


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением Ученого совета инженерно-физического  
факультета высоких технологий  
от « 18 » мая 2021г., протокол № 10

Председатель \_\_\_\_\_ /В.В. Рыбин/  
(подпись)  
« 18 » мая 2021 г.



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина	<b>Технологические системы в нанотехнологиях</b>
Факультет	<b>Инженерно-физический факультет высоких технологий</b>
Кафедра	<b>Кафедра физического материаловедения</b>
Курс	<b>4</b>

Направление (специальность): **28.03.02 «Наноинженерия»**  
*код направления (специальности), полное наименование*

Направленность  
(профиль/специализация) **Нанотехнологии и наноматериалы**  
*полное наименование*

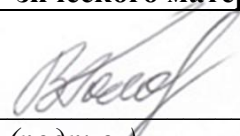
Форма обучения **очная**  
*очная, заочная, очно-заочная (указать только те, которые реализуются)*


Дата введения в учебный процесс УлГУ: **«01» сентября 2021 г.**

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Сведения о разработчиках:

ФИО	Кафедра	Должность, ученая степень, звание
Голованов В.Н.	Кафедра физического материало- ведения	Зав. каф., д.ф.-м.н., профессор

<b>СОГЛАСОВАНО</b>
<b>Заведующий выпускающей кафедрой Фи- зического материаловедения</b>
 _____ /В.Н. Голованов/ (подпись) (ФИО)
« 30 » апреля 2021 г.


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

## ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

### В рабочую программу дисциплины «Технологические системы в нанотехнологиях»

Направление (специальность): **28.03.02 «Наноинженерия» (бакалавриат)**  
 Направленность (профиль/специализация): **Нанотехнологии и наноматериалы**  
 Форма обучения: **очная**

№ п/п	Содержание изменения или ссылка на прилагаемый текст изменения	ФИО заведующего кафедрой, реализующей дисциплину/ выпускающей кафедрой	Подпись	Дата

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ


**Цели освоения дисциплины:** \_ Формирование у обучающихся знаний о методах и способах, применяемые в нанотехнологиях для получения, диагностики и контроля наноматериалов в технологических процессах.

**Задачи освоения дисциплины:** Получение знаний о классификации основных технологических процессах производства изделий микро и наноэлектроники и оборудовании. О физических основах технологических процессов производства изделий микро и наноэлектроники. Об использовании технологических процессов для решения задач nanoинженерии.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к базовой части ОПОП и является обязательной дисциплиной в системе подготовки бакалавра по направлению 28.03.02 «Наноинженерия». Дисциплина читается в 8-ом семестре 4-ого курса студентам очной формы обучения и базируется на отдельных компонентах компетенций, сформированных у обучающихся в ходе изучения предшествующих учебных дисциплин учебного плана:

- Ознакомительная практика
- Электричество и магнетизм
- Теория колебаний
- Колебания и волны, оптика
- Технологическая (проектно-технологическая) практика
- Атомная и ядерная физика
- Испытания изделий
- Материаловедение наноматериалов и наносистем
- Нанометрология
- Радиоэлектроника
- Физика конденсированного состояния вещества
- Методы диагностики в нанотехнологиях
- Высоковакуумные технологические процессы в nanoинженерии
- Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)
- Распространение электромагнитных волн в однородных, периодических и наноструктурах
- Физика активных элементов
- Физико-химические основы нанотехнологий
- Оптоэлектронные устройства
- Интегральная и волоконная оптика
- Физика полупроводников
- Методы и средства измерений и контроля
- Микро- и наноэлектроника
- СВЧ полупроводниковые приборы и методы автоматизированного контроля электропараметров СВЧ-модулей
- Статистическая радиофизика и nanoоптика
- Моделирование микро- и наносистем
- Физические основы технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем
- Композиционные материалы. Металломатричные, с полимерной матрицей.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

Для освоения дисциплины студент должен иметь следующие «входные» знания, умения, навыки и компетенции:

Для освоения дисциплины студент должен иметь следующие «входные» знания, умения, навыки и компетенции:


- знать базовые профессиональные понятия и определения, с которыми он будет сталкиваться в ходе обучения способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, способность использовать компьютер как средство управления информацией;
- способность использовать информационно-коммуникационные технологии, управлять информацией с использованием прикладных программ деловой сферы деятельности;
- способность использовать инструментальные средства (в том числе, пакеты прикладных программ) для решения прикладных инженерно-технических и технико-экономических задач, планирования и проведения работ по проекту;
- способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования;
- способность применять знание этапов жизненного цикла продукции или услуги.
- способность воспринимать (обобщать) научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования.

