МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П.Е. Троян
«23» 06 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Технологические процессы в наноэлектронике

Уровень основной образовательной программы – бакалавриат
Направление подготовки – 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств
Профиль - Конструирование и технология наноэлектронных средств
Форма обучения – очная
Факультет – радиоконструкторский (РКФ)
Кафедра конструирования узлов и деталей радиоаппаратуры (КУДР)
Курс – 4 **Семестр – 7**

Учебный план набора 2013 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 7	Единицы
1	Лекции	36	часов
2	Лабораторные работы	16	часов
3	Практические занятия	36	часов
4	Курсовой проект (КРС) (аудиторная)		
5	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)	88	часов
6	Из них в интерактивной форме	70	часов
7	Самостоятельная работа студентов (СРС)	92	часов
8	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)	180	часов
9	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена	36	часов
10	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)	216	часов
	(в зачетных единицах)	6	ЗЕТ

Экзамен – 7 семестр

Томск 2016

Согласована на портале № 6675

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 185 от « 25 » 5 2016 г.

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (уровень бакалавриата), утвержденного 12 ноября 2015 г., рассмотрена и утверждена на заседании кафедры 25 мая 2016 г., протокол № 185.

Разработчик доцент кафедры КУДР М.Н. Романовский

Рабочая программа согласована с факультетом и выпускающей кафедрой направления подготовки.

Декан РКФ Д.В. Озеркин

Зав. выпускающей кафедрой КУДР А.Г. Лощилов

Эксперты:

Профессор кафедры КУДР С.Г. Еханин

Доцент кафедры КИПР А.А. Чернышев

Согласована на портале № 6675

1 Цели и задачи дисциплины

Изучение технологических процессов производства интегральных устройств микро- и наноэлектроники, формирование способности представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

2 Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части дисциплин по выбору. Соответственно желанию специализироваться в определенной области, студент выбирает для изучения одну из дисциплин, преподаваемых параллельно: Технологические процессы в наноэлектронике / Проектирование электронных средств (ГПО 4).

Основывается данная дисциплина на знаниях, полученных студентами при изучении следующих математических, естественнонаучных и профессиональных дисциплин: Физические основы микро- и наноэлектроники, Физика полупроводниковых структур, Физические основы элементной базы, Материалы и компоненты электронных средств, Интегральные устройства радиоэлектроники. Полученные знания и навыки используются при изучении последующих профессиональных дисциплин, при курсовом проектировании, выполнении выпускной квалификационной работы.

3 Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способности представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1).

В результате изучения дисциплины студент должен:

***знать*:** основные понятия, определения, термины, базовые процессы микро- и нанотехнологий электронных средств;

уметь: разрабатывать технические задания на проектирование и проектировать технологические процессы производства электронных средств;

владеть: навыками разработки технологической документации на проектируемые электронные средства.

Компетенции, формируемые при изучении дисциплины, окончательно оформляются в процессе изучении следующих дисциплин:

ОПК-1 — Математика, Химия, Физика полупроводниковых структур, Введение в профессию, Физическая химия.

4 Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов
Аудиторные занятия (всего)	88
В том числе:	
Лекции	36
Лабораторные работы (ЛР)	16
Практические занятия (ПЗ)	36
Другие виды аудиторной работы	
Самостоятельная работа (всего)	128
В том числе:	
на подготовку, сдачу экзамена	36
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	Экзамен
Общая трудоемкость час	216
Зачетные Единицы Трудоемкости	6

5 Содержание дисциплины

5.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	ЗанятияЛаборат.	Занятия.Практич.	студентаСамост. Работа	Всего час. (без экзам)	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1	Введение	2			2	4	ОПК-1
2	Эпитаксиальные методы	4		4	8	16	ОПК-1
3	Нанолитография	6		4	8	18	ОПК-1
4	Зондовые нанотехнологии	4		4	8	16	ОПК-1
5	Нанотрубки	4		8	8	20	ОПК-1

Согласована на портале № 6675

6	Лучевые методы	4		4	8	16	ОПК-1
7	Золь-гель технология	4		8	2	14	ОПК-1
8	Большие гибридные интегральные схемы	4			6	10	ОПК-1
9	Проектирование технологических процессов	2		4	4		ОПК-1
10	Перспективы наноэлектроники	2	16		38	56	ОПК-1

