

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ**  
**УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**  
**(ТУСУР)**



УТВЕРЖДАЮ  
Директор департамента образования

Документ подписан электронной подписью

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

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем**

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**

Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**

Направленность (профиль) / специализация: **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**

Форма обучения: **очная**

Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**

Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**

Курс: **4**

Семестр: **7**

Учебный план набора 2018 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности    | 7 семестр | Всего | Единицы |
|---|------------------------------|-----------|-------|---------|
| 1 | Лекции                       | 36        | 36    | часов   |
| 2 | Практические занятия         | 20        | 20    | часов   |
| 3 | Лабораторные работы          | 16        | 16    | часов   |
| 4 | Всего аудиторных занятий     | 72        | 72    | часов   |
| 5 | Из них в интерактивной форме | 26        | 26    | часов   |
| 6 | Самостоятельная работа       | 72        | 72    | часов   |
| 7 | Всего (без экзамена)         | 144       | 144   | часов   |
| 8 | Подготовка и сдача экзамена  | 36        | 36    | часов   |
| 9 | Общая трудоемкость           | 180       | 180   | часов   |
|   |                              | 5.0       | 5.0   | З.Е.    |

Экзамен: 7 семестр

Томск 2018

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, утвержденного 06.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Разработчики:

доцент каф. ФЭ

\_\_\_\_\_ И. А. Чистоедова

профессор кафедры ФЭ

\_\_\_\_\_ С. В. Смирнов

Заведующий обеспечивающей каф.

ФЭ

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ

\_\_\_\_\_ А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф.

ФЭ

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян

Эксперты:

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ)

\_\_\_\_\_ И. А. Чистоедова

Профессор кафедры физической электроники (ФЭ)

\_\_\_\_\_ Т. И. Данилина

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели 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.

### 1.2. Задачи дисциплины

– 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 ОПОП

Дисциплина «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» (Б1.Б.18) относится к блоку 1 (базовая часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Математика, Планирование эксперимента, Технология материалов микро- и нанoeлектроники, Физика, Физика конденсированного состояния, Физика полупроводников, Химия.

Последующими дисциплинами являются: Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты, Преддипломная практика, Процессы микро- и нанотехнологии, Технология кремниевой нанoeлектроники.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ОПК-1 способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

– ОПК-2 способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

– ОПК-7 способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;

– ПК-2 готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;

В результате изучения дисциплины обучающийся 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 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.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры  |
|---------------------------|-------------|-----------|
|                           |             | 7 семестр |

|   |     |     |
|---|-----|-----|
| Аудиторные занятия (всего)  | 72  | 72  |
| Лекции  | 36  | 36  |
| Практические занятия  | 20  | 20  |
| Лабораторные работы   | 16  | 16  |
| Из них в интерактивной форме                                      | 26  | 26  |
| Самостоятельная работа (всего)                                    | 72  | 72  |
| Подготовка к контрольным работам                                  | 6   | 6   |
| Выполнение индивидуальных заданий                                 | 15  | 15  |
| Оформление отчетов по лабораторным работам                        | 16  | 16  |
| Проработка лекционного материала                                  | 9   | 9   |
| Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 6   | 6   |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам                     | 20  | 20  |
| Всего (без экзамена)  | 144 | 144 |
| Подготовка и сдача экзамена                                       | 36  | 36  |
| Общая трудоемкость, ч   | 180 | 180 |
| Зачетные Единицы  | 5.0 | 5.0 |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины   | Лек., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции   |
|--|---------|---------------|--------------|--------------|----------------------------|---------------------------|
| 7 семестр  |         |               |              |              |                            |                           |
| 1 Введение   | 1       | 0             | 0            | 1            | 2                          | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2 |
| 2 Объекты и методы исследования                                      | 4       | 0             | 0            | 2            | 6                          | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2 |
| 3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур | 4       | 7             | 4            | 14           | 29                         | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2 |
| 4 Оптические методы исследования                                     | 5       | 9             | 4            | 17           | 35                         | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2 |
| 5 Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов   | 5       | 1             | 0            | 6            | 12                         | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2 |
| 6 Ядерно-физические методы анализа                                   | 4       | 1             | 0            | 8            | 13                         | ОПК-1, ОПК-               |

