

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

**Физика пленочных наноструктур**

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: **5, 6**

Учебный план набора 2017 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	5 семестр	6 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	44	0	44	часов
2	Практические занятия	16	0	16	часов
3	Курсовой проект / курсовая работа	0	18	18	часов
4	Всего аудиторных занятий	60	18	78	часов
5	Из них в интерактивной форме	20	0	20	часов
6	Самостоятельная работа	48	54	102	часов
7	Всего (без экзамена)	108	72	180	часов
8	Подготовка и сдача экзамена	36	0	36	часов
9	Общая трудоемкость	144	72	216	часов
		4.0	2.0	6.0	З.Е.

Экзамен: 5 семестр

Курсовой проект / курсовая работа: 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 № \_\_\_\_\_.

### Разработчики:

Ассистент каф. ФЭ \_\_\_\_\_ Ю. С. Жидик  
Доцент каф. ФЭ \_\_\_\_\_ В. А. Мухачев

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:

Доцент кафедры физической  
электроники (ФЭ) \_\_\_\_\_ И. А. Чистоедова

Профессор кафедры физической  
электроники (ФЭ) \_\_\_\_\_ Т. И. Данилина

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины является изучение студентами основных законов зарождения и роста наноструктур, а также свойств материалов в пленочном состоянии, формирование навыков проведения расчетов условий зарождения и влияния их на свойства пленок.

### 1.2. Задачи дисциплины

- изучение основ роста пленок и зависимости их структуры от технологических факторов;
- изучение основных свойств металлических, резистивных и диэлектрических пленок.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика пленочных наноструктур» (Б1.В.ОД.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Физика пленочных наноструктур, Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур, Математика, Математическое моделирование и программирование, Методы математической физики, Основы технологии электронной компонентной базы, Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники, Твердотельная электроника, Технология материалов микро- и нанoeлектроники, Физика, Физика конденсированного состояния, Химия.

Последующими дисциплинами являются: Физика пленочных наноструктур, Преддипломная практика, Процессы микро- и нанотехнологии, Технология кремниевой нанoeлектроники.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОК-2 способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
- ПК-2 способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** - основные законы образования пленочных наноструктур и влияние условий зарождения на свойства этих структур, размерный эффект; - основные механизмы электропроводности металлических и диэлектрических пленок; - основные процессы, приводящие к образованию тонкопленочных МДМ-структур.
- **уметь** - рассчитывать основные параметры зарождения и роста пленок; - рассчитывать основные параметры проводящих, резистивных и диэлектрических пленок с учетом размерного эффекта и структуры пленок.
- **владеть** - методами расчета и численного моделирования физико-химических процессов и явлений, протекающих в наноструктурах.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры	
		5 семестр	6 семестр
Аудиторные занятия (всего)	78	60	18
Лекции	44	44	
Практические занятия	16	16	

Курсовой проект / курсовая работа	18		18
Из них в интерактивной форме	20	20	
Самостоятельная работа (всего)	102	48	54
Выполнение расчетных работ	16	0	16
Подготовка к контрольным работам	2	2	0
Выполнение курсового проекта / курсовой работы	24	0	24
Выполнение индивидуальных заданий	16	16	0
Проработка лекционного материала	12	12	0
Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	14	0	14
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	12	12	0
Выполнение контрольных работ	6	6	0
Всего (без экзамена)	180	108	72
Подготовка и сдача экзамена	36	36	0
Общая трудоемкость, ч	216	144	72
Зачетные Единицы	6.0	4.0	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	Ле	к,	ч	ра	к.	за	П/	К	Р,	м.	ра	б.,	в	(б	ез	т	уе	м	ые	ко	м
5 семестр																					
1 Зарождение и рост тонких пленок	18			6			0			14			38								ОПК-2, ПК-2
2 Проводящие пленки	6			2			0			10			18								ОПК-2, ПК-2
3 Резистивные пленки	10			4			0			9			23								ОПК-2, ПК-2
4 Диэлектрические пленки	10			4			0			15			29								ОПК-2, ПК-2
Итого за семестр	44			16			0			48			108								
6 семестр																					
5 Получение задания на курсовую работу	0			0			18			2			2								ОПК-2, ПК-2
6 Анализ литературы по теме курсовой работы. Анализ актуальности, научной и практической значимости выполнения курсовой работы.	0			0						14			14								ОПК-2, ПК-2
7 Выполнение необходимых для выполнения курсовой работы расчетов	0			0						16			16								ОПК-2, ПК-2
8 Анализ полученных результатов	0			0						4			4								ОПК-2, ПК-2
9 Выполнение графических материалов	0			0						8			8								ОПК-2, ПК-2
10 Оформление курсовой работы	0			0						10			10								ОПК-2, ПК-2

Итого за семестр	0	0	18	54	72	
Итого	44	16	18	102	180	

### 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)	ОС	МК	ОС	М	БС	КО
5 семестр							
1 Зарождение и рост тонких пленок	Осаждение из паровой фазы. Конденсация пленки на подложке. Образование зародышей. Рост зародышей и образование сплошных пленок. Влияние условий на подложке на процесс зародышеобразования и роста пленок.	18					ОПК-2, ПК-2
	Итого	18					
2 Проводящие пленки	Проводящие пленки в микроэлектронике. Основные характеристики проводящих пленок. Размерный эффект в пленках. Островковые пленки и их свойства.	6					ОПК-2, ПК-2
	Итого	6					
3 Резистивные пленки	Резистивные пленки для тонкопленочных резисторов. Используемые материалы для получения резисторов с различными номиналами сопротивления и температурного коэффициента сопротивления (ТКС). Влияние состава и структуры пленок на характеристики резисторов. Особенности проводимости и ТКС пленок различного состава	10					ОПК-2, ПК-2
	Итого	10					
4 Диэлектрические пленки	Диэлектрические пленки в микро- и нанoeлектронике. Свойства диэлектриков в сильных полях. Туннельная эмиссия, эмиссия Шоттки и Пула-Френкеля. Токи, ограниченные пространственным зарядом. Пробой тонких диэлектрических пленок	10					ОПК-2, ПК-2
	Итого	10					
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
Предшествующие дисциплины										
1 Физика пленочных	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

наноструктур										
2 Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур	+	+	+	+						
3 Математика	+	+	+	+						
4 Математическое моделирование и программирование	+	+	+	+	+					
5 Методы математической физики	+	+	+	+						
6 Основы технологии электронной компонентной базы	+	+	+	+		+	+	+	+	
7 Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники	+	+	+	+		+	+	+	+	+
8 Твердотельная электроника		+	+	+						
9 Технология материалов микро- и нанoeлектроники	+	+	+	+						
10 Физика	+	+	+	+			+	+	+	
11 Физика конденсированного состояния	+	+	+	+						
12 Химия	+		+				+	+		
<b>Последующие дисциплины</b>										
1 Физика пленочных наноструктур	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Преддипломная практика	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 Процессы микро- и нанотехнологии	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4 Технология кремниевой нанoeлектроники	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

#### 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.	Практ. зан.	КП/КР	Сам. раб.	

ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Тест, Отчет по курсовому проекту / курсовой работе, Отчет по практическому занятию
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов / курсовых работ, Тест, Отчет по курсовому проекту / курсовой работе, 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
5 семестр			
Решение ситуационных задач	2	8	10
Мозговой штурм	2		2
Исследовательский метод	2	6	8
Итого за семестр:	6	14	20
6 семестр			
Итого за семестр:	0	0	0
Итого	6	14	20

### 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)	ОЕ	МК	ОС	М	БС	КО
5 семестр							
1 Зарождение и рост тонких пленок	Осаждение из паровой фазы. Конденсация пленки на подложке. Рост зародышей и образование сплошных пленок. Влияние условий на подложке на процесс зародышеобразования и роста пленок	6					ОПК-2, ПК-2
	Итого	6					

2 Проводящие пленки	Основные характеристики проводящих пленок. Размерный эффект. Островковые пленки.	2	ОПК-2, ПК-2
	Итого	2	
3 Резистивные пленки	Тонкопленочные резисторы. Керметы. Состав ТКС. Влияние состава и структуры на характеристики резисторов. Особенности проводимости резистивных пленок.	4	ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
4 Диэлектрические пленки	Диэлектрические пленки. Электропроводность, пробой тонких диэлектрических пленок.	4	ОПК-2, ПК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		16	
Итого		16	

### 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, часы	формируемые компетенции	Формы контроля
5 семестр				
1 Зарождение и рост тонких пленок	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	4		
	Выполнение индивидуальных заданий	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	14		
2 Проводящие пленки	Выполнение контрольных работ	2	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2		
	Проработка лекционного материала	2		
	Выполнение индивидуальных заданий	4		
	Итого	10		
3 Резистивные пленки	Выполнение контрольных работ	2	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по
	Проработка лекционного материала	3		
	Выполнение	4		



	индивидуальных заданий			практическому занятию, Тест, Экзамен
	Итого	9		
4 Диэлектрические пленки	Выполнение контрольных работ	2	ОПК-2, ПК-2	Контрольная работа, Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6		
	Проработка лекционного материала	3		
	Выполнение индивидуальных заданий	4		
	Итого	15		
Итого за семестр		48		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
6 семестр				
5 Получение задания на курсовую работу	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	2	ОПК-2, ПК-2	Отчет по курсовому проекту / курсовой работе, Тест
	Итого	2		
6 Анализ литературы по теме курсовой работы. Анализ актуальности, научной и практической значимости выполнения курсовой работы.	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	14	ОПК-2, ПК-2	Защита курсовых проектов / курсовых работ, Отчет по курсовому проекту / курсовой работе, Тест
	Итого	14		
7 Выполнение необходимых для выполнения курсовой работы расчетов	Выполнение расчетных работ	16	ОПК-2, ПК-2	Защита курсовых проектов / курсовых работ, Отчет по курсовому проекту / курсовой работе, Тест
	Итого	16		
8 Анализ полученных результатов	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	4	ОПК-2, ПК-2	Защита курсовых проектов / курсовых работ, Отчет по курсовому проекту / курсовой работе, Тест
	Итого	4		
9 Выполнение графических материалов	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	8	ОПК-2, ПК-2	Защита курсовых проектов / курсовых работ, Отчет по курсовому проекту / курсовой работе, Тест
	Итого	8		
10 Оформление курсовой работы	Выполнение курсового проекта / курсовой работы	10	ОПК-2, ПК-2	Защита курсовых проектов / курсовых работ, Отчет по курсовому проекту / курсовой работе, Тест
	Итого	10		
Итого за семестр		54		

Итого	138		
-------	-----	--	--

### 10. Курсовой проект / курсовая работа

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

Таблица 10.1 – Трудоемкость аудиторных занятий и формируемые компетенции в рамках выполнения курсового проекта / курсовой работы

Наименование аудиторных занятий	Т	УД	ОЕ	МК	ОС	ТЬ,	ПР	УЕ	М	ЫЕ	КО	М
<b>6 семестр</b>												
Выдача заданий курсовой работы. Требования к содержанию и оформлению курсовой работы.				2				ОПК-2, ПК-2				
Согласование списка литературных источников и плана обзорной части курсовой работы				2								
Основные этапы написания расчетной части курсовой работы. Консультация по выполнению расчетной части курсовой работы.				4								
Проверка графических материалов курсовой работы.				4								
Согласование содержания презентации и подготовка доклада для защиты курсовой работы.				2								
Защита курсовой работы				4								
Итого за семестр				18								

### 10.1. Темы курсовых проектов / курсовых работ

Примерная тематика курсовых проектов / курсовых работ:

- 1. Электропроводность диэлектрических пленок Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>
- 2. Электропроводность островковых пленок Au.
- 3. Резистивные пленки тугоплавких металлов.
- 4. Свойства керметных пленок Au-SiO<sub>2</sub>, Re-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> - Mo и т.п.
- 5. Механизм пробоя МДМ-систем, например, Al-SiO<sub>2</sub>-Al.
- 6. Свойства резисторов из чистых металлов.
- 7. Размерный эффект в тонких пленках.

### 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
<b>5 семестр</b>				
Контрольная работа	10	10		20
Опрос на занятиях	4	3	3	10
Отчет по индивидуальному заданию		10	10	20
Отчет по практическому занятию		5	5	10

Тест			10	10
Итого максимум за период	14	28	28	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	14	42	70	100
<b>6 семестр</b>				
Защита курсовых проектов / курсовых работ		10	30	40
Отчет по курсовому проекту / 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)
4 (хорошо) (зачтено)	85 - 89	B (очень хорошо)
	75 - 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
65 - 69		
3 (удовлетворительно) (зачтено)	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. Смирнова К.И. Тонкие пленки в микроэлектронике: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 109 с.

[Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Smirnova/TP\\_lec.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Smirnova/TP_lec.pdf) (дата обращения: 26.06.2018).

## **12.2. Дополнительная литература**

1. Антоненко С. В. Технология тонких пленок: Учебное пособие / Антоненко С.В. - М.: НИЯУ "МИФИ", 2008. - 104 с. ISBN 978-5-7262-1036-0 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=559861> (дата обращения: 26.06.2018).

## **12.3. Учебно-методические пособия**

### **12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия**

1. Смирнова К.И. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебно-методическое пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. – 50 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Smirnova/TP\\_pract.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Smirnova/TP_pract.pdf) (дата обращения: 26.06.2018).

2. Смирнова К.И. Тонкие пленки в микроэлектронике: Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. - 21 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Smirnova/TP\\_kurs.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Smirnova/TP_kurs.pdf) (дата обращения: 26.06.2018).

### **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. Научно-образовательный портал ТУСУР - <https://edu.tusur.ru/>
2. Электронная библиотека - [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

## **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 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, 224 ауд.  
Описание имеющегося оборудования:  
- Комплект специализированной учебной мебели;  
- Рабочее место преподавателя.  
Программное обеспечение не требуется.

#### Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

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 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 видеувеличителей 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

- Если подложка параллельно поверхности плоского испарителя, то какое из нижеприведенных выражений правильно описывает число атомов  $S_u$ , достигающих единицы поверхности подложки в единицу времени:
  - 1)  $Q_{oc} = \frac{Q_u \cdot S_u \cdot \cos \varphi}{4\pi \cdot h^2}$ ;
  - 2)  $Q_{oc} = \frac{Q_u \cdot S_u \cdot \cos \varphi}{\pi \cdot h^2}$ ;
  - 3)  $Q_{oc} = \frac{Q_u \cdot S_u}{4\pi \cdot h^2 \cdot \cos \varphi}$ ;
  - 4)  $Q_{oc} = \frac{Q_u \cdot S_u}{\pi \cdot h^2 \cdot \cos \varphi}$ ;где  $Q_u$  – поток испаряемого вещества;  
 $S_u$  – площадь испарителя;  
 $h$  – расстояние от испарителя до подложки;  
 $\varphi$  – угол между нормалью к поверхности испарителя и направлением потока на центр подложки.
- Укажите наиболее вероятное поведение атомов прилетающих на подложку по теории Фрейда:
  - 1) атомы диффундируют некоторое время по подложке, встречаясь с другими атомами образуют димеры и затем зародыши;
  - 2) атомы мгновенно «прилипают» к подложке не совершая никаких перемещений по ее поверхности;
  - 3) происходит обратное испарение атомов (реиспарение);
  - 4) конденсация атомов происходит только после того, как они, столкнувшись над поверхностью подложки, образовали димеры.
- Какой зависимостью связаны время жизни атома на подложке ( $\tau_a$ ) и температура подложки ( $T_{\Pi}$ )?
  - 1)  $\tau_a \sim T_{\Pi}$ ;
  - 2)  $\tau_a \sim \frac{1}{T_{\Pi}}$
  - 3)  $\tau_a \sim \exp\left(\frac{E_{дис}}{k \cdot T_{\Pi}}\right)$ ;
  - 4)  $\tau_a \sim \exp\left(-\frac{E_{дис}}{k \cdot T_{\Pi}}\right)$ ;
- Для легкого плавки металлов (висмут, свинец, олово и т.д.) четко установлены две граничные температуры подложки, определяющие механизм конденсации:
$$\theta_1 = \frac{1}{3}T_{пл} \text{ и } \theta_2 = \frac{2}{3}T_{пл},$$
где  $T_{пл}$  – температура плавления металла.  
Укажите, при какой температуре подложки наблюдается механизм ПЖК: пар – жидкость – кристалл.
- Какой основной механизм увеличения удельного сопротивления металлических пленок ( $\rho$ ) при уменьшении толщины ( $d$ )?
  - 1) уменьшение  $d$  приводит к уменьшению амплитуды колебания атомов;

- 2) увеличение  $\rho$  начинается, когда сплошная пленка становится островковой;
  - 3) с уменьшением  $d$  увеличивается концентрация дефектов структуры в объеме пленки
  - 4) с уменьшением  $d$  увеличивается вероятность рассеяния электронов на поверхности пленок.
6. В чем физическая суть эффекта Шоттки?
- 1) достижение током термоэлектронной эмиссии состояния насыщения (наличие полки в ВАХ);
  - 2) понижение барьера на границе металл-диэлектрик за счёт электрического поля;
  - 3) понижение барьера на границе металл-диэлектрик за счёт электроотрицательности атомов диэлектрика;
  - 4) ограничение тока термоэлектронной эмиссии объемным зарядом электронов.
7. Какие из представленных ниже материалов используют для получения тонкопленочных резисторов с высоким значением удельного сопротивления ( $\rho$ ) низким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС)?
- 1) чистые тугоплавкие металлы с высоким  $\rho$ ;
  - 2) сплавы и соединения из этих металлов
  - 3) композиции из металлов и полупроводников;
  - 4) композиций из металлов и диэлектриков.
8. Что такое температурный коэффициент сопротивления?
- 1) относительное измерение R;
  - 2) абсолютное измерение R;
  - 3) относительное изменение R при изменении температуры на 1К;
  - 4) абсолютное изменение R при изменении температуры на 1К.
9. Какой из видов поляризации в диэлектрических пленках дает минимальное значение диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ )?
- 1) поляризация электронного упругого смещения;
  - 2) поляризация ионного упругого смещения;
  - 3) дипольная релаксационная поляризация;
  - 4) структурная релаксационная поляризация
10. Как изменяется диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ) диэлектрических пленок при увеличении частоты ( $\nu$ ) электрического поля?
- 1) уменьшается, стремясь на оптических частотах к 1;
  - 2) уменьшается, стремясь на оптических частотах к величине  $\epsilon = n^2$ , где  $n$  – показатель преломления диэлектрика;
  - 3) увеличивается пропорционально  $\nu$ ;
  - 4) увеличивается пропорционально  $\nu^2$ .
11. Какой механизм ограничивает (уменьшает) ток из металла в диэлектрик наиболее сильно?
- 1) ток ограничивает объемный заряд свободных электронов;
  - 2) ток ограничивает объемный заряд электронов захваченных ловушками;
  - 3) ток ограничивает работа выхода электрона ( $\varphi$ ) из металла, причём это ограничение увеличивается с ростом напряженности электрического поля;
  - 4) наблюдается закон Ома вплоть до сильных электрических полей.
12. Какой параметры диэлектрической пленки наиболее сильно влияет на величину туннельного тока?
- 1) работа выхода электронов из металла в диэлектрик;
  - 2) электроотрицательность атомов (молекулы) диэлектрика;

- 3) толщина диэлектрической пленки;
- 4) концентрация ловушек в диэлектрической пленки.

13. Какое из представленных ниже уравнений правильно характеризует эффект Френкеля (ЭФ)?

- 1) ЭФ снижает барьер на границе металл диэлектрик;
- 2) ЭФ увеличивает электроотрицательность атомов (молекул) диэлектрика;
- 3) ЭФ уменьшает энергию ионизации ловушек в диэлектрике;
- 4) ЭФ увеличивают подвижность электронов в диэлектрике

14. При пробое диэлектрических пленок наблюдается упрочнение – увеличение электрической прочности ( $E_{пр}$ ) с уменьшением толщины диэлектрика при  $d < 0,5$  мкм. Какой из предложенных ниже утверждений наименее вероятно?

- 1) при тепловом пробое с уменьшением  $d$  облегчается теплоотвод из диэлектрика в электроды и затем в окружающую среду;
- 2) при ударной ионизации концентрация электронов растет по закону  $n > n_0 \cdot e^{\alpha d}$ , где  $\alpha$  – коэффициент ударной ионизации [ $\alpha$ ]= $m^{-1}$ . Размножение электронов возможно, если показатель экспоненты  $\alpha d > 1$ . С уменьшением  $d$  увеличение электронов в лавине до величины, необходимой для разрушения диэлектрика, затруднено: необходимо увеличении напряженности электрического поля.
- 3) при уменьшении  $d$  уменьшается длина свободного пробега электронов и, как следствие, уменьшается  $\alpha$  – коэффициент ударной ионизации;
- 4) в теории электронно-термического пробоя показано, что явление электрического упрочнения будет наблюдаться при пробое в неоднородном электрическом поле, если критериям пробой является достижение критической величины плотности тока

15. Среднее время жизни атома на поверхности подложки

$$\tau_a = \tau_0 \cdot e^{\left(\frac{E}{k \cdot T_n}\right)},$$

Где  $\tau_0$  – период собственных колебаний атома;

$T_n$  – температура подложки.

Каков физический смысл энергии  $E$ ?

- 1) энергия активации поверхностной диффузии;
- 2) энергия связи атома с поверхностью (теплота десорбции);
- 3) энергия колебания атома;
- 4) энергия перескока атома из одного состояния в другое.

16. В статистической теории зародышеобразования Уолтана и Родика в предэкспоненциальном множителе выражения для скорости зародышеобразования

$$J = Q \cdot n_0 \cdot a^2 \left( \frac{Q}{n_0 \cdot v_0} \right)^{ik}$$

стоит  $a^2$ . Каков физический смысл величины  $a$ ?

- 1) постоянная кристаллической решетки конденсирующейся пленки;
- 2) постоянная кристаллической решетки подложки (длина диффузионного перескока);
- 3) минимальное расстояние между дефектами подложки;
- 4) длина диффузионного пробега атома на подложке.

17. Что такое время запаздывания пробоя?

- 1) время от момента начала подачи напряжения до пробоя;
- 2) среднее время от начала подачи напряжения до пробоя;
- 3) время от момента достижения напряжение пробоя образования проводящего канала;
- 4) время достижения значения напряжения равного  $0,9 U_{пр}$ .



18. Чему равно типичное время запаздывания пробоя для тонкопленочных конденсаторов (ТПК) с толщиной диэлектрика  $d < 0,5$  мкм?
- 1)  $10 - 10^{-1}$  с;
  - 2)  $10^{-1} - 10^{-2}$  с;
  - 3)  $10^{-3} - 10^{-5}$  с;
  - 4)  $10^{-5} - 10^{-7}$  с.
19. Как зависит время запаздывания пробоя ( $t_{\text{зап}}$ ) от величины пробивного напряжения  $U_{\text{пр}}$  при одной и той же толщине диэлектрика?
- 1)  $t_{\text{зап.}} \sim U_{\text{пр}}$ ;
  - 2)  $t_{\text{зап.}} \sim \frac{1}{U_{\text{пр}}}$ ;
  - 3)  $t_{\text{зап.}}$  не зависит от  $U_{\text{пр}}$ ;
  - 4)  $t_{\text{зап.}} \sim U_{\text{пр}}^2$ ;
20. Почему при пробое тонкопленочных конденсаторов (ТПК) наблюдается эффект «самозалечивания», т. е. пробой ТПК не приводит к короткому замыканию (КЗ) и появляется возможность дальнейшей эксплуатации этого ТПК (и схемы в целом)?
- 1) при пробое испаряется всё вещество из канала пробоя – нечему проводить электрический ток;
  - 2) при пробое выделяющееся тепло резко ускоряет процесс окисления материала электрода (например, Al) возле канала пробоя и металл превращается в диэлектрик;
  - 3) при пробое площадь разрушения верхнего электрода больше площади канала пробоя: проводящий канал пробоя в диэлектрике изолируется от электрического поля;
  - 4) слабые места в диэлектрике обладают повышенной проводимостью, при пробое они удаляются, оставшийся диэлектрик обладает лучшим изоляционными свойствами.

#### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Критическая плотность потока пара;
2. Влияние температуры подложки на механизм конденсации: механизмы ПЖК и ПЖ (А), ПК;
3. Критический зародыш, критическое значение концентрации зародышей на подложке;
4. Вывод выражения для концентрации адсорбированных атомов через давление остаточного газа;
5. Температура эпитаксии
6. Влияние толщины пленки на удельное сопротивление;
7. Туннельный эффект в островковых пленках;
8. Резистивные пленки металлов, сплавов, соединений;
9. Композиции на основе металлов и диэлектриков. Керметы;
10. Диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь пленок: зависимость от толщины и частоты;
11. Токи в диэлектриках, ограниченные пространственным зарядом (ТОПЗ);
12. Надбарьерная эмиссия Шоттки в диэлектрических пленках;
13. Электропроводность диэлектрических пленок, обусловленная эффектом Френкеля;
14. Зависимость электрической прочности диэлектрических пленок от толщины;
15. Зависимость электрической прочности МДМ-систем от времени воздействия напряжения.

#### 14.1.3. Темы контрольных работ

Тема контрольной работы № 1 — Влияние технологических параметров (температура подложки, скорость осаждения и т.п.) на рост и структуру тонких пленок.

Тема контрольной работы № 2 — Свойства тонких проводящих, резистивных и диэлектрических пленок в зависимости от толщины и структуры этих пленок.

#### **14.1.4. Темы опросов на занятиях**

Осаждение из паровой фазы. Конденсация пленки на подложке. Образование зародышей. Рост зародышей и образование сплошных пленок. Влияние условий на подложке на процесс зародышеобразования и роста пленок.

Проводящие пленки в микроэлектронике. Основные характеристики проводящих пленок. Размерный эффект в пленках. Островковые пленки и их свойства.

Резистивные пленки для тонкопленочных резисторов. Используемые материалы для получения резисторов с различными номиналами сопротивления и температурного коэффициента сопротивления (ТКС). Влияние состава и структуры пленок на характеристики резисторов. Особенности проводимости и ТКС пленок различного состава

Диэлектрические пленки в микро- и нанoeлектронике. Свойства диэлектриков в сильных полях. Туннельная эмиссия, эмиссия Шоттки и Пула-Френкеля. Токи, ограниченные пространственным зарядом. Пробой тонких диэлектрических пленок

#### **14.1.5. Темы индивидуальных заданий**

Индивидуальное задание № 1 - Расчет необходимых технологических параметров для получения пленок заданного состава и структуры.

Индивидуальное задание № 2 - Расчет вольтамперных характеристик (ВАХ), температурного коэффициента сопротивления (ТКС), электрической прочности МДМ- структур, для проводящих, резистивных, диэлектрических пленок различной толщины.

Полный перечень Вариантов индивидуальных заданий представлен в УМП: Смирнова К.И. Тонкие пленки в микроэлектронике. Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов направления «Электроника и нанoeлектроника» (бакалавриат).-Томск: ТУСУР, 2013.-49 с. - [электронный ресурс] - <http://miel.tusur.ru/>

#### **14.1.6. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам**

Осаждение из паровой фазы. Конденсация пленки на подложке. Рост зародышей и образование сплошных пленок. Влияние условий на подложке на процесс зародышеобразования и роста пленок

Основные характеристики проводящих пленок. Размерный эффект. Островковые пленки.

Тонкопленочные резисторы. Керметы. Состав ТКС. Влияние состава и структуры на характеристики резисторов. Особенности проводимости резистивных пленок.

Диэлектрические пленки. Электропроводность, пробой тонких диэлектрических пленок.

#### **14.1.7. Темы курсовых проектов / курсовых работ**

1. Электропроводность диэлектрических пленок  $\text{Si}_3\text{N}_4$
2. Электропроводность островковых пленок Au.
3. Резистивные пленки тугоплавких металлов.
4. Свойства керметных пленок Au-SiO, Re-Si $_3$ N $_4$  - Mo и т.п.
5. Механизм пробоя МДМ-систем, например, Al-SiO-Al.
6. Свойства резисторов из чистых металлов.
7. Размерный эффект в тонких пленках.

#### **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.