5.2 Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоем-кость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1	Введение	Структура, цели и задачи курса, его место в учебном процессе. Положение о рейтинговой системе. Переход от микро- к наноэлектронике . Основные подходы к синтезу наноструктур	2	ОПК-1
2	Эпитаксиальные методы	Газофазная, жидкостная и молекулярно-лучевая эпитаксия. Самоорганизация квантовых точек при эпитаксии. Использование массивов квантовых точек в приборных структурах	4	ОПК-1
3	Нанолитография	Фотолитография, электронная литография, рентгенолитография, ионолитография, импринтинг	6	ОПК-1
4	Зондовые нанотехнологии	Сканирующая зондовая микроскопия. Сканирующий туннельный микроскоп. Нанотехнологии на основе СТМ. Сканирующий атомно-силовой микроскоп. Нанолитография на основе АСМ	4	ОПК-1
5	Нанотрубки	Форма и структура углеродных нанотрубок. Методы получения нанотрубок. Свойства нанотрубок. Неуглеродные нанотрубки. Перспективы применения нанотрубок в электронике	4	ОПК-1
6	Лучевые методы	Электронно-лучевая технология. Лазерные микротехнологии	4	ОПК-1
7	Золь-гель технология	Сущность золь-гель технологии. Основные стадии золь-гель процесса. Состав и свойства пленкообразующих растворов	4	ОПК-1
8	Большие гибридные интегральные схемы	Отличительные особенности БГИС. Классификация БГИС. Однокристальные БГИС. БИС на нескольких кристаллах. Структура: Al (проводник) – (SiO2-Si-Si-SiO2)	4	ОПК-1
9	Проектирование технологических процессов	Технические задания на проектирование и проектирование технологических процессов производства электронных средств. Разработка технологической документации. Контроль параметров технологических процессов производства наноструктур	2	ОПК-1
10	Перспективы наноэлектроники	Квантовые МОП транзисторы. Технологии атомного масштаба. Путь к квантовым компьютерам	2	ОПК-1

5.3 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Предшествующие дисциплины														
1	Математика	+												
2	Физика полупроводниковых структур								+					
3	Химия								+					
4	Введение в профессию								+					
5	Физическая химия.	+	+	+	+	+	+	+	+					
Последующие дисциплины														
1	Конструирование и технология	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			

Согласована на портале № 6675

	микро- и наноэлектронных средств													
2	Технология производства электронных средств	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
3	Выпускная квалификационная работа									+				

5.4 Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля по всем видам занятий *(примеры)*
	Л	Лаб	Пр.	КР/КП	СРС	
ОПК-1	+	+	+		+	Тест, отчет по практической работе, отчет по лабораторной работе, конспект самоподготовки

Л – лекция, Пр – практические и семинарские занятия, Лаб – лабораторные работы, КР/КП – курсовая работа/проект, СРС – самостоятельная работа студента

6 Методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы / Формы	Лекции (час)	Практические занятия (час)	Лабораторные работы (час)		Всего
IT-методы	18				18
Работа в команде			36		36
Исследовательский метод		16			16
Итого интерактивных занятий	18	16	36		70

7 Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1	5, 9	Механические вакуумные насосы для предварительной откачки ваукуумной установки	4	ОПК-1
2	6, 9	Вакуумные напылительные установки	4	ОПК-1
3	7, 9	Осаждение резистивных и проводящих пленок методом термического испарения в вакууме	4	ОПК-1
4	4, 9	Ионно-плазменный метод получения нанослоев	4	ОПК-1
5		Спектрометрическое оценивание толщины тонких пленок	4	ОПК-1
6	9	Рамановская спектроскопия	4	ОПК-1
7	9	Инфракрасная Фурье-спектроскопия	4	ОПК-1
8	9	Устройство и принцип работы растрового электронного микроскопа Hitachi TM-1000	8	ОПК-1

8 Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1	1	Основные подходы к синтезу наноструктур	4	ОПК-1
2	2	Эпитаксиальные методы	4	ОПК-1
3	3	Нанолитография	4	ОПК-1
4	4	Зондовые нанотехнологии	4	ОПК-1
5	5	Нанотрубки	4	ОПК-1
6	6	Лучевые методы	4	ОПК-1
7	7	Золь-гель технология	4	ОПК-1
8	8	Большие гибридные интегральные схемы	4	ОПК-1
9	9	Проектирование технологических процессов	4	ОПК-1

