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» 07 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕХНОЛОГИЯ КРЕМНИЕВОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки **11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»**

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

Согласована на портале № 8373

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 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (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

Согласована на портале № 8373

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.

Согласована на портале № 8373

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**	

Согласована на портале № 8373

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. Пробеги 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	Планаризация 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		+	+	+	+		

Согласована на портале № 8373

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 p-HEMT 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

Согласована на портале № 8373

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

Согласована на портале № 8373

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 № 8373

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

Согласована на портале № 8373

1 Введение

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

Перечень закрепленных за дисциплиной «Технология кремниевой наноэлектроники» 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 наноэлектроники. Должен уметь выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства приборов с наноразмерными элементами. Должен владеть практическими навыками разработки технологических маршрутов производства устройств кремниевой наноэлектроники 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 наноэлектроники. Должен уметь выполнять расчеты параметров современных технологических процессов. Должен владеть навыками разработки технологических маршрутов с использованием современного оборудования.

Согласована на портале № 8373

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	• Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания	• Лекции; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Выполнение домашнего индивидуального задания.	• Практические занятия; • Лабораторные занятия.
Используемые средства оценивания	• Контрольные работы; • Тесты; • Выполнение домашнего индивидуального задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен	• Лабораторные занятия; • Контрольные работы; • Тесты; • Выполнение домашнего индивидуального задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен	• Лабораторные занятия; • Выполнение практических заданий; • Экзамен

Согласована на портале № 8373

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, 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 технологические процессы производства приборов кремниевой наноэлектроники*	• *умеет выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства приборов с*	• *владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства устройств кремниевой наноэлектроники*

Согласована на портале № 8373

		наноразмерным и элементами	*для конкретного применения*
Хорошо (базовый уровень)	• *знает технологические процессы производства приборов кремниевой наноэлектроники*	• *умеет выполнять расчеты основных параметров базовых технологических процессов производства приборов с наноразмерным и элементами*	• *владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства простых устройств кремниевой наноэлектроники*
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *знает основные технологические процессы производства приборов кремниевой наноэлектроники*	• *умеет выполнять расчеты основных параметров базовых технологических процессов производства простых приборов с наноразмерным и элементами*	• *владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства простых устройств по базовым технологическим маршрутам кремниевой наноэлектроники*

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

Согласована на портале № 8373

Содержание этапов	Знает современные технологические процессы и оборудование для производства устройств кремниевой наноэлектроники	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	• Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания	• Лекции • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Выполнение домашнего индивидуального задания	• Практические занятия; • Лабораторные занятия
Используемые средства оценивания	• Контрольные работы; • Тесты; • Выполнение домашнего индивидуального задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен	• Лабораторные занятия; • Контрольные работы; • Тесты; • Выполнение домашнего индивидуального задания; • 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	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений,	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы

Согласована на портале № 8373

	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)	• *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*

Согласована на портале № 8373

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 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 наноэлектроники.

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

Согласована на портале № 8373

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 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.

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).

Согласована на портале № 8373

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

Согласована на портале № 8373

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.

Согласована на портале № 8373