

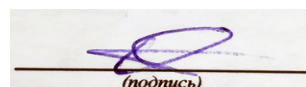
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Основы технологии производства электронных средств»**

Направление подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль «Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения
очная

Программа рассмотрена
на заседании кафедры МЭОФ
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол №5 от «25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Основы технологии производства электронных средств» являются:

- изучение основ физических явлений и процессов, лежащих в основе технологии приборов твердотельной электроники и интегральных схем,
- формирование умений и навыков использования теоретических знаний в области технологии электронной компонентной базы для рассмотрения и решения практических задач.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Основы технологии производства электронных средств» относится к обязательной части и имеет индекс Б1.О.19.

Данная дисциплина требует для своего изучения знания общего курса физики (разделы «Электричество», «Молекулярная физика»), дисциплин «Материалы электронной техники», «Основы кристаллографии и кристаллохимии».

Дисциплина «Основы технологии производства электронных средств» является основой для изучения последующих курсов, таких как «Нанoeлектроника», «Физические основы электроники», «Микroeлектроника», «Актуальные вопросы микро- и нанoeлектроники».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК- 5 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	ИД_ПК-5.1. Знает физические характеристики материалов и изделий электронной техники	Знает: - фундаментальные физические законы, лежащие в основе конструкции и технологических процессов создания полупроводниковых приборов и интегральных схем; Умеет: - применять базовые теоретические знания для решения типовых задач при определении параметров технологических процессов создания изделий электронной техники; Владет навыками: - анализа и расчета технологических условий при реализации базовых процессов изготовления изделий электронной техники.

	<p>ИД_ПК-5.2. Знает технологические процессы создания материалов, приборов и устройств электроники и наноэлектроники</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные технологические процессы создания приборов и устройств электроники; <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять полученные знания для формирования технологических цепочек при создании приборов и устройств электроники; <p>Владеет навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - практических приемов расчетов параметров основных технологических процессов электроники.
	<p>ИД_ПК-5.3. Осуществляет настройку приборов и оборудования в соответствии с правилами настройки и эксплуатации</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные правила безопасной работы с приборами и оборудованием; <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - производить настройку приборов и оборудования в соответствии с технической документацией; <p>Владеет навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - практических приемов работы с измерительным оборудованием при контроле параметров технологических процессов электроники.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам) Формы ЭО и ДОТ*
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение. Конструкции интегральных схем. Гибридные интегральные схемы	5	4	2				2	коллоквиум 1
2	Рост монокристаллов кремния. Формирование кремниевых пластин	5	4	2				2	
3	Эпитаксиальные структуры. Эпитаксиальный рост	5	4	2		1		2	контроль решения задач, коллоквиум 2
4	Диэлектрические слои	5	4	2				2	контроль решения задач
5	Литографические процессы	5	4	2				2	
6	Химическое травление кремния. Термическая диффузия	5	4	2		1		2	контроль решения задач, коллоквиум 3
7	Ионная имплантация	5	4	2				2	контроль решения задач
8	Металлизация	5	3	2				2	контроль решения задач
9	Технологические цепочки, перспективные технологии микро – и нанoeлектроники	5	3	1		1		1,7	коллоквиум 4
10	Всего за 5 семестр		34	17		3		17,7	
11							0,3		зачет
12	Всего		34	17		3	0,3	17,7	

Примечание. Формы ЭО и ДОТ не предусмотрены. В случае перехода на дистанционное обучение будут использованы возможности LMS Moodle и других ресурсов.

Содержание разделов дисциплины:

РАЗДЕЛ 1. Введение. Конструкции интегральных схем. Гибридные интегральные схемы. Введение. Вводные понятия. Исторический экскурс. Гибридные интегральные схемы. Полупроводниковые интегральные схемы. Конструктивные особенности схем. Особенности электронного производства. Требования к производственной гигиене. Технология толсто пленочных гибридных интегральных схем. Подложки, пасты, нанесение и вжигание паст. Формирование рисунка методом сеткографии. Тонко пленочная технология. Подложки, методы нанесения пленок, методы формирования рисунка.

