

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭИС, профессор
С.И.Эминов
«25» декабря 2020 г.



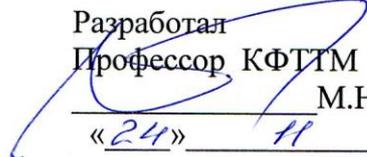
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

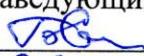
ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СВЕРХБОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

по направлению подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Направленность (профиль) Микроэлектроника и твердотельная электроника

СОГЛАСОВАНО
Начальник отдела обеспечения
детальности ИЭИС

П.В.Лысухо
«25» декабря 2020 г.

Разработал
Профессор КФТТМ

М.Н.Петров
«24» 11 2020 г.

Принято на заседании КФТТМ
Протокол № 4 от 26.11 2020 г.
Заведующий кафедрой ФТТМ, проф.

Б.И.Селезнев
«26» 11 2020 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: сформировать базовые знания и компетенции студентов в области элементной базы, цифровой схемотехники и системотехники, необходимых для проектирования и применения сверхбольших интегральных схем. Подготовить будущих специалистов к разработке базовых блоков СБИС, а также технически грамотному применению реализованных на базе КМОП различных типов СБИС и устройств на их основе, дальнейшему изучению специальной литературы, умению совершенствовать и разрабатывать новые устройства и системы для обработки и преобразования информации.

Задача:

- изучение базовых структур, составляющих основу КМОП систем, используемых в настоящее время для построения СБИС памяти, микропроцессоров и специализированных интегральных схем (ASIC и FPGA).

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника и направленности (профилю) Микроэлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП).

В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках изучения следующих дисциплин: «Физика конденсированного состояния», «Микроэлектроника», «Твердотельная электроника», «Схемотехника».

Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения учебной дисциплины направления подготовки 11.03.04 «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и ИМС», а также при подготовке выпускной квалификационной работы.

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

профессиональные компетенции:

- 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.

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
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		Уметь строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков	Владеть навыками компьютерного моделирования

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		7 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	7	7
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	84	84
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) (при наличии)	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	132	132
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	Экзамен	Экзамен

4.2 Содержание учебной дисциплины

Тема 1. Введение.

Тема 2. Основы проектирования полупроводниковых и микроэлектронных приборов.

Тема 3. Конструкции полупроводниковых СИС и БИС.

Тема 4. Моделирование и расчет параметров МДП-транзисторов ИМС.

Тема 5. Элементная база ИМС на МОП транзисторах.

Тема 6. Программное обеспечение, используемое для проектирования микросхем на примере OrCAD и AIM-SPICE.

Тема 7. Заключение.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)					Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная			В т.ч. СРС	Экзамен		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР				
1.	Введение	1	-	-	2		14	решение задач, отчет по ЛР
2.	Основы проектирования полупроводниковых и микроэлектронных приборов	4	3	4	2		16	решение задач, отчет по ЛР
3.	Конструкции полупроводниковых СИС и БИС	4	3	6	2		24	решение задач, отчет по ЛР
4.	Моделирование и расчет параметров МДП-транзисторов ИМС	4	6	6	2		16	решение задач, отчет по ЛР
5.	Элементная база ИМС на МОП транзисторах	8	9	6	2		24	решение задач, отчет по ЛР
6.	Программное обеспечение, используемое для проектирования микросхем на примере OrCAD и AIM-SPICE	6	7	6	2		24	решение задач, отчет по ЛР
7.	Заключение	1	-	-	2		14	
	Промежуточная аттестация					36		экзамен
	ИТОГО	28	28	28	14	36	132	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ.

4.4.1.1 Одномерное технологическое моделирование КМОП-маршрута с проектными нормами 100 нм и ниже.

4.4.1.2 Двухмерное технологическое моделирование КМОП-маршрута с проектными нормами 100 нм и ниже.

4.4.1.3 Приборное моделирование наноразмерной КМОП – структуры

4.4.1.4 Экстракция параметров компактных моделей МОП-транзисторов на базе смешанного режима приборного моделирования в TCAD.

4.4.1.5 Приборное моделирование НЕМТ транзистора на AlGaAs/GaAs.

4.4.1.6 Двухмерное технологическое моделирование КМОП-маршрута изготовления активного пиксела.

4.4.1.7 Двухмерное приборное моделирование активного пиксела на базе КМОП-технологии.

