

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



ТОМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
«ЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕХНОЛОГИЯ КРЕМНИЕВОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) программы Микроэлектроника и твердотельная электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 4 Семестр 8

Учебный план набора 2016 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени:

| № | Виды учебной работы | Семестр 1 | Семестр 2 | Семестр 3 | Семестр 4 | Семестр 5 | Семестр 6 | Семестр 7 | Семестр 8 | Всего | Единицы |
|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|
| | Лекции | | | | | | | | 36 | 36 | часов |
| | Лабораторные работы | | | | | | | | 16 | 16 | часов |
| | Практические занятия | | | | | | | | 18 | 18 | часов |
| | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная) | | | | | | | | | | часов |
| | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4) | | | | | | | | 70 | 70 | часов |
| | Из них в интерактивной форме | | | | | | | | 16 | 16 | часов |
| | Самостоятельная работа студентов (СРС) | | | | | | | | 74 | 74 | часов |
| | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7) | | | | | | | | 144 | 144 | часов |
| | Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена | | | | | | | | 36 | 36 | часов |
| | Общая трудоемкость (Сумма 8,9) | | | | | | | | 180 | 180 | часов |
| | (в зачетных единицах) | | | | | | | | 5 | 5 | ЗЕ |

Экзамен 8 семестр

Томск 2016

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» (квалификация (степень) бакалавр), утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 218.

Рабочая программа учебной дисциплины рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «30» июня 2016 г., протокол № 71.

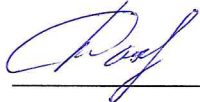
Разработчик:

Профессор кафедры ФЭ

 / Т.И.Данилина


Заведующий кафедрой

Профессор кафедры ФЭ


 / П.Е. Троян

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

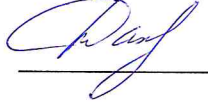
Декан _____ ФЭТ

 / А.И. Воронин

Зав. профилирующей
кафедрой _____ ФЭ


 / П.Е. Троян

Зав. выпускающей
кафедрой _____ ФЭ


 / П.Е. Троян

Эксперты:

Председатель методической
комиссии факультета ФЭТ

 / И.А. Чистоедова

Председатель методической
комиссии кафедры ФЭ

 / И.А. Чистоедова

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является:

- изучение технологических процессов создания наноразмерных элементов и структур;
- изучение технологических маршрутов изготовления сверхбольших интегральных схем (СБИС) с наноразмерными элементами.

Задачами изучения дисциплины являются:

- формирование знаний в области нанотехнологий кремниевой наноэлектроники;
- формирование навыков разработки технологических маршрутов изготовления (СБИС).

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Место дисциплины в структуре ООП: дисциплина относится к вариативной части блока 1 (Б1.В.ОД8) образовательной программы подготовки бакалавров по профилю «Микроэлектроника и твердотельная электроника» направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

Изучение данной дисциплины базируется на знании следующих дисциплин: «Физика», «Математика», «Химия», «Процессы микро- и нанотехнологии», «Твердотельная электроника», «Технология материалов микро- и наноэлектроники», «Вакуумная и плазменная электроника», «Основы технологии электронной компонентной базы».

Основные положения дисциплины необходимы при изучении дисциплин: «Моделирование и проектирование микро- и наносистем», «Конструкторско-технологическое обеспечение производства изделий микроэлектроники».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

- способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники (ПК-8);
- готовностью к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники (ПСК-2).

3.2. В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

– физические и химические принципы, лежащие в основе технологических процессов кремниевой наноэлектроники;

– базовые маршруты создания приборов кремниевой наноэлектроники;

– принципы разработки технологических маршрутов наноразмерных интегральных схем;

уметь:

– выполнять работы по разработке технологических маршрутов изготовления изделий электронной техники;

владеть:

– навыками разработки базовых технологических процессов;

– навыками работы на технологическом оборудовании, используемом в производстве элементов электронной компонентной базы.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетные единицы.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры |
|---|-------------|------------|
| | | 8 |
| Аудиторные занятия (всего) | 70 | 70 |
| В том числе: | | |
| Лекции | 36 | 36 |
| Лабораторные работы | 16 | 16 |
| Практические занятия (ПЗ) | 18 | 18 |
| Самостоятельная работа (всего) | 74 | 74 |
| В том числе: | | |
| Подготовка к контрольным работам | | |
| Подготовка к практическим занятиям | | |
| Подготовка к лабораторным работам, подготовка отчетов | | |
| Подготовка к экзамену | 36 | 36 |
| Общая трудоемкость час | 180 | 180 |
| Зачетные Единицы Трудоемкости | 5 | 5 |

