5/4

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» 04 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕХНОЛОГИЯ КРЕМНИЕВОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

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 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 № 8371

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:
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 № 8371

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является:

- изучение технологических процессов создания наноразмерных элементов и структур;
- изучение технологических маршрутов изготовления микро- и наноструктур на кремнии.

Задачами изучения дисциплины являются:

- формирование знаний в области нанотехнологий кремниевой наноэлектроники;
- формирование навыков разработки технологических маршрутов изготовления устройств микро- и наносистемной техники.

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 «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:

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

– базовые маршруты изготовления микро- и наноструктур на кремниии;

– принципы моделирования технологических процессов и объектов наноразмерных кремниевых устройств

уметь:

– разрабатывать наноразмерные кремниевые интегральные схемы и технологические маршруты их изготовления;

- проводить моделирование технологических процессов и объектов микро- и наносистемной техники;

владеть:

– навыками разработки базовых технологических процессов;

– методами физико-математического моделирования технологических процессов.

Согласована на портале № 8371

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
2.	Субмикронная фотолитография	4	2		8	14	ПК-8
3.	Пучковые методы литографии	6	6		12	24	ПК-8
4.	Ионная имплантация	10	6		14	30	ПК-1, ПК-8
5.	Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	4	2	8	10	24	ПК-1, ПК-8
6.	Осаждение металлов и диэлектриков	4		4	10	18	ПК-1, ПК-8
7.	Технологические маршруты изготовления микро- и наноструктур	6	2	4	16	28	ПК-1, ПК-8
		36	**18**	**16**	**74**	**144**	

Согласована на портале № 8371

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
2	Субмикронная фотолитография	Проекционная фотолитография. Литография КУФ и ЭУФ диапазона. Наноимпринтинг.	4	ПК-8
3	Пучковые методы литографии	Электронно-лучевая литография. Сканирующая ионная литография. Рентгенолитография.	6	ПК-8
4	Ионная имплантация	Технология ионной имплантации. Пробеги ионов. Радиационные дефекты. Отжиг структур. Области применения.	10	ПК-1, ПК-8
5	Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	Основные параметры применения ионного и ПХТ. Разрешающая способность методов травления.	4	ПК-1, ПК-8
6	Осаждение металлов и диэлектриков	Электронно-лучевое испарение. Магнетронное распыление. Ионно-плазменное осаждение. Атомно-слоевое осаждение из газовой фазы.	4	ПК-1, ПК-8
7	Технологические маршруты изготовления микро- и наноструктур	Планаризация рельефа. Формирование МОП- и КМОП-транзисторов.	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	+	+				+	
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		+	+	+	+		

Согласована на портале № 8371

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	Исследование 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	Формирование КМОП интегральных схем с субмикронными размерами	2	ПК-1, ПК-8

Согласована на портале № 8371

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 № 8371

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 № 8371

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)

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 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 № 8371

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-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 нано- и микроструктур. Должен уметь выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства приборов с наноразмерными элементами. Должен владеть практическими навыками разработки технологических маршрутов производства

Согласована на портале № 8371

		устройств кремниевой наноэлектроники для конкретного применения.

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; • 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	• Лабораторные занятия • Выполнение практических заданий; • Экзамен

Согласована на портале № 8371

		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, 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 микросистемн*	• *умеет выполнять моделирование базовых технологически*	• *владеет навыками моделирования технологических процессов изготовления*

Согласована на портале № 8371

	ой техники и процессов их изготовления	*х процессов и давать рекомендации по выбору параметров*	*устройств нано- и микросистемной техники*
Хорошо (базовый уровень)	• *знает принципы моделирования устройств микросистемн ой техники и процессов их изготовления*	• *умеет выполнять моделирование базовых технологически х процессов*	• *владеет навыками моделирования основных технологических процессов изготовления простых устройств нано- и микросистемной техники*
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *знает принципы моделирования устройств микросистемн ой техники и процессов их изготовления*	• *умеет выполнять моделирование на отдельных этапах базовых технологическо го 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

Согласована на портале № 8371

Содержание этапов	Знает базовые технологические процессы для производства нано- и микроструктур	Умеет выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства приборов с наноразмерными элементами	Владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства устройств кремниевой наноэлектроники для конкретного применения
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	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития твор-	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует

Согласована на портале № 8371

	пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	ческих решений, абстрагирования проблем	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.

Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

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

Согласована на портале № 8371

		технологических процессов производства приборов с наноразмерными элементами	*производства простых устройств кремниевой наноэлектроники*
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *знает базовые технологические процессы для производства нано- и микроструктур*	• *умеет выполнять расчеты основных параметров базовых технологических процессов производства простых приборов с наноразмерными элементами*	• *владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов производства простых устройств по базовым технологическим маршрутам кремниевой наноэлектроники*

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

Согласована на портале № 8371

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 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.

Согласована на портале № 8371

15). Формирование электронных лучей субмикронных размеров.

16). Чем определяется длина волны экспонирующего излучения в электронно-лучевой литографии?

17). Влияние поперечной составляющей тепловой скорости электронов на разрешающую способность электронной литографии.

18). Радиационные дефекты. Образование аморфной фазы. Использование радиационных дефектов на практике.

19). Быстрый термический отжиг. Области применения.

20). Характеристики методов травления (жидкостное, ионное, поазмохимическое).

21). Распределение внедренной примеси по глубине при ионной имплантации. Образование p-n перехода.

22). Методы импульсного отжига.

23). Взаимодействие электронов с резистом. Энергетические потери. Рассеяние электронов.

24). Способы формирования супермелкозалегающих p-n переходов.

25). Чему равна селективность травления, если скорость травления фоторезиста в два раза больше скорости травления подложки?

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

Согласована на портале № 8371

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.

Согласована на портале № 8371