

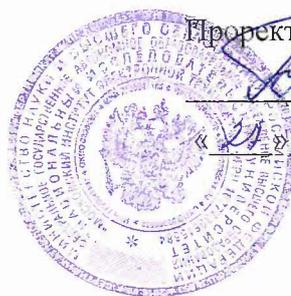
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт
электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР

А.Г. Балашов

« 21 » ноября 2023 г.



**ПРОГРАММА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ
“ПРОИЗВОДСТВО И РАЗРАБОТКА МИКРОСХЕМ”**

Москва - 2023

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

1.1. Цель реализации программы

Цель: формирование у слушателей профессиональных компетенций, необходимых для профессиональной деятельности в области производства и разработки интегральных схем и систем на кристалле с наноразмерными топологическими нормами.

1.2. Характеристика нового вида профессиональной деятельности, новой квалификации

Наименование нового вида деятельности: математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование компонентов, электронных приборов микро- и нанoeлектроники различного функционального назначения.

Область профессиональной деятельности: 40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности.

Объекты профессиональной деятельности: объектами профессиональной деятельности являются: компоненты, электронные приборы, устройства, методы их исследования, проектирования и конструирования, математические модели, алгоритмы решения типовых задач, современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий микро - и нанoeлектроники.

Задачи профессиональной деятельности:

- разработка технологического маршрута создания наноразмерных интегральных схем;
- разработка маршрута проектирования интегральных схем на основе наноразмерных правил проектирования
- разработка математических моделей, компьютерное моделирование исследуемых микросхем аналогового и смешанного сигнала, а также “систем на кристалле”.

Полученная квалификация дает право деятельности в области разработки и производства интегральных схем и систем на кристалле с наноразмерными топологическими нормами.

Вид экономической деятельности: Деятельность в области информации и связи.

Укрупненная группа специальностей: 11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи.

1.3. Требования к результатам освоения программы

Планируемые результаты освоения программы: выпускник должен обладать компетенциями, приведенными в таблице.

Компетенции определены на основании профессиональных стандартов:

- 40.006 Инженер-технолог в области производства наноразмерных полупроводниковых приборов и интегральных схем
- 40.040 Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнoфункциональных блоков

Планируемые результаты освоения программы

Код и формулировка компетенции	Трудовые функции, в соответствии с ПС		Индикаторы достижения компетенций
	Наименование	Код	
Способен разрабатывать технологические процессы производства изделий интегральной нанoeлектроники (ПК-1)	Разработка технологических процессов и внедрение их в производство	40.006 В/01.7	<p>Знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные технологические процессы создания и методы исследования элементной базы кремниевой нанoeлектроники; - особенности технологии создания элементов нанoeлектроники на основе арсенида и нитрида галлия, а также на основе самоорганизующихся систем. - базовые физико-химические основы технологии фотолитографии - направления и методы повышения разрешающей способности фотолитографии - основные этапы изготовления фотошаблонов - механизмы плазменного травления. состав и характеристики оборудования для ПТ - особенности влияния ПТ на физико-химические свойства обрабатываемой поверхности - классификация процессов ХОГФ функциональных слоев ИС - электрохимическое осаждение меди в технологии изготовления ИС. <p>Умения: рассчитывать режимы технологических операций изготовления элементов интегральных схем;</p> <p>Опыт деятельности: в области производства изделий интегральной нанoeлектроники.</p>
Способен исследовать маршруты проектирования цифровых, аналоговых блоков и систем	Автоматический синтез логической схемы СФблока	40.040 D/02.7	<p>Знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методологии и маршруты проектирования СНК и систем в корпусе с топологическими нормами до 90 нм; - основные проблемы в области

<p>смешанного сигнала в составе СНК (ПК-2)</p>			<p>проектирования СНК с топологическими нормами до 90 нм; - маршрута проектирования цифровых схем; - синтаксиса языка описания аппаратуры; - принципов построения поведенческой модели, электрической схемы и топологии логического элемента; - правил проектирования топологии активных и пассивных элементов КМОП аналоговых интегральных схем. Умения: разрабатывать модели интегральных схем на языках описания аппаратуры. Опыт деятельности: в области разработки интегральных схем и систем на кристалле.</p>
--	--	--	--

1.4. Требования к уровню подготовки поступающего на обучение, необходимому для освоения программы

Инженеры, профильные специалисты, имеющие высшее образование.

1.5. Трудоемкость обучения

Нормативная трудоемкость обучения по данной программе – 250 часов, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы слушателя.

1.6 Форма обучения

Форма обучения – очно-заочная с использованием дистанционных образовательных технологий. Форма обучения устанавливается при наборе группы слушателей и фиксируется в договорах с заказчиками на оказание образовательных услуг.

1.7 Режим занятий

Занятия проводятся с частичным отрывом от производства.

При любой форме обучения учебная нагрузка устанавливается не более 54 часов в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы слушателя. Продолжительность одного часа занятий 45 минут.