|   |    |    |    |    |     |                              |
|---|----|----|----|----|-----|------------------------------|
|   |    |    |    |    |     | 2, ОПК-7,<br>ПК-2            |
| 7 Электронная и ионная микроскопия                            | 5  | 0  | 4  | 7  | 16  | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7,<br>ПК-2 |
| 8 Атомно-силовая и туннельная микроскопия                     | 5  | 2  | 4  | 14 | 25  | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7,<br>ПК-2 |
| 9 Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов | 3  | 0  | 0  | 3  | 6   | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7,<br>ПК-2 |
| Итого за семестр  | 36 | 20 | 16 | 72 | 144 |                              |
| Итого   | 36 | 20 | 16 | 72 | 144 |                              |

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

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов  | Содержание разделов дисциплины по лекциям  | Трудоемкость,<br>ч | Формируемые<br>компетенции         |
|--|--|--------------------|------------------------------------|
| 7 семестр  |  |                    |                                    |
| 1 Введение   | Предмет дисциплины и ее задачи. Связь дисциплины с другими разделами физики. Современное состояние и перспективы развития физических методов исследований.   | 1                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого  | 1                  |                                    |
| 2 Объекты и методы исследования                                      | Исследуемые свойства нано- и микроструктур и методы их контроля. Структурные дефекты и методы их исследований. Влияние дефектов на электрические, оптические, тепловые и механические свойства материалов  | 4                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого  | 4                  |                                    |
| 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-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого  | 4                  |                                    |
| 4 Оптические методы исследования                                     | Электронная спектроскопия. Молекулярная спектроскопия. Спектроскопия рамановского рассеяния. Эллипсометрия. Оптическая микроскопия. Оптическая профилометрия поверхности структур. Конструкция и характеристики некоторых  | 5                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |

|  |   |    |                                    |
|--|---|----|------------------------------------|
|  | устройств.  |    |                                    |
|  | Итого   | 5  |                                    |
| 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-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого   | 5  |                                    |
| 6 Ядерно-физические методы анализа                                 | Методы оже-спектроскопии, масс-спектроскопия вторичных ионов и методы обратного резерфордского рассеяния. Измерение концентрации концентрационных профилей. Аппаратурная реализация.  | 4  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого   | 4  |                                    |
| 7 Электронная и ионная микроскопия                                 | Просвечивающая и растровая электронная микроскопия. Сканирующая ультразвуковая микроскопия. Аппаратурная реализация.  | 5  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого   | 5  |                                    |
| 8 Атомно-силовая и туннельная микроскопия                          | Устройство и физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Вольтамперная характеристика туннельного контакта метал – вакуум - металл. Формула Симмонса. Контраст работы выхода в СТМ. Устройство и физические основы работы оптико-механического атомносилового 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-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого   | 5  |                                    |
| 9 Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов      | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов   | 3  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого   | 3  |                                    |
| Итого за семестр   |   | 36 |                                    |

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

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин    | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|                           | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Предшествующие дисциплины |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1 Математика              |   |   |   |   |   |   | + |   |   |

|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 Планирование эксперимента  |   | + |   |   |   |   |   |   |   |
| 3 Технология материалов микро- и нанoeлектроники   |   | + |   | + | + |   | + |   | + |
| 4 Физика   | + |   | + | + |   |   | + |   |   |
| 5 Физика конденсированного состояния   | + |   | + | + | + | + |   | + | + |
| 6 Физика полупроводников   | + | + |   |   | + | + |   | + | + |
| 7 Химия  |   |   | + | + | + | + | + | + |   |
| Последующие дисциплины   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 Преддипломная практика   | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 3 Процессы микро- и нанотехнологии   | + | + |   |   | + | + |   | + |   |
| 4 Технология кремниевой нанoeлектроники  |   |   | + | + | + |   | + | + |   |