Результаты освоения дисциплины будут необходимы для дальнейшего процесса обучения в рамках поэтапного формирования компетенций при прохождении производственной и преддипломной практик, выполнении научно-исследовательской работы, подготовке и сдаче государственного экзамена, подготовке и защите выпускной квалификационной работы.

### 3. Перечень планируемых результатов освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций
ПК-2 Освоение конструктивных особенностей и режимов работы оборудования по производству наноматериалов и наноструктур	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• разделы теории вероятностей и математической статистики, используемые при оценке надежности систем;</li> <li>• методы математического и статистического определения показателей надежности;</li> <li>• основы математической и физической теории надежности элементов технологических систем;</li> <li>• показатели и причины снижения надежности оборудования, мероприятия повышения надежности;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определять количественные характеристики надежности резервируемых и нерезервируемых восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем;</li> <li>• рассчитывать основные количественные показатели надежности технических систем и их элементов;</li> <li>• проводить анализ показателей надежности в зависимости от условий эксплуатации;</li> </ul>

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		


	<ul style="list-style-type: none"> <li>оценивать эффективность мероприятий направленных на повышение надежности на стадии проектирования и эксплуатации;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>навыками расчета количественных показателей надежности технических систем и их элементов;</li> <li>навыками прогнозирования отказов технических систем и их элементов;</li> </ul> <p>навыками расчета показателей надежности статистическими методами.</p>
ПК-3 Использование методик комплексного анализа структуры и физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур	<p><b>Знать:</b> методики комплексного анализа обеспечения качества нанобъектов, основанные на инструментах нанометрологии.</p> <p><b>Уметь:</b> применять методики комплексного анализа обеспечения качества нанобъектов, основанные на инструментах нанометрологии.</p> <p><b>Владеть:</b> методиками комплексного анализа обеспечения качества нанобъектов, основанные на инструментах нанометрологии.</p>
ПК-5 Проведение работ по модернизации оборудования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	<p><b>Знать:</b> особенности сбора информации и обработки данных испытаний изделий из наноструктурированных композиционных материалов; функции научно-педагогических исследований в системе образования;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– классификацию методов исследования;</li> <li>– этапы исследования.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b> планировать эксперимент с использованием методов автоматизации, проводить анализ результатов исследований; применять комплекс исследовательских методов – обобщать результаты научнопедагогического исследования – распознавать информацию, органично подходящую к тематике исследования – выбирать в общем потоке информацию, соответствующую научным критериям компилировать полученную научную информацию в самостоятельный текст.</p> <p><b>Владеть:</b> современными методами планирования, организации и проведения испытаний изделий из наноструктурированных композиционных материалов с целью выявления показателей уровня качества, функциональных потребительских свойств, брака и путей его устранения; основными процедурами научного исследования.</p>

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) – 3 ЗЕТ

4.2. Объем дисциплины по видам учебной работы (в часах): 108

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения - очная)	
	Всего по плану	В т.ч. по семестрам
		8
Контактная работа обучающихся с	63/63	63/63

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

преподавателем в соответствии с УП		
Аудиторные занятия:		
• Лекции (в т.ч. 0 ПрП)*	14/14	14/14
• практические и семинарские занятия (в т.ч. 0 ПрП)*	49/49	49/49
• лабораторные работы, практикумы (в т.ч. – ПрП)*	–	–
Самостоятельная работа	45/45	45/45
Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы: тестирование, контр. работа, коллоквиум, реферат и др. (не менее 2 видов)	тестирование, устный опрос	тестирование, устный опрос
Курсовая работа		
Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	<b>зачет</b>	<b>зачет</b>
Всего часов по дисциплине	<b>108/108</b>	<b>108/108</b>


\* В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий в таблице через слеш указывается количество часов работы ППС с обучающимися для проведения занятий в дистанционном формате с применением электронного обучения

\*часы ПрП по дисциплине указываются в соответствии с УП, в случае, если дисциплиной предусмотрено выполнение отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью обучающихся.