РАЗДЕЛ 2. Рост монокристаллов кремния. Формирование кремниевых пластин. Требования к монокристаллам в электронике. Требуемые размеры, структурные и электрические свойства. Характеристика основных методов выращивания монокристаллов. Кремниевые пластины для электроники. Маркировка и геометрические размеры. Свойства сторон. Технология изготовления кремниевых пластин. Маршрут из 10 операций. Полировка пластин. Окончательная очистка пластин. Методы контроля очистки. Строение нарушенного слоя после механической обработки. Скрайбирование и разламывание пластин. Контроль параметров.

РАЗДЕЛ 3. Эпитаксиальные структуры. Эпитаксиальный рост. Применение и обозначение эпитаксиальных структур в электронике. КНИ и КНС-структуры. Технология получения эпитаксиальных полупроводниковых слоев. Эпитаксия из парогазовой фазы. Хлоридный метод. Силановый метод. Сравнение возможностей методов. Основы жидкофазной эпитаксии. Метод Нельсона. Сравнение ПГЭ и ЖФЭ. Вакуумные методы эпитаксии. Метод горячей стенки. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии.

РАЗДЕЛ 4. Диэлектрические слои. Требования к диэлектрическим слоям в технологии электроники. Пленки диоксида кремния. Кинетика термического окисления кремния. Зависимость толщины пленки диоксида кремния от времени процесса. Физические процессы, сопровождающие окисление. Технология термического окисления в сухом кислороде. Технология термического окисления в парах воды. Окисление во влажном кислороде, чередующееся окисление, окисление с добавлением паров хлористого водорода. Другие методы получения пленок диоксида кремния. Формирование и свойства пленок нитрида кремния. Получение толстых диэлектрических пленок по FIPOS технологии.

РАЗДЕЛ 5. Литографические процессы. Литография. Резисты. Разрешающая способность. Фотолитография. Фоторезисты и их основные характеристики. Основные операции фотолитографического процесса. Совмещение и экспонирование. Виды фотошаблонов. Проявление фоторезиста. Термообработка. Удаление маски. Перспективные методы литографии. Глубокий УФ. Вакуумный УФ. Экстремальный УФ.

РАЗДЕЛ 6. Химическое травление кремния. Термическая диффузия. Химическое травление кремния. Полирующее и селективное травление. Создание канавок с различным профилем. ЭПИК-процесс. Физические процессы при термической диффузии. Коэффициент диффузии, предельная растворимость, виды диффузии. Математическое описание процессов диффузии. Диффузия из неограниченного источника. Диффузия из ограниченного источника. Диффузионные процессы при создании биполярного транзистора. Применение диффузии для создания диффузионного резистора. Проведение процессов диффузии.

РАЗДЕЛ 7. Ионная имплантация

Недостатки термической диффузии. Ионная имплантация. Физические основы процесса. Теория ЛШШ. Средний пробег ионов. Процессы аморфизации. Отжиг радиационных дефектов. Профиль распределения примеси. Эффект каналирования. Имплантаторы. Параметры процесса. Достоинства и недостатки метода ИИ. Другие области применения.

РАЗДЕЛ 8. Металлизация

Металлизация. Назначение. Требования к металлическим пленкам. Алюминиевая металлизация. Достоинства и недостатки. Процесс электромиграции. Многоуровневая металлизация. Многослойные системы металлизации. Изменение конструкции металлизационных систем. Применение силицидов для затворов и межсоединений. Медная металлизация.

РАЗДЕЛ 9. Технологические цепочки. Перспективные технологии микро- и наноэлектроники

Примеры цепочек технологических процессов. Перспективные технологические методы в производстве ИС. Модульный принцип. Методы технологического контроля. Резервные элементы. Сухие методы обработки в технологии электроники. Тенденции развития технологических процессов микро- и наноэлектроники.

5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции обсуждаются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных знаний.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения (при необходимости) используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Основы конструирования и технологии производства электронных средств» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;

- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены материалы по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются: для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»

http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Зимин С.П. Сборник задач по физическим основам технологии интегральных систем. ЯрГУ, МУ, 2008.
2. Воротынцев В.М., Скупов В.Д. Базовые технологии микро- и нанoeлектроники. Учебное пособие. Изд-во Проспект, 2017
<http://ebs.prospekt.org/book/37443/page/1>
3. Малюков С. П. Основы конструирования и технологии электронных средств : учебное пособие - Ростов н/Д : Изд-во ЮФУ, 2017. - 105 с. - ISBN 978-5-9275-2725-0. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927527250.html>

б) дополнительная литература:

1. Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных схем. М. Высшая школа, 1986
2. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: учебник для вузов - 3-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2002.

