МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента по учебной работе
_____Ким М.Ю.
«29» _____10_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Электроника, наноэлектроника и микросистемная техника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Передовая инженерная школа «Электронное приборостроение и системы связи» (ПИШ)**
Кафедра: **передовая инженерная школа (ПИШ)**
Курс: **1**
Семестр: **2**
Учебный план набора 2026 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	2 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	28	28	часов
Практические занятия	36	36	часов
Самостоятельная работа	80	80	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	180	180	часов
	5	5	з.е.

Формы промежуточной аттестации	Семестр
Экзамен	2

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ким М.Ю.
Должность: Директор департамента по учебной работе
Дата подписания: 29.10.2025
Уникальный программный ключ:
ed789cd8-2cc6-4431-a59e-8f386b1d44fa

Томск

Согласована на портале № 85561

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Сформировать представление о явлениях и процессах, на которых основаны современные технологии микро- и наноэлектроники.

1.2. Задачи дисциплины

1. Изучение технологии создания структур микро- и наноэлектроники с учетом технологичности и экономической эффективности технологических процессов.
2. Формирование способности к организации и проведению экспериментальных исследований изделий микро- и наноэлектроники с применением современных средств и методов.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Обязательная часть.
Модуль дисциплин: Профессиональный модуль.
Индекс дисциплины: Б1.О.02.05.
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 использовать современные достижения науки и передовые технологии в профессиональной деятельности	ПК-2.1. Знает современные подходы к исследованию и разработке объектов профессиональной деятельности	знает современные подходы к исследованию и разработке современных технологий микро- и наноэлектроники
	ПК-2.2. Умеет проводить исследования и разработку с использованием современных достижений науки и передовых технологий при решении задач профессиональной деятельности	умеет проводить исследования и разработку технологических процессов микро- и наноэлектроники с использованием современных достижений науки и передовых технологий
	ПК-2.3. Владеет современными технологиями проектирования объектов профессиональной деятельности	владеет навыками разработки базовых технологических процессов; владеет умением разрабатывать технологическую документацию на процессы и маршруты

Согласована на портале № 85561

ПК-4. Способен осуществлять проектирование и разработку технологических процессов производства объектов профессиональной деятельности	ПК-4.1. Знает теоретические основы проектирования технологических процессов, принципы функционирования современного промышленного оборудования и требования нормативно-технической документации в области производства электронных средств	знает основы проектирования технологических процессов, принципы функционирования технологического оборудования, требования нормативно-технической документации в области производства электронных средств
	ПК-4.2. Умеет разрабатывать последовательность технологических операций, выбирать необходимые материалы и оптимизировать режимы производства для обеспечения требуемых параметров изделий электроники и наноэлектроники	умеет разрабатывать интегральные схемы и технологические маршруты их изготовления, выбирать материалы, оптимальные технологические режимы для обеспечения требуемых параметров изделий микро- и наноэлектроники
	ПК-4.3. Владеет современными программными инструментами проектирования и методами контроля качества при реализации технологических процессов производства объектов профессиональной деятельности	владеет методами контроля качества при реализации технологических процессов микро- и наноэлектроники

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 5 зачетных единиц, 180 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
		2 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	64	64
Лекционные занятия	28	28
Практические занятия	36	36
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	80	80
Подготовка к тестированию	9	9

Согласована на портале № 85561

Написание отчета по практическому занятию (семинару)	28	28
Подготовка к контрольной работе	18	18
Выполнение творческого задания	25	25
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость (в часах)	180	180
Общая трудоемкость (в з.е.)	5	5

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	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
2 семестр					
1 Анализ современных структур и технологий в микро- и наноэлектронике	2	4	7	13	ПК-2, ПК-4
2 Субмикронная литография	4	8	7	19	ПК-2, ПК-4
3 Ионное легирование полупроводников	4	8	7	19	ПК-2, ПК-4
4 Быстрый термический отжиг	2	-	3	5	ПК-2
5 Травление микро- и наноструктур	4	2	7	13	ПК-2, ПК-4
6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	4	2	7	13	ПК-2
7 Формирование транзисторов в приповерхностных слоях кремния	4	4	7	15	ПК-2, ПК-4
8 Масштабирование межсоединений и межуровневой разводки	2	-	3	5	ПК-2, ПК-4
9 Системы на кристалле	2	8	32	42	ПК-2, ПК-4
Итого за семестр	28	36	80	144	
Итого	28	36	80	144	