#### 4.3. Содержание дисциплины (модуля). Распределение часов по темам и видам учебной работы:

Форма обучения – очная

Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий					Форма текущего контроля знаний
		Аудиторные занятия			Занятия в интерактивной форме	Самостоятельная работа	
		лекции	практические занятия, семинары	лабораторные работы, практикумы			
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>7 семестр</i>							
<b>Тема 1.</b> Введение Технологические особенности и техническая реализация методов получения пленок металлических, полупроводников и диэлектрических	35	4		16	16	15	
<b>Тема 2.</b> Технологические особенности и техническая реализация	35	4		16	16	15	

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

методов получения металлических пленок							
<b>Тема 3. Технологические особенности и техническая реализация методов литографии и микрообработки</b>	38	6		17	17	15	
<b>ИТОГО:</b>	<b>108</b>	<b>14</b>		<b>49</b>	<b>49</b>	<b>45</b>	<b>-</b>

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### **Тема 1. Технологические особенности и техническая реализация методов получения пленок металлических, полупроводников и диэлектрических материалов**

Лекции.

1. Традиционные методы формирования пленок — химическое осаждение из газовой фазы, молекулярно-лучевая эпитаксия
2. Методы, основанные на использовании сканирующих зондов.

### **Тема 2. Технологические особенности и техническая реализация методов получения металлических пленок.**

Лекции.

3. Термическое осаждение
4. Магнетронное распыление
5. Электрохимическое осаждение

### **Тема 3. Технологические особенности и техническая реализация методов литографии и микрообработки.**

Лекции:

6. Фотолитография в ультрафиолетовом диапазоне длин волн
7. Электронно-лучевая литография
8. Нанопечать

## 6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

### **Тема 1. Технологические особенности и техническая реализация методов получения**


#### **пленок полупроводников и диэлектрических материалов.**

1. Химическое осаждение из газовой фазы
2. Плазмохимическое осаждение
3. Молекулярно-лучевая эпитаксия
4. Электрохимическое оксидирование металлов и полупроводников
5. Атомная инженерия
6. Зондовые методы формирования наноструктур

### **Тема 2 Технологические особенности и техническая реализация методов получения**

#### **металлических пленок**

7. Вакуум-термическое осаждение
8. Магнетронное распыление
9. Атомное послойное осаждение

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

10. Электрохимическое осаждение  
11, 12 Саморегулирующиеся процессы

### **Тема 3 Технологические особенности и техническая реализация методов литографии и микрообработки**

- 13 Фотолитография в ультрафиолетовом диапазоне длин волн  
14 Электронно-лучевая литография  
15 Рентгеновская литография  
16 Зондовая нанолитография

## **7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ)**

Данный вид работы не предусмотрен УП.


## **8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ**

Данный вид работы не предусмотрен УП.


## **9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ**

1. В чем суть метода химического осаждения слоев из газовой фазы?
2. В чем различие между процессами, идущими с диффузионным и кинетическим контролем?
3. Что такое гетерогенная химическая реакция? В каком технологическом процессе микроинженерии ее наличие является необходимым условием его нормального течения?
4. Что характеризуют критерии Фурье, Био, Нуссельта и Шервуда, Пекле, Прандтля и Шмидта, Рейнольдса, Грасгоффа?
5. Что такое динамический пограничный слой и чем он обусловлен?
6. Что такое диффузионный пограничный слой и чем он обусловлен?
7. Какой из методов эпитаксии обеспечивает наиболее совершенную структуру растущей пленки?
8. В чем суть метода вакуум-термического нанесения тонких пленок?
9. В чем особенность и реализация метода магнетронного распыления?
10. Что такое фотолитография? Перечислите основные этапы создания рисунка на поверхности пластины с помощью фотолитографии.
11. Какие источники экстремального УФ применяют в фотолитографии?
12. Какие существуют основные методы улучшения разрешения проекционной фотолитографии?
13. В чем заключается электронно-лучевая литография и её основной недостаток для широкого промышленного применения?
14. Что такое наноимпринт-литография? Приведите примеры различной реализации наноимпринт-литографии.
15. Из каких этапов состоит процесс травления?
16. Поясните смысл характеристик травления «изотропность» и «селективность».
17. Что такое плазма? Приведите простейший пример реактора для травления с помощью плазмы.
18. Что такое емкостно-связанная плазма? Индуктивно-связанная плазма? ЭЦР-плазма?
19. Поясните механизм возникновения положительного потенциала плазмы.



Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

20. От чего зависит величина напряжения самосмещения в плазме?
21. Чем отличается плазмохимическое и реактивно-ионное травление?
22. В чем суть метода электрохимического осаждения материалов?
23. Какими параметрами процесса электрохимического осаждения определяются свойства сформированных таким образом пленок?
24. Каковы особенности электрохимического осаждения полупроводниковых соединений?
25. Какие подходы используют для формирования наноструктур — нанонитей, нанотрубок и наноточек — электрохимическим осаждением материалов?
26. Каковы основные достоинства и недостатки метода электрохимического осаждения материалов?
27. В чем сущность метода электрохимического оксидирования (анодирования) материалов?
28. Как выглядит анодная поляризационная кривая и каким процессам соответствуют ее основные участки?
29. Какими параметрами процесса электрохимического оксидирования определяются свойства сформированных таким образом оксидных пленок?
30. В каких режимах проводят анодное оксидирование и чем они отличаются?
31. Какова роль электролита в формировании анодных оксидных пленок?
32. В чем состоят основные достоинства и недостатки метода электрохимического оксидирования материалов?
33. Какое явление лежит в основе метода сканирующей туннельной микроскопии?
34. Каковы основные режимы работы сканирующего туннельного микроскопа?
35. Как можно распознать химическую природу атомов под зондом сканирующего туннельного микроскопа?
36. Какое явление лежит в основе метода атомной силовой микроскопии?
37. Как контролируют отклонение консоли с зондом от равновесного положения в атомном силовом микроскопе?
38. Какую напряженность электрического поля и плотность тока можно достичь в зазоре зонд-подложка?
39. Какие группы процессов используют для манипулирования атомами?
40. Как реализуется перенос атомов с использованием полевой диффузии, скольжения, контактного переноса, полевого испарения, электромиграции?
41. Какие основные достоинства и недостатки присущи методам атомной инженерии?
42. Какой механизм окисления металлов и полупроводников реализуется при использовании сканирующих зондов?
43. Каков типичный диапазон толщин оксидных слоев, формируемых зондовыми методами?
44. Каковы основные механизмы, обеспечивающие зондовое локальное химическое осаждение материалов из газовой фазы?
45. Каков типичный диапазон толщин слоев материалов, осаждаемых зондовыми методами?
46. Каковы типичные параметры электронного луча, используемого для электронно-лучевой литографии?
47. Какое разрешение обеспечивает электронно-лучевая литография?
48. Что принципиально ограничивает разрешающую способность электронно-лучевой литографии?
49. Пленки из каких материалов могут быть профилированы с использованием взрывной литографии?
50. Каковы основные достоинства и недостатки электронно-лучевой литографии?


