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

Основы технологии электронной компонентной базы

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **3**
Семестр: **6**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	6 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	34	34	часов
2	Практические занятия	20	20	часов
3	Лабораторные работы	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	70	70	часов
5	Из них в интерактивной форме	10	10	часов
6	Самостоятельная работа	38	38	часов
7	Всего (без экзамена)	108	108	часов
8	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
9	Общая трудоемкость	144	144	часов
		4.0	4.0	З.Е.

Экзамен: 6 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 31236

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) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, утвержденного 06.03.2015 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 № 31236

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование базовых знаний в области технологии электронной компонентной базы, позволяющего выпускнику обладать предметно-специализированными компетенциями.

1.2. Задачи дисциплины

– Данная учебная дисциплина имеет перед собой задачу показать физическую сущность используемых в микро- и наноэлектронике технологических процессов и привить обучающемуся комплексный научный подход к выбору методов и процессов формирования электронной компонентной базы.

– Результатом обучения должно быть приобретение компетенций по основным, базовым процессам технологии для применения их в научных исследованиях, разработке и производстве изделий микро- и наноэлектроники.

–

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Основы технологии электронной компонентной базы» (Б1.В.ОД.6) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Материалы электронной техники, Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники, Твердотельная электроника, Физика конденсированного состояния, Физика пленочных наноструктур.

Последующими дисциплинами являются: Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности, Процессы микро- и нанотехнологии, Технология кремниевой наноэлектроники.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-2 готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;

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

– ПК-10 готовностью работать на современном технологическом оборудовании, используемом в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;

– ПСК-2 готовностью к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства изделий микро- и наноэлектроники, твердотельной электроники и микросистемной техники;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций;

– **уметь** рассчитать физико-технологические режимы проведения технологических процессов для получения активных и пассивных элементов электронной компонентной базы с требуемыми конструктивными и электрофизическими параметрами;

– **владеть** – навыками выбора и применения основных операций технологии создания элементов электронной компонентной базы с учетом их особенностей и конкретных целей; - навыками работы на оборудовании, используемом в производстве элементов электронной компонентной базы.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры

Согласована на портале № 31236

		6 семестр
Аудиторные занятия (всего)	70	70
Лекции	34	34
Практические занятия	20	20
Лабораторные работы	16	16
Из них в интерактивной форме	10	10
Самостоятельная работа (всего)	38	38
Подготовка к контрольным работам	7	7
Выполнение индивидуальных заданий	6	6
Оформление отчетов по лабораторным работам	8	8
Проработка лекционного материала	10	10
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	7	7
Всего (без экзамена)	108	108
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость, ч	144	144
Зачетные Единицы	4.0	4.0

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	Лаб. раб., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
6 семестр						
1 Введение, цели и задачи дисциплины	2	0	0	2	4	ПК-10, ПК-8, ПСК-2
2 Производственная чистота, гигиена и безопасность	2	0	0	2	4	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
3 Литографические процессы в технологии электронных средств	6	8	4	7	25	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
4 Технология плазменных процессов	4	0	0	2	6	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
5 Технология формирования тонкопленочных покрытий методом термического испарения в вакууме	6	4	4	8	22	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
6 Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	6	4	4	8	22	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
7 Технология формирования тонкопленочных ИМС	4	2	4	6	16	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
8 Технологические процессы изготовления тонкопленочных ИМС	2	2	0	2	6	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2

Согласована на портале № 31236

9 Технология сборочных процессов	2	0	0	1	3	ПК-10, ПК-8, ПСК-2
Итого за семестр	34	20	16	38	108	
Итого	34	20	16	38	108	

