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

Технология кремниевой наноэлектроники

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**
Курс: **4**
Семестр: **8**
Учебный план набора 2016 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	8 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	36	36	часов
2	Практические занятия	18	18	часов
3	Лабораторные работы	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	70	70	часов
5	Из них в интерактивной форме	16	16	часов
6	Самостоятельная работа	74	74	часов
7	Всего (без экзамена)	144	144	часов
8	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
9	Общая трудоемкость	180	180	часов
		5.0	5.0	З.Е.

Экзамен: 8 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 32486

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

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, утвержденного 06.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

доцент каф. ФЭ	_____	И. А. Чистоедова
Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ	_____	А. И. Воронин
Заведующий выпускающей каф. ФЭ	_____	П. Е. Троян

Эксперты:

Председатель методической комиссии факультета ЭТ (ФЭТ) каф.фэ	_____	И. А. Чистоедова
Профессор кафедры физической электроники (ФЭ)	_____	Т. И. Данилина

Согласована на портале № 32486

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

освоение студентами комплекса теоретических и практических знаний в области перспективных технологических процессов, которые позволяют увеличить степень интеграции схем, и позволяют создавать сверхбольшие интегральные схемы для кремниевой наноэлектроники.

1.2. Задачи дисциплины

- формирование знаний в области нанотехнологий кремниевой наноэлектроники
- изучение базовых технологических процессов производства СБИС для кремниевой наноэлектроники
-
-
-
-

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Технология кремниевой наноэлектроники» (Б1.В.ОД.8) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Вакуумная и плазменная электроника, Материалы электронной техники, Методы анализа и контроля наноструктурированнных материалов и систем, Наноэлектроника, Основы технологии электронной компонентной базы.

Последующими дисциплинами являются: Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты, Преддипломная практика, Процессы микро- и нанотехнологии.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ПК-1 способностью проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий;
- ПК-2 готовностью проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;
- ПК-8 готовностью использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** – физико-химические основы базовых технологических процессов производства кремниевых ИС; – базовые маршруты изготовления кремниевых интегральных схем; – принципы разработки технологических маршрутов производства кремниевых ИС;
- **уметь** – разрабатывать технологические маршруты изготовления кремниевых ИС; – выбирать параметры технологических операций;
- **владеть** – навыками разработки базовых технологических процессов;

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		8 семестр
Аудиторные занятия (всего)	70	70
Лекции	36	36
Практические занятия	18	18

Согласована на портале № 32486

Лабораторные работы	16	16
Из них в интерактивной форме	16	16
Самостоятельная работа (всего)	74	74
Подготовка к контрольным работам	13	13
Оформление отчетов по лабораторным работам	16	16
Проработка лекционного материала	11	11
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	34	34
Всего (без экзамена)	144	144
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость, ч	180	180
Зачетные Единицы	5.0	5.0

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
8 семестр						
1 Тенденция развития современной кремниевой технологии микро- и наноэлектроники	2	0	0	2	4	ПК-1, ПК-2, ПК-8
2 Субмикронная фотолитография	4	2	0	9	15	ПК-1, ПК-2, ПК-8
3 Пучковые методы литографии	6	6	0	17	29	ПК-1, ПК-2, ПК-8
4 Ионное легирование полупроводников	10	6	0	16	32	ПК-1, ПК-2, ПК-8
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	6	2	4	10	22	ПК-1, ПК-2, ПК-8
6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	4	0	4	7	15	ПК-1, ПК-2, ПК-8
7 Технологические маршруты изготовления кремниевых ИС	4	2	8	13	27	ПК-1, ПК-2, ПК-8
Итого за семестр	36	18	16	74	144	
Итого	36	18	16	74	144	