4.4.1.8 Приборное моделирование запоминающей ячейки.

4.4.1.9 Приборное моделирование МОП транзистора с трехмерным затвором (FinFET).

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	<i>Введение</i> Стандартная терминология, основные понятия и определения. Классификация ИС. Современные архитектурные типы ИС возможностей микроэлектроники. Основные тенденции: от интеграции технологий к функциональной интеграции, интеграции в области системотехники и, наконец, в интеграция знаний (вводная лекция)	1
2.	<i>Основы проектирования полупроводниковых и микроэлектронных приборов</i> Порядок разработки конструкции полупроводникового прибора. Связь конструкции полупроводникового прибора с технологией его изготовления. Последовательность проектирования полупроводниковых диодов, транзисторов и тиристоров. Конструктивные модели полупроводниковых приборов. Особенности конструирования ИМС. Функциональное, схемотехническое и топологическое проектирование ИМС. Критерии оценки качества конструкции. Оценка технико-экономических показателей ИМС (информационная лекция)	4
3.	<i>Конструкции полупроводниковых СИС и БИС</i> Методы изоляции элементов полупроводниковых ИМС. Конструкции активных элементов ИМС: основные конструктивно-технологические разновидности биполярных транзисторов, диодов и МДП транзисторов ИМС. Конструкции пассивных элементов: диффузионные резисторы и конденсаторы, МДП структуры ИМС. Паразитные эффекты в конструкциях полупроводниковых ИМС. Особенности конструкции БИС и СБИС (информационная лекция)	4
4.	<i>Моделирование и расчет параметров МДП-транзисторов ИМС</i> Расчет крутой и пологой частей статических характеристик полевых транзисторов с изолированным затвором (МДП-транзисторов). Влияние нормальной составляющей электрического поля на подвижность носителей заряда в канале. Модель Шихмана-Ходжеса. Расчет SPICE параметров полевых транзисторов: порогового напряжения, удельной крутизны, коэффициента, учитывающего влияние подложки. Способы управления величиной порогового напряжения. Расчет сопротивления канала в открытом состоянии транзистора и активной составляющей выходной проводимости. Расчет емкостей полевого транзистора и его частотные свойства (информационная лекция)	4
5.	<i>Элементная база ИМС на МОП транзисторах</i> НМОП вентили с нагрузкой обогащенного (Е) и обедненного (D) типов. КМОП	8

	вентиль. Передаточные варианты вентиляей. Расчет статических параметров различных вариантов МОП интегральных схем инженерным способом. Точная оценка статических параметров с помощью специальных программных средств (EDA) типа OrCAD или DesignLab. Динамические параметры МОП ИМС. Инженерная методика расчета времени задержки. Расчет потребляемой мощности, включая статическую и динамическую составляющие (информационная лекция)	
6.	<i>Программное обеспечение, используемое для проектирования микросхем на примере OrCAD и AIM-SPICE</i> Обзор и анализ программных средств, входящих в интегрированную среду проектирования OrCAD, предназначенную для реализации сквозного проектирования электронных схем и систем.. Capture — графический редактор схем. Express – моделирование цифровых устройств и синтез программируемой логики типа PLD, CPLD и FPGA. Layout – разработка печатных плат. PSpice AD – моделирование аналоговых и смешанных аналогово-цифровых устройств (информационная лекция)	6
7.	<i>Заключение</i> Перспективы и основные направления развития элементной базы интегральных схем (информационная лекция)	1
	ИТОГО	28

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Расчет статических параметров МОП-инвертора с резистивной нагрузкой инженерным методом (решение задач)	3
2.	Расчет порогового напряжения МОП транзистора (решение задач)	3
3.	Расчет быстродействия МОП-инвертора инженерным методом (решение задач)	3
4.	Расчет быстродействия МОП-инвертора на базе CM SPICE (решение задач)	3
5.	Расчет статических параметров МОП-инвертора на транзисторах нагрузкой с обогащенного типа инженерным методом (решение задач)	3
6.	Расчет статических параметров МОП-инвертора на транзисторах с нагрузкой обедненного типа инженерным методом (решение задач)	3
7.	Расчет статических параметров КМОП-инвертора инженерным методом (решение задач)	3
8.	Расчет параметров компактной модели МОП-транзистора (решение задач)	3
9.	Проектирование топологии МОП интегральных схем (решение задач)	4
	ИТОГО	28

Таблица 6 – Методические рекомендации по организации лабораторных занятий

№	Темы лабораторных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Лабораторная работа № 1. Одномерное технологическое моделирование КМОП-маршрута с проектными нормами 100 нм и ниже	4
2.	Лабораторная работа № 2. Двухмерное технологическое моделирование КМОП-маршрута с проектными нормами 100 нм и ниже	3
3.	Лабораторная работа № 3. Приборное моделирование наноразмерной КМОП – структуры	3
4.	Лабораторная работа № 4. Экстракция параметров компактных моделей МОП-транзисторов на базе смешанного режима приборного моделирования в TCAD	3
5.	Лабораторная работа № 5. Приборное моделирование НЕМТ транзистора на AlGaAs/GaAs	3
6.	Лабораторная работа № 6. Двухмерное технологическое моделирование КМОП-маршрута изготовления активного пиксела	3
7.	Лабораторная работа № 7. Двухмерное приборное моделирование активного пиксела на базе КМОП-технологии	3
8.	Лабораторная работа № 8. Приборное моделирование запоминающей ячейки	3
9.	Лабораторная работа № 9. Приборное моделирование МОП транзистора с трехмерным затвором (FinFET)	3
	ИТОГО	28

Рекомендации по теоретической части

Данная учебная дисциплина фактически представляет собой заключительный раздел дисциплин профессиональной подготовки. Основная ее часть посвящена схемотехническому этапу проектирования ИС, актуальность которого резко возрастает на сегодняшнем этапе, характеризуемемся освоением субмикронной технологии производства изделий электронной техники.

При изучении данной дисциплины рекомендуется обратить внимание на освоение студентами программных средств, предназначенных для моделирования компонентов и фрагментов СБИС на аналоговом уровне. Ядром этих средств является особый класс физических моделей, называемых SPICE-моделями. Эти модели важны не только для проектирования и моделирования работы схем, но часто используются и для оптимизации процесса производства. Последнее связано с тем, что переход к новому технологическому процессу, характеризуемому снижением топологической нормы, сопровождается усложнением SPICE-моделей компонентов за счет необходимости учета новых нелинейных эффектов. Именно адекватность и точность указанных моделей определяет достоверность расчета цифровых фрагментов СБИС.

Дополнительная литература, которая не вошла в таблицу Б.2.

1 Жан М. Рабаи Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования / Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Бориводж Николич. – М.: Вильямс, 2007. – 894 с.

2 David A. Hodges, Horace G. Jackson, Resve Saleh. Analysis and design of digital integrated circuits: in deep submicron technology. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill, 2003. – 307 p.

3 Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 336 с.

4 Electronic Design Automation: Synthesis, Verification, and Test. Ed. Laung-Terng Wang, Kwang-Ting (Tim) Cheng, Yao-Wen Chang. – Amsterdam: Elsevier, 2009. – 971 p.

5 Nikhil Jayakumar, Suganth Paul, Rajesh Garg, Kanupriya Gulati, Sunil P. Khatri. Minimizing and Exploiting Leakage in VLSI Design. NY: Springer, 2010. – 229 p.

6 Electronic device architectures nano-CMOS era: From ultimate CMOS scaling to beyond CMOS devices. Ed. Simon Deleonibus. Singapore: Pan Stanford Publishing, 2009. – 440 p.

7 Wayne Wolf . Modern VLSI Design: IP-Based Design. 4th ed. NY: Prentice-Hall, 2009. – 632 p.

Рекомендации по практическим занятиям

В ходе изучения учебной дисциплины осуществляется цикл практических занятий, посвященных расчету электрических параметров компонентов и элементов СБИС.

Полевые транзисторы. Моделирование ВАХ МОП транзистора. Расчет порогового напряжения V_{TO} и коэффициента, учитывающего влияние подложки γ . Моделирование подпороговых характеристик ПТШ. Анализ характеристик ГПТ в режиме насыщения. Анализ влияния эффекта снижения крутизны ГПТ на быстродействие вентиля. Моделирование КМОП операционного усилителя. Кольцевой генератор на ПТШ. Инвертор на a-Si:H ТПТ с нагрузкой обогатленного типа.

Инверторы на МОП-транзисторах. Расчет передаточных характеристик НМОП инверторов с нагрузкой обогатленного и обедненного типов. Определение основных статических параметров: V^0 , V^1 , $V^1_{пор}$, $V^0_{пор}$, ΔV , $V_{пом}$. Расчет нагрузочной способности и потребляемой мощности. Моделирование динамических параметров: средней задержки и работы переключения.

КМОП инвертор. Разработка топологического чертежа. Анализ работы по постоянному току. Моделирование передаточной характеристики. Анализ работы в малосигнальном режиме. Расчет времени задержки. Моделирование паразитных емкостей. Расчет основных составляющих потребляемой мощности: заряд и разряд паразитных емкостей, утечки, режим «квази» короткого замыкания.

Петров М. Н., Телина И.С. Практикум по моделированию микроэлектронных компонентов и схем с помощью программы AIM-SPICE: Учебное пособие. НовГУ им. Ярослава Мудрого. – В. Новгород, 2021. – 167 с.

Рекомендации по проведению лабораторных работ

При проведении лабораторного практикума студенты самостоятельно выполняют лабораторные работы, получая необходимые консультации у преподавателя. Занятия строятся следующим образом.

Первое занятие:

- проводится инструктаж по технике безопасности;
- студенты разбиваются на группы для выполнения ЛР;
- студенты знакомятся с порядком выполнения, защиты ЛР, правилами оформления отчета (в соответствии с СТО 1.701-2010. Текстовые документы. Общие требования к построению и оформлению);
- студентам указывается число баллов, которое можно набрать при выполнении лабораторного практикума;
- студенты выполняют первую лабораторную работу.

На втором и последующих занятиях:

- проводится защита выполненной лабораторной работы;
- выполняются последующие работы.

Без защиты лабораторных работ допускается выполнить только две работы.

Лабораторный практикум считается выполненным, если студент выполнил и защитил все лабораторные работы, набрав при этом минимально необходимую сумму баллов.

Для выполнения лабораторного практикума студенты должны пользоваться методическими указаниями к соответствующей лабораторной работе: Методические указания к лабораторным работам «Элементная база СБИС [электронный ресурс] / сост. М.Н.Петров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2014. – 75 с. Методические указания содержат методику и порядок проведения лабораторных работ, указания по выполнению отчета о работе, контрольные вопросы.

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методическое обеспечение учебной дисциплины (модуля) представлено в приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 – Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению согласно ФГОС ВО	Наличие материально-технического оборудования
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	аудитория для проведения лекционных и/или практических занятий: учебная мебель (столы, стулья, доска) <i>компьютерный класс</i> с выходом в Интернет, в том числе для проведения практических занятий помещения для самостоятельной работы (наличие компьютера, выход в Интернет)
2.	Мультимедийное оборудование	ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети

		«Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800x600)
3.	Программное обеспечение	
	Наименование программного продукта	Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)
	Microsoft Windows 7 Professional	Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212
	Microsoft Windows 10 for Educational Use	Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212
	Microsoft Office 2013 Standard	Open License № 62018256
	Microsoft Imagine (Microsoft Azure Dev Tools for Teaching) Standard	Договор №243/ю, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212
	АВВУУ FineReader PDF 15 Business. Версия для скачивания (годовая лицензия с академической скидкой)*	Договор №191/Ю
	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 500-999. Node 1 year Educational Renewal License *	Договор №148/ЕП(У)20-ВВ, 1С1С-200914-092322-497-674
	Антиплагиат. Вуз.*	Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВВ
	Подписка Microsoft Office 365	свободно распространяемое для вузов
	Adobe Acrobat	свободно распространяемое
	Teams	свободно распространяемое
	Skype	свободно распространяемое
	Zoom	свободно распространяемое
		Дата выдачи
		30.04.2015
		30.04.2015
		31.07.2016
		19.12.2018
		16.11.2020
		11.09.2020
		29.01.2021
		-
		-
		-
		-
		-

* отечественное производство

Приложение А (обязательное)

Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Элементная база сверхбольших интегральных схем»

1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1.	Решение задач	Темы практических занятий с 1 по 8	8x8	ПК-1
		Тема практического занятия 9	11	
2.	Отчет по ЛР	Все темы лабораторных занятий	25x9	
<i>Промежуточная аттестация</i>				
	<i>Экзамен</i>		50	
	ИТОГО		350	

1) Решение задач

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество задач</i>
Способен правильно подобрать нужные формулы и правильно их применить	1	1
Выполнены нужные вычисления и преобразования		
Получен правильный ответ		