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
6 семестр			
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Цели и задачи курса. Требования к объему знаний по дисциплине. Этапы развития и современное состояние технологии материалов и приборов макро-, микро- и наноэлектроники. Основные процессы технологии электронной компонентной базы.	2	ПК-8, ПСК-2
	Итого	2	
2 Производственная чистота, гигиена и безопасность	Чистые помещения: классификация производственных помещений по чистоте воздушной среды и микроклимату, источники загрязнений, способы обеспечения и поддержания чистоты. Вакуум: глубина вакуума, средства откачки и методы контроля. Технологические среды: чистота материалов, воды, газовых сред и жидкостей. Аппаратура и элементы газовых и жидкостных систем. Базовые операции очистки жидких и газообразных сред. Очистка поверхности пластин. Безопасность работы в чистых помещениях: токсичные, взрывоопасные и пожароопасные среды. Утилизация отходов.	2	ПК-8, ПСК-2
	Итого	2	
3 Литографические процессы в технологии электронных средств	Классификация процессов литографии. Физико-химические основы процесса фотолитографии. Материалы фоторезистов и их свойства. Способы экспонирования: контактная фотолитография, фотолитография с зазором, проекционная ФЛ. Технология изготовления фотошаблонов (ФШ). Погрешности изготовления ФШ. Оптические эффекты при фотолитографии. Методы и технология формирования рисунка интегральных схем.	6	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	6	
4 Технология плазменных процессов	Взаимодействие энергетических ионов с материалами. Физико-химические процессы в низкотемпературной газоразрядной плазме. Процессы травления и очистки материалов с использованием НГП. Основы ионного травления, плазмохимического	4	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2

Согласована на портале № 31236

	травления и ионно-химического травления материалов.		
	Итого	4	
5 Технология формирования тонкопленочных покрытий методом термического испарения в вакууме	Формирование молекулярного потока. Физика термического испарения в вакууме. Скорость конденсации. Механизм испарения соединений и сплавов. Способы испарения	6	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	6	
6 Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	Физика ионного распыления. Модель ионного распыления. Закономерности распыления. Теория ионного распыления. Скорость осаждения пленок. Получение пленок ионно-плазменным распылением.	6	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	6	
7 Технология формирования тонкопленочных ИМС	Подложки. Тонкопленочные резисторы, конденсаторы, индуктивности. Выбор материалов. Технологические погрешности. Проводники и контактные площадки.	4	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	4	
8 Технологические процессы изготовления тонкопленочных ИМС	Формирование тонкопленочных ИМС с применением прямых и обратных контактных масок.	2	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	2	
9 Технология сборочных процессов	Разделение пластин на кристаллы. Методы крепления кристаллов в корпусе прибора. Методы присоединения внешних выводов. Сборка приборов на ленточный носитель. Методы герметизации корпусов приборов.	2	ПК-10, ПК-8, ПСК-2
	Итого	2	
Итого за семестр		34	

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
Предшествующие дисциплины									
1 Материалы электронной техники		+	+	+	+	+	+	+	+
2 Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 Твердотельная электроника			+			+			

Согласована на портале № 31236

4 Физика конденсированного состояния		+	+	+	+	+	+	+	+
5 Физика пленочных наноструктур	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины									
1 Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности		+	+	+	+	+	+	+	+
2 Процессы микро- и нанотехнологии	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 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.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию
ПК-8	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию
ПК-10	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию
ПСК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной 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.

Согласована на портале № 31236

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

Методы	Интерактивные практические занятия, ч	Интерактивные лекции, ч	Всего, ч
6 семестр			
Работа в команде	6		6
Презентации с использованием слайдов с обсуждением		4	4
Итого за семестр:	6	4	10
Итого	6	4	10

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
6 семестр			
3 Литографические процессы в технологии электронных средств	Технологический процесс фотолитографии	4	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	4	
5 Технология формирования тонкопленочных покрытий методом термического испарения в вакууме	Осаждение резистивных и проводящих плёнок	4	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	4	
6 Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	Изготовление и исследование тонкопленочных конденсаторов	4	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	4	
7 Технология формирования тонкопленочных ИМС	Изучение погрешности изготовления тонкопленочных резисторов	4	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		16	

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
6 семестр			
3 Литографические процессы в технологии	Технология получения рисунка интегральных микросхем	6	ПК-10, ПК-2, ПК-

Согласована на портале № 31236

электронных средств	Технология изготовления фотошаблонов	2	8, ПСК-2
	Итого	8	
5 Технология формирования тонкопленочных покрытий методом термического испарения в вакууме	Расчет режимов напыления пленок методом термического испарения в вакууме	4	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	4	
6 Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	Расчет режимов напыления пленок методом ионно-плазменного распыления в вакууме	4	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	4	
7 Технология формирования тонкопленочных ИМС	Расчет технологической погрешности изготовления элементов ИМС	2	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	2	
8 Технологические процессы изготовления тонкопленочных ИМС	Разработка технологического маршрута изготовления тонкопленочных ИМС	2	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2
	Итого	2	
Итого за семестр		20	

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
6 семестр				
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Проработка лекционного материала	1	ПК-10, ПК-8, ПСК-2	Контрольная работа, Тест
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	2		
2 Производственная чистота, гигиена и безопасность	Проработка лекционного материала	1	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	2		
3 Литографические процессы в технологии электронных средств	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	1	ПК-8, ПСК-2, ПК-10, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	2		

Согласована на портале № 31236

	Выполнение индивидуальных заданий	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	7		
4 Технология плазменных процессов	Проработка лекционного материала	1	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	2		
5 Технология формирования тонкопленочных покрытий методом термического испарения в вакууме	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-10, ПК-2, ПК-8, ПСК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	2		
	Выполнение индивидуальных заданий	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	8		
6 Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	1	ПК-8, ПСК-2, ПК-10, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	2		
	Выполнение индивидуальных заданий	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	8		
7 Технология формирования тонкопленочных ИМС	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-8, ПСК-2, ПК-10, ПК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по лабораторной работе, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	2		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	6		
8 Технологические	Подготовка к практиче-	1	ПК-8,	Контрольная работа, От-

Согласована на портале № 31236

процессы изготовления тонкопленочных ИМС	ским занятиям, семинарам		ПСК-2, ПК-10, ПК-2	чет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	2		
9 Технология сборочных процессов	Проработка лекционного материала	1	ПК-10, ПК-8, ПСК-2	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Итого	1		
Итого за семестр		38		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		74		

10. Курсовая работа (проект)

Не предусмотрено РУП.

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
6 семестр				
Контрольная работа		10	10	20
Отчет по индивидуальному заданию	5	5	5	15
Отчет по лабораторной работе		7	7	14
Отчет по практическому занятию	5	5	5	15
Тест			6	6
Итого максимум за период	10	27	33	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	10	37	70	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

Согласована на портале № 31236

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. 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. : ил., табл. - Библиогр.: с. 310-313. (наличие в библиотеке ТУСУР - 74 экз.)

2. Технология тонкопленочных микросхем : учебное пособие / Т. И. Данилина ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 151 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 44 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: Учебное пособие / Чистоедова И. А., Данилина Т. И. - 2011. 98 с. (дата обращения 8.06.2018) [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/547, дата обращения: 13.06.2018.

2. 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. (наличие в библиотеке ТУСУР - 51 экз.)

3. Технология микросхем : Учебное пособие для вузов / О. Д. Парфенов. - М. : Высшая школа, 1986. - 318[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 113 экз.)

4. Технология микроэлектронных устройств: Справочник / З. Ю. Готра. - М.: Радио и связь, 1991. - 528 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 46 экз.)

5. Тонкопленочные микросхемы для приборостроения и вычислительной техники : / В. Д. Гимпельсон, Ю. А. Радионов. - М. : Машиностроение, 1976. - 328 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 57 экз.)

6. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Текст] : учебное пособие для вузов: в 2 ч. / ред. Ю. А. Чаплыгин. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 - . - (Электроника). - ISBN 978-5-94774-583-2. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М. А. Королев, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева. - М. : БИ-НОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 397 с. : ил. -). - Библиогр.: с. 397. - ISBN 978-5-94774-336-4 : (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Технология тонкопленочных микросхем : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104 "Микро-

Согласована на портале № 31236

электроника и твердо-тельная электроника" / Т. И. Данилина, И. А. Чистоедова ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 73 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 50 экз.)

2. Данилина Т.И., Сахаров Ю.В. Технология тонкопленочных микросхем : Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2007. – 63 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 23 экз.)

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.

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского 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, 117 ауд.

Согласована на портале № 31236

Описание имеющегося оборудования:
- Установка совмещения и экспонирования ЩА-310;
- Установка для нанесения фоторезиста;
- Электронный микроскоп УЭМВ-100К;
- Дистиллятор воды;
- Лабораторное оборудование и приборы: микроскоп МБС-9, микроскоп стерео МС-1, микроинтерферометр МИИ-4, химическая посуда, реактивы;
- Учебная доска;
- Проектор;
- Ноутбук;
- Экран для проектора;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:
– LibreOffice
– PDF-XChange Viewer
– Windows XP

Лаборатория технологии интегральных схем
учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа
634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 116 ауд.
Описание имеющегося оборудования:
- Установка вакуумного напыления УРМ-3 (2 шт.);
- Установка вакуумного напыления УВН-2М-1;
- Установка вакуумного напыления ВУП-5;
- Насос Вакуумный 2 НВР-5ДМ;
- Вакуумметр ВИТ-2;
- Источник питания УИП-2 (2 шт.);
- Измеритель иммитанса Е7-20;
- Источник питания HY 3003;
- Микроскоп ММУ-3;
- Микроскоп МИИ-4;
- Микроскоп МБС-9;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

13.1.4. 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;

Согласована на портале № 31236

- 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.