Согласована на портале № 32486

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
8 семестр			
1 Тенденция развития современной кремниевой технологии микро- и наноэлектроники	Международная технологическая дорожная карта для полупроводникового производства. Закон Мура.	2	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	2	
2 Субмикронная фотолитография	Основные понятия и тенденции. Иммерсионная литография КУФ диапазона. Литография ЭУФ диапазона. Импринтинг	4	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	4	
3 Пучковые методы литографии	Электронно-лучевые установки. Параметры установок. Расчеты диаметра сфокусированного луча. Рассеяние пучка электронов в резисте. Время экспонирования. Разрешающая способность электронно-лучевой литографии. Ионная литография. Рентгенолитография	6	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	6	
4 Ионное легирование полупроводников	Технология ионного легирования. Пробеги ионов в аморфных веществах. Профили распределения концентрации внедренных ионов в аморфных и монокристаллических мишенях. Радиационные дефекты при ионном легировании. Отжиг дефектов. Быстрый термический отжиг. Новые методы импульсного отжига. Области применения ионного легирования.	10	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	10	
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	Классификация процессов. Основные параметры травления. Физика ионного травления. Разрешающая способность ионно-лучевого травления. Плазмохимическое травление (ПХТ). Модель и методы ПХТ	6	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	6	
6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	Атомно-слоевое осаждение из газовой фазы. Ионное и ионно-плазменное осаждение тонких слоев диоксида кремния, нитрида кремния, нитрида алюминия, кремния и металлов. Ионно-стимулированное, ионно-лучевое напыление тонких пленок. Основные понятия и тенденции развития. Технология химико-механической планаризации	4	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	4	

Согласована на портале № 32486

7 Технологические маршруты изготовления кремниевых ИС	Основные понятия и тенденции развития. Инженерия межуровневого диэлектрика и межуровневой разводки. Технологический маршрут	4	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	4	
Итого за семестр		36	

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
Предшествующие дисциплины							
1 Вакуумная и плазменная электроника					+		
2 Материалы электронной техники	+						
3 Методы анализа и контроля наноструктурированнных материалов и систем		+	+	+	+	+	
4 Наноэлектроника				+	+		+
5 Основы технологии электронной компонентной базы	+	+	+	+	+	+	+
Последующие дисциплины							
1 Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты	+	+	+	+	+	+	+
2 Преддипломная практика	+	+	+	+	+	+	+
3 Процессы микро- и нанотехнологии	+	+	+	+	+	+	+

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-1	+	+	+	+	Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию

Согласована на портале № 32486

ПК-2	+	+	+	+	Контрольная работа, Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест, Отчет по практическому занятию
ПК-8	+	+	+	+	Контрольная работа, 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 лабораторные занятия, ч	Интерактивные лекции, ч	Всего, ч
8 семестр				
Мозговой штурм		2		2
Презентации с использованием слайдов с обсуждением			4	4
Решение ситуационных задач	10			10
Итого за семестр:	10	2	4	16
Итого	10	2	4	16

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
8 семестр			
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	Исследование процессов травления микро- и наноструктур	4	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	4	
6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике	4	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	4	
7 Технологические маршруты изготовления кремниевых ИС	Исследование процессов травления микро- и наноструктур	4	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Исследование процессов формирования Т-образного затвора p-HEMT транзистора	4	
	Итого	8	
Итого за семестр		16	

Согласована на портале № 32486

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
8 семестр			
2 Субмикронная фотолитография	Субмикронная фотолитография	2	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	2	
3 Пучковые методы литографии	Электронно-лучевая литография	6	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	6	
4 Ионное легирование полупроводников	Ионная имплантация в технологии СБИС	6	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	6	
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	Ионно-лучевое травление микро- и наноструктур	2	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	2	
7 Технологические маршруты изготовления кремниевых ИС	Маршрут изготовления СБИС	2	ПК-1, ПК-2, ПК-8
	Итого	2	
Итого за семестр		18	

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
8 семестр				
1 Тенденция развития современной кремниевой технологии микро- и наноэлектроники	Проработка лекционного материала	1	ПК-1, ПК-8	Контрольная работа, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	1		
	Итого	2		
2 Субмикронная фотолитография	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-2, ПК-8	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4		
	Проработка лекционного	1		

Согласована на портале № 32486

	материала			
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	9		
3 Пучковые методы литографии	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-1, ПК-2, ПК-8	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	7		
	Проработка лекционного материала	2		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	17		
4 Ионное легирование полупроводников	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-1, ПК-2, ПК-8	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	5		
	Проработка лекционного материала	3		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	16		
5 Ионное и плазмохимическое травление микро- и наноструктур	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-1, ПК-2, ПК-8	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	2		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	10		
6 Осаждение металлов и диэлектриков. Планаризация рельефа	Проработка лекционного материала	1	ПК-1, ПК-2, ПК-8	Контрольная работа, Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	7		
7 Технологические маршруты изготовления	Подготовка к практическим занятиям, семина-	2	ПК-1, ПК-2,	Контрольная работа, Отчет по лабораторной ра-

Согласована на портале № 32486

кремниевых ИС	рам		ПК-8	боте, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	13		
Итого за семестр		74		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		110		

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
8 семестр				
Контрольная работа	10	10	10	30
Отчет по лабораторной работе			16	16
Отчет по практическому занятию	5	5	4	14
Тест			10	10
Итого максимум за период	15	15	40	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	15	30	70	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

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

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

Согласована на портале № 32486

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. Технология кремниевой наноэлектроники [Текст] : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей, Е. В. Анищенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск : ТУСУР, 2015. - 319 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.)

2. Технология СБИС: учебное пособие / Т.И.Данилина, В.А.Кагадей , Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 287 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 48 экз.)

3. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов / Т. И. Данилина [и др.] ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). - Томск : ТУСУР, 2005. - 316 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 99 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. / Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А.Королев, Т.Ю.Крупкина, М.А.Ревелева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 397 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

2. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. / Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А.Королев [и др.]. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 423 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 35 экз.)

3. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: Учебное пособие / Чистоедова И. А., Данилина Т. И. - 2011. 98 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/547 (дата обращения: 19.06.2018).

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Данилина Т.И. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебно-методическое пособие по лабораторным работам. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. – 68 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks

Согласована на портале № 32486

%20disciplin/Danilina/TKH_Daninina_Posobie_lab.pdf (дата обращения: 19.06.2018).

2. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе / Чистоедова И. А., Данилина Т. И. - 2018. 61 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7944 (дата обращения: 19.06.2018).

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. https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

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

13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория

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

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

Описание имеющегося оборудования:

- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение не требуется.

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Учебная аудитория

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

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер персональный (13 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Согласована на портале № 32486

Программное обеспечение:

– LibreOffice
– Microsoft Windows 7
– PDF-XChange Viewer
– Виртуальная лабораторная работа «Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике»
– Виртуальная лабораторная работа «Исследование процессов травления микро- и наноструктур»
– Виртуальная лабораторная работа «Исследование процессов формирования Т-образного затвора p-HEMT транзистора»

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.

Согласована на портале № 32486

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. Что представляет собой проецированный пробег ионов в твердом теле?

а) полный путь иона;

б) проекция полного пути на направление первоначального движения иона (направление x);

в) проекция пути на направление y;

г) боковое рассеяния.

2. Глубина залегания p-n перехода с увеличением дозы облучения:

а) не изменяется; б) возрастает; в) уменьшается г) сначала уменьшается, затем увеличивается.

3. Глубина залегания p-n перехода с увеличением энергии ионов:

а) не изменяется; б) возрастает; в) сначала увеличивается, затем уменьшается ; г) уменьшается.

4. При низкотемпературном отжиге радиационных дефектов глубина залегания p-n перехода:

а) не изменяется; б) увеличивается; в) уменьшается; г). сначала уменьшается, затем увеличивается.

5. Сферическая аберрация обусловлена:

а) действием фокусирующего поля линзы;

б) разбросом скоростей электронов;

в) дифракцией;

г) температурой подложки

6. Хроматическая аберрация обусловлена:

а) действием фокусирующего поля линз;

б) разбросом скоростей электронов;

в) дифракцией;

г) температурой подложки

7. Для идеального изотропного травления показатель анизотропии:

а) равен 1; б) больше 1; в) меньше 1; г) равен 100.

8. Плазмохимическое травление является результатом…

а) физического распыления в условиях газового разряда ионами инертных газов;

б) травления ХАЧ в условиях воздействия плазмы;

в) физического распыления ионами инертных газов в условиях высокого вакуума;

г) физического распыления ионами инертного газа в плазме.

9. Почему разрешающая способность электронно-лучевой литографии выше, чем оптической

фотолитографии?

а) энергия электронов меньше, чем энергия фотонов;

б) длина волны излучения для ускоренных электронов меньше, чем длина волны УФ-излучения;

в) длина волны для ускоренных электронов больше, чем длина волны УФ-излучения;

г) энергия электронов больше, чем энергия фотонов.

10. Указать причину, по которой для ионной имплантации бора используют тяжелые молекулы,

содержащие бор…

а) увеличение энергии ионов бора;

б) увеличение xp-n;

в) уменьшение xp-n;

г) уменьшение энергии ионов бора.

11. Как связана минимальная ширина экспонируемой линии bmin с диаметром сфокусиро-

Согласована на портале № 32486

ванного

электронного луча dmin с учетом бокового рассеяния электронов Δy?

а) b_min=d_min+Δy;

б) b_min=d_min+2Δy;

в) b_min=d_min+1/2 Δy;

г) bmin=dmin+4Δy

12. Ионно-лучевое травление является результатом…

а) физического распыления ионами инертных газов в высоком вакууме;

б)физического распыления и химической реакции;

в) травлением за счет радикалов;

г) физического распыления ионами инертных газов в плазме.

13. Степень анизотропии травления рабочего слоя определяется следующим образом…

а) V_В/V_Г ;

б) V_Г/V_В ;

в) V_пл/V_подл;

г) Vподл/ Vпл.

где V_В, V_Г – соответственно скорости травления рабочего слоя в вертикальном и горизонтальном

направлениях; V_пл, V_подл – соответственно скорости травления пленки и подложки.

14. Чему равна селективность травления, если скорость травления маски в два раза больше скорости травления подложки?

а) 0,5;

б) 1;

в) 1,5;

г) 2

15. Какой получится размер линии в пленке толщиной 0,5 мкм в результате анизотропного травления с А=10, если размер маски 0,5 мкм?

а) 0,5;

б) 0,4;

в) 0,6;

г) 0,7

16. Для обеспечения высокой разрешающей способности боковые стенки маски должны быть …

а) вертикальными;

б) горизонтальными;

в) под углом 45°;

г) под углом 60 градусов.

17. Для обеспечения высокой разрешающей способности ионно-лучевого травления необходимы

маски:

а) с высоким коэффициентом распыления материала маски;

б) с низким коэффициентом распыления материала маски;

в) коэффициент распыления не влияет

г) с переменным коэффициентом распыления

18. Глубина залегания p-n перехода с увеличением температуры отжига:

а) не изменяется; б) увеличивается; в) уменьшается; г) сначала увеличивается, затем уменьшается .

19. Глубина залегания p-n перехода в монокристаллической мишени по сравнению с аморфной:

а) увеличивается; б) уменьшается; в) не изменяется; г) сначала увеличивается, затем уменьшается .

20. Распределение внедренной примеси при ионной имплантации описывается гауссианой, максимум которой лежит:

а) на поверхности; б) на глубине Rp ;

Согласована на портале № 32486

в) на глубине равной 2Rp; г) на глубине 0,5Rp.

14.1.2. Экзаменационные вопросы

1). Области применения имплантации.

2). Чем определяется время экспонирования при электронно-лучевой литографии?

3). Субмикронная фотолитография.

4). Модель ПХТ. Влияние температуры подложки на процесс травления.

5). Каналирование ионов.

6). Синтез материалов с помощью ионной имплантации (оксиды, силициды).

7). Разрешающая способность электронно-лучевой литографии.

8). Сухое травление: плазменное (ПХИ и РИД) и ионно-пучковое травление. Типы и особенности процессов.

9). Пробеги ионов в твердых телах.

