МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

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

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Процессы микро- и нанотехнологии

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Микроэлектроника и твердотельная электроника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **4**
Семестр: **7, 8**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	7 семестр	8 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	44	0	44	часов
2	Практические занятия	34	0	34	часов
3	Курсовая работа (проект)	0	20	20	часов
4	Всего аудиторных занятий	78	20	98	часов
5	Из них в интерактивной форме	14	0	14	часов
6	Самостоятельная работа	66	52	118	часов
7	Всего (без экзамена)	144	72	216	часов
8	Подготовка и сдача экзамена	36	0	36	часов
9	Общая трудоемкость	180	72	252	часов
		5.0	2.0	7.0	З.Е.

Экзамен: 7 семестр
Курсовая работа (проект): 8 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 31871

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 91 от «19» 4 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:
доцент каф. ФЭ _____ И. А. Чистоедова

Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ _____ П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ _____ А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф. ФЭ _____ П. Е. Троян

Эксперты:

Профессор кафедры физической электроники (ФЭ) _____ Т. И. Данилина

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ) _____ И. А. Чистоедова

Согласована на портале № 31871

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели 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.

1.2. Задачи дисциплины

– - 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 ОПОП

Дисциплина «Процессы микро- и нанотехнологии» (Б1.В.ОД.7) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Процессы микро- и нанотехнологии, Математика, Основы технологии электронной компонентной базы, Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники, Физика, Физика конденсированного состояния, Физика пленочных наноструктур, Химия.

Последующими дисциплинами являются: Процессы микро- и нанотехнологии, Конструкторско-технологическое обеспечение производства изделий микроэлектроники, Моделирование и проектирование микро- и наносистем, Преддипломная практика, Технология кремниевой наноэлектроники.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-8 способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники;

– ПК-9 готовностью организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники;

– ПСК-2 готовностью к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микроэлектроники и твердотельной электроники;

В результате изучения дисциплины обучающийся 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 микро- и наноэлектроники

– **владеть** - навыками реализации современных способов нанесения, удаления и модифицирования материалов при создании элементной базы микро- и наноэлектроники.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры

Согласована на портале № 31871

		7 семестр	8 семестр
Аудиторные занятия (всего)	98	78	20
Лекции	44	44	
Практические занятия	34	34	
Курсовая работа (проект)	20		20
Из них в интерактивной форме	14	14	
Самостоятельная работа (всего)	118	66	52
Выполнение расчетных работ	15		15
Подготовка к контрольным работам	9	9	
Выполнение курсового проекта (работы)	25		25
Выполнение индивидуальных заданий	8	8	
Проработка лекционного материала	15	15	
Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	12		12
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	34	34	
Всего (без экзамена)	216	144	72
Подготовка и сдача экзамена	36	36	
Общая трудоемкость, ч	252	180	72
Зачетные Единицы	7.0	5.0	2.0

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	Лек., ч	Прак. зан., ч	Сам. раб., ч	Курс. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
7 семестр						
1 Введение, цели и задачи дисциплины	2	0	1	0	3	ПК-8, ПСК-2
2 Физико-химические основы процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы – подложки	2	0	2	0	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
3 Структуры элементов ИМС	2	2	6	0	10	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
4 Физико-химические основы процессов перераспределения вещества	8	8	13	0	29	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
5 Физико-химические основы эпитаксиальных процессов	6	6	11	0	23	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
6 Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС	4	4	6	0	14	ПК-8, ПК-9, ПСК-2

Согласована на портале № 31871

7 Физико-химические основы металлизации поверхности структур	2	0	2	0	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
8 Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники	6	2	5	0	13	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
9 Изоляция элементов ИМС	2	2	4	0	8	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
10 Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС	6	4	9	0	19	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
11 Основы нанотехнологий	4	6	7	0	17	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
Итого за семестр	44	34	66	0	144	
8 семестр						
12 Получение заданий на курсовой проект	0	0	2	20	2	ПК-8, ПСК-2
13 Анализ литературы по теме курсового проекта	0	0	10		10	ПК-8, ПСК-2
14 Анализ актуальности, научной и практической значимости	0	0	2		2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
15 Выполнение необходимых расчетов по проекту	0	0	15		15	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
16 Анализ полученных результатов	0	0	4		4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
17 Выполнение графических материалов	0	0	9		9	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
18 Оформление курсового проекта	0	0	10		10	ПК-8, ПСК-2
Итого за семестр	0	0	52	20	72	
Итого	44	34	118	20	216	

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
7 семестр			
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
	Итого	2	

Согласована на портале № 31871

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, ПК-9, ПСК-2
	Итого	2	
3 Структуры элементов ИМС	Структуры элементов полупроводниковых ИМС	2	ПК-8, ПСК-2
	Итого	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, ПК-9, ПСК-2
	Итого	8	
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, ПК-9, ПСК-2
	Итого	6	
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, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	
7 Физико-химические основы металлизации поверхности структур	Выбор материала металлизации и технология металлизации. Анализ отказов по металлизации. Многоуровневая металлизация.	2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	2	
8 Физико-химические	Классификация процессов литографии. Физико-	6	ПК-8, ПК-

Согласована на портале № 31871

основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники	химические основы процесса фотолитографии. Получение рисунка интегральной схемы методами фото-, рентгено- и электронолитографии. Нанолитография.		9, ПСК-2
	Итого	6	
9 Изоляция элементов ИМС	Изоляция обратносмещенным p-n-переходом. Диэлектрическая изоляция. Комбинированная изоляция.	2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	2	
10 Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС	Классификация технологических процессов изготовления ИМС. Технология изготовления биполярных ИМС. Технология изготовления МДП ИМС.	6	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	6	
11 Основы нанотехнологий	Введение в нанотехнологию. Современные методы нанотехнологии. Методы зондовой нанотехнологии.	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		44	
Итого		44	

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 представлены 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																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Предшествующие дисциплины																		
1 Процессы микро- и нанотехнологии	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Математика		+		+	+	+		+										
3 Основы технологии электронной компонентной базы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	
4 Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники			+						+	+			+		+	+	+	+
5 Физика		+	+	+	+	+	+	+	+		+				+			
6 Физика конденсированного	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	

Согласована на портале № 31871

состояния																		
7 Физика пленочных наноструктур					+	+	+			+			+	+	+	+		
8 Химия		+		+	+	+	+	+	+	+	+				+	+		
Последующие дисциплины																		
1 Процессы микро- и нанотехнологии	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Конструкторско-технологическое обеспечение производства изделий микроэлектроники		+		+	+		+	+		+							+	
3 Моделирование и проектирование микро- и наносистем	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+
4 Преддипломная практика	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5 Технология кремниевой наноэлектроники	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

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, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий				Формы контроля
	Лек.	Прак. зан.	Курс. раб. (пр.)	Сам. раб.	
ПК-8	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест, Отчет по практическому занятию

Согласована на портале № 31871

ПК-9	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест, Отчет по практическому занятию
ПСК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест, Отчет по практическому занятию

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

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

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

Методы	Интерактивные практические занятия, ч	Интерактивные лекции, ч	Всего, ч
7 семестр			
Презентации с использованием слайдов с обсуждением		4	4
Решение ситуационных задач	10		10
Итого за семестр:	10	4	14
8 семестр			
Итого за семестр:	0	0	0
Итого	10	4	14

7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
7 семестр			
3 Структуры элементов ИМС	Подложки полупроводниковых ИМС. Маркировка и параметры подложек. Структуры элементов.	2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	2	
4 Физико-химические основы процессов перераспределения	Расчет режимов диффузии и профилей легирования	6	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Расчет точности изготовления диффузионных эле-	2	

Согласована на портале № 31871

вещества	ментов		
	Итого	8	
5 Физико-химические основы эпитаксиальных процессов	Расчет режимов газофазной эпитаксии и профилей автолегирования	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Расчет режимов молекулярно-лучевой эпитаксии	2	
	Итого	6	
6 Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС	Расчет режимов окисления	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	
8 Физико-химические основы процессов литографии в технологии микро- и наноэлектроники	Литография в технологии микро- и наноэлектро-нике	2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	2	
9 Изоляция элементов ИМС	Расчет технологических режимов для создания изоляции ИМС	2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	2	
10 Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС	Разработка типовых технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов и ИМС	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	
11 Основы нанотехнологий	Основы нанотехнологий	6	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	6	
Итого за семестр		34	
Итого		34	

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
7 семестр				
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Проработка лекционного материала	1	ПК-8, ПСК-2	Опрос на занятиях, Тест
	Итого	1		
2 Физико-химические основы процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы – подложки	Проработка лекционного материала	1	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Тест, Экзамен
	Подготовка к контроль-ным работам	1		
	Итого	2		

Согласована на портале № 31871

3 Структуры элементов ИМС	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Выполнение индивидуальных заданий	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	6		
4 Физико-химические основы процессов перераспределения вещества	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	8	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение индивидуальных заданий	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	13		
5 Физико-химические основы эпитаксиальных процессов	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение индивидуальных заданий	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	11		
6 Диэлектрические пленки в полупроводниковых ИМС	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	6		
7 Физико-химические основы металлизации поверхности структур	Проработка лекционного материала	1	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	2		
8 Физико-химические основы процессов	Подготовка к практическим занятиям, семина-	2	ПК-8, ПК-9,	Контрольная работа, Отчет по практическому за-

Согласована на портале № 31871

литографии в технологии микро- и наноэлектроники	рам		ПСК-2	нятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	5		
9 Изоляция элементов ИМС	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	4		
10 Типовые технологические процессы изготовления биполярных и МДП ИМС	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение индивидуальных заданий	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	9		
11 Основы нанотехнологий	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Опрос на занятиях, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	7		
Итого за семестр		66		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
8 семестр				
12 Получение заданий на курсовой проект	Выполнение курсового проекта (работы)	2	ПК-8, ПСК-2	Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	2		
13 Анализ литературы по теме курсового проекта	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	10	ПК-8, ПСК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	10		
14 Анализ актуальности, научной и практической значимости	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест

Согласована на портале № 31871

	Итого	2		
15 Выполнение необходимых расчетов по проекту	Выполнение расчетных работ	15	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	15		
16 Анализ полученных результатов	Выполнение курсового проекта (работы)	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	4		
17 Выполнение графических материалов	Выполнение курсового проекта (работы)	9	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	9		
18 Оформление курсового проекта	Выполнение курсового проекта (работы)	10	ПК-8, ПСК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	10		
Итого за семестр		52		
Итого		154		

10. Курсовая работа (проект)

Трудоемкость аудиторных занятий и формируемые компетенции в рамках выполнения курсовой работы (проекта) представлены таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Трудоемкость аудиторных занятий и формируемые компетенции в рамках выполнения курсовой работы (проекта)

Наименование аудиторных занятий	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр		
Выдача заданий на КП. Требования к содержанию и оформлению курсового проекта.	2	ПК-8, ПСК-2, ПК-9
Согласование списка литературных источников и плана обзорной части КП.	2	
Основные этапы написания расчетной части. Консультация по расчетной части	4	
Проверка графических материалов работы	4	
Содержание презентации и подготовка доклада.	2	
Защита курсового проекта.	6	
Итого за семестр	20	

10.1. Темы курсовых работ (проектов)

Примерная тематика курсовых работ (проектов):

- 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.

Согласована на портале № 31871

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

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
7 семестр				
Контрольная работа	5	10	10	25
Опрос на занятиях	1	1	1	3
Отчет по индивидуальному заданию	8	8	8	24
Отчет по практическому занятию	4	4	4	12
Тест			6	6
Итого максимум за период	18	23	29	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	18	41	70	100
8 семестр				
Защита курсовых проектов (работ)		10	30	40
Отчет по курсовой работе	10	14	18	42
Тест	6	6	6	18
Итого максимум за период	16	30	54	100
Нарастающим итогом	16	46	100	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

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)

Согласована на портале № 31871

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. 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). - Томск : ТУСУР, 2005. - 316 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 99 экз.)

2. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: Учебное пособие / Чистоедова И. А., Данилина Т. И. - 2011. 98 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/547 (дата обращения: 16.06.2018).

3. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие / К. И. Смирнова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 183 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 46 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : учебное пособие для вузов: в 2 т. / ред. Ю. Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 - 2011. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0341-0. Т. 2 : Технологические аспекты / М. В. Акуленок, В. М. Андреев, Д. Г. Громов. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 252 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 42 экз.)

2. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : учебное пособие для вузов: в 2 т. / ред. Ю. Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 - . - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0341-0. Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю. Д. Чистяков, Ю. П. Райнова. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 392 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 42 экз.)

3. Микроэлектроника: Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника : Учебное пособие для вузов / Иван Ефимович Ефимов, Иван Яковлевич Козырь, Ю.И. Горбунов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1987. - 416 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

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. (наличие в библиотеке ТУСУР - 42 экз.)

2. Процессы микро- и нано-технологии : 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 (Томск), Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2006. - 21 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 25 экз.)

Согласована на портале № 31871

12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и 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. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. http://www.elibrary.ru/ (свободный доступ)
2. http://nano.nature.com/ (свободный доступ)

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое и программное 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 демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 222 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

Лекционная аудитория с интерактивным проектором и маркерной доской

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 237 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер;
- Проектор;
- Экран для проектора;
- Магнитно-маркерная доска;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Microsoft Windows

Согласована на портале № 31871

– OpenOffice

Учебная аудитория
учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа
634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 217 ауд.
Описание имеющегося оборудования:
- Проектор;
- Ноутбук;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.
Программное обеспечение:
– LibreOffice
– PDF-XChange Viewer
– Windows XP

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:
- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:
- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

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

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **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 комфортного просмотра.

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

Согласована на портале № 31871

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

1. Структура эпитаксиальных пленок:

а) поликристаллическая;

б) монокристаллическая;

в) аморфная;

г) жидкая

2. Какой из методов эпитаксии позволяет производить рост данного материала при наиболее низких температурах?:

а) газофазная эпитаксия;

б) МОС-гидридная эпитаксия;

в) МЛЭ;

г) МОС эпитаксия.

3. Какие скорости роста характерны для процесса МЛЭ?

а) ~1 мкм/мин;

б) ~0,3 мкм/мин;

в) ~0,1 мкм/час;

г) ~10 мкм/мин.

4. Метод МЛЭ отличается от других методов эпитаксии:

а) низкой температурой процесса, высокой точностью управления уровнем легирования;

б) повышенной дефектностью эпитаксиального слоя, зависимостью разброса электрофизических параметров эпитаксиальных слоев от давления в реакторе;

в) высокой температурой процесса, размытием границы раздела эпитаксиальный слой – пластина;

г) низкой температурой процесса, размытием границы раздела эпитаксиальный слой – пластина.

5. Чем определяется элементный состав выращиваемого раствора InGaAs методом МЛЭ:

а) отношением потоков Ga и As;

б) отношением потоков In и Ga;

в) потоком атомов As;

г) потоком атомов In.

6. На этапе разгонки примесь распределяется по закону:

а) интеграла функции ошибки;

б) параболическому;

в) линейному;

г) закону Гаусса.

7. На этапе загонки примесь распределяется по закону:

а) интеграла функции ошибки;

б) параболическому;

в) линейному;

г) закону Гаусса.

8. При легировании полупроводника p-n–переход образуется на глубине, где:

а) концентрация введенной примеси больше концентрации исходной примеси;

б) концентрация введенной примеси равна концентрации исходной примеси;

в) концентрация введенной примеси меньше концентрации исходной примеси;

г) на поверхности полупроводника.

9. Для создания базовых областей n+-p-n–транзисторов в качестве легирующей примеси используется:

а) мышьяк;

б) фосфор;

Согласована на портале № 31871

в) бор;

г) сурьма.

10. Для создания скрытых слоев в полупроводниковой ИМС в качестве легирующей примеси используется:

а) бор;

б) алюминий;

в) мышьяк;

г) фосфор.

11. Для создания эмиттерных областей n+-p-n–транзисторов в качестве легирующей примеси используется:

а) сурьма;

б) алюминий;

в) бор;

г) фосфор.

12. При создании легированных областей методом термической диффузии максимум концентрации примеси находится:

а) на глубине p-n–перехода; xp-n;

б) на поверхности;

в) на глубине 1/2 x_(p-n);

г) на глубине средней проекции пробега Rp.

13. При создании легированных областей методом ионного легирования максимум концентрации примеси находится:

а) на глубине p-n–перехода; xp-n;

б) на поверхности;

в) на глубине средней проекции пробега Rp.

г) на глубине 1/2 x_(p-n);

14. Этап разгонки проводится в атмосфере:

а) легирующей примеси;

б) кислорода;

в) водорода;

г) аргона.

15. При проведении локальной диффузии маской является:

а) фоторезист;

б) фотошаблон;

в) пленка двуокиси кремния;

г) пленка алюминия.

16. В эпитаксиальной пленке донорная или акцепторная примесь распределяется:

а) по закону Гаусса;

б) равномерно;

в) по закону интеграла функции ошибок;

г) по параболическому закону.

17. Диэлектрическая изоляция элементов биполярной ИМС обеспечивает:

а) надежную изоляцию элементов;

б) простоту технологии;

в) сложную механическую обработку пластин;

г) введение дополнительной операции диффузии.

18. При получении эпитаксиальных пленок кремния используется метод химического осаждения из газовой фазы, так как:

а) отсутствуют примеси и загрязнения;

б) обеспечивается высокая подвижность атомов на подложке;

в) процесс идет при низкой температуре;

г) процесс идет в сверхвысоком вакууме.

19. При окислении кремния в сухом кислороде пленка двуокиси кремния получается:

а) хорошего качества;

Согласована на портале № 31871

б) с большой скоростью;

в) при низкой температуре;

г) с низкой плотностью

20 В МДП ИС на транзисторах с каналами одного типа проводимости изоляция элементов:

а) диэлектрическая;

б) не требуется;

в) комбинированная;

г) за счет введения дополнительной операции диффузии для создания разделительного кармана.

14.1.2. 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
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. Плазмохимическое осаждение.
13. Технология изготовления биполярной ИМС по диэлектрической изоляции
14. Технология изготовления биполярной ИМС по изопланарной технологии
15. Технология изготовления МДП ИМС с каналами одинакового типа проводимости
16. Технология МЛЭ
17. Технология МОС гидридной эпитаксии
18. Получение легированных областей методом ионного легирования
19. Основы зондовых нанотехнологий
20. Основы литографических методов с высокой разрешающей способностью

14.1.3. Темы контрольных работ

Контрольная работа №1: Структуры элементов полупроводниковых ИМС

В первом вопросе контрольной работы следует указать параметры подложки по её маркировке и определить концентрацию легирующей примеси в подложке, эпитаксиальной пленке, скрытом слое. Во втором вопросе графически показать структуру предложенного элемента.

Вариант 1.

1. Указать параметры подложки марки:

100 _5КЭФ0,1/4КЭМ8_
200КДБ15

2. Представить структуру пинч – резистора.

Тема контрольной работы № 2: Физико-химические основы процессов перераспределения вещества (Разделы 2-4 рабочей программы).

Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.1).

При выполнении второй контрольной работы следует решить две первые задачи, доведя решение до численного ответа с указанием размерности. Третий и четвертый вопросы требуют теоретического ответа.

Вариант 1.

1. Рассчитать количество донорной примеси фосфора, внедряемое в кремний из бесконечного источника при температуре 1000 С за 40 мин.

2. Определить погрешность диффузионного резистора по поверхностному сопротивлению. Резистор получен диффузией бора в кремний типа КЭФ-1,0, обеспечивающей поверхностную кон-

Согласована на портале № 31871

центрацию 5*10^18 см^(-3) и глубину залегания p – n перехода 2,7 мкм. Диффузия проводится при температуре 1150 С. Точность поддержания температуры 0,5 С, а времени 30 с.

3. Распределение примеси на этапе загонки описывается следующей зависимостью. Показать профили распределения примеси, если время диффузии t1>t2>t3. Объяснить ход кривых.

4. На какой глубине образуется p – n переход при диффузии?

Вариант 2.

1. Фосфор диффундирует в кремний марки КДБ-10, создавая область с поверхностным сопротивлением 90 Ом/кв. Диффузия проводится при температуре 1100 С. Как изменятся режимы диффузии, если в первом случае p – n переход получен на глубине 1 мкм, а во втором случае – 1,5 мкм.

2. Определить технологическую погрешность слоя по поверхностному сопротивлению, если необходимо получить слой с 180 Ом/кв диффузией бора в кремний типа КЭФ-0,5 с глубиной залегания

p – n перехода 2,5 мкм при температуре 1150 ± С. Точность поддержания температуры 0,5 С, а времени 30 с.

3. Сформулировать технологические особенности этапа загонки и дать его математическое описание.

4. Какая примесь используется при создании базовых областей биполярных транзисторов ИМС.

Тема контрольной работы № 3: Физико-химические основы эпитаксиальных процессов, процессов окисления (Разделы 5-6 рабочей программы).

Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.1).

Варианты контрольной работы содержат по три задачи, которые следует решить, получив численный ответ с указанием размерности. Четвертый вопрос теоретический, на который следует дать развернутый письменный ответ.

Вариант 1.

1. Пленка кремния осаждается путем восстановления 1 % тетрахлорида кремния в потоке водорода при температуре 1400 К. Какова эффективность процесса, если отношение кремния к хлору на входе равно 0,25.

2. Определить время получения пленки двуокиси кремния толщиной 1,0 мкм в парах воды при температуре 1000 С.

3. На подложке 200КЭС-0,01 выращена эпитаксиальная пленка 10 КДБ-0,5 со скоростью 1 мкм/мин. Определить концентрацию сурьмы в пленке на глубине 9 мкм в результате автолегирования, если температура эпитаксии 1523 К.

4. Почему при получении пленок двуокиси кремния термическим окислением используется так называемая комбинированная технологи, и что она означает?

Вариант 2.

1. Как изменится скорость роста эпитаксиальной пленки кремния при восстановлении тетрахлорида кремния водородом при постоянной скорости потока газа 0,5 м/с, если температура реакции снизилась с 1600 до 1300 К? Концентрация тетрахлорида в водоро-де поддерживается постоянной, что соответствует значениям отно-шений хлора к водороду и кремния к хлору на входе в реактор соот-ветственно 0,02 и 0,25. Система находится в равновесии.

2. Константа равновесия основной реакции получения кремния хлоридным методом составляет 0,0245. Определить давления тетрахлорида кремния и водорода, если давления продуктов реакции на выходе составляют 10,2 Па для кремния и 120 Па для хлористого водорода. Содержание тетрахлорида кремния в потоке водорода 0,5 %.

3. На подложке 200 КЭФ-0,05 выращена эпитаксиальная пленка типа 10 КДБ-0,5 со скоростью 1 мкм/мин. Определить концентрацию фосфора в пленке в результате эффекта автолегирования на глубине 8 мкм, если температура эпитаксии 1200 °С.

4. Какие требования предъявляются к подзатворному. диэлектрику МДП-структур? Как они реализуются с точки зрения выбора технологии?

14.1.4. Темы опросов на занятиях

Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Микро- и нанотехноло-

Согласована на портале № 31871

гии – основа современной наноэлектроники. Организационно-технологические основы производства изделий микро- и наноэлектроники. Список рекомендуемой литературы.

Выбор материала подложек ИМС. Механическая, механохимическая и физическая обработка подложек. Химическая, электрохимическая и ионно-плазменная очистка подложек. Контроль степени чистоты.

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.

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.

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.

Введение в нанотехнологию. Современные методы нанотехнологии. Методы зондовой нанотехнологии.

14.1.5. Темы индивидуальных заданий

Тема индивидуального задания № 1: Диффузия примесей в кремний

Варианты приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.1).

При выполнении задания требуется обосновать выбор технологии (одностадийная, двухстадийная), изложить ее основы, условия проведения. В соответствии с исходными данными задания следует рассчитать режимы диффузии, профили распределения примеси в легированных областях и оценить технологическую погрешность по сопротивлению легированной области.

Вариант 1

Определить режимы диффузии и профиль распределения примеси при диффузии бора в кремний, ранее легированный фосфором при T=1200 C за время 120 мин и имеющий = 700 Ом/кв и

xpn= 4 мкм. Концентрация подложки 10^14 см-3. Область, легированная бором, имеет = 200 Ом/кв и глубину залегания p – n перехода xpn= 2,2 мкм. Рассчитать погрешность сопротивления слоя при ширине 20 мкм и длине 1 мм.

Вариант 2.

При формировании МДП-структур с каналами n – типа проводится диффузия фосфора, и получают области с поверхностным сопротивление 40 Ом/⌐┘ и xpn= 1 мкм. Примесь внедряется в изолированную область с удельным поверхностным сопротивлением = 700 Ом/⌐┘ и xpn= 6 мкм, полученной при температуре T=1200 C за 3 часа. Определить время диффузии фосфора, профиль распределения примеси и погрешность сопротивления слоя с шириной 20 мкм и длиной 30 мкм.

Тема индивидуального задания № 2: Эпитаксия пленок кремния

Варианты приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.1).

При выполнении второго индивидуального задания следует выбрать технологию получения эпитаксиальной пленки кремния на кремниевой подложке. С учетом задания рассчитать режимы эпитаксии, построить профиль автолегирования и определить смещение границы раздела подложка – эпитаксиальная пленка.

Вариант 1.

Согласована на портале № 31871

На подложке 200КЭС-0,01 выращена эпитаксиальная пленка 10 КДБ-0,5. Определить режимы эпитаксии и профиль автолегирования, если скорость потока газа, содержащего SiCl4, 0,5 см/с, а температуры роста пленки Тэ1=1300К, Тэ2=1400К и Тэ3=1600К.

Вариант 2.

На монокристалле кремния типа КДБ-5 получить эпитаксиальную пленку с удельным сопротивлением 0,5 Ом*см и толщиной 5 мкм. Рассчитать режимы получения пленки при температурах Тэ=1000 К, 1200 К и 1400 К и смещение границы раздела пленка – подложка в результате автолегирования.

14.1.6. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

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

Расчет режимов диффузии и профилей легирования

Расчет точности изготовления диффузионных элементов

Расчет режимов газофазной эпитаксии и профилей автолегирования

Расчет режимов молекулярно-лучевой эпитаксии

Расчет режимов окисления

Литография в технологии микро- и наноэлектронике

Расчет технологических режимов для создания изоляции ИМС

Разработка типовых технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов и ИМС

Основы нанотехнологий

14.1.7. Темы курсовых проектов (работ)

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.

14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	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 материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается до-

Согласована на портале № 31871

ступная 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;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся 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 лиц с ограниченными возможностями здоровья и 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 лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 31871