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. Негативный ФР под действием света:

а) разлагается; б) полимеризуется; в) не меняется; г) испаряется.

2. Какой способ экспонирования следует выбрать для обеспечения высокой разрешающей способности ФЛ и большого срока службы ФШ:

а) контактная ФЛ;

б) бесконтактная с малым зазором;

в) бесконтактная с большим зазором;

г) проекционная ФЛ.

3. В методе последовательной ФЛ (прямые маски) первой операции является:

а) нанесение пленки рабочего материала на подложку;

б) нанесение слоя ФР на подложку;

в) удаление пленки рабочего материала;

г) удаление слоя ФР.

4. В методе обратной ФЛ первой операции является:

а) нанесение пленки рабочего материала на подложку;

б) нанесение слоя ФР на подложку;

в) удаление пленки рабочего материала;

г) удаление слоя ФР.

5. В трехслойных контактах "хром – медь - никель" пленка никеля выполняет функции:

а) адгезионного слоя;

б) проводящего слоя;

в) защитного слоя;

г) пассивирующего слоя.

6. Для испарения тугоплавкого тантала рекомендуется способ испарения:

а) резистивный испаритель из вольфрама;

б) тигель из керамики;

Согласована на портале № 31236

в) электронный испаритель;

г) тигель из графита.

7. Для испарения резистивных сплавов, состоящих из нескольких компонентов (более двух), рекомендуется:

а) резистивный испаритель;

б) взрывное испарение;

в) тигель;

г) метод "трех температур".

8. Какой электрод при ионно-плазменном распыление выполняется из распыляемого материала?

а) анод; б) катод; в) подложка; г) экран вокруг катода.

9. В виде каких частиц происходит распыление материала катода?

а) положительных ионов; б)отрицательных ионов; в) электронов; г) нейтральных частиц.

10. Коэффициент распыления с увеличением энергии ионов в широком диапазоне:

а) возрастает ;

б) уменьшается;

в) сначала возрастает, затем уменьшается;

г) не меняется.

11. Коэффициент распыления с увеличением температуры мишени:

а) возрастает ;

б) убывает;

в) не меняется;

г) сначала возрастает, затем убывает.

12. Процесс распыления отрицательно заряженной мишени происходит под действием:

а) нейтральных частиц;

б) электронов;

в) положительных ионов;

г) отрицательных ионов.

13. Для увеличения сопротивления тонкопленочных резисторов надо:

а) уменьшить длину;

б) уменьшить ширину;

в) увеличить толщину резистивной пленки;

г) уменьшить удельное объемное сопротивление резистивной пленки.

14. Погрешность тонкопленочных резисторов при формировании геометрических размеров с помощью контактных масок определяется:

а) боковым подтравом;

б) подпылением;

в) затенением;

г) запылением.

15. Какой диэлектрик выбрать для получения тонкопленочных конденсаторов с большой удельной емкостью?

а) SiO ; б) Ta_2O_5 ; в) Al_2O_3; г) SiO_2.

16. Какой материал резистивной пленки рекомендуется для изготовления высокоомных резисторов?

а) хром; б) тантал; в) нихром; г) кермет.

17. Сколько фотолитографий требуется для изготовления тонкопленочных конденсаторов?

а) одна; б) две; в) три; г) четыре.

18. Фотолитография – …

а) это способ получения пленок в вакууме

b) это элемент ИМС

c) это способ получения рисунка ИМС

d) это способ легирования полупроводников

19. Требуется ли обратная ФЛ при изготовлении верхней обкладки тонкопленочных конденсаторов на основе пленок Al - SiO - Al?

Согласована на портале № 31236

а) нет; б) да; в) можно применять прямую и обратную ФЛ; г) только прямую ФЛ

20. В тонкопленочных контактах подслой из нихрома служит:

а) для увеличения проводимости;

б) для улучшения возможности пайки;

в) для улучшения адгезии;

г) для защиты от воздействия окружающей среды.