10). Электронно-оптическая система ЭЛУ.

11). Субмикронная проекционная фотолитография.

12). Механизмы энергетических потерь при ионном легировании.

13). Механизмы ионного травления. Параметры.

14). Технология формирования структур «кремний на изоляторе» с помощью ионной имплантации.

15). Формирование электронных лучей субмикронных размеров.

16). Чем определяется длина волны экспонирующего излучения в электронно-лучевой литографии?

17). Влияние поперечной составляющей тепловой скорости электронов на разрешающую способность электронной литографии.

18). Радиационные дефекты. Образование аморфной фазы. Использование радиационных дефектов на практике.

19). Быстрый термический отжиг. Области применения.

20). Характеристики методов травления (жидкостное, ионное, поазмохимическое).

21). Распределение внедренной примеси по глубине при ионной имплантации. Образование p-n перехода.

22). Методы импульсного отжига.

23). Взаимодействие электронов с резистом. Энергетические потери. Рассеяние электронов.

24). Способы формирования супермелкозалегающих p-n переходов.

25). Чему равна селективность травления, если скорость травления фоторезиста в два раза больше скорости травления подложки?

14.1.3. Темы контрольных работ

Тема контрольной работы № 1: Субмикронная фотолитография, электронно-лучевая литография

Вариант 1

1. Как получается рисунок при последовательной ЭЛЛ.

2. Каким образом для электронной пушки обеспечить малое значение угла схождения a (для уменьшения аберраций) при достаточной Imax? Рассмотреть этот вопрос теоретически и практически.

3. Представить механизмы рассеяния пучка электронов при электронно-лучевом экспонировании.

Вариант 2

1. Показать на рисунке возникновение сферической аберрации в ЭЛУ.

2. Как изменится ток на образец при уменьшении диаметра электронного пятна с 10 до 0,1 мкм, если при диаметре пятна 10 мкм ток оставляет 10-5 А?

3. Рассмотреть причины возникновения разброса энергий электронов в электронном луче. Каким образом разброс энергий электронов ограничивает минимальный размер пятна электронного луча на мишени?

Вариант 3

1. Показать на рисунке угол сходимости и положение кроссовера в электронно-лучевой установке.

Согласована на портале № 32486

2. Изменение эффективных энергетических потерь оп глубине. Показать положение характерных точек.

3. Позитивный и негативный эффекты при электронно-лучевом экспонировании.

Тема контрольной работы № 2: Ионная имплантация в технологии кремниевой наноэлектронике.

Вариант 1

1. Определить параметры, которые будут определять время ионной имплантации?

2. Объяснить характер распределения примеси при ионной имплантации.

3. Что такое точечные дефекты? Рассчитать концентрацию этих дефектов при бомбардировке мишени из кремния ионами бора с дозой 10^13 см^-2. Есм=15 эВ. Ядерные потери составляют 16 кэВ/мкм.

Вариант 2

1. Что такое доза облучения?

2. Зачем используется имплантация ионов бора различных масс?

3. Представить профили концентрации акцепторной примеси, введенной имплантацией в полупроводник с исходной концентрацией N=const, при создании p-n перехода ионами низкой энергии; n-p-n структуры ионами высокой энергии, p-n перехода с постоянной концентрацией примеси в легированной области ионами разных энергий.

Вариант 3

1. Дать понятие полного и проецированного пробегов.

2. Способы управления xp-n при ионной имплантации.

3. Технология загонки примеси при ионной имплантации. На что влияет боковое рассеяние ионов?

14.1.4. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Субмикронная фотолитография

Электронно-лучевая литография

Ионная имплантация в технологии СБИС

14.1.5. Темы лабораторных работ

Исследование процессов травления микро- и наноструктур

Исследование процессов травления микро- и наноструктур

Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике

Исследование процессов формирования Т-образного затвора p-HEMT транзистора

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	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету,	Преимущественно проверка методами исходя из состояния

Согласована на портале № 32486

показаниям	контрольные работы, устные ответы	обучающегося на момент проверки

14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 32486