

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Беспалов Владимир Александрович
Должность: Ректор МИЭТ
Дата подписания: 01.09.2023 15:20:14
Уникальный программный ключ:
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736476e87b5ea862b8d602

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.

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Технология интегральных схем»

Направление подготовки -11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль)– «Автоматизация проектирования изделий нанoeлектроники»

Москва 2020

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК-2 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

Сформулирована на основе профессионального стандарта 40.035 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.

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
<p>ПК-2. ТИС Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике методику экспериментального исследования параметров технологических процессов.</p>	<p>Научно-исследовательская деятельность. Проведение исследований параметров и характеристик приборов, схем и устройств ИС.</p>	<p>Знания основных технологических процессов изготовления ИС, их входные и выходные характеристики. Умения аргументированно выбирать методику исследований технологических процессов. Опыт: проведения исследований характеристик технологических процессов и анализ полученных экспериментальных результатов.</p>

Компетенция ПК-3. Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.

Сформулирована на основе профессионального стандарта 40.035 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.

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-3. ТИС Способен выполнять расчет характеристик технологических процессов для создания элементов электронных приборов.	Проектно-конструкторская деятельность. Разработка и верификация блоков СБИС с учетом требований нормативной документации	Знания методов расчета характеристик технологических процессов изготовления элементов электронных приборов. Умения аргументированно применять расчеты характеристик технологических процессов. Опыт выполнения расчета характеристик технологических процессов для создания элементов электронных приборов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина "Технология ИС" входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы (является дисциплиной по выбору).

Входные требования к дисциплине - Знания: дифференциальные уравнения, теория вероятностей и математическая статистика, численные методы; молекулярная теория газов, электромагнетизм, оптика, основы атомной физики; основные сведения о химических реакциях; структура и симметрия кристаллов, основы зонной теории, основы метрологии.

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	4	144	16	32	16	44	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. Технология интегральных схем	16	16	32	44	Прохождение опроса на лекциях и семинарах
					Защита лабораторных работ.
					Написание контрольных работ №1, №2
					Прохождение рубежного контроля
					Представление доклада-презентации и реферата
					Сдача практико-ориентированного задания

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Введение в предмет курса. Классификации компонентов БИС. Технология изготовления кремниевых пластин.
	2	2	Типовой технологический маршрут изготовления КМОП БИС. Организационно-технологические основы производства изделий микро- и нанoeлектроники
	3	2	Физико-химические методы обработки поверхности. Основы поверхностной обработки полупроводниковых материалов. Кристаллическая структура кремния. Химическая обработка подложек кремния: очистка в растворителях, травление. Химическое анизотропное травление. Контроль чистоты поверхности подложек.
	4	2	Термическое окисление. Основные понятия процесса окисления кремния. Структура окисла кремния. Кинетика роста окисла кремния при высокой температуре (модель Дила - Гроува). Факторы, влияющие на скорость окисления кремния (температура, давление окислителя и другие). Оборудование для окисления кремния. Методы контроля параметров диэлектрических слоев.
	5	2	Фотолитография: контактная, проекционная. Свойства фоторезистов, критерии их оценки. Основные стадии процесса фотолитографии. Производство фотошаблонов. Дефекты при фотолитографии, методы их устранения. Перспективы развития процесса.
	6	2	Процессы плазменного травления. Оборудование для ПТ. Реактивно-ионное травление. Механизмы анизотропного и селективного плазменного травления.

