

**Программа учебной дисциплины
«Микро- и нанoeлектроника»**

Утверждена
Академическим советом ОП¹
Протокол № 4 от 29.08.2019

Разработчики	Петросянц Константин Орестович , профессор, департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ
Число кредитов	4
Контактная работа (час.)	48
Самостоятельная работа (час.)	104
Курс, Образовательная программа	1 курс, ОП "Материалы. Приборы. Нанотехнологии" направления подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника» уровень – магистр
Формат изучения дисциплины	без использования онлайн курса

1. Цель, результаты освоения дисциплины и пререквизиты

1. Цели освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Микро- и нанoeлектроника» является теоретическая и практическая подготовка студентов к решению организационных, научных и технических задач при разработке, изготовлении и применении приборов, схем и систем микро- и нанoeлектроники, а также построении на их основе узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры.

В результате освоения дисциплины студент осваивает следующие компетенции:

Компетенция	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
-------------	---	---

¹ Для ПУД из общеуниверситетского пула – Руководитель Департамента.

<p>Способен оценивать и модифицировать освоенные методы и способы профессиональной деятельности</p>	<p>Знает основные отечественные и зарубежные периодические издания в области ИКТСС, умеет пользоваться поисковыми системами.</p> <p>Может пользоваться справочными материалами для определения параметров аналоговых и цифровых ИС при проектировании телекоммуникационных устройств</p>	<p>Обсуждение и анализ результатов домашних работ и практических занятий</p>
<p>Способен разрабатывать, апробировать и изобретать модели, способы, методы и инструменты профессиональной деятельности</p>	<p>владеет методами выбора, комбинирования и построения концепций, моделей, новых инструментов для решения прикладных задач</p>	<p>Практические занятия</p>
<p>Способен к самостоятельному освоению новых методов исследования, изменению научного и научно-производственного профиля своей деятельности и непрерывному повышению квалификации в течении всего периода профессиональной деятельности.</p>	<p>Применяет современные исследовательские методы, использует новейший отечественный и зарубежный исследовательский опыт.</p>	<p>Поиск и реферирование в ходе разработки плана исследования релевантных источников.</p>
<p>Способен совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и культурный уровень, планировать профессиональное развитие и карьеру</p>	<p>Владеет навыками анализа профессиональной литературы</p> <p>Демонстрирует оригинальность и творчество при осуществлении деятельности в конкретной области.</p>	<p>Практические занятия</p>

Способен проявлять инициативу, принимать управленческие решения, оценивать их возможные последствия и нести за них ответственность	Успешное написание отчета по практике, защита выполненной работы	Практические занятия
Способен анализировать, верифицировать, оценивать полноту информации в ходе профессиональной деятельности, при необходимости восполнять и синтезировать недостающую информацию и работать в условиях неопределенности	Владеет навыками анализа профессиональной литературы	Поиск источников по теме исследования. Составление аналитического обзора литературы
Способен к организации и управлению многосторонними (в том числе межкультурными) коммуникациями.	Качественное выполнение практических заданий, успешное написание отчета по практике	Качественное выполнение практических заданий, успешное написание отчета по практике, решение казусов
Способен к ведению профессиональной деятельности в международной среде.	Знает особенности профессионального контекста проектирования в международной среде	Практические занятия
Способен определять, транслировать общие цели в профессиональной и социальной деятельности	Демонстрирует навыки получения информации из различных источников. Демонстрирует способность критического восприятия информации.	Обсуждение и анализ результатов домашних работ и практических занятий
Способен строить профессиональную деятельность, бизнес и делать выбор, руководствуясь принципами социальной ответственности	Качественное выполнение практических заданий, успешное написание отчета по практике.	Практические занятия

<p>Способен порождать принципиально новые идеи и продукты, обладает креативностью, инициативностью</p>	<p>Обладает умением порождать принципиально новые идеи и продукты, обладает креативностью, инициативностью</p>	<p>Обсуждение и анализ результатов домашних работ и практических занятий</p>
<p>Способен создавать, описывать и ответственно контролировать выполнение технических и технологических требований и нормативов в профессиональной деятельности</p>	<p>Демонстрирует знание нормативных требований в сфере профессиональной прикладной исследовательской деятельности, адаптирует и описывает их применительно к теме своей диссертации, а также соблюдает их выполнение.</p>	<p>Письменные нормативные формы и технологические требования представления проектов и результатов профессиональной деятельности студента в сфере исследования маркетинговых коммуникаций, которые предполагают их адаптацию, переработку или создание на их основе новых детализированных форм и требований, касающихся проведения прикладного диссертационного исследования магистерского уровня в сфере маркетинговых коммуникаций.</p>
<p>Способен на основе системного подхода проектировать и конструировать изделия электронной техники на стадиях технического предложения, эскизного, технического и рабочего проектов с учетом экономической целесообразности, соблюдения правил охраны здоровья и требований экологической безопасности.</p>	<p>Формулирует цели разработки, осуществляет построение дерева целей проектирования, проводит функциональный анализ, проводит декомпозицию технического задания на разработку системы на частные технические задания на разработку подсистем, проводит оценку инновационного потенциала усовершенствования ТС</p>	<p>Выполнение домашних заданий</p>

Способен применять современные компьютерные информационные технологии проектировании и конструировании электронных компонентов и средств, приборов, устройств и оборудования различного назначения.	Умеет использовать САПР электроники для решения классической и модифицированной задач анализа в электротехнике	Выполнение домашних заданий с использованием средств САПР электроники и ПО математического анализа.
Способен разрабатывать проектно-конструкторскую, технологическую и техническую документацию на изделия электронной техники в соответствии с методическими и нормативными требованиями	Разрабатывает и оформляет проектно-конструкторскую документацию в соответствии с нормами и правилами ГОСТов ЕСКД.	Лекции. Подготовка и выполнение домашних заданий.
Способен проектировать удовлетворяющие требованиям технологичности, здоровья и безопасности технологические процессы производства новых материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства.	Изучает и анализирует технологические варианты изготовления приборов, методы их проектирования, изучает соответствующие литературные источники	Практические занятия. Домашние задание.

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к вариативной части блока дисциплин программы.

Изучение данной дисциплины базируется на дисциплинах базовых частей математического и естественнонаучного цикла, а также профессионального цикла дисциплин подготовки бакалавра по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также дисциплин базовой части и вариативной части специализации, Цикла дисциплин программы подготовки магистра направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника».

Знания и навыки, полученные в ходе изучения дисциплины, служат основой и залогом успешного выполнения следующих пунктов РУП:

- изучение курсов «Проектирование аналоговых и цифровых устройств», «Системы автоматизированного проектирования изделий микро- и наноэлектроники»; «Методология инновационного инженерного проектирования»

– преддипломная практика;

– выпускная квалификационная работа – магистерская диссертация.

Дисциплина требует наличия у студента знаний, умений и навыков, полученных в ходе изучения дисциплин бакалавриата «Физика», «Химия», «Материалы электронной техники», «Физические основы электроники», «Электроника»,

Для изучения дисциплины студент должен обладать следующими компетенциями:

– Способностью владеть культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения;

- Способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности;

– Способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук;

– Способностью собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии;

– Способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники;

– Способностью собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по Тематике исследования в области электроники и наноэлектроники;

– Готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

Дисциплина "**Методология инновационного инженерного проектирования**" :

- изучается на первом курсе магистратуры в 1, 2 и 3 модулях;

- имеет междисциплинарные связи с дисциплинами «Электронная компонентная база» (1, 2 модули), «Микро - и наноэлектроника» (1, 2 модули), «Физические основы микро- и наноэлектроники» (1, 2 модули), «Проектирование аналоговых и цифровых систем» (1, 2 и 3 модули).

2. Содержание учебной дисциплины

Раздел (раздел дисциплины)	Объем в часах ¹	Планируемые результаты обучения (ПРО), подлежащие контролю	Формы контроля
	лк		
	см (практ)		
	ср		
Раздел 1. Введение в микро- и наноэлектронику. Интегральные схемы (ИС) и системы на кристалле (СНК) – основа МЭ и НЭ.	2	Знать: Классификации ИС, понятия степени интеграции, Устройство систем на кристалле.	Практические занятия Устный экзамен.
	4		
	12		
Раздел 2. Материалы МЭ и НЭ. Электрофизические параметры. Основные физические механизмы накопления и переноса заряда. Генерация и рекомбинация. Технологические маршруты изготовления п/п приборов.	4	Знать: Характеристики п/п материалов: Si, SiGe, GaAs, GaN, оксидов, металлов межсоединений. Технологические маршрут изготовления п/п приборов. Операции эпитаксии, окисления, диффузии, ионной имплантации, травления, нанесения металлов. Уметь: Практически рассчитывать и оценивать профили примеси в полупроводниковых приборах, параметры приборов Владеть: методами оценки параметров полупроводниковых структур	Практические занятия «Расчет сопротивления образца полупроводникового материала заданной формы». «Моделирование профилей примеси и сопротивлений диффузионных слоев» Моделирование профиля примеси и параметров биполярного транзистора» Устный экзамен.
	4		
	20		
Раздел 3. Физические структуры, параметры и электрические характеристики приборов МЭ и НЭ. Электрические характеристики.	3	Знать: Устройство и принципы работы биполярные Si, SiGe и GaAs транзисторов, МОП-транзисторов, на объемном кремнии и КНИ-подложках. MESFET транзисторы (ПТШ) и НЕМТ на GaAs. Физические механизмы переноса и накопления заряда, генерации/рекомбинации. Уметь: Рассчитывать параметры структур полупроводниковых приборов различных	Практические занятия «Моделирование профилей примеси и сопротивлений диффузионных слоев» «Моделирование профиля примеси и параметров биполярного транзистора», «Исследование топологии тестового МОПТ с помощью микроскопа. Определение его размеров»,
	6		
	16		

¹ Не заполняется для ПУД, которые не вошли в УП ОП и не запланированы в расписании учебных занятий

		технологий. Исследовать топологии полупроводниковых приборов с помощью микроскопии. Владеть : навыками работы с технической литературой; навыками анализа топологий микроэлектронных изделий с использованием методов оптической микроскопии.	«Расчет поверхностного сопротивления по профилю примеси». Устный экзамен
Раздел 4. Наноструктуры п/п приборов. Эффекты сверхмалых размеров. Туннелирование. Кванто-механические эффекты. Сверх БИС и СНК (Системы на кристалле)	4	Знать : Перспективные типы сверх БИС и СНК, Наноразмерные приборы с high-k диэлектриком. Правила масштабирования размеров элементов БИС. Особенности межсоединений БИС. Тепловые эффекты и ограничения. Тенденции развития МЭ и НЭ. Уметь : оценивать перспективы развития Микро и нанoeлектроники, Владеть : навыками работы с технической литературой по нанoeлектронике; навыками анализа топологий микроэлектронных изделий с использованием методов оптической микроскопии	Практические занятия «Исследование ориентации кристалла и плотности дефектов с помощью микроскопа», «Анализ тепловых режимов элементов интегральных схем с использованием тепловизора.. Устный экзамен
	4		
	12		

Часов по видам учебных занятий:	Лекций - 20
	Практич. - 28
	Самостоят.- 104
Итого часов:	152

Формы учебных занятий:

лк – лекции в аудитории;

см - семинары/ практические занятия/ лабораторные работы в аудитории;

онl – лекции или иные виды работы студента с помощью онлайн-курса;

ср – самостоятельная работа студента.

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Введение в микро- и нанoeлектронику.

Классификации ИС, понятия степени интеграции. Закон Мура.

Интегральные схемы (ИС) и системы на кристалле (СНК) – основа МЭ и НЭ.

Устройство систем на кристалле.

Раздел 2. Материалы МЭ и НЭ. Электрофизические параметры.

Технологические маршруты изготовления п/п приборов.

Основные физические механизмы накопления и переноса заряда. Генерация и рекомбинация. Характеристики п/п материалов: Si, SiGe, GaAs, GaN, оксидов, металлов межсоединений. Технологические маршруты изготовления п/п приборов.

Операции эпитаксии, окисления, диффузии, ионной имплантации, травления, нанесения металлов.

Раздел 3. Физические структуры, параметры и электрические характеристики приборов МЭ и НЭ. Электрические характеристики.

Устройство и принципы работы биполярных Si, SiGe и GaAs транзисторов, МОП-транзисторов, на объемном кремнии и КНИ-подложках.

MESFET транзисторы (ПТШ) и HEMT на GaAs.

Физические механизмы переноса и накопления заряда, генерации/рекомбинации.

Электрические характеристики приборов МЭ и НЭ.

Раздел 4. Наноструктуры п/п приборов. Эффекты сверхмалых размеров. Туннелирование. Кванто-механические эффекты. Сверх БИС и СНК

Перспективные типы сверх БИС и СНК, Наноразмерные приборы с high-k диэлектриком. Правила масштабирования размеров элементов БИС. Особенности межсоединений БИС. Тепловые эффекты и ограничения. Тенденции развития МЭ и НЭ.

3. Оценивание

Критерии оценки знаний, навыков

Текущий контроль включает в себя домашнее задание и контрольную работу. Итоговый контроль включается в себя экзамен по итогам 1-го и 2-го модулей.

При текущем контроле используются следующие критерии: посещение занятий, активность работы на аудиторных занятиях, своевременность и правильность выполнения домашнего задания, правильность выполнения контрольной работы.

Оценки по всем формам текущего контроля выставляются по десятибалльной шкале.

При итоговом контроле используются следующие критерии: выполнение критериев оценки знаний на этапе промежуточного контроля; точность и полнота ответов на тестовые вопросы.

Оценки по всем формам итогового контроля выставляются по десятибалльной шкале.

1.1 Порядок формирования оценок по дисциплине

Результирующая оценка за дисциплину (выставляется в диплом) рассчитываются в виде:

$$O_{\text{рез,итог}} = 0,6 * O_{\text{итог.контроль}} + 0,4 * O_{\text{накопленная}}, \text{ где}$$

$$O_{\text{накопленная}} = (O_{\text{рез,1}} + O_{\text{накопленная,2}}) / 2$$

Накопленная оценка за 1-й и 2-й модули рассчитывается в виде:

$O_{\text{накопленная,1/2}} = \sum O_{\text{отч,i}} / N_{\text{отч}}$, где $O_{\text{отч,i}}$ – оценка за каждую отчётную единицу, $N_{\text{отч}}$ – количество отчётных единиц.

Отчётные единицы в первом модуле: контрольная работа (1 отчётная единица).

Отчётные единицы во втором модуле: домашнее задание (1 отчётная единица).

В случае успешной работы студента в течение учебного семестра ($O_{\text{накопленная}}$ не менее 9 баллов) преподаватель может не проводить для него итоговый контроль (зачёт), а выставить результирующую оценку $O_{\text{рез}}$ равную накопленной $O_{\text{накопленная}}$.

Вопросы к экзамену

1. Понятия БИС и СБИС. Минимальные размеры элементов на п/п кристалле. Оценка стоимости п/п кристалла БИС.
2. Понятие предельной частоты усиления транзисторов.
3. Классификация компонентов БИС. Требования к компонентам в зависимости от области применения.
4. Структуры биполярных транзисторов. Стандартная конструкция БТ. Основные электрические параметры.
5. Структуры биполярных транзисторов. Конструкция БТ с диэлектрической изоляцией «изопланар». Основные электрические параметры.
6. Структура МОПТ. Стандартный КМОП-инвертор со структурой $n_{\text{эпи}}/p$ – подложка.
7. Структура МОПТ. КМОП-инвертор на КНИ-подложке.
8. Структура МОПТ. 3D КМОП-ячейка. Преимущества и недостатки.
9. Перспективные конструкции нанометровых МОПТ. FinFET. Сравнение по параметрам с МОПТ КНИ.
10. Полупроводниковые материалы МЭ и НЭ. Области применения приборов с различными ΔE_g и μ . Таблица параметров.
11. Металлы МЭ и НЭ. Таблица основных параметров σ и $T_{\text{плав}}$. Области применения.
12. Многослойная разводка современных СБИС. Роль различных металлов.
13. Тепловизор. Основные части, принцип работы. Применение тепловизионной техники для исследований изделий микроэлектроники.
14. Уравнения, описывающие профили примеси.
15. Уравнения, описывающие параметры и характеристик МОПТ

4. Ресурсы

4.1. Литература

Основной список литературы

- [1]. Т. Сугано, Т. Икома, Е. Такэиси «Введение в микроэлектронику». Пер. с англ. М.: изд. «Мир», 1988, 320 с.
- [2]. Г. И. Зебрев «Физические основы кремниевой наноэлектроники», Учебное пособие для вузов / Г.И. Зебрев. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 240 с.
- [3]. Королев М. А., Крупкина Т. Ю., Путря М. Т., Шевяков В. И. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных схем. Часть 2. М.: Изд. «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2009, 422 с.
- [4]. Чистяков Ю. Д., Райнова Ю. П. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. Том 1 // М.: изд. «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2010, 392 с.

Дополнительный список литературы

- [5]. Нелаев В.В., Стемпицкий В. Р. Основы САПР в микроэлектронике // Минск, БГУИР, 2008, 220 с.
- [6]. Коноплёв Б. Г., Рындин Е. А., Приступчик Н. К., Денисенко М. А. Проектирование интегральных схем. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2010. – 89 с.

4.2. Программное обеспечение

п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
1	LTSpice	Свободное скачивание с сайта https://www.analog.com › ltspice-simulator
2	MathCAd	Работа из внутренней сети НИУ ВШЭ
3	NanoHub Tools	Доступ онлайн https://nanohub.org/tools/pntoy/invoke/56

4.3. Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
		<i>Например, из внутренней сети университета (договор)</i>

4.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

5. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут

предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

5.1.1. *для лиц с нарушениями зрения:* в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

5.1.2. *для лиц с нарушениями слуха:* в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

5.1.3. *для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:* в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

6. Дополнительные сведения

По желанию разработчика в ПУД могут быть включены другие содержательные элементы, например, методические рекомендации для студента и преподавателя, описание применяемых образовательных технологий.