Пример решения задачи:

Рассчитать пороговое напряжение (V_{TO}) и коэффициент, учитывающий влияние подложки (γ) для NМОП транзистора

Исходные данные: $N_A(\text{подл}) = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$
 $N_D(\text{затвор}) = 1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$
 $t_{ox} = 700 \text{ \AA}$
 $N_{SS} = 2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$

Решение:

$$\varphi_{F(\text{ПОДЛ})} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{n_i}{N_A}\right) = 0,026 \cdot \ln\left[\frac{1,45 \cdot 10^{10}}{1 \cdot 10^{15}}\right] = -0,29 \text{ В}$$

$$V_{MS} = \varphi_{F(\text{ПОДЛ})} - \varphi_{F(\text{ЗАТВОР})} = -0,29 - \frac{kT}{q} \ln\left[\frac{10^{20}}{1,45 \cdot 10^{10}}\right] = -0,88 \text{ В}$$

$$\varepsilon_{\text{OX}} \cdot \varepsilon_0 = 3,9 \cdot \varepsilon_0 = 0,35 \text{ пФ/см}$$

$$C_{\text{OX}} = \frac{\varepsilon_{\text{OX}} \cdot \varepsilon_0}{t_{\text{OX}}} = \frac{0,35 \cdot 10^{-12}}{7 \cdot 10^{-6}} = 49 \cdot 10^{-9} \text{ [Ф/см}^2\text{]}$$

$$Q_{\text{ОПЗ}} = -\sqrt{2q \cdot N_A \varepsilon_{\text{Si}} \varepsilon_0 2\varphi_{F(\text{ПОДЛ})}} = -\sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15} \cdot 1,04 \cdot 10^{-12} \cdot 0,58} =$$

$$= -1,4 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Кл}}{\text{см}^2}$$

$$V_{\text{OX}} = \frac{Q_{\text{ОПЗ}}}{C_{\text{OX}}} = -\frac{1,4 \cdot 10^{-8}}{49 \cdot 10^{-9}} = -0,28 \text{ В}$$

$$V_{\text{SS}} = \frac{Q_{\text{SS}}}{C_{\text{OX}}} = \frac{q \cdot N_{\text{SS}}}{C_{\text{OX}}} = \frac{2 \cdot 10^{10} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{49 \cdot 10^{-9}} \approx 0,07 \text{ В}$$

$$V_{\text{ТО}} = -2\varphi_F - V_{\text{OX}} - V_{\text{MS}} - V_{\text{SS}} = -(-0,58) - (-0,28) - 0,88 - 0,07 = -0,09 \text{ В}$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{2 \cdot q \cdot N_A \cdot \varepsilon_0 \varepsilon_{\text{Si}}}}{C_{\text{OX}}} = \frac{\sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,04 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{15}}}{49 \cdot 10^{-9}} = 0,37 \text{ В}^{1/2}$$

2) Отчёт по ЛР

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Лабораторная работа выполнена в полном объеме	1
Соблюдены требования по технике безопасности	
Правильно и аккуратно составлен отчет в соответствии с требованиями СТО 1.701-2010	
Студент грамотно формулирует ответы	
Свободно владеет материалом по изучаемому разделу	

Пример контрольных вопросов по лабораторной работе:

Лабораторная работа № 3. Приборное моделирование наноразмерной КМОП – структуры

Вопросы:

- 1 Какие уравнения и модели необходимо использовать при расчете проходной ВАХ наноразмерного n-канального МОП-транзистора в программе Sentaurus Device ?
- 2 Какие уравнения и модели необходимо использовать при расчете проходной ВАХ наноразмерного p-канального МОП-транзистора в программе Sentaurus Device ?
- 3 Какие уравнения и модели необходимо использовать при расчете выходных ВАХ наноразмерного n-канального МОП-транзистора в программе Sentaurus Device ?
- 4 Какие уравнения и модели необходимо использовать при расчете выходных ВАХ наноразмерного p-канального МОП-транзистора в программе Sentaurus Device ?

3) Экзамен

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
студент обладает глубокими и прочными знаниями программного материала	18	3
при ответе на два вопроса демонстрирует последовательное и логически стройное изложение		
Задача решена правильно		

Экзамен состоит из двух частей: теоретической и практической. Теоретическая часть экзамена представляет собой два вопроса. Практическая часть экзамена состоит из задачи.