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
2 семестр			
1 Анализ современных структур и технологий в микро- и наноэлектронике	Масштабирование МОП транзисторов. Конструктивно-технологические особенности FINFEET	2	ПК-2
	Итого	2	

2 Субмикронная литография	Основные понятия и тенденции. Иммерсионная литография КУФдиапазона. Литография ЭУФ-диапазона. Импринтинг. Электронная литография. Технология электронно-лучевой литографии	4	ПК-2
	Итого	4	
3 Ионное легирование полупроводников	Технология ионного легирования. Взаимодействие ионов с твердым телом. Распределение внедренной примеси по глубине. Радиационные дефекты при ионном легировании. Области применения ионного легирования	4	ПК-2
	Итого	4	
4 Быстрый термический отжиг	История развития импульсного отжига. Методы и оборудование быстрого термического отжига. Быстрый отжиг ионно-легированных слоёв. Быстрая термическая обработка при формировании плёнок силицидов металлов, а также плёнок термического оксида кремния или оксинитрида кремния. Новые методы импульсного отжига	2	ПК-2
	Итого	2	
5 Травление микро- и наноструктур	Классификация методов травления. Жидкостное химическое травление. Физика ионного травления. Разрешающая способность ионно-лучевого травления. Выбор и обработка маскирующих материалов при ионном травлении. Модель процесса травления материалов энергетическими и химически активными частицами. Методы плазменного травления. Устройства для реализации плазмохимического травления	4	ПК-2, ПК-4
	Итого	4	

Согласована на портале № 85561

6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	Атомно-слоевое химическое осаждение из газовой фазы. Ионное и ионно-плазменное осаждение тонких пленок в технологии интегральных схем. Селективная эпитаксия. Оборудование для химико-механической планаризации. Технология химико-механической планаризации	4	ПК-2
	Итого	4	
7 Формирование транзисторов в приповерхностных слоях кремния	Основные понятия и тенденции развития. Инженерия канала транзистора. Инженерия затвора МОП-транзистора. Технологический маршрут FEOL	4	ПК-2, ПК-4
	Итого	4	
8 Масштабирование межсоединений и межуровневой разводки	Инженерия межуровневой разводки. Инженерия межуровневого диэлектрика. Технологический маршрут BEOL – двойной дамасский процесс. Время задержки сигнала в сверхбольших интегральных схемах. Масштабирование межсоединений для логических устройств на основе finFET	2	ПК-2, ПК-4
	Итого	2	
9 Системы на кристалле	Системы на кристалле	2	ПК-2, ПК-4
	Итого	2	
Итого за семестр		28	
Итого		28	

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
2 семестр			
1 Анализ современных структур и технологий в микро- и наноэлектронике	Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных МОП интегральных схем	4	ПК-2, ПК-4
	Итого	4	

Согласована на портале № 85561

2 Субмикронная литография	Разрешающая способность проекционной литографии для формирования субмикронных размеров маски в слое резиста на подложке	4	ПК-2, ПК-4
	Разрешающая способность электронной литографии для формирования субмикронных размеров маски в слое резиста на подложке	4	ПК-2, ПК-4
	Итого	8	
3 Ионное легирование полупроводников	Получение сверхмелких p-n переходов в МОП – транзисторах	4	ПК-2, ПК-4
	Формирование структур кремний на изоляторе (КНИ) по SIMOX технологии с помощью ионной имплантации	4	ПК-2, ПК-4
	Итого	8	
5 Травление микро- и наноструктур	Формирование глубоких тренчей в технологии кремниевой наноэлектроники	2	ПК-2
	Итого	2	
6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных МОП интегральных схем	2	ПК-2
	Итого	2	
7 Формирование транзисторов в приповерхностных слоях кремния	Формирование LDD областей в технологии МОП СБИС	4	ПК-2, ПК-4
	Итого	4	
9 Системы на кристалле	Формирование гетеробиполярных транзисторов с базой pSiGe с помощью ионной имплантации	4	ПК-2, ПК-4
	Формирование элементов памяти на аморфном кремнии p-типа с помощью ионной имплантации	4	ПК-2, ПК-4
	Итого	8	
Итого за семестр		36	
Итого		36	