3. РАБОЧИЕ ПРОГРАММЫ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН (МОДУЛЕЙ), ПРАКТИК И СТАЖИРОВОК

3.1. Рабочая программа учебной дисциплины “Технологические процессы нанoeлектроники”

3.1.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель дисциплины – повышение уровня квалификации специалистов в области разработки технологических процессов и исследования параметров технологических структур изделий интегральной нанoeлектроники.

3.1.2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины (модуля)

Планируемые результаты освоения программы:

Дисциплина участвует в формировании компетенции ПК-1 Способен разрабатывать технологические процессы производства изделий интегральной нанoeлектроники.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен иметь:

Знания:

- основные технологические процессы создания и методы исследования элементной базы кремниевой нанoeлектроники;
- особенности технологии создания элементов нанoeлектроники на основе арсенида и нитрида галлия, а также на основе самоорганизующихся систем.

3.1.3. Учебно-тематический план дисциплины

№	Наименование разделов и тем	Всего, час	Контактная работа			ДОТ, час			Самост. работа, час
			Лекции, час	Практ. зан. час	Лаб.зан. час	Лекции, час	Практ. зан. час	Лаб.зан. час	
1.	Технология кремниевой нанoeлектроники	44	-	-	-	24	-	-	20
1.1	Особенности создания транзисторов с нанометровыми топологическими нормами	34	-	-	-	18	-	-	16
1.2	Методы исследования наноструктур	10	-	-	-	6	-	-	4
2.	Технологии нанoeлектроники на основе арсенида и нитрида галлия и самоорганизующихся систем	16	-	-	-	8	-	-	8
2.1	Технологические особенности создания элементов нанoeлектроники на основе арсенида галлия.	8	-	-	-	4	-	-	4

2.2	Технология наноэлектроники на основе самоорганизующихся систем	8	-	-	-	4	-	-	4
	Всего	60	-	-	-		-	-	28
	Промежуточная аттестация: зачет					32			

3.1.4. Содержание дисциплины

Раздел 1. Технология кремниевой наноэлектроники (44 часа).

Тема 1.1. Особенности создания транзисторов с нанометровыми топологическими нормами.

Тема 1.2 Методы исследования наноструктур.

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
1.1	Фундаментальные ограничения при создании элементов кремниевой наноэлектроники	2
1.1	Легированные области активных элементов кремниевой наноэлектроники	2
1.1	Особенности создания подзатворного диэлектрика МОП транзисторов с нанометровыми топологическими нормами	2
1.1	Конструктивно- технологические особенности изолирующих областей активных элементов наноэлектроники	2
1.1	Технология оптической нанолитографии	2
1.1	Технология импринт - литографии	2
1.1	Многоуровневая металлизации кремниевой наноэлектроники.	2
1.1	Материалы силицидных омических контактов. Технологические особенности создания силицидных контактов	2
1.1	Основные проблемы создания многоуровневой металлизации с медными межсоединениями	2
1.2	Методы исследования морфологии наноструктур	2
1.2	Сканирующая зондовая микроскопия. Основные методы	2
1.2	Нанолитография на основе локального зондового окисления	2

Практические занятия не предусмотрены
Лабораторные работы не предусмотрены

Раздел 2. Технологии нанoeлектроники на основе арсенида и нитрида галлия и самоорганизующихся систем (8 часов).

Тема 2.1. Технологические особенности создания элементов нанoeлектроники на основе арсенида галлия.

Тема 2.2. Технология нанoeлектроники на основе самоорганизующихся систем.

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
2.1	Технологические особенности создания элементов нанoeлектроники на основе арсенида галлия	2
2.1	Технологические особенности создания элементов нанoeлектроники на основе нитрида галлия	2
2.2	Технология самоорганизующихся систем	2
2.2	Технологические особенности формирования элементов нанoeлектроники на основе пористых оксидов металлов	2

3.1.5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Металлизация ультрабольших интегральных схем : Учеб. пособие / Д.Г. Громов [и др.]; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 277 с.
2. Основы технологии электронной компонентной базы : Лабораторный практикум / А.А. Голишников [и др.]; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : МИЭТ, 2013. - 176 с.
3. Нанотехнологии в электронике . [Вып. 1] / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2005. - 448 с.
4. Нанотехнологии в электронике. Вып. 2. Под ред. Ю.А. Чаплыгин. М.: Техносфера. 2013. 688с.
5. Нанотехнологии в электронике. Вып. 3 / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2015. - 480 с.
6. Королев М.А. (Автор МИЭТ, ИЭМС). 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.
7. Королев М.А. (Автор МИЭТ, ИЭМС). 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.
8. Технологические процессы нанoeлектроники: 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.

