

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 01.09.2023 15:02:18  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f73bd76c8f8bde882b8d602

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
  
И.Г. Игнатова  
«14» декабря 2020 г.  


## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Основы технологии электронной компонентной базы»

Направление подготовки - 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Интегральная электроника и нанoeлектроника»

Москва 2020

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК-5 «Способен разрабатывать и исследовать технологию производства изделий микро- и нанoeлектроники различного функционального назначения» сформулирована на основе профессионального стандарта 40.040 «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»**

**Обобщенная трудовая функция В «Разработка топологии, физического представления стандартных ячеек библиотеки»**

**Трудовая функция В/01.6 «Размещение и соединение элементов электрических схем стандартных ячеек библиотеки»**

<b>Подкомпетенции, формируемые в дисциплине</b>	<b>Задачи профессиональной деятельности</b>	<b>Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций</b>
<b>ПК-5.ОТЭКБ – способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик технологических процессов создания элементов электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения.</b>	Участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств.	Знает: организационно-технологические основы производства изделий микроэлектроники; основные технологические процессы производства электронной компонентной базы (ЭКБ); конструкции технологического оборудования и методы формирования функциональных слоев и конструктивных элементов полупроводниковых приборов; основные структуры активных элементов ИМС - биполярных и МДП транзисторов; маршруты изготовления ЭКБ. Умеет: составлять краткие технологические маршруты изготовления различных элементов ИС; проводить исследования влияния операционных параметров на технологические характеристики процессов изготовления ИС; сравнивать различные методы формирования функциональных слоев ИС.

		Имеет опыт деятельности: по экспериментальному исследованию функциональных элементов активных структур.
--	--	---

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине:

- знание основ математики, физики, химии;
- знание материалов электронной техники;
- знание основных технологических операций изготовления ИС.

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)	Практические занятия (часы)		
3	5	5	180	32	32	–	80	Экз (36)

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)		
1. Организационно-технологические основы производства изделий микро- и нанoeлектроники	2	-	-	4	Опрос на лекции
2. Физико-химические методы обработки поверхности	4	-	8	10	Выполнение и защита лабораторных работ
				6	Сдача практического задания
3 Термическое окисление	4	-	8	8	Выполнение и защита лабораторных работ
4 Термическая диффузия	4	-	4	8	Выполнение и защита лабораторных работ
5 Ионное легирование	4	-	4	8	Выполнение и защита лабораторных работ
6 Литография	4	-	4	8	Выполнение и защита лабораторных работ
7 Эпитаксия	2	-	-	8	Опрос на лекции
8 Металлизация	4	-	4	8	Выполнение и защита лабораторных работ
9 Интегрированные кластерные технологические комплексы	2	-	-	8	Опрос на лекции
10 Нанотехнологии в электронике	2	-	-	4	Опрос на лекции

#### 4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Классификация и стандартизация базовых операций, производственная гигиена, чистота материалов и помещений. Физико-технологические и экономические ограничения интеграции и минитюаризации. Эксплуатация и сервисное обслуживание микроэлектронного производства.
2	2	2	Ориентационно-чувствительные процессы травления. Оборудование и методы модифицирования вещества. Газовое травление. Химическая и электрохимические теории жидкостного травления.
	3	2	Анизотропное и селективное травление. Реактивно-ионное травление.
3	4	2	Создание диэлектрических покрытий на поверхности кремния. Термический окисел кремния. Кинетика роста окисла. Структура окисла кремния и его свойства.
	5	2	Практические методы термического окисления. Методы контроля параметров диэлектрических слоев.
4	6	2	Легирование кремния. Метод термической диффузии. Механизмы диффузии. Коэффициент диффузии. Реальные диффузионные распределения примесей в кремнии.
	7	2	Основные легирующие примеси в кремнии. Практические методы диффузии. Методы контроля параметров диффузии.
5	8	2	Ионное легирование полупроводников. Теоретические сведения о пробеге ионов в полупроводниках.
	9	2	Особенности ионного легирования монокристаллического кремния. Оборудование процесса ионного легирования.
6	10	2	Фото-, электроно- рентгенолитография, нолитография.
	11	2	Технология фотолитографии. Прямая и обратная фотолитография.
7	12	2	Виды эпитаксии. Газофазное осаждение. Жидкостная эпитаксия, молекулярно-лучевая эпитаксия. Оборудование эпитаксиальных процессов.
8	13	2	Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков. Основные проблемы металлизации.
	14	2	Конструктивно-технологические особенности создания многоуровневой системы металлизации
9	15	2	Состав технологических комплексов. Особенности технологических процессов в кластерных комплексах.
10	16	2	Основные технологические методы создания наноструктур. Сканирующая зондовая микроскопия. Элементная база нанoeлектроники.

#### 4.2. Практические занятия

Не предусмотрены

#### 4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
2	1	4	Химическое травление пластин кремния
	2	4	Плазмохимическое травление в технологии ИС
3	3	4	Термическое окисление кремния
	4	4	Маскирующие свойства окисла кремния
4	5	4	Изучения процесса диффузии примесей в кремний
5	6	4	Изучение процесса ионного легирования кремния примесью
6	7	4	Фотолитографический процесс в производстве полупроводниковых интегральных схем
8	8	4	Вакуумное напыление металлических пленок

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	4	Подготовка к опросу на лекции
2	10	Подготовка к лабораторным работам: изучение теоретического материала, подготовка конспекта лабораторной работы, обработка результатов моделирования, подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы
	6	Выполнение практического задания
3	8	Подготовка к лабораторным работам: изучение теоретического материала, подготовка конспекта лабораторной работы, обработка результатов моделирования, подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы
4	8	Подготовка к лабораторным работам: изучение теоретического материала, подготовка конспекта лабораторной работы, обработка результатов моделирования, подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы
5	8	Подготовка к лабораторным работам: изучение теоретического материала,

		подготовка конспекта лабораторной работы, обработка результатов моделирования, подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы
6	8	Подготовка к лабораторным работам: изучение теоретического материала, подготовка конспекта лабораторной работы, обработка результатов моделирования, подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы
7	8	Подготовка к опросу на лекции
8	8	Подготовка к лабораторным работам: изучение теоретического материала, подготовка конспекта лабораторной работы, обработка результатов моделирования, подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы
9	8	Подготовка к опросу на лекции
10	4	Подготовка к опросу на лекции

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Методические указания студентам по изучению дисциплины «Основы технологии электронной компонентной базы».

#### **Модуль 1. «Организационно-технологические основы производства изделий микро- и нанoeлектроники»**

✓ Материалы для подготовки к опросам: конспект лекций под ред. Шевякова В.И. (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 2 «Физико-химические методы обработки поверхности»**

✓ Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным занятиям по модулю 2 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 3 «Термическое окисление»**

✓ Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным занятиям по модулю 3 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 4 «Термическая диффузия»**

✓ Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным занятиям по модулю 3 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 5 «Ионное легирование»**

✓ Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным занятиям по модулю 3 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 6 «Литография»**

✓ Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным занятиям по модулю 3 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 7 «Эпитаксия»**

✓ Материалы для подготовки к опросам: конспект лекций под ред. Шевякова В.И. (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 8 «Металлизация»**

✓ Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным занятиям по модулю 3 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 9 «Интегрированные кластерные технологические комплексы»**

✓ Материалы для подготовки к опросам: конспект лекций под ред. Шевякова В.И. (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 10 «Нанотехнологии в электронике»**

✓ Материалы для подготовки к опросам: конспект лекций под ред. Шевякова В.И. (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

## **6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

### **Литература**

1. Технологические процессы наноэлектроники : Лабораторный практикум / А.А. Голишников [и др.]; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : МИЭТ, 2016. - 192 с.
2. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А. Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - 3-е изд., электронное. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2015. - 400 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/66309> (дата обращения: 09.12.2020). - ISBN 978-5-9963-2904-5
3. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 2 : Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А. Королев, [и др.]; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с. - ISBN 978-5-94774-583-2; 978-5-94774-585-6
4. Металлизация ультрабольших интегральных схем : Учеб. пособие / Д.Г. Громов, А.И. Мочалов, А.Д. Сулимин, В.И. Шевяков; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 277 с. - (Основы наук). - Изд. выполнено в рамках инновац. образоват. программы МИЭТ "Соврем. проф. образование для рос. инновац. системы в области электроники". - ISBN 978-5-94774-904-5
5. Основы технологии электронной компонентной базы : Лабораторный практикум / А.А. Голишников, А.Ю. Красюков, С.А. Поломошнов [и др.]; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : МИЭТ, 2013. - 176 с.
6. Нанотехнологии в электронике. Вып. 3 / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2015. - 480 с. - ISBN 978-5-94836-422-3
7. Нанотехнологии в электронике. [Вып. 1] / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М.: Техносфера, 2005. - 448 с. - ISBN 5-94836-059-8

### **Периодические издания**

1. RUSSIAN MICROELECTRONICS. - : Springer, [2000] - . - URL:



- <http://link.springer.com/journal/11180> (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. Известия вузов. Электроника : Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 - .
  3. IEEE Transactions on Electron Devices. - USA : IEEE, [б.г.]. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=16> (дата обращения: 14.06.2020). – Режим доступа: по подписке МИЭТ

## **7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека : сайт. - Москва, 2000 - . - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для зарегистрир. Пользователей
5. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

## **8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В ходе реализации обучения используются смешанное обучение, сочетающее традиционные формы аудиторных занятий и взаимодействие в электронной образовательной среде.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС (<http://orioks.miet.ru>).

Применяются дистанционные образовательные технологии: онлайн лекции, онлайн консультации. Работа поводится по следующей схеме: самостоятельная работа с использованием онлайн-ресурсов, в т.ч. для организации обратной связи с обсуждением, консультированием, с последующей доработкой и подведением итогов; аудиторная работа с разбором конкретных примеров и опросами, практическая работа на технологическом оборудовании.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus
Компьютерный класс	Персональные компьютеры, сетевой принтер, интернет	Операционная система MS Windows, система приборно-технологического моделирования TCAD Synopsys
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
Технологическая лаборатория 7217	Рабочая станция HP HP xw8400 Workstation (RB270UT), Зондовое устройство А-5, Измеритель Л2-56, Измеритель характеристик п/п Л2-56, Лазерный эллипсометр SD2100, Принтер HPLI 2200, Установка лабораторного типа для быстрого отжига RTP-1200-100, Установка магнетронного напыления различных функциональных слоев СБИС И МЭМС SSP 3000 SUGA	Microsoft Office, Windows (Azure)
Технологическая лаборатория 7219	Малогабаритная вакуумная установка МВУ ТМ-ТИС осаждения тонких пленок методом термического	Microsoft Office, Windows (Azure)

	испарения, Малогабаритная вакуумная установка настольного типа МВУ ТМ Плазма-РИТ реактивно-ионного травления, Малогабаритная вакуумная установка настольного типа МВУ ТМ-Магна нанесения пленок металлов, Бокс для установки совмещения 726М-128, Вольтметр В7-21	
--	---	--

## **10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ**

ФОС по компетенции/подкомпетенции ПК-5.ОТЭКБ Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик технологических процессов создания элементов электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения.

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины в электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **11.1. Особенности организации процесса обучения**

На практических занятиях изучаются основные технологические процессы электронной компонентной базы. Разбираются конкретные методы создания рп-переховов (занятие 5 «изучения процесса диффузии примесей в кремний», занятие 6 «изучение процесса ионного легирования кремния примесью»). На лабораторных работах исследуются плазмохимическое травление в технологии ИС (занятие 2), фотолитографический процесс в производстве полупроводниковых интегральных схем (занятие7), вакуумное напыление металлических пленок (занятие 8). Выполнение и защита лабораторных работ проводятся в бригадах, формируемых преподавателем. Вариант задания выдается преподавателем. К защите практических работ каждый студент должен предоставить отчет с результатами выполнения работы. Защита проходит в форме устного обсуждения результатов работ.

Промежуточный контроль по дисциплине проходит в форме теста с ответами на теоретические вопросы.

### **11.2. Система контроля и оценивания**

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система.

Баллами оцениваются: выполнение и защита практических лабораторных работ (до 40 баллов), результаты выполнения комплексного задания (до 10 баллов), активность в семестре (опросы, 10 баллов) и сдача экзамена (до 40 баллов).

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий приведены ниже в таблице (см. также журнал успеваемости на ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>).

**Разработчик:**

Профессор, д.т.н.  / В.И. Шевяков /

Доцент, к.т.н.  / И.В. Сагунова /

Рабочая программа дисциплины «Основы технологии электронной компонентной базы» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» по направленности (профилю) «Интегральная электроника и наноэлектроника» разработана и утверждена на заседании кафедры ИЭМС 26.11 2020 года, протокол № 5

Заведующий кафедрой  / Ю.А. Чаплыгин /

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК  / И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки  / Т.П. Филиппова /