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
Специальные главы физики полупроводниковых приборов

Образовательная программа: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, магистерская программа: Электронные и микроэлектронные системы

Курс: 1, семестр : 2

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	**Вид деятельности**	**2**
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	56
4	Лекции, час.	34
5	Практические занятия, час.	0
6	Лабораторные занятия, час.	16
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	9
8	из них практической подготовки, час.	12
9	Аттестация, час.	2
10	Консультации, час.	4
11	Самостоятельная работа, час.	88
12	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ(Р)/реферат, подготовка к контрольной работе)	контр.
13	Вид аттестации	Э

Новосибирск 2026

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

ФГОС введен в действие приказом №959 от 22.09.2017 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): 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

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 Харитонов С. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Группа	Компетенции
	Индикаторы достижения компетенций
Профессиональные компетенции	ПК-11/НА Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию
	ПК-11/НА. 3 Владеет навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники
Профессиональные компетенции	ПК-12/НА Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
	ПК-12/НА. 3 Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов
Профессиональные компетенции	ПК-13/НА Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации.
	ПК-13/НА. 1 Знает принципы проведения анализа полноценности и эффективности экспериментальных исследований
Профессиональные компетенции	ПК-14/НА Способен анализировать и выбирать перспективные технологические процессы и оборудование для производства изделий микроэлектроники
	ПК-14/НА. 1 Знает основные принципы выбора перспективных технологий производства изделий микроэлектроники

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

Таблица 2.1

Индикаторы достижения компетенций	Формы организации занятий
Результаты обучения	
ПК-11/НА. 3 Владеет навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники	
Иметь представление об основных физических особенностях и моделях для микро и наноструктур	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Иметь представление о современных тенденциях развития физики и технологии нанотранзисторов	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать физику процесса миниатюризации субмикронных и наномикронных КМОПТ	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать физику КМОПТ на напряженном кремнии	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать физику КМОПТ на КНИ-структурах	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать физику основных эффектов в субмикронных и наномикронных КМОПТ	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать физику высокочастотных транзисторов на гетеропереходах	Лекции; Самостоятельная работа
ПК-12/НА. 3 Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов	
Уметь анализировать принципы действия высокоскоростных наномикронных транзисторов с помощью зонных диаграмм	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Иметь опыт применения математических моделей для анализа элементной базы СБИС и УБИС	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК-13/НА. 1 Знает принципы проведения анализа полноценности и эффективности экспериментальных исследований	
Уметь численно вычислять основные параметры полупроводниковых интегральных резисторов	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

Уметь численно вычислять основные параметры современных КМОПТ	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК-14/НА. 1 Знает основные принципы выбора перспективных технологий производства изделий микроэлектроники	
Иметь представление об основных современных полупроводниковых микро и наноструктурах	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать понятийный аппарат (терминологию) дисциплины	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
Знать физику интегральных полупроводниковых резисторов	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: 2					
Дидактическая единица: Физика интегральных полупроводниковых резисторов					
1. Полупроводниковые резисторы. Конструкция, модель и параметры	4	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Полупроводниковые диффузионные резисторы. Конструкция, модель и параметры диффузионных, пленочных и пинч-резисторов. Эффект ширины в интегральных диффузионных и полосковых резисторах. Температурная чувствительность полупроводниковых резисторов. Лазерная подгонка
2. Экспериментальные методики и тестовые структуры для полупроводниковых резисторов	2	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Тестовая структура и методика нахождения Rs и эффективной ширины полоскового резистора. Четырехзондовый метод Вальдеса. Электрофизическое обоснование четырехзондового метода. Метод Ван дер Пау. Структура "греческий крест" и ее преимущества перед полосковой структурой. Контактное сопротивление резистора и сопротивления растекания. Резисторы Кельвина. Конструкция, параметры, назначение.

3. Методы моделирования и расчета полупроводниковых резисторов	2	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Коэффициент формы неполоскового тонкопленочного резистора и полоскового со сложными контактами. Модель тонкопленочного однороднолегированного полоскового резистора со сложными контактами. Применение метода конформных отображений для нахождения сопротивления тонкопленочного резистора сложной формы.
Дидактическая единица: Физика миниатюризации субмикронных и наномикронных КМОПТ					
4. КМОП-технологии	4	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	КМОП-технологии. Закон Мура и три современных пути развития КМОП-технологии. Модель Шихмана-Ходжеса и ее "черный ящик". Процесс миниатюризации и его влияние на параметры КМОПТ
5. Основные особенности процесса миниатюризации	4	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Компромиссы миниатюризации. Зависимость граничной частоты КМОПТ от конструктивно-технологических параметров. Основные конструктивно-технологические способы увеличения быстродействия КМОПТ. Правила Деннарта и скейлинг параметров. Связь масштабирования по Деннарту с эффектами сильных полей. Основные проблемы миниатюризации межсоединений.
Дидактическая единица: Физика и технология КМОПТ на напряженном кремнии					

6. Физические основы напряженного кремния	2	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Напряженный кремний, гидростатическое сжатие и эффект Смита. Влияние анизотропных механических напряжений на структуру зоны проводимости в кремнии. Рост подвижности электронов. Влияние анизотропных механических напряжений на структуру валентной зоны в кремнии. Рост подвижности дырок. Особенности КМОПТ на напряженном кремнии
7. Технологии напряженного кремния	2	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Технологии напряженного кремния 1 поколения. Основные источники механических напряжений(стрессоры) в технологиях 2 поколения. Напряженные КМОПТ, изготовленные по технологии cap-слоя (CELS). Напряженные МОПТ, изготовленные по технологии с запоминанием напряжения(STM) КМОПТ, изготовленные по технологии напряженных исток/стоков (embedded). Комбинированные технологии напряженного кремния.
Дидактическая единица: Физика и технология КМОПТ на КНИ-структурах					
8. КМОПТ на КНИ-структурах	2	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Основные особенности КМОПТ на структурах КНИ. Эффект "защелкивания" в структурах КМОПТ на объемном кремнии. Электрофизические особенности частично и полностью обедненных КМОПТ на структурах КНИ. Многозатворные КМОПТ (FinFET).

9. Основные технологии для КНИ-структур	4	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Технология SIMOX для КНИ. Достоинства и недостатки. Технология сращивания пластин (SMART CUT). Достоинства и недостатки. Мелкая траншейная изоляция в КНИ структурах (STI). Глубокая траншейная изоляция в структурах на объемном кремнии (DTI). Bosch-процесс
Дидактическая единица: Основные физические эффекты в субмикронных и наномикронных КМОПТ					
10. Геометрические и токовые эффекты в КМОПТ	4	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Короткоканальный эффект порогового напряжения Паразитные токовые эффекты короткого канала.
11. Эффекты сильных полей в КМОПТ	2	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Эффекты сильных полей в МОПТ: горячие электроны и лавинное умножение, ток в подложку, снижение барьера на истоке, биполярный и kink-эффекты. Методы технологической оптимизации структуры исток-стоков КМОПТ с цель снижения эффектов сильных полей
Дидактическая единица: Физические особенности и структуры высокочастотных транзисторов					
12. Физика высокочастотных транзисторов	2	0	0	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Физические процессы в гетеропереходах. Гетероструктурные биполярные транзисторы (HBT). Варизонные гетеробиполярные транзисторы с Si-Ge базой. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT).