3.1.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место пользователя	Лекционные занятия	компьютер с выходом в интернет, средства ВКС
Рабочее место пользователя	СРС	компьютер с выходом в интернет

3.1.7. Самостоятельная работа слушателей

№	Наименование разделов и тем	Самост. работа, час	Вид самостоятельной работы
1.	Технология кремниевой нанoeлектроники	20	Освоение теоретического материала. Подготовка к тестированию. Подготовка к зачету
2.	Технологии нанoeлектроники на основе арсенида и нитрида галлия и самоорганизующихся систем	8	Освоение теоретического материала. Подготовка к зачету

3.1.8. Система контроля и оценивания. Структура и график контрольных мероприятий

Оценка качества освоения дисциплины осуществляется в форме зачета.

Зачет проводится в конце изучения дисциплины. Для допуска к зачету слушатель должен пройти тестирование по пройденному теоретическому материалу и правильно ответить на 10 и более вопросов из 15 вопросов теста.

Вопросы к зачету приведены далее:

№ п/п	Вопросы к зачету
1	Основные технологические операции маршрута изготовления ИС
2	Основные достоинства поликремния в качестве материала затвора МОП транзистора
3	Недостатки алюминиевых омических контактов
4	Проблемы многоуровневой металлизации
5	Сканирующая зондовая микроскопия
6	Методы литографии для создания создания ИС с нанометровыми прецедными нормами

7	Силицидные контакты к кремнию
8	Ретроградное распределение примеси в области канала МОП транзистора
9	Альтернативные диэлектрики для создания подзатворного диэлектрика
10	Процесс локального зондового анодного окисления
11	Контакты к высоколегированному кремнию. Основные электрофизические параметры
12	Факторы, влияющие на скорость плазмохимического травления
13	Факторы, влияющие на скорость термического окисления
14	Диффузия примесей в кремнии
15	Практические методы термодиффузии
16	Параметры диффузионных слоев и методы их контроля
17	Ионное легирование кремния. Достоинства и недостатки
18	Характер распределения примеси в кремнии после ионного легирования
19	Суть постимплантационного отжига в кремнии
20	Особенности ионного легирования монокристаллического кремния. Каналирование
21	Классификация процессов литографии
22	Основные элементы системы металлизации
23	Алюминиевые омические контакты
24	Силицидные омические контакты

Слушатель отвечает на 2 вопроса. Каждый вопрос оценивается по критериям. Зачет ставится если всего набрано не менее 4 баллов.

№ п/п	Критерии оценки ответов на каждый вопрос	Балл
1	Эффект или явление описано качественно без иллюстраций и примеров	1
2	Эффект или явление описано качественно, приведены иллюстрации	2
3	Эффект или явление описано качественно, приведены иллюстрации и конкретные примеры	3

3.1. Рабочая программа учебной дисциплины “Методы формирования наноразмерных элементов интегральных схем”

3.1.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель дисциплины – повышение уровня квалификации специалистов в области производства изделий интегральной наноэлектроники с использованием методов нанолитографии, плазменного травления и нанесения материалов. Дисциплина посвящена изучению методов, оборудования и расходных материалов для нанолитографии, плазменной обработки полупроводниковых и диэлектрических слоев, методов нанесения слоев при создании элементной базы наноразмерных интегральных схем.

3.1.2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины (модуля)

Планируемые результаты освоения программы:

Дисциплина участвует в формировании компетенции ПК-1 Способен разрабатывать технологические процессы производства изделий интегральной наноэлектроники.

3.1.4. Содержание дисциплины

Раздел 1. Основы технологии наноразмерной фотолитографии (14 часов).

Тема 1.1. Основы нанолитографии

Тема 1.2 Базовый технологический модуль фотолитографии

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
1.1	Основные этапы технологического маршрута изготовления ИС. Литографический цикл. Классификация методов нанолитографии.	2
1.1	Базовые физико-химические основы технологии фотолитографии.	2
1.1	Факторы, определяющие разрешение фотолитографии. Передача изображения топологического рисунка фотошаблона в слой фоторезиста.	2
1.2	Базовый технологический модуль фотолитографии. Особенности технологических операций фотолитографии. Технологические характеристики операций фотолитографии. Параметры технологического оборудования.	2
1.2	Направления и методы повышения разрешающей способности фотолитографии. Основные этапы изготовления фотошаблонов.	2

Практические занятия не предусмотрены
Лабораторные работы не предусмотрены

Раздел 2. Основы плазменных методов обработки функциональных слоев наноразмерных ИС (18 часов).

Тема 2.1. Процессы плазменного травления.

Тема 2.2. Применение методов плазменного травления в наноразмерном маршруте и при формировании МЭМС.

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
2.1	Применение плазменных технологий формирования рисунка при изготовлении ИС. Классификация процессов ПТ.	2
2.1	Механизмы плазменного травления. Состав и характеристики оборудования для ПТ. Входные и выходные параметры процессов ПТ.	2
2.1	Принцип формирования газовых смесей для ПТ. Особенности свойств газовой фазы в разрядах многокомпонентных газовых смесях.	2
2.1	Основные параметрические зависимости параметров ПТ функциональных слоев ИС.	2

2.2	Обзор проблем травления щелевых структур в кремнии, селективного травления диэлектрических слоев и слоев межсоединений.	2
2.2	Особенности влияния ПТ на физико-химические свойства обрабатываемой поверхности. Использование процессов ПТ в технологии самоформирования.	2
2.2	Плазменное профилирование кремния при изготовлении МЭМС.	2
2.2	Методология разработки процессов ПТ.	2

**Практические занятия не предусмотрены
Лабораторные работы не предусмотрены**

Раздел 3. Основы методов получения функциональных слоев наноразмерных ИС (18 часов).

Тема 3.1. Процессы осаждения функциональных слоев

Тема 3.2. Особенности формирования металлизации наноразмерных интегральных схем

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
3.1	Применение технологий формирования функциональных слоев при изготовлении ИС. Характеристики структуры до и после операции осаждения функционального слоя. Технологические параметры процессов осаждения функциональных слоев ИС.	2
3.1	Технологические параметры процессов осаждения функциональных слоев ИС.	2
3.1	Классификация процессов ХОГФ функциональных слоев ИС. Осаждение пленок различных диэлектрических материалов, тугоплавких металлов и их силицидов, используемых при формировании наноструктур.	2
3.1	Процессы ХОГФ с дискретной подачей реагентов. Процессы атомно-слоевого осаждения пленок диэлектриков с высокой диэлектрической постоянной и диффузионно-барьерных слоев (ДБС).	2
3.2	Магнетронное распыление. Современные системы ФОГФ и их особенности.	2
3.2	Многослойная многоуровневая система металлизации с медными межсоединениями.	2
3.2	Электрохимическое осаждение меди в технологии изготовления ИС.	2
3.2	Условия субконформного, конформного и суперконформного осаждения меди в процессах катодного заполнения контактных, переходных окон и траншей.	2

**Практические занятия не предусмотрены
Лабораторные работы не предусмотрены**

3.1.5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. М.А. Королев, Т.Ю. Крупкина, М.Г. М.А.Ревелева. Технология, конструкции методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. // Учебное пособие, под ред. Ю.А. Чаплыгина Часть 1 М.: Изд «БИНОМ. Лаборатория знаний» 2007.
2. М.А. Королев, Т.Ю. Крупкина, М.Г. Путря, В.И. Шевяков. Технология, конструкции методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. // Учебное пособие, под ред. Ю.А. Чаплыгина Часть 2. М.: Изд «БИНОМ. Лаборатория знаний» 2009. 422с.
4. А.А. Голишников, М.Г. Путря, “Вакуумные плазменные технологии в производстве СБИС”, учебное пособие.-М.:МИЭТ, 2010.-164 с.
5. А.А. Голишников, А.Ю. Красюков, С.А. Поломошнов, М.Г. Путря, В.И. Шевяков. “Основы технологии электронной компонентной базы”.-М.:МИЭТ, 2013.-176 с.
6. Путря М.Г. Плазменные методы формирования трехмерных структур СБИС: учебное пособие.-М.МИЭТ, 2005.-135с.
7. В.Ю.Киреев. Введение в технологии микроэлектроники и нанотехнологии. –М.: ФГУП «ЦНИИХИМ», 2008.-432с.

3.1.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место пользователя	Лекционные занятия	компьютер с выходом в интернет, средства ВКС
Рабочее место пользователя	СРС	компьютер с выходом в интернет

3.1.7. Самостоятельная работа слушателей

№	Наименование разделов и тем	Самост. работа, час	Вид самостоятельной работы
1.	Основы технологии наноразмерной фотолитографии	4	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету
2.	Основы плазменных методов обработки функциональных слоев наноразмерных ИС	10	Изучение теоретического материала, подготовка к тестированию, подготовка к зачету
3.	Основы методов получения функциональных слоев наноразмерных ИС	8	Изучение теоретического материала, подготовка к тестированию, подготовка к зачету

3.1.8. Система контроля и оценивания. Структура и график контрольных мероприятий

Оценка качества освоения дисциплины осуществляется в форме зачета.

Зачет проводится в конце изучения дисциплины. Для допуска к зачету слушатель должен пройти тестирование по пройденному теоретическому материалу и правильно ответить на 10 и более вопросов из 15 вопросов теста.

Зачет проводится в конце изучения дисциплины. Вопросы к зачету приведены далее:

