МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Технология кремниевой наноэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль): **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **4**
Семестр: **8**
Учебный план набора 2013 года

Распределение рабочего времени

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

Экзамен: 8 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 13000

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

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, утвержденного 2015-03-06 года, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «_11__» _____01_____ 2017 года, протокол №___77___.

Разработчики:

доцент каф. ФЭ _____ Чистоедова И. А.

Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ _____ Троян П. Е.

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

Декан ФЭТ _____ Воронин А. И.

Заведующий выпускающей каф. ФЭ _____ Троян П. Е.

Эксперты:

Председатель методической комиссии кафедры ФЭ _____ Чистоедова И. А.

Согласована на портале № 13000

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

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

1.2. Задачи дисциплины

– формирование знаний в области нанотехнологий кремниевой наноэлектроники;

– формирование навыков разработки технологических маршрутов изготовления устройств микро- и наносистемной техники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Технология кремниевой наноэлектроники» (Б1.В.ДВ.8.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур, Математика, Моделирование и проектирование микро- и наносистем, Основы технологии электронной компонентной базы,, Процессы микро- и нанотехнологии, Твердотельная электроника, Технология материалов микро- и наноэлектроники, Физика, Физические основы микро- и наносистемной техники, Химия.

Последующими дисциплинами являются: Преддипломная практика, Выпускная квалификационная работа.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

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

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

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 кремнии; – 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.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

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

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

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

Согласована на портале № 13000

Из них в интерактивной форме	16	16
Самостоятельная работа (всего)	74	74
Выполнение расчетных работ	14	14
Подготовка к контрольным работам	15	15
Оформление отчетов по лабораторным работам	16	16
Проработка лекционного материала	11	11
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	18	18
Всего (без экзамена)	144	144
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость ч	180	180
Зачетные Единицы Трудоемкости	5.0	5.0

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
8 семестр						
1 Тенденция развития современной микро- и наноэлектроники	2	0	0	1	3	ПК-8
2 Субмикронная фотолитография	4	2	0	11	17	ПК-1, ПК-8
3 Пучковые методы литографии	6	6	0	13	25	ПК-1, ПК-8
4 Ионная имплантация	10	6	0	15	31	ПК-1, ПК-8
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	4	2	8	15	29	ПК-1, ПК-8
6 Осаждение металлов и диэлектриков	4	0	4	7	15	ПК-1, ПК-8
7 Технологические маршруты изготовления микро- и наноструктур	6	2	4	12	24	ПК-1, ПК-8
Итого за семестр	36	18	16	74	144	
Итого	36	18	16	74	144	

Согласована на портале № 13000

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

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

Таблица 5.2 - Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины по лекциям	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
1 Тенденция развития современной микро- и наноэлектроники	Масштабирование размеров. Закон Мура. Международная технологическая дорожная карта	2	ПК-8
	Итого	2	
2 Субмикронная фотолитография	Проекционная фотолитография. Литография КУФ и ЭУФ диапазона. Наноимпринтинг	4	ПК-8
	Итого	4	
3 Пучковые методы литографии	Электронно-лучевая литография. Сканирующая ионная литография. Рентгенолитография	6	ПК-8
	Итого	6	
4 Ионная имплантация	Технология ионной имплантации. Пробеги ионов. Радиационные дефекты. Отжиг структур. Области применения	10	ПК-1, ПК-8
	Итого	10	
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	Основные параметры применения ионного и ПХТ. Разрешающая способность методов травления	4	ПК-1, ПК-8
	Итого	4	
6 Осаждение металлов и диэлектриков	Электронно-лучевое испарение. Магнетронное распыление. Ионно-плазменное осаждение. Атомно-слоевое осаждение из газовой фазы	4	ПК-1, ПК-8
	Итого	4	
7 Технологические маршруты изготовления микро- и наноструктур	Планаризация рельефа. Формирование МОП- и КМОП-транзисторов	6	ПК-1, ПК-8
	Итого	6	
Итого за семестр		36	

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

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

Таблица 5.3 - Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин

Согласована на портале № 13000

	1	2	3	4	5	6	7
Предшествующие дисциплины							
1 Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур	+	+		+	+	+	
2 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты	+	+	+	+	+	+	+
3 Математика			+	+	+		
4 Моделирование и проектирование микро- и наносистем		+	+	+	+		
5 Основы технологии электронной компонентной базы	+	+				+	
6 Преддипломная практика	+	+	+	+	+	+	+
7 Процессы микро- и нанотехнологии	+	+	+	+	+	+	+
8 Твердотельная электроника	+	+					+
9 Технология материалов микро- и наноэлектроники	+	+			+		+
10 Физика		+		+	+	+	
11 Физические основы микро- и наносистемной техники		+	+		+	+	
12 Химия		+			+	+	

Последующие дисциплины							
1 Преддипломная практика	+	+	+	+	+	+	+
2 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты	+	+	+	+	+	+	+

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

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

Таблица 5. 4 – Соответствие компетенций и видов занятий, формируемых при изучении дисциплины

	Виды занятий	Формы контроля

Согласована на портале № 13000

Компетенции	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Расчетная работа, Тест
ПК-8	+	+	+	+	Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Расчетная работа, Тест

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

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

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

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

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7. 1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	Исследование процессов травления микро- и наноструктур	4	ПК-1, ПК-8
	Исследование процессов формирования Т-образного затвора p-HEMT транзистора	4	

Согласована на портале № 13000

	Итого	8	
6 Осаждение металлов и диэлектриков	Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике	4	ПК-1, ПК-8
	Итого	4	
7 Технологические маршруты изготовления микро- и наноструктур	Исследование процессов травления микро- и наноструктур	4	ПК-1, ПК-8
	Итого	4	
Итого за семестр		16	

8. Практические занятия (семинары)

Тематика практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8. 1 – Тематика практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
2 Субмикронная фотолитография	Субмикронная фотолитография	2	ПК-8
	Итого	2	
3 Пучковые методы литографии	Электронно-лучевая литография	6	ПК-8
	Итого	6	
4 Ионная имплантация	Ионная имплантация в технологии кремниевой наноэлектроники	6	ПК-1, ПК-8
	Итого	6	
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	Ионно-лучевое травление микро- и наноструктур	2	ПК-1, ПК-8
	Итого	2	
7 Технологические маршруты изготовления микро- и наноструктур	Формирование КМОП интегральных схем с субмикронными размерами	2	ПК-1, ПК-8
	Итого	2	
Итого за семестр		18	

9. Самостоятельная работа

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

Таблица 9.1 - Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
8 семестр				
1 Тенденция развития современной микро- и	Проработка лекционного материала	1	ПК-8	Тест, Экзамен

Согласована на портале № 13000

наноэлектроники	Итого	1		
2 Субмикронная фотолитография	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-8, ПК-1	Контрольная работа, Расчетная работа, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Выполнение расчетных работ	4		
	Итого	11		
3 Пучковые методы литографии	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-8, ПК-1	Контрольная работа, Расчетная работа, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Выполнение расчетных работ	3		
	Итого	13		
4 Ионная имплантация	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-1, ПК-8	Контрольная работа, Расчетная работа, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	3		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Выполнение расчетных работ	4		
	Итого	15		
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-8	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Расчетная работа, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Выполнение расчетных работ	2		
	Итого	15		

Согласована на портале № 13000

6 Осаждение металлов и диэлектриков	Проработка лекционного материала	1	ПК-1, ПК-8	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	7		
7 Технологические маршруты изготовления микро- и наноструктур	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-8	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Расчетная работа, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	3		
	Выполнение расчетных работ	1		
	Итого	12		
Итого за семестр		74		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		110		

10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
8 семестр				
Контрольная работа	10	10	10	30
Отчет по лабораторной работе		8	8	16
Расчетная работа	4	6	10	20
Тест			4	4
Итого максимум за период	14	24	32	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	14	38	70	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

Согласована на портале № 13000

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

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

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

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

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 - 89	B (очень хорошо)
	75 - 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 - 69	
	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Технология кремниевой наноэлектроники [Текст] : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей, Е. В. Анищенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск : ТУСУР, 2015. - 319 с : рис., цв. ил., табл. - Библиогр.: с. 317-318. - ISBN 978-5-86889-713-9 (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.)

12.2. Дополнительная литература

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

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

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

12.3 Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

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

Согласована на портале № 13000

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

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

12.3.2 Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

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

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

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины

13.1. Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое обеспечение для лекционных занятий

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

13.1.2. Материально-техническое обеспечение для практических занятий

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

13.1.3. Материально-техническое обеспечение для лабораторных работ

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

13.1.4. Материально-техническое обеспечение для самостоятельной работы

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

Согласована на портале № 13000

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

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

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

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

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

14. Фонд оценочных средств

14.1. Основные требования к фонду оценочных средств и методические рекомендации

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

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

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

Таблица 14 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

Категории студентов	Виды дополнительных оценочных средств	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, исходя из состояния обучающегося на момент проверки

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

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;

Согласована на портале № 13000

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;
– набор ответов на компьютере;
– набор ответов с использованием услуг ассистента;
– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 13000

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Технология кремниевой наноэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки (специальность): **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль): **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **4**
Семестр: **8**

Учебный план набора 2013 года

Разработчики:

- доцент каф. ФЭ Чистоедова И. А.

Экзамен: 8 семестр

Томск 2017

Согласована на портале № 13000

1. Введение

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

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

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

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенций
ПК-1	способностью проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	Должен знать физические и химические принципы, лежащие в основе технологических процессов кремниевой наноэлектроники; – базовые маршруты изготовления микро- и наноструктур на кремнии; – принципы моделирования технологических процессов и объектов наноразмерных кремниевых устройств ; Должен уметь разрабатывать наноразмерные кремниевые интегральные схемы и технологические маршруты их изготовления; - проводить моделирование технологических процессов и объектов микро- и наносистемной техники ; Должен владеть навыками разработки базовых технологических процессов; – методами физико-математического моделирования технологических процессов. ;
ПК-8	готовностью использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники	

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

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

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

Согласована на портале № 13000

		задач	

2 Реализация компетенций

2.1 Компетенция ПК-1

ПК-1: способностью 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 3.

Таблица 3 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	принципы моделирования устройств микросистемной техники и процессов их изготовления.	выполнять моделирование базовых технологических процессов и давать рекомендации по выбору параметров.	навыками моделирования технологических процессов изготовления устройств нано- и микросистемной техники
Виды занятий	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка и сдача экзамена / зачета;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка и сдача экзамена / зачета;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Расчетная работа; • Тест; • Экзамен;	• Контрольная работа; • Отчет по лабораторной работе; • Расчетная работа; • Тест; • Экзамен;	• Отчет по лабораторной работе; • Расчетная работа; • Экзамен;

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

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	• • знает 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;

Согласована на портале № 13000

Хорошо (базовый уровень)	• • знает принципы моделирования устройств микросистемной техники и процессов их изготовления;	• • умеет выполнять моделирование базовых технологических процессов ;	• • владеет навыками моделирования основных технологических процессов 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;

2.2 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

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	базовые технологические процессы для производства нано- и микроструктур.	выполнять расчеты параметров базовых технологических процессов производства приборов с наноразмерными элементами	практическими навыками разработки технологических маршрутов производства устройств кремниевой наноэлектроники для конкретного применения
Виды занятий	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка и сдача экзамена / зачета;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Интерактивные лекции; • Практические занятия; • Лабораторные занятия; • Лекции; • Самостоятельная работа; • Подготовка и сдача экзамена / зачета;	• Интерактивные практические занятия; • Интерактивные лабораторные занятия; • Лабораторные занятия; • Самостоятельная работа;
Используемые средства	• Контрольная работа; • Отчет по	• Контрольная работа; • Отчет по	• Отчет по лабораторной работе;

Согласована на портале № 13000

оценивания	лабораторной работе; • Расчетная работа; • Тест; • Экзамен;	лабораторной работе; • Расчетная работа; • Тест; • Экзамен;	• Расчетная работа; • Экзамен;

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

Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Состав	Знать	Уметь	Владеть
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 технологических процессов производства приборов с наноразмерными элементами;	• • владеет практическими навыками разработки технологических маршрутов 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 типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в следующем составе.

3.1 Тестовые задания

– Тестовые задания по темам: «Электронно-лучевая литография», «Ионная имплантация», «Ионно-плазменное травление».

Пример 1. Чему будет равна энергия ионов бора в ионизированной молекуле фторида бора BF_2^+, ускоренной потенциалом 50 кэВ?

а) 9,8 кэВ; б) 11 кэВ; в) 50 кэВ.

Пример 2. Чему будет равна энергия двухкратнозаряженного иона азота N^{++},

Согласована на портале № 13000

ускоренного потенциалом 50 кэВ?

а) 50 кэВ; б) 80 кэВ; в) 100 кэВ.

Пример 3. Чему будет равна доза облучения Q с размерностью [ион/см^2], если она для однократнозаряженных ионов составляет D=100 мкКл/см^2?

а) $6{,}25\cdot10^{14}$; б) $1\cdot10^{14}$; в) $6{,}25\cdot10^{15}$.

3.2 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, 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?

3.3 Темы контрольных работ

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

Вариант 1

1. Как получается рисунок при последовательной ЭЛЛ.
2. Каким образом для электронной пушки обеспечить малое значение угла схождения α (для уменьшения аберраций) при достаточной I_{max}? Рассмотреть этот вопрос теоретически и практически.
3. Представить механизмы рассеяния пучка электронов при электронно-лучевом экспонировании.

Вариант 2

1. Что такое оптимальный угол сходимости луча в электронно-лучевой установке?
2. Проекционный пробег электронов по формуле Виддингтона-Томсона. Рассчитать пробег при E_0=10-40 кэВ.
3. Как образуется минимальный диаметр электронного луча на мишени?

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

Вариант 1

Согласована на портале № 13000

1. Определить параметры, которые будут определять время ионной имплантации?

2. Объяснить характер распределения примеси при ионной имплантации.

3. Что такое точечные дефекты? Рассчитать концентрацию этих дефектов при бомбардировке мишени из кремния ионами бора с дозой 10^{13} см$^{-2}$. $E_{см}$=15 эВ. Ядерные потери составляют 16 кэВ/мкм.

Вариант 2

1. Определить время процесса, необходимое для ионной имплантации с дозой 10^{13} см$^{-2}$, если плотность тока в ионном пучке составляет $1{,}6 \cdot 10^{-8}$ А/см$^{-2}$.

2. Проблемы легирования глубоких «тренчей».

3. Особенности легирования монокристаллов, эффект «каналирования». Сравнить распределение примесей для монокристаллов и аморфных тел.

3.4 Темы расчетных работ

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

3.5 Темы лабораторных работ

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

4 Методические материалы

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

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

4.1. Основная литература

1. Технология кремниевой наноэлектроники [Текст] : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей, Е. В. Анищенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск : ТУСУР, 2015. - 319 с : рис., цв. ил., табл. - Библиогр.: с. 317-318. - ISBN 978-5-86889-713-9 (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.)

4.2. Дополнительная литература

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

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

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

Согласована на портале № 13000

4.3. Обязательные учебно-методические пособия

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

4.4. Базы данных, информационно справочные и поисковые системы

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

Согласована на портале № 13000