Вопросы к экзамену:

- 1 Классификация ИС. Современные архитектурные типы ИС.
- 2 Порядок разработки конструкции полупроводникового прибора. Связь конструкции полупроводникового прибора с технологией его изготовления.
- 3 Последовательность проектирования полупроводниковых диодов, транзисторов и тиристоров. Конструкторские модели полупроводниковых приборов.
- 4 Особенности конструирования ИМС. Функциональное, схемотехническое и топологическое проектирование ИМС.
- 5 Критерии оценки качества конструкции. Оценка технико-экономических показателей ИМС.
- 6 Методы изоляции элементов полупроводниковых ИМС.
- 7 Конструкции активных элементов ИМС: основные конструктивно-технологические разновидности биполярных транзисторов, диодов и МДП транзисторов ИМС.
- 8 Особенности конструкции БИС и СБИС.
- 9 Расчет крутой и пологой частей статических характеристик полевых транзисторов с изолированным затвором (МДП-транзисторов). Влияние нормальной составляющей электрического поля на подвижность носителей заряда в канале.
- 10 Модель Шихмана-Ходжеса. Расчет SPICE параметров полевых транзисторов: порогового напряжения, удельной крутизны, коэффициента, учитывающего влияние подложки.
- 11 Способы управления величиной порогового напряжения. Расчет сопротивления канала в открытом состоянии транзистора и активной составляющей выходной проводимости.
- 12 Расчет емкостей полевого транзистора и его частотные свойства.
- 13 НМОП вентили с нагрузкой обогащенного (E) и обедненного (D) типов.
- 14 КМОП вентиль.
- 15 Передаточные варианты вентиляей.
- 16 Расчет статических параметров различных вариантов МОП интегральных схем инженерным способом.
- 17 Точная оценка статических параметров с помощью специальных программных средств (EDA) типа OrCAD, DesignLab или AIM-SPICE.
- 18 Динамические параметры МОП ИМС. Инженерная методика расчета времени задержки.
- 19 Расчет потребляемой мощности, включая статическую и динамическую составляющие.
- 20 Программное обеспечение, используемое для проектирования микросхем.
- 21 Обзор и анализ программных средств, входящих в интегрированную среду проектирования OrCAD, предназначенную для реализации сквозного проектирования электронных схем и систем.

- 22 Capture — графический редактор схем.
- 23 Express — моделирование цифровых устройств и синтез программируемой логики типа PLD, CPLD и FPGA.
- 24 Layout — разработка печатных плат.
- 25 PSPICE AD — моделирование аналоговых и смешанных аналогово-цифровых устройств.
- 26 Перспективы и основные направления развития элементной базы интегральных схем.

Пример экзаменационного билета

Пример экзаменационного билета

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

Учебная дисциплина «**Элементная база сверхбольших интегральных схем**»

Для направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) Микроэлектроника твердотельная электроника

1. Классификация ИС. Современные архитектурные типы ИС.
2. Точная оценка статических параметров с помощью специальных программных средств (EDA) типа OrCAD, DesignLab или AIM-SPICE.
3. Задача.
Рассчитать пороговое напряжение (V_{TO}) и коэффициент, учитывающий влияние подложки (γ) для NМОП транзистора.

Принято на заседании кафедры

«___» _____ 20__ г.

Протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ (ФИО)

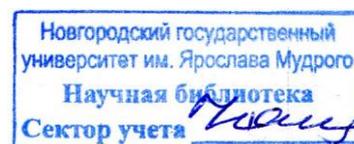
Все материалы для проведения промежуточного контроля хранятся на кафедре.

Приложение Б
(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения учебной дисциплины
«Элементная база сверхбольших интегральных схем»