Темы лабораторных работ	Часы	Из них в форме практ. подг., час.	Активные формы, час.	Индикаторы достижения компетенций	Учебная деятельность
Семестр: 2					
Дидактическая единица: Физика интегральных полупроводниковых резисторов					

1. Конструкция, модель и параметры полупроводниковых интегральных резисторов	4	3	3	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Конструкция, модель и параметры диффузионных, пленочных и пинч-резисторов. Эффект ширины в интегральных диффузионных и полосковых резисторах. Температурная чувствительность полупроводниковых резисторов. Коэффициент формы неполоскового тонкопленочного резистора и полоскового со сложными контактами. Модель тонкопленочного однороднолегированного полоскового резистора со сложными контактами. Применение метода конформных отображений для нахождения сопротивления тонкопленочного резистора сложной формы.Тестовая структура и методика нахождения Rs и эффективной ширины полоскового резистора. Четырехзондовый метод Вальдеса. Тестовая структура и методика нахождения Rs и эффективной ширины полоскового резистора. Четырехзондовый метод Вальдеса. Электрофизическое обоснование четырехзондового метода. Метод Ван дер Пау. Структура "греческий крест" и ее преимущества перед полосковой структурой. Контактное сопротивление резистора и сопротивления растекания. Резисторы Кельвина.
Дидактическая единица: Физика миниатюризации субмикронных и наномикронных КМОПТ					

2. Современные микро- и наноКМОПТ	4	3	2	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	КМОП-технологии. Закон Мура и три современных пути развития КМОП-технологии. Модель Шихмана-Ходжеса и ее "черный ящик". Процесс миниатюризации и его влияние на параметры КМОПТ Правила Деннарта и скейлинг параметров. Компромиссы миниатюризации. Зависимость граничной частоты КМОПТ от конструктивно-технологических параметров.
Дидактическая единица: Физика и технология КМОПТ на напряженном кремнии					
3. КМОПТ на напряженном кремнии	4	3	2	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Напряженный кремний, гидростатическое сжатие и эффект Смита. Влияние анизотропных механических напряжений на структуру зоны проводимости в кремнии. Рост подвижности электронов. Влияние анизотропных механических напряжений на структуру валентной зоны в кремнии. Рост подвижности дырок. Особенности КМОПТ на напряженном кремнии. Технологии напряженного кремния 1 и 2 поколений
Дидактическая единица: Физика и технология КМОПТ на КНИ-структурах					
4. КМОПТ на КНИ-структурах	4	3	2	ПК-11/НА.3, ПК-12/НА.3, ПК-13/НА.1, ПК-14/НА.1	Основные особенности КМОПТ на структурах КНИ. Эффект "защелкивания" в структурах КМОПТ на объемном кремнии. Электрофизические особенности частично и полностью обедненных КМОПТ на структурах КНИ. Многозатворные КМОПТ (FinFET)

3.1 Практическая подготовка

Таблица 3.2

№	Темы занятий	Формы организации занятий	Содержание практической подготовки (виды работ)
1	Конструкция, модель и параметры полупроводниковых интегральных резисторов	Лб	Выполняет следующие виды работ: расчет параметров полупроводниковых приборов

2	Современные микро- и наноКМОПТ	Лб	Выполняет следующие виды работ: расчет параметров полупроводниковых приборов
3	КМОПТ на напряженном кремнии	Лб	Выполняет следующие виды работ: расчет параметров полупроводниковых приборов
4	КМОПТ на КНИ-структурах	Лб	Выполняет следующие виды работ: расчет параметров полупроводниковых приборов

3.2 Самостоятельная работа обучающегося

Таблица 3.3

№	Виды самостоятельной работы	Индикаторы достижения компетенций	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 2				
1	Контрольные работы	ПК-12/НА.3,ПК-13/НА.1	20	0
Подготовка отчета по контрольной работе: Двумерное моделирование транзисторов в TCAD MicroTec : методическое руководство по курсовому проектированию для 4 курса РЭФ по направлениям 210100 - Электроника и микроэлектроника и 210600 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Е. А. Макаров и др.]. - Новосибирск, 2009. - 83 с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000121588				
2	Подготовка к занятиям	ПК-11/НА.3,ПК-14/НА.1	40	0
Работа с конспектом лекций и рекомендованной литературой : Двумерное моделирование транзисторов в TCAD MicroTec : методическое руководство по курсовому проектированию для 4 курса РЭФ по направлениям 210100 - Электроника и микроэлектроника и 210600 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Е. А. Макаров и др.]. - Новосибирск, 2009. - 83 с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000121588				
3	Дополнительная учебная деятельность	ПК-11/НА.3,ПК-14/НА.1	4	0
Работа с иностранной литературой и публикациями из Интернета: Двумерное моделирование транзисторов в TCAD MicroTec : методическое руководство по курсовому проектированию для 4 курса РЭФ по направлениям 210100 - Электроника и микроэлектроника и 210600 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Е. А. Макаров и др.]. - Новосибирск, 2009. - 83 с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000121588				
4	Подготовка к аттестации	ПК-11/НА.3,ПК-12/НА.3,ПК-13/НА.1,ПК-14/НА.1	24	4
Подготовка к защите тем (дидактических единиц): Двумерное моделирование транзисторов в TCAD MicroTec : методическое руководство по курсовому проектированию для 4 курса РЭФ по направлениям 210100 - Электроника и микроэлектроника и 210600 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Е. А. Макаров и др.]. - Новосибирск, 2009. - 83 с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000121588				

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
Консультирование	e-mail

Контроль	e-mail
Размещение учебных материалов	e-mail

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: 2		
Лекция:	2	4
Лабораторная:	22	44
Контрольные работы:	6	12
Экзамен:	20	40
Контролирующие материалы приводятся в "Двумерное моделирование транзисторов в TCAD MicroTec : методическое руководство по курсовому проектированию для 4 курса РЭФ по направлениям 210100 - Электроника и микроэлектроника и 210600 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Е. А. Макаров и др.]. - Новосибирск, 2009. - 83 с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000121588"		

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

Таблица 4.2

Коды компетенций	**Индикаторы достижения компетенций**	**Формы контроля**	
		Контр. раб.	**Экзамен**
ПК-11/НА	ПК-11/НА 3. Владеет навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники		+
ПК-12/НА	ПК-12/НА 3. Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов	+	+
ПК-13/НА	ПК-13/НА 1. Знает принципы проведения анализа полноценности и эффективности экспериментальных исследований	+	+
ПК-14/НА	ПК-14/НА 1. Знает основные принципы выбора перспективных технологий производства изделий микроэлектроники		+

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

5. Литература

Основная литература

1. Шалимова, М. Б. Полупроводниковые приборы. Практикум: практикум : учебное пособие / М. Б. Шалимова. — Самара : Самарский университет, 2024. — 96 с. — ISBN 978-5-7883-2056-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/480545 (дата обращения: 00.00.0000). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература

1. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. — 9-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-0368-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/210338 (дата обращения: 22.06.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Интернет-ресурсы

1. Znanium.com : электронно-библиотечная система : сайт. – Москва, 2011– . – URL: http://znanium.com/ (дата обращения: 02.03.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

2. Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - ЭБС "Лань", 2016. - Режим доступа : http://e.lanbook.com. - Загл. с экрана.

6. Методическое и программное обеспечение, информационные технологии

6.1 Методическое обеспечение

1. Двумерное моделирование транзисторов в TCAD MicroTec : методическое руководство по курсовому проектированию для 4 курса РЭФ по направлениям 210100 - Электроника и микроэлектроника и 210600 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Е. А. Макаров и др.]. - Новосибирск, 2009. - 83 с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000121588

2. Физика полупроводниковых приборов : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ по направлениям 210100.62 - Электроника и наноэлектроника, 222900.62 - Нанотехнология / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин, Е. А. Макаров, А. С. Черкаев].- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014.- 90, [2] с. : ил. табл.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000213790

6.2 Специализированное программное обеспечение

1 MathCAD - это интегрированная система программирования, ориентированная на проведение математических и инженерно-технических расчетов. PTC MathCAD

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)	Используется для практических занятия