

**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

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Основы технологии электронной компонентной базы**

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: **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

## 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 нанoeлектроника, 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 элек-  
троники (ФЭ)

\_\_\_\_\_ И. А. Чистоедова

## 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 нанoeлектронике 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 нанoeлектроники.

–

## 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 нанoeлектроники.

## 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-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
		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-8, ПК-9, ПСК-2
2 Производственная чистота, гигиена и безопасность	2	0	0	2	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
3 Литографические процессы в технологии электронных средств	6	8	4	7	25	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
4 Технология плазменных процессов	4	0	0	2	6	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
5 Технология формирования тонкопленочных покрытий методом термического испарения в вакууме	6	4	4	8	22	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
6 Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	6	4	4	8	22	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
7 Технология формирования тонкопленочных ИМС	4	2	4	6	16	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
8 Технологические процессы изготовления тонкопленочных ИМС	2	2	0	2	6	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
9 Технология сборочных процессов	2	0	0	1	3	ПК-8, ПК-9, 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
<b>6 семестр</b>			
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 нанoeлектроники. 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, ПК-9, 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-8, ПК-9, 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 травления и ионно-химического травления материалов.	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2

	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-8, ПК-9, 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-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	6	
7 Технология формирования тонкопленочных ИМС	Подложки. Тонкопленочные резисторы, конденсаторы, индуктивности. Выбор материалов. Технологические погрешности. Проводники и контактные площадки.	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	
8 Технологические процессы изготовления тонкопленочных ИМС	Формирование тонкопленочных ИМС с применением прямых и обратных контактных масок.	2	ПК-8, ПК-9, 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-8, ПК-9, 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			+			+			
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-8	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию
ПК-9	+	+	+	+	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.

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
<b>6 семестр</b>			
3 Литографические процессы в технологии электронных средств	Технологический процесс фотолитографии	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	
5 Технология формирования тонкопленочных покрытий методом термического испарения в вакууме	Осаждение резистивных и проводящих плёнок	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	
6 Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	Изготовление и исследование тонкопленочных конденсаторов	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	
7 Технология формирования тонкопленочных ИМС	Изучение погрешности изготовления тонкопленочных резисторов	4	ПК-8, ПК-9, 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
<b>6 семестр</b>			
3 Литографические процессы в технологии электронных средств	Технология получения рисунка интегральных микросхем	6	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Технология изготовления фотошаблонов	2	
	Итого	8	
5 Технология формирования тонкопленочных покрытий методом термического испарения в вакууме	Расчет режимов напыления пленок методом термического испарения в вакууме	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	



6 Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	Расчет режимов напыления пленок методом ионно-плазменного распыления в вакууме	4	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	4	
7 Технология формирования тонкопленочных ИМС	Расчет технологической погрешности изготовления элементов ИМС	2	ПК-8, ПК-9, ПСК-2
	Итого	2	
8 Технологические процессы изготовления тонкопленочных ИМС	Разработка технологического маршрута изготовления тонкопленочных ИМС	2	ПК-8, ПК-9, 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
<b>6 семестр</b>				
1 Введение, цели и задачи дисциплины	Проработка лекционного материала	1	ПК-8, ПСК-2, ПК-9	Контрольная работа, Тест
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	2		
2 Производственная чистота, гигиена и безопасность	Проработка лекционного материала	1	ПК-8, ПК-9, 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, ПК-9, 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	7		
4 Технология плазменных процессов	Проработка лекционного материала	1	ПК-8, ПК-9,	Контрольная работа, Тест, Экзамен

	Подготовка к контрольным работам	1	ПСК-2	
	Итого	2		
5 Технология формирования тонкопленочных покрытий методом термического испарения в вакууме	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-8, ПК-9, 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, ПК-9, ПСК-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, ПК-9, 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		
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	6		
8 Технологические процессы изготовления тонкопленочных ИМС	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	1	ПК-8, ПК-9, ПСК-2	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	2		
9 Технология сборочных процессов	Проработка лекционного материала	1	ПК-8, ПК-9,	Контрольная работа, Тест, Экзамен

	Итого	1	ПСК-2	
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

#### 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	В (очень хорошо)
	75 - 84	С (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
65 - 69		
3 (удовлетворительно) (зачтено)	60 - 64	E (посредственно)
	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 нанoeлектроники: 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: 12.06.2018.
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 "Микроэлектроника 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**

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 НУ 3003;

- Микроскоп ММУ-3;
- Микроскоп МИИ-4;
- Микроскоп МБС-9;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

