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 наноструктурированнных 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

Согласована на портале № 31888

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от «19» 4 2018 г.

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

Согласована на портале № 31888

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 наноструктурированнных 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 наноэлектроники, 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 наноэлектроники.

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 наноэлектроники, условия реализации и границы применения этих методов; тенденции развития методов характеризации материалов и структур нано- и микросистем;

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

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

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

Согласована на портале № 31888

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-

Согласована на портале № 31888

						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

Согласована на портале № 31888

	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 резерфордовского 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 метел – 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, 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							+		

Согласована на портале № 31888

2 Планирование эксперимента		+							
3 Технология материалов микро- и наноэлектроники		+		+	+		+		+
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 наноэлектроники			+	+	+		+	+	

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

Согласована на портале № 31888

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, ОПК-7, ПК-2
	Итого	4	
4 Оптические методы исследования	Исследование оптических и геометрических свойств тонкослойных диэлектрических материалов с помощью спектральной эллипсометрии.	4	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2
	Итого	4	
7 Электронная и ионная микроскопия	Исследование состава и структуры тонких пленок с помощью электронной растровой микроскопии.	4	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2
	Итого	4	
8 Атомно-силовая и туннельная микроскопия	Исследование топологии наноструктур с помощью оптической и атомно-силовой микроскопии.	4	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ПК-2
	Итого	4	

Согласована на портале № 31888

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 резерфордовского рассеяния и масс-спектроскопии 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	

Согласована на портале № 31888

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		

Согласована на портале № 31888

	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-

Согласована на портале № 31888

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.

Согласована на портале № 31888

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 монолитных 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 монолитных 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;

Согласована на портале № 31888

– 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 Infralum 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:

Согласована на портале № 31888

- 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
- ВАХ
- 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.

Согласована на портале № 31888

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) σ=enμn; б) σ=epμp;
в) σ=enμn + epμp; г) σ=J/Ē.

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

а) зависимость EF=*f*(T);
б) зависимость n=*f*(T);
в) зависимость ln σ=*f*(1/T);
г) зависимость ln Nd=*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 lnσ =*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) 2sinθ=nλ; б) 2aSin2θ=nλ;
в) 2acosθ=λ; г) 2dsinθ=nλ.

6.Условие интерференции Лауэ?

а) (cosθ –sinθ)=mλ; б) 2dSinθ=mλ;
в) a(cosθ –cosθ1)=mλ; г) d(sinθ-sinθ1) =mλ.

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) α= Δℓ/ℓ; б) α= (Δℓ/ℓ)(1/ΔT);
в) α= Δℓ/ℓT; г) α= (ℓ/Δℓ)(1/T);

9.Закон распространения тепла Фурье:

а) Q= -λgradT; б) Q=λ(T1 –T2);
в) Q=λ(d2T/dx2); г) Q=Cv gradT.

10. Какой формулой Дебай установил связь теплопроводности с теплоемкостью?

а) λ=CVT; б) λ=Cv dT/dx;
в) λ=dCV /dT; г) λ=(1/3)vзв CVlсв.

11. Как математически формулируется закон Видемана-Франца?

Согласована на портале № 31888

а) (λ/σ) = LT; б) (λ·σ) = LT;
в) (λ/σ) = LdT; г) (λ/σ) = 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. Чьё 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 0К до комнатной подвижность электронов и дырок:

а) сначала уменьшается пропорционально T3/2, а затем увеличивается пропорционально T^(-3/2);
б) сначала увеличивается пропорционально T3/2, а затем увеличивается пропорционально T^(-3/2);
в) сначала увеличивается пропорционально T3/2, а затем уменьшается пропорционально T^(-3/2);
г) не изменяется.

19. От каких параметров электронного полупроводника зависит α (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:

Согласована на портале № 31888

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 (α=10 см^-1). Поток света составляет 10^20 фотон/см^2с. Найти величину потока света проходящего сквозь кристалл.

Согласована на портале № 31888

2. Измерение сопротивления методом Ван дер Пау. Размеры образца: 2a=3мм, 21=2 мм, d=0,1 мм, 2b=3 мм. Измерительный ток 1 мА. Падение напряжения на контактах 4-3 при пропускании тока через контакты 1-2 составляет 1 В. А при токе на контактах 2-3 падение напряжения на контактах 1-4 составляет 1,2 В. Найти удельное сопротивление образца.

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

Вариант 2

1. На поверхность Si нанесена тонкая пленка SiO2. В результате в системе получен минимум коэффициента отражения на длине волны 1 мкм. Найти толщину пленки.

2. В конкретном эксперименте по циклотронному резонансу B=0,1 Вб/м2, при этом Nc=10^10 см^-1. Найдите резонансную частоту.

3. В методе резерфордовского рассеяния энергия отраженных от передней плоскости пленки хрома ионов Ar под углом 45 град имеет величину 0,5 МэВ. Определите начальную энергию ионов Ar.

Вариант 3

1. Образец германия n–типа толщиной 1 мм покрыт слоем SiO2 толщиной 1 мкм. Коэффициент пропускания этого образца ИК-излучение υ = 1500 см-1 равен 30 %. Найдите концентрацию носителей заряда. T=300 К.

2. На пластину из кремния толщиной 1 см нормально падает плоскополяризованный свет длиной волны 10 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 град и 60 град.

3. Для рентгеноструктурного анализа Au используется излучение Kα Co (постоянная экранирования σ = 1,13). Найти:

a) Длину волны рентгеновского излучения;

b) Углы отражения от плоскостей [111], [220], [311];

c) Межплоскостное расстояние.

14.1.4. Темы индивидуальных заданий

Примерная тематика домашних индивидуальных заданий:

- Разработка фотоприемного устройства для спектроскопии.
- Метод исследования оптических свойств тонких слоев SiO2 в инфракрасной области спектра.
- Исследование МДП наноструктур методом вольт-фарадных характеристик.
- Разработка устройства для лазерной эллипсометрии.
- Разработка устройства для рамановской спектроскопии.
- Устройство для оптической спектроскопии.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Исследование полупроводниковых наногетероструктур GaN.
- Исследование многослойных тонкопленочных наноструктур металл- SiO2-металл.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом растровой электронной микроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом ИК Фурье-спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом Рамановской спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом спектральной эллипсометрии.

Вариант 1

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

Согласована на портале № 31888

Исходные данные:

1. Спектральный диапазон 0,2 – 1 мкм.

2. Рабочая температура 30оС.

3. Частота модуляции 100-1000 Гц.

Вариант 2

Метод исследования оптических свойств тонких слоев SiO2 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/см2:

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/см2.

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-спектроскопии 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-

Согласована на портале № 31888

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-

Согласована на портале № 31888

дура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.