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
ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ

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** 7, 8

Учебный план набора 2013 года.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции							44		44	часов
2.	Лабораторные работы							16		16	часов
3.	Практические занятия							18		18	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)								20	20	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)							78	20	98	часов
6.	Из них в интерактивной форме							14		14	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)							66	88	154	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)							144	108	252	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена							36		36	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)							180	108	288	часов
	(в зачетных единицах)							5	3	8	ЗЕ

Экзамен 7 семестр **Диф. зачет** 8 семестр

Томск 2016

Согласована на портале № 6963

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), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 218, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «30» 06 2016 г., протокол № 71.

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

Заведующий кафедрой
Профессор кафедры ФЭ _____ / П.Е. Троян

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

Декан ФЭТ _____ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей кафедрой ФЭ _____ / П.Е. Троян

Зав. выпускающей кафедрой ФЭ _____ / П.Е. Троян

Эксперты:
Председатель методической комиссии факультета ФЭТ _____ / И.А. Чистоедова

Председатель методической комиссии кафедры ФЭ _____ / И.А. Чистоедова

Согласована на портале № 6963

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение студентами основных физико-химических явлений, лежащих в основе методов, являющихся базовыми в современной микро- и нанотехнологии, приобретение знаний по современному состоянию и перспективных направлениях развития микро- и наноэлектроники, их элементной базы, физическим основам функционирования приборов микро- и наноэлектроники.

Задачами дисциплины является:

- формирование навыков проведения термодинамических и кинетических расчетов технологических процессов;
- формирование знаний в области способов нанесения, удаления и модифицирования вещества на микро- и наноуровне, используемых при создании компонентов твердотельной электроники и интегральных схем;
- изучение базовых процессов и оборудования, используемых в традиционной микротехнологии, а также специфических процессов, позволяющих формировать структуры на молекулярном уровне и основанные на способности к самоорганизации, селективности, анизотропии.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

В соответствии с основной образовательной программой дисциплина «Процессы микро- и нанотехнологии» относится к вариативной части блока 1 (Б1.В.ОД.10).

Дисциплина базируется на знаниях, полученных по математике, физике, химии, физике конденсированного состояния, физике пленочных наноструктур, основам технологии электронной компонентной базы.

Знания, полученные при освоении дисциплины, будут использованы при изучении дисциплин: «Технология кремниевой наноэлектроники», «Моделирование и проектирование микро- и наносистем».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих *профессиональных* (ПК) и *профессионально-специализированных* (ПСК) 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 бакалавр должен:

знать:

– физико-химические и технологические основы процессов производства изделий микро- и наноэлектроники, типовые технологические процессы их изготовления; принципы организации базовых технологических процессов создания компонентов микро- и наноэлектроники;

уметь:

– выбирать оптимальные технологические процессы, их последовательности и контрольно-измерительные операции для производства изделий нано- и микросистем;

владеть:

- навыками реализации современных способов нанесения, удаления и модифицирования материалов при создании элементной базы микро- и наносистем.

Согласована на портале № 6963

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		7	8
Аудиторные занятия (всего)	**98**	**78**	**20**
В том числе:	-	-	-
Лекции	44	44	-
Практические занятия (ПЗ)	18	18	-
Лабораторные работы	16	16	-
Курсовой проект/(работа) (аудиторная нагрузка)	20	-	20
Самостоятельная работа (всего)	**154**	**66**	**88**
В том числе:	-	-	-
Проработка лекционного материала	10	10	-
Выполнение практических заданий	17	17	-
Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2, ИЗ-3	33	33	-
Подготовка к контрольным работам КР-1, КР-2	6	6	-
Курсовой проект (работа) (самостоятельная работа)	88	-	88
Подготовка к экзамену	36	36	-
Общая трудоемкость час	**288**	**180**	**108**
Зачетные Единицы	**8**	**5**	**3**

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Курсовой проект	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины	2				3	5	ПК-8, ПСК-2
2.	Физико-химические основы процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы – подложки	2			2	10	14	ПК-8, ПСК-2
3.	Структуры элементов ИМС	2	2		2	10	16	ПК-8, ПСК-2
4.	Физико-химические основы процессов перераспределения вещества	8	6	4	2	10	30	ПК-8, ПСК-2
5.	Физико-химические основы эпитаксиальных процессов	6	4	8	2	10	30	ПК-8, ПСК-2
6.	Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС	4	2		2	18	26	ПК-8, ПСК-2
7.	Физико-химические основы металлизации поверхности структур	2			2	18	22	ПК-8, ПСК-2
8.	Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники	6			2	14	22	ПК-8, ПСК-2
9.	Изоляция элементов ИМС	2			2	16	20	ПК-8, ПСК-2
10.	Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС	6	2		2	20	30	ПК-8, ПСК-2
11.	Основы нанотехнологий	4	2	4	2	25	37	ПК-8, ПСК-2