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Лекции | Практич. занятия. | Лабораторные работы | Самост. работа студента | Всего час | Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК) |
|-------|---|-----------|-------------------|---------------------|-------------------------|------------|---------------------------------------|
| 1. | Тенденция развития современной микро- и наноэлектроники | 2 | | | 4 | 6 | ПК-8, ПСК-2 |
| 2. | Субмикронная фотолитография | 4 | 2 | | 8 | 14 | ПК-8, ПСК-2 |
| 3. | Пучковые методы литографии | 6 | 6 | | 12 | 24 | ПК-8, ПСК-2 |
| 4. | Ионная имплантация | 10 | 6 | | 14 | 30 | ПК-8, ПСК-2 |
| 5. | Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур | 4 | 2 | 8 | 10 | 24 | ПК-8, ПСК-2 |
| 6. | Осаждение металлов и диэлектриков | 4 | | 4 | 10 | 18 | ПК-8, ПСК-2 |
| 7. | Технологические маршруты изготовления СБИС | 6 | 2 | 4 | 16 | 28 | ПК-8, ПСК-2 |
| | | 36 | 18 | 16 | 74 | 144 | |

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

| № п/п | Наименование разделов | Содержание разделов | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК) |
|-------|---|--|---------------------|---------------------------------------|
| 1 | Тенденция развития современной микро- и наноэлектроники | Масштабирование размеров. Закон Мура. Международная технологическая дорожная карта. | 2 | ПК-8, ПСК-2 |
| 2 | Субмикронная фотолитография | Проекционная фотолитография. Литография КУФ и ЭУФ диапазона. Наноимпринтинг. | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| 3 | Пучковые методы литографии | Электронно-лучевая литография. Сканирующая ионная литография. Рентгенолитография. | 6 | ПК-8, ПСК-2 |
| 4 | Ионная имплантация | Технология ионной имплантации. Пробег ионов. Радиационные дефекты. Отжиг структур. Области применения. | 10 | ПК-8, ПСК-2 |
| 5 | Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур | Основные параметры ионного и ПХТ. Разрешающая способность методов травления. | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| 6 | Осаждение металлов и диэлектриков | Электронно-лучевое испарение. Магнетронное распыление. Ионно-плазменное осаждение. Атомно-слоевое осаждение из газовой фазы. | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| 7 | Технологические маршруты изготовления СБИС | Планирование рельефа. Формирование МОП- и КМОП-транзисторов. | 6 | ПК-8, ПСК-2 |

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

| № п/п | Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | № № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | | | | | | |
|----------------------------------|---|--|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | | | |
| 1. | Химия | | + | | | + | + | |
| 2. | Математика | | | + | + | + | | |
| 3. | Физика | | + | | + | + | + | |
| 4. | Вакуумная и плазменная электроника | + | + | | + | + | + | |
| 5. | Процессы микро- и нанотехнологии | + | + | + | + | + | | + |
| 6. | Твердотельная электроника | + | + | | | | | + |
| 7. | Технология материалов микро- и наноэлектроники | + | + | | | + | | + |
| 8. | Основы технологии электронной и компонентной базы | + | + | | | | + | |
| Последующие дисциплины | | | | | | | | |
| 9. | Процессы микро- и нанотехнологии. Курсовой проект. | | + | + | + | + | + | + |
| 10. | Конструкторско-технологическое обеспечение производства изделий микроэлектроники | | + | + | + | + | | + |
| 11. | Моделирование и проектирование микро- и наносистем | | + | + | + | + | | |

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

| Перечень компетенций | Виды занятий | | | | Формы контроля |
|----------------------|--------------|-----------|-----|-----|---|
| | Л | Лаб. раб. | Пр. | СРС | |
| ПК-8 | + | + | + | + | Отчеты по практическим занятиям. Выполнение контрольных работ. Выполнение лабораторных работ. Защита отчетов. |
| ПСК-2 | + | + | + | + | Отчеты по практическим занятиям. Выполнение контрольных работ. Выполнение лабораторных работ. Защита отчетов. |