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Казеннов Г. Г. Основы проектирования интегральных схем и систем / Г. Г. Казеннов. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. - 295 с. : ил. - Библиогр. в конце гл. - На обл.: Электроника. - ISBN 5-94774-232-2. - ISBN 978-5-947-74232-9	6	
2 Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов СБИС : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. 210104 (200100) "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / М.Н.Петров, Г. В. Гудков; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2006. - 584 с. : ил. - ISBN 5-89896-302-2	7	
3 Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учебное пособие для вузов / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. - Санкт-Петербург; Москва ; Краснодар : Лань, 2011. - 462, [1] с. : ил. - (Учебники для вузов, Специальная литература). - Библиогр.: с. 454-457. - Прил.: с. 450-453. - ISBN 978-5-8114-1075-0	15	
Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учебное пособие для вузов / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. - Санкт-Петербург : Лань, 2017. - 462, [1] с. : ил. - (Учебники для вузов, Специальная литература). - Библиогр.: с. 454-457. - Прил.: с. 450-453. - ISBN 978-5-8114-1075-0	1	
Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учебное пособие для вузов / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. - Санкт-Петербург : Лань, 2018. - 462, [1] с. : ил. - (Учебники для вузов, Специальная литература). - Библиогр.: с. 454-457. - Прил.: с. 450-453. - ISBN 978-5-8114-1075-0	2	
4 Петров В. Н. Разработка цифровых схем с использованием языков описания аппаратуры в среде САПР Quartus II : монография / В. Н. Петров, М. Н. Петров, В. А. Стащенко ; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2014. - 94, [1] с. — URL: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2051	3	БиблиоТех
5 Петров М. Н. Моделирование микроэлектронных компонентов и схем с помощью программы AIM-SPICE : учебное пособие / М. Н. Петров ; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2014. - 72, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 72. - ISBN 978-5-89896-526-6— URL: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2185	10	БиблиоТех



Электронные ресурсы		
1 Сайт, разработчиков программы AIM-SPISE, где можно скачать бесплатную версию этой программы http://www.aimspice.com		
2 Сайт компании Cadence, одного из лидеров в разработке САПР проектирования изделий электронной техники http://www.cadence.com		

Таблица Б.2 –Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Гаврилов С. В. Методы анализа логических корреляций для САПР цифровых КМОП СБИС / С. Гаврилов. - Москва : Техносфера, 2011. - 135, [1] с. : ил. - (Мир цифровой обработки ; XI (08)). - Библиогр.: с. 132. - Прил.: с. 132. - ISBN 978-5-94836-280-9	2	
2 Красников Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов : в 2 ч. Ч. 1 / Г. Красников. - Москва : Техносфера, 2002. - 413 с. : ил. - Библиогр. в конце гл. - ISBN 5-94836-001-6	2	
Красников Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов : в 2 ч. Ч. 2 / Г. Красников. - Москва : Техносфера, 2004. - 535 с. : ил. - Библиогр. в конце гл. - ISBN 5-94836-001-6	2	
Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г. Я. Красников. - 2-е изд., испр. - Москва : Техносфера, 2011. - 799, [1] с. : ил. - (Мир электроники). - Библиогр. в конце гл. - ISBN 978-5-94836-289-2	4	
3 Лукин К. Г. Системное моделирование в среде SIMULINK : монография / К. Г. Лукин, М. Н. Петров ; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2013. - 82, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 81-82. - ISBN 978-5-98769-110-6. – URL: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2060	3	БиблиоТех
4 Моделирование систем : учебное пособие для вузов / И. А. Елизаров [и др.]. - Старый Оскол : ТНТ, 2014. - 135, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 135. - Изд-во ТНТ: Тонкие наукоемкие технологии. - ISBN 978-5-94178-350-2	5	
Электронные ресурсы		
1		
2		

Таблица Б.3 – Информационное обеспечение

Наименование ресурса	Договор	Срок договора
Профессиональные базы данных		
База данных электронной библиотечной системы вуза «Электронный читальный зал-БиблиоТех» https://www.novsu.ru/dept/1114/bibliotech/	Договор № БТ-46/11 от 17.12.2014	бессрочный
Электронный каталог научной библиотеки http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
База данных «Аналитика» (картотека статей) http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU https://elibrary.ru/	в открытом доступе	

Национальная подписка в рамках проекта Министерства образования и науки РФ (Госзадание № 4/2017 г.) к наукометрическим БД Scopus и Web of Science https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic	регистрация (территория вуза)	2022
База данных электронно-библиотечной системы «Национальная электронная библиотека» https://нэб.рф	в открытом доступе	-
Информационные справочные системы		
Университетская информационная система «РОССИЯ» https://uisrussia.msu.ru	в открытом доступе	-
Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» https://openedu.ru	в открытом доступе	-
Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии http://protect.gost.ru/	в открытом доступе	-

Проверено НБ НовГУ

Зав. кафедрой  Б.И. Селезнев
подпись И.О. Фамилия
« 26 » 11 2020 г.