Согласована на портале № 6963

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Введение, цели и задачи дисциплины	Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Микро- и нанотехнологии – основа современной наноэлектроники. Организационно-технологические основы производства изделий микро- и наноэлектроники. Список рекомендуемой литературы.	2	ПК-8, ПСК-2
2.	Физико-химические основы процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы – подложки	Выбор материала подложек ИМС. Механическая, механохимическая и физическая обработка подложек. Химическая, электрохимическая и ионно-плазменная очистка подложек. Контроль степени чистоты.	2	ПК-8, ПСК-2
3.	Структуры элементов ИМС	Структуры элементов полупроводниковых ИМС	2	ПК-8, ПСК-2
4.	Физико-химические основы процессов перераспределения вещества	Процессы термодиффузионного легирования. Диффузионные процессы, стимулированные внешними и внутренними факторами. Физические основы процессов термической диффузии и ионной имплантации. Технология диффузии и оборудование. Контроль параметров легированных слоев. Расчет режимов диффузии и диффузионных профилей легирования. Параметры, влияющие на воспроизводимость результатов. Технологические погрешности при создании диффузионных областей. Модифицирование.	8	ПК-8, ПСК-2
5.	Физико-химические основы эпитаксиальных процессов	Термодинамика и кинетика ориентированного зародышеобразования. Механизм эпитаксии. Методы получения эпитаксиальных структур. Газофазная эпитаксия кремния. Кинетика эпитаксиального роста пленок при осаждении из газовой фазы. Расчет скорости эпитаксии. Автолегирование при эпитаксии. Технология эпитаксиального наращивания пленок и оборудование. Контроль параметров эпитаксиальных пленок. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Условия получения монокристаллических пленок. Оборудование для МЛЭ.	6	ПК-8, ПСК-2
6.	Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС	Термическое окисление кремния. Механизм роста и кинетика окисления. Методы окисления и оборудование. Перераспределение легирующих примесей на границе раздела фаз при окислении. Термодинамика и кинетика процессов химического осаждения из газовой фазы. Физико-химические основы химического и плазмохимического осаждения диэлектрических пленок и поликристаллического кремния. Оборудование. Свойства пленок.	4	ПК-8, ПСК-2
7.	Физико-химические основы металлизации поверхности структур	Выбор материала металлизации и технология металлизации. Анализ отказов по металлизации. Многоуровневая металлизация.	2	ПК-8, ПСК-2
8.	Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники	Классификация процессов литографии. Физико-химические основы процесса фотолитографии. Получение рисунка интегральной схемы методами фото-, рентгено- и электронолитографии. Нанолитография.	6	ПК-8, ПСК-2
9.	Изоляция элементов ИМС	Изоляция обратносмещенным *p-n*-переходом. Диэлектрическая изоляция. Комбинированная изоляция.	2	ПК-8, ПСК-2
10.	Типовые техноло-	Классификация технологических процессов изго-	6	ПК-8, ПСК-2

Согласована на портале № 6963

	гические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС	товления ИМС. Технология изготовления биполярных ИМС. Технология изготовления МДП ИМС.		
11.	Основы нанотехнологий	Введение в нанотехнологию. Современные методы нанотехнологии. Методы зондовой нанотехнологии.	4	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 из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Предшествующие дисциплины												
1.	Математика		+		+	+	+		+			
2.	Физика		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3.	Химия		+		+	+	+	+	+	+	+	+
4.	Физика конденсированного состояния	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5.	Физика пленочных наноструктур					+	+	+			+	
6.	Основы технологии электронной компонентной базы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины												
1	Технология кремниевой наноэлектроники	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Моделирование и проектирование микро- и наносистем	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля
	Л	ПЗ	ЛЗ	КП	СРС	
ПК-8	+	+	+	+	+	Опрос на лекциях. Защита индивидуального задания. Защита отчетов по практическим занятиям. Контрольная работа. Защита курсового проекта.
ПСК-2	+	+	+	+	+	Опрос на лекциях. Защита индивидуального задания. Защита отчетов по практическим занятиям. Контрольная работа. Защита курсового проекта.

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы \ Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Всего
Презентация с обсуждением	4		4
Решение ситуационных задач		10	10
Итого интерактивных занятий	4	10	14

Согласована на портале № 6963

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	**4**	Создание диффузионных p-n переходов	4	ПК-8, ПСК-2
2.	**5**	Газофазная эпитаксия кремния	4	ПК-8, ПСК-2
3.	**5**	Молекулярно-лучевая эпитаксия для создания гетероструктур	4	ПК-8, ПСК-2
4.	**11**	Зондовые технологии	4	ПК-8, ПСК-2

8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	**3**	Подложки полупроводниковых ИМС. Маркировка и параметры подложек. Структуры элементов.	2	ПК-8, ПСК-2
2.	**4**	Расчет режимов диффузии и профилей легирования	4	ПК-8, ПСК-2
3.	**4**	Расчет точности изготовления диффузионных элементов	2	ПК-8, ПСК-2
4.	**5**	Расчет режимов газофазной эпитаксии и профилей автолегирования	2	ПК-8, ПСК-2
5.	**5**	Расчет режимов молекулярно-лучевой эпитаксии	2	ПК-8, ПСК-2
6.	**6**	Расчет режимов окисления	2	ПК-8, ПСК-2
7.	**10**	Разработка типовых технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов и ИМС	2	ПК-8, ПСК-2
8.	**11**	Основы нанотехнологий	2	ПК-8, ПСК-2

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

7 семестр

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	**1-11**	Проработка лекционного материала	10	ПК-8, ПСК-2	Опрос на лекциях
2.	**3-6, 10**	Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям	17	ПК-8, ПСК-2	Отчеты по практическим работам
3.	**2-11**	Проработка лекционного материала при подготовке к контрольным работам	6	ПК-8, ПСК-2	Результаты контрольных работ
4.	**3-10**	Выполнение и защита индивидуальных заданий ИЗ-1, ИЗ-2, ИЗ-3	33	ПК-8, ПСК-2	Защита индивидуальных заданий
5.	**1-11**	Подготовка и сдача экзамена	36	ПК-8, ПСК-2	Оценка за экзамен

8 семестр

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	**1-11**	Подбор и анализ литературы	16	ПК-8, ПСК-2	Литературный обзор по тематике КП
2.	**1-11**	Выполнение расчетов	20	ПК-8, ПСК-2	Расчеты в соответствии с заданием КП
3.	**1-11**	Выполнение графических работ	20	ПК-8, ПСК-2	Графический материал
4.	**1-11**	Написание и оформление КП	20	ПК-8, ПСК-2	Пояснительная записка к КП
5.	**1-11**	Создание презентации, подготовка к докладу и защите КП	8	ПК-8, ПСК-2	Презентация, доклад
6.	**1-11**	Защита курсового проекта с представ-	4	ПК-8, ПСК-2	Оценка за КП

Согласована на портале № 6963

		лением доклада и презентации			

Тематика индивидуальных заданий:

Тема индивидуального задания № 1:
Диффузия примесей в кремний
Варианты приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.1).

Тема индивидуального задания № 2:
Эпитаксия пленок кремния
Варианты приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.1).

Тема индивидуального задания № 3:
Процесс изготовления полупроводниковых ИМС
Варианты приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.1).

Тема контрольной работы № 1: *Физико-химические основы процессов перераспределения вещества* (Разделы 2-4 рабочей программы). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.1).

Тема контрольной работы № 2: *Физико-химические основы эпитаксиальных процессов, процессов окисления* (Разделы 5-6 рабочей программы). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.1).

Учебно-методическое пособие содержат варианты заданий для контрольных работ и индивидуальных заданий. Для самостоятельного изучения рекомендуется список литературы и приводятся справочные материалы.

10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

Задания на курсовой проект предусматривают разработку технологии изготовления полупроводниковых ИМС и технологии структур наноэлектроники. Предметом курсовых проектов являются выбор и обоснование методов изготовления ИМС или структур наноэлектроники, расчет технологических режимов, технологических погрешностей и др.

Примерные темы на курсовой проект:

1. Технология изготовления интегральной микросхемы ЭСЛ.
2. Технология изготовления ИС на совмещенных МОП-транзисторах.
3. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью на МДП ИС.
4. Технология изготовления схемы ИМС ТТЛ.
5. Технология изготовления КМДП ИС типа ИЛИ-НЕ.
6. Технология изготовления транзистора с двумерным электронным газом.

Объем аудиторных занятий по курсовому проекту (КРС)– 20 час

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы
1.	**1-11**	Выдача заданий на КП	2	ПК-8, ПСК-2	Допуск к выполнению КП, план работы
2.	**1-11**	Согласование списка литературных источников и плана обзорной части КП	2	ПК-8, ПСК-2	Список литературы, выполненная обзорная часть работы
3.	**1-11**	Проверка расчетов по работе	4	ПК-8, ПСК-2	Выполненная расчетно-практическая часть работы
4.	**1-11**	Проверка графических материалов работы	4	ПК-8, ПСК-2	Графический материал
5.	**1-11**	Проверка оформления работы	4	ПК-8, ПСК-2	ПЗ к работе
6.	**1-11**	Проверка презентации, доклада, общей готовности к защите	4	ПК-8, ПСК-2	Презентация, доклад, готовый КП

Согласована на портале № 6963

11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля (7 семестр)

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 индивидуальных заданий	7	8	8	**23**
Контрольные работы	10		10	**20**
Отчеты по практическим занятиям	5	5	5	**15**
Компонент своевременности	2	2	2	**6**
Посещение занятий	2	2	2	**6**
Итого максимум за период:	**26**	**17**	**27**	**70**
Сдача экзамена (максимум)				**30**
Нарастающим итогом	**26**	**43**	**70**	**100**

Таблица 11.2. Балльные оценки для элементов контроля (8 семестр)

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
Посещение занятий КРС	2	2	2	**6**
Получение задания на КП	4			**4**
Подбор и анализ литературы	12			**12**
Выполнение расчетов		9	9	**18**
Выполнение графических работ		6	6	**12**
Оформление ПЗ			12	**12**
Компонент своевременности	2	2	2	**6**
Итого максимум за период:	**20**	**19**	**31**	**70**
Защита КП (максимум)				**30**
Нарастающим итогом	**20**	**39**	**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)

Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Физико-химические процессы очистки поверхности подложек.
2. Условия получения монокристаллических пленок.

Согласована на портале № 6963

Согласована на портале № 6963

3. Механизм роста и кинетика окисления кремния.
4. Физические основы процесса термической диффузии.
5. Технология эпитаксиального наращивания пленок и оборудование.
6. Технология изготовления диффузионных элементов
7. Технологический процесс изготовления биполярных ИМС по эпитаксиально-планарной технологии
8. Технологический процесс изготовления МДП ИС на комплементарных транзисторах
9. Технология изготовления биполярной ИМС по полипланарной технологии
10. Выбор метода получения рисунка интегральных микросхем
11. Технология металлизации полупроводниковых ИМС
12. Химическое осаждение из газовой фазы.
13. Зондовые нанотехнологии.
14. Физические процессы ионной имплантации.
15. Способы изоляции полупроводниковых ИМС.

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1 Основная литература

12.1.1. Смирнова К.И. Процессы микро- и нанотехнологии. Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 183 с. - [электронный ресурс] .- адрес:
http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&%E2%88%93view=article&id=231

12.1.2. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебное пособие. – Томск: В-Спектр, 2011. – 263 с. - [электронный ресурс] .- адрес:
http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&%E2%88%93view=article&id=231

12.1.3. К.И.Смирнова. Процессы микро- и нанотехнологии. Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2007. – 183 с. (51 экз.)

12.2 Дополнительная литература

12.2.1. Данилина Т.И., Чистоедова И.А.Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники : Учебное пособие / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск : 2010. – 100 с. : ил. - [электронный ресурс] .- адрес:
http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&%E2%88%93view=article&id=231

12.2.2. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов / Т. И. Данилина [и др.] ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2005. - 316 с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 310-313. - ISBN 5-86889-244-5 (103 экз.)

12.2.3. Т.И.Данилина, К.И.Смирнова, В.А.Илюшин, А.А.Величко. Процессы микро- и нанотехнологии. – Томск: ТУСУР, 2005. – 306 с. [электронный ресурс].- адрес: http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=240

12.2.4. Микроэлектроника: Физические и технологические основы, надежность: Учебное пособие для вузов / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь, Ю. И. Горбунов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1986. - 464 с. (52 экз.)

12.2.5. Технология микроэлектронных устройств: Справочник / З. Ю. Готра. - М.: Радио и связь, 1991. - 528 с. - ISBN 5-256-00699-1. (45 экз.)

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

12.3.1. Процессы микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 53 с. (47 экз.)

12.3.2. Процессы микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 21 с. (30 экз.)

12.3.3. Данилина Т.И., Сахаров Ю.В. Технология тонкопленочных микросхем : Методические ука-

Согласована на портале № 6963

Согласована на портале № 6963

зания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 63 с. (30 экз)

12.3.4. Методы исследования материалов и структур электроники : лабораторный практикум для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / С. В. Смирнов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 58 с. : (50 экз)

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации программы учебной дисциплины требуется аудитория, оснащенная мультимедийным проектором.

Лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории кафедры физической электроники, оснащенной вакуумным технологическим оборудованием.



Согласована на портале № 6963

Согласована на портале № 6963

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*

Процессы микро- и нанотехнологии

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направление(я) подготовки (специальность)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль(и) Микроэлектроника и твердотельная электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 4 **Семестр** 7, 8

Учебный план набора 2013 **года**

Зачет _____**семестр** **Диф. зачет** __8___ **семестр**

Экзамен _____7_____**семестр**

Разработчик: доцент кафедры ФЭ Чистоедова И.А.

Томск 2016

Согласована на портале № 6963

1 Введение

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

Перечень закрепленных за дисциплиной «Процессы микро- и нанотехнологии» 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 физико-химические и технологические основы процессов производства изделий микро- и наноэлектроники, типовые технологические процессы их изготовления; Должен знать принципы организации базовых технологических процессов создания компонентов микро- и наноэлектроники; Должен уметь выбирать оптимальные технологические процессы, их последовательности и контрольно-измерительные операции для производства изделий электронной техники; Должен владеть навыками реализации современных способов нанесения, удаления и модифицирования материалов при создании элементной базы микро- и наносистем
ПСК-2	готовность к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной	Должен знать современные технологические процессы и оборудование, используемые на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники.

Согласована на портале № 6963

	электроники	Должен уметь обосновать выбор процессов и методов для достижения поставленной технологической цели. Должен владеть навыками выбора и применения основных операций технологии создания изделий микроэлектроники и твердотельной электроники

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 физико-химические и технологические основы процессов производства изделий микро- и наноэлектроники, типовые технологические процессы их изготовления; принципы организации базовых технологических процессов создания компонентов микро- и наноэлектроники	Умеет выбирать оптимальные технологические процессы, их последовательности и контрольно-измерительные операции для производства изделий электронной техники	Владеет навыками реализации современных способов нанесения, удаления и модифицирования материалов при создании элементной базы микро- и наносистем
Виды занятий	• Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания; • Групповые	• Практические занятия; • Лабораторные работы; • Самостоятельная работа студентов;	• Практические занятия; • Лабораторные работы • Курсовой проект

Согласована на портале № 6963

	консультации	• Выполнение домашнего индивидуального задания	
Используемые средства оценивания	• Контрольные работы; • Выполнение домашнего индивидуальног о задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен	• Оформление и защита индивидуального задания; • Контрольные работы; • Выполнение практических заданий; • Оформление отчетности и защита лабораторных работ ; • Конспект самостоятельной работы	• Защита практических заданий, • Выполнение лабораторных работ и защита отчетов; • Защита курсового проекта; • 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 диапа-зоном практических умений, требуемых для развития твор-ческих 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	Обладает базовыми общими знаниями	Обладает основными	Работает при прямом

Согласована на портале № 6963

уровень)		умениями, требуемыми для выполнения простых задач	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 физико-технологические основы процессов производства изделий микро- и наноэлектроники;* • *знает типовые технологические процессы, используемые в современной микро- и наноэлектронике* • *знает принципы организации базовых технологических процессов создания компонентов микро- и наноэлектроники*	• *умеет разработать технологический процесс для изготовления изделия микро- и наноэлектроники;* • *умеет обосновать выбор последовательности технологических операций;* • *умеет обосновать выбор оптимальных технологических режимов и оценить их влияние на выходные параметры микро- и наноструктуры*	• *свободно владеет навыками реализации современных способов нанесения, удаления и модифицирования материалов при создании элементной базы микро- и наносистем*
Хорошо (базовый уровень)	• *знает физико-технологические основы процессов производства изделий микро- и*	• *умеет разработать технологический процесс для изготовления изделия микро- и наноэлектроники*	• *владеет навыками реализации современных способов нанесения, удаления и*

Согласована на портале № 6963

	наноэлектроники; • *знает базовые технологические процессы, используемые в современной микро- и наноэлектронике* • *знает принципы организации базовых технологических процессов создания компонентов микро- и наноэлектроники*	*;* • *умеет обосновать выбор последовательности технологических операций*	*модифицирования материалов при создании элементной базы микро- и наносистем*
Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *описывает физико-технологические основы процессов производства изделий микро- и наноэлектроники;* • *имеет представление о технологических процессах, используемых в современной микро- и наноэлектронике;* • *ознакомлен с принципами организации базовых технологических процессов создания компонентов микро- и*	• *умеет разработать технологический процесс для изготовления изделия микро- и наноэлектроники;*	• *способен выбрать способ нанесения, удаления и модифицирования материалов при создании элементной базы микро- и наносистем*

Согласована на портале № 6963

	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
Содержание этапов	Знает современные технологические процессы и оборудование, используемые на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники	Умеет аргументировано выбирать процессы и методы получения компонентов микро- и наноэлектроники для достижения поставленной технологической цели	Владеет навыками выбора и применения основных операций технологии создания изделий микроэлектроники и твердотельной электроники
Виды занятий	• Лекции; • Практические занятия; • Индивидуальные задания; • Групповые консультации	• Практические занятия; • Лабораторные работы; • Самостоятельная работа студентов; • Выполнение домашнего индивидуального задания	• Практические занятия; • Лабораторные работы; • Курсовой проект
Используемые средства оценивания	• Контрольная работа; • Выполнение домашнего задания; • Выполнение практических заданий; • Экзамен	• Оформление и защита индивидуального задания; • Контрольные работы; • Выполнение практических заданий; • Оформление отчетности и	• Защита практических заданий; • Выполнение лабораторных работ и защита отчетов • Защита курсового проекта, • Экзамен

Согласована на портале № 6963

		защита лабораторных работ; • Конспект самостоятельной работы	

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

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

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

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

Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий	• *знает*	• *демонстрирует*	• *владеет*

Согласована на портале № 6963

Удовлетворительно (пороговый уровень)	• *имеет представление об основных технологических процессах и оборудовании для создания электронной компонентной базы*	• *умеет решать простые задачи по выбору процессов и методов получения компонентов микро- и наноэлектроник и*	• *имеет навыки выбора и применения основных операций технологии создания микро- и наноструктур*

3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы: контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, 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: Физико-химические основы процессов перераспределения вещества.

Тема контрольной работы № 2: Физико-химические основы эпитаксиальных процессов, процессов окисления.

3.2 Выполнение домашних индивидуальных заданий:

Тема индивидуального задания № 1 – Диффузия примесей в кремний.

Тема индивидуального задания № 2 – Эпитаксия пленок кремния.

Тема индивидуального задания № 3 – Процесс изготовления полупроводниковых ИМС.

3.3 Темы практических занятий:

1). Подложки полупроводниковых ИМС. Маркировка и параметры подложек. Структуры элементов

2). Расчет режимов диффузии и профилей легирования

3). Расчет точности изготовления диффузионных элементов

4). Расчет режимов газофазной эпитаксии и профилей автолегирования

5). Расчет режимов молекулярно-лучевой эпитаксии

6). Расчет режимов окисления

7). Литография в технологии микро- и наноэлектронике

Согласована на портале № 6963

уровень)	*современные технологические процессы и оборудование, используемые на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники* • *понимает области конкретного применения технологических процессов и оборудования*	*базовые инженерные знания и понимание научных принципов, лежащих в основе технологических процессов микро- и наноэлектроники, микросистемной техники;* • *обладает диапазоном практических умений, требуемых для сравнения и выбора технологических процессов и методов для достижения поставленной цели* • *умеет объяснить и интерпретировать полученные исследовательские и опытные технологические результаты*	*методами для решения технологических задач микро- и наноэлектроники;* • *свободно владеет навыками выбора и применения основных операций технологии создания микро- и наноструктур*
Хорошо (базовый уровень)	• *знает современные технологические процессы и оборудование, используемые на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники*	• *умеет выбирать технологическое оборудование и метод получения для конкретного применения*	• *владеет навыками выбора и применения основных операций технологии создания микро- и наноструктур*

Согласована на портале № 6963

8). Расчет технологических режимов для создания изоляции ИМС

9). Разработка типовых технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов и ИМС

10). Основы нанотехнологий

3.4 Темы для самостоятельной работы

1). Методы осаждения из жидкой фазы: жидкофазная эпитаксия, электрохимическое осаждение слоев, нанесение моно- и мультислоев органических веществ методом Ленгмюра-Блоджетт. Золь-гель технология.

2). Технологии нанопечати. Метод горячего тиснения. Использование полимеризации резиста.

3). Плазменные процессы получения наноструктур.

3.5 Темы курсового проекта:

Задания на курсовой проект предусматривают разработку технологии изготовления полупроводниковых ИМС и технологии структур наноэлектроники. Предметом курсовых проектов являются выбор и обоснование методов изготовления ИМС или структур наноэлектроники, расчет технологических режимов, технологических погрешностей и др.

Примерные темы на курсовой проект:

1). Технология изготовления интегральной микросхемы ЭСЛ.

2). Технология изготовления ИС на совмещенных МОП-транзисторах.

3). Фоточувствительные приборы с зарядовой связью на МДП ИС.

4). Технология изготовления схемы ИМС ТТЛ.

5). Технология изготовления КМДП ИС типа ИЛИ-НЕ.

6). Технология изготовления транзистора с двумерным электронным газом.

3.6 Темы лабораторных работ:

1). Создание диффузионных p-n переходов

2). Газофазная эпитаксия кремния

3). Молекулярно-лучевая эпитаксия для создания гетероструктур

4). Зондовые технологии

3.7 Экзаменационные вопросы:

1 Физико-химические процессы очистки поверхности подложек.

2 Условия получения монокристаллических пленок.

3 Механизм роста и кинетика окисления кремния.

4 Физические основы процесса термической диффузии.

5 Технология эпитаксиального наращивания пленок и оборудование.

6 Технология изготовления диффузионных элементов

Согласована на портале № 6963

7 Технологический процесс изготовления биполярных ИМС по эпитаксиально-планарной технологии

8 Технологический процесс изготовления МДП ИС на комплементарных транзисторах

9 Технология изготовления биполярной ИМС по полипланарной технологии

10 Выбор метода получения рисунка интегральных микросхем

11 Технология металлизации полупроводниковых ИМС

12 Химическое осаждение из газовой фазы.

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. Смирнова К.И. Процессы микро- и нанотехнологии. Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2012. – 183 с. - [электронный ресурс] .- адрес:

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

4.1.2. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебное пособие. – Томск: В-Спектр, 2011. – 263 с. - [электронный ресурс] .- адрес:

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

4.1.3. К.И.Смирнова. Процессы микро- и нанотехнологии. Учебное пособие – Томск: ТУСУР, 2007. – 183 с. (51 экз.)

4.2 Дополнительная литература

4.2.1. Данилина Т.И., Чистоедова И.А.Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники : Учебное пособие / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск : 2010. – 100 с. : ил. - [электронный ресурс] .- адрес:

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

4.2.2. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов / Т. И. Данилина [и др.] ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2005. - 316 с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 310-313. - ISBN 5-86889-244-5 (103 экз.)

Согласована на портале № 6963

4.2.3. Т.И.Данилина, К.И.Смирнова, В.А.Илюшин, А.А.Величко. Процессы микро- и нанотехнологии. – Томск: ТУСУР, 2005. – 306 с. [электронный ресурс].- адрес: http://miel.tusur.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=240

4.2.4. Микроэлектроника: Физические и технологические основы, надежность: Учебное пособие для вузов / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь, Ю. И. Горбунов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1986. - 464 с. (52 экз.)

4.2.5. Технология микроэлектронных устройств: Справочник / З. Ю. Готра. - М.: Радио и связь, 1991. - 528 с. - ISBN 5-256-00699-1. (45 экз.)

4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

4.3.1. Процессы микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 53 с. (47 экз.)

4.3.2. Процессы микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 21 с. (30 экз.)

4.3.3. Данилина Т.И., Сахаров Ю.В. Технология тонкопленочных микросхем : Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 63 с. (30 экз)

4.3.4. Методы исследования материалов и структур электроники : лабораторный практикум для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / С. В. Смирнов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 58 с. : (50 экз)

Согласована на портале № 6963