


Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 01.09.2023 15:29:42  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f756d76c8f8bea882b8d602

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» сентября 2020г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Технологические процессы нанoeлектроники. Специальные разделы»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Проектирование и технология устройств интегральной нанoeлектроники»

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК-6 «Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов»**

**сформулирована на основе профессионального стандарта 40.040 «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»**

**Обобщенная трудовая функция D «Разработка электрических схем, характеристика сложнофункциональных блоков (СФ-блоков)».**

**Трудовая функция D/01.7 «Разработка электрической принципиальной схемы СФ-блока»**

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
<p>ПК-6.ТПНЭСР. Способен исследовать технологические процессы создания элементов интегральной нанoeлектроники</p>	<p>научно-исследовательская деятельность: разработка методики и проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов</p>	<p><b>Знания:</b> физико-химические механизмы, лежащие в основе базовых технологических операций создания твердотельных приборов и устройств нанoeлектроники с топологическими нормами 90 нм и ниже; основы современных методов и технологий создания и исследования наноструктур интегральной электроники. <b>Умения:</b> выбирать и использовать технологические процессы для создания интегральных наноструктур; применять современные экспериментальные методы анализа физических и химических свойств наноструктур и наноматериалов; исследования параметров и характеристик формируемых приборов и устройств. <b>Опыт деятельности:</b> исследование технологических процессов создания полупроводниковых приборов</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

Входные требования к дисциплине:

- знание основ технологии изготовления электронной компонентной базы, технологических операций создания кремниевых ИС;
- знание основных технологических маршрутов создания кремниевой электронной компонентной базы.

## 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)		
2	3	3	108	-	16	16	76	ЗаО

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)	Самостоятельная работа (часы)		
1. Процессы плазменного травления функциональных слоев УБИС.	-	10	12	12	Выполнение и защита лабораторных работ	
				10	Опрос на практических занятиях	
				10	Контрольная работа № 1	

2. Методы получения тонких пленок	-	6	4	4	Выполнение и защита лабораторной работы
				6	Опрос на практических занятиях
				10	Контрольная работа № 2
				20	Сдача практического задания
				4	Защита реферата

#### 4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены.

#### 4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Современное состояние микро- и нанoeлектроники. Тенденции в развитии КМОП-технологии. Закон Мура. Цели масштабирования КМОП-транзисторов. Диэлектрики с низкой и высокой диэлектрической проницаемостью. Особенности «Damascene» технологии формирования системы медной металлизации.
	2	2	Роль плазменных процессов в производстве изделий микро- и нанoeлектроники. Применение плазменных процессов в производстве УБИС и НЭМС. Тенденции развития плазменных технологий. Современные плазменные системы, используемые в производстве изделий нанoeлектроники. Кластерное оборудование.
	3	2	Плазменное травление в производстве изделий нанoeлектроники. Проблемы, возникающие при плазменном травлении. Механизм «задержки РИТ». Эффект микрозагрузки. Эффект зарядки поверхности. Механизмы обеспечения анизотропного профиля травления.
	4	2	Процессы плазменного травления функциональных слоев микро- и нанoeлектроники. Особенности травления диэлектрических слоев трехмерных наноструктур. Особенности процессов плазменного формирования разводки. Плазменное травление антиотражающих покрытий при формировании фоторезистивной маски. Формирование контактных окон при изготовлении современных ИС. Создание мелкощелевой изоляции.
	5	2	Методология разработки процессов плазменного травления при формировании элементов нанoeлектроники. Выбор аппаратной базы. Анализ воздействия плазмы на обрабатываемые структуры. Принципы выбора рабочих газов.

2	6	2	Методы получения тонких пленок. Метод магнетронного распыления. Современные системы ФОГФ и их особенности. Механизм реализации процесса i-PVD.
	7	2	Классификация процессов ХОГФ функциональных слоев ИМС. Классификация оборудования ХОГФ. Классификация диэлектрических материалов, используемых в производстве УБИС с топологическими нормами 90 нм и менее. Dep - Etch - Dep процессы.
	8	2	Процессы ХОГФ с дискретной подачей реагентов. Атомно-слоевое осаждение пленок диэлектриков с высокой диэлектрической постоянной. Процессы атомно-слоевого осаждения пленок тантала и его нитридов.

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

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
2	1	4	Формирование наноразмерных поликремниевых затворов методом реактивного ионного травления
	2	4	Изучение процесса формирования топологического рисунка в функциональном слое методом реактивного ионного травления
	3	4	Метод оптической актинометрии в применении к химически активной низкотемпературной плазме
3	4	4	Изучение процесса быстрого термического окисления кремния

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	10	Подготовка к опросам
	10	Подготовка к контрольной работе №1
	12	Подготовка к лабораторным работам
2	4	Подготовка к лабораторной работе
	20	Выполнение практического задания
	6	Подготовка к опросам
	10	Подготовка к контрольной работе №2
	4	Подготовка реферата

#### 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 «Технологические процессы нанoeлектроники. Специальные разделы».

### Модуль 1 «Процессы плазменного травления функциональных слоев УБИС»

✓ Материалы для подготовки к опросам и контрольным работам: А.А. Голишников, М.Г. Путря. «Плазменные технологии в нанoeлектронике». М.: МИЭТ, 2011. – 130с. Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным занятиям по модулю 1 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

### Модуль 2 «Методы получения тонких пленок»

✓ Материалы для подготовки к опросам и контрольной работе: А.А. Голишников, М.Г. Путря. «Плазменные технологии в нанoeлектронике». М.: МИЭТ, 2011. – 130с. Материалы для подготовки к лабораторной работам: задание к лабораторному занятию по модулю 1 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Литература

1. Голишников А.А. Лабораторный практикум по дисциплине "Плазменные технологии в нанoeлектронике" / А.А. Голишников, М.Г. Путря; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2011. - 100 с.
2. 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. : Бинум. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с.
3. Нанотехнологии в электронике. Вып. 3 / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2015. - 480 с.
4. Голишников А.А. Учебное пособие по дисциплине "Плазменные технологии в нанoeлектронике" / А.А. Голишников, М.Г. Путря; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2011. - 172 с.
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. - М. : Бинум. Лаборатория знаний, 2007. - 397 с.
6. 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.

### Периодические издания

1. RUSSIAN MICROELECTRONICS. - : Springer, [2000] - . - URL: <http://link.springer.com/journal/11180> (дата обращения: 30.09.2019). - 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 - .

## 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/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авторизированных 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 (текстовые материалы 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 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.

Важную роль в процессе обучения играют лабораторные занятия, предназначенные не только для закрепления знаний, полученных на 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.

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* практические и лабораторные занятия в Zoom. Вся информация доступна для студентов через среду ОРИОКС.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Помещение «Технологический лабораторный практикум»	«Технологический лабораторный практикум» оснащен технологическим оборудованием 7. 1. Лазерный эллипсометр SD2100. 2 Установка лабораторного типа для быстрого отжига RTP-1200-100 3 Установка магнетронного напыления различных функциональных слоев СБИС и МЭМС SSP 3000 SUGA. 4. Малогабаритная вакуумная установка настольного типа МВУ ТМ Плазма-РИТ реактивного ионного травления.	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus
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

## 10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по компетенции/подкомпетенции ПК-6.ТПНЭСР «Способен исследовать технологические процессы создания элементов интегральной наноэлектроники».

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

В процессе изучения курса предполагается самостоятельная работа студента при подготовке к практическим и лабораторным занятиям, к опросам на практических занятиях, контрольным работам и комплексному заданию.

По завершению изучения дисциплины предусмотрена промежуточная аттестация в виде зачета с оценкой, 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, сформулировать и записать развернутые ответы на вопросы для подготовки к лабораторному и практическому занятиям.

Особенностью изучения дисциплины «Технологические процессы нанозлектроники. Специальные разделы» 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.

Во время самостоятельной работы студенты готовятся к лабораторным работам, к опросам на практических занятиях, к контрольным работам №1 и 2, а также выполняют практическое задание на планирование экспериментального исследования одного из

технологических процессов изготовления элемента интегральной микро- и наноэлектроники.

*Промежуточная аттестация* осуществляется в виде зачета с оценкой.

### **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, написание реферата, представление доклада, активность в семестре (опросы) и выполнение практического задания. По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступны в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>.

**Разработчик:**

Доцент, к.т.н.



/ А.А. Голишников /

Рабочая программа дисциплины «Технологические процессы нанoeлектроники. Специальные разделы» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Проектирование и технология устройств интегральной нанoeлектроники» разработана на кафедре ИЭМС и утверждена на заседании кафедры 26.11 2020 года, протокол № 5

Заведующий кафедрой ИЭМС  / 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 /