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

| Методы | Формы | Лекции (час) | Практические занятия (час) | Лабораторные работы (час) | Всего |
|---|-------|--------------|----------------------------|---------------------------|-------|
| Выполнение и защита практико-ориентированных заданий во время аудиторных практических занятий | | | 8 | | 8 |
| Мозговой штурм при выполнении лабораторных работ | | | | 8 | 8 |
| Итого интерактивных занятий | | | 8 | 8 | 16 |

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика лабораторных работ | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ПК |
|-------|----------------------|--|---------------------|--------------------|
| 1. | 5,7 | Исследование процессов травления микро- и наноструктур | 8 | ПК-8, ПСК-2 |
| 2. | 5, 6, 7 | Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике | 4 | ПК-8, ПСК-2 |
| 3. | 5, 6, 7 | Исследование процессов формирования Т-образного затвора р-НЕМТ транзистора | 4 | ПК-8, ПСК-2 |

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика практических занятий (семинаров) | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ПК, ПСК |
|-------|----------------------|---|---------------------|-------------------------|
| 1. | 1, 2 | Субмикронная фотолитография | 2 | ПК-8, ПСК-2 |
| 2. | 3 | Электронно-лучевая литография | 6 | ПК-8, ПСК-2 |
| 3. | 4 | Ионная имплантация в технологии кремниевой наноэлектроники | 6 | ПК-8, ПСК-2 |
| 4. | 5, 6 | Ионно-лучевое травление микро- и наноструктур | 2 | ПК-8, ПСК-2 |
| 5. | 7 | Формирование КМОП интегральных схем с субмикронными размерами | 2 | ПК-8, ПСК-2 |

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика самостоятельной работы (детализация) | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ПК, ПСК | Контроль выполнения работы |
|-------|----------------------|---|---------------------|-------------------------|---|
| 1. | 1, 2, 3 | Подготовка к контрольной работе №1 | 10 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа |
| 2 | 4 | Подготовка к контрольной работе №2 | 10 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа |
| 3 | 5 | Подготовка к контрольной работе №3 | 10 | ПК-8, ПСК-2 | Контрольная работа |
| 4. | 2, 3, 4, 5 | Подготовка к практическим занятиям | 20 | ПК-8, ПСК-2 | Выполнение индивидуальных заданий на практические задания |
| 5. | 5, 6, 7 | Подготовка к лабораторным работам и составление отчетов | 24 | ПК-8, ПСК-2 | Отчеты по лабораторным работам |

10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

не предусмотрено

11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

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 |
|--|--|---|---|------------------|
| Выполнение и защита лабораторных работ | | 16 | | 16 |
| Выполнение практических заданий | 10 | 10 | | 20 |
| Контрольные работы | 10 | 10 | 10 | 30 |
| Компонент своевременности | 2 | 2 | | 4 |
| Итого максимум за период: | 22 | 38 | 10 | 70 |
| Сдача экзамена (максимум) | | | | 30 |
| Нарастающим итогом | 22 | 60 | 70 | 100 |

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 |

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 | E (посредственно) |
| | 60 – 64 | F (неудовлетворительно) |
| 2 (неудовлетворительно), (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1. Основная литература

12.1.1. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой наноэлектроники: учебн. пособие. – Томск, В-Спектр, 2011. – 262 с. - [электронный ресурс] .- адрес:

http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&%E2%88%93view=article&id=231

12.1.2. 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. (51)

12.2. Дополнительная литература

12.2.1. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов: учебное пособие / Г.Я. Красников. – М.: Техносфера, 2011. – 800 с. (2)

12.2.2. 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. (10)

12.2.3. 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. (35)

12.3. Учебно-методические пособия и программное обеспечение

12.3.1. 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] .- адрес:

http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&%E2%88%93view=article&id=231

12.3.2. 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] .- адрес:

http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&%E2%88%93view=article&id=231

12.4. Программное обеспечение

12.4.1. Программный пакет Synopsys TCAD

12.4.2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

12.5. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

При обучении используются базы данных периодических изданий и ресурсы Интернета.

13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации лекционных и практических занятий необходимы: компьютер с установленным программным обеспечением (п. 12.4), проектор и экран.

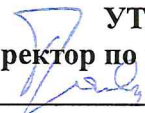
Лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории кафедры Физической электроники, оснащенной компьютерами с соответствующим программным обеспечением для выполнения лабораторных работ.

8/4

Приложение к рабочей программе

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

 **УТВЕРЖДАЮ**
Проректор по учебной работе
П. Е. Троян

« 8 » 07 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Технология кремниевой наноэлектроники

(полное наименование учебной дисциплины или практики)

Уровень основной образовательной программы **бакалавриат**

Направление(я) подготовки (специальность)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

(полное наименование направления подготовки (специальности))

Профиль(и) **Микроэлектроника и твердотельная электроника**
(полное наименование профиля направления подготовки (специальности))

Форма обучения **очная**

Факультет **электронной техники (ФЭТ)**
(сокращенное и полное наименование факультета)

Кафедра **физической электроники (ФЭ)**
(сокращенное и полное наименование кафедры)

Курс 4 Семестр 8

Учебный план набора 2016 года и последующих лет.

Зачет _____ семестр Диф. зачет _____
семестр

Экзамен 8 семестр

Разработчик: профессор кафедры ФЭ Данилина Т.И.

Томск 2016

1 Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Технология кремниевой нанoeлектроники» 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 «Технология кремниевой нанoeлектроники» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Технология кремниевой нанoeлектроники» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

| Код | Формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции |
|--------------|--|---|
| ПК-8 | способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | Должен знать технологические процессы производства приборов кремниевой нанoeлектроники. Должен уметь выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства приборов с наноразмерными элементами. Должен владеть практическими навыками разработки технологических маршрутов производства устройств кремниевой нанoeлектроники для конкретного применения. |
| ПСК-2 | готовность к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники | Должен знать современные технологические процессы и оборудование для производства устройств кремниевой нанoeлектроники. Должен уметь выполнять расчеты параметров современных технологических процессов. Должен владеть навыками разработки технологических маршрутов с использованием современного оборудования. |

2 Реализация компетенций

1 Компетенция ПК-8

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

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.

Таблица 2– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

| 1. Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|---|---|--|--|
| Содержание этапов | Знает технологические процессы производства приборов кремниевой наноэлектроники | 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 |
| Виды занятий | <ul style="list-style-type: none"> • Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания | <ul style="list-style-type: none"> • Лекции; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Выполнение домашнего индивидуального задания. | <ul style="list-style-type: none"> • Практические занятия; • Лабораторные занятия. |
| Используемые средства оценивания | <ul style="list-style-type: none"> • Контрольные работы; • Тесты; • Выполнение домашнего индивидуального задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен | <ul style="list-style-type: none"> • Лабораторные занятия; • Контрольные работы; • Тесты; • Выполнение домашнего индивидуального задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен | <ul style="list-style-type: none"> • Лабораторные занятия; • Выполнение практических заданий; • Экзамен |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции 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, приспособливает 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 |

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

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|----------------------------------|---|--|---|
| Отлично (высокий уровень) | <ul style="list-style-type: none"> знает технологические процессы производства приборов кремниевой наноэлектроники | <ul style="list-style-type: none"> умеет выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства приборов с | <ul style="list-style-type: none"> владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства устройств кремниевой наноэлектроники |

| | | | |
|--|---|---|---|
| | | <i>наноразмерным и элементами</i> | <i>для конкретного применения</i> |
| Хорошо (базовый уровень) | <ul style="list-style-type: none"> <i>знает технологические процессы производства приборов кремниевой наноэлектроники</i> | <ul style="list-style-type: none"> <i>умеет выполнять расчеты основных параметров базовых технологических процессов производства приборов с наноразмерным и элементами</i> | <ul style="list-style-type: none"> <i>владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства простых устройств кремниевой наноэлектроники</i> |
| Удовлетворительно (пороговый уровень) | <ul style="list-style-type: none"> <i>знает основные технологические процессы производства приборов кремниевой наноэлектроники</i> | <ul style="list-style-type: none"> <i>умеет выполнять расчеты основных параметров базовых технологических процессов производства простых приборов с наноразмерным и элементами</i> | <ul style="list-style-type: none"> <i>владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства простых устройств по базовым технологическим маршрутам кремниевой наноэлектроники</i> |

2 Компетенция ПСК-2

ПСК-2: готовность 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

| | | | |
|------------------|--------------|--------------|----------------|
| 2. Состав | Знать | Уметь | Владеть |
|------------------|--------------|--------------|----------------|

| | | | |
|---|---|--|--|
| Содержание этапов | Знает современные технологические процессы и оборудование для производства устройств кремниевой нанoeлектроники | Умеет выполнять расчеты параметров современных технологических процессов и давать рекомендации по выбору конкретного оборудования | Владеет навыками разработки технологических маршрутов с использованием современного оборудования |
| Виды занятий | <ul style="list-style-type: none"> • Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания | <ul style="list-style-type: none"> • Лекции • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Выполнение домашнего индивидуального задания | <ul style="list-style-type: none"> • Практические занятия; • Лабораторные занятия |
| Используемые средства оценивания | <ul style="list-style-type: none"> • Контрольные работы; • Тесты; • Выполнение домашнего индивидуального задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен | <ul style="list-style-type: none"> • Лабораторные занятия; • Контрольные работы; • Тесты; • Выполнение домашнего индивидуального задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен | <ul style="list-style-type: none"> • Лабораторные занятия; • Выполнение практических заданий; • Экзамен |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|----------------------------------|--|---|--|
| Отлично (высокий уровень) | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы |

| | | | |
|--|---|--|--|
| | области с пониманием границ применимости | абстрагирования проблем | |
| 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 |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

| Показатели и критерии | Знать | Уметь | Владеть |
|----------------------------------|--|---|--|
| Отлично (высокий уровень) | <ul style="list-style-type: none"> знает современные технологические процессы и оборудование для производства | <ul style="list-style-type: none"> умеет выполнять расчеты параметров современных технологических процессов и давать рекомендации по выбору конкретного оборудования | <ul style="list-style-type: none"> владеет навыками разработки технологических маршрутов с использованием современного оборудования |
| Хорошо (базовый уровень) | <ul style="list-style-type: none"> знает современные технологические процессы и оборудование для производства | <ul style="list-style-type: none"> умеет выполнять расчеты основных параметров современных технологических процессов | <ul style="list-style-type: none"> владеет навыками разработки технологических маршрутов с использованием современного оборудования |

| | | | |
|---|---|--|--|
| <p>Удовлетворительно (пороговый уровень)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>знает современные технологические процессы и оборудование для производства</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>умеет выполнять расчеты основных параметров для некоторых технологических процессов</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>владеет навыками разработки технологических маршрутов простых устройств нанoeлектроники</i> |
|---|---|--|--|

3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы: тесты, контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, лабораторные работы, экзамен.

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 составе:

3.1 Контрольные работы:

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

Тема контрольной работы № 2: Ионная имплантация в технологии кремниевой нанoeлектроники.

3.2 Тесты по следующим разделам:

- 1). Электронно-лучевая литография
- 2). Ионная имплантация
- 3). Ионно-плазменное травление

3.3 Выполнение домашних индивидуальных заданий:

Тема индивидуального задания № 1 – Электронно-лучевая литография.

Тема индивидуального задания № 2 – Ионная имплантация.

3.5 Темы практических занятий:

- 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

3.5 Темы лабораторных работ:

- 1). Исследование процессов травления микро- и наноструктур.
- 2). Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой нанoeлектронике.
- 3). Исследование процессов формирования T-образного затвора p-HEMT транзистора.

3.6 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). Пробег 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, плазмохимическое).

- 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?

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 формирования компетенций, в составе:

Методические материалы:

4.1. Основная литература

4.1.1. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой наноэлектроники: учебн. пособие. – Томск, В-Спектр, 2011. – 262 с. - [электронный ресурс] .- адрес:

http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&E2%88%93view=article&id=231

4.1.2. 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. (51)

4.2. Дополнительная литература

4.2.1. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов: учебное пособие / Г.Я. Красников. – М.: Техносфера, 2011. – 800 с. (2)

4.2.2. 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. (10)

4.2.3. 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. (35)

4.3. Учебно-методические пособия и программное обеспечение

4.3.1. 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] .- адрес:

http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&%E2%88%93view=article&id=231

4.3.2. 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] .- адрес:

http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&%E2%88%93view=article&id=231

4.4. Программное обеспечение

4.4.1. Программный пакет Synopsys TCAD

4.4.2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.