МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
_____Сенченко П.В.
«22» _____02_____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Микроэлектроника и твердотельная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра физической электроники (ФЭ)**
Курс: **4**
Семестр: **7**
Учебный план набора 2023 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	7 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	36	36	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	18	18	часов
Практические занятия	18	18	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	16	16	часов
Самостоятельная работа	38	38	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	144	144	часов
	4	4	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Экзамен	7

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В.
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 22.02.2023
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 69041

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. 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

1. Знакомство с конструкцией исследовательской аппаратуры, условиями эксплуатации, современными методами исследований.
2. Освоение студентами основных принципов работы с приборами, получение практических навыков при проведении исследований.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль направленности (профиля) (major).
Индекс дисциплины: Б1.В.02.14.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):
Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
-	-	-
Профессиональные компетенции		
ПК-2. Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	ПК-2.1. Знает базовые методики исследования параметров и характеристик электронных приборов и устройств	знает 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
	ПК-2.2. Умеет определять основные параметры приборов и устройств электронной компонентной базы	умеет выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем
	ПК-2.3. Владеет методиками постановки и проведения экспериментальных исследований	владеет методами экспериментальных исследований, обработки и представления полученных данных

Согласована на портале № 69041

ПК-5. Способен организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники	ПК-5.1. Знает основные стандарты по метрологическому обеспечению изделий электронной техники	знает 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
	ПК-5.2. Умеет проводить измерения в соответствии со стандартами	умеет выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем
	ПК-5.3. Владеет навыками работы на стандартном измерительном оборудовании	владеет методами экспериментальных исследований, обработки и представления полученных данных

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		7 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	70	70
Лекционные занятия	36	36
Практические занятия	18	18
Лабораторные занятия	16	16
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	38	38
Подготовка к тестированию	9	9
Выполнение индивидуального задания	4	4
Написание отчета по практическому занятию (семинару)	9	9
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	12	12
Подготовка к контрольной работе	4	4
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Общая трудоемкость (в з.е.)	4	4

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
7 семестр						

Согласована на портале № 69041

1 Введение, цели и задачи дисциплины	1	-	-	1	2	ПК-2, ПК-5
2 Объекты и методы исследования	4	-	-	2	6	ПК-2, ПК-5
3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур	4	7	4	7	22	ПК-2, ПК-5
4 Оптические методы исследования	5	8	4	8	25	ПК-2, ПК-5
5 Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов	5	1	-	4	10	ПК-2, ПК-5
6 Ядерно-физические методы анализа	9	1	4	8	22	ПК-2, ПК-5
7 Атомно-силовая и туннельная микроскопия	5	1	4	6	16	ПК-2, ПК-5
8 Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов	3	-	-	2	5	ПК-2, ПК-5
Итого за семестр	36	18	16	38	108	
Итого	36	18	16	38	108	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Предмет дисциплины и ее задачи. Связь дисциплины с другими разделами физики. Современное состояние и перспективы развития физических методов исследований.	1	ПК-2, ПК-5
	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	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	

Согласована на портале № 69041

3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур	лектропроводность. 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	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
4 Оптические методы исследования	Электронная спектроскопия. Молекулярная спектроскопия. Спектроскопия рамановского рассеяния. Эллипсометрия. Оптическая микроскопия. Оптическая профилометрия поверхности структур. Конструкция и характеристики некоторых устройств.	5	ПК-2, ПК-5
	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	ПК-2, ПК-5
	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	ПК-2, ПК-5
	Просвечивающая и растровая электронная микроскопия. Сканирующая ультразвуковая микроскопия. Аппаратурная реализация.	5	ПК-2, ПК-5
	Итого	9	

Согласована на портале № 69041

7 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	ПК-2, ПК-5
	Итого	5	
8 Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов	Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов	3	ПК-2, ПК-5
	Итого	3	
Итого за семестр		36	
Итого		36	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			

Согласована на портале № 69041

3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур	Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда.	1	ПК-2, ПК-5
	Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.	1	ПК-2, ПК-5
	Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.	1	ПК-2, ПК-5
	Определение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда методом Ван дер Пау.	1	ПК-2, ПК-5
	Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом.	1	ПК-2, ПК-5
	Определение концентрации свободных носителей заряда методом вольт-фарадных характеристик.	1	ПК-2, ПК-5
	Определение эффективной массы	1	ПК-2, ПК-5
	Итого	7	
4 Оптические методы исследования	Определение свойства кристаллов.	1	ПК-2, ПК-5
	Определение концентрации носителей методом ИК-эллипсометрии.	2	ПК-2, ПК-5
	Просветляющие покрытия	1	ПК-2, ПК-5
	Отражение поляризованного света.	1	ПК-2, ПК-5
	Люминесценция	1	ПК-2, ПК-5
	Эллипсометрия.	2	ПК-2, ПК-5
	Итого	8	
5 Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов	Рентгеновские методы исследования кристаллической структуры.	1	ПК-2, ПК-5
	Итого	1	
6 Ядерно-физические методы анализа	Методы обратного резерфордовского рассеяния и масс-спектроскопии вторичных ионов.	1	ПК-2, ПК-5
	Итого	1	
7 Атомно-силовая и туннельная микроскопия	Методы атомно-силовой и туннельной микроскопии	1	ПК-2, ПК-5
	Итого	1	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.
Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Согласована на портале № 69041

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур	Исследования профиля распределения концентрации в полупроводниковых наноструктурах.	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
4 Оптические методы исследования	Исследование оптических и геометрических свойств тонкослойных диэлектрических материалов с помощью спектральной эллипсометрии.	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
6 Ядерно-физические методы анализа	Исследование состава и структуры тонких пленок с помощью электронной растровой микроскопии.	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
7 Атомно-силовая и туннельная микроскопия	Исследование топологии наноструктур с помощью оптической и атомно-силовой микроскопии.	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
	Итого за семестр	16	
	Итого	16	

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
7 семестр				
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Итого	1		
2 Объекты и методы исследования	Выполнение индивидуального задания	1	ПК-2, ПК-5	Индивидуальное задание
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Итого	2		

Согласована на портале № 69041

3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур	Выполнение индивидуального задания	1	ПК-2, ПК-5	Индивидуальное задание
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	1	ПК-2, ПК-5	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	4	ПК-2, ПК-5	Лабораторная работа
	Итого	7		
4 Оптические методы исследования	Выполнение индивидуального задания	2	ПК-2, ПК-5	Индивидуальное задание
	Подготовка к контрольной работе	1	ПК-2, ПК-5	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	2	ПК-2, ПК-5	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	2	ПК-2, ПК-5	Лабораторная работа
	Итого	8		
5 Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов	Подготовка к контрольной работе	1	ПК-2, ПК-5	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	2	ПК-2, ПК-5	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Итого	4		
6 Ядерно-физические методы анализа	Подготовка к контрольной работе	1	ПК-2, ПК-5	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	2	ПК-2, ПК-5	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	4	ПК-2, ПК-5	Лабораторная работа
	Итого	8		

Согласована на портале № 69041

7 Атомно-силовая и туннельная микроскопия	Подготовка к контрольной работе	1	ПК-2, ПК-5	Контрольная работа
	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	2	ПК-2, ПК-5	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	2	ПК-2, ПК-5	Лабораторная работа
	Итого	6		
8 Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов	Подготовка к тестированию	2	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Итого	2		
Итого за семестр		38		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		74		

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ПК-2	+	+	+	+	Индивидуальное задание, Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по практическому занятию (семинару), Тестирование, Экзамен
ПК-5	+	+	+	+	Индивидуальное задание, Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по практическому занятию (семинару), Тестирование, Экзамен

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	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				
Индивидуальное задание	0	12	0	12

Согласована на портале № 69041

Контрольная работа	8	0	8	16
Лабораторная работа	0	10	12	22
Тестирование	0	5	0	5
Отчет по практическому занятию (семинару)	4	4	7	15
Экзамен				30
Итого максимум за период	12	31	27	100
Нарастающим итогом	12	43	70	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	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)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

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

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.).

7.2. Дополнительная литература

1. Газенаур, Е. Г. Методы исследования материалов : учебное пособие / Е. Г. Газенаур, Л. В. Кузьмина, В. И. Крашенинин. — Кемерово : КемГУ, 2013. — 336 с. — ISBN 978-5-8353-1578-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/44317 (дата обращения: 15.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/44317.

7.3. Учебно-методические пособия

Согласована на портале № 69041

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе / И. А. Чистоедова, С. В. Смирнов - 2023. 53 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://miel.tusur.ru/dwn/umo/id/27a779958a69/f/Smirnov%20S.V.,%20CHistoedova%20I.A.%20MAiKMST_UMP_2023.pdf.

2. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: Лабораторный практикум / С. В. Смирнов - 2021. 97 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://miel.tusur.ru/dwn/umo/id/27530e095b81/f/Smirnov%20S_V_%20Laboratornyj%20praktikum_2021.pdf.

7.3.2. 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.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. 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 достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория: 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, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Интерактивная панель;
- Камера;
- Микрофон;
- Тумба для докладчика;
- Магнитно-маркерная доска;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Согласована на портале № 69041

8.3. 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 Intel(R) Core (TM)2 CPU (4 шт.);
- Ноутбук ASUS;
- 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;
- ВАХ;
- ВФХ;

8.4. 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, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

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

8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами

Согласована на портале № 69041

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 зрения** 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.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Введение, цели и задачи дисциплины	ПК-2, ПК-5	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Объекты и методы исследования	ПК-2, ПК-5	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур	ПК-2, ПК-5	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий

Согласована на портале № 69041

4 Оптические методы исследования	ПК-2, ПК-5	Индивидуальное задание	Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
5 Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов	ПК-2, ПК-5	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
6 Ядерно-физические методы анализа	ПК-2, ПК-5	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий

Согласована на портале № 69041

7 Атомно-силовая и туннельная микроскопия	ПК-2, ПК-5	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий
8 Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов	ПК-2, ПК-5	Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции

Согласована на портале № 69041

2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

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.

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Физические характеристики поверхности материалов и методы их исследования.
2. Рентгеноструктурный анализ.
3. Электрофизические характеристики материалов и их измерение.

Согласована на портале № 69041

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.

9.1.3. Примерный перечень вариантов индивидуальных заданий

1. Вариант 1
   Разработать фотоприемное устройство для спектрометрии. Представить принципиальную оптическую и электрическую схемы устройства. Рассчитать режимы работы элементов и погрешность измерений.
   Исходные данные: Спектральный диапазон 0,2 – 1 мкм. Рабочая температура 30оС. Частота модуляции 100-1000 Гц.
2. 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: Спектральный диапазон 0,4-2 мкм. Плотность мощности излучения 103 Вт/см2. Длительность импульсов 0,1-10 с; Диаметр обрабатываемого изделия 100 мм.
3. 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: Длина волны лазерного излучения 623 нм; Частота следования импульсов 10 Гц; Рабочее поле диаметром не менее 40 мм; Плотность энергии 1 Дж/см2.
4. Вариант 4
   Исследование МДП наноструктур методом вольт -фарадных характеристик. Представить анализ устройства.
   Привести электрическую схему. Представить монтажную схему. Разработать технологию изготовления элементов
   схемы. Рассчитать режимы работы элементов.
   Исходные данные
   1. Передатчик – полупроводниковый лазер.
   2. Приемник – кремниевый фотодиод.
   3. Длина линии 1 км.
   4. Скорость передачи информации.
   5. Рабочая частота 1 ГГц.
5. Вариант 5

Согласована на портале № 69041

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.

9.1.4. 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.

9.1.5. Темы практических занятий

1. Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда.
2. Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.
3. Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.
4. Определение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда методом Ван дер Пау.
5. Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом.
6. Определение концентрации свободных носителей заряда методом вольт-фарадных характеристик.
7. Определение эффективной массы
8. Определение свойства кристаллов.
9. Определение концентрации носителей методом ИК-эллипсометрии.
10. Просветляющие покрытия
11. Отражение поляризованного света.
12. Люминесценция
13. Эллипсометрия.
14. Рентгеновские методы исследования кристаллической структуры.
15. Методы обратного резерфордовского рассеяния и масс-спектроскопии вторичных ионов.
16. Методы атомно-силовой и туннельной микроскопии

9.1.6. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. 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.
   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.
2. Вариант 2

Согласована на портале № 69041

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/м^2, 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.

3. 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.

4. Вариант 4
1. Пластина из кремния (n=4, k=0,21) 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.
2. На поверхность стекла (n=1,56) нанесен слой Si3N4 толщиной 0,25 мкм. Найти длину волны, при которой наблюдается максимум коэффициента отражения.
3. Статический масс-анализатор. Радиус траектории ионов 1 м. Магнитная индукция в зазоре 0,54 Тл. Найти
ускоряющие напряжения для всех видов ионов ацетилена, напряжение ионизации 100 В.
4. В эксперименте по циклотронному резонансу максимальное поглощение обнаружено при ν=1,3·10^10 с^-1 при
Nc=10^19 см^-3. Найдите B.

5. Вариант 5
1. Определите термо- эдс, концентрацию, подвижность электронов в германии n-типа, для которого, при некоторых
условиях и при 300 К, удельное сопротивление равно 0,01 Ом м и RH=7 10^-3 м^3/Кл, rH=1,15. Определите также
концентрацию носителей заряда.
2. Найдите электрическое сопротивление цилиндра из германия диаметром 1мм и длиной 10 см при 300К и 400К
Найдите среднее время релаксации, среднюю дрейфовую скорость и длину свободного пробега электронов, при
напряженности поля 10 В/см.
3. В методе резерфордовского рассеяния пленка золота бомбардируется ионами Ar энергией 1 МэВ. Определите
энергию отраженных от передней плоскости ионов под углом 30 о.
4. Найти углы отражения от плоскостей [100], [110], [111] кристалла Cr, соответствующие дифракционным
максимумам 1 – ого порядка для характеристического рентгеновского излучения Cu.

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает

Согласована на портале № 69041

работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

9.3. 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 9.4.

Таблица 9.4 – 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, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

9.4. 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.

Согласована на портале № 69041

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 процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 69041

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 140 от «31» 1 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
И.О. начальника учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. ФЭ	В.В. Каранский	Согласовано, c2e55ae8-0332-4ed9-a65a-afbb92539ee8
Заведующий кафедрой, каф. ФЭ	П.Е. Троян	Согласовано, 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

РАЗРАБОТАНО:

Доцент, каф. ФЭ	И.А. Чистоедова	Разработано, 2114f42c-7cf2-4826-9f35-9a75ea4961b2
Профессор, каф. ФЭ	С.В. Смирнов	Разработано, 57c2a753-1aab-4c62-b975-6090adf83285

Согласована на портале № 69041