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

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Компетенции | Виды занятий |            |           |           | Формы контроля  |
|-------------|--------------|------------|-----------|-----------|---|
|             | Лек.         | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. |   |
| ОПК-1       | +            | +          | +         | +         | Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию |
| ОПК-2       | +            | +          | +         | +         | Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию |
| ОПК-7       | +            | +          | +         | +         | Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию |

|      |   |   |   |   |  |
|------|---|---|---|---|--|
| ПК-2 | + | + | + | + | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Конспект самоподготовки, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию |
|------|---|---|---|---|--|

### 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

| Методы   | Интерактивные практические занятия, ч | Интерактивные лабораторные занятия, ч | Интерактивные лекции, ч | Всего, ч |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------|
| 7 семестр  |                                       |                                       |                         |          |
| Презентации с использованием слайдов с обсуждением |                                       |                                       | 14                      | 14       |
| Исследовательский метод                            | 6                                     |                                       |                         | 6        |
| Работа в команде                                   |                                       | 6                                     |                         | 6        |
| Итого за семестр:                                  | 6                                     | 6                                     | 14                      | 26       |
| Итого  | 6                                     | 6                                     | 14                      | 26       |

### 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов  | Наименование лабораторных работ  | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|--|--|-----------------|-------------------------|
| 7 семестр  |  |                 |                         |
| 3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур | Исследования профиля распределения концентрации в полупроводниковых наноструктурах.  | 4               | ОПК-1, ОПК-2,           |
|  | Итого  | 4               | ОПК-7, ПК-2             |
| 4 Оптические методы исследования                                     | Исследование оптических и геометрических свойств тонкослойных диэлектрических материалов с помощью спектральной эллипсометрии. | 4               | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7,    |
|  | Итого  | 4               | ПК-2                    |
| 7 Электронная и ионная микроскопия                                   | Исследование состава и структуры тонких пленок с помощью электронной растровой микроскопии.                                    | 4               | ОПК-1, ОПК-2,           |
|  | Итого  | 4               | ОПК-7, ПК-2             |
| 8 Атомно-силовая и туннельная микроскопия                            | Исследование топологии наноструктур с помощью оптической и атомно-силовой микроскопии.   | 4               | ОПК-1, ОПК-2,           |
|  | Итого  | 4               | ОПК-7, ПК-2             |



|                  |  |    |  |
|------------------|--|----|--|
| Итого за семестр |  | 16 |  |
|------------------|--|----|--|

### 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов  | Наименование практических занятий (семинаров)   | Трудоемкость,<br>ч | Формируемые компетенции            |
|--|---|--------------------|------------------------------------|
| 7 семестр  |   |                    |                                    |
| 3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур | Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда.                           | 1                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.                    | 1                  |                                    |
|  | Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.                    | 1                  |                                    |
|  | Определение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда методом Ван дер Пау.  | 1                  |                                    |
|  | Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом.      | 1                  |                                    |
|  | Определение концентрации свободных носителей заряда методом вольт-фарадных характеристик. | 1                  |                                    |
|  | Определение эффективной массы.  | 1                  |                                    |
|  | Итого   | 7                  |                                    |
| 4 Оптические методы исследования                                     | Определение свойства кристаллов.  | 1                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Определение концентрации носителей методом ИК-эллипсометрии.                              | 2                  |                                    |
|  | Просветляющие покрытия.   | 1                  |                                    |
|  | Отражение поляризованного света.  | 1                  |                                    |
|  | Люминесценция.  | 1                  |                                    |
|  | Эллипсометрия.  | 1                  |                                    |
|  | Контрольная работа 1. Тест.   | 2                  |                                    |
|  | Итого   | 9                  |                                    |
| 5 Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов   | Рентгеновские методы исследования кристаллической структуры.                              | 1                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого   | 1                  |                                    |
| 6 Ядерно-физические методы анализа                                   | Методы обратного резерфордского рассеяния и масс-спектропии вторичных ионов.              | 1                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого   | 1                  |                                    |
| 8 Атомно-силовая и туннельная микроскопия                            | Контрольная работа. Тест.   | 2                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 |
|  | Итого   | 2                  |                                    |

|                  |  |    |  |
|------------------|--|----|--|
| Итого за семестр |  | 20 |  |
|------------------|--|----|--|

