Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
к.т.н. Стрельцов С. А.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ НЕКВАЛИФИЦИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
31.08.2026
Владелец: к.т.н. Стрельцов С. А.
Срок действия: не ограничен
Адрес хранения электронного документа:
https://www.nstu.ru/university/info/sveden/education

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Программные средства профессиональной деятельности

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль: Полупроводниковые микро- и наносистемы

Курс: 4, семестр : 8

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	**Вид деятельности**	**8**
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	54
4	Лекции, час.	24
5	Практические занятия, час.	0
6	Лабораторные занятия, час.	24
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	8
8	из них практической подготовки, час.	24
9	Аттестация, час.	2
10	Консультации, час.	4
11	Самостоятельная работа, час.	90
12	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ(Р)/реферат, подготовка к контрольной работе)	Р контр.
13	Вид аттестации	Э

Новосибирск 2026

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №924 от 19.09.2017 г. , дата утверждения: 09.10.2017 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, формируемая участниками образовательных отношений

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, 31.08.2026

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 8 от 31.08.2026

Заведующий кафедрой:

доцент, к.т.н. Остертак Д. И.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Остертак Д. И.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Группа	Компетенции
	Индикаторы достижения компетенций
Профессиональные компетенции	ПК-1/НА Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий
	ПК-1/НА. 2 Умеет решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники
	ПК-1/НА. 3 Владеет математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники
Профессиональные компетенции	ПК-4/ПК Готов рассчитывать и проектировать основные параметры техники наноструктурных материалов различного функционального назначения
	ПК-4/ПК. 1 Знает принципы проектирования основных параметров наноструктурных материалов

2. Требования НГТУ к планируемым результатам обучения, соотнесенным с индикаторами достижения компетенций

Таблица 2.1

Индикаторы достижения компетенций	Формы организации занятий
Результаты обучения	
ПК-1/НА. 2 Умеет решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	
Иметь опыт моделирования процесса ионной имплантации	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Иметь опыт моделирования процесса термического окисления кремния	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Иметь опыт моделирования диффузионных процессов	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Иметь опыт численно калибровать применяемые TCAD-модели и управлять адптивной расчетной сеткой	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК-1/НА. 3 Владеет математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	
Уметь численно вычислять основные параметры технологических режимов полупроводниковых слоев формируемых структур в точном соответствии с технологическим маршрутом	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Уметь численно вычислять основные электрофизические параметры и характеристики современных КМОПТ	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Уметь применять математические модели TCAD Sentaurus	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Уметь использовать результаты TCAD-моделирования для проектиирования базовых технологических режимов	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК-4/ПК. 1 Знает принципы проектирования основных параметров наноструктурных материалов	
Знать основные особенности элементной базы СБИС и УБИС	Лекции; Лабораторные работы;
Знать иерархию транспортных моделей переноса в микро и наноэлектронике	Лекции; Лабораторные работы;
Знать современные тенденции развития физики и технологии нанотранзисторов и микросистемной техники	Лекции; Лабораторные работы;
Знать методику сквозного приборно-технологического моделирования (TCAD)	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать организационную структуру TCAD Sentaurus	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

Знать структуру и особенности командного файла для моделирования технологических процессов в приложении SProcess	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать структуру и особенности командного файла для моделирования электрофизических параметров и характеристик приборов в приложении SDevice	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать терминологию дисциплины	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Часы	Из них в форме практ. подг., час.	Активные формы, час.	Индикаторы достижения компетенций	Учебная деятельность
Семестр: 8					
Дидактическая единица: Общие вопросы наноэлементов и наносистем					
1. Элементная база современной микро и наноэлектронки и микросистемной техники	3	0	0	ПК-4/ПК.1	Нанотехнологии, наноэлементы и наносистемы. Элементная база современной микро и наноэлектроники. Миниатюризация и ее влияние на параметры КМОПТ. Физические эффекты, связанные с процессом миниатюризации. Технологические способы подавления паразитных эффектов в КМОПТ: ретроградный карман, LDD, HALO и КНИ структуры.
2. Математические модели для наноэлектроники	3	0	0	ПК-1/НА.3, ПК-4/ПК.1	Схема Даттона для математических моделей наноэлектроники. Иерархия транспортных моделей в наноэлектронике. Взаимосвязь между транспортными механизмами и характерной длиной наноэлемента. Классификационная схема математических моделей.
Дидактическая единица: Основные особенности TCAD-моделирования					
3. Приборно-технологическое моделирование	3	0	0	ПК-1/НА.3, ПК-4/ПК.1	Общая характеристика метода приборно-технологического моделирования и его возможности. Схема сквозного TCAD-моделирования

4. Структура TCAD SenTaurus	3	0	0	ПК-4/ПК.1	Общая структура TCAD SenTaurus. Входные/выходные файлы основных приложений TCAD SenTaurus. Основные схемы моделирования в TCAD SenTaurus. Общая структура командного файла для SProcess. Общая структура командного файла для SDevice
Дидактическая единица: Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus					
5. Модели ионной имплантации	3	0	0	ПК-1/НА.2, ПК-4/ПК.1	Основные особенности моделировании процесса ионной имплантации(ИИ). Системы координат, используемые для моделирования процесса ИИ. Основные модельные параметры имплантационных профилей легирования. Общая характеристика метода Монте-Карло при моделировании ИИ. Аппроксимационные модели ИИ. Модель Гаусса. Аппроксимационные модели ИИ. Модель Пирсон-IV. Двумерное моделирование бокового распределения ионов ИИ.
6. Модели термического окисления кремния	3	0	0	ПК-1/НА.2, ПК-1/НА.3, ПК-4/ПК.1	Основные физические процессы при термическом окислении кремния. Модели Дила-Гроува и Массауда для процесса термического окисления. Вариативность команды , моделирующей процесс термического окисления в приложении SProcess
7. Диффузионные модели	3	0	0	ПК-1/НА.2, ПК-4/ПК.1	Концентрационные модели коэффициента диффузии. Модель эффективного коэффициента диффузии. Диффузионные модели в TCAD SenTaurus: Модель с постоянным уровнем Ферми, Трехпотоковая модель, Пятипотоковая модель.
Дидактическая единица: Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus					

8. Основные электрофизические модели	3	0	0	ПК-1/НА.3, ПК-4/ПК.1	Исходные данные для электрофизического моделирования в SDevice. DD модель и краевые условия в диффузионно-дрейфовой модели полупроводникового прибора. Термодинамическая модель полупроводникового прибора в приложении "SDevice". Гидродинамическая модель полупроводникового прибора в приложении "SDevice".

Темы лабораторных работ	Часы	Из них в форме практ. подг., час.	Активные формы, час.	Индикаторы достижения компетенций	Учебная деятельность
Семестр: 8					
Дидактическая единица: Основные особенности TCAD-моделирования					
1. Введение в приборно-технологическое моделирование. Основные понятия, маршрут моделирования.	6	6	2	ПК-1/НА.3, ПК-4/ПК.1	Знакомство с TCAD Sentaurus. Моделирование планарного резистора. Освоение первичных методик двумерных расчетов в приложении технологического моделирования Sentaurus Process и приложении электро-физического моделирования Sentaurus Device, анализ и графического представление результатов в приложениях Inspect, Sentaurus Visual.
Дидактическая единица: Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus					

2. Технологическое моделирование	6	6	2	ПК-1/НА.2, ПК-1/НА.3, ПК-4/ПК.1	Изучение основных особенностей одномерного и двумерного технологического моделирования в приложении Sentaurus Process. Одномерное и двумерное моделирование процесса ионного легирования и термического отжига. Изучение зависимости поверхностного сопротивления и глубины залегания p-n-перехода от дозы и энергии имплантации, температуры и времени термического отжига. Одномерное моделирование процесса термического окисления кремния. Рассмотрение зависимости толщины выращенного окисла от состава атмосферы.
Дидактическая единица: Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus					
3. Электро-физическое моделирование. Расчет основных параметров p-n-перехода.	6	6	2	ПК-1/НА.2, ПК-1/НА.3, ПК-4/ПК.1	Изучение особенностей электро-физического моделирования в приложении Sentaurus Device. Моделирование резкого p-n-перехода с равномерно распределенными примесями. Сравнение теоретического расчета и TCAD-расчета распределений концентрации электронов и дырок; пространственного заряда; электростатического потенциала; напряженности электрического поля. Построение зонных диаграмм в состоянии равновесия и при прямом и обратном смещении. Расчет прямой ветки ВАХ с помощью диффузионно-дрейфовой модели и термодинамической модели.

4. Электро-физическое моделирование. Расчет характеристик диода.	6	6	2	ПК-1/НА.3, ПК-4/ПК.1	Изучение особенностей электро-физического моделирования в приложении Sentaurus Device. Моделирование резкого p-n-перехода с равномерно распределенными примесями. Изучение смешанного режима моделирования для построения вольт-фарадной характеристики и расчета переходного процесса. Расчет лавинного пробоя резкого p-n-перехода со сравнением моделей лавинной генерации.

3.1 Практическая подготовка

Таблица 3.2

№	Темы занятий	Формы организации занятий	Содержание практической подготовки (виды работ)
1	Введение в приборно-технологическое моделирование. Основные понятия, маршрут моделирования.	Лб	Выполняет следующие виды работ: выбор методов решения задач моделирования и выполнение расчетов с целью освоения навыка построения моделей приборов и компьютерного моделирования. Анализ данных, полученных в ходе численного эксперимента для освоения принципов сбора , отбора и обобщения информации.
2	Технологическое моделирование	Лб	Выполняет следующие виды работ: выбор методов решения задач моделирования и выполнение расчетов с целью освоения навыка построения моделей приборов и компьютерного моделирования. Анализ данных, полученных в ходе численного эксперимента для освоения принципов сбора , отбора и обобщения информации.
3	Электро-физическое моделирование. Расчет основных параметров p-n-перехода.	Лб	Выполняет следующие виды работ: выбор методов решения задач моделирования и выполнение расчетов с целью освоения навыка построения моделей приборов и компьютерного моделирования. Анализ данных, полученных в ходе численного эксперимента для освоения принципов сбора , отбора и обобщения информации.

4	Электро-физическое моделирование. Расчет характеристик диода.	Лб	Выполняет следующие виды работ: выбор методов решения задач моделирования и выполнение расчетов с целью освоения навыка построения моделей приборов и компьютерного моделирования. Анализ данных, полученных в ходе численного эксперимента для освоения принципов сбора , отбора и обобщения информации.

3.2 Самостоятельная работа обучающегося

Таблица 3.3

№	Виды самостоятельной работы	Индикаторы достижения компетенций	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 8				
1	Контрольные работы	ПК-1/НА.2,ПК-1/НА.3,ПК-4/ПК.1	20	1
Подготовка к контрольной работе: Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.].- Новосибирск, 2010.- 103 с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909				
2	РГЗ/Реферат	ПК-1/НА.2,ПК-1/НА.3	20	1
Подготовка к РГЗ: Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.].- Новосибирск, 2010.- 103 с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909				
3	Подготовка к занятиям	ПК-1/НА.2,ПК-1/НА.3,ПК-4/ПК.1	20	0
Работа с конспектом лекций, методическими указаниями к лабораторным работам, с рекомендованной литературой: Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.].- Новосибирск, 2010.- 103 с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909				
4	Подготовка к аттестации	ПК-1/НА.2,ПК-1/НА.3,ПК-4/ПК.1	30	2
Работа с конспектом лекций, методическими указаниями к лабораторным работам, с рекомендованной литературой: Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.].- Новосибирск, 2010.- 103 с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909				

3.3 Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail; Среда электронного обучения НГТУ
Консультирование	e-mail; Среда электронного обучения НГТУ

Контроль	e-mail; Среда электронного обучения НГТУ
Размещение учебных материалов	e-mail; Среда электронного обучения НГТУ; ЭБС

4. Правила аттестации обучающихся по дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставлять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	**Мин. балл**	**Максимальный балл**
Семестр: 8		
Лекция:	2	4
Лабораторная:	20	40
Контролирующие материалы приводятся в "Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.].- Новосибирск, 2010.- 103 с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909"		
Контрольные работы:	4	8
Контролирующие материалы приводятся в "Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.].- Новосибирск, 2010.- 103 с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909"		
РГЗ/Реферат:	4	8
Контролирующие материалы приводятся в "Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.].- Новосибирск, 2010.- 103 с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909"		
Экзамен:	20	40
Контролирующие материалы приводятся в "Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.].- Новосибирск, 2010.- 103 с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909"		

В таблице 4.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 4.2

Коды компетенций	**Индикаторы достижения компетенций**	**Формы контроля**			
		Защита Л/Р	**Контр. раб.**	**Защита РГЗ/Р**	**Экзамен**
ПК-1/НА	ПК-1/НА 2. Умеет решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	+	+	+	+
	ПК-1/НА 3. Владеет математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	+	+	+	+
ПК-4/ПК	ПК-4/ПК 1. Знает принципы проектирования основных параметров наноструктурных материалов	+	+		+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

5. Литература

Основная литература

1. Илюшин В. А. Физикохимия наноструктурированных материалов : учебное пособие / В. А. Илюшин ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2013.- 105, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000180741

2. Драгунов В. П. Микро- и наноэлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2015.- 45, [3] с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042

3. Левицкий, А. А. Приборно-технологическое моделирование устройств микро-и наноэлектроники. Математические модели и программные средства : учебное пособие / А. А. Левицкий, П. С. Маринушкин, С. И. Трегубов. — Красноярск : СФУ, 2020. — 68 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/181594 (дата обращения: 06.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература

1. Численные методы в уравнениях математической физики : учебное пособие / [М. Г. Персова и др.] ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2016.- 57, [2] с..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232319

2. Станкевич С. В. Математическое моделирование физических процессов : [учебное пособие] / С. В. Станкевич ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2020.- 118, [1] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000242747

Интернет-ресурсы

1. Электронно-библиотечная система НГТУ [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. – [Россия], 2011. – Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/. – Загл. с экрана.

2. Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - [Россия], 2010. - Режим доступа: http://e.lanbook.com. - Загл. с экрана.

3. Synopsys, Inc. : [website]. – URL: https://www.synopsys.com/ (date of the application: 05.04.2022). – Text : electronic.

6. Методическое и программное обеспечение, информационные технологии

6.1 Методическое обеспечение

1. Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.].- Новосибирск, 2010.- 103 с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909

6.2 Специализированное программное обеспечение

1 Пакет офисных приложений Microsoft Office

2 САПР Приборно-технологического моделирования SYNOPSYS TCAD Sentaurus

3 Операционная система Microsoft Windows

6.3 Информационные технологии

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине применяются элементы дистанционных образовательных технологий, а также синхронного и асинхронного взаимодействия в электронной информационно-образовательной среды НГТУ.

7. Материально-техническое обеспечение

Компьютерный класс

№	Наименование	Назначение
1	Компьютерный класс (Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet)	Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet