**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

# Технология кремниевой наноэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль): **Микроэлектроника и твердотельная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **4**
Семестр: **8**
Учебный план набора 2013 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 8 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 36 | 36 | часов |
| 2 | Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| 3 | Лабораторные работы | 16 | 16 | часов |
| 4 | Всего аудиторных занятий | 70 | 70 | часов |
| 5 | Из них в интерактивной форме | 16 | 16 | часов |
| 6 | Самостоятельная работа | 74 | 74 | часов |
| 7 | Всего (без экзамена) | 144 | 144 | часов |
| 8 | Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| 9 | Общая трудоемкость | 180 | 180 | часов |
| | | 5.0 | 5.0 | З.Е |

Экзамен: 8 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 14927

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 77 от «11» 1 2017 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 2015-03-12 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

| | | |
|---|---|---|
| доцент каф. ФЭ | _____ | Чистоедова И. А. |
| Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ | _____ | Троян П. Е. |

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки (специальности).

| | | |
|---|---|---|
| Декан ФЭТ | _____ | Воронин А. И. |
| Заведующий выпускающей каф. ФЭ | _____ | Троян П. Е. |

Эксперты:

| | | |
|---|---|---|
| Председатель методической комиссии каф.ФЭ | _____ | Чистоедова И. А. |
| Председатель методической комиссии факультета ЭТ (ФЭТ) каф.ФЭ | _____ | Чистоедова И. А. |

Согласована на портале № 14927

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

освоение студентами комплекса теоретических и практических знаний в области перспективных технологических процессов, которые позволяют увеличить степень интеграции схем, и позволяют создавать сверхбольшие интегральные схемы для кремниевой наноэлектроники.

### 1.2. Задачи дисциплины

– знать современные задачи микро- и наноэлектроники;

– знать базовые технологические процессы производства СБИС для кремниевой наноэлектроники;

– уметь разработать, рассчитать технологический маршрут и выбрать параметры технологических операций.

–

–

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Технология кремниевой наноэлектроники» (Б1.В.ДВ.9.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Вакуумная и плазменная электроника, Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты, Моделирование и проектирование микро- и наносистем, Основы технологии электронной компонентной базы, Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена, Процессы микро- и нанотехнологии, Твердотельная электроника, Технология материалов микро- и наноэлектроники, Физика, Химия, Элементная база микро- и наносистем, Элементы и приборы наноэлектроники.

Последующими дисциплинами являются: .

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-8 способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники;

– ПСК-2 готовностью к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники;

В результате изучения дисциплины студент должен:

– **знать** – физико-химические основы базовых технологических процессов производства кремниевых ИС; – базовые маршруты изготовления кремниевых интегральных схем; – принципы разработки технологических маршрутов производства кремниевых ИС;

– **уметь** – разрабатывать технологические маршруты изготовления кремниевых ИС; – выбирать параметры технологических операций;

– **владеть** – навыками разработки базовых технологических процессов;

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 8 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 70 | 70 |
| Лекции | 36 | 36 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| Лабораторные работы | 16 | 16 |

Согласована на портале № 14927

| | | |
|---|---|---|
| Из них в интерактивной форме | 16 | 16 |
| Самостоятельная работа (всего) | 74 | 74 |
| Выполнение расчетных работ | 16 | 16 |
| Подготовка к контрольным работам | 13 | 13 |
| Оформление отчетов по лабораторным работам | 16 | 16 |
| Проработка лекционного материала | 11 | 11 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 18 | 18 |
| Всего (без экзамена) | 144 | 144 |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость ч | 180 | 180 |
| Зачетные Единицы | 5.0 | 5.0 |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | | | |
| 1 Тенденция развития современной кремниевой технологии микро- и наноэлектроники | 2 | 0 | 0 | 2 | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| 2 Субмикронная фотолитография | 4 | 2 | 0 | 9 | 15 | ПК-8, ПСК-2 |
| 3 Пучковые методы литографии | 6 | 6 | 0 | 17 | 29 | ПК-8, ПСК-2 |
| 4 Ионное легирование полупроводников | 10 | 6 | 0 | 16 | 32 | ПК-8, ПСК-2 |
| 5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур | 6 | 2 | 4 | 10 | 22 | ПК-8, ПСК-2 |
| 6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа | 4 | 0 | 4 | 7 | 15 | ПК-8, ПСК-2 |
| 7 Технологические маршруты изготовления кремниевых ИС | 4 | 2 | 8 | 13 | 27 | ПК-8, ПСК-2 |
| Итого за семестр | 36 | 18 | 16 | 74 | 144 | |
| Итого | 36 | 18 | 16 | 74 | 144 | |

Согласована на портале № 14927

**5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)**

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины по лекциям | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | |
| 1 Тенденция развития современной кремниевой технологии микро- и наноэлектроники | Международная технологическая дорожная карта для полупроводникового производства. Закон Мура. | 2 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 2 Субмикронная фотолитография | Основные понятия и тенденции. Иммерсионная литография КУФ диапазона. Литография ЭУФ диапазона. Импринтинг | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 3 Пучковые методы литографии | Электронно-лучевые установки. Параметры установок. Расчеты диаметра сфокусированного луча. Рассеяние пучка электронов в резисте. Время экспонирования. Разрешающая способность электронно-лучевой литографии. Ионная литография. Рентгенолитография | 6 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 6 | |
| 4 Ионное легирование полупроводников | Технология ионного легирования. Пробеги ионов в аморфных веществах. Профили распределения концентрации внедренных ионов в аморфных и монокристаллических мишенях. Радиационные дефекты при ионном легировании. Отжиг дефектов. Быстрый термический отжиг. Новые методы импульсного отжига. Области применения ионного легирования. | 10 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 10 | |
| 5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур | Классификация процессов. Основные параметры травления. Физика ионного травления. Разрешающая способность ионно-лучевого травления. Плазмохимическое травление (ПХТ). Модель и методы ПХТ | 6 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 6 | |
| 6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа | Атомно-слоевое осаждение из газовой фазы. Ионное и ионно-плазменное осаждение тонких слоев диоксида | 4 | ПК-8, ПСК-2 |

Согласована на портале № 14927

| | | | |
|---|---|---|---|
| | кремния, нитрида кремния, нитрида алюминия, кремния и металлов. Ионно-стимулированное, ионно-лучевое напыление тонких пленок. Основные понятия и тенденции развития. Технология химико-механической планаризации | | |
| | Итого | 4 | |
| 7 Технологические маршруты изготовления кремниевых ИС | Основные понятия и тенденции развития. Инженерия межуровневого диэлектрика и межуровневой разводки. Технологический маршрут | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 36 | |

**5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | |
| 1 Вакуумная и плазменная электроника | + | + | | + | + | + | |
| 2 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты | + | + | + | + | + | + | + |
| 3 Моделирование и проектирование микро- и наносистем | | + | + | + | + | | |
| 4 Основы технологии электронной компонентной базы | + | + | | | | + | |
| 5 Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена | + | + | + | + | + | + | + |
| 6 Процессы микро- и нанотехнологии | + | + | + | + | + | | + |
| 7 Твердотельная электроника | + | + | | | | | + |
| 8 Технология материалов микро- и наноэлектроники | + | + | | | + | | + |
| 9 Физика | | + | | + | + | + | |
| 10 Химия | | + | | | + | + | |
| 11 Элементная база микро- и наносистем | + | | | | | | + |
| 12 Элементы и приборы | + | | | | | | + |

Согласована на портале № 14927

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| наноэлектроники | | | | | | | |

**5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий**

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций и видов занятий, формируемых при изучении дисциплины

| Компетенции | Виды занятий | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|
| | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа | |
| ПК-8 | + | + | + | + | Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Расчетная работа |
| ПСК-2 | + | + | + | + | Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Расчетная работа |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах приведены в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

| Методы | Интерактивные практические занятия | Интерактивные лабораторные занятия | Интерактивные лекции | Всего |
|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | |
| Мозговой штурм | | 2 | | 2 |
| Презентации с использованием слайдов с обсуждением | | | 4 | 4 |
| Решение ситуационных задач | 10 | | | 10 |
| Итого за семестр: | 10 | 2 | 4 | 16 |
| Итого | 10 | 2 | 4 | 16 |

## 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Согласована на портале № 14927

Таблица 7. 1 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | |
| 5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур | Исследование процессов травления микро- и наноструктур | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа | Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 7 Технологические маршруты изготовления кремниевых ИС | Исследование процессов травления микро- и наноструктур | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Исследование процессов формирования Т-образного затвора p-HEMT транзистора | 4 | |
| | Итого | 8 | |
| Итого за семестр | | 16 | |

**8. Практические занятия (семинары)**

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8. 1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | |
| 2 Субмикронная фотолитография | Субмикронная фотолитография | 2 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 3 Пучковые методы литографии | Электронно-лучевая литография | 6 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 6 | |
| 4 Ионное легирование полупроводников | Ионная имплантация в технологии СБИС | 6 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 6 | |
| 5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур | Ионно-лучевое травление микро- и наноструктур | 2 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 7 Технологические маршруты изготовления кремниевых ИС | Маршрут изготовления СБИС | 2 | ПК-8, ПСК-2 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 18 | |

Согласована на портале № 14927

## 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 - Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | |
| 1 Тенденция развития современной кремниевой технологии микро- и наноэлектроники | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа, Экзамен |
| | Подготовка к контрольным работам | 1 | | |
| | Итого | 2 | | |
| 2 Субмикронная фотолитография | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа, Расчетная работа, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 2 | | |
| | Выполнение расчетных работ | 4 | | |
| | Итого | 9 | | |
| 3 Пучковые методы литографии | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 6 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа, Расчетная работа, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 2 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 2 | | |
| | Выполнение расчетных работ | 7 | | |
| | Итого | 17 | | |
| 4 Ионное легирование полупроводников | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 6 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа, Расчетная работа, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 3 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 2 | | |
| | Выполнение расчетных работ | 5 | | |
| | Итого | 16 | | |

Согласована на портале № 14927

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 2 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 2 | | |
| | Итого | 10 | | |
| 6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа | Проработка лекционного материала | 1 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Экзамен |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 2 | | |
| | Итого | 7 | | |
| 7 Технологические маршруты изготовления кремниевых ИС | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 2 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Экзамен |
| | Проработка лекционного материала | 1 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Оформление отчетов по лабораторным работам | 4 | | |
| | Подготовка к контрольным работам | 2 | | |
| | Итого | 13 | | |
| Итого за семестр | | 74 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 110 | | |

## 10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

| Элементы учебной деятельности | 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 |
|---|---|---|---|---|
| 8 семестр | | | | |
| Контрольная работа | 10 | 10 | 10 | 30 |

Согласована на портале № 14927

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Отчет по лабораторной работе | | | 16 | 16 |
| Расчетная работа | 10 | 4 | 10 | 24 |
| Итого максимум за период | 20 | 14 | 36 | 70 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 20 | 34 | 70 | 100 |

### 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11. 2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

| Баллы на дату контрольной точки | Оценка |
|---|---|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 3 |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 2 |

### 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11. 3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка (ГОС) | 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) |

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой наноэлектроники: учебн. пособие. – Томск, В-Спектр, 2011. – 262 с. [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks %20disciplin/Danilina/TKH_Danilina_Uchebnoe_posobie.pdf

2. Технология СБИС: учебное пособие / Т.И.Данилина, В.А.Кагадей , Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 287 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 51 экз.)

### 12.2. Дополнительная литература

1. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов: учебное пособие / Г.Я. Красников. – М.: Техносфера, 2011. – 800 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 2 экз.)

2. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных

Согласована на портале № 14927

микросхем: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. / Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А.Королев, Т.Ю.Крупкина, М.А.Ревелева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 397 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

3. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. / Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А.Королев [и др.]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 423 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 35 экз.)

### 12.3 Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Данилина Т.И. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. – 68 с. [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks %20disciplin/Danilina/TKH_Daninina_Posobie_lab.pdf

2. Данилина Т.И. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 56 с. [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks %20disciplin/Danilina/TKH_Daninina_Posobie_Practiki.pdf

#### 12.3.2 Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа 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.

### 12.4. Базы данных, информационно-справочные, поисковые системы и требуемое программное обеспечение

1. Программный пакет Synopsys TCAD
2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

### 13.1. Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

#### 13.1.1. Материально-техническое обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются наглядные пособия в виде презентаций по лекционным разделам дисциплины.

#### 13.1.2. Материально-техническое обеспечение для практических занятий

Для проведения практических (семинарских) занятий используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 30, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью

#### 13.1.3. Материально-техническое обеспечение для лабораторных работ

Для проведения лабораторных занятий используется учебно-вычислительная лаборатория

Согласована на портале № 14927

(компьютерный класс), расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 1 этаж, ауд. 124. Состав оборудования: учебная мебель; компьютеры класса ПЭВМ INTEL Core i5 3.2 ГГц. - 12 шт.; компьютеры подключены к сети ИНТЕРНЕТ и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета. Используется лицензионное программное обеспечение, пакеты версией Microsoft Windows 7 Professional with SP1; Microsoft Office 2010; MathCAD 14, пакет Synopsys TCAD.

#### 13.1.4. Материально-техническое обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используется учебная аудитория (компьютерный класс), расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 1 этаж, ауд. 100. Состав оборудования: учебная мебель; компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 4 шт.; компьютеры подключены к сети ИНТЕРНЕТ и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

### 13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для удаленного просмотра.

При обучении студентов **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 14. Фонд оценочных средств

### 14.1. Основные требования к фонду оценочных средств и методические рекомендации

Фонд оценочных средств и типовые контрольные задания, используемые для оценки сформированности и освоения закрепленных за дисциплиной компетенций при проведении текущей, промежуточной аттестации по дисциплине приведен в приложении к рабочей программе.

### 14.2 Требования к фонду оценочных средств для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с инвалидностью предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице.

**Таблица 14 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью**

| Категории студентов | Виды дополнительных оценочных средств | 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 | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к | Преимущественно дистанционными методами |

Согласована на портале № 14927

| | | |
|---|---|---|
| аппарата | зачету | |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами, исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 14.3 Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с ОВЗ 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.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов 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 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 обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 14927

**Приложение 1**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

# Технология кремниевой наноэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль): **Микроэлектроника и твердотельная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **4**
Семестр: **8**

Учебный план набора 2013 года

Разработчики:

- доцент каф. ФЭ Чистоедова И. А.

Экзамен: 8 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 14927

## 1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины (практики) и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине (практике) используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной (практикой) компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

| Код | Формулировка компетенции | Этапы формирования компетенций |
|---|---|---|
| ПК-8 | способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | Должен знать – физико-химические основы базовых технологических процессов производства кремниевых ИС; – базовые маршруты изготовления кремниевых интегральных схем; – принципы разработки технологических маршрутов производства кремниевых ИС; ;<br>Должен уметь – разрабатывать технологические маршруты изготовления кремниевых ИС; – выбирать параметры технологических операций; ;<br>Должен владеть – навыками разработки базовых технологических процессов; ; |
| ПСК-2 | готовностью к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники | |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций на всех этапах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций по этапам

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы |
| Хорошо (базовый уровень) | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | Обладает базовыми общими знаниями | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач | Работает при прямом наблюдении |

## 2 Реализация компетенций

### 2.1 Компетенция ПК-8

ПК-8: способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники.

