

**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  
\_\_\_\_\_ П. Е. Троян  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**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**

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шелупанов А.А.

Должность: Ректор

Дата подписания: 20.12.2017

Уникальный программный ключ:

c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

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 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 5.0 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, ПК-2
7 Электронная и ионная микроскопия	5	0	4	7	16	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2
8 Атомно-силовая и туннельная микроскопия	5	2	4	14	25	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2
9 Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов	3	0	0	3	6	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, 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, ч	Формируемые 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, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2
	Итого	4	
7 Электронная и ионная микроскопия	Просвечивающая и растровая электронная микроскопия. Сканирующая ультразвуковая микроскопия. Аппаратурная реализация.	5	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, 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. Статистический анализ СЗМ данных.	5	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2
	Итого	5	
9 Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов	Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов	3	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, 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, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур	Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда.	1	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2
	Итого	1	
6 Ядерно-физические методы анализа	Методы обратного резерфордского рассеяния и масс-спектропии вторичных ионов.	1	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2
	Итого	1	
8 Атомно-силовая и туннельная микроскопия	Контрольная работа. Тест.	2	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, 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, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
7 семестр				
1 Введение	Проработка лекционного материала	1	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7	Тест, Экзамен
	Итого	1		
2 Объекты и методы исследования	Проработка лекционного материала	1	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, 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, ОПК-2, ОПК-7, 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
$\geq 90\%$ 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)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 - 69	
	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

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 анизотропическими 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)  $\lambda = (1/3) v_{\text{ср}} C_v l_{\text{св}}$ .

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) резерфордское обратное рассеяние;
- в) фотоэлектронная спектроскопия;
- г) электронная оже-спектроскопия.

22. Какой метод позволяет определить энергию химической связи:

- а) дифракция электронов;
- б) резерфордское 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) резерфордское 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  $B=0,1\text{ Вб/м}^2$ , при этом  $N_s=10^{10}\text{ см}^{-1}$ . 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-фарадных характеристик.
- Разработка устройства для лазерной эллипсометрии.
- Разработка устройства для рамановской спектроскопии.
- Устройство для оптической спектроскопии.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Исследование полупроводниковых наногетероструктур GaN.
- Исследование многослойных тонкопленочных наноструктур металл- SiO<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 103 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.