### 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов  | Виды самостоятельной работы                   | Трудоемкость,<br>ч | Формируемые<br>компетенции         | Формы контроля  |
|--|---|--------------------|------------------------------------|---|
| 7 семестр  |   |                    |                                    |   |
| 1 Введение   | Проработка лекционного материала              | 1                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7          | Тест, Экзамен   |
|  | Итого   | 1                  |                                    |   |
| 2 Объекты и методы исследования                                      | Проработка лекционного материала              | 1                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 | Отчет по индивидуальному заданию, Тест, Экзамен   |
|  | Выполнение индивидуальных заданий             | 1                  |                                    |   |
|  | Итого   | 2                  |                                    |   |
| 3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 7                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 | Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен                     |
|  | Проработка лекционного материала              | 1                  |                                    |   |
|  | Оформление отчетов по лабораторным работам    | 4                  |                                    |   |
|  | Выполнение индивидуальных заданий             | 2                  |                                    |   |
|  | Итого   | 14                 |                                    |   |
| 4 Оптические методы исследования                                     | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 9                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен |
|  | Проработка лекционного материала              | 1                  |                                    |   |
|  | Оформление отчетов по лабораторным работам    | 4                  |                                    |   |
|  | Выполнение индивидуальных заданий             | 2                  |                                    |   |
|  | Подготовка к контрольным работам              | 1                  |                                    |   |
|  | Итого   | 17                 |                                    |   |
| 5 Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов   | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 1                  | ОПК-1,<br>ОПК-2,<br>ОПК-7,<br>ПК-2 | Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест,                                       |
|  | Проработка лекционного                        | 1                  |                                    |   |

|   |   |    |                           |  |
|---|---|----|---------------------------|--|
|   | материала   |    |                           | Экзамен  |
|   | Выполнение индивидуальных заданий                                 | 2  |                           |  |
|   | Подготовка к контрольным работам                                  | 1  |                           |  |
|   | Подготовка к контрольным работам                                  | 1  |                           |  |
|   | Итого   | 6  |                           |  |
| 6 Ядерно-физические методы анализа        | Подготовка к практическим занятиям, семинарам                     | 1  | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2 | Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен |
|   | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 3  |                           |  |
|   | Проработка лекционного материала                                  | 1  |                           |  |
|   | Выполнение индивидуальных заданий                                 | 2  |                           |  |
|   | Подготовка к контрольным работам                                  | 1  |                           |  |
|   | Итого   | 8  |                           |  |
| 7 Электронная и ионная микроскопия        | Проработка лекционного материала                                  | 1  | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2 | Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен  |
|   | Оформление отчетов по лабораторным работам                        | 4  |                           |  |
|   | Выполнение индивидуальных заданий                                 | 2  |                           |  |
|   | Итого   | 7  |                           |  |
| 8 Атомно-силовая и туннельная микроскопия | Подготовка к практическим занятиям, семинарам                     | 2  | ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2 | Конспект самоподготовки, Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен   |
|   | Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса | 3  |                           |  |
|   | Проработка лекционного материала                                  | 1  |                           |  |
|   | Оформление отчетов по лабораторным работам                        | 4  |                           |  |
|   | Выполнение индивидуальных заданий                                 | 2  |                           |  |
|   | Подготовка к контрольным работам                                  | 2  |                           |  |
|   | Итого   | 14 |                           |  |
| 9 Подготовка образцов и эксплуатация      | Проработка лекционного материала                                  | 1  | ОПК-1, ОПК-2,             | Отчет по индивидуальному заданию, Тест, Эк-  |

|                          |                                   |     |             |         |
|--------------------------|-----------------------------------|-----|-------------|---------|
| аналитических комплексов | Выполнение индивидуальных заданий | 2   | ОПК-7, ПК-2 | замен   |
|                          | Итого                             | 3   |             |         |
| Итого за семестр         |                                   | 72  |             |         |
|                          | Подготовка и сдача экзамена       | 36  |             | Экзамен |
| Итого                    |                                   | 108 |             |         |

### 10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП.

### 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

#### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

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 |
|----------------------------------|--|---|---|------------------|
| 7 семестр                        |  |   |   |                  |
| Конспект самоподготовки          |  |   | 3   | 3                |
| Контрольная работа               | 8  |   | 8   | 16               |
| Отчет по индивидуальному заданию |  | 12  |   | 12               |
| Отчет по лабораторной работе     |  | 10  | 12  | 22               |
| Отчет по практическому занятию   | 4  | 4   | 4   | 12               |
| Тест                             |  | 5   |   | 5                |
| Итого максимум за период         | 12   | 31  | 27  | 70               |
| Экзамен                          |  |   |   | 30               |
| Нарастающим итогом               | 12   | 43  | 70  | 100              |

#### 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

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      |

#### 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

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)   |
| 65 - 69                         |  |                         |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 60 - 64  | E (посредственно)       |
|                                 | Ниже 60 баллов   | F (неудовлетворительно) |

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монокристаллических интегральных схем: Учебное пособие / Смирнов С. В. - 2010. 115 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/535> (дата обращения: 16.06.2018).

2. Методы исследования материалов и структур электроники : учебное пособие / С. В. Смирнов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 170[1] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 91 экз.)

### 12.2. Дополнительная литература

1. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: Учебное пособие / Чистоедова И. А., Данилина Т. И. - 2011. 98 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/547> (дата обращения: 16.06.2018).

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе / Чистоедова И. А., Смирнов С. В. - 2018. 53 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/7451> (дата обращения: 16.06.2018).

2. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монокристаллических интегральных схем: Лабораторный практикум / Смирнов С. В. - 2010. 97 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/536> (дата обращения: 16.06.2018).

3. Методы исследования материалов и структур электроники : лабораторный практикум для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / С. В. Смирнов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 58 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 48 экз.)

#### 12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

– в форме электронного документа;

- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. <http://www.elibrary.ru/> (свободный доступ)

**13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение**

**13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины**

**13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий**

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

**13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий**

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 224 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

**13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ**

Лаборатория гетероструктурной электроники и светодиодной техники

учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 216 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Оптический УФ спектрометр USB2000;
  - ИК Фурье-спектрометр Infracum FT-801 с приставкой на отражение;
  - Растровый электронный микроскоп Hitachi TM-1000 с микроанализатором Bruker Quantax 50EDX;
  - Рамановский спектрометр Avantes-532TEC;
  - Измеритель параметров полупроводниковых приборов Метроном-03;
  - Микроинтерферометр Линника МИИ-4М;
  - Цифровой RLC-метр Protek 9216A;
  - Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20;
  - Компьютер (4 шт.);
  - Ноутбук;
  - Комплект специализированной учебной мебели;
  - Рабочее место преподавателя.
- Программное обеспечение:

- AvaSoft ThinFilm – USB1
- AvaSoft-Raman for AvaSpec
- AvaSpec – USB 1
- Avast
- Bruker QUANTAX 50
- ExpertPRO 801
- LibreOffice
- Microsoft Windows XP
- OOIBase
- PDF-XChange Viewer
- TM-1000
- BAX
- ВФХ

#### **13.1.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы**

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

#### **13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### 14.1.1. Тестовые задания

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)  $\sigma = J/\vec{E}$ .

2. Какую зависимость используют для определения ширины запрещенной зоны полупроводников:

- а) зависимость  $E_F = f(T)$ ;  
б) зависимость  $n = f(T)$ ;  
в) зависимость  $\ln \sigma = f(1/T)$ ;  
г) зависимость  $\ln N_d = f(T)$ .

3. Какие свойства полупроводникового материала влияют на его электропроводность:

- а) только размеры образца;  
б) только концентрация носителей заряда;  
в) совершенство структуры и концентрация носителей заряда;  
г) только вид кристаллической решетки.

