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

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

“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
Физические основы микро и наноэлектроники

Образовательная программа: 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, профиль: Проектирование и технология радиоэлектронных средств

Курс: 3, семестр : 5

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	**Вид деятельности**	**5**
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	60
4	Лекции, час.	34
5	Практические занятия, час.	0
6	Лабораторные занятия, час.	16
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	0
8	из них практической подготовки, час.	19
9	Аттестация, час.	2
10	Консультации, час.	8
11	Самостоятельная работа, час.	84
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): 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

ФГОС введен в действие приказом №928 от 19.09.2017 г. , дата утверждения: 12.10.2017 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, обязательная

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

КТРС, 31.08.2026

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

Заведующий кафедрой:

доцент, к.т.н. Синельников А. В.

Ответственный за образовательную программу:

профессор Вострецов А. Г.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Группа	Компетенции
	Индикаторы достижения компетенций
Общепрофессиональные компетенции	ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности
	ОПК-1. 1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы
	ОПК-1. 2 Умеет применять физические законы и математически методы для решения задач теоретического и прикладного характера
Профессиональные компетенции	ПК-2/ПР Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования
	ПК-2/ПР. 2 Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов

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

Таблица 2.1

Индикаторы достижения компетенций	Формы организации занятий
Результаты обучения	
ОПК-1. 1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы	
Понимать фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОПК-1. 2 Умеет применять физические законы и математически методы для решения задач теоретического и прикладного характера	
Использовать физические законы и математически методы для решения задач теоретического и прикладного характера	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК-2/ПР. 2 Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов	
Оценивать характеристики электронных приборов	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: 5					
Дидактическая единица: Фазовые переходы в технологии микроэлектроники					
1. Термодинамика процессов микроэлектроники	2	1	1	ОПК-1.1	Лекция
2. Фазовые переходы. Уравнение механического равновесия двух фаз (уравнение Лапласса).	4	0	0	ОПК-1.1	Лекция. Знакомится с условия равновесия на границе двух фаз.
3. Гомогенное зародышеобразование новой фазы. Уравнение Кельвина (Томсона).	4	1	1	ОПК-1.1	Лекция

4. Термодинамика гетерогенного зародышеобразования	2	0	0	ОПК-1.1,ПК-2/ПР.2	Лекция. Знакомится с большим термодинамическим потенциалом.
5. Термодинамические потенциалы. Преобразование Лежандра.	2	0	0	ОПК-1.1	Лекция
6. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона.	2	0	0	ОПК-1.1,ОПК-1.2	Лекция
7. Термодинамика однокомпонентной системы. Метастабильное состояние. Пересыщение и переохлаждение.	2	1	1	ОПК-1.1	Лекция
Дидактическая единица: Основные технологические процессы микроэлектроники					
8. Термическая диффузия	2	0	0	ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	Лекция Изучает законы диффузии, проводит расчеты для основных режимах - "загонки" и "разгонки".
9. Термическое окисление кремния	2	0	0	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	Лекция Изучает модель окисления Дила-Гроува.
10. Эпитаксия	4	1	1	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	Лекция
11. Литография	2	1	1	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	Лекция
12. Трансмутационное нгейтронное легирование полупроводников	2	0	0	ОПК-1.1	Лекция
13. Ионная имплантация примесей	2	0	0	ОПК-1.1,ПК-2/ПР.2	Лекция
14. Гетероструктуры	2	1	1	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	Лекция

Темы лабораторных работ	Часы	Из них в форме практ. подг., час.	Активные формы, час.	Индикаторы достижения компетенций	Учебная деятельность
Семестр: 5					
Дидактическая единица: Фазовые переходы в технологии микроэлектроники					
1. Технологические расчеты процесса эпитаксии	4	2	2	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	Лабораторная работа.
2. Определение геометрических размеров элементов микросхем.	4	2	2	ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	Лабораторная работа
Дидактическая единица: Основные технологические процессы микроэлектроники					
3. Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления	4	2	2	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	Лабораторная работа

4. Расчет физико-химических параметров полупроводника	4	2	2	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	Лабораторная работа

Темы для самостоятельного изучения	Часы	Из них в форме практ. подг., час.	Активные формы, час.	Индикаторы достижения компетенций	Учебная деятельность
Семестр: 5					
Дидактическая единица: Фазовые переходы в технологии микроэлектроники					
1. Концентрационные шкалы	3	1	0	ОПК-1.1	Самостоятельная работа
2. Термодинамические потенциалы и их преобразование	4	2	0	ОПК-1.1,ОПК-1.2	Самостоятельная работа
3. Гомогенное зародышеобразование. Энергия образования зародыша новой фазы.	6	0	0	ОПК-1.1,ПК-2/ПР.2	Самостоятельная работа Изучает метастабильное равновесие двух фаз и условия образования гомогенного зародыша новой фазы.
Дидактическая единица: Основные технологические процессы микроэлектроники					
4. Газофазная эпитаксия кремния	8	2	0	ОПК-1.1	Самостоятельная работа

3.1 Практическая подготовка

Таблица 3.2

№	Темы занятий	Формы организации занятий	Содержание практической подготовки (виды работ)
1	Термодинамика процессов микроэлектроники	Л	Выполняет следующие виды работ: строит фазовые диаграммы одно- и двухкомпонентных систем, определяет условия фазовых переходов.
2	Гомогенное зародышеобразование новой фазы. Уравнение Кельвина (Томсона).	Л	Выполняет следующие виды работ: знакомится с термодинамическими потенциалами и сопряженными параметрами. Переопределяет термодинамические потенциалы (U, H, F, G) с помощью преобразования Лежандра.
3	Термодинамика однокомпонентной системы. Метастабильное состояние. Пересыщение и переохлаждение.	Л	Выполняет следующие виды работ: изучает условия гомогенного зародышеобразования новой фазы в природе и технологических процессах.
4	Эпитаксия	Л	Выполняет следующие виды работ: изучает газофазную эпитаксию кремния. Изучает эпитаксию кремния в проточном реакторе атмосферного
5	Литография	Л	Выполняет следующие виды работ: знакомится с основами процесса фотолитографии. Изучает современное состояние литографических процессов, физические ограничения процессов.
6	Гетероструктуры	Л	Выполняет следующие виды работ: строит зонные диаграммы изотипных и анизотипных переходов. Изучает особенности гетеропереходов.

7	Технологические расчеты процесса эпитаксии	Лб	Выполняет следующие виды работ: рассчитывает потребность материалов для выполнения производственного плана. Учится определять концентрацию в источнике примеси для получения необходимого удельного сопротивления эпитаксиальных слоев кремния.
8	Определение геометрических размеров элементов микросхем.	Лб	Выполняет следующие виды работ: проводит измерения линейных размеров элементов интегральных схем с помощью микроскопа МИИ-4 Знакомится с интерферометром Линника. Определяет толщины слоев (Al, SiO2) в интегральных схемах.
9	Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления	Лб	Выполняет следующие виды работ: определяет оптимальные параметры эпитаксии для получения максимального выхода годных структур. Учится анализировать технологический процесс.
10	Расчет физико-химических параметров полупроводника	Лб	Выполняет следующие виды работ: рассчитывает кристаллографические и физические параметры заданного полупроводника (Si, Ge, GaAs, GaP и др.) Расчет параметров заданного полупроводника сверяется с литературными данными.
11	Концентрационные шкалы	Самост.	Выполняет следующие виды работ: пересчитывает концентрации компонентов из одной шкалы, например массовой, в другую, например в молярную или в объемную.
12	Термодинамические потенциалы и их преобразование	Самост.	Выполняет следующие виды работ: изучает термодинамические потенциалы и сопряженные параметры. Изучает преобразование Лапласса.
13	Газофазная эпитаксия кремния	Самост.	Выполняет следующие виды работ: изучает перспективы эпитаксиальной технологии кремния. Изучает современные виды эпитаксиальной технологии.

3.2 Самостоятельная работа обучающегося

Таблица 3.3

№	Виды самостоятельной работы	Индикаторы достижения компетенций	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 5				
1	Термическая диффузия примесей в кремнии	ОПК-1.1,ПК-2/ ПР.2	10	1
Расчет распределения примесей в режимах загонки и разгонки для кремния: Васильев В. Ю. Технология тонких пленок для микро- и наноэлектроники : [учебное пособие] / В. Ю. Васильев ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2019.- 105, [1] с. : ил., схемы.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000241166				
2	Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления	ОПК-1.1,ОПК-1.2	23	2

: Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2014.- 29, [1] с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854				
3	Изучение методической литературы и прграммы моделирования эпитаксии	ОПК-1.1,ОПК-1.2	30	4
: Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2014.- 29, [1] с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854 Физические основы микро- и наноэлектроники. Термодинамика зародышеобразования : методическое руководство к выполнению аудиторных практических занятий для 3 курса факультета Радиотехники и электроники по направлению 11.03.03 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2018.- 37, [3] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000238772				
4	Самостоятельное изучение теоретического материала	ОПК-1.1,ОПК-1.2,ПК-2/ПР.2	22	1
Студент изучает темы, приведенные в таблице 3.1 : Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2014.- 29, [1] с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854 Физические основы микро- и наноэлектроники. Термодинамика зародышеобразования : методическое руководство к выполнению аудиторных практических занятий для 3 курса факультета Радиотехники и электроники по направлению 11.03.03 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2018.- 37, [3] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000238772				

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	Среда электронного обучения НГТУ:DiSpace
Консультирование	Среда электронного обучения НГТУ:DiSpace
Контроль	Среда электронного обучения НГТУ:DiSpace
Размещение учебных материалов	Среда электронного обучения НГТУ:DiSpace

Таблица 3.5

Активные и интерактивные формы проведения занятий

№	Наименование активных форм
1	Дискуссия
Краткое описание применения: Обсуждение механизма гомогенного образования зародышей новой фазы на примере форм атмосферных осадков.	
Подробная информация об использовании технологии приводится в "Физические основы микро- и наноэлектроники. Термодинамика зародышеобразования : методическое руководство к выполнению аудиторных практических занятий для 3 курса факультета Радиотехники и электроники по направлению 11.03.03 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2018.- 37, [3] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000238772"	

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: 5		
Самостоятельное изучение теоретического материала:	0	
Лабораторная:	10	20
Контролирующие материалы приводятся в "Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2014.- 29, [1] с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854"		
Контрольные работы:	10	20
РГЗ/Реферат:	10	20
Контролирующие материалы приводятся в "Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2014.- 29, [1] с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854"		
Экзамен:	20	40

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
ОПК-1	ОПК-1 1. Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы	+		+	+
	ОПК-1 2. Умеет применять физические законы и математически методы для решения задач теоретического и прикладного характера		+		+
ПК-2/ПР	ПК-2/ПР 2. Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов				+

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

5. Литература

Основная литература

1. Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств : учебное пособие / Г. М. Алдонин, А. К. Дашкова, Ф. В. Зандер [и др.]. — Красноярск : СФУ, 2019. — 372 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/157551 (дата обращения: 07.04.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература

1. Смирнов, В. И. Наноэлектроника, нанофотоника и микросистемная техника : учебное пособие / В. И. Смирнов. — Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2017. — 281 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/106105.html (дата обращения: 07.04.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

Интернет-ресурсы

1. eLIBRARY.RU (Научная электронная библиотека РФФИ) [Электронный ресурс]. – [Россия], 1998. – Режим доступа: http://(www.elibrary.ru). – Загл. с экрана.

2. Исакова, И. В. Наноматериалы и нанотехнологии : учебное пособие / И. В. Исакова, Е. В. Черкасова. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2019. — 68 с. — ISBN 978-5-00137-058-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/122211 (дата обращения: 04.06.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - ЭБС издательства Лань, 2016. - Режим доступа: https://e.lanbook.com/. - Загл. с экрана.

6. Методическое и программное обеспечение, информационные технологии

6.1 Методическое обеспечение

1. Физические основы микро- и наноэлектроники. Термодинамика зародышеобразования : методическое руководство к выполнению аудиторных практических занятий для 3 курса факультета Радиотехники и электроники по направлению 11.03.03 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2018.- 37, [3] с. : ил..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000238772

2. Моделирование процесса эпитаксии кремния в реакторе атмосферного давления : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 3 курса РЭФ направления 211200.62 'Конструирование и технология электронных средств' / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой].- Новосибирск, 2014.- 29, [1] с. : ил., табл..- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000207854

3. Васильев В. Ю. Технология тонких пленок для микро- и наноэлектроники : [учебное пособие] / В. Ю. Васильев ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск, 2019.- 105, [1] с. : ил., схемы.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000241166

6.2 Специализированное программное обеспечение

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется

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)	Лабораторные работы по дисциплине Физические основы микро- и наноэлектроники