



## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК-1** «Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования» **сформулирована на основе профессионального стандарта 40.035** «Инженер-конструктор аналоговых сложно-функциональных блоков»

**Обобщенная трудовая функция: В** – «Моделирование, анализ и верификация результатов моделирования разработанных принципиальных схем аналоговых блоков и СФ-блока»

**Трудовая функция: В/03.6** - «Моделирование схемы всего аналогового СФ-блока с применением целевой системы автоматизированного проектирования»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
<b>ПК-1.НЭ</b> Способен строить простейшие физические и математические модели элементов, используемых в электронике и наноэлектронике и использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Использование эквивалентных моделей интегральных элементов, для построения цифровых и аналоговых блоков. Использование САПР для моделирования характеристик приборов наноэлектроники.	<b>Знания</b> принципов построения физических и математических моделей элементов наноэлектроники <b>Умения</b> разрабатывать физические и математические модели элементов наноэлектроники <b>Опыт</b> использования компьютерного моделирования элементов наноэлектроники

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы, изучается на 3 курсе 6-го семестра бакалавриата (очная форма обучения).

Изучение дисциплины базируется на следующих ранее изучаемых дисциплинах: «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Физика полупроводников и полупроводниковых приборов», «Технология интегральных микросхем».

### 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	6	4	144	32	16	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. Низкоразмерные транзисторные структуры и энергонезависимые структуры памяти.	12	8	16	16	Написание теста №1.	
					Написание контрольной работы №1.	
					Защита лабораторных работ №1-4.	
2. Приборы оптоэлектроники, радиофотоники, плазмоники	10	4	-	14	Написание контрольной работы №2.	
					Защита индивидуального задания. Защита реферата.	
3. Первичные преобразователи физических воздействий	10	4	-	10	Написание контрольной работы №3.	
					Выполнение индивидуального задания.	
1-3	-	-	-	4	Сдача практико-ориентированного задания	

#### 4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Базовая физика полупроводников и структур на их основе. Предмет, цели и основные направления в нанотехнологии и нанoeлектронике.
	2	2	Структура, топология и принцип работы биполярных и полевых транзисторов. Физические и технологические ограничения масштабирования их размеров. Квантовые ограничения.
	3	2	Физико-технологические методы увеличения подвижности носителей заряда в канале транзистора. Подвижность в механически напряженных структурах.
	4	2	Транзисторы с двумерным электронным газом. НЕМТ структуры. Гетероинтегрированная электроника.
	5	2	Транзисторные структуры с двух-и трехмерным полевым эффектом: Fin-FET, GAA, с вертикальным каналом транзисторные структуры.
	6	2	Транзисторные структуры с инжекцией носителей заряда в канал (GIT-инжекционные транзисторы).
2	7	2	Задачи оптоэлектроники и фотоники. Масштабирование задач фотонной коммутации: от оптоволоконной связи до оптических межсоединений элементов приборного чипа
	8	2	Понятие оптического кристалла. Эффекты оптического кристалла. Виды преобразований СВЧ сигнала на несущей частоте оптического диапазона: модуляторы, компараторы, фильтры и др.
	9	2	Виды преобразований СВЧ сигнала на несущей частоте оптического диапазона: модуляторы, компараторы, фильтры и др.
	10	2	Принципы построения фотонных АЦП.
	11	2	Плазмоника. Тетрагерцовые транзисторные структуры плазмоники. Спинтроника. Структуры со спин-поляризованными токами.
3	12	2	МЭМС и НЕМС – как основа прецизионных датчиков.
	13	2	Металлическая электроника. Квазидвумерные слоистые материалы: графены, сульфид молибдена и их электронные свойства.
	14	2	Приборы пьезоэлектроники: акселерометры, гироскопы, генераторы.
	15	2	Автоэмиссионные катоды на основе углеродных острых структур и нанотрубок.
	16	2	Джозефсона: от единичных активных элементов – СКВИДов к 3D структурам.

#### 4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Элементы памяти с резистивным эффектом переключения (ReRAM, PCRAM) под действием электрического поля или температуры
	2	2	Элементы памяти на основе хранения свободного или связанного заряда (Flash, Sonos).
	3	2	Магнитно-резистивные элементы памяти (MRAM)
	4	2	Сегнетоэлектрические элементы памяти (FRAM)
2	5	2	Фотодиоды, светодиоды, в том числе органические
	6	2	Лазерные структуры, в том числе с вертикальным излучением
3	7	2	Приборные приложения графеновых пленок
	8	2	3D интегрированные монолитные сборки

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

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Исследование влияния масштабирования на вольтамперные характеристики биполярного транзистора.
	2	4	Исследование влияния масштабирования на динамические характеристики биполярного транзистора.
	3	4	Исследование влияния масштабирования на вольтамперные характеристики полевого транзистора.
	4	4	Исследование влияния масштабирования на динамические характеристики полевого транзистора.

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	2	Работа с конспектом лекций. Чтение и разбор рекомендованной литературы.

	2	Изучение дополнительной тематической литературы и интернет-ресурсов. Индивидуальное задание.
	4	Разбор решенных на семинарах задач. Решение тематических задач.
	2	Подготовка к контрольной работе.
	6	Подготовка к лабораторным работам.
2	3	Работа с конспектом лекций. Чтение и разбор рекомендованной литературы.
	5	Изучение дополнительной тематической литературы и интернет-ресурсов. Подготовка реферата.
	4	Разбор решенных на семинарах задач. Решение тематических задач.
	2	Подготовка к рубежному контролю.
3	3	Работа с конспектом лекций. Чтение и разбор рекомендованной литературы.
	5	Изучение дополнительной тематической литературы и интернет-ресурсов. Подготовка реферата.
	2	Разбор решенных на семинарах задач. Решение тематических задач.
1-3	4	Выполнение практико-ориентированного задания.

#### 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 «Наноэлектроника»: [https://orioks.miet.ru/prepare/ir-science?id\\_science=2432954](https://orioks.miet.ru/prepare/ir-science?id_science=2432954)

#### **Модуль 1 «Низкоразмерные транзисторные структуры и энергонезависимые структуры памяти»**

- ✓ Виды самостоятельной работы студентов и методические материалы по выполнению заданий для самостоятельной работы по тематике модуля 1 содержатся в разделе «Самостоятельная работа студентов» УМК дисциплины
- ✓ Материалы для освоения теоретического материала содержания лекций (учебная литература см.п.1).
- ✓ Материалы для подготовки к выполнению лабораторных работ содержатся в электронном ресурсе «Лабораторный практикум по «Наноэлектронике»
- ✓ Материалы для выполнения текущих домашних работ (литература п.1), включают решения типовых примеров.

#### **Модуль 2 «Приборы оптоэлектроники, радиофотоники, плазмоники»**

- ✓ Методические материалы для подготовки к контрольной работе и индивидуальному заданию.
- ✓ Материалы для освоения теоретического материала содержания лекций, самостоятельного освоения тем (учебная литература см.п.1).
- ✓ Материалы для выполнения текущих домашних работ (литература п.2), включают решения типовых примеров.

### **Модуль 3 «Первичные преобразователи физических воздействий»**

- ✓ Материалы для освоения теоретического материала содержания лекций, самостоятельного освоения тем (учебная литература см.п.3).
- ✓ Материалы для выполнения текущих домашних работ (литература п.3), включают решения типовых примеров.

## **6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

### **Литература**

1. Киреев В.Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография - процессы и оборудование : [учебно-справочное руководство] / - Долгопрудный : Интеллект, 2016. - 320 с. - ISBN 978-5-91559-215-4
2. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г. Я. Красников. - 2-е изд., испр. - М. : Техносфера, 2011. - 800 с. - (Мир электроники).
3. Королев М.А., Крупкина Т.Ю., Ревелева 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 /; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - 3-е изд., электронное. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2015. - 400 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/66309> (дата обращения: 09.12.2020). - ISBN 978-5-9963-2904

### **Периодические издания**

1. ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЭЛЕКТРОНИКА : Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 -.
2. IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTER AIDED DESIGN OF INTEGRATED CIRCUITS & SYSTEMS . - USA : IEEE, 1982 - . - URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=43>
3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ : Теорет. и прикладной науч.-техн. журн. / Издательство "Новые технологии". - М. : Новые технологии, 1995 -.
4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ / Ин-т системного программирования РАН. - М.: Наука, 1975

## **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. Электронно-библиотечная система Лань : сайт. - Санкт-Петербург, 2011 - . - URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
3. 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

4. IEEE/IET Electronic Library (IEL) = IEEE Xplore : электронная библиотека. - USA ; UK, 1998 - . - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp> (дата обращения: 28.10.2020). - Режим доступа: из локальной сети НИУ МИЭТ в рамках проекта "Национальная подписка"

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется смешанное обучение. Оно основано на интеграции технологий традиционного и электронного обучения, часть учебных занятий проходит с использованием взаимодействия студентов и преподавателя в электронной образовательной среде.

Обучение может реализовываться с применением дистанционных образовательных технологий.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС.

Для взаимодействия студентов с преподавателем могут использоваться сервисы обратной связи, такие как система видеоконференций Zoom, раздел ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя.

При дистанционном обучении лекционные занятия проводятся в онлайн режиме в Zoom. Практические и лабораторные занятия проводятся посредством удаленного выполнения задания совместно с онлайн взаимодействием в Zoom. Защита выполненных работ осуществляется путем демонстрации экрана рабочего места с помощью функции демонстрации в Zoom.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются внутренние электронные ресурсы (<http://orioks.miet.ru>): электронные версии лекций, практических и лабораторных заданий и другие.

## 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	Проектор или широкоформатный ТВ	Microsoft (Azure) Microsoft Office
Учебная аудитория	Учебная доска	Не требуется
Учебно-образовательный центр SYNOPSIS-МИЭТ	20 рабочих мест с ПК	OC CentOS Synopsys Inc.
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения в сети «Интернет» и обеспечением доступа в ОРИОКС	Microsoft (Azure), Microsoft Office, браузер Google Chrome



## 10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по компетенции/подкомпетенции **ПК-1.НЭ** «Способен строить простейшие физические и математические модели элементов, используемых в электронике и нанoeлектронике и использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования»

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен 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

Студенты, изучающие дисциплину, обязаны:

- посетить лекции по предмету;
- выполнить лабораторные работы (подтверждается сдачей каждой лабораторной работы);
- выполнить домашние и контрольные задания;
- принять участие в дискуссиях во время лекций и практических занятий;
- выполнить индивидуальное задание по использованию информационных материалов из eLIBRARY.RU Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем» [http://www.mes-conference.ru.](http://www.mes-conference.ru;);
- выполнить практико-ориентированное задание по дисциплине.

Для формирования подкомпетенций и приобретения необходимых знаний, умений и опыта деятельности в рамках изучения данной дисциплины проводятся лекции и лабораторные работы. Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации.

**Лекции** проводятся в каждом модуле. В них оценивается степень усвоения пройденного материала, уровень аргументации своего мнения и владения устной речью. Предварительно преподаватель формулирует вопрос, ответ на который является предметом дискуссии. Для проверки полученных знаний проводится тестирование.

**Практические занятия** содержатся в каждом модуле. На практических занятиях разбираются и закрепляются практические решения конкретных заданий и проводятся контрольные работы по основным направлениям нанoeлектроники.

**Лабораторные работы** содержатся в первом модуле. Выполнению заданий предшествует проверка знаний студентов - их теоретической готовности к выполнению задания. По окончании выполнения каждого задания проводится обсуждение и защита результатов выполнения с каждым студентом. В заданиях присутствуют разделы, в которых нет четких инструкций их выполнения, что требует от студентов самостоятельного решения (выбора способов выполнения работы в литературных источниках).

**Самостоятельная работа студентов** предусматривает подготовку к лекциям, семинарам и лабораторным работам, рубежному тестированию, изучение литературы с целью более глубокого освоения изучаемой темы и выполнению индивидуального задания.

В конце семестра студентами выполняется практико-ориентированное задание, по результатам которого происходит публичное представление результатов заданий СРС на опыт деятельности.

По завершению изучения дисциплины предусмотрена промежуточная аттестация в виде экзамена.


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

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система (НБС).


Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме максимум 50 баллов) и сдача экзамена (максимум 50 баллов).

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

### **РАЗРАБОТЧИК:**

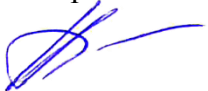
Профессор кафедры ПКИМС, д.ф.-м.н.  /А.Г. Итальянцев/

Рабочая программа дисциплины «Нанoeлектроника» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Автоматизация проектирования изделий нанoeлектроники» разработана на кафедре ПКИМС и утверждена на заседании кафедры 27 ноября 2020 года, протокол № 8

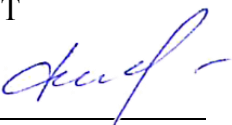
Заведующий кафедрой ПКИМС  /С.В. Гаврилов/

### 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/