, ПК-2 |
| 8. | Атомно-силовая и туннельная микроскопия | 5 | 4 | 1 | 15 | 25 | ОПК-5, ПК-2 |
| 9. | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов | 3 | - | 1 | 9 | 13 | ОПК-5, 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-5, ПК-2 |
| 2. | Объекты и методы исследований | Исследуемые свойства нано- и микроструктур и методы их контроля. Структурные дефекты и мето- | 4 | ОПК-5, ПК-2 |

| | | | | |
|----|--|---|---|-------------|
| | | ды их исследований. Влияние дефектов на электрические, оптические, тепловые и механические свойства материалов. | | |
| 3. | Электрические и электрохимические методы исследования 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-5, 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-5, 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-5, ПК-2 |
| 6. | Ядерно-физические методы анализа | Методы яче-спектроскопии, масс-спектроскопия вторичных ионов и методы обратного резерфордского рассеяния. Измерение концентрации концентрационных профилей. Аппаратурная реализация. | 4 | ОПК-5, ПК-2 |
| 7. | Электронная и ионная микроскопия | Просвечивающая и растровая электронная микроскопия. Сканирующая ультразвуковая микроскопия. Аппаратурная реализация. | 5 | ОПК-5, ПК-2 |
| 8. | Атомно-силовая и туннельная микроскопия | Устройство и физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Вольт-амперная характеристика туннельного контакта метал – 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-5, ПК-2 |
| 9. | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов | 3 | ОПК-5, 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 нанoeлектроники | | + | | + | + | | | + | | + | |

| 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-5 | + | + | + | 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

| Методы | Формы | 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-5, ПК-2 |
| 2. | 4 | Исследование оптических и геометрических свойств тонкослойных диэлектрических материалов с помощью спектральной эллипсометрии. | 4 | ОПК-5, ПК-2 |
| 3. | 7 | Исследование состава и структуры тонких пленок с помощью электронной растровой микроскопии. | 4 | ОПК-5, ПК-2 |
| 4. | 8 | Исследование топологии наноструктур с помощью оптической и атомно-силовой микроскопии. | 4 | ОПК-5, 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-5, ПК-2 |
| 2. | 3 | Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла. | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 3. | 3 | Определение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда методом Ван дер Пау. | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 4. | 3 | Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом. | 2 | ОПК-5, ПК-2 |
| 5. | 3 | Определение концентрации свободных носителей заряда методом вольт-фарадных характеристик. | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 6. | 3 | Определение эффективной массы. | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 7. | 4 | Определение свойства кристаллов. | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 8. | 4 | Определение концентрации носителей методом | 2 | ОПК-5, ПК-2 |

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

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

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

Тематика индивидуальных заданий:

- Разработка фотоприемного устройства для спектроскопии.
- Метод исследования оптических свойств тонких слоев SiO₂ 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- SiO₂-металл.
- 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).

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 | E (посредственно) |
| | 60 – 64 | F (неудовлетворительно) |
| 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 монокристаллических 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 монокристаллических 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)

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 монокристаллических 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 нанотехнология", 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://elibrary.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\\$](http://www.rusnano.ru/index.php$)

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

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)

11.03.04 Электроника и микроэлектроника _____

Профиль(и) Микроэлектроника и твердотельная электроника _____

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

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-5 | способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных; | Должен знать основные методы обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем. Должен уметь использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем. Должен владеть навыками интерпретации полученных экспериментальных данных. |
| ПК-2 | способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения | Должен знать физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники, условия и границы применения этих методов. Должен уметь выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микро-систем. Должен владеть методами эффективного поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа на- |

2 Реализация компетенций

1 Компетенция ОПК-5

ОПК-5: способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных

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 обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем | Умеет использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем. | Владеет навыками интерпретации полученных экспериментальных данных. |
| Виды занятий | <ul style="list-style-type: none"> • Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания; • Групповые консультации | <ul style="list-style-type: none"> • Практические занятия; • Лабораторные работы; • Самостоятельная работа студентов | <ul style="list-style-type: none"> • Лабораторные работы |
| Используемые средства оценивания | <ul style="list-style-type: none"> • Тест; • Контрольные работы; • Выполнение домашнего индивидуального задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен | <ul style="list-style-type: none"> • Оформление отчетности и защита лабораторных работ; • Выполнение практических заданий; • Конспект самостоятельной работы | <ul style="list-style-type: none"> • Выполнение лабораторных работ и защита отчетов; • Экзамен |

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

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, приспособливает 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) | <ul style="list-style-type: none"> • <i>знает методы анализа и контроля свойств наноматериалов и наносистем;</i> • <i>знает основные методы обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>умеет использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>свободно владеет навыками интерпретации полученных экспериментальных данных</i> • <i>свободно владеет разными способами представления результатов обработки экспериментальных данных в</i> |

| | | | |
|--|---|---|--|
| | <i>состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем</i> | | <i>графической и математической форме</i> |
| Хорошо (базовый уровень) | <ul style="list-style-type: none"> • <i>знает методы анализа и контроля свойств наноматериалов и наносистем;</i> • <i>знает основные методы обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>применяет основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>владеет навыками интерпретации полученных экспериментальных данных;</i> • <i>владеет способами представления результатов обработки экспериментальных данных в графической и математической форме</i> |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | <ul style="list-style-type: none"> • <i>ознакомлен с основными методами обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>применяет основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>способен интерпретировать полученные экспериментальные данные с помощью преподавателя</i> |

2 Компетенция ПК-2

ПК-2: способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения

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 исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники, условия и границы применения этих методов. | Умеет выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем. | Владеет методами эффективного поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур |
| Виды занятий | <ul style="list-style-type: none"> • Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания; • Групповые консультации | <ul style="list-style-type: none"> • Практические занятия; • Лабораторные работы; • Самостоятельная работа студентов | <ul style="list-style-type: none"> • Практические занятия; • Лабораторные работы; • Выполнение домашнего индивидуального задания |
| Используемые средства оценивания | <ul style="list-style-type: none"> • Тест; • Контрольная работа; • Выполнение домашнего задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен | <ul style="list-style-type: none"> • Контрольные работы; • Выполнение практических заданий; • Оформление отчетности и защита лабораторных работ; • Конспект самостоятельной работы | <ul style="list-style-type: none"> • Защита практических заданий; • Выполнение лабораторных работ и защита отчетов • Оформление и защита индивидуального задания; • 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 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 7.

Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|----------------------------------|--|--|--|
| Отлично (высокий уровень) | <ul style="list-style-type: none"> • <i>знает физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники,</i> • <i>понимает условия и границы</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>демонстрирует базовые инженерные знания и понимание научных принципов, лежащих в основе методов анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем;</i> • <i>обладает диапазоном практических умений, требуемых для сравнения и выбора</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>свободно владеет методами эффективно поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях</i> |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | <p>применения этих методов;</p> <ul style="list-style-type: none"> • знает тенденции развития методов характеризации материалов и структур нано- и микросистем. | <p>методов исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем для достижения поставленной цели</p> <ul style="list-style-type: none"> • умеет объяснить и интерпретировать полученные исследовательские и экспериментальные результаты | <p>развития устройств для изучения и анализа наноструктур</p> |
| <p>Хорошо (базовый уровень)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • знает физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники, • понимает условия и границы применения этих методов. | <ul style="list-style-type: none"> • умеет выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем | <ul style="list-style-type: none"> • владеет методами эффективно поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур |
| <p>Удовлетворительно (пороговый уровень)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • имеет представление об физических принципах основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники | <ul style="list-style-type: none"> • умеет решать простые задачи по выбору методов исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем | <ul style="list-style-type: none"> • 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) $\sigma = e n \mu_n$; б) $\sigma = e n \mu_p$; в) $\sigma = e n \mu_n + e n \mu_p$; 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:

- 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- SiO₂-металл.
- 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.
- 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-фарядных 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 резерфордского 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 резерфордского рассеяния.
- 4) Аннигиляция позитронов.

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. 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)