№ п/п	Вопросы к зачету
1	Основные этапы технологического маршрута изготовления ИС. Литографический цикл
2	Классификация методов нанолитографии
3	Базовые физико-химические основы технологии фотолитографии
4	Факторы, определяющие разрешение фотолитографии. Передача изображения топологического рисунка фотошаблона в слой фоторезиста
5	Базовый технологический модуль фотолитографии. Особенности технологических операций фотолитографии. Технологические характеристики операций фотолитографии
6	Параметры технологического оборудования литографии
7	Направления и методы повышения разрешающей способности фотолитографии
8	Основные этапы изготовления фотошаблонов
9	Применения плазменных технологий формирования рисунка при изготовлении ИС
10	Классификация процессов ПТ
11	Механизмы плазменного травления. Состав и характеристики оборудования для ПТ. Входные и выходные параметры процессов ПТ
12	Принцип формирования газовых смесей для ПТ. Особенности свойств газовой фазы в разрядах многокомпонентных газовых смесей.
13	Основные параметрические зависимости параметров ПТ функциональных слоев ИС
14	Обзор проблем травления щелевых структур в кремнии, селективного травления диэлектрических слоев и слоев межсоединений
15	Особенности влияния ПТ на физико-химические свойства обрабатываемой поверхности
16	Использование процессов ПТ в технологии самоформирования
17	Плазменное профилирование кремния при изготовлении МЭМС
18	Методология разработки процессов ПТ
19	Применение технологий формирования функциональных слоев при изготовлении ИС
20	Характеристики структуры до и после операции осаждения функционального слоя
21	Технологические параметры процессов осаждения функциональных слоев ИС
22	Классификация процессов ХОГФ функциональных слоев ИС
23	Осаждение пленок различных диэлектрических материалов, тугоплавких металлов и их силицидов, используемых при формировании наноструктур.
24	Процессы ХОГФ с дискретной подачей реагентов
25	Процессы атомно-слоевого осаждения пленок диэлектриков с высокой диэлектрической постоянной и диффузионно-барьерных слоев (ДБС)
26	Магнетронное распыление. Современные системы ФОГФ и их особенности.
27	Многослойная многоуровневая система металлизации с медными межсоединениями
28	Электрохимическое осаждение меди в технологии изготовления ИС

29	Условия субконформного, конформного и суперконформного осаждения меди в процессах катодного заполнения контактных, переходных окон и траншей
----	--

Слушатель отвечает на 2 вопроса. Каждый вопрос оценивается по критериям. Зачет ставится если всего набрано не менее 4 баллов.

№ п/п	Критерии оценки ответов на каждый вопрос	Балл
1	Эффект или явление описано качественно без иллюстраций и примеров	1
2	Эффект или явление описано качественно, приведены иллюстрации	2
3	Эффект или явление описано качественно, приведены иллюстрации и конкретные примеры	3

3.2. Рабочая программа учебной дисциплины «Основные этапы проектирования цифровых блоков СнК с использованием автоматизированных САПР»

3.2.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель дисциплины - формирование компетенций в области методологии и маршрутов проектирования систем на кристалле (СНК) с топологическими нормами 90 нм.

3.2.2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)

Дисциплина (модуль) участвует в формировании компетенции ПК-2 Способен исследовать маршруты проектирования цифровых, аналоговых блоков и систем смешанного сигнала в составе СНК.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен иметь:

Знания:

- методологии и маршруты проектирования СНК и систем в корпусе с топологическими нормами до 90 нм;
- основные проблемы в области проектирования СНК с топологическими нормами до 90 нм;

3.2.3. Учебно-тематический план дисциплины

№	Наименование разделов и тем	Всего, час	Контактная работа			ДОТ, час			Самост. работа, час
			Лекции,	Практ.	Лаб.зан. час	Лекции, час	Практ. Зан. час	Лаб.зан. час	
1	Современная технология, маршруты проектирования и производство СНК	1	-	-	-	1	-	-	-
2	Особенности проектирования сложно-функциональных блоков и СНК с топологическими нормами до 90 нм	2	-	-	-	1	-	-	1

3	Обеспечение надежности и основы теории выхода годных	4	-	-	-	2	-	-	2
4	Организация контроля и испытаний СНК	4	-	-	-	2	-	-	2
5	Организация разработок и подготовка производства изделий микроэлектронной техники	3	-	-	-	2	-	-	1
Всего		14	-	-	-	8	-	-	6
Промежуточная аттестация: зачет									

3.2.4. Содержание дисциплины Перечень лекционных занятий

Номер раздела и темы	Наименование лекционного занятия	Количество часов
1	Закон Мура в современной микроэлектронике. Развитие элементной базы БИС. Ограничения кремниевой технологии. Прогноз предельных параметров МОП приборов. Производственный маршрут и производственные связи, выбор производителя.	1
2	Развитие САПР и методологии проектирования БИС. СНК – новая методология проектирования заказных микросхем. Выбор технологии для СНК. Техническое обеспечение проекта СНК. Выбор маршрута проектирования СНК. Основные этапы проектирования заказных БИС и СНК.	1
3	Обеспечение надежности микросистем. Основы теории выхода годных.	2
4	Организация контроля и испытаний изделий электронной техники.	1
5	Организация разработок микросхем в дизайн-центре. Подготовка производства изделий электронной техники.	1

**Практические занятия не предусмотрены
Лабораторные занятия не предусмотрены**

3.2.5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1. Кобзев Ю.М. , Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП-микросхем. Краткий справочник разработчика. - М.: Горяч.Линия-Телеком, 2005.
2. Немудров В., Мартин Г. Проектирование систем на кристалле. - М.: Техносфера, 2004.
3. Alan Hastings. The Art of Analog Layout, 2001, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
4. International Technology Roadmap for Semiconductors, 2009 Edition, <https://irds.ieee.org/>

3.2.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место пользователя	Лекционные занятия	компьютер с выходом в интернет, средства ВКС
Рабочее место пользователя	СРС	компьютер с выходом в интернет

3.2.7. Самостоятельная работа слушателей.

№	Наименование разделов и тем	Самост. работа, час	Вид самостоятельной работы
1	Современная технология, маршруты проектирования и производство СНК	1	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету
2	Особенности проектирования сложно-функциональных блоков и СНК с топологическими нормами до 90 нм	1	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету
3	Обеспечение надежности и основы теории выхода годных	2	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету
4	Организация контроля и испытаний СНК	1	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету
5	Организация разработок и подготовка производства изделий микроэлектронной техники	1	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету

3.2.8. Система контроля и оценивания. Структура и график контрольных мероприятий

Оценка качества освоения дисциплины осуществляется в форме зачета. Зачет проводится в конце изучения дисциплины. Вопросы к зачету приведены далее:

№ п/п	Вопросы к зачету
1	Закон Мура в современной микроэлектронике. Развитие элементной базы БИС. Ограничения кремниевой технологии
2	Прогноз предельных параметров МОП приборов.
3	Производственный маршрут и производственные связи, выбор производителя.
4	Развитие САПР и методологии проектирования БИС.
5	СНК – новая методология проектирования заказных микросхем.
6	Выбор технологии для СНК. Техническое обеспечение проекта СНК.
7	Выбор маршрута проектирования СНК.
8	Основные этапы проектирования заказных БИС и СНК.

9	Искажения сигналов и шумы в современных БИС
10	Особенности проектирования аналоговых СФ-блоков
13	Защита микросхем от электростатического разряда и оптимизация элементов защиты ИМС от электростатического разряда
14	Тепловые процессы в интегральных микросхемах
15	Обеспечение надежности микросистем. Основы теории выхода годных.
16	Организация испытаний изделий электронной техники

Слушатель отвечает на 2 вопроса из групп (номеров вопросов) 1-8,9-16. Каждый вопрос оценивается по критериям. Зачет ставится если всего набрано не менее 4 баллов.

№ п/п	Критерии оценки ответов на каждый вопрос	Балл
1	Эффект или явление описано качественно без иллюстраций и примеров	1
2	Эффект или явление описано качественно, приведены иллюстрации	2
3	Эффект или явление описано качественно, приведены иллюстрации и конкретные примеры	3

3.3. Рабочая программа учебной дисциплины «Маршруты создания аналоговых блоков и систем смешанного сигнала»

3.3.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель дисциплины - формирование компетенций в области разработки маршрутов создания аналоговых блоков и схем смешанного сигнала

3.3.2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)

Дисциплина (модуль) участвует в формировании компетенции ПК-2 Способен исследовать маршруты проектирования цифровых, аналоговых блоков и систем смешанного сигнала в составе СнК.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен иметь:

Знания:

- маршрута проектирования цифровых схем;
- синтаксиса языка описания аппаратуры;
- принципов построения поведенческой модели, электрической схемы и топологии логического элемента;
- правил проектирования топологии активных и пассивных элементов КМОП аналоговых интегральных схем.

3.3.3. Учебно-тематический план дисциплины

№	Наименование разделов и тем	Всего, час	Контактная работа			ДОТ, час			Самост. работа, час
			Лекции, час	Практ. зан. час	Лаб.зан. час	Лекции, час	Практ. зан. час	Лаб.зан. час	
1	Проектирование стандартных элементов библиотеки	6	-	-	-	4	-	-	2
2	Программирование на языке поведенческого описания схем VERILOG	9	-	-	-	6	-	-	3
3	Синтез логических схем из поведенческого описания с использованием библиотеки стандартных элементов	9	-	-	-	6	-	-	3
4	Построение моделей основных элементов аналоговых ИС	6	-	-	-	4	-	-	2
5	Проектирование аналоговых блоков и систем смешанного сигнала	6	-	-	-	4	-	-	2
	Всего	36	-	-	-	24	-	-	12
Промежуточная аттестация: зачет									

3.3.4. Содержание дисциплины Перечень лекционных занятий

Номер раздела и темы	Наименование лекционного занятия	Количество часов
1	Классический маршрут проектирования цифровых интегральных схем, с использованием стандартных ячеек, классификации интегральных схем, ПЛИС, БМК.	1
1	Основные характеристики стандартных элементов, способы измерения, моделирование.	1
1	Примеры электрических схем стандартных элементов, способы их тестирования.	1
1	Особенности топологического проектирование с проектными нормами 90 - 65 нм	1
2	Ведение в VERILOG, Маршрут проектирования, Формат VERILOG модуля, Алфавит, операторы	1
2	Уровни абстракции при поведенческом описании схем, примеры	1
2	Типы данных, конструкции assign always, блокирующее и не блокирующее присвоение	2
2	Конструкции if, case; Циклы	2
3	Назначение и синтаксис файла LIB	1
3	Примеры проведения экстраполяции временных параметров схемы с использование LIB файла	1

3	Назначение и синтаксис файла LEF	2
3	Назначение и синтаксис файла SDF	2
4	Классификация, особенности, основные функции аналоговых БИС. Пассивные и активные компоненты	1
4	Интегральные диоды. Основные конструкции и схемы включения. Эквивалентные схемы. Применение диодов.	1
4	Интегральные транзисторы. Дифференциальные проводимости, малосигнальные эквивалентные схемы биполярного транзистора.	1
4	Малосигнальные эквивалентные схемы полевого транзистора, схемы включения с общим истоком, общим стоком и общим затвором.	1
5	Рассмотрение эффекта накопления заряда в кристалле	1
5	Рассмотрение эффектов электромиграции и саморазогрева в кристалле	1
5	Правила проектирования контактных площадок и их расположения. Правила защиты схем от электростатического разряда. Экранирование от помех	1
5	Эффект защелкивания и проектирование охранных колец	1

Практические занятия не предусмотрены
Лабораторные занятия не предусмотрены

3.3.5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : Учеб. пособие / В.И. Старосельский; [Под ред. Ю.А. Парменова]. - М. : Юрайт : Высшее образование, 2009. - 463 с.
2. З. Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП - микросхем : Краткий справочник разработчика / В.И. Эннс, Ю.М. Кобзев. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 454 с.
4. Галочкин В. А. Схемотехника аналоговых и цифровых устройств : учебник / В. А. Галочкин. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 312 с. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2099137> (дата обращения: 27.10.2023). - Текст : электронный.
5. Грушвицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой / Р.И. Грушвицкий, А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб. : БХВ-Петербург, 2006. - 736 с.
6. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера RISC-V / Д. М. Харрис ; под редакцией А. Ю. Романова ; перевод с английского В. С. Яценкова . - Москва : ДМК Пресс, 2022. - 810 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/241166> (дата обращения: 06.10.2023). - Текст : электронный.

3.3.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место пользователя	Лекционные занятия	компьютер с выходом в интернет, средства ВКС
Рабочее место пользователя	СРС	компьютер с выходом в интернет

3.3.7. Самостоятельная работа слушателей

№	Наименование разделов и тем	Самост. работа, час	Вид самостоятельной работы
1	Проектирование стандартных элементов библиотеки	2	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету
2	Программирование на языке поведенческого описания схем VERILOG	3	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету
3	Синтез логических схем из поведенческого описания с использованием библиотеки стандартных элементов	3	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету
4	Построение моделей основных элементов аналоговых ИС	2	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету
5	Проектирование аналоговых блоков и систем смешанного сигнала	2	Изучение теоретического материала, подготовка к зачету

3.3.8. Система контроля и оценивания. Структура и график контрольных мероприятий

Оценка качества освоения дисциплины осуществляется в форме зачета. Зачет проводится в конце изучения дисциплины. Вопросы к зачету приведены далее:

№ п/п	Вопросы к зачету
1	Классический маршрут проектирования цифровых интегральных схем, с использованием стандартных ячеек, классификации интегральных схем, ПЛИС, БМК.
2	Основные характеристики стандартных элементов, способы измерения, моделирование.
3	Примеры электрических схем стандартных элементов, способы их тестирования.
4	Топологические нормы, назначение
5	Примеры топология библиотечных элементов.
6	Особенности топологического проектирование с проектными нормами 90 - 65 нм
7	Ведение в VERILOG, Маршрут проектирования, Формат VERILOG модуля, Алфавит, операторы
8	Уровни абстракции при поведенческом описании схем, примеры
9	Интегральные диоды. Основные конструкции и схемы включения. Эквивалентные схемы. Применение диодов.
10	Интегральные транзисторы. Дифференциальные проводимости, малосигнальные эквивалентные схемы биполярного транзистора.

11	Малосигнальные эквивалентные схемы полевого транзистора, схемы включения с общим истоком, общим стоком и общим затвором.
12	Рассмотрение эффекта накопления заряда в кристалле
13	Рассмотрение эффектов электромиграции и саморазогрева в кристалле
14	Правила проектирования контактных площадок и их расположения. Правила защиты схем от электростатического разряда.
15	Эффект защелкивания и проектирование охранных колец
16	Классификация, особенности, основные функции аналоговых БИС.

Слушатель отвечает на 2 вопроса из групп (номеров вопросов) 1-8,9-16. Каждый вопрос оценивается по критериям. Зачет ставится если всего набрано не менее 4 баллов.

№ п/п	Критерии оценки ответов на каждый вопрос	Балл
1	Эффект или явление описано качественно без иллюстраций и примеров	1
2	Эффект или явление описано качественно, приведены иллюстрации	2
3	Эффект или явление описано качественно, приведены иллюстрации и конкретные примеры	3

3.4 Рабочая программа практики

3.4.1. Цель реализации практики

Цель практики – повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации в области производства и разработки интегральных схем и систем на кристалле с наноразмерными топологическими нормами.

3.4.2. Требования к результатам обучения

Практика участвует в формировании профессиональных компетенций:

- способен разрабатывать технологические процессы производства изделий интегральной нанoeлектроники (ПК-1).
- способен исследовать маршруты проектирования цифровых, аналоговых блоков и систем смешанного сигнала в составе СнК (ПК-2).

В результате прохождения практики слушатель должен иметь:

Умения: - рассчитывать режимы технологических операций изготовления элементов интегральных схем;

- разрабатывать модели интегральных схем на языках описания аппаратуры.

Опыт деятельности:

- в области производства изделий интегральной нанoeлектроники;

- в области разработки интегральных схем и систем на кристалле.

3.4.3 Содержание практики

Учебный план программы практики

№	Наименование разделов и тем	Всего, час	ДОТ, час			Самост. работа, час
			Лекции, час	Практ. Зан. час	Лаб.зан. час	
1	Разработка технологического маршрута создания наноразмерных интегральных элементов	32		-	-	32
2	Разработка поведенческого описания цифровой интегральной схемы	20		-	-	20
3	Подготовка технического задания на проектирование стандартных элементов интегральных схем	20		-	-	20
	Всего	72	-	-	-	72
Промежуточная аттестация: зачет						

Типовое задание по практике:

1. Разработка технологического маршрута изготовления КМДП интегральной схемы, расчета режимов технологических операций.
2. Разработка поведенческих моделей логических вентилях и триггеров на основе языка VERILOG.
3. Подготовка технического задания на проектирование цифровой интегральной схемы.

Конкретные темы практики назначаются на профильном предприятии.

3.4.4 Учебно-методическое обеспечение практики

1. Микроэлектроника / РАН. - М. : ИКЦ Академкнига, 1972 - . - URL: http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7900 (дата обращения: 30.09.2023). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей
2. Semiconductors = Физика и техника полупроводников. - Springer, [1997] - . - URL: <http://link.springer.com/journal/11453> (дата обращения: 14.06.2023)
3. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека : сайт. - Москва, 2000 - . - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.09.2023). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей
4. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 30.09.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
5. 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. : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 400 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/66309> (дата обращения: 09.12.2020). - ISBN 978-5-9963-2904-5

6. 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.

7. Вонг Б.П. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне / Б.П. Вонг, А. Миттал, Ю. Цао, Г. Старр. М.: Техносфера, 2014.-432 с.

8. А.А. Голишников, С.А. Поломошнов, И.В. Сагунова, В.И. Шевяков. “Технологические процессы нанoeлектроники”, лабораторный практикум.-М.:МИЭТ, 2016.-192 с.

Пухальский, Г. И. Проектирование цифровых устройств : учебное пособие / Г. И. Пухальский, Т. Я. Новосельцева. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 896 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - URL: <https://e.lanbook.com/book/168881> (дата обращения: 07.10.2020).

3.4.5 Материально-технические условия реализации практики

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место пользователя	практика	Компьютер с выходом в интернет

3.4.6. Система контроля и оценивания практики

Для получения зачета по практике нужно оформить итоговый отчет по практике, который представляет собой результаты выполнения заданий на разделы практики. Отчет по практике оформляется как итоговая аттестационная работа (ИАР).

4. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

Описание учебно-методического и материально-технического обеспечения программы переподготовки приведено в рабочих программах учебных дисциплин.

5. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Оценка качества освоения программы переподготовки включает текущую, промежуточную аттестацию в дисциплинах, практике и итоговую аттестацию обучающихся в виде сдачи/защиты ИАР. Допуском к сдаче/защите ИАР является наличие зачетов по всем модулям учебного плана.

ИАР оформляется на основе отчета по результатам практики.

Формируемые компетенции описаны в разделе 1.3. Критерии оценки ИАР приведены далее:

№	Критерии оценки ИАР	Максимальный балл
1	Соблюдение календарного плана выполнения ИАР	10
2	Практическая ценность ИАР	20
3	Глубина проработки теоретического материала	30
4	Научно-исследовательский характер работы	30
5	Соответствие оформления ИАР требованиям ГОСТ	10

Оценка "удовлетворительно" ставится при наборе 50-69 баллов;
Оценка "хорошо" ставится при наборе 70-85 баллов;
Оценка "отлично" ставится при наборе более 85 баллов.

Разработчики программы:

к.т.н., доцент Института ИнЭл



Е.А. Артамонова

к.т.н., доцент Института ИнЭл



И.В. Сагунова

к.т.н., доцент Института ИнЭл



А.Ю. Красноков

Согласовано:

Директор ДРОП



Н.Ю. Соколова

Директор Института ИнЭл



В.В. Лосев