5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

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.

Согласована на портале № 85561

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

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
2 семестр				
1 Анализ современных структур и технологий в микро- и наноэлектронике	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2, ПК-4	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Итого	7		
2 Субмикронная литография	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2, ПК-4	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Итого	7		
3 Ионное легирование полупроводников	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2, ПК-4	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Итого	7		
4 Быстрый термический отжиг	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Итого	3		
5 Травление микро- и наноструктур	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2, ПК-4	Контрольная работа
	Итого	7		

Согласована на портале № 85561

6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	Подготовка к тестированию	1	ПК-2	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2	Контрольная работа
	Итого	7		
7 Формирование транзисторов в приповерхностных слоях кремния	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2, ПК-4	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2, ПК-4	Контрольная работа
	Итого	7		
8 Масштабирование межсоединений и межуровневой разводки	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2, ПК-4	Контрольная работа
	Итого	3		
9 Системы на кристалле	Подготовка к тестированию	1	ПК-2, ПК-4	Тестирование
	Написание отчета по практическому занятию (семинару)	4	ПК-2, ПК-4	Отчет по практическому занятию (семинару)
	Подготовка к контрольной работе	2	ПК-2, ПК-4	Контрольная работа
	Выполнение творческого задания	25	ПК-2, ПК-4	Творческое задание
	Итого	32		
Итого за семестр		80		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		116		

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

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий 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.	Сам. раб.	

Согласована на портале № 85561

ПК-2	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию (семинару), Творческое задание, Тестирование, Экзамен
ПК-4	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию (семинару), Творческое задание, 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
2 семестр				
Контрольная работа	6	0	6	12
Тестирование	6	6	6	18
Творческое задание	0	0	10	10
Отчет по практическому занятию (семинару)	10	10	10	30
Экзамен				30
Итого максимум за период	22	16	32	100
Нарастающим итогом	22	38	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)

Согласована на портале № 85561

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Данилина, Тамара Ивановна. Современные технологии микро- и наноэлектроники : учебное пособие. - Томск : Издательство ТУСУРа , 2020. - 340 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 47 экз.).

2. Данилина, Тамара Ивановна. Технология кремниевой наноэлектроники : учебное пособие. - Томск : ТУСУР , 2015. - 319 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 31 экз.).

3. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебное пособие / Е. В. Анищенко, Т. И. Данилина, В. А. Кагадей - 2011. 263 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/552.

7.2. Дополнительная литература

1. Данилина, Тамара Ивановна. Технология СБИС : Учебное пособие. - Томск : ТУСУР , 2007. - 287 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 48 экз.).

2. 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.

3. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов. - Томск : ТУСУР , 2005. - 316 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 101 экз.).

4. Данилина, Тамара Ивановна. Ионно-плазменные технологии в производстве СБИС : Учебное пособие. - Томск : Издательство ТУСУР , 2000. - 140 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 47 экз.).

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Чистоедова, Инна Анатольевна. Современные микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для магистрантов по направлению 11.04.04 "Электроника и наноэлектроника". - Томск : Издательство ТУСУРа , 2022. - 56 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 26 экз.).

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

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,

Согласована на портале № 85561

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 лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (13 шт.);
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- LibreOffice;
- Microsoft Windows 7;
- PDF-XChange Viewer;

8.3. 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, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 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.

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

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами 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

Согласована на портале № 85561

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 Анализ современных структур и технологий в микро- и наноэлектронике	ПК-2, ПК-4	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
2 Субмикронная литография	ПК-2, ПК-4	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
3 Ионное легирование полупроводников	ПК-2, ПК-4	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

Согласована на портале № 85561

4 Быстрый термический отжиг	ПК-2	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Травление микро- и наноструктур	ПК-2, ПК-4	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 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	ПК-2	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
7 Формирование транзисторов в приповерхностных слоях кремния	ПК-2, ПК-4	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
8 Масштабирование межсоединений и межуровневой разводки	ПК-2, ПК-4	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

Согласована на портале № 85561

9 Системы на кристалле	ПК-2, ПК-4	Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
		Творческое задание	Примерный перечень тем для творческих заданий
		Отчет по практическому занятию (семинару)	Темы практических занятий

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 № 85561

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. Почему разрешающая способность электронно-лучевой литографии выше, чем оптической фотолитографии? а) энергия электронов меньше, чем энергия фотонов; б) длина волны излучения для ускоренных электронов меньше, чем длина волны УФ-излучения; в) длина волны для ускоренных электронов больше, чем длина волны УФ-излучения. г) энергия электронов больше, чем энергия фотонов
2. Чем обусловлен размерный эффект близости в ЭЛЛ? а) уширением электронного пучка за счет рассеяния электронов; б) уменьшением диаметра электронного луча; в) увеличением расстояния между линиями. г) увеличением диаметра электронного пучка
3. Указать причину, по которой для ионной имплантации бора используют тяжелые молекулы, содержащие бор… а) увеличение энергии ионов бора; б) увеличение xp-n; в) уменьшение xp-n. г) уменьшение энергии ионов бора
4. Какую концентрацию германия надо обеспечить при формировании слоя Si0,7Ge0,3 в МОП-транзисторах с целью создания напряженного кремния для канала? Подложка – кремний с атомной плотностью N0. а) равную 0,7·N0; б) равную 0,3·N0; в) равную 0,3/0,7·N0. г) равную 0,7/0,3
5. Ионно-лучевое травление является результатом… а) физического распыления ионами инертных газов в высоком вакууме; б)физического распыления и химической реакции; в) травлением за счет радикалов. г) физического распыления ионами инертных газов в плазме
6. Какой получится размер линии в пленке толщиной 0,5 мкм в результате анизотропного травления с A=10, если размер маски 0,5 мкм? а) 0,5; б) 0,4; в) 0,6. г) 0,7
7. Для обеспечения высокой разрешающей способности ионно-лучевого травления необходимы маски: а) с высоким коэффициентом распыления материала маски; б) с низким коэффициентом распыления материала маски; в) коэффициент распыления не влияет г) с переменным коэффициентом распыления
8. Как связана минимальная ширина экспонируемой линии bmin с диаметром сфокусированного электронного луча dmin с учетом бокового рассеяния электронов Δy? а) b_min=d_min+Δy; б) b_min=d_min+2Δy; в) b_min=d_min+1/2 Δy. г) bmin=dmin+4Δy
9. Время экспонирования одного элемента разложения в ЭЛЛ будет меньше, если… а) выбрать резист с более высокой чувствительностью S0; б) сфокусировать луч до меньшего размера dmin; в) уменьшить яркость источника электронов B. г) выбрать резист

Согласована на портале № 85561

с более низкой чувствительностью
10. Определить дозу ионов кислорода при формировании "захоронненого" слоя SiO2 по SIMOX-технологии при атомной плотности кремния N0 и при проецированном пробеге ионов кислорода Rp. а) Q=2·N_0·R_p; б) Q=N_0·R_p; в) Q=1/2·N_0·R_p. г) Q=4 N0Rp