9 Самостоятельная работа

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Виды самостоятельной работы *(детализация)*	Трудоемкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы (Опрос, тест, дом.задание, и т.д)
1	1	Подготовка к тесту	2	ОПК-1	Тест
2	2	Подготовка к тесту и практическому занятию	8	ОПК-1	Тест, опрос, защита отчета
3	3	Подготовка к тесту и практическому занятию.	10	ОПК-1	Тест, опрос, защита отчета

Согласована на портале № 6675

4	4	Подготовка к тесту и практическому занятию.	8	ОПК-1	Тест, опрос, защита отчета
5	5	Подготовка к тесту и практическому занятию.	12	ОПК-1	Тест, опрос, защита отчета
6	6	Подготовка к тесту и практическому занятию.	8	ОПК-1	Тест, опрос, защита отчета
7	7	Подготовка к тесту и практическому занятию.	14	ОПК-1	Тест, опрос, защита отчета
8	8	Подготовка к тесту и практическому занятию	6	ОПК-1	Тест, опрос, защита отчета.
9	9	Подготовка к тесту и лабораторной работе	40	ОПК-1	Тест, опрос, защита отчета

10 Примерная тематика курсовых проектов (работ)

Планом не предусмотрены

11 Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

Таблица 11.1 Максимальные балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	На 1 КТ	Между 1 и 2 КТ	После 2 КТ	Всего
Посещение занятий	3	3	3	**9**
Тестовый контроль	4	4	4	**12**
Контрольные работы на практических занятиях	9	9	9	**27**
Лабораторные работы		5	5	**10**
Компонент своевременности	4	4	4	**12**
Итого максимум за период:	**20**	**25**	**25**	**70**
Сдача экзамена (максимум)				**30**
Нарастающим итогом	**20**	**45**	**70**	**100**

Таблица 11.3 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

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) Данилина Т.И. Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2012. – 89 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/3871

2) Троян П.Е., Сахаров Ю.В. Наноэлектроника: учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2010. – 88 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/537

3) Данилина Т.И., Чистоедова И.А. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2011. – 98 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/547

12.2 Дополнительная литература

4) Романовский М.Н. Интегральные устройства радиоэлектроники. Часть 1. Основные структуры полупроводниковых интегральных схем: учебное пособие для вузов. – Томск: ТУСУР, 2012. – 123 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/1304

5) Романовский М.Н. Интегральные устройства радиоэлектроники. Часть 2. Элементы интегральных схем и функциональные устройства: учебное пособие для вузов. – Томск: ТУСУР, 2012. – 127 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/1309

6) Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов/ В.П. Драгунов, И.Г. Неизвест-

Согласована на портале № 6675

ный, В.А. Гридчин. - М.: Физматкнига, 2006. - 494 с. (31 экз)

7) Нанотехнологии в электронике: Монография / Н. И. Боргардт [и др.]; ред. Ю. А. Чаплыгин; Московский государственный институт электронной техники. - М. : Техносфера, 2005. - 446 с. (20 экз.)

8) Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. – М.: Радио и связь, 1992. – 320 с. (13 экз.)

9) Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия.– М.: Мир, 1991. – 632 с. (4 экз.)

10) Романовский М.Н. Технологические процессы микроэлектроники. – Томск: ТУСУР, 2002. – 190 с. (1 экз.)

11) Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М.: Высш. шк., 1989. – 320 с. (38 экз.)

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

Для обеспечения дисциплины используются следующие УМП:

1) Данилина Т.И. Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур: учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2013. – 20 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/3868

2) Данилина Т.И. Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур: методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2013. 28 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/3867

3) Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: Лабораторный практикум. – Томск: ТУСУР, 2010. 97 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/536

4) Индивидуальные задания для практических занятий, лабораторных работ и текущего контроля успеваемости студентов (раздаточный материал).

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

13 Материально-техническое обеспечение дисциплины: ПЭВМ, технологическое оборудование НОЦ ТУСУР.

14 Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Действующее промышленное технологическое оборудование, руководящие технические материалы и технологические инструкции студенты изучают дополнительно во время летней производственно-технологической практики.