14.1.2. Экзаменационные вопросы

1 Технологические среды. Базовые операции очистки жидких и газообразных сред. Очистка поверхности пластин.

2 Литографические процессы. Разрешающая способность литографии.

3 Физико-химические основы процесса фотолитографии. Материалы фоторезистов и их свойства.

4 Способы экспонирования: контактная фотолитография, фотолитография с зазором, проекционная ФЛ.

5 Технология изготовления фотошаблонов (ФШ). Погрешности изготовления ФШ.

6 Оптические эффекты при фотолитографии.

7 Методы и технология формирования рисунка интегральных схем.

8 Физика термического испарения в вакууме. Получение пленок методом термического испарения.

9 Термическое испарение в вакууме. Скорость конденсации. Параметры, определяющие скорость конденса-ции.

10 Механизм испарения соединений и сплавов. Способы испарения.

11 Физика ионного распыления. Скорость распыления. Скорость осаждения пленок.

12 Модель ионного распыления. Коэффициент распыления. Зависимость коэффициента распыления от раз-личных параметров.

13 Получение пленок ионно-плазменным распылением.

14 Технология плазменных процессов. Взаимодействие энергетических ионов с материалами.

15 Технологический процесс изготовления резистивной матрицы.

16 Технологический процесс изготовления RC-схемы.

17 Технология сборочных процессов.

14.1.3. Темы контрольных работ

Тема контрольной работы № 1: Технология литографических и плазменных процессов (Разделы 2-4 рабочей программы). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.2).

Вариант 1

1. Рассчитать выход годных кристаллов для одной фотолитографической операции, если площадь кристалла 0,2 см2, а толщина резиста 1 мкм.

2. Какой масштаб оригинала выбрать для получения резистора в пленочной схеме шириной 200 мкм с

точностью 1 %?

3. В каком случае можно получить контакты к полоске резистора методом обратной ФР-маски:

a) ФР-позитив, ФШ – позитив;

b) ФР – негатив; ФШ – негатив;

c) ФР – негатив; ФШ – позитив.

4. Какое оборудование необходимо выбрать для получения эталонного ФШ, если увеличение оригинала М10:1?

Вариант 2

1. Погрешности геометрии тонкопленочного резистора, рисунок которого получен с помощью контактной

маски.

2. Рассчитать параметры проекционной системы для получения размера элемента b = 0,8 мкм.

Согласована на портале № 31236

3. Какой масштаб оригинала выбрать для получения резистора шириной 30 мкм с точностью 1 % для

полупроводниковой ИМС?

4. Какое оборудование необходимо выбрать для получения эталонного ФШ для пленочной схемы, если увеличение оригинала М20:1?

Вариант 3

1. Параметры тонкопленочных конденсаторов.

2. Оценить величину зазора, при которой можно получить минимальный размер 0,7 мкм при l = 365 нм.

3. Какой масштаб оригинала выбрать для получения резистора шириной 20 мкм с точностью 1 % для

полупроводниковой ИМС?

4. Какое оборудование необходимо выбрать для получения эталонного ФШ, если увеличение оригинала М50:1?

Тема контрольной работы № 2: Технология формирования тонкопленочных покрытий (Разделы 5-9 рабочей программы). Варианты контрольной работы приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.2).

Вариант 1

1. Что определяет давление насыщенных паров металлов при термическом испарении в вакууме?

2. Модель ионного распыления. Какая минимальная энергия необходима для распыления?

3. Рассчитать скорость испарения алюминия при температуре выше условной на 10 %. Для алюминия: А

= 11,11; В = 15630; М=27; Тусл=1423 К.

4. Представить зависимость коэффициента распыления от энергии иона в диапазоне 50-150 эВ для мишени из меди при бомбардировке ионами аргона, если при Е = 50 эВ S= 0,05 атом/ион.

Вариант 2

1. Чем определяется количество вещества, испаренного в угол dv для точечного испарителя?

2. Зависимость коэффициента распыления от энергии для легких и тяжелых ионов.

3. Рассчитать время напыления пленок меди толщиной 1 мкм в центре подложки. Медь испаряется из

поверхностного испарителя площадью 1 см2. Расстояние от испарителя до подложки 10 см, скорость испарения 7×10-3 кг/м2×с. Плотность меди g = 8,96×103 кг/м3.