9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Рассмотреть возможность уменьшения глубины залегания p-n перехода за счет аморфизации приповерхностных слоев кремния
2. Сравнение электронной и ионной литографии
3. Объяснить появление эффекта близости. Исследовать влияние толщины резиста на получение малых экспонируемых областей при их близком взаимном расположении
4. Оценить глубину залегания p-n перехода при легировании моноионами бора и кластерными ионами
5. Применение ионного легирования для самосовмещения затвора с областями стока-истока в МДП-транзисторах
6. Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных КМОП-интегральных схем
7. Субмикронная фотолитография
8. Формирование силицидных пленок с помощью ионной имплантации
9. Технология электронно-лучевой литографии. Время экспонирования
10. Транзисторы с каналом на основе напряженного кремния и SiGe

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. Почему разрешающая способность электронной литографии выше, чем оптической?
2. Объяснить, зачем при ионной имплантации ионов бора используют тяжелые молекулы, содержащие бор.
3. Как получается рисунок при последовательной ЭЛЛ?
4. Представить распределение бора по глубине при ионной имплантации моноионов бора и кластерных ионов при одинаковом ускоряющем напряжении и дозе облучения на установке. Кластер состоит из 50 атомов.
5. Рассмотреть взаимосвязь между минимальной шириной экспонируемой линии и диаметром сфокусированного луча.
6. Рассчитать параметры ионной имплантации для молекулы B10H14, если энергия моноионов бора составляет 0,1 кэВ, а доза облучения – 5·10^13 ион/см2.

9.1.4. Темы практических занятий

1. Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных МОП интегральных схем
2. Разрешающая способность проекционной литографии для формирования субмикронных размеров маски в слое резиста на подложке
3. Разрешающая способность электронной литографии для формирования субмикронных размеров маски в слое резиста на подложке
4. Получение сверхмелких p-n переходов в МОП – транзисторах
5. Формирование структур кремний на изоляторе (КНИ) по SIMOX технологии с помощью ионной имплантации
6. Формирование глубоких тренчей в технологии кремниевой наноэлектроники
7. Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных МОП интегральных схем
8. Формирование LDD областей в технологии МОП СБИС
9. Формирование гетеробиполярных транзисторов с базой pSiGe с помощью ионной имплантации
10. Формирование элементов памяти на аморфном кремнии p-типа с помощью ионной имплантации

9.1.5. Примерный перечень тем для творческих заданий

Согласована на портале № 85561

1. Новые типы транзисторов для СБИС с улучшенными характеристиками
2. Технологический маршрут изготовления BiFET-структур
3. Наноимпринтинг. Современные проблемы формирования трехмерных СБИС
4. Атомно-слоевое осаждение диэлектриков
5. Селективная гетероэпитаксия в технологии BICMOS
6. Формирование SiGe-наноструктур методом ионной имплантации
7. Формирование межэлементных соединений и межуровневой разводки
8. Перспективные методы нанолитографии
9. Современное состояние технологии многоуровневой системы металлизации кремниевых ИС
10. Применение ионной имплантации в микро- и нанотехнологиях

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 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

Согласована на портале № 85561

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.

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 № 85561

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПИШ
протокол № 3 от «21» 10 2025 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПИШ	А.С. Перин	Согласовано, a0f1668d-d020-4ff4-9a8a-4ff4e15b36fe
Заведующий обеспечивающей каф. ПИШ	А.С. Перин	Согласовано, a0f1668d-d020-4ff4-9a8a-4ff4e15b36fe
Начальник учебного управления	Г.А. Цой	Согласовано, 8a5745e4-63a0-4946-bbb0-ce4977ac113e

ЭКСПЕРТЫ:

Заместитель директора по образованию, каф. Передовая инженерная школа "Электронное приборостроение и системы связи" им. А.В. Кобзева	А.В. Жечева	Согласовано, 10222954-0bcd-4026-99f7-5b18919a1928
Доцент, каф. ФЭ	Ю.С. Жидик	Согласовано, db64d8d8-4523-45e4-9f1c-901117524a6a

РАЗРАБОТАНО:

Доцент, каф. ФЭ	И.А. Чистоедова	Разработано, 2114f42c-7cf2-4826-9f35-9a75ea4961b2

Согласована на портале № 85561