

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:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f756d76c818b6ea882b8dd602

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 2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Технологические процессы нанозлектроники»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и нанозлектроника»  
Направленность (профиль) – «Проектирование и технология устройств интегральной нанозлектроники»

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК-6. «Способность 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 «Сопровождение работ по проекту, контроль требований технического задания на аналоговый СФ-блок и отдельные аналоговые блоки»**  
**Трудовая функция D/01.7 «Разработка электрической принципиальной схемы СФ-блока»**

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
<b>ПК-6.ТПНЭ</b> Способен исследовать технологические процессы и параметры технологической структуры с помощью контрольно-измерительных приборов.	разработка методики и проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов	<b>Знает:</b> основные технологические процессы создания элементной базы кремниевой нанoeлектроники. <b>Умеет:</b> аргументированно анализировать технологические процессы создания кремниевых биполярных и МДП структур с нанометровыми проектными нормами. <b>Опыт деятельности:</b> по анализу конструктивных вариантов функциональных элементов биполярных и МДП структур с нанометровыми проектными нормами.

## 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 проведения технологических операций создания кремниевых ИС;
- знание основных технологических маршрутов создания кремниевых 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)		
1	2	5	180	-	16	32	96	Экз (36)

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)	Практические занятия		
1. Технология кремниевой нанoeлектроники	-	12	24	24	Опрос на практических занятиях
				24	Выполнение и защита лабораторных работ
2. Технология нанoeлектроники на основе арсенида и нитрида галлия	-	-	4	16	Опрос на практических занятиях
3 Технология нанoeлектроники на основе самоорганизующихся систем	-	4	4	8	Опрос на практических занятиях
				4	Выполнение и защита лабораторных работ
				20	Защита практического задания

#### 4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены

#### 4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Фундаментальные ограничения при создании элементов кремниевой нанoeлектроники
	2	2	Легированные области активных элементов кремниевой нанoeлектроники
	3	2	Особенности создания подзатворного диэлектрика МОП транзисторов с нанометровыми топологическими нормами
	4	2	Конструктивно- технологические особенности изолирующих областей активных элементов нанoeлектроники
	5	2	Технология оптической нанолитографии
	6	2	Технология импринт - литографии
	7	2	Многоуровневая металлизации кремниевой нанoeлектроники.
	8	2	Материалы силицидных омических контактов. Технологические особенности создания силицидных контактов
	9	2	Основные проблемы создания многоуровневой металлизации с медными межсоединениями
	10	2	Методы исследования морфологии наноструктур
	11	2	Сканирующая зондовая микроскопия. Основные методы
	12	2	Нанолитография на основе локального зондового окисления
2	13	2	Технологические особенности создания элементов нанoeлектроники на основе арсенида галлия
	14	2	Технологические особенности создания элементов нанoeлектроники на основе нитрида галлия
3	15	2	Технология самоорганизующихся систем
	16	2	Технологические особенности формирования элементов нанoeлектроники на основе пористых оксидов металлов

#### 4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	4	Исследование эффекта конволюции в атомно- силовой микроскопии
	2	4	Исследование нанолитографии на основе локального зондового окисления
	3	4	Исследование предельных возможностей магнитно- силовой микроскопии
3	4	4	Исследование морфологии поверхности пористого анодного оксида алюминия

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

4.5.

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	24	Подготовка к опросу на практических занятиях
	24	Подготовка к лабораторным работам
2	16	Подготовка к опросу на практических занятиях
3	8	Подготовка к опросу на практических занятиях
	4	Подготовка к лабораторным работам
	20	Выполнение практического задания

### 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».

#### **Модуль 1. «Технология кремниевой нанoeлектроники»**

✓ Материалы для подготовки к опросам на семинарах: конспект лекций под ред. Шевякова В.И. Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным работам по модулю 1 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

#### **Модуль 2 «Технология нанoeлектроники на основе арсенида и нитрида галлия»**

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

### **Модуль 3 «Технология нанoeлектроники на основе самоорганизующихся систем»**

✓ Материалы для подготовки к опросам на семинарах: конспект лекций под ред. Шевякова В.И. Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным работам по модулю 3 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

## **6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

### **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.

### **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 - .
3. IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES. - USA : IEEE, [б.г.]. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=16> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей 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: 30.09.2019). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. –URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 30.09.2019). - 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>).

При реализации дисциплины помимо традиционных технологий обучения могут применяться следующие дистанционные образовательные технологии: онлайн практические занятия, онлайн консультации. В этом случае 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.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Операционная система Windows, Microsoft Office
Учебная аудитория №4203А «Лаборатория НИЧ кафедры»	Сканирующий зондовый микроскоп, установка для контроля параметров тонких пленок	Операционная система Windows, Microsoft Office, браузер
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. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по компетенции/подкомпетенции ПК-6.ТПНЭ Способность исследовать технологические процессы и параметры технологической структуры с помощью контрольно-измерительных приборов

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 создания кремниевых биполярных и МДП структур с нанометровыми проектными нормами, разбираются конкретные примеры реализации оптической нанолитографии (занятие №5), конструктивные варианты реализации импринт - литографии (занятие №6), разбираются основные проблемы создания многоуровневой металлизации с медными межсоединениями (занятие №9), разбираются основные элементы сканирующей зондовой микроскопии (занятие №11). На лабораторных работах исследуются: эффекта конволюции в атомно- силовой микроскопии; нанолитография на основе локального зондового окисления; предельные возможности магнитно- силовой микроскопии; морфология поверхности пористого анодного оксида алюминия.

В рамках самостоятельной работы в течении семестра каждый студент должен подготовить и представить на практическом занятии доклад на одну из тем, предложенных преподавателем, а также выполнить практическое задание на выбор оптимальных конструктивных вариантов функциональных элементов биполярных и МДП структур.

Промежуточный контроль по дисциплине проходит в форме экзамена.

### 12.1. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система.

Баллами оцениваются: выполнение и защита лабораторных работ, выполнение практического задания, работа на практических занятиях (до 50 баллов) и сдача экзамена (до 50 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>.

**РАЗРАБОТЧИК:**

Профессор, д.т.н



/ В.И. Шевяков /



Рабочая программа дисциплины «Технологические процессы нанoeлектроники» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Проектирование и технология устройств интегральной нанoeлектроники» разработана на кафедре ИЭМС и утверждены на заседании кафедры 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 /