4. Сколько участков различной крутизны содержит зависимость  $\ln \sigma = f(1/T)$  для полупроводника с одним типом легирующей примеси:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

5. Напишите формулу выражающую закон Брэгга?

- а)  $2 \sin \theta = n \lambda$ ; б)  $2 a \sin 2 \theta = n \lambda$ ;  
в)  $2 a \cos \theta = \lambda$ ; г)  $2 d \sin \theta = n \lambda$ .

6. Условие интерференции Лауэ?

- а)  $(\cos \theta - \sin \theta) = m \lambda$ ; б)  $2 d \sin \theta = m \lambda$ ;  
в)  $a(\cos \theta - \cos \theta_1) = m \lambda$ ; г)  $d(\sin \theta - \sin \theta_1) = m \lambda$ .

7. Какие физические явления в кристаллах обусловлены ангармоническими эффектами?

- а) теплоемкость и теплота плавления;  
б) теплопроводность и тепловое расширение;  
в) электропроводность и электрическое сопротивление;  
г) прочность и пластичность.

8. Что такое коэффициент линейного теплового расширения:

- а)  $\alpha = \Delta \ell / \ell$ ; б)  $\alpha = (\Delta \ell / \ell)(1 / \Delta T)$ ;  
в)  $\alpha = \Delta \ell / \ell T$ ; г)  $\alpha = (\ell / \Delta \ell)(1 / T)$ ;

9. Закон распространения тепла Фурье:

- а)  $Q = -\lambda \text{grad} T$ ; б)  $Q = \lambda(T_1 - T_2)$ ;  
в)  $Q = \lambda(d^2 T / dx^2)$ ; г)  $Q = C_v \text{grad} T$ .

10. Какой формулой Дебай установил связь теплопроводности с теплоемкостью?

- а)  $\lambda = C_v T$ ; б)  $\lambda = C_v dT / dx$ ;  
в)  $\lambda = d C_v / dT$ ; г)  $\lambda = (1/3) v_{зв} C_v l_{св}$ .

11. Как математически формулируется закон Видемана-Франца?



- а)  $(\lambda/\sigma) = LT$ ; б)  $(\lambda \cdot \sigma) = LT$ ;  
в)  $(\lambda/\sigma) = LdT$ ; г)  $(\lambda/\sigma) = kT$ .

12. Какую зависимость используют для определения глубины уровня залегания примеси в запрещенной зоне:

- а) зависимость  $EF=f(T)$ ;  
б) зависимость  $n=f(T)$ ;  
в) зависимость  $\ln n=f(1/T)$ ;  
г) зависимость  $\ln Nd=f(T)$ .

13. Сколько участков различной крутизны содержит зависимость  $\ln n = f(1/T)$  для полупроводника с одним типом легирующей примеси:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

14. Что является качественной мерой рассеяния носителей:

- а) длина свободного пробега носителей между столкновениями;  
б) эффективное сечение рассеяния;  
в) концентрация рассеивающих центров;  
г) дифференциальное сечение рассеяния.

15. Чем определяется вероятность рассеяния электронов:

- а) эффективной массой;  
б) зарядом электрона;  
в) временем релаксации;  
г) эффективным сечением, концентрацией центров рассеяния, энергией электронов.

16. Чье имя носит эффект возникновения термо-ЭДС на контакте двух твердых тел, при наличии разности температур:

- а) Джоуля-Ленца; б) Пельтье;  
в) Томсона; г) Зеебека.

18. С увеличением температуры от 0 К до комнатной подвижность электронов и дырок:

- а) сначала уменьшается пропорционально  $T^{3/2}$ , а затем увеличивается пропорционально  $T^{-3/2}$ ;  
б) сначала увеличивается пропорционально  $T^{3/2}$ , а затем увеличивается пропорционально  $T^{-3/2}$ ;  
в) сначала увеличивается пропорционально  $T^{3/2}$ , а затем уменьшается пропорционально  $T^{-3/2}$ ;  
г) не изменяется.

19. От каких параметров электронного полупроводника зависит  $\alpha$  (коэффициент термо-ЭДС).

- а) от эффективной плотности состояний в зоне проводимости, концентрации электронов и типа рассеяния;  
б) от концентрации и подвижности электронов, от температуры;  
в) от типа рассеяния и температуры;  
г) от концентрации дырок и их подвижности.

20. 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.

21. Каким методом исследуется концентрация элементов в тонких пленках:

- а) дифракция электронов;
- б) резерфордовское обратное рассеяние;
- в) фотоэлектронная спектроскопия;
- г) электронная оже-спектроскопия.

22. Какой метод позволяет определить энергию химической связи:

- а) дифракция электронов;
- б) резерфордовское обратное рассеяние;
- в) фотоэлектронная спектроскопия;
- г) электронная оже-спектроскопия.

23. Какой метод позволяет определить распределение элементов по толщине пленки:

- а) дифракция быстрых и медленных электронов;
- б) резерфордовское обратное рассеяние;
- в) фотоэлектронная и ИК-спектроскопия;
- г) электронная оже-спектроскопия и масс-спектрометрия вторичных ионов.

#### 14.1.2. 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.

13. Электрофизические характеристики полупроводниковых эпитаксиальных структур и методы их исследования.

14. Рентгеноспектральный микроанализ.

15. Эффект Холла и его применение в исследовании полупроводниковых материалов.

16. Неравновесные носители заряда в полупроводниках и методы их исследования.

17. Тонкие диэлектрические пленки и методы измерения их параметров.

18. Методы диагностики наноструктур.

19. Спектроскопия обратного рассеяния ионов.

20. Оптические характеристики материалов и методы их исследования.

21. Лазерная эллипсометрия и ее применение.

22. Параметры энергетической структуры полупроводников и методы их исследования.

23. Оптическая электронная спектроскопия.

24. Поверхностные явления в полупроводниках и методы их исследования.

#### 14.1.3. Темы контрольных работ

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

Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3)

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

Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3)

Вариант 1

1. Совершенный кристалл GaAs толщиной в 1 мм освещается при 0 К фотонами с энергией 1,2 эВ ( $\alpha=10 \text{ см}^{-1}$ ). Поток света составляет  $10^{20}$  фотон/см<sup>2</sup>с. Найти величину потока света проходящего сквозь кристалл.

2. Измерение сопротивления методом Ван дер Пау. Размеры образца:  $2a=3\text{ мм}$ ,  $2l=2\text{ мм}$ ,  $d=0,1\text{ мм}$ ,  $2b=3\text{ мм}$ . Измерительный ток  $1\text{ мА}$ . Падение напряжения на контактах 4-3 при пропускании тока через контакты 1-2 составляет  $1\text{ В}$ . А при токе на контактах 2-3 падение напряжения на контактах 1-4 составляет  $1,2\text{ В}$ . Найти удельное сопротивление образца.

3. Пластина из полупроводника GaSb ( $n=5$ ,  $k=0,82$ ) собственной проводимости толщиной  $0,1\text{ мм}$  освещается излучением He - Ne лазера с плотностью энергии  $0,1\text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ . Определите длину волны и интенсивность люминесценции при  $300\text{ К}$ .

#### Вариант 2

1. На поверхность Si нанесена тонкая пленка SiO<sub>2</sub>. В результате в системе получен минимум коэффициента отражения на длине волны  $1\text{ мкм}$ . Найти толщину пленки.

2. В конкретном эксперименте по циклотронному резонансу  $V=0,1\text{ Вб/м}^2$ , при этом  $N_c=10^{10}\text{ см}^{-3}$ . Найдите резонансную частоту.

3. В методе Резерфордского рассеяния энергия отраженных от передней плоскости пленки хрома ионов Ag под углом  $45^\circ$  имеет величину  $0,5\text{ МэВ}$ . Определите начальную энергию ионов Ag.

#### Вариант 3

1. Образец германия n-типа толщиной  $1\text{ мм}$  покрыт слоем SiO<sub>2</sub> толщиной  $1\text{ мкм}$ . Коэффициент пропускания этого образца ИК-излучение  $\nu = 1500\text{ см}^{-1}$  равен  $30\%$ . Найдите концентрацию носителей заряда.  $T=300\text{ К}$ .

2. На пластину из кремния толщиной  $1\text{ см}$  нормально падает плоскополяризованный свет длиной волны  $10\text{ мкм}$ . Через пластину в этом случае проходит  $15\%$  света. Нужно определить коэффициент отражения этого же света при двух ориентациях вектора поляризации: а) параллельно плоскости падения света; б) нормально к плоскости падения; при углах падения  $40^\circ$  и  $60^\circ$ .

3. Для рентгеноструктурного анализа Au используется излучение  $K\alpha$  Co (постоянная экранирования  $\sigma = 1,13$ ). Найти:

- Длину волны рентгеновского излучения;
- Углы отражения от плоскостей [111], [220], [311];
- Межплоскостное расстояние.

### 14.1.4. Темы индивидуальных заданий

Примерная тематика домашних индивидуальных заданий:

- Разработка фотоприемного устройства для спектроскопии.
- Метод исследования оптических свойств тонких слоев SiO<sub>2</sub> в инфракрасной области спектра.
- Исследование МДП наноструктур методом вольт-фарядных 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<sub>2</sub>-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.

#### Вариант 1

Разработать фотоприемное устройство для спектрометрии. Представить принципиальную оптическую и электрическую схемы устройства. Рассчитать режимы работы элементов и погрешность измерений.

Исходные данные:

1. Спектральный диапазон 0,2 – 1 мкм.
2. Рабочая температура 300С.
3. Частота модуляции 100-1000 Гц.

Вариант 2

Метод исследования оптических свойств тонких слоев SiO<sub>2</sub> в инфракрасной области спектра. Представить принципиальную оптическую, электрическую и монтажную схемы устройства. Разработать технологию изготовления элементов схемы. Рассчитать режимы работы элементов.

Исходные данные:

1. Спектральный диапазон 0,4-2 мкм.
2. Плотность мощности излучения 10<sup>3</sup> Вт/см<sup>2</sup>:
3. Длительность импульсов 0,1-10 с;
4. Диаметр обрабатываемого изделия 100 мм.

Вариант 3

Разработать устройство для лазерной эллипсометрии. Представить анализ устройства. Привести принципиальную оптическую и электрическую схемы. Рассчитать режимы работы элементов. Рассчитать погрешность измерений.

Исходные данные:

1. Длина волны лазерного излучения 623 нм;
2. Частота следования импульсов 10 Гц;
3. Рабочее поле диаметром не менее 40 мм;
4. Плотность энергии 1 Дж/см<sup>2</sup>.

#### 14.1.5. Вопросы на самоподготовку

- 1) Туннельная микроскопия.
- 2) Атомно-силовая микроскопия.
- 3) Образование резерфордовского рассеяния.
- 4) Аннигиляция позитронов.

#### 14.1.6. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда.

Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.

Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.

Определение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда методом Ван дер

Пау.

Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом.

Определение концентрации свободных носителей заряда методом вольт-фарадных характеристик.

Определение эффективной массы.

Определение свойства кристаллов.

Определение концентрации носителей методом ИК-эллипсометрии.

Просветляющие покрытия.

Отражение поляризованного света.

Люминесценция.

Эллипсометрия.

Рентгеновские методы исследования кристаллической структуры.

Методы обратного резерфордовского рассеяния и масс-спектропии вторичных ионов.

#### 14.1.7. Темы лабораторных работ

Исследования профиля распределения концентрации в полупроводниковых наноструктурах.

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

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

Исследование топологии наноструктур с помощью оптической и атомно-силовой микроско-

пии.

#### **14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся                         | Виды дополнительных оценочных материалов  | Формы контроля и оценки результатов обучения  |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха                           | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы                        | Преимущественно письменная проверка   |
| С нарушениями зрения                          | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам   | Преимущественно устная проверка (индивидуально)                                       |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата   | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами   |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы         | Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

#### **14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов проце-

дура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.