4. Представить зависимость S от E в диапазоне от пороговой до 200 эВ. Мишень – тантал, ион – аргон. S =0,01 при Е = 50 эВ; S = 0,1 при Е = 100 эВ; S = 0,4 при Е= 200 эВ. М1 = 40, М2 = 181; Есуб = 8,7 эВ.

Вариант 3

1. Для каких целей рекомендуется метод термического испарения с помощью электронных испарителей?

2. Модель ионного распыления. В каком случае максимально передаваемая энергия от иона атомам мишени будет больше: для легких или тяжелых ионов?

3. Рассчитать время напыления пленок меди толщиной 0,2 мкм в центре подложки. Медь испаряется из поверхностного испарителя площадью 1 см2. Расстояние от испарителя до подложки 10 см, скорость испарения 1×10-3 кг/м2×с. Плотность меди g = 8,96×103 кг/м3.

4. Рассчитать скорость распыления мишени из тантала. S=1,48; j= 10 А/м2; N0 = 5,52×1028 атом/м3.

14.1.4. Темы индивидуальных заданий

Тема индивидуального задания № 1:

Технология формирования тонкопленочных покрытий

Варианты приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.2).

Вариант 1

Предлагается получить пленку сернистого кадмия (CdS) двумя методами: термическим испарением и высокочастотным распылением. Объяснить механизм испарения CdS, рассчитать скорости испарения отдельных компонент соединения и ответить на вопрос, каким способом при ис-

Согласована на портале № 31236

парении получить пленки CdS стехиометрического состава? Объяснить механизм высокочастотного распыления мишени из CdS, рассчитать

отношение потока серы к потоку кадмия при распылении. На основе полученных результатов рекомендовать способ получения пленок CdS.

Вариант 2

Предлагается получить пленки тантала и окиси тантала (Ta2O5), используя катодное распыление. Рассчитать режимы напыления и определить время напыления структуры Ta – Ta2O5 - Ta со следующими толщинами: Ta – 0,2 мкм, Ta2O5 - 0,5 мкм.

Вариант 3

Обосновать выбор технологии напыления пленок вольфрама с разбросом толщины пленки на подложке 60х48 мм2 не более 5 %. Каким образом обеспечить требуемую скорость конденсации, чтобы время напыления пленки толщиной 0,03 21 мкм не превышало 1-2 мин? T = 3500 – 4000 К. M = 183,8; A =9,24; B = 40260; g = 19,3 г/см3.

Вариант 4

Исследовать влияние энергии ионов на коэффициент распыления в широком диапазоне энергий от Eпор до Emax для легких (He) и тяжелых (Ar) ионов. Мишень – Cu.

Тема индивидуального задания № 2:

Технология изготовления фрагмента пленочной ИМС. Расчет режимов получения пленок.

Варианты приведены в учебно-методическом пособии (п.12.3.2).

Вариант 1

Разработать техмаршрут изготовления резистивной матрицы, содержащей резисторы двух групп:

· первая группа – хром;

· вторая группа – кермет, проводники – алюминий.

Предложить способы получения пленок и рассчитать время напыления алюминия.

Вариант 2

Разработать техпроцесс RC-схемы, состоящей из резисторов на основе пленок хрома и конденсаторов алюминий

– моноокись кремния – алюминий. Предложить способы получения пленок и рассчитать время напыления хрома.

Вариант 3

Разработать техпроцесс изготовления фрагмента ИМС, состоящего из резисторов - тантал и конденсаторов: тантал – окись тантала – золото. Технология получения пленок. Рассчитать время напыления пленок тантала.

Вариант 4

Требуется изготовить тонкопленочную индуктивность на основе пленочной системы: хром – медь – золото с

суммарной толщиной 6 мкм. Предложить способы напыления пленок. Рассчитать время напыления пленок.

14.1.5. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Технология получения рисунка интегральных микросхем

Технология изготовления фотошаблонов

Расчет режимов напыления пленок методом термического испарения в вакууме

Расчет режимов напыления пленок методом ионно-плазменного распыления в вакууме

Расчет технологической погрешности изготовления элементов ИМС

Разработка технологического маршрута изготовления тонкопленочных ИМС

14.1.6. Темы лабораторных работ

Технологический процесс фотолитографии

Осаждение резистивных и проводящих плёнок

Изготовление и исследование тонкопленочных конденсаторов

Изучение погрешности изготовления тонкопленочных резисторов

Согласована на портале № 31236

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 доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- 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 № 31236