			Процессы плазменного травления различных функциональных слоев при создании элементов ИС. Методы диагностики и контроля процессов ПТ.
	7	2	Диффузия примесей в кремний. Механизмы диффузии. Коэффициент диффузии. Распределения примесей при диффузии. Источники примесей. Оборудование для процесса диффузии. Методы измерения глубины легированного слоя, его проводимости и распределения примеси.
	8	2	Ионное легирование полупроводников. Теоретические сведения о пробеге ионов в полупроводниках. Особенности ионного легирования монокристаллического кремния. Оборудование процесса ионного легирования.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Ориентационно-чувствительные процессы травления. Оборудование и методы модифицирования вещества. Газовое травление. Химическая и электрохимические теории жидкостного травления.
	2	2	Создание диэлектрических покрытий на поверхности кремния. Термический окисел кремния. Кинетика роста окисла. Структура окисла кремния и его свойства. Практические методы термического окисления. Методы контроля параметров диэлектрических слоев.
	3	2	Легирование кремния. Метод термической диффузии. Механизмы диффузии. Коэффициент диффузии. Реальные диффузионные распределения примесей в кремнии. Основные легирующие примеси в кремнии. Практические методы диффузии. Методы контроля параметров диффузии.
	4	2	Ионное легирование полупроводников. Теоретические сведения о пробеге ионов в полупроводниках. Особенности ионного легирования монокристаллического кремния. Оборудование процесса ионного легирования.
	5	2	Фото-, электроно- рентгенолитография; нанолитография; импринтлитография. Технология фотолитографии. Прямая и обратная фотолитография.
	6	2	Реактивно-ионное травление. Механизмы анизотропного и селективного плазменного травления.
	7	2	Особенности процессов плазменного травления различных функциональных слоев при создании наноразмерных структур.
	8	2	Конструктивно-технологические особенности создания многоуровневой системы металлизации

4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Подготовка к проведению лабораторной работы по термическому окислению кремния
	2	4	Подготовка к проведению лабораторной работы по диффузии примесей в кремний
	3	4	Подготовка к проведению лабораторной работы по фотолитографии
	4	4	Подготовка к проведению лабораторной работы по ионной имплантации в технологии интегральных схем
	5	4	Подготовка к проведению лабораторной работы по плазмохимическому травлению в технологии интегральных схем
	6	4	Подготовка к проведению лабораторной работы по реактивному ионному травлению тонких диэлектрических пленок
	7	4	Подготовка к проведению лабораторной работы по термическому испарению в вакууме для формирования тонких металлических пленок
	8	4	Подготовка к проведению лабораторной работы по магнетронному распылению в вакууме для формирования тонких металлических пленок

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	8	Подготовка к опросам на лекциях и практических занятиях
	10	Подготовка к лабораторным работам
	2	Подготовка к контрольной работе №1
	2	Подготовка к контрольной работе №2
	8	Подготовка рефератов и докладов-презентаций
	4	Подготовка к рубежному контролю и прохождение рубежного контроля
	10	Выполнение практико-ориентированного задания

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

- ✓ Материалы для подготовки к опросам, контрольным работам, рубежному контролю: Методическое пособие для практических занятий, (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>).
- ✓ Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным занятиям (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>).

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г.Я. Красников. - 2-е изд., испр. - М. : Техносфера, 2011. - 800 с. - (Мир электроники). - ISBN 978-5-94836-289-2 : 1188-00, 1000 экз.
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. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2007. - 397 с. - ISBN 978-5-94774-337-1; 978-5-94774-336-4.
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. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с.
4. Киреев В.Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография - процессы и оборудование : [учебно-справочное руководство] / В.Ю. Киреев. - Долгопрудный : Интеллект, 2016. - 320 с. - ISBN 978-5-91559-215-4.
5. 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. - ISBN 978-5-94774-904-5.
6. 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.

Периодические издания

1. ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ЭЛЕКТРОНИКА: научно-технический журнал / ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - Москва : МИЭТ, 1996 - . - ISSN 1561-5405 (Print); 2587-9960 (Online).
2. НАНО- И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА : междисциплинарный теоретический и прикладной научно-технический журнал / Издательство "Новые технологии"; Отделение информационных технологий и вычислительных систем Российской академии наук. - Москва : Новые технологии : Нано-микросистемная техника, 1999 - . - ISSN 1813-8586.

3. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА/ РАН. - Москва: ИКЦ Академкнига, 1972 - . - URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7900> (дата обращения: 23.06.2020). - Режим доступа: по подписке (2014-2020).
4. IEEE SOLID-STATE CIRCUITS MAGAZINE / Institute of Electrical and Electronics Engineers. - USA : IEEE, 2000 - . - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=4563670> (дата обращения: 22.07.2020). - Режим доступа: по подписке. - ISSN 1943-0582 (Print); 1943-0590 (Online).
5. IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS / Institute of Electrical and Electronics Engineers. - USA : IEEE EDS, 1980 - . - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=55> (дата обращения: 26.07.2020). - Режим доступа: по подписке. - ISSN 0741-3106 (Print); 1558-0563 (Online).

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Лань: электронно-библиотечная система. – Санкт-Петербург, 2011. – URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 30.09.2019). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 09.02.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. SCOPUS: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики: сайт. www.scopus.com/ (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется смешанное обучение, сочетающее традиционные формы аудиторных занятий и взаимодействие в электронной образовательной среде. В обучении используются внутренние электронные ресурсы (видеолекции, текстовые материалы лекций, практических и лабораторных занятий) электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>, основным назначением которых является оказание помощи студентам при самостоятельной работе, а также в самостоятельном освоении отдельных тем дисциплины при пропуске занятий. Они могут также использоваться для более углубленного изучения дисциплины и при подготовке к сдаче промежуточной аттестации, при назначении индивидуальных учебных планов студенту.

При проведении практических занятий студенты не только закрепляют знания, полученные на лекциях, но и получают навыки решать стандартные профессиональные задачи с применением знаний об основных технологических процессах изготовления ИС, и методов расчета характеристик технологических процессов для создания элементов электронных приборов. По тематике дисциплины разработаны темы для рефератов, которые студенты выполняют в отведенное для этого время СРС с предоставлением теоретического материала по выполненной работе.

Важную роль в процессе обучения играют лабораторные работы, предназначенные не только для закрепления знаний, полученных на лекционных и практических занятиях, и при выполнении самостоятельной работы, но и для получения навыков исследовательской

и практической работы на лабораторном оборудовании. Лабораторные работы, как правило, проводятся в интерактивном режиме при работе в малых группах и диалоге с преподавателем с разбором конкретных ситуаций в процессе выполнения экспериментальных исследований и при защите полученных результатов. В ходе подготовки и выполнения некоторых лабораторных работ применяются дистанционные образовательные технологии с использованием онлайн-модулей, размещенных в ОРИОКС.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: электронная почта преподавателя, WhatsApp и др.

Дисциплина может быть реализована в дистанционном формате. При дистанционном обучении проводятся online лекции, практические и лабораторные занятия в Zoom. Вся информация доступна для студентов через среду ОРИОКС.

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 Технологическая лаборатория	Технологическая лаборатория оснащена: 1. Зондовое устройство А-5. 2. Измеритель характеристик полупроводниковых приборов Л2-56. 3. Лазерный эллипсометр SD2100. 4. Установка лабораторного типа для быстрого отжига RTP-1200-100 5. Установка магнетронного напыления различных функциональных слоев СБИС и МЭМС SSP 3000 SUGA.	Azure (Windows), Microsoft Office
Учебная аудитория Технологическая лаборатория	1. Малогабаритная вакуумная установка МВУ ТМ-ТИС осаждения тонких пленок методом термического испарения. 2. Малогабаритная вакуумная установка настольного типа МВУ ТМ Плазма-РИТ реактивно-ионного травления. 3. Малогабаритная вакуумная установка настольного типа МВУ ТМ-Магна нанесения пленок металлов. 4. Бокс для установки совмещения 726М-128.	Azure (Windows), Microsoft Office
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ.	Asure (Windows 7 Enterprise, Adobe, Microsoft Office Pro.

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по подкомпетенции ПК-2. ТИС Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике методику экспериментального исследования параметров технологических процессов (научно-исследовательская деятельность).

2. ФОС по подкомпетенции ПК-3. ТИС Способен выполнять расчет характеристик технологических процессов для создания элементов электронных приборов (проектно-конструкторская деятельность).

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Содержание дисциплины включает следующие последовательно изучаемые темы:

1. Организационно-технологические основы производства изделий микро- и нанoeлектроники
2. Физико-химические методы обработки поверхности.
3. Термическое окисление.
4. Термическая диффузия.
5. Ионное легирование.
6. Литография.
7. Плазменное травление.
8. Металлизация.

В процессе изучения курса предполагается самостоятельная работа студента при подготовке к лекционным, практическим и лабораторным занятиям, использование основной и дополнительной литературы, интернет-ресурсов, рекомендованных в п.п.6, 7.

По завершению изучения дисциплины предусмотрена промежуточная аттестация в виде экзамена, при этом оценка учебной деятельности студента основана на бальной системе.

Подготовка к практическим и лабораторным занятиям

Практические и лабораторные работы проводятся под руководством преподавателя. Чтобы хорошо подготовиться к учебным занятиям и лабораторной работе, студенту необходимо:

- уяснить вопросы и задания, рекомендуемые для подготовки к практическому и лабораторному занятиям;
- прочитать соответствующие главы учебника (учебного пособия)
- прочитать дополнительную литературу, рекомендованную преподавателем. Наиболее интересные мысли следует выписать;
- сформулировать и записать развернутые ответы на вопросы для подготовки к лабораторному и практическому занятиям;

Особенностью изучения дисциплины «Технология ИС» является последовательность изучения и усвоения учебного материала. Нельзя переходить к изучению нового, не усвоив предыдущего, так как понимание и знание последующего в курсе базируется на глубоком знании предыдущих тем. Особое внимание должно быть

обращено на усвоение содержания категорий дисциплины. Студентам целесообразно завести специальный словарь для записи содержания основных понятий.

Важной формой обучения, а также этапом подготовки к практическим и лабораторным занятиям является самопроверка знаний. В ходе самопроверки студент должен ответить на вопросы, рекомендованные для подготовки к учебным занятиям, а также составить план-конспект развернутых ответов. Это поможет глубже усвоить пройденный материал и прочно закрепить его в памяти. Вопросы, указанные в плане практического занятия, являются наиболее существенными. Если при самопроверке окажется, что ответы на некоторые вопросы неясны, то надо вновь обратиться к первоисточникам, учебнику (учебному пособию) и восполнить пробел.

На практическом занятии студентам очень важно внимательно слушать выступающих товарищей, записывать новые мысли и факты, замечать неточности или неясные положения в выступлениях, активно стремиться к развертыванию дискуссии, к обмену мнениями.

Одной из форм обучения, подготовки к практическому и лабораторному занятиям является консультация у преподавателя. Обращаться к помощи преподавателя следует в любом случае, когда студенту не ясно изложение какого-либо вопроса в учебной литературе или он не может найти необходимую литературу, а также при возникновении трудностей в подготовке отчета по лабораторным работам.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система.

Баллами оцениваются: выполнение и защита лабораторных работ, выполнение двух контрольных работ, прохождение рубежного контроля, написание реферата, представление доклада, активность в семестре (в сумме максимум 64 балла) и сдача экзамена (максимум 36 баллов).

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступны в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>.

РАЗРАБОТЧИК:

Профессор кафедры ИЭМС, д.т.н., профессор



/М.Г. Путря /

Рабочая программа дисциплины «Технология интегральных схем» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленность (профиль) – «Автоматизация проектирования изделий нанoeлектроники» разработана на кафедре ИЭМС и утверждена на заседании кафедры 26.11 2020 года, протокол № 5

Зам. заведующего кафедрой ИЭМС  /Т.Ю. Крупкина/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой ПКИМС.

Заведующий кафедрой ПКИМС  /С.В. Гаврилов/

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 /