Согласована на портале № 6675

ПРИЛОЖЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П.Е. Троян
«_4_» _____07_____ 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Технологические процессы в наноэлектронике

Уровень высшего образования бакалавриат
Направление подготовки 11.03.03 - Конструирование и технология электронных средств
Профиль: Конструирование и технология наноэлектронных средств;

Форма обучения Очная
Факультет радиоконструкторский (РКФ)
Кафедра Конструирования узлов и деталей РЭА (КУДР)

Курс 4 **Семестр** 7

Учебный план набора 2013 года и последующих лет

Экзамен – 7 семестр

Разработчик

_____М.Н. Романовский

Заведующий кафедрой КУДР

_____ А.Г. Лощилов

Томск 2016

Согласована на портале № 6675

1 ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи, контрольные работы, тесты и др.), предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения. ФОС по дисциплине используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

В таблице 1.1 приведен перечень закрепленных за дисциплиной компетенций.

Таблица 1.1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-1	Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	***Знать*:** основные понятия, определения, термины, базовые процессы микро- и нанотехнологий электронных средств; ***уметь:*** разрабатывать технические задания на проектирование и проектировать технологические процессы производства электронных средств; ***владеть:*** навыками разработки технологической документации на проектируемые электронные средства, представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

2 РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Компетенция **ОПК-1** – способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики – формируется на всех видах занятий. Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Основные понятия, определения, термины, базовые процессы микро- и нанотехнологий электронных средств.	Разрабатывать технические задания на проектирование и проектировать технологические процессы производства электронных средств.	Навыками разработки технологической документации на проектируемые электронные средства, представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.
Виды занятий	Лекции, консультации, самостоятельная работа студентов.	Лабораторные работы, самостоятельная работа студентов.	Лабораторные работы, практические занятия, консультации
Используе-мые средства	Оценка конспектов лекций, тесты и контрольные вопросы.	Оформление отчетов и защита лабораторных работ, оценка конспекта самостоятельной работы.	Опрос на практических занятиях и лабораторных работах.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2– Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает теоретическими знаниями с пониманием границ их применимости.	Обладает практическими умениями, необходимыми для самостоятельного решения задач повышенной сложности.	Владеет навыками разработки технологической документации на проектируемые электронные средства, представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений,

Согласована на портале № 6675

			законов и методов естественных наук и математики.
Хорошо (базовый уровень)	Знает принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области.	Обладает практическими умениями, необходимыми для решения типовых задач в области исследования.	Владеет терминологией, основами измерения, анализа и моделирования процессов в полупроводниковых структурах.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями	Обладает основными умениями, требуемыми для решения простых задач	Может эффективно работать под руководством преподавателя.

Формулировка показателей и критериев оценивания компетенции приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3– Показатели и критерии оценивания компетенции у студентов на этапах освоения

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Может анализировать связи между различными физическими понятиями и моделями, представляет способы и результаты использования различных физико-математических моделей полупроводниковых структур. Обосновывает выбор метода и план решения задачи.	Умеет решать задачи повышенной сложности, корректно выражать и аргументированно обосновывать результаты.	Самостоятельно подбирает и готовит для эксперимента необходимое оборудование. Владеет разными способами представления результатов в графической, математической форме, в форме физических моделей.
Хорошо (базовый уровень)	Понимает связи между различными физическими понятиями, имеет представление о физико-математических моделях в данной области знаний, аргументирует выбор метода решения задачи, составляет план решения и графически иллюстрирует задачу.	Умеет решать типовые задачи математически выражать и с физической точки зрения аргументировать результаты анализа экспериментальных и теоретических исследований полупроводниковых структур.	Самостоятельно работает на исследовательских установках. Может интерпретировать и иллюстрировать полученные экспериментальные и теоретические результаты.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Дает определения основных понятий, воспроизводит основные физические факты, идеи; знает основные алгоритмы решения типовых задач.	Распознает различные типы полупроводниковых приборов. Умеет работать со справочной литературой. Умеет объяснить результаты своей работы.	Правильно использует приборы, указанные в описании лабораторной работы, понимает терминологию и сущность процессов.

3 ТЕСТЫ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

к теоретической части курса (пример)

1 Проводящие слои

1.1. Полупроводник легирован акцепторами. Обозначим $\varphi_м$ и $\varphi_п$ электрохимические потенциалы металла и полупроводника, соответственно. Для создания не инжектирующего контакта, обладающего малым электрическим сопротивлением, необходимо выполнить условия: 1) $\varphi_м < \varphi_п$; 2) $\varphi_м > \varphi_п$; 3) $\varphi_м = \varphi_п$; 4) $\varphi_м <> \varphi_п$. Укажите правильный ответ.

1.2. При термовакуумном испарении металлов степень влияния остаточных газов на структуру и состав образующейся пленки с повышением скорости осаждения: 1) увеличивается, 2) уменьшается, 3) не изменяется. Укажите правильный ответ.

1.3. При получении пленок металлов термовакуумным испарением повышению равномерности пленок по толщине способствуют: 1) повышение температуры испарителя; 2) увеличение расстояния от испарителя до

Согласована на портале № 6675

подложки; 3) уменьшение давления остаточных газов в рабочей камере; 4) увеличение площади испарения; 5) снижение температуры подложки. Укажите *все* правильные ответы.

1.4. В технологии полупроводниковых ИС для осаждения пленок вольфрама используются методы: 1) термовакуумного испарения, 2) ионно-плазменного распыления, 3) вибродозирования, 4) химического осаждения из газовой фазы. Укажите *все* правильные ответы.

1.5. Какие методы используются в технологии полупроводниковых ИС для осаждения пленок алюминия: 1) электроннолучевого испарения, 2) ионно-плазменного распыления, 3) вибродозирования, 4) химического осаждения из газовой фазы. Укажите *все* правильные ответы.

1.6. К проводящим слоям, используемым в качестве затворов МДП-структур, предъявляются требования: 1) малой работы выхода электрона; 2) хорошей адгезии; 3) высокой геттерирующей способности для быстрых поверхностных состояний; 4) малой глубины проникновения в полупроводник; 5) инертности по отношению к оксидным пленкам на поверхности полупроводника. Укажите *неправильные* ответы.

1.7. При термовакуумном испарении металла с повышением температуры подложки размер кристаллитов в пленке: 1) увеличивается, 2) уменьшается, 3) не изменяется. Укажите правильный ответ.

1.8. Достоинствами алюминия как материала проводящих слоев для кремниевых ИС являются: 1) высокая растворимость кремния в алюминии в твердой фазе при повышенных температурах; 2) дешевизна; 3) подверженность электромиграции; 4) наличие естественного слоя оксида на поверхности; 5) пластичность. Укажите правильные ответы.

1.9. Медь не используют в качестве материала для омических контактов полупроводниковых ИС из-за: 1) высокой пластичности, 2) большого значения коэффициента диффузии в полупроводнике, 3) высокой электропроводности, 4) способности создавать в полупроводнике центры генерации-рекомбинации. Укажите *все* правильные ответы.

1.10. При термовакуумном испарении с повышением скорости осаждения размер кристаллитов в пленке металла: 1) увеличивается, 2) уменьшается, 3) не изменяется. Укажите правильный ответ.

2 Полупроводниковые слои: ионное легирование

2.1. В технологических процессах ионной имплантации примесей в полупроводник эффект каналирования ионов может приводить: 1) к появлению второго максимума концентрационного распределения примеси в мишени; 2) затягиванию ниспадающего участка распределения примеси после максимума; 3) повышению температуры отжига радиационных дефектов. Укажите *все* правильные ответы.

2.2. В технологических процессах ионной имплантации примесей в полупроводник эффект каналирования ионов можно исключить или ослабить: 1) кристаллографической разориентацией подложки, 2) нанесением на поверхность аморфного слоя, 3) надлежащим выбором угла падения пучка по отношению к главным кристаллографическим направлениям, 4) понижением температуры мишени. Укажите *все* правильные ответы.

2.3. В магнитном поле анализатора масс ускоренные ионы перемещаются по дуге окружности. В зависимости от напряженности магнитного поля H радиус окружности изменяется пропорционально: 1) H, 2) 1/H, 3) $\sqrt{H}$, 4) $1/\sqrt{H}$, 5) H^2, 2) $1/H^2$. Укажите правильный ответ.

2.4. В магнитном поле анализатора масс ускоренные ионы перемещаются по дуге окружности. В зависимости от ускоряющего напряжения U радиус окружности изменяется пропорционально: 1) U, 2) 1/U, 3) $\sqrt{U}$, 4) $1/\sqrt{U}$, 5) U^2, 2) $1/U^2$. Укажите правильный ответ.

2.5. В магнитном поле анализатора масс ускоренные ионы перемещаются по дуге окружности. В зависимости от массы иона M радиус окружности изменяется пропорционально: 1) M, 2) 1/M, 3) $\sqrt{M}$, 4) $1/\sqrt{M}$, 5) M^2, 2) $1/M^2$. Укажите правильный ответ.

2.6. При ионной имплантации примеси в полупроводник с увеличением энергии ионов максимум их концентрации: 1) остается на поверхности полупроводника; 2) перемещается вглубь полупроводника; 3) перемещается к поверхности полупроводника. Укажите правильный ответ.

2.7. При ионной имплантации примеси в полупроводник с увеличением энергии ионов поверхностная концентрация примеси: 1) остается неизменной; 2) увеличивается; 3) уменьшается. Укажите правильный ответ.

2.8. При ионной имплантации примеси в полупроводник доза облучения равна: 1) количеству ионов, бомбардирующих единицу поверхности подложки за время внедрения; 2) количеству ионов, бомбардирующих поверхность подложки за время внедрения; 3) количеству ионов, бомбардирующих единицу поверхности подложки в единицу времени; 4) количеству ионов, бомбардирующих поверхность подложки в единицу времени. Укажите правильный ответ.

2.9. На поверхность полупроводника направлен пучок однократно ионизованных атомов примеси. Плотность тока пучка составляет 100 мкА/см^2. Определить время воздействия пучка (в секундах) для получения в полупроводнике легированного слоя толщиной 200 нм со средней концентрацией примеси 10^{20} см$^{-3}$. Ответ дать с точностью до двух значащих цифр.

2.10. На поверхность полупроводника направлен пучок однократно ионизованных атомов примеси. Какова плотность тока пучка (в мкА/см^2), если за время внедрения 2 секунды доза облучения составила 10^{14} см$^{-2}$? Ответ дать с точностью до двух значащих цифр.

3 Полупроводниковые слои: эпитаксиальное наращивание

Согласована на портале № 6675

3.1. Наращивание монокристаллического слоя на инородной подложке называют: 1) гетероэпитаксией, 2) автоэпитаксией, 3) гомоэпитаксией, 4) макроэпитаксией, 5) моноэпитаксией. Укажите правильный ответ.

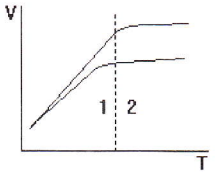
3.2. Химические реакции, происходящие при хлоридном процессе автоэпитаксии кремния, относятся к гетерогенным и, соответственно, включают этапы 1) переноса реагентов к поверхности, 2) адсорбции реагентов, 3) собственно химической реакции, 4) присоединения атомов полупроводника к подложке, 5) десорбции продуктов реакции, 6) отвода продуктов реакции. Какие из перечисленных этапов (стадий) сильно зависят от скорости газового потока?

3.3. Основными разновидностями газофазной эпитаксии кремния являются 1) хлоридный и 2) гидридный методы. Какой из этих методов позволяет получать достаточно совершенные эпитаксиальные слои при относительно низких температурах подложки?

3.4. Газовая система установки для автоэпитаксии кремния хлоридным методом обеспечивает подачу в реакционную камеру водорода H_2, азота N_2, их смеси и хлористого водорода HC1. В газовую систему включены барботеры, содержащие тетрахлорид кремния и галогениды тех примесей, которые должны быть введены в эпитаксиальную пленку в процессе роста. Подача H_2 обусловлена необходимостью: 1) удаления воздуха из газовой системы и реакционной камеры, 2) обеспечения безопасного функционирования установки, 3) восстановления тетрахлорида кремния, 4) переноса паров тетрахлорида кремния и галогенидов примесей в реакционную зону, 5) газового травления поверхностей подложек перед эпитаксиальным наращиванием. Укажите правильные ответы

3.5. Контроль параметров эпитаксиальных слоев непосредственно в процессе роста характерен для метода: 1) жидкофазного, 2) газофазного, 3) молекулярно-лучевого. Укажите правильный ответ.

3.6. На рис. представлена зависимость скорости эпитаксиального наращивания из газовой фазы от температуры подложек при двух значениях скорости газового потока. В какой температурной области (1 или 2) процесс наращивания характеризуется низким качеством эпитаксиального слоя?



3.7. Легирование эпитаксиального слоя в процессе роста осуществляют введением в газовую фазу галогенидов легирующих примесей. Концентрация легирующей примеси в слое варьируется изменением: 1) температуры барботера; 2) скорости водородного потока; 3) температуры подложки. Укажите *все* правильные ответы.

3.8. Легирование эпитаксиального слоя в процессе роста основано на использовании газовых источников легирующих элементов. Концентрация легирующей примеси в слое варьируется изменением: 1) температуры источника; 2) температуры подложки; 3) концентрации соответствующего гидрида в смеси гидрида с водородом. Укажите правильные ответы.

