

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

« ____ » _____ 20__ г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.1.2 «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ПРОИЗВОДСТВА ИЭТ»**

для направления подготовки (специальности)

28.03.02 «Наноинженерия»

(код, наименование)

Профиль подготовки (специализация)

«Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения: очная

Срок обучения: нормативный

Кафедра полупроводниковой электроники и наноэлектроники

(наименование кафедры-разработчика УМКД)

УМКД разработал: Липатов Г.И., кандидат технических наук

(Ф.И.О., ученая степень авторов разработки)

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ

(наименование факультета)

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Председатель методической комиссии _____ Е.Н. Коровин

Воронеж 2017 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ФГБОУ ВПО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

« ____ » _____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ПРОИЗВОДСТВА ИЭТ»

Закреплена за кафедрой: полупроводниковой электроники и наноэлектроники (ППЭНЭ)

Направление подготовки (специальности): 28.03.02 «Наноинженерия»

Профиль: «Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

Часов по УП: 144 / **Часов по РПД:** 144

Часов по УП (без учета на экзамены): 144/ **Часов по РПД:** 144

Часов на самостоятельную работу по УП: 108 (75 %)

Часов на самостоятельную работу по РПД: 108 (75 %)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 4

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены —; Зачеты 3; Курсовые проекты —;
 Курсовые работы —.

Форма обучения: очная. **Срок обучения:** нормативный

Распределение часов дисциплины по семестрам

Вид занятия	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1/18		2/18		3/18		4/18		5/18		6/18		7/18		8/12		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции					18	18											18	18
Лабораторные					—	—											—	—
Практические					18	18											18	18
Ауд. занятия					36	36											36	36
Сам. работа					108	108											108	108
Итого					144	144											144	144

Программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) — государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки бакалавра по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 3 декабря 2015 г. № 1414.

Программу составил канд. техн. наук, доцент

Г.И. Липатов

Рецензент: д-р ф.-м. наук, профессор

С.И. Рембеза

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 «Наноинженерия», профиль «Инженерные нанотехнологии в приборостроении».

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ППЭНЭ.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ.

Протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Председатель методической комиссии ФРТЭ

Е.Н. Коровин

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Целью изучения дисциплины «Перспективные технологические процессы производства ИЭТ» является формирование у студентов знаний о назначении, физических принципах и методах выполнения основных технологических процессов производства изделий электронной техники
1.2	Для достижения цели ставятся задачи приобретения студентами знаний: овладение базовыми технологическими операциями, маршрутами изготовления, принципами работы технологического оборудования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Цикл (раздел) ОПОП: вариативный		Код дисциплины в УП: Б1.В.ДВ.1.2
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося: Б1.Б.6 «Математика» Б1.Б.9 «Химия» Б1.Б.10 «Физика» Б1.Б.11 «Введение в нанотехнологию»	
2.2	Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Б1.В.ОД.7 «Физико-химические основы нанотехнологии» Б1.В.ОД.10 «Технологические системы в нанотехнологии» Б1.В.ОД.17 «Технология МЭМС» Б2.П.1 «Производственная (технологическая) практика»	

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Код и наименование компетенции	
ОПК-1	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять метод математического анализа и экспериментального исследования
ПКВ-2	готовность к применению современных технологических процессов и технологического оборудования в производстве приборов и устройств микро- и нанoeлектроники

В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН

3.1	Знать: физические принципы и основные технологические процессы формирования структур изделий электронной техники (ОПК-1, ПКВ-2)
3.2	Уметь: проводить расчет режимов базовых технологических операций производства изделий электронной техники (ОПК-1)
3.3	Владеть: методами анализа технологических процессов производства изделий электронной техники (ОПК-1)

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
			Лекции	Практ. занятия	Лаб. работы	СРС	Всего часов
1	Принципы формирования структур полупроводниковых приборов и интегральных схем и требования к производству	1, 2	2	2		6	10
2	Технология полупроводниковых подложек	3, 4	2	2		10	14

3	Технология термического окисления кремния	5, 6	2	2		10	14
4	Технология диффузионного легирования	7, 8	2	6		14	22
5	Технология ионного легирования	9, 10	2	2		14	18
6	Технологии получения слоев химическим осаждением из газовой фазы	11, 12	2	2		14	18
7	Технологии получения тонких металлических пленок	13, 14	2	2		12	16
8	Технология фотолитографии	15, 16	2	2		14	18
9	Технологии сборки полупроводниковых приборов и интегральных схем	17, 18	2	2		14	18
Итого часов:			18	18		108	144

4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
1, 2	Принципы формирования структур полупроводниковых приборов и интегральных схем и требования к производству	2
3, 4	Технология полупроводниковых подложек	2
5, 6	Технология термического окисления кремния	2
7, 8	Технология диффузионного легирования	2
9, 10	Технология ионного легирования	2
11, 12	Технологии получения слоев химическим осаждением из газовой фазы	2
13, 14	Технологии получения тонких металлических пленок	2
15, 16	Технология фотолитографии	2
17, 18	Технология сборки полупроводниковых приборов и интегральных схем	2
Итого часов:		18

4.2 Практические занятия

Неделя семестра	Тема практического занятия	Объем часов
1, 2	Термическое окисление кремния	2
3, 4	Распределение примеси при диффузионном легировании	2
5, 6	Расчет режимов диффузионного легирования	2
7, 8	Распределение примеси при ионном легировании	2
9, 10	Расчет режима ионного легирования	2
11, 12	Определение лимитирующей стадии при получении слоев химическим осаждением из газовой фазы	2
13, 14	Расчет скорости процесса химического осаждения	2
15, 16	Расчет скорости процесса вакуум-термического осаждения	2
17, 18	Расчет неоднородности распределения толщины осаждаемого слоя по площади подложки	2
Итого часов:		18

4.3 Лабораторные работы: не предусмотрены

4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
2—18	Проработка материала лекций с использованием рекомендуемой литературы	Опрос	50

2—18	Подготовка к практическим занятиям и выполнение индивидуальных заданий	Проверка выполнения индивидуального задания	40
6, 12	Подготовка к контрольной работе	Выполнение контрольного задания	6
18	Подготовка к зачету	Зачет	12
Итого:			108

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:	
5.1	Лекции
5.2	Практические занятия
5.3	Самостоятельная работа
5.4	Консультации по всем вопросам учебной программы

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6.1	Контрольные вопросы и задания Для текущего контроля успеваемости используются контрольные вопросы
6.2	Темы письменных работ не предусмотрены
6.3	Другие виды контроля не предусмотрены

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы/ составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспеченность
7.1.1 Основная литература				
Л1.1	Малышева И.А.	Технология производства интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1991. 344 с.	Учеб. для вузов, 1991	1
Л1.2	Черняев В.М.	Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. М.: Радио и связь, 1987. 464 с.	Учеб. для вузов, 1987	1
7.1.2 Дополнительная литература				
Л2.1	Зи С.	Технология СБИС: В 2-х кн. М.: Мир, 1986. Кн.1. 404 с.; кн.2. 453 с.	Учеб. пособие, 1986	0,2
Л2.2	Готра З.Ю.	Технология микроэлектронных устройств: Справочник. М.: Радио и связь, 1991. 528 с.	Справочник, 1991	1
Л2.3	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.1. Воронеж: ВГТУ, 2005. 142 с.	Учеб. пособие, 2005	1
Л2.4	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.2. ВГТУ, 2006. 172 с.	Учеб. пособие, 2006	1
Л2.5	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.3. Воронеж: ВГТУ, 2008. 227 с.	Учеб. пособие, 2008	1
Л2.6	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.4. Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2010. 173 с.	Учеб. пособие, 2010	1
7.1.3 Методические разработки				
Не предусмотрены				

7.1.4 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Не предусмотрены

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Презентации и учебные видеofilьмы

9. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонд оценочных средств по дисциплине представляют собой перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий.

Перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий

1. Какие материалы и инструменты используются для механической обработки кремния? Дайте их характеристику и/или конструктивное исполнение.
2. Почему в процессе резки слитков кремния на пластины используется инструмент с внутренней режущей кромкой?
3. С какой целью и как маркируются пластины кремния?
4. Назовите три основных группы источников загрязнений в чистом производстве.
5. Приведите четыре основных типа загрязнений пластин.
6. Для чего применяют термическое окисление кремния?
7. В каком случае используют окисление в сухом кислороде, а в каком — во влажном или парах воды?
8. Что такое диффузионное легирование, для чего и как оно используется?
9. В чем разница между одностадийным и двухстадийным процессами диффузии?
10. Что такое ионная имплантация, как она используется при легировании полупроводника?
11. В чем различие между распределением примеси при диффузионном и ионном легировании?
12. Степень легирования некоторой локальной области монокристаллического кремния составляет $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Сколько атомов кремния приходится на один атом легирующей примеси?
13. С помощью какого из методов избирательного легирования можно получить максимальную концентрацию примеси на поверхности кристалла?
14. Какое условие необходимо соблюсти при проведении процесса ионной имплантации, чтобы получить профиль легирования, близкий к распределению Гаусса?
15. В чем состоит разница между топологией и вертикальным профилем легирования структуры?
16. Какие легирующие элементы используются для формирования в кремнии областей *n*-типа проводимости?
17. Какие легирующие элементы используются для формирования в кремнии областей *p*-типа проводимости?
18. Почему алюминий, хотя и находится в III группе элементов таблицы Менделеева и является акцепторной примесью, не используется в качестве диффузанта?
19. Какие существуют механизмы диффузии атомов легирующей примеси?
20. Что такое отжиг? В каком случае он применяется в технологическом процессе производства интегральных микросхем?
21. В чем суть метода химического осаждения слоев из газовой фазы?
22. В чем различие между процессами, идущими с диффузионным и кинетическим контролем?
23. В чем суть метода вакуум-термического нанесения тонких пленок?
24. В чем особенность и реализация метода магнетронного распыления?
25. Что такое фотолитография? Перечислите основные этапы создания рисунка на поверхности пластины с помощью фотолитографии.

26. Какие источники экстремального УФ применяют в фотолитографии?
27. Что такое позитивный, негативный процессы литографии? В чем их различия?
28. Чем отличаются между собой эталонный и рабочий фотошаблоны, используемые при контактной литографии?
29. Какими методами можно изменять толщину резиста от номинальной при нанесении методом центрифугирования?
30. Что такое операция совмещения? Какую роль играют метки совмещения? Нарисуйте примеры.
31. Какие существуют основные методы улучшения разрешения проекционной фотолитографии?
32. Из каких этапов состоит процесс травления?
33. Поясните смысл характеристик травления «изотропность» и «селективность».
34. Что такое плазма? Приведите простейший пример реактора для травления с помощью плазмы.
35. Чем отличаются плазмохимический и реактивно-ионный процессы травления?
36. Охарактеризуйте способы соединения кристалла с основанием корпуса.
37. Дайте краткую характеристику способов выполнения проволочных межсоединений.
38. Какие способы герметизации кристаллов полупроводниковых приборов и интегральных схем вам известны. Дайте краткую характеристику области применения каждого из них.

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

« ____ » _____ 20__ г.

**Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД
«Перспективные технологические процессы производства ИЭТ»**

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники.

Протокол № _____ от « ____ » _____ 20__ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.А. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

Е.Н. Коровин

«Согласовано»

С.А. Рембеза

Карта обеспеченности рекомендуемой литературой

№ п/п	Авторы/ составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспе- ченность
1. Основная литература				
Л1.1	Мальшева И.А.	Технология производства интегральных микро- схем. — М.: Радио и связь, 1991. — 344 с.	Учеб. для вузов, 1991	1
Л1.2	Черняев В.М.	Технология производства интегральных микро- схем и микропроцессоров. — М.: Радио и связь, 1987. — 464 с.	Учеб. для вузов, 1987	1
2. Дополнительная литература				
Л2.1	Зи С.	Технология СБИС: В 2-х кн. — М.: Мир, 1986. Кн.1. — 404 с.; кн.2. — 453 с.	Учеб. посо- бие, 1986	0,2
Л2.2	Готра З.Ю.	Технология микроэлектронных устройств: Спра- вочник. — М.: Радио и связь, 1991. — 528 с.	Справочник, 1991	1
Л2.3	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.1. — Воронеж: ВГТУ, 2005. — 142 с.	Учеб. посо- бие, 2005	1
Л2.4	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.2. — Воронеж: ВГТУ, 2006. — 172 с.	Учеб. посо- бие, 2006	1
Л2.5	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.3. — Воронеж: ВГТУ, 2008. — 227 с.	Учеб. посо- бие, 2008	1
Л2.6	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.4. — Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2010. — 173 с.	Учеб. посо- бие, 2010	1
3. Методические разработки				
Не предусмотрены				

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Зам. директора НТБ

Т.И. Буковшина