

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 26.04.2023 14:52:26
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Информационные технологии
проектирования радиоэлектрон-
ных устройств»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

**«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ»**

для подготовки бакалавров

по направлению

11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

по профилю

**«Информационные технологии проектирования радиоэлектронных
устройств»**

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

д.т.н., проф. Лукьянов Г.Н.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры МИТ
19.01.2022, протокол № 1

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФРТ, 29.03.2022, протокол № 3

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФРТ
Обеспечивающая кафедра	МИТ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	3
Семестр	6
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	16
Лабораторные занятия (академ. часов)	16
Практические занятия (академ. часов)	16
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	49
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	95
Всего (академ. часов)	144
Вид промежуточной аттестации	
Экзамен (курс)	3

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

Изучаются базовые физико-химические основы технологии ЭС. Рассматриваются термодинамические основы технологических процессов, вопросы управления фазовыми и химическими превращениями веществ, кинетические и диффузионные процессы.

В технологии интегральных микросхем рассматриваются физико-химические основы и технологические процессы нанесения тонких и толстых пленок, изучаются технологии гибридных и полупроводниковых интегральных микросхем, микросборок.

SUBJECT SUMMARY

«BASICS OF PHYSICS-CHEMISTRY PROCESSES FOR ELECTRONIC TECHNOLOGY»

Physical and chemical bases of electronics technology are studied. Thermodynamic bases of technological processes, chemical transformations of substances, kinetic and diffusion processes are considered.

In technology of integrated microcircuits physical and chemical bases and technological processes of drawing of thin and thick films are considered. Technologies of hybrid and semi-conductor integrated microcircuits are studied.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цель заключается в получении обучающимися знаний об основах физико-химических технологий ЭС, формирования умений и навыков в области исследования, моделирования и оптимизации технологических процессов.

2. Задачи изучения дисциплины:

1). Изучение базовых физико-химических основ технологии электронных средств, получение базовых знаний в области технологии производства электронных средств различного функционального назначения и области применения; овладение умениями и навыками анализа технологических операций по изготовлению микросхем.

2). Формирование умений и навыков физического и математического моделирования, математико-статистических основ описания и анализа технологических процессов, планирования и обработки результатов эксперимента на основе знаний о принципах исследования, моделирования и оптимизации технологических процессов.

2). Освоение умений и навыков выбора технологического оборудования и необходимых материалов на основе знаний о принципах работы технологического оборудования; о технологиях гибридных и полупроводниковых интегральных микросхем, микросборок.

3. Знания:

-в области технологии производства электронных средств различного функционального назначения и области применения;

-о принципах исследования, моделирования и оптимизации технологических процессов;

-о принципах работы технологического оборудования;

-о технологиях гибридных и полупроводниковых интегральных микросхем, микросборок.

4. Овладение умениями:

-физического и математического моделирования, математико-статистических основ описания и анализа технологических процессов, планирования и обработки результатов эксперимента;

-выбора технологического оборудования и необходимых материалов.

5. Овладение навыками:

-анализа технологических операций по изготовлению микросхем;

-экспериментального исследования параметров и характеристик конструкций и технологических процессов электронных средств различного функционального назначения.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Физические основы микро-и наноэлектроники»

2. «Химия»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Технология производства электронных средств»

2. «Физико-технологические основы проектирования интегральных микросхем»

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-2	Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик конструкций и технологических процессов электронных средств различного функционального назначения
<i>ПК-2.1</i>	<i>Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков</i>
<i>ПК-2.2</i>	<i>Умеет проводить исследования характеристик электронных средств и технологических процессов</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	0.5				2.5
2	Физико-химические основы технологии ЭС	5	6	16		12
3	Основы технологии микросхем	2	2			14
4	Технологические процессы создания рисунков микросхем	2	2			18
5	Основы технологии гибридных ИМС и микросборок РЭС	2	2			16
6	Технология полупроводниковых ИМС	2	2			16
7	Принципы исследования, моделирования и оптимизации технологических процессов	2	2			16
8	Заключение	0.5			1	0.5
	Итого, ач	16	16	16	1	95
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	144/4				

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Предмет и задачи курса, связь с другими дисциплинами. История появления и развития РЭС. «Революции» в электронике. Основные технологии РЭС. Технологическая подготовка производства. Основные виды технологий РЭС.
2	Физико-химические основы технологии ЭС	Физические основы технологических процессов. Законы диффузии. Закон Фика. Модель случайного блуждания. Уравнение диффузии. Применение законов диффузии в технологических процессах. Теплообмен в РЭС. Конвекция. Закон Ньютона-Рихмана. Теплопроводность. Закон Фурье. Уравнение Фурье. Тепловое излучение. Закон Планка. Закон смещения Вина, приближения Релея-Джинса и Вина. Закон Стефана-Больцмана. Массообмен в разреженных газах. Применение этих законов в технологиях РЭС.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
3	Основы технологии микросхем	<p>Диффузия и легирование полупроводников. Прямой обмен. Обмен вакансий. Полный коэффициент диффузии в модели вакансий. Междуузельная диффузия. Метод перемещения по вакансиям. Измерение концентрации примеси. Четырехточечный зонд. Геометрический фактор. Толстая пластина. Тонкая пластина. Измерение концентрации примеси с неравномерным легированием.</p> <p>Ионная имплантация. Повреждения, вызванные ионной имплантацией. Отжиг дефектов при ионной имплантации. Масс-спектрометр. Прогнозируемый диапазон и рассеяние. Механическое сканирование</p>
4	Технологические процессы создания рисунков микросхем	<p>Классификация процессов. Трафаретная печать. Фотолитография. Структурные схемы ТП. Фотошаблоны и фоторезисты, их характеристики, кривые контрастности. Нанесение фоторезистов ламинированием, распылением и центрифугированием. Экспонирование фоторезистов. Расчет времени экспонирования. Травление. Дифракция и предельные возможности фотолитографии. Ограничение на получение минимальных размеров. Основные этапы литографического процесса. Оптическая система, передающая изображение с маски на слой фоторезиста.</p> <p>Электронолитография, рентгенография. Резисты, технология создания рисунков.</p>
5	Основы технологии гибридных ИМС и микросборок РЭС	<p>Подложки, их характеристики. Пассивные тонко- и толсто пленочные элементы. Технологические процессы. Классификация методов локального легирования. Газотранспортное легирование. Ионное внедрение. Эпитаксиальное наращивание из жидкой, газообразной фазы материалов. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Окисление кремния. Оборудование для окисления и газотранспортного легирования. Сборка и монтаж ИМС и микросборок РЭС.</p>
6	Технология полупроводниковых ИМС	<p>Классификация основных конструктивно-технологических методов изготовления полупроводниковых ИМС и БИС. Технологические процессы биполярных и полевых ИМС. Технология комплементарных структур. Вакуум и его характеристики, вакуумные установки.</p>
7	Принципы исследования, моделирования и оптимизации технологических процессов	<p>Физическое и математическое моделирование. Математико-статистические основы описания и анализа технологических процессов. Пассивный эксперимент. Планирование экспериментов. Обработка результатов эксперимента.</p>
8	Заключение	<p>Краткий обзор содержания и пояснение требований к знаниям, умениям и навыкам по всем разделам дисциплины.</p>

4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Исследование метода нанесения толстых пленок вжиганием	4
2. Исследование термовакuumного метода нанесения тонких пленок	4
3. Построение оптимального фотолитографического процесса из моделей отдельных операций	4
4. Исследование термического окисления кремния	4
Итого	16

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Расчет цилиндрической печи	2
2. Тепловое экранирование в технологии РЭС	2
3. Изучение построения фотолитографического процесса	2
4. Компьютерное моделирование процесса диффузии с помощью модели случайного блуждания	2
5. Расчет зависимости толщины линии от длины волны на основе расчета распределения интенсивности падающего на фоторезист излучения	2
6. Расчет степени распыления и скорости осаждения металла на подложку	2
7. Проверка статистических гипотез	2
8. Корреляционный анализ	2
Итого	16

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	10

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	7
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	35
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	8
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
ИТОГО СРС	95

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Баканов, Геннадий Федорович. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. "Радиотехника" / Г. Ф. Баканов, С. С. Соколов, 2014. -366, [1] с.	40
2	Баканов, Геннадий Федорович. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. "Радиотехника" / Г.Ф. Баканов, С.С. Соколов, В.Ю. Суходольский ; под ред. И. Г. Мироненко, 2007. -365 с.	165
3	Физико-химические основы технологии электронных средств [Текст] : лаб. практикум / [Г. Ф. Баканов [и др.], 2021. -71 с.	30
4	Баканов, Геннадий Федорович. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. "Радиотехника" / Г. Ф. Баканов, С. С. Соколов, 2014. -366, [1] с.	40
Дополнительная литература		
1	Коледов, Леонид Александрович. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок [Текст] : учеб. для вузов по специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" направления 210200 "Проектирование и технология электронных средств" / Л.А. Коледов, 2008. -400 с.	307

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Построение оптимального фотолитографического процесса из моделей отдельных операций : метод. указания к лаб. работам / сост. Г.Ф.Баканов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 14 с. https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2583
2	Исследование технологического процесса термического окисления кремния / сост. Г.Ф.Баканов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 9 с. https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2584
3	Исследование термовакuumного метода нанесения тонких пленок: метод. указания к лаб. работам / сост. Г.Ф.Баканов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 10 с. https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2585

№ п/п	Электронный адрес
4	Исследование метода нанесения толстых пленок вжиганием: метод. указания к лаб. работам / сост. Г.Ф.Баканов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 8 с. https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2586

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=12350>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Физико-химические основы технологии электронных средств» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

Экзамен

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

Особенности допуска

К экзамену допускаются студенты, посещавшие не менее 80% лекционных занятий, 80 % практических занятий, а также допущенные по результатам выполнения лабораторных работ.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	«Революции» в электронике. Когерер приемника Попова
2	«Революции» в электронике. Электронная вакуумная лампа
3	«Революции» в электронике. Полупроводниковый детектор.
4	Обзор электронных технологий
5	Диффузия. Закон Фика.
6	Диффузия. Модель случайного блуждания
7	Уравнение диффузии
8	Диффузия. Прямой обмен.
9	Диффузия. Обмен вакансий
10	Полный коэффициент диффузии в модели вакансий
11	Междуузельная диффузия
12	Метод перемещения по вакансиям
13	Измерение концентрации примеси
14	Четырехточечный зонд. Геометрический фактор. Толстая пластина
15	Четырехточечный зонд. Геометрический фактор. Тонкая пластина
16	Измерение концентрации примеси с неравномерным легированием
17	Термическое окисление
18	Ионная имплантация
19	Повреждения, вызванные ионной имплантацией
20	Отжиг дефектов при ионной имплантации
21	Масс-спектрометр
22	Прогнозируемый диапазон и рассеяние
23	Механическое сканирование
24	Оптическая литография
25	Дифракционный предел
26	Ограничение на получение минимальных размеров
27	Основные этапы литографического процесса
28	Оптическая система, передающая изображение с маски на слой резиста
29	Фоторезисты

30	Кривые контрастности
31	Функция передачи модуляции
32	Контраст фоторезиста
33	Разрешение фоторезиста
34	Контактная печать
35	Проекционная печать
36	Разрешение проекционной печати
37	Вакуум
38	Базовая терминология, применяемая в вакуумной технике
39	Распределение Максвелла-Больцмана
40	Сечение столкновения
41	Характеристики газа, полученные из кинетической теории
42	

Вариант экзаменационного теста

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ФРТ

1. Диффузия. Закон Фика.
2. Диапазоны давления для вакуума.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.А.Тупик

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
2	Физико-химические основы технологии ЭС	
3		
4		
5		Коллоквиум
6	Основы технологии микросхем	
7		Коллоквиум
8	Технологические процессы создания рисунков микросхем	
9		
10		Коллоквиум
11	Основы технологии гибридных ИМС и микросборок РЭС	
12		
13		Коллоквиум
14	Технология полупроводниковых ИМС	
15		Коллоквиум
16	Принципы исследования, моделирования и оптимизации технологических процессов	
17		Коллоквиум

6.4 Методика текущего контроля

Методика текущего контроля на лекционных занятиях.

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80% занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

Методика текущего контроля на практических и лабораторных занятиях.

Порядок выполнения работ, подготовки отчетов и их защиты. В процессе обучения по дисциплине студент обязан выполнить 8 практических и 4 лабораторных работы, перечень которых приведен в рабочей программе. Под выполнением работ подразумевается подготовка к работе, проведение исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме.

Выполнение работ студентами осуществляется индивидуально (или в бригадах по два человека). Оформление отчета студентами осуществляется индивидуально или в количестве одного отчета на бригаду в соответствии с приня-

тыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Работы защищаются студентами индивидуально на коллоквиумах. Каждый студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении работы.

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем практическим и лабораторным работам, по результатам которых студент получает допуск на экзамен.

самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных, лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, экран, проектор, компьютер или ноутбук, меловая или маркерная доска	1) Windows 7 и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	<p>Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, лабораторные макеты:</p> <p>Лаб. работа 1 Исследование технологического процесса термического окисления кремния Технологический стенд для окисления кремниевых пластин, микроскоп МБС-9.</p> <p>Лаб. работа 2 Исследование метода нанесения толстых пленок вжиганием Муфельная печь № 8, микроскоп МБС-2</p> <p>Лаб. работа 3 Исследование термовакuumного метода нанесения тонких пленок Установка термовакuumного нанесения тонких пленок УВН-7-3, микроинтерферометр.</p> <p>Лаб. работа 4 Построение оптимального фотолитографического процесса из моделей отдельных операций. Макет лабораторной установки по исследованию фотолитографии.</p>	

Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, экран, проектор, меловая или маркерная доска, персональные компьютеры IBM совместимый Pentium или выше.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше; 3) программа Matlab
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА