Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Беспалов Владимир Александрович
Должность: Ректор МИЭТ
Дата подписания: 05.02.2025 12:02:28
Уникальный программный ключ:
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8bea8026b8602

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
_____А.Г. Балашов
«_15_» _____ 2024 г.
М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Приборно-технологическое моделирование»

Направление подготовки – 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»
Направленность (профиль) – «Программные средства САПР сверхбольших интегральных схем и систем на кристалле»

Программа разработана в Передовой инженерной школе
«Средства проектирования и производства электронной компонентной базы»

Москва 2024 г.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Компетенция ПК-2 «Способен проводить анализ и тестирование характеристик программных продуктов и/или аппаратных средств» сформулирована на основе профессионально стандарта 06.015 «Специалист по информационным системам».
Обобщенная трудовая функция: D – «Управление работами по сопровождению и проектами создания (модификации) ИС, автоматизирующих задачи организационного управления и бизнес-процессы»
Трудовая функция: D/16.7 – «Организационное и технологическое обеспечение проектирования и дизайна ИС»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	**Задачи профессиональной деятельности**	**Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций**
ПК-2. ПТМ Владеет программными средствами TCAD по решению задач приборно-технологического моделирования	- разработка, модернизация, тестирование и поддержка программного обеспечения приборно-технологического моделирования; - настройка программного обеспечения приборно-технологического моделирования, т.е. внесение изменений и настройка существующего приложения таким образом, чтобы оно функционировало в рамках информационной системы заказчика; - разработка физических и математических моделей, компьютерное	**Знать:** - инструменты и методы приборно-технологического моделирования и проектирования ИС - методы численного моделирования наноразмерных элементов интегральных схем. **Уметь:** - рассчитывать электрические характеристики наноразмерных КМОП-структур и биполярных структур; - распределять работы в рамках управления работами по сопровождению и проектами создания (модификации) ИС приборно-технологического моделирования. **Опыт:** - обеспечения соответствия проектирования и дизайна интегральных схем в среде приборно-технологического моделирования принятым в проекте технологиям в рамках управления работами по сопровождению и проектами создания (модификации) ИС; - использования средств приборно-технологического моделирования для расчета влияния конструкции наноразмерных приборов на их

	моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере создания (модификации) ИС	электрические характеристики при проектировании элементов интегральных схем в среде приборно-технологического моделирования

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

Входные требования к дисциплине – необходимы компетенции в области основ технологии создания электронной компонентной базы, использования компьютерных технологий в научных исследованиях, технического английского языка.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
2	3	3	108	16	32	-	60	Зачет

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
Модуль 1. Алгоритмы и методы моделирования технологических	8	8	-	6	Защита ЛР
				4	Тестирование
				10	Проверка выполнения части индивидуального задания

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
процессов создания ИС в среде приборно-технологического моделирования				4	Рубежный контроль
Модуль 2. Алгоритмы и методы приборного моделирования при проектировании ИС	8	24	-	6	Тестирование
				16	Защита ЛР
				14	Сдача индивидуального задания

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1.	1.	2	Введение в предмет курса. Роль приборно-технологического моделирования в проектировании интегральных микросхем. Структура пакета TCAD Synopsys.
	2.	4	Алгоритмы моделирования и модели основных технологических процессов. Ионная имплантация. Диффузия примесей. Окисление. Травление и осаждение.
	3.	2	Алгоритмы и методики проведения исследований средствами TCAD
2.	1.	2	Основные задачи и алгоритмы численного приборного моделирования. Базовые уравнения, переменные, граничные условия.
	2.	2	Модели подвижности, рекомбинации и генерации, используемые при моделировании полупроводниковых приборов. Методики проведения малосигнального анализа.
	3.	2	Алгоритм решения одномерного уравнения Пуассона для обратносмещенного n+-p – перехода. Особенности расчета напряжения пробоя p-n-переходов, МДП - и биполярных транзисторов.
	4.	2	Особенности приборного моделирования субмикронных МДП-транзисторов и гетероструктур.

4.2. Практические занятия

Не предусмотрены

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1.	1.	4	Одномерное моделирование технологических процессов. Анализ и тестирование программы Sim1D
	2.	4	Моделирование технологических процессов в среде TCAD Synopsys.
2.	1.	4	Алгоритм формирования структуры с использованием программы SDE.
	2.	4	Формирование структуры трехмерного КНИ - МОП - транзистора с использованием программы SDE.
	3.	4	Приборное моделирование биполярного транзистора с помощью программы SDEVICE.
	4.	4	Расчет АЧХ биполярного транзистора с помощью программы SDEVICE.
	5.	4	Алгоритмы и методики моделирования с использованием интегральной среды SWB пакета TCAD Synopsys. Расчет характеристик МОП – транзистора.
	6.	4	Расчет пробивного напряжения p-n-перехода с плавающими кольцами.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1.	6	Подготовка к лабораторным работам
	4	Подготовка к тестированию
	10	Выполнение части индивидуального задания
	4	Подготовка к рубежному контролю
2.	6	Подготовка к тестированию
	16	Подготовка к лабораторным работам
	14	Выполнение индивидуального 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// URL: , http://orioks.miet.ru/):

- Сценарий по дисциплине
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ
- Ссылки на литературу по всей дисциплине
- Варианты индивидуальных заданий
- Варианты заданий для зачета.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1 Лабораторный практикум по курсу "Моделирование элементов твердотельной электроники" / Е. А. Артамонова, А. Г. Балашов, А. Ю. Красюков, А. В. Козлов ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; под редакцией Т. Ю. Крупкиной. - Москва : МИЭТ, 2022. - 91 с. - Имеется электронная версия издания. - б.ц., 100 экз. - Текст : непосредственный : электронный.

2 Лабораторный практикум по курсу "Моделирование технологических процессов" / Е.А. Артамонова, А.Г. Балашов, А.С. Ключников [и др.] ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. Т.Ю. Крупкиной. - М. : МИЭТ, 2018. - 108 с. - Имеется электронная версия издания. - б.ц., 150 экз.

3 Лабораторный практикум по курсу "Моделирование в среде TCAD". Ч. 2. Приборно-технологическое моделирование элементов интегральных схем / Е.А. Артамонова, А.Г. Балашов, А.С. Ключников [и др.] ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. Т.Ю. Крупкиной. - М. : МИЭТ, 2012. - 140 с. - Имеется электронная версия издания. - б.ц., 100 экз.

4 Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу "Маршруты БИС" / А.Г. Балашов, А.В. Козлов, А.Ю. Красюков, С.А. Поломошнов ; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ); Под ред. Т.Ю. Крупкиной. - М. : МИЭТ, 2010. - 48 с. - Имеется электронная версия издания. - б.ц., 200 экз.

5 Лабораторный практикум по курсу "Моделирование в среде TCAD". Ч. 1. Введение в приборно-технологическое моделирование / Е.А. Артамонова, А.Г. Балашов, А.С. Ключников [и др.] ; М-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, МГИЭТ(ТУ); Под ред. Т.Ю. Крупкиной. - М. : МИЭТ, 2009. - 172 с. - Имеется электронная версия издания. - б.ц., 200 экз.

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. - 4-е изд., электронное. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2020. - 400 с. - URL: https://e.lanbook.com/book/151589 (дата обращения: 11.10.2024). - ISBN 978-5-00101-814-8.

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, др.] [и ; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с. - Изд. выполнено в рамках инновац. образоват. программы МИЭТ "Соврем. проф. образование для рос. инновац. системы в области электроники". - ISBN 978-5-94774-583-2; 978-5-94774-585-6 : 164-45; 265-00, 1000 экз.

Нормативная литература

Не требуется

Периодические издания

1. RUSSIAN MICROELECTRONICS. - : Springer, [2000] - . – URL: http://link.springer.com/journal/11180 (дата обращения: 11.10.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ЭЛЕКТРОНИКА : научно-технический журнал / ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - Москва : МИЭТ, 1996 - . - URL: http://ivuz-e.ru/ (дата обращения: 25.07.2024). - Режим доступа: свободный, до текущего года. - Переводная версия RUSSIAN MICROELECTRONICS (составной журнал), SEMICONDUCTORS (составной журнал). - ISSN 1561-5405 (Print); 2587-9960 (Online). - Текст : электронный : непосредственный.
3. IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES. - USA : IEEE, [б.г.]. – URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=16 (дата обращения: 11.10.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1 IEEE/IET Electronic Library (IEL) [Электронный ресурс] = IEEE Xplore : Электронная библиотека. - USA ; UK, 1998-. - URL: https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp (дата обращения : 10.01.2024). - Режим доступа: из локальной сети НИУ МИЭТ в рамках проекта «Национальная подписка»

2 Лань : Электронно-библиотечная система Издательства Лань. - СПб., 2011-. - URL: https://e.lanbook.com (дата обращения: 10.01.2024). - Режим доступа: для авторизированных пользователей МИЭТ

3 Юрайт : Электронно-библиотечная система : образовательная платформа. - Москва, 2013 - . - URL: https://urait.ru/ (дата обращения : 10.01.2024); Режим доступа: для авторизированных пользователей МИЭТ.

4 eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека: сайт. - Москва, 2000 -. - URL: https://www.elibrary.ru/defaultx.asp (дата обращения: 10.01.2024). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации дисциплины используется **смешанное обучение**, в основе которого лежит интеграция технологий традиционного и электронного освоения компетенций, в частности за счет использования онлайн тестирования, взаимодействие со студентами в электронной образовательной среде.

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

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: раздел ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта, сервисы видеоконференцсвязи, социальные сети.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы** в формах тестирования в ОРИОКС и MOODLe.

При проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внешние электронные ресурсы** в формах:

внешних онлайн-курсов:

1. Онлайн-курс компании Synopsys «Sentaurus Training» (дата обращения: 11.10.2024)

https://kolegite.com/EE_library/books_and_lectures/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%BE%20%D0%B2%20%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0/Sentaurus_Training/index.html

электронных компонентов сервиса youtube (дата обращения: 11.10.2024)*:*

1. TCAD Sentaurus Hands-on Tutorial: Linux Environment (youtube.com)

https://www.youtube.com/watch?v=8I8NErvZdo0&list=PLnK6MrIqGXsKoQhUE-EjgJhum8YlJH4un

2. TCAD sde (англ)

https://www.youtube.com/watch?v=e2Lt3y13oMw&list=PLnK6MrIqGXsKoQhUE-EjgJhum8YlJH4un&index=3

3. TCAD SWB (англ)

https://www.youtube.com/watch?v=IE8HSQfvjLA&list=PLnK6MrIqGXsKoQhUE-EjgJhum8YlJH4un&index=8

4. TCAD svisual (англ)

https://www.youtube.com/watch?v=PHPsyVqsnps&list=PLnK6MrIqGXsKoQhUE-EjgJhum8YlJH4un&index=12

5. TCAD sdevice (англ)

https://www.youtube.com/watch?v=OjYjAaUU3EA&list=PLnK6MrIqGXsKoQhUE-EjgJhum8YlJH4un&index=4

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	**Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы**	**Перечень программного обеспечения**
Учебная аудитория	Компьютер с мультимедийным оборудованием	Win pro от 7, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Crome); Acrobat reader DC
Компьютерный класс для лабораторных работ	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ. Рабочие станции.	Win pro от 7; QtCreator IDE; Microsoft Visual Studio; браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC Операционная система Linux, программное обеспечение Synopsys
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 Microsoft Office браузер Acrobat reader DC

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по компетенции/подкомпетенции ПК-2. ПТМ: «Владеет программными средствами TCAD по решению задач приборно-технологического моделирования»

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

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. Студентам рекомендуется активно пользоваться консультациями

преподавателя: это единственная возможность обучаться индивидуально и выяснить все возникшие вопросы. Кроме этого на консультациях можно защитить лабораторную работу, если не успели на занятии

Материал курса представлен двумя модулями.

В первом модуле рассматриваются алгоритмы и методы моделирования технологических процессов создания ИС в среде приборно-технологического моделирования, в том числе структура пакета приборно-технологического моделирования TCAD Synopsys, алгоритмы моделирования и модели основных технологических процессов, методики проведения исследований в программной среде TCAD.

Во втором модуле рассматриваются алгоритмы и методы приборного моделирования при проектировании ИС, в том числе задачи и алгоритмы численного приборного моделирования, базовые уравнения, переменные, граничные условия, используемые физические модели, методики проведения малосигнального анализа, расчета напряжения пробоя, приборного моделирования субмикронных МДП-транзисторов и гетероструктур.

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.

Лабораторные работы содержатся в каждом модуле. Выполнению заданий предшествует проверка знаний студентов - их теоретической готовности к выполнению задания. По окончанию 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).

Посещение лекций и лабораторных работ является обязательным.

Для закрепления полученных знаний и в качестве практической составляющей подготовки студентов, ими выполняются самостоятельные индивидуальные работы по тематике лабораторных работ (проектные задания). Самостоятельные работы могут проходить как аудиторно (в аудиториях для самостоятельной подготовки), так и дома. Самостоятельные работы нацелены на формирование необходимого опыта практической деятельности и включают в себя построение маршрута в программной среде TCAD для выполнения расчета электрических характеристик наноразмерных КМОП и биполярных структур и проведение моделирования, но без помощи преподавателя и выполняются каждым студентом индивидуально. Защита результатов выполнения самостоятельных индивидуальных работ (проектных заданий) проводится путем публичного представления результатов на зачетном занятии в форме доклада (5-7 мин.) и ответов на вопросы. Доклад сопровождается презентацией. Комиссия для оценивания представленных результатов при проведении зачета формируется с участием специалистов профильных предприятий по данному направлению.

Критерием оценки самостоятельных работ является совокупность данных, реализованных и продемонстрированных в каждом конкретном случае.

Полученные знания на лекциях, а также на лабораторных работах, используются студентами при выполнении индивидуального задания, а так же написании выпускных

квалификационных работ. Опыт, полученный студентами при выполнении лабораторных работ, несомненно, пригодится при работе по специальности.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме 70 баллов) и сдача зачета (30 баллов).

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

РАЗРАБОТЧИКИ:

Профессор Института ИнЭл, д.т.н. _____/Т.Ю. Крупкина/

Доцент Института ИнЭл, к.т.н. _____/А.Ю. Красюков/

Рабочая программа дисциплины «Приборно-технологическое моделирование» по направлению подготовки 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника», направленность (профиль) «Программные средства САПР сверхбольших интегральных схем и систем на кристалле» разработана в Институте ИнЭл и утверждена на заседании Ученого совета Института ИнЭл 06.09 2024 года, протокол № 1

Директор Института ИнЭл _____/В.В. Лосев/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Передовой инженерной школой

Директор ПИШ _____ /А.Л. Переверзев /

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/