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

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 2015 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	Курсовая работа (проект)	0	18	18	часов
4	Всего аудиторных занятий	60	18	78	часов
5	Из них в интерактивной форме	10	0	10	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
Курсовая работа (проект): 6 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 33075

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

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

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

Согласована на портале № 33075

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины является изучение студентами основных законов зарождения и рос¬та 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: Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур, Математика, Математическое моделирование и программирование, Методы математической физики, Технология материалов микро- и наноэлектроники, Физика, Физика конденсированного состояния, Химия, Физика пленочных наноструктур.

Последующими дисциплинами являются: Основы технологии электронной компонентной базы, Преддипломная практика, Проектирование электронной компонентной базы микроэлектроники и микросистемной техники, Процессы микро- и нанотехнологии, Твердотельная электроника, Технология кремниевой наноэлектроники, Физика пленочных наноструктур.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ОПК-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 наноэлектроники 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 пробою 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	

Согласована на портале № 33075

Практические занятия	16	16	
Курсовая работа (проект)	18		18
Из них в интерактивной форме	10	10	
Самостоятельная работа (всего)	102	48	54
Выполнение расчетных работ	16	0	16
Подготовка к контрольным работам	2	2	0
Выполнение курсового проекта (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	Лек., ч	Лаб. зан.,	Сам. раб.,	Курс. раб.	Всего (без экз.)	Формируемые компетенции
5 семестр						
1 Зарождение и рост тонких пленок	18	6	14	0	38	ОПК-2, ПК-2
2 Проводящие пленки	6	2	10	0	18	ОПК-2, ПК-2
3 Резистивные пленки	10	4	9	0	23	ОПК-2, ПК-2
4 Диэлектрические пленки	10	4	15	0	29	ОПК-2, ПК-2
Итого за семестр	44	16	48	0	108	
6 семестр						
5 Получение задания на курсовую работу	0	0	2	18	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

Согласована на портале № 33075

Итого за семестр	0	0	54	18	72	
Итого	44	16	102	18	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	ое мкос	ые ко
5 семестр			
1 Зарождение и рост тонких пленок	Осаждение из паровой фазы. Конденсация пленки на под¬ложке. 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 наноэлектронике. 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 Вакуумно-плазменные	+	+	+	+						

Согласована на портале № 33075

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

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.	Ср. раб. (п	Сам. раб.	

Согласована на портале № 33075

ОПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов (работ), Тест, Отчет по курсовой работе, Отчет по практическому занятию
ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Отчет по индивидуальному заданию, Экзамен, Опрос на занятиях, Защита курсовых проектов (работ), Тест, Отчет по 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	2	4
Мозговой штурм	2		2
Исследовательский метод	2	2	4
Итого за семестр:	6	4	10
6 семестр			
Итого за семестр:	0	0	0
Итого	6	4	10

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 мкос)	мые 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	

Согласована на портале № 33075

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,	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 практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	3		
	Выполнение индивидуальных заданий	4		
	Итого	9		
4 Диэлектрические	Выполнение контрольных	2	ОПК-2,	Контрольная работа,

Согласована на портале № 33075

пленки	работ		ПК-2	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 (работы)	2	ОПК-2, ПК-2	Отчет по 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 (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	14		
7 Выполнение необходимых для выполнения курсовой работы расчетов	Выполнение расчетных работ	16	ОПК-2, ПК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	16		
8 Анализ полученных результатов	Выполнение курсового проекта (работы)	4	ОПК-2, ПК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	4		
9 Выполнение графических материалов	Выполнение курсового проекта (работы)	8	ОПК-2, ПК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	8		
10 Оформление курсовой работы	Выполнение курсового проекта (работы)	10	ОПК-2, ПК-2	Защита курсовых проектов (работ), Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	10		
Итого за семестр		54		
Итого		138		

10. Курсовая работа (проект)

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

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

Наименование аудиторных занятий	Трудоемкость, часы	Формируемые компетенции
6 семестр		
Выдача заданий курсовой работы. Требования к содержанию и	2	ОПК-2, ПК-2

Согласована на портале № 33075

оформлению курсовой работы.		
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 работ (проектов)

Примерная тематика курсовых работ (проектов):

- 1. Электропроводность диэлектрических пленок Si3N4
- 2. Электропроводность островковых пленок Au.
- 3. Резистивные пленки тугоплавких металлов.
- 4. Свойства керметных пленок Au-SiO, Re-Si3N4 - Mo и т.п.
- 5. Механизм пробоя МДМ-систем, например, AI-SiO-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
5 семестр				
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
6 семестр				
Защита курсовых проектов (работ)		10	30	40
Отчет по курсовой работе	10	14	18	42

Согласована на портале № 33075

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)
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. 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 (дата обращения: 21.06.2018).

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: 21.06.2018).

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 (дата обращения: 21.06.2018).

2. Смирнова К.И. Тонкие пленки в микроэлектронике: Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы. Томск: Томский государственный университет систем управления и

Согласована на портале № 33075

радиоэлектроники, 2013. - 21 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Smirnova/TP_kurs.pdf (дата обращения: 21.06.2018).

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

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;

Согласована на портале № 33075

- 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 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. Если подложка параллельно поверхности плоского испарителя, то какое из нижеприведенных выражений правильно описывает число атомов Cu, достигающих единицы поверхности подложки в единицу времени:
   1) $Q_{oc} = \frac{Q_u \cdot S_u \cdot \cos\varphi}{4\pi \cdot h^2}$;

Согласована на портале № 33075

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;

φ – угол между нормалью к поверхности испарителя и направлением потока на центр подложки.

2. Укажите наиболее вероятное поведение атомов прилетающих на подложку по теории Фрейда:
   1) атомы диффундируют некоторые 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.

3. Какой зависимостью связаны время жизни атома на подложке (τ_a) и температура подложки $(T_П)$?
   1) $\tau_a \sim T_П$;
   2) $\tau_a \sim \frac{1}{T_П}$
   3) $\tau_a \sim \exp\left(\frac{E_{дис}}{k \cdot T_П}\right)$;
   4) $\tau_a \sim \exp\left(-\frac{E_{дис}}{k \cdot T_П}\right)$;

4. Для легкого плавки металлов (висмут, свинец, олово и т.д.) четко установлены две граничные температуры подложки, определяющие механизм конденсации:

   $\theta_1 = \frac{1}{3}\mathrm{T}_{пл}$ и $\theta_2 = \frac{2}{3}\mathrm{T}_{пл}$,

   где $\mathrm{T}_{пл}$ – температура плавления металла.

   Укажите, при какой температуре подложки наблюдается механизм ПЖК: пар – жидкость - кристалл.

5. Какой основной механизм увеличения удельного сопротивления металлических пленок (ρ) при уменьшение толщины (d)?
   1) уменьшение d приводит к уменьшению амплитуды колебания атомов;
   2) увеличение ρ 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 Шотти?
   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.

Согласована на портале № 33075

7. Какие из представленных ниже материалов используют для получения тонкопленочных резисторов с высоким значением удельного сопротивления (ρ) низким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС)?
   1) чистые тугоплавкие металлы с высоким ρ;
   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 (ε)?
   1) поляризация электронного упругого смещения;
   2) поляризация ионного упругого смещения;
   3) дипольная релаксационная поляризация;
   4) структурная релаксационная поляризация

10. Как изменяется диэлектрическая проницаемость (ε) диэлектрических пленок при увеличении частоты (ν) электрического поля?
   1) уменьшается, стремясь на оптических частотах к 1;
   2) уменьшается, стремясь на оптических частотах к величине $\varepsilon = n^2$, где n – показатель преломления диэлектрика;
   3) увеличивается пропорционально ν;
   4) увеличивается пропорционально ν^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 (φ) 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?

Согласована на портале № 33075

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 α – коэффициент ударной ионизации [α]=м$^{-1}$. 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 α – 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

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

Где τ_0 – период собственных колебаний атома;

$T_п$ – температура подложки.

Каков физический смысл энергии Е?

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 ($t_{зап}$) от величины пробивного напряжения $U_{пр}$ при одной и той же толщине диэлектрика?

1) $t_{зап.} \sim U_{пр}$;
2) $t_{зап.} \sim \frac{1}{U_{пр}}$;
3) $t_{зап.}$ не зависит от $U_{пр}$;

Согласована на портале № 33075

4) $t_{зап.} \sim U_{пр}{}^2$;

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 под¬ложке. 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 наноэлектронике. Свойства диэлектриков в сильных полях. Туннельная эмиссия, эмиссия Шоттки и Пула-Френкеля. Токи, ограниченные пространственным зарядом. Пробой тонких диэлектрических пленок

Согласована на портале № 33075

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 (ТПС), 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 наноэлектроника» (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 (работ)

1. Электропроводность диэлектрических пленок Si3N4
2. Электропроводность островковых пленок Au.
3. Резистивные пленки тугоплавких металлов.
4. Свойства керметных пленок Au-SiO, Re-Si3N4 - Mo и т.п.
5. Механизм пробоя МДМ-систем, например, AI-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;

Согласована на портале № 33075

– 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 № 33075