#### 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.

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

#### **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;
- 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;
  - 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 распылении 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)  $\text{SiO}_2$  ; б)  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  ; в)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; г)  $\text{SiO}_2$ .
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  
 б) это элемент ИМС  
 в) это способ получения рисунка ИМС  
 г) это способ легирования полупроводников
19. Требуется ли обратная ФЛ при изготовлении верхней обкладки тонкопленочных конденсаторов на основе пленок  $\text{Al} - \text{SiO}_2 - \text{Al}$ ?  
 а) нет; б) да; в) можно применять прямую и обратную ФЛ; г) только прямую ФЛ
20. В тонкопленочных контактах подслоя 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 конденсации.
- 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 различных 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 РС-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  $0,2 \text{ см}^2$ , а толщина резиста  $1 \text{ мкм}$ .
2. Какой масштаб оригинала выбрать для получения резистора в пленочной схеме шириной  $200 \text{ мкм}$  с точностью  $1 \%$ ?
3. В каком случае можно получить контакты к полоске резистора методом обратной ФР-маски:
  - а) ФР-позитив, ФШ – позитив;
  - б) ФР – негатив; ФШ – негатив;
  - в) ФР – негатив; ФШ – позитив.
4. Какое оборудование необходимо выбрать для получения эталонного ФШ, если увеличение оригинала  $M10:1$ ?

##### Вариант 2

1. Погрешности геометрии тонкопленочного резистора, рисунок которого получен с помощью контактной маски.
2. Рассчитать параметры проекционной системы для получения размера элемента  $b = 0,8 \text{ мкм}$ .
3. Какой масштаб оригинала выбрать для получения резистора шириной  $30 \text{ мкм}$  с точностью  $1 \%$  для полупроводниковой ИМС?
4. Какое оборудование необходимо выбрать для получения эталонного ФШ для пленочной

схемы, если увеличение оригинала M20:1?

Вариант 3

1. Параметры тонкопленочных конденсаторов.
2. Оценить величину зазора, при которой можно получить минимальный размер 0,7 мкм при  $\lambda = 365$  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 M50:1?

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:  $A = 11,11$ ;  $B = 15630$ ;  $M=27$ ;  $T_{\text{усл}}=1423$  К.
4. Представить зависимость коэффициента распыления от энергии иона в диапазоне 50-150 эВ для мишени из меди при бомбардировке ионами аргона, если при  $E = 50$  эВ  $S = 0,05$  атом/ион.

Вариант 2

1. Чем определяется количество вещества, испаренного в угол  $d\Omega$  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 см<sup>2</sup>. Расстояние от испарителя до подложки 10 см, скорость испарения  $7 \times 10^{-3}$  кг/м<sup>2</sup>·с. Плотность меди  $\rho = 8,96 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.
4. Представить зависимость  $S$  от  $E$  в диапазоне от пороговой до 200 эВ. Мишень – тантал, ион – аргон.  $S = 0,01$  при  $E = 50$  эВ;  $S = 0,1$  при  $E = 100$  эВ;  $S = 0,4$  при  $E = 200$  эВ.  $M_1 = 40$ ,  $M_2 = 181$ ;  $E_{\text{суб}} = 8,7$  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 см<sup>2</sup>. Расстояние от испарителя до подложки 10 см, скорость испарения  $1 \times 10^{-3}$  кг/м<sup>2</sup>·с. Плотность меди  $\rho = 8,96 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.
4. Рассчитать скорость распыления мишени из тантала.  $S=1,48$ ;  $j= 10$  А/м<sup>2</sup>;  $N_0 = 5,52 \times 10^{28}$  атом/м<sup>3</sup>.

#### 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 испарении 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 ( $Ta_2O_5$ ), используя катодное распыление. Рассчитать режимы напыления и определить время напыления структуры  $Ta - Ta_2O_5 - Ta$  со следующими толщинами:  $Ta - 0,2$  мкм,  $Ta_2O_5 - 0,5$  мкм.

#### Вариант 3

Обосновать выбор технологии напыления пленок вольфрама с разбросом толщины пленки на подложке  $60 \times 48$  мм<sup>2</sup> не более 5 %. Каким образом обеспечить требуемую скорость конденсации, чтобы время напыления пленки толщиной  $0,03 - 0,21$  мкм не превышало 1-2 мин?  $T = 3500 - 4000$  К.  $M = 183,8$ ;  $A = 9,24$ ;  $B = 40260$ ;  $g = 19,3$  г/см<sup>3</sup>.

#### Вариант 4

Исследовать влияние энергии ионов на коэффициент распыления в широком диапазоне энергий от Епор до Емах для легких (He) и тяжелых (Ag) 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

## 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.