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

51. Какие основные механизмы модификации резистов используют для нанолитографии сканирующими зондами?
52. Каковы типичные энергии электронов, используемых для зондовой электронно-лучевой литографии?
53. Как осуществляется перьевая нанолитография?
54. Каковы основные достоинства и недостатки зондовых нанолитографических методов?
55. Как осуществляется чернильная печать?
56. Какие материалы используют в качестве резистов для нанолитографии чернильной печатью?
57. Как осуществляется тиснение?
58. Какие материалы используют в качестве резистов для нанолитографии тиснением?
59. Как осуществляется нанопечать с фотополимеризацией мономера?
60. Какое разрешение обеспечивают методы нанопечати?
61. Каковы основные достоинства и недостатки нанопечати?
62. Какой разрешающей способностью характеризуются методы оптической литографии, электронно-лучевой литографии, зондовой нанолитографии, нанопечати, рентгеновской литографии, ионно-лучевой литографии?
63. Охарактеризуйте по производительности возможности методов оптической литографии, электронно-лучевой литографии, зондовой нанолитографии, нанопечати, рентгеновской литографии, ионно-лучевой литографии?
64. Что такое самосборка и какой движущей силой она обусловлена?
65. Какие химические соединения используют в качестве прикрепляющей группы, промежуточной группы, поверхностной функциональной группы?
66. Какие свойства молекулярных пленок, сформированные самосборкой, делают их привлекательными для нанолитографии?
67. Что такое самоорганизация и какой движущей силой она обусловлена?
68. Как описывается изменение свободной энергии кристаллического зародыша, связанное с увеличением его объема и его поверхности?
69. Каковы основные факторы, влияющие на скорость образования кристаллических зародышей?
70. Как происходят золь-гель-превращения?
71. Какие методы и технологии подходят для формирования нанокристаллитов в объеме материалов?
72. Как происходит рост тонких пленок в режиме Франка—Ван дер Мерве? Волмера—Вебера? Странского—Крастанова?
73. При каких условиях реализуется режим Странского—Крастанова?
74. Каковы критические условия для перехода от двумерного роста сплошной пленки к трехмерному росту островков в режиме Странского—Крастанова?
75. Какие низкоразмерные структуры возможно формировать в режиме Странского—Крастанова?
76. Как описывается формирование островковых структур в режиме Волмера—Вебера?
77. Как наносят пленки Ленгмюра—Блоджетт?

Примерные варианты экзаменационных билетов

Билет № 1

1 Фотолитография как один из основных промышленных методов получения микро- и наноструктур.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

2 Химическое осаждение слоев из газовой фазы (ХОГФ).

3 При загонке бора в кремний КЭФ-2 при температуре 1050 °С за время  $t_1=20$  мин создана поверхностная концентрация  $3 \cdot 20 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . Найти глубину залегания р—n-перехода, образованного при последующей разгонке при 1200 °С в течение 1,5 ч.

Билет № 2

1 Жидкостное химическое травление. Этапы процесса травления. Изотропное и анизотропное травление.

2 Плазма. Методы получения плазмы для травления. Возникновения напряжения смещения электрода в плазме.

3 На кремниевой пластине термическим окислением получен слой  $\text{SiO}_2$  толщиной 0,2 мкм. Какое дополнительное время потребуется, чтобы получить еще 0,1 мкм  $\text{SiO}_2$  в сухом кислороде при 1200 °С?

Билет № 3

1 Требования к пленочным покрытиям и методы осаждения тонких пленок.

2 Методы улучшения разрешения фотолитографии: уменьшение длины волны излучения, иммерсионная литография, коррекция эффекта близости, фазосдвигающие маски, двойное экспонирование.

3 Осаждение диоксида кремния за счет разложения ТЭОС происходит при температуре 700 °С со скоростью 9 нм/мин. При добавлении в реакционную смесь фосфорсодержащих легирующих добавок энергия активации реакции разложения ТЭОС уменьшается с 1,9 эВ до 1,4 эВ. Какова при этом скорость роста ФСС?

Билет № 4

1 Технология и оборудование магнетронного осаждения.

2 Плазмохимическое и реактивно-ионное травление, техническая реализация и их отличия.

3 Построить распределение толщины осажденного слоя методом ХОГФ, если пластины диаметром 150 мм расположены на расстоянии 15 мм друг от друга, лимитирующей является гетерогенная стадия, имеет место реакция первого порядка, отношение коэффициента диффузии газа к константе скорости реакции 500

Билет № 5

1 Механизм формирования химически активной плазмы.

2 Характеристики процессов плазмохимического травления.

3 Рассчитать эффективную концентрацию примеси в КДБ-10 на глубине 3 мкм при последовательной диффузии фосфора ( $Q_{(P)} = 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ,  $T=1100 \text{ °C}$ ,  $t=3 \text{ ч}$ ) и бора ( $Q_{(B)} = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ,  $T=1150 \text{ °C}$ ,  $t=2 \text{ ч}$ ).

Билет № 6

1 Физико-химические основы процесса эпитаксии.


2 Принципы изотропного и анизотропного травления.

3 Пластину кремния марки КЭФ-5 легируют бором с дозой  $10^{12} \text{ см}^{-2}$  при энергии 100 кэВ. Затем проводят отжиг в течение 2 ч при 1000 °С. Чему равна пиковая концентрация бора после отжига?

Билет № 7

1 Особенности технологии и оборудования ПФХО диэлектрических слоев.

2 Модель процессов ПФХО с лимитирующей гомогенной стадией.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

Кремниевая пластина окисляется несколько раз в процессе изготовления ИС. Найти результирующую толщину окисла после каждой из следующих операций, проводимых последовательно: а) 60 мин при 1100 °С в сухом O<sub>2</sub> и HCl (добавляется достаточное количество HCl, чтобы увеличить скорость окисления на 10 % по сравнению со скоростью окисления в чистом O<sub>2</sub>); б) 2 ч при 1000 °С в пирогенном водяном паре (при 1 атм).

Билет № 8

1 Модель процессов ХОГФ с лимитирующей гетерогенной стадией.

2 Системы, используемые для плазменного травления.

Рассчитать градиент концентрации примеси в р—n-переходе, полученном на глубине 25 мкм путем диффузии фосфора в КДБ-0,4 до поверхностной концентрации  $N_0=3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  при 1250 °С.

Билет № 9

1 Свойства реагентов, используемых для ХОГФ диэлектрических слоев.

2 Особенности процесса испарения в вакууме. Распределение плотности испаряемого компонента по поверхности подложки.

3 Канал МОП-транзистора легируют бором до максимальной концентрации  $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  глубине 0,1 мкм. Найти энергию ионов, дозу легирования и разброс  $\Delta R_p$ .

Билет № 10

1 Технология и оборудования атомного слоевого осаждения.


2 Технология фотолитографии.

3 Выбрать энергию As<sup>+</sup> и дозу облучения для формирования в n-Si с  $N_{исх}=2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  сильнолегированного заглубленного слоя n<sup>+</sup>-типа так, чтобы на глубине 0,3 мкм концентрация имплантированной примеси равнялась  $N_{макс}=2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Рассчитать результирующую поверхностную концентрацию примеси

## 10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ

Форма обучения: очная

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы	Объем в часах	Форма контроля
Тема 1: Технологические особенности и техническая реализация методов получения пленок металлических, полупроводников и диэлектрических материалов	Проработка материала лекций с использованием рекомендуемой литературы	15	Опрос
Тема 2: Технологические особенности и техническая реализация методов получения металлических пленок	Подготовка к практическим занятиям, выполнение заданий.	15	Подготовка проектных разработок.
Тема 3: Технологические особенности и техническая реализация методов	Подготовка к лабораторным работам	15	Контрольные вопросы.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

литографии и микрообработки.			
------------------------------	--	--	--

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) Список рекомендуемой литературы

#### основная литература

##### а) Список рекомендуемой литературы

##### основная

1. Рогов, В. А. Технология конструкционных материалов. Нанотехнологии : учебник для вузов / В. А. Рогов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 190 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00528-8. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт].
2. Костишко Б.М., Орлов А.М., Скворцов А.А. Учебное пособие "Физические основы технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем". Ульяновск, УлГУ. 2001. 370 с. тираж 200 экз. Гриф УМО по физике.
3. Марголин В.И., Жабреев В.А., Лукьянов Г.Н., Тупик В.А. Введение в нанотехнологию: СПб.: Лань, 2012. 464 с. Учеб. для вузов, 2012
4. Киреев В.Ю., Столяров А.А. Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы. М.: Техносфера, 2006. 192 с. Учеб. пособ., 2006г.

##### дополнительная:

1. Орлов А.М., Скворцов А.А. Учебное пособие "Физические основы технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем". Разработка, представленная в отраслевой фонд алгоритмов и программ. Номер гос. Регистрации в «Национальном информационном фонде неопубликованных документов» 50200601659 от 18.09.2006 г.
2. Липатов Г.И. Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.2. ВГУ, 2006. 172 с. Учеб. пособие, 2006г.


### Учебно-методические рекомендации

1. Орлов А.М., Скворцов А.А. Учебное пособие "Физические основы технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем". Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Ульяновск: УлГУ. 2015. 422 с.
2. Голованов В.Н., Костишко Б.М. Учебное пособие «Перспективные конструкционные наноматериалы для энергетики». Ульяновск, УлГУ, 2019. 150 с.

Согласовано:

*И. И. Библиотечка ООП №1* | *Чалыбева А.З.* | *АМ* |  
 Должность сотрудника научной библиотеки | ФИО | подпись | дата

**б) Программное обеспечение:** МойОфис Стандартный, Офисный пакет LibreOffice 3, Средства моделирования SCILAB

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

## в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы:

### 1. Электронно-библиотечные системы:

1.1. IPRbooks: электронно-библиотечная система : сайт / группа компаний Ай Пи Ар Медиа. - Саратов, [2021]. –URL:<http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. ЮРАЙТ :электронно-библиотечная система : сайт / ООО Электронное издательствоЮРАЙТ. – Москва, [2021]. - URL: <https://urait.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. Консультант студента:электронно-библиотечная система : сайт / ООО Политех-ресурс. – Москва, [2021]. –URL:<https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.4. Консультант врача : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг. – Москва, [2021]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Букап. – Томск, [2021]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/> . – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.6. Лань:электронно-библиотечная система : сайт/ ООО ЭБС Лань. –Санкт-Петербург, [2021]. –URL:<https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользова-телей. – Текст : электронный.

1.7. **Znanium.com**:электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Моск-ва, [2021]. - URL: <http://znanium.com> . – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.8. ClinicalCollection : коллекция для медицинских университетов, клиник, меди-цинских библиотек // EBSCOhost : [портал]. – URL: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/search/advanced?vid=1&sid=9f57a3e1-1191-414b-8763-e97828f9f7e1%40sessionmgr102>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

1.9.Русский язык как иностранный :электронно-образовательный ресурс для ино-странных студентов : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». – Саратов, [2021]. – URL: <https://ros-edu.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

**2. КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система. /ООО «Консультант Плюс» - Электрон.дан. - Москва :КонсультантПлюс, [2021].

### 3.Базы данных периодических изданий:


3.1. База данных периодических изданий: электронныежурналы/ ООО ИВИС. - Мо-сква, [2021]. –URL:<https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

3.2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО Научная Элек-тронная Библиотека. – Москва, [2021]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авто-ризов. пользователей. – Текст : электронный

3.3. «Grebennikon» : электроннаябиблиотека / ИД Гребенников. – Москва, [2021]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользова-телей. – Текст : электронный.

**4. Национальная электронная библиотека**:электронная библиотека : федеральная государственная информационная система : сайт /Министерство культуры РФ ; РГБ. – Мо-сква, [2021]. –URL:<https://нэб.рф>. – Режим доступа: для пользователей научной библиоте-ки. – Текст : электронный.

**5. SMARTImagebase** //EBSCOhost : [портал].– URL: <https://ebco.smartimagebase.com/?TOKEN=EBSCO->

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

[1a2ff8c55aa76d8229047223a7d6dc9c&custid=s6895741](https://www.window.edu.ru/). – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Изображение : электронные.

#### **6. Федеральные информационно-образовательные порталы:**

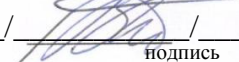
6.1. [Единое окно доступа к образовательным ресурсам](http://window.edu.ru/) : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: <http://window.edu.ru/> . – Текст : электронный.

6.2. [Российское образование](http://www.edu.ru/) : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: [http://www.edu.ru.](http://www.edu.ru/) – Текст : электронный.

#### **7. Образовательные ресурсы УлГУ:**

7.1. Электронная библиотека УлГУ : модуль АБИС Мега-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

Согласовано:

Зам. начальника / Клочкова А.В. /  / \_\_\_\_\_  
Должность сотрудника УИТиТ ФИО подпись дата

## **12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Аудитории для проведения лекций, семинарских занятий, для выполнения лабораторных работ и практикумов, для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде, электронно-библиотечной системе.


Аудитории для проведения лекций, семинарских занятий, для выполнения лабораторных работ и практикумов, для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде, электронно-библиотечной системе.

## **13. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:


– для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа дисциплины		

– для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации;

В случае необходимости использования в учебном процессе частично/ исключительно дистанционных образовательных технологий, организация работы ППС с обучающимися с ОВЗ и инвалидами предусматривается в электронной информационно- образовательной среде с учетом их индивидуальных психофизических особенностей

Разработчик   
подпись

Зав. кафедрой ФМ, д.ф.-м.н. В.Н. Голованов  
должность ФИО