Согласована на портале № 14927

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Содержание этапов | базовые технологические процессы для производства кремниевых нано- и микроструктур | выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства приборов с наноразмерными элементами | практическими навыками разработки технологических маршрутов производства устройств кремниевой наноэлектроники для конкретного применения |
| Виды занятий | • Интерактивные практические занятия;<br>• Интерактивные лабораторные занятия;<br>• Интерактивные лекции;<br>• Практические занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Лекции;<br>• Самостоятельная работа; | • Интерактивные практические занятия;<br>• Интерактивные лабораторные занятия;<br>• Интерактивные лекции;<br>• Практические занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Лекции;<br>• Самостоятельная работа; | • Интерактивные практические занятия;<br>• Интерактивные лабораторные занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Самостоятельная работа; |
| Используемые средства оценивания | • Контрольная работа;<br>• Отчет по лабораторной работе;<br>• Расчетная работа;<br>• Экзамен; | • Контрольная работа;<br>• Отчет по лабораторной работе;<br>• Расчетная работа;<br>• Экзамен; | • Отчет по лабораторной работе;<br>• Расчетная работа;<br>• Экзамен; |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | • • знает современные технологические процессы для производства нано- и микроструктур; | • • умеет выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства приборов с наноразмерными элементами; | • • владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства устройств кремниевой наноэлектроники для конкретного применения; |
| Хорошо (базовый уровень) | • • знает базовые технологические процессы для производства нано- и микроструктур; | • • умеет выполнять расчеты основных параметров базовых технологических процессов производства приборов с | • • владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства простых |

Согласована на портале № 14927

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | наноразмерными элементами; | устройств кремниевой наноэлектроники; |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | • • имеет представление о технологическхе процессах производства нано- и микроструктур; | • имеет представление о методике расчетов параметров базовых технологических процессов производства простых приборов с наноразмерными элементами; | • • владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства простых устройств по базовым технологическим маршрутам кремниевой наноэлектроники; |

**2.2 Компетенция ПСК-2**

ПСК-2: готовностью к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|
| Содержание этапов | современные технологические процессы и оборудование для производства устройств кремниевой наноэлектроники | выполнять расчеты параметров современных технологических процессов и давать рекомендации по выбору конкретного оборудования | навыками разработки технологических маршрутов с использованием современного оборудования |
| Виды занятий | • Интерактивные практические занятия;<br>• Интерактивные лабораторные занятия;<br>• Интерактивные лекции;<br>• Практические занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Лекции;<br>• Самостоятельная работа; | • Интерактивные практические занятия;<br>• Интерактивные лабораторные занятия;<br>• Интерактивные лекции;<br>• Практические занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Лекции;<br>• Самостоятельная работа; | • Интерактивные практические занятия;<br>• Интерактивные лабораторные занятия;<br>• Лабораторные работы;<br>• Самостоятельная работа; |
| Используемые средства оценивания | • Контрольная работа;<br>• Отчет по лабораторной работе;<br>• Расчетная работа;<br>• Экзамен; | • Контрольная работа;<br>• Отчет по лабораторной работе;<br>• Расчетная работа;<br>• Экзамен; | • Отчет по лабораторной работе;<br>• Расчетная работа;<br>• Экзамен; |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|---|---|

Согласована на портале № 14927

| | | | |
|---|---|---|---|
| Отлично (высокий уровень) | • • знает современные технологические процессы и оборудование для производства ; | • • умеет выполнять расчеты параметров современных технологических процессов и давать рекомендации по выбору конкретного оборудования; | • • владеет навыками разработки технологических маршрутов с использованием современного оборудования; |
| Хорошо (базовый уровень) | • • знает современные технологические процессы и оборудование для производства; | • • умеет выполнять расчеты основных параметров современных технологических процессов ; | • • владеет навыками разработки технологических маршрутов с использованием современного оборудования; |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | • • знает современные технологические процессы и оборудование для производства ; | • • умеет выполнять расчеты основных параметров для некоторых технологических процессов ; | • • владеет навыками разработки технологических маршрутов простых устройств наноэлектроники; |

## 3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в следующем составе.

### 3.1 Экзаменационные вопросы

– 1). Области применения имплантации. 2). Чем определяется время экспонирования при электронно-лучевой литографии? 3). Субмикронная фотолитография. 4). Модель ПХТ. Влияние температуры подложки на процесс травления. 5). Каналирование ионов. 6). Синтез материалов с помощью ионной имплантации (оксиды, силициды). 7). Разрешающая способность электронно-лучевой литографии. 8). Сухое травление: плазменное (ПХИ и РИД) и ионно-пучковое травление. Типы и особенности процессов. 9). Пробеги ионов в твердых телах. 10). Электронно-оптическая система ЭЛУ. 11). Субмикронная проекционная фотолитография. 12). Механизмы энергетических потерь при ионном легировании. 13). Механизмы ионного травления. Параметры. 14). Технология формирования структур «кремний на изоляторе» с помощью ионной имплантации. 15). Формирование электронных лучей субмикронных размеров. 16). Чем определяется длина волны экспонирующего излучения в электронно-лучевой литографии? 17). Влияние поперечной составляющей тепловой скорости электронов на разрешающую способность электронной литографии. 18). Радиационные дефекты. Образование аморфной фазы. Использование радиационных дефектов на практике. 19). Быстрый термический отжиг. Области применения. 20). Характеристики методов травления (жидкостное, ионное, поазмохимическое). 21). Распределение внедренной примеси по глубине при ионной имплантации. Образование p-n перехода. 22). Методы импульсного отжига. 23). Взаимодействие электронов с резистом. Энергетические потери. Рассеяние электронов. 24). Способы формирования супермелкозалегающих p-n переходов. 25). Чему равна селективность травления, если скорость травления фоторезиста в два раза больше скорости травления подложки?

### 3.2 Темы контрольных работ

– Тема контрольной работы № 1: Субмикронная фотолитография, электронно-лучевая литография

– Тема контрольной работы № 2: Ионная имплантация в технологии кремниевой

Согласована на портале № 14927

наноэлектронике.

### 3.3 Темы расчетных работ

– 1). Расчет параметров проекционной фотолитографии 2). Расчет параметров электронно-лучевой литографии 3) Расчет параметров ионной имплантации 4). Расчет распределения внедренных примесей по глубине без отжига и с отжигом 5). Расчет радиационных дефектов 6). Расчет распределения концентрации примеси при изготовлении биполярного транзистора 7). Ионно-лучевое травление микро- и наноструктур 8). Формирование КМОП интегральных схем с субмикронными размерами

### 3.4 Темы лабораторных работ

– Исследование процессов травления микро- и наноструктур
– Исследование процессов травления микро- и наноструктур
– Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике
– Исследование процессов формирования Т-образного затвора p-HEMT транзистора

## 4 Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

– методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы фор-мирования компетенций, согласно п. 12 рабочей программы.

### 4.1. Основная литература

1. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой наноэлектроники: учебн. пособие. – Томск, В-Спектр, 2011. – 262 с. [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks %20disciplin/Danilina/TKH_Danilina_Uchebnoe_posobie.pdf

2. Технология СБИС: учебное пособие / Т.И.Данилина, В.А.Кагадей , Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 287 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 51 экз.)

### 4.2. Дополнительная литература

1. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов: учебное пособие / Г.Я. Красников. – М.: Техносфера, 2011. – 800 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 2 экз.)

2. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. / Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А.Королев, Т.Ю.Крупкина, М.А.Ревелева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 397 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

3. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. / Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А.Королев [и др.]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 423 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 35 экз.)

### 4.3. Обязательные учебно-методические пособия

1. Данилина Т.И. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. – 68 с. [Электронный ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks %20disciplin/Danilina/TKH_Daninina_Posobie_lab.pdf

2. Данилина Т.И. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 56 с. [Электронный

Согласована на портале № 14927

ресурс]. - http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Danilina/TKH_Daninina_Posobie_Practiki.pdf

**4.4. Базы данных, информационно справочные и поисковые системы**

1. Программный пакет Synopsys TCAD
2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

Согласована на портале № 14927