3.9. Хлоридному методу эпитаксиального наращивания кремния на сильнолегированных подложках свойственны процессы диффузии и автолегирования. Они ограничивают: 1) минимальную концентрацию примесей в растущем слое; 2) получение тонких эпитаксиальных слоев кремния с заданными свойствами; 3) получение толстых эпитаксиальных слоев кремния; 4) получение тонких эпитаксиальных слоев кремния. Укажите все правильные ответы.

3.10. Синтез многослойных эпитаксиальных структур за молекулярным экраном в космическом вакууме характеризуют: 1) глубокий вакуум, 2) почти неограниченная скорость откачки компонент рабочего молекулярного пучка, 3) отсутствие стенок рабочей камеры, 4) возможность пространственного удаления элементов технологической оснастки от зоны эпитаксиального роста, 5) значительное увеличение расстояния от подложки до источника молекулярного пучка, 6) использование токсичных летучих жидкостей и газов без загрязнения окружающей среды. Укажите все правильные ответы.

4 Литография

4.1. Характеристической кривой негативного фоторезиста называется: 1) зависимость скорости проявления от экспозиции; 2) зависимость толщины слоя, в котором произошло сшивание молекул, от логарифма экспозиции; 3) зависимость скорости травления от логарифма экспозиции. Укажите правильный ответ.

4.2. Критерием чувствительности негативного фоторезиста является: 1) полное удаление пленки фоторезиста в экспонированных участках; 2) полимеризация экспонированных участков на глубину, достаточную для защиты от воздействия травителей; 3) высокое качество рисунка. Укажите правильный ответ.

4.3. В технологии пленочных и гибридных ИМС для создания рисунка слоев применяют методы: 1) фотолитографии, 2) неконтактной маски, 3) контактной маски. Какой из этих методов характеризуется самой низкой разрешающей способностью?

4.4. Неконтактные маски (трафареты) используют для получения рисунка в слоях, создаваемых методом: 1) сеткографии, 2) термического испарения в вакууме, 3) химического осаждения из газовой фазы, 4) анодирования в электролите, 5) термодиффузии. Укажите *все* правильные ответы.

Согласована на портале № 6675

4.5. Технологический процесс фотолитографии включает операции: 1) проявление защитного рельефа; 2) нанесение фоторезиста; 3) сушка фоторезиста; 4) совмещение; 5) обработка подложки; 6) задубливание фоторезиста; 7) травление подложки; 8) удаление фоторезиста; 9) экспонирование. Расположите указанные операции в правильной последовательности.

4.6. Разрешающая способность фотолитографии с увеличением толщины слоя резиста 1) увеличивается, 2) уменьшается, 3) не изменяется. Укажите правильный ответ.

4.7. Разрешающая способность фотолитографии с применением проекционного экспонирования в монохроматическом свете ограничивается: 1) дифракционными явлениями, 2) неплоскостностью подложки, 3) неоднородностью толщины слоя фоторезиста, 4) явлением интерференции при экспонировании. Укажите *неправильный* ответ.

4.8. Эталонные фотошаблоны изготавливают методами: 1) сканирующей электронолитографии; 2) оптико-механическим; 3) фотонабора; 4) рентгеновской литографии; 5) проекционной электронолитографии. Укажите все правильные ответы.

4.9. Рабочие фотошаблоны изготавливают: 1) методом сканирующей электронолитографии; 2) оптико-механическим методом; 3) методом фотонабора; 4) размножением первичных фотооригиналов; 5) размножением эталонных шаблонов. Укажите правильный ответ.

4.10. Разрешающая способность, характеризующая для данного фоторезиста фотолитографический процесс в целом, зависит от следующих факторов: 1) толщины слоя фоторезиста; 2) параметров источника излучения; 3) метода получения пленки, в которой создается рельеф; 4) предварительной обработки поверхности; 5) выбора травителя; 6) способа удаления фоторезиста. Укажите *неправильные* ответы.

7 ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Основные подходы к синтезу наноструктур.
2. Газофазная, жидкостная и молекулярно-лучевая эпитаксия.
3. Самоорганизация квантовых точек при эпитаксии.
4. Использование массивов квантовых точек в приборных структурах.
5. Фотолитография.
6. Электронная литография.
7. Рентгенолитография.
8. Ионолитография.
9. Импринтинг.
10. Сканирующая зондовая микроскопия.
11. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ).
12. Нанотехнологии на основе СТМ.
13. Сканирующий атомно-силовой микроскоп (АСМ).
14. Нанолитография на основе АСМ
15. Методы получения и свойства углеродных нанотрубок.
16. Неуглеродные нанотрубки.
17. Перспективы применения нанотрубок в электронике.
18. Электронно-лучевая технология.
19. Лазерные микротехнологии.
20. Сущность золь-гель технологии.
21. Отличительные особенности и классификация БГИС.
22. Технические задания на проектирование технологических процессов.
23. Квантовые МОП транзисторы.
24. Технологии атомного масштаба.
25. Путь к квантовым компьютерам

8 ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ

Для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов используется рейтинговая система. Максимальные балльные оценки по всем элементам учебной деятельности и видам контроля приведены в табл. 8.1 и 8.2.

Таблица 8.1 - Максимальные балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	На 1 КТ	Между 1 и 2 КТ	После 2 КТ	Всего
Посещение занятий	3	3	3	**9**
Тестовый контроль	4	4	4	**12**
Контрольные работы на практических занятиях	9	9	9	**27**
Лабораторные работы		5	5	**10**
Компонент своевременности	4	4	4	**12**
Итого максимум за период:	**20**	**25**	**25**	**70**
Сдача экзамена (максимум)				**30**

Согласована на портале № 6675

Нарастающим итогом	**20**	**45**	**70**	**100**

Максимальный рейтинг курсового проекта – 100 баллов. Баллы по видам контроля в семестре приведены в таблице 8.2. Защита проекта – максимум 30 баллов.

Таблица 11.2 - Максимальные баллы по видам контроля в семестре (курсовой проект)

Вид контроля	На 1 КТ	Между 1 и 2 КТ	После 2 КТ	Всего
Посещение занятий	3	3	3	9
Контрольные собеседования	15	15	15	45
Компонент своевременности	5	5	6	16
Итого за период	**23**	**23**	**24**	**70**

9 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1 Основная литература

1) Данилина Т.И. Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2012. – 89 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/3871

2) Троян П.Е., Сахаров Ю.В. Наноэлектроника: учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2010. – 88 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/537

3) Данилина Т.И., Чистоедова И.А. Оборудование для создания и исследования свойств объектов наноэлектроники: учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2011. – 98 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/547

12.2 Дополнительная литература

4) Романовский М.Н. Интегральные устройства радиоэлектроники. Часть 1. Основные структуры полупроводниковых интегральных схем: учебное пособие для вузов. – Томск: ТУСУР, 2012. – 123 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/1304

5) Романовский М.Н. Интегральные устройства радиоэлектроники. Часть 2. Элементы интегральных схем и функциональные устройства: учебное пособие для вузов. – Томск: ТУСУР, 2012. – 127 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/1309

6) Драгунов В.П. Основы наноэлектроники: учебное пособие для вузов/ В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. - М.: Физматкнига, 2006. - 494 с. (31 экз)

7) Нанотехнологии в электронике: Монография / Н. И. Боргардт [и др.]; ред. Ю. А. Чаплыгин; Московский государственный институт электронной техники. - М. : Техносфера, 2005. - 446 с. (20 экз.)

8) Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. – М.: Радио и связь, 1992. – 320 с. (13 экз.)

9) Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия.– М.: Мир, 1991. – 632 с. (4 экз.)

10) Романовский М.Н. Технологические процессы микроэлектроники. – Томск: ТУСУР, 2002. – 190 с. (1 экз.)

11) Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М.: Высш. шк., 1989. – 320 с. (38 экз.)

12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение

1) Данилина Т.И. Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур: учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2013. – 20 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/3868

2) Данилина Т.И. Вакуумно-плазменные методы получения наноструктур: методические указания по выполнению лабораторных работ. – Томск: ТУСУР, 2013. 28 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/3867

3) Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: Лабораторный практикум. – Томск: ТУСУР, 2010. 97 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://edu.tusur.ru/training/publications/536

4) Индивидуальные задания для практических занятий, лабораторных работ и текущего контроля успеваемости студентов (раздаточный материал).

12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Интернет.

13 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:

ПЭВМ, технологическое оборудование НОЦ ТУСУР.

14 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Действующее промышленное технологическое оборудование, руководящие технические материалы и технологические инструкции студенты изучают дополнительно во время летней производственно-технологической практики.

Согласована на портале № 6675