МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

Документ подписан электронной подписью
Сертификат: 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Владелец: Троян Павел Ефимович
Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

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

Направленность (профиль) программы Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 4 **Семестр** 7

Учебный план набора 2014 года.

Распределение рабочего времени:

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

Экзамен 7 **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 1432

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

Лист согласований

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

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

Доцент кафедры ФЭ _____ / И.А.Чистоедова

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

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

Декан ФЭТ _____ / А.И. Воронин

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

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

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

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

Согласована на портале № 1432

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

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

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

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

В соответствии с ОПОП дисциплина «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» относится к вариативной части образовательной программы бакалавриата по направлению 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (Б1.В.ОД.5).

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

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

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

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

3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:

знать:

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

уметь:

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

владеть:

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

Согласована на портале № 1432

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет ___5___ зачетных единиц.

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

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

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

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

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

Согласована на портале № 1432

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

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

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

Согласована на портале № 1432

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

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

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

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

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

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

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

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

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

Согласована на портале № 1432

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

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

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

Тематика индивидуальных заданий:

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

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

Согласована на портале № 1432

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

11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

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

Таблица 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

Таблица 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1 Основная литература

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

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

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

12.2 Дополнительная литература

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

Согласована на портале № 1432

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

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

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

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

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

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

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

12.4 Программное обеспечение

12.4.1. Математический пакет MathCAD или Mathematica.

12.4.2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

12.5 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

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

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

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

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

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

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

13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

13.1. Оптический УФ спектрометр USB2000.

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

13.3. Монохроматор МДР-23.

13.4. Спектральный лазерный эллипсометр Эллипс-1891 САГ.

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

13.6. Рамановский спектрометр Avantes-532TEC.

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

13.8. Измеритель параметров полупроводниковых приборов Метроном-03.

13.9. Микроинтерферометр Линника МИИ-4М.

13.10. Цифровой RLC-метр Protek 9216A.

13.11. Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20.

Согласована на портале № 1432

Приложение к рабочей программе

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ *ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ*

Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем

Уровень основной образовательной программы **бакалавриат**

Направление(я) подготовки (специальность)

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

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

Форма обучения **очная**

Факультет **электронной техники (ФЭТ)**

Кафедра **физической электроники (ФЭ)**

Курс **4** **Семестр** **7**

Учебный план набора 2014 года

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

Разработчики: профессор кафедры Смирнов С.В.

доцент кафедры ФЭ Чистоедова И.А.

Томск 2016

Согласована на портале № 1432

1 Введение

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

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

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

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

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

Согласована на портале № 1432

2 Реализация компетенций

1 *Компетенция ОПК-5*

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

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

Таблица 2– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

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

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

Согласована на портале № 1432

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

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

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

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

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

Согласована на портале № 1432

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

2 Компетенция ПК-2

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

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

Таблица 5– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

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

Согласована на портале № 1432

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

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

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

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

Согласована на портале № 1432

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

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

Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

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

Согласована на портале № 1432

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

3 Типовые контрольные задания

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

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

3.1 Тесты по следующим разделам:

1). Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур.

2). Оптические методы исследования.

3). Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов.

Примеры тестовых заданий:

1. По какой формуле определяется электропроводность собственного полупроводника:

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

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

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

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

Согласована на портале № 1432

а) изменение колебательной энергии молекул;

б) переходы между внешними электронными состояниями;

в) изменение энергетического состояния ядер;

г) переходы между внутренними электронными состояниями.

4. Что такое люминесценция:

а) тепловое излучение твердых тел;

б) отражение и преломление твердым телом света;

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

г) избыточное над тепловым, свечение твердых тел.

3.2 Контрольные работы:

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

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

3.3 Выполнение домашних индивидуальных заданий:

Примерная тематика домашних индивидуальных заданий:

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

3.4 Темы практических занятий:

1) Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда.

2) Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.

Согласована на портале № 1432

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

4) Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом.

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

6) Определение эффективной массы.

7) Определение свойства кристаллов.

8) Определение концентрации носителей методом ИК-эллипсометрии.

9) Просветляющие покрытия.

10) Отражение поляризованного света.

11) Люминесценция.

12) Эллипсометрия.

13) Рентгеновские методы исследования кристаллической структуры.

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

3.5 Темы лабораторных работ

1) Исследования профиля распределения концентрации в полупроводниковых наноструктурах.

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

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

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

3.6 Темы для самостоятельной работы

1) Туннельная микроскопия.

2) Атомно-силовая микроскопия.

3) Образование резерфордовского рассеяния.

4) Аннигиляция позитронов.

Согласована на портале № 1432

3.7 Экзаменационные вопросы:

1 Физические характеристики поверхности материалов и методы их исследования.

2 Рентгеноструктурный анализ.

3 Электрофизические характеристики материалов и их измерение.

4 Электронная ОЖЕ – спектроскопия.

5 Тонкие диэлектрические пленки и методы измерения их параметров.

6 Масс – спектроскопия вторичных ионов.

7 Квантоворазмерные эффекты в тонкопленочных структурах и методы их исследования.

8 Электронная и оптическая микроскопия.

9 Методы измерения профиля распределения элементов в тонкопленочных структурах.

10 Туннельная и силовая микроскопия.

11 Методы диагностики наноструктур.

12 Оптическая ИК – спектроскопия.

4 Методические материалы

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

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

Методические материалы:

4.1 Основная литература

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

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

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

4.2 Дополнительная литература

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

Согласована на портале № 1432

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

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

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

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

4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

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

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

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

Согласована на портале № 1432