МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ **П. Е. Троян**
«8» 09 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕХНОЛОГИЯ СБИС

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки **28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»**

Направленность (профиль) программы Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 4 **Семестр** 8

Учебный план набора 2013 года.

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

Согласована на портале № 7584

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 71 от «30» 6 2016 г.

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» (квалификация (степень) бакалавр), утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 6 марта 2015 г. № 177.

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

Разработчик:
Доцент кафедры ФЭ _____ / И.А.Чистоедова

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

Согласована на портале № 7584

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является освоение студентами комплекса теоретических и практических знаний в области перспективных технологических процессов, которые позволяют увеличить степень интеграции схем, и позволяют создавать сверхбольшие интегральные схемы (СБИС).

В результате изучения дисциплины студенты должны:

– знать современные задачи микро- и наноэлектроники;

– знать базовые технологические процессы производства СБИС;

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

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Место дисциплины в структуре ООП: дисциплина относится к дисциплинам по выбору (Б1.В.ДВ.8.2) образовательной программы подготовки бакалавров по профилю «Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике» направления 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

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: «Физические основы микро- и наносистемной техники», «Моделирование и проектирование микро- и наносистем».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

– способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий (ПК-1);

- готовность использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-8);

3.2. В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

– физико-химические основы базовых технологических процессов производства СБИС;

– базовые маршруты СБИС;

– принципы разработки технологических маршрутов производства СБИС;

уметь:

– разрабатывать сверхбольшие интегральные схемы и технологические маршруты их изготовления;

– выбирать параметры технологических операций;

владеть:

– навыками разработки базовых технологических процессов;

Согласована на портале № 7584

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 технологии микро- и наноэлектроники	2			4	6	ПК-8
2.	Субмикронная фотолитография	4	2		8	14	ПК-8
3.	Пучковые методы литографии	6	6		12	24	ПК-8
4.	Ионное легирование полупроводников	10	6		14	30	ПК-1, ПК-8
5.	Ионное и плазмохимическое травление микроструктур	4	2	8	10	24	ПК-1, ПК-8
6.	Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа.	4		4	10	18	ПК-1, ПК-8
7.	Технологические маршруты изготовления СБИС	6	2	4	16	28	ПК-1, ПК-8
		36	**18**	**16**	**74**	**144**	

Согласована на портале № 7584

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1	Тенденция развития современной технологии микро- и наноэлектроники	Международная технологическая дорожная карта для полупроводникового производства. Закон Мура.	2	ПК-8
2	Субмикронная фотолитография	Основные понятия и тенденции. Иммерсионная литография КУФ диапазона. Литография ЭУФ диапазона. Импринтинг	4	ПК-8
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
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-1, ПК-8
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	4	ПК-1, ПК-8
6	Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	Атомно-слоевое осаждение из газовой фазы. Ионное и ионно-плазменное осаждение тонких слоев диоксида кремния, нитрида кремния, нитрида алюминия, кремния и металлов. Ионно-стимулированное, ионно-лучевое напыление тонких пленок. Основные понятия и тенденции развития. Технология химико-механической планаризации	4	ПК-1, ПК-8
7	Технологические маршруты изготовления СБИС	Основные понятия и тенденции развития. Инженерия межуровневого диэлектрика и межуровневой разводки. Технологический маршрут	6	ПК-1, ПК-8

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	+	+				+	

Согласована на портале № 7584

Последующие дисциплины								
9.	Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии. Курсовой проект.		+	+	+	+	+	+
10.	Физические основы микро- и наносистемной техники		+	+		+	+	
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-1	+	+	+	+	Отчеты по практическим занятиям. Выполнение контрольных работ. Выполнение лабораторных работ. Защита отчетов.
ПК-8	+	+	+	+	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-1, ПК-8
2.	**5, 6, 7**	Формирование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике	4	ПК-1, ПК-8
3.	**5, 6, 7**	Исследование процессов формирования Т-образного затвора p-HEMT транзистора	4	ПК-1, ПК-8

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
2.	**3**	Электронно-лучевая литография	6	ПК-8
3.	**4**	Ионная имплантация в технологии кремниевой наноэлектроники	6	ПК-1, ПК-8
4.	**5, 6**	Ионно-лучевое травление микро- и наноструктур	2	ПК-1, ПК-8
5.	**7**	Маршрут изготовления СБИС	2	ПК-1, ПК-8

Согласована на портале № 7584

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-1, ПК-8	Контрольная работа
2	**4**	Подготовка к контрольной работе №2	10	ПК-1, ПК-8	Контрольная работа
3	**5**	Подготовка к контрольной работе №3	10	ПК-1, ПК-8	Контрольная работа
4.	**2, 3, 4, 5**	Подготовка к практическим занятиям	20	ПК-1, ПК-8	Выполнение индивидуальных заданий на практические задания
5.	**5, 6, 7**	Подготовка к лабораторным работам и составление отчетов	24	ПК-1, ПК-8	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**	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	**Ниже 60 баллов**	F (неудовлетворительно)

Согласована на портале № 7584

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.

Согласована на портале № 7584

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» 09 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ *ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ*

Технология СБИС

(полное наименование учебной дисциплины или практики)

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направление(я) подготовки (специальность)

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль(и) Нанотехнологии и электронике и микросистемной технике

(полное наименование профиля направления подготовки (специальности))

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 4 **Семестр** 8

Учебный план набора 2013 **года.**

Зачет _____ **семестр** **Диф. зачет** _____ **семестр**

Экзамен 8 **семестр**

Разработчик: доцент кафедры ФЭ Чистоедова И.А.

Томск 2016

Согласована на портале № 7584

1 Введение

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

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

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ПК-1	способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	Должен знать принципы моделирования устройств микросистемной техники и процессов их изготовления. Должен уметь выполнять моделирование базовых технологических процессов и давать рекомендации по выбору параметров. Должен владеть навыками моделирования технологических процессов изготовления устройств нано- и микросистемной техники.
ПК-8	готовностью использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники	Должен знать базовые технологические процессы для производства СБИС. Должен уметь выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства СБИС. Должен владеть практическими навыками разработки технологических маршрутов производства СБИС для конкретного применения.

Согласована на портале № 7584

2 Реализация компетенций

1 Компетенция ПК-1

ПК-1: способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий.

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 принципы моделирования устройств микросистемной техники и процессов их изготовления	Умеет выполнять моделирование базовых технологических процессов и давать рекомендации по выбору параметров	Владеет навыками моделирования технологических процессов изготовления устройств нано- и микросистемной техники
Виды занятий	• Лекции; • Практические занятия	• Лекции • Практические занятия; • Лабораторные занятия	• Практические занятия • Лабораторные занятия
Используемые средства оценивания	• Контрольные работы; • Выполнение практических заданий; • Экзамен	• Лабораторные занятия • Контрольные работы; • Выполнение практических заданий; • Экзамен	• 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	Обладает	Обладает диапа-	Контролирует

Согласована на портале № 7584

уровень)	фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	зоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем	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

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)	• *знает принципы моделирования устройств микросистемной техники и процессов их изготовления*	• *умеет выполнять моделирование базовых технологических процессов и давать рекомендации по выбору параметров*	• *владеет навыками моделирования технологических процессов изготовления устройств нано- и микросистемной техники*
Хорошо (базовый уровень)	• *знает принципы моделирования устройств микросистемной техники и*	• *умеет выполнять моделирование базовых технологических процессов*	• *владеет навыками моделирования основных технологических процессов изготовления*

Согласована на портале № 7584

	процессов их изготовления		*простых устройств нано- и микросистемной техники*
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *знает принципы моделирования устройств микросистемной техники и процессов их изготовления*	• *умеет выполнять моделирование на отдельных этапах базовых технологического маршрута*	• *владеет начальными навыками моделирования основных технологических процессов изготовления простых устройств нано- и микросистемной техники*

2 Компетенция ПК-8

ПК-8: готовностью использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники.

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 базовые технологические процессы для производства СБИС	Умеет выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства СБИС	Владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства СБИС для конкретного применения
Виды занятий	• Лекции; • Практические	• Лекции • Практические	• Практические занятия

Согласована на портале № 7584

	занятия	занятия; • Лабораторные занятия	• Лабораторные занятия
Используемые средства оценивания	• Контрольные работы; • Выполнение практических заданий; • Экзамен	• Лабораторные занятия • Контрольные работы; • Выполнение практических заданий; • Экзамен	• 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 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

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

Согласована на портале № 7584

Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• *знает базовые технологические процессы для производства СБИС*	• *умеет выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства СБИС*	• *владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства СБИС для конкретного применения*
Хорошо (базовый уровень)	• *знает базовые технологические процессы для производства СБИС*	• *умеет выполнять расчеты основных параметров базовых технологических процессов производства СБИС*	• *владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства СБИС*
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *знает базовые технологические процессы для производства СБИС*	• *умеет выполнять расчеты основных параметров базовых технологических процессов производства СБИС*	• *владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства простых устройств по базовым технологическим маршрутам СБИС*

Согласована на портале № 7584

3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы: контрольные работы, 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.

Тема контрольной работы № 2: Ионная имплантация в технологии СБИС.

3.2 Тесты по следующим разделам:

Не предусмотрены

3.3 Выполнение домашних индивидуальных заданий:

Не предусмотрены.

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). Разработка технологического маршрута формирование СБИС

3.5 Темы лабораторных работ:

1). Исследование процессов травления микро- и наноструктур.

2). Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике.

3). Исследование процессов формирования Т-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.

Согласована на портале № 7584

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, 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:

Согласована на портале № 7584

– 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

Согласована на портале № 7584

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.

Согласована на портале № 7584