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока.

Автор:

Профессор кафедры микроэлектроники
и общей физики, д.ф.-м.н.

_____ С.П.Зимин

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Основы технологии производства электронных средств»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Вопросы для коллоквиума 1

1. Интегральные микросхемы (ИМС). Классификация ИМС
2. Гибридные интегральные схемы
3. Достоинства и недостатки ГИС по сравнению с полупроводниковыми
4. Маркировка ИМС
5. Пленочные резисторы. Поверхностное удельное сопротивление
6. Расчет сопротивления резистора простой формы.
7. Формула для расчета сопротивления пленочного резистора сложной формы
8. Алгоритм расчета пленочного резистора с минимальными размерами
9. Конструкции пленочных конденсаторов
10. Формула емкости однослойного конденсатора. Удельная ёмкость
11. Алгоритм расчета пленочного конденсатора с минимальными размерами
12. Многослойные конденсаторы
13. Пленочные индуктивные элементы
14. Две основные технологии производства ГИС. Толсто пленочная технология создания ГИС. Схема технологического процесса
15. Подложки для толсто пленочных ГИС. Получение и свойства керамики
16. Состав и изготовление резистивных паст
17. Состав и изготовление проводниковых паст
18. Состав и изготовление диэлектрических паст
19. Изготовление трафаретов и нанесение паст
20. Физико-химические процессы при вжигании
21. Тонко пленочная технология изготовления ГИС. Технологическая схема
22. Подложки для тонко пленочных схем
23. Материалы для межсоединений, проводников
24. Материалы для резисторов
25. Материалы для диэлектрических пленок
26. Методы нанесения тонких пленок
27. Метод термовакuumного напыления
28. Метод катодного распыления
29. Ионно-плазменное распыление
30. Высокочастотное распыление
31. Магнетронное распыление
32. Формирование рисунка методом фотолитографии
33. Преимущества и недостатки толсто пленочной и тонко пленочной технологий.
34. Совмещенные технологии
35. Методы подгонки резисторов, конденсаторов ГИС
36. Корпусирование

Вопросы для коллоквиума 2

1. Физико-химические процессы при росте монокристаллов.
2. Метод Бриджмена.
3. Метод Чохральского.
4. Метод бестигельной зонной плавки. Сравнение характеристик монокристаллов кремния, выращенных разными способами.
5. Характеристика кремниевых пластин.
6. Технологическая цепочка процесса изготовления кремниевых пластин.
7. Полирование пластин.
8. Окончательная очистка пластин. Методы контроля.
9. Строение нарушенного слоя после механической обработки.
10. Скрайбирование и разламывание пластин.
11. Применение и обозначение эпитаксиальных структур в микроэлектронике.
12. КНИ и КНС-структуры.
13. Технологии получения эпитаксиальных полупроводниковых слоев.
14. Эпитаксия из парогазовой фазы. Хлоридный метод.
15. Силановый метод. Сравнение возможностей методов.
16. Эпитаксия пленок с использованием металлоорганических соединений.
17. Основы жидкофазной эпитаксии.
18. Метод Нельсона. Сравнение ПГЭ и ЖФЭ.
19. Применение жидкофазной эпитаксии для создания полевых транзисторов с вертикальным каналом
20. Вакуумные методы эпитаксии. Метод вакуумного осаждения.
21. Метод горячей стенки.
22. Метод МЛЭ. Достоинства метода. Возможности формирования квантовых точек на поверхности подложек при МЛЭ.

Вопросы для коллоквиума 3

1. Требования к диэлектрическим слоям микроэлектроники.
2. Кинетика термического окисления кремния.
3. Зависимость толщины пленок диоксида кремния от времени. Формула Дила-Гроува.
4. Физические процессы, сопровождающие окисление.
5. Технология термического окисления в сухом кислороде.
6. Технология термического окисления в парах воды.
7. Окисление во влажном кислороде.
8. Чередующееся окисление. Окисление с добавлением паров хлористого водорода.
9. Формирование толстых пленок SiO_2 по FIPOS-технологии.
10. Формирование и свойства пленок нитрида кремния.
11. Литография. Классификация. Резисты. Разрешающая способность.
12. Фотолитография. Фоторезисты и их основные характеристики.
13. Основные операции фотолитографического процесса. Подготовка поверхности. Нанесение фоторезиста. Термообработка.
14. Совмещение и экспонирование. Виды фотошаблонов.
15. Проявление фоторезиста. Термообработка. Удаление фотомаски.
16. Субмикронные методы фотолитографии. Глубокий УФ. Вакуумный УФ.
17. Экстремальный УФ
18. Электронная литография. Длина волны. Системы сканирования. Достоинства и недостатки.
19. Рентгеновская литография. Получение рентгеновского излучения. Рентгеношаблоны. Достоинства и недостатки.
20. Ионно-лучевая литография.
21. Литография с применением синхротронного излучения. Сравнение разрешающей способности при различных видах литографии.
22. Химическое травление кремния. Полирующее и селективное травление.

23. Изотропное и анизотропное травление под маской. Создание канавок с различным профилем. V-образные канавки.
24. ЭПИК-процесс.
25. Определение кристаллографической ориентации и плотности дислокаций методом ямок травления.

Вопросы для коллоквиума 4

1. Физические процессы при термической диффузии. Коэффициент диффузии, предельная растворимость, виды диффузии.
2. Математическое описание процессов диффузии. Моделирование. Диффузия из неограниченного источника.
3. Диффузия из ограниченного источника.
4. Двухстадийные процессы.
5. Диффузия в потоке газа носителя.
6. Другие виды диффузии. Диффузия с применением ТПИД. Локальная диффузия из твердой фазы.
7. Недостатки термической диффузии. Ионная имплантация (ИИ).
8. Физические основы ионной имплантации. Теория ЛШШ. Средний пробег.
9. Процессы аморфизации. Отжиг радиационных дефектов.
10. Эффект каналирования. Метод предотвращения процессов каналирования.
11. Профиль распределения примеси. Возможность образования двух p-n переходов.
12. Зависимость профиля от энергии, дозы и вида ионов.
13. Имплантаторы. Конструктивные особенности. Системы сканирования. Параметры процесса.
14. Достоинства и недостатки ИИ.
15. Другие области применения ИИ. Диффузия из слоев, полученных ионным внедрением.
16. SIMOX-процесс.
17. Металлизация ИС. Назначение. Требования к материалам металлизации.
18. Алюминиевая металлизация. Достоинства и недостатки. Процесс электромиграции в алюминиевых пленках. Образование хиллоков. Формирование острых выступов на границе алюминий-кремний.
19. Особенности многослойной алюминиевой металлизации при переходе к малым размерам.
20. Медная многоуровневая металлизация. Конструктивные решения.
21. Сквозной технологический процесс создания ИС
22. Перспективы развития микроэлектроники. Интегральные схемы будущего.

Задания для решения задач

Типовые задачи для решения в рамках изучаемой дисциплины содержатся в задачнике: Зимин С.П. Сборник задач по физическим основам технологии интегральных систем. ЯрГУ, МУ, 2008.

Сборник задач в электронном виде доступен на сайте научной библиотеки ЯрГУ, бумажный вариант выдается каждому студенту перед началом семестра.

Правила выставления оценки по результатам коллоквиумов

Оценка по результатам каждого коллоквиума считается в баллах по следующему принципу:

- задание выполнено в полном объеме без замечаний преподавателя – 3 балла;

- при выполнении задания применены правильные подходы, но имеются неточности в изложении материала – 2 балла;
- при выполнении задания применены правильные подходы, но имеются значительные физические и/или математические ошибки – 1 балл;
- при выполнении задания применены ошибочные подходы, отсутствует понимание обсуждаемого материала – 0 баллов.

Количество баллов 3 соответствует оценке «отлично», 2 баллов – оценке «хорошо», 1 балл – оценке «удовлетворительно», 0 баллов – оценке «неудовлетворительно» (умения и навыки на данном этапе освоения дисциплины не сформированы).

Правила выставления оценки по результатам решения задач:

Студенту выдается индивидуальное задание (номер варианта) для решения задач по трем темам по курсу «Основы конструирования и технологии производства электронных средств». Обучающийся в назначенный срок должен представить решения задач в письменном виде на проверку преподавателю. Решение задач по той или иной теме считается принятым (положительно оцененным), если правильно решены все задачи за исключением одной. При невыполнении этого требования студент обязан провести работу над ошибками и представить на проверку исправленный вариант решения тех задач, которые были решены с ошибками.

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список заданий к зачету

На зачете проверяется сформированность компетенции ПК-5 в части, касающейся технологических аспектов создания электронной техники. Зачет выставляется по результатам решения задач и итогов финального собеседования. Для получения зачета необходимы положительно оцененные преподавателем решения задач по трем темам и прохождение индивидуального финального собеседования на оценку не менее 3 баллов.

Правила выставления оценки по результатам финального собеседования:

От финального собеседования освобождаются студенты, имеющие оценку 3 и выше по итогам всех коллоквиумов 1-4. Если студент не отчитался ни по одной из тем, то он проходит финальное собеседование по всему списку вопросов. Оценка по результатам индивидуального финального собеседования определяется в баллах по следующему принципу: обучающемуся выдается 5 вопросов из Списка вопросов к зачету. За каждый правильно раскрытый вопрос дается 1 балл, неправильное раскрытие материала - 0 баллов. Общее число баллов за каждый вопрос суммируется. Для получения зачета по результатам собеседования необходимо набрать не менее 3 баллов.

Список вопросов к зачету:

1. Интегральные микросхемы (ИМС). Классификация ИМС
2. Гибридные интегральные схемы
3. Достоинства и недостатки ГИС по сравнению с полупроводниковыми
4. Маркировка ИМС
5. Пленочные резисторы. Поверхностное удельное сопротивление

6. Расчет сопротивления резистора простой формы.
7. Формула для расчета сопротивления пленочного резистора сложной формы
8. Алгоритм расчета пленочного резистора с минимальными размерами
9. Конструкции пленочных конденсаторов
10. Формула емкости однослойного конденсатора. Удельная ёмкость
11. Алгоритм расчета пленочного конденсатора с минимальными размерами
12. Многослойные конденсаторы
13. Пленочные индуктивные элементы
14. Две основные технологии производства ГИС. Толсто пленочная технология создания ГИС. Схема технологического процесса
15. Подложки для толсто пленочных ГИС. Получение и свойства керамики
16. Состав и изготовление резистивных паст
17. Состав и изготовление проводниковых паст
18. Состав и изготовление диэлектрических паст
19. Изготовление трафаретов и нанесение паст
20. Физико-химические процессы при вжигании
21. Тонко пленочная технология изготовления ГИС. Технологическая схема
22. Подложки для тонко пленочных схем
23. Материалы для межсоединений, проводников
24. Материалы для резисторов
25. Материалы для диэлектрических пленок
26. Методы нанесения тонких пленок
27. Метод термовакuumного напыления
28. Метод катодного распыления
29. Ионно-плазменное распыление
30. Высокочастотное распыление
31. Магнетронное распыление
32. Формирование рисунка методом фотолитографии
33. Преимущества и недостатки толсто пленочной и тонко пленочной технологий.
34. Совмещенные технологии
35. Методы подгонки резисторов, конденсаторов ГИС
36. Корпусирование
36. Физико-химические процессы при росте монокристаллов
37. Метод Бриджмена
38. Метод Чохральского
39. Метод бестигельной зонной плавки. Сравнение характеристик монокристаллов кремния, выращенных разными способами
40. Характеристика кремниевых пластин
41. Технологическая цепочка процесса изготовления кремниевых пластин
42. Полирование пластин
43. Окончательная очистка пластин. Методы контроля
44. Строение нарушенного слоя после механической обработки
45. Скрайбирование и разламывание пластин
46. Применение и обозначение эпитаксиальных структур в микроэлектронике
47. КНИ и КНС-структуры
48. Технологии получения эпитаксиальных полупроводниковых слоев
49. Эпитаксия из парогазовой фазы. Хлоридный метод
50. Силановый метод. Сравнение возможностей методов
51. Эпитаксия пленок с использованием металлоорганических соединений
52. Основы жидкофазной эпитаксии
53. Метод Нельсона. Сравнение ПГЭ и ЖФЭ
54. Применение жидкофазной эпитаксии для создания полевых транзисторов с вертикальным каналом
55. Вакуумные методы эпитаксии. Метод вакуумного осаждения

56. Метод горячей стенки
57. Метод МЛЭ. Достоинства метода. Возможности формирования квантовых точек на поверхности подложек при МЛЭ.
58. Требования к диэлектрическим слоям микроэлектроники.
59. Кинетика термического окисления кремния.
60. Зависимость толщины пленок диоксида кремния от времени. Формула Дила-Гроува.
61. Физические процессы, сопровождающие окисление.
62. Технология термического окисления в сухом кислороде.
63. Технология термического окисления в парах воды.
64. Окисление во влажном кислороде.
65. Чередующееся окисление. Окисление с добавлением паров хлористого водорода.
66. Формирование толстых пленок SiO_2 по FIPOS-технологии.
67. Формирование и свойства пленок нитрида кремния.
68. Литография. Классификация. Резисты. Разрешающая способность.
69. Фотолитография. Фоторезисты и их основные характеристики.
70. Основные операции фотолитографического процесса. Подготовка поверхности. Нанесение фоторезиста. Термообработка.
71. Совмещение и экспонирование. Виды фотошаблонов.
72. Проявление фоторезиста. Термообработка. Удаление фотомаски.
73. Субмикронные методы фотолитографии. Глубокий УФ. Вакуумный УФ.
74. Экстремальный УФ
75. Электронная литография. Длина волны. Системы сканирования. Достоинства и недостатки.
76. Рентгеновая литография. Получение рентгеновского излучения. Рентгеношаблоны. Достоинства и недостатки.
77. Ионно-лучевая литография.
78. Литография с применением синхротронного излучения. Сравнение разрешающей способности при различных видах литографии.
79. Химическое травление кремния. Полирующее и селективное травление.
80. Изотропное и анизотропное травление под маской. Создание канавок с различным профилем. V-образные канавки.
81. ЭПИК-процесс.
82. Определение кристаллографической ориентации и плотности дислокаций методом ямок травления.
83. Физические процессы при термической диффузии. Коэффициент диффузии, предельная растворимость, виды диффузии.
84. Математическое описание процессов диффузии. Моделирование. Диффузия из неограниченного источника.
85. Диффузия из ограниченного источника.
86. Двухстадийные процессы.
87. Диффузия в потоке газа носителя.
88. Другие виды диффузии. Диффузия с применением ТПВД. Локальная диффузия из твердой фазы.
89. Недостатки термической диффузии. Ионная имплантация (ИИ).
90. Физические основы ионной имплантации. Теория ЛШШ. Средний пробег.
91. Процессы аморфизации. Отжиг радиационных дефектов.
92. Эффект каналирования. Метод предотвращения процессов каналирования.
93. Профиль распределения примеси. Возможность образования двух p-n переходов.
94. Зависимость профиля от энергии, дозы и вида ионов.
95. Имплантаторы. Конструктивные особенности. Системы сканирования. Параметры процесса.
96. Достоинства и недостатки ИИ.
97. Другие области применения ИИ. Диффузия из слоев, полученных ионным внедрением.
98. SIMOX-процесс.

- 99.Металлизация ИС. Назначение. Требования к материалам металлизации.
100. Алюминиевая металлизация. Достоинства и недостатки. Процесс электромиграции в алюминиевых пленках. Образование хиллоков. Формирование острых выступов на границе алюминий-кремний.
101. Особенности многослойной алюминиевой металлизации при переходе к малым размерам.
- 102.Медная многоуровневая металлизация. Конструктивные решения.
- 103.Сквозной технологический процесс создания ИС
- 104.Перспективы развития микроэлектроники. Интегральные схемы будущего.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Основы технологии производства электронных средств»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изучения учебного материала по дисциплине **«Основы технологии производства электронных средств»** являются лекционные и практические занятия, на которых происходит рассмотрение конкретных физических и технологических задач в области конструирования и производства электронных систем.

Для успешного освоения дисциплины очень важна самостоятельная работа студентов над разделами курса. Следует уделять большое внимание подготовке к практическим занятиям. Материал лекций, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы при самостоятельной проработке разделов курса.

Для проверки и контроля усвоения материала, приобретенных практических навыков работы и проведения расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде коллоквиумов и решения задач в течение практических занятий в семестре. Отдельным методом контроля является проверка знаний в форме коллоквиумов. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

Зачет по курсу выставляется по результатам решения задач и итогов финального собеседования. Для получения зачета необходимы положительно оцененные преподавателем решения задач по трем темам и прохождение индивидуального финального собеседования на оценку не менее 3 баллов.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины **«Основы технологии производства электронных средств»** самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и наполнением курса узкими специальными вопросами. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым.