Министерство образования и науки 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
"14"_06_____2017 г.

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СВЕРХБОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Учебный модуль для направления подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Профиль – Микроэлектроника и твердотельная электроника

Рабочая программа

СОГЛАСОВАНО
Начальник учебного отдела
_____О.Б.Широколобова
"14"_06_____2017 г.

Разработал
Профессор КФТТМ
_____М.Н.Петров
«22»_05_____ 2017 г.

Принято на заседании КФТТМ
Протокол №_10_от_22.05_2017 г.
Заведующий кафедрой ФТТМ, проф.
_____ Б.И.Селезнев

1 Цели освоения учебного модуля

Цель учебного модуля (УМ) «Элементная база сверхбольших интегральных схем» – сформировать базовые знания и компетенции студентов в области элементной базы, цифровой схемотехники и системотехники, необходимых для проектирования и применения сверхбольших интегральных схем.

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

Ведущая идея – освоение программы УМ должно 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.

2 Место учебного модуля в структуре ОП направления подготовки

Учебный модуль «Элементная база сверхбольших интегральных схем» входит в вариативную часть блока 1 базового учебного плана направления подготовки бакалавров 11.03.04 – Электроника и наноэлектроника, изучается в 7 семестре.

Изложение модуля базируется на знаниях, полученных при изучении учебных модулей: «Микроэлектроника и твердотельная электроника», «Схемотехника», «Физика конденсированного состояния».

В результате изучения предшествующих модулей и для изучения УМ «Элементная база сверхбольших интегральных схем», обучающиеся должны:

знать:

- физические процессы, лежащие в основе функционирования базовых полупроводниковых структур;
- современные тенденции в области физики конденсированного состояния;

уметь:

- определять основные параметры и характеристики полупроводниковых приборов и компонентов интегральных микросхем;
- выполнять проектирование и анализ транзисторных схем;

владеть:

- навыками исследования физических процессов, протекающих в полупроводниковых структурах;
- методикой расчета основных параметров полупроводников.

Знания и умения, полученные при изучении учебного модуля «Элементная база сверхбольших интегральных схем», используются при освоении учебного модуля «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и ИМС», а также при подготовке выпускной квалификационной работы.

3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ направлен на формирование компетенций:

- ОПК-7 готов учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;

- ДПК-1 способность к разработке и моделированию конструкций и топологий изделий «система в корпусе».

В результате освоения УМ студент должен знать, уметь и владеть:

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ОПК-7	базовый	основные направления развития современной элементной базы микро- и наноэлектроники	учитывать современные тенденции развития электроники	методами развития информационных технологий
ДПК-1	повышенный	физические процессы в интегральных микро- и наноэлектронных МДП устройствах; принципы, используемые в системах автоматизированного схемотехнического проектирования	применять приобретенные знания для проведения коррекции моделей микро- и наноэлектронных устройств для компьютерного моделирования с учетом изменения параметров масштабированных структур	методами схемотехнического проектирования на базе CM SPICE с использованием компактных моделей микро- и наноэлектронных компонентов

4 Структура и содержание учебного модуля

4.1 Трудоемкость учебного модуля

Учебная работа (УР)	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
	7 семестр	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕ)	9	
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):	324	
- лекции	54	ОПК-7 ДПК-1
- практические занятия	63	
- лабораторные работы	27	
- в т.ч. аудиторная СРС	36	
- внеаудиторная СРС	180	
- курсовая работа	36	
Аттестация: - экзамен	36	

4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

1 Введение

Стандартная терминология, основные понятия и определения. Классификация ИС. Современные архитектурные типы ИС.

2 Основы проектирования полупроводниковых и микроэлектронных приборов

Порядок разработки конструкции полупроводникового прибора. Связь конструкции полупроводникового прибора с технологией его изготовления. Последовательность проектирования полупроводниковых диодов, транзисторов и тиристоров. Конструкторские модели полупроводниковых приборов.

Особенности конструирования ИМС. Функциональное, схемотехническое и топологическое проектирование ИМС. Критерии оценки качества конструкции. Оценка технико-экономических показателей ИМС.

3 Конструкции дискретных полупроводниковых приборов и активных компоненте ИМС

Основные элементы конструкции полупроводниковых диодов. Конструктивные разновидности полупроводниковых диодов. Особенности конструкции стабилитронов, варикапов и других специальных типов диодов.

Конструкции низкочастотных биполярных транзисторов. Малошумящие ВЧ и СВЧ транзисторы Мощные ВЧ и СВЧ транзисторы. Основные конструктивно-технологические разновидности полевых транзисторов. Особенности конструкции тиристоров.

4 Конструкции полупроводниковых СИС и БИС

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.

5 Моделирование и расчет параметров МДП-транзисторов ИМС

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.

6 Элементная база ИМС на МОП транзисторах

NМОП вентили с нагрузкой обогащенного (E) и обедненного (D) типов. КМОП вентиль. Передаточные варианты вентилей. 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.

7 Проектирование функциональных цифровых модулей на базе КМОП схем

Введение. Сумматоры. Обзор различных вариантов реализации сумматоров. Счетчики. Регистры. Память. Статическая память. Основные типы динамической памяти. Арифметические логические устройства (АЛУ). Реализация программируемых логических массивов.

8 Специализированные интегральные схемы — ASIC

Основные типы специализированных ИС. Полностью заказные ИС. Схемы на базовых ячейках. Матричные ИС. Программируемых логические ИС (ПЛИС). Программируемая логика типа PLD, CPLD и FPGA.

9 Программное обеспечение, используемое для проектирования микросхем на примере OrCAD и AIM-SPICE

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.

10 Заключение

Перспективы и основные направления развития элементной базы интегральных схем.

4.3 Лабораторный практикум

Номер раздела УМ	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ак.час
1-10	Лабораторная работа №1. Одномерное технологическое моделирование КМОП-маршрута с проектными нормами 100 нм и ниже	3
	Лабораторная работа № 2. Двухмерное технологическое моделирование КМОП-маршрута с проектными нормами 100 нм и ниже	3
	Лабораторная работа № 3. Приборное моделирование наноразмерной КМОП – структуры.	3
	Лабораторная работа № 4. Экстракция параметров компактных моделей МОП-транзисторов на базе смешанного режима приборного моделирования в TCAD	3
	Лабораторная работа № 5. Приборное моделирование HEMT транзистора на AlGaAs/GaAs	3
	Лабораторная работа № 6. Двухмерное технологическое моделирование КМОП-маршрута изготовления активного пиксела	3
	Лабораторная работа № 7. Двухмерное приборное моделирование активного пиксела на базе КМОП-технологии.	3
	Лабораторная работа № 8. Приборное моделирование запоминающей ячейки	3
	Лабораторная работа № 9. Приборное моделирование МОП транзистора с трехмерным затвором (FinFET)	3

4.4 Организация изучения учебного модуля

Методические рекомендации по организации изучения УМ с учетом использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий даются в приложении А.

5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества освоения модуля используются формы контроля: текущий – регулярно в течение всего семестра и семестровый (экзамен) – по окончании изучения модуля.

Максимальное количество баллов, получаемое студентом в ходе изучения модуля – 450. Пороговому уровню соответствует 225 баллов. Максимальное количество баллов, получаемое на экзамене – 50. К сдаче экзамена по модулю допускаются студенты, у которых текущий рейтинг по каждому из контрольных мероприятий не ниже порогового уровня успеваемости. Максимальное количество баллов за курсовую работу – 50.

Оценка качества освоения модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с Положением «Об организации учебного процесса по образовательным программам высшего образования» и Положением «О фонде оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации студентов и итоговой аттестации выпускников».

В качестве оценочных средств на протяжении семестра используются: решение задач на практических занятиях, выполнение лабораторных работ, выполнение курсовой работы, экзамен.

Содержание видов контроля и их график отражены в технологической карте (приложение Б). Паспорта компетенций представлены в приложении В.

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины представлено Картой учебно-методического обеспечения (приложение Г).

7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля

Для осуществления образовательного процесса по УМ используется лекционная аудитория, оборудованная мультимедийными средствами, подключенными к серверу Новгородского университета, на который установлено САПР приборно-технологического моделирования TCAD Synopsys.

Приложения (обязательные):

А – Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля

Б – Технологическая карта

В – Паспорта компетенций

Г – Карта учебно-методического обеспечения

Приложение А
(обязательное)

Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля «Элементная база сверхбольших интегральных схем»

А.1 Методические рекомендации по теоретической части

Данный модуль фактически представляет собой заключительный раздел модулей профессиональной подготовки. Основная ее часть посвящена схемотехническому этапу проектирования ИС, актуальность которого резко возрастает на сегодняшнем этапе, характеризуемся освоением субмикронной технологии производства изделий электронной техники.

При изучении данного модуля 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.

Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела и указана в таблице А.1. В таблице А.1 также отражены разделы, технологии и формы проведения занятий. Список основной литературы приведен в приложении Г.

А.2 Методические рекомендации по практическим занятиям

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

Полевые транзисторы. Моделирование ВАХ МОП транзистора. Расчет порогового напряжения V_{T0} 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 обогащенного типа.

Инверторы на МОП-транзисторах. Расчет передаточных характеристик NMOП инверторов с нагрузкой обогащенного 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.

Пример решения задачи:

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

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

Решение:

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

$$V_{MS} = \varphi_{F(подл)} - \varphi_{F(затвор)} = -0{,}29 - \frac{kT}{q}\ell n\left[\frac{10^{20}}{1{,}45 \cdot 10^{10}}\right] = -0{,}88 \text{ в}$$

$\varepsilon_{ox} \cdot \varepsilon_o = 3{,}9 \cdot \varepsilon_o = 0{,}35$ пФ/см

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

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

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

$$V_{ox} = \frac{Q_{опз}}{C_{ox}} = -\frac{1{,}4 \cdot 10^{-8}}{49 \cdot 10^{-9}} = -0{,}28 \text{ в}$$

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

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

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

А.3 Методические 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. Перечень ЛР указан в разделе 4.3 настоящей рабочей программы.

Для выполнения лабораторного практикума по УМ студенты должны пользоваться методическими указаниями к соответствующей лабораторной работе (таблица Г.1 – Обеспечение учебного модуля учебными изданиями).

Методические указания содержат методику и порядок проведения лабораторных работ, указания по выполнению отчета о работе, контрольные вопросы.

А.4 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов по модулю предусматривает проработку необходимых разделов конспекта лекций, подготовку к практическим занятиям.

Для подготовки к практическим занятиям, экзамену рекомендуется пользоваться основной и дополнительной учебно-методической литературой, представленной в таблице А.1 и в карте учебно-методического обеспечения.

Для самостоятельной подготовки к экзамену предлагаются контрольные вопросы по модулю.

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 NМОП вентили с нагрузкой обогащенного (E) и обедненного (D) типов.

14 КМОП вентиль.

15 Передаточные варианты вентилей.

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 Сумматоры. Обзор различных вариантов реализации сумматоров.

21 Счетчики. Регистры.

22 Память. Статическая память. Основные типы динамической памяти.

23 Арифметические логические устройства (АЛУ).

24 Реализация программируемых логических массивов.

25 Основные типы специализированных ИС. Полностью заказные ИС.

26 Схемы на базовых ячейках. Матричные ИС.

27 Программируемых логические ИС (ПЛИС).

28 Программируемая логика типа PLD, CPLD и FPGA.

29 Программное обеспечение, используемое для проектирования микросхем.

30 Обзор и анализ программных средств, входящих в интегрированную среду проектирования OrCAD, предназначенную для реализации сквозного проектирования электронных схем и систем.

31 Capture — графический редактор схем.

32 Express — моделирование цифровых устройств и синтез программируемой логики типа PLD, CPLD и FPGA.

33 Layout — разработка печатных плат.

34 PSPICE AD — моделирование аналоговых и смешанных аналогово-цифровых устройств.

35 Перспективы и основные направления развития элементной базы интегральных схем.

Пример экзаменационного билета по учебному модулю
«Элементная база сверхбольших интегральных схем»

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО «Новгородский государственный университет
им. Ярослава Мудрого»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

УМ «Элементная база сверхбольших интегральных схем» кафедра ФТТМ

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 NMOП транзистора.

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

Зав. КФТТМ _____ Б.И.Селезнев

А.5 Методические рекомендации по курсовой работе

Для выполнения курсовой работы по УМ студенты должны использовать методические указания: Методические указания к расчетно-конструкторской работе по дисциплине «Элементная база СБИС» / Сост. М.Н.Петров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2010. – 38 с.

При выполнении курсовой работы, студент должен освоить системы схемотехнического проектирования: DesignLab, OrCAD и AIM-SPICE. Расчетно-графическая работа — расчёт фрагмента СБИС. Содержанием расчета фрагмента КМОП интегральной схемы являются синтез принципиальной и функциональной схем, расчет схемотехнических параметров и временных характеристик, подтверждающих правильность функционирования схемы, с использованием современных САПР (EDA) типа OrCAD, Design Lab или AIM-Spice.

Пример задания на курсовую работу

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

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Зав. КФТТМ
_____ Б.И.Селезнев
« ___» _____ 20 г.

Задание на курсовую работу

Студенту гр. .....

Учебный модуль ***ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СБИС***

1. Тема

Синтезировать принципиальную электрическую схему, рассчитать электрические характеристики и разработать эскиз топологии КМОП вентиля. Определить дозы ионной имплантации, необходимые для корректировки расчетных значений пороговых напряжений до величин

V_{TN} = 1,0 В; V_{TP} = -1,0 В

2. Функциональное назначение

Реализация логической функции ***F = X1 + X2 + X3***

3. Технические параметры

$U^O = 0$ В; $U^1 \geq 4{,}5$ В; $U_{ПОМ} \geq 1.0$ В; $K_{РАЗ} \geq 10$; $U_{ПИТ} = 5 \pm 0{,}5$ В;

4. Условия эксплуатации

Диапазон рабочих температур (-55, +75) ^{O}C

5. Конструктивно-технологические параметры

Lmin = 4 мкм; Na = $8*10^{14}$ см $^{-3}$; μ_n = 620 см^2/В*с;

μ_p = 350 см^2/В*с; Na (p^+) = $5*10^{19}$ см $^{-3}$; Nd (поли) = $8*10^{19}$ см $^{-3}$;

Nd = $1*10^{16}$ см $^{-3}$; Nd (n^+) = $5*10^{19}$ см $^{-3}$; hkl = < 100 >;

Xjn^+ = 1,2 мкм; Xjp^+ = 1,2 мкм; Xw = 3,0 мкм; t_{ox} = 0,1 мкм

6. Наименование работ и сроки их выполнения

Синтез принципиальной электрической схемы	22.02.20…
Расчет электрических параметров MOS транзисторов	30.02.20…
Расчет электрических параметров вентиля	7.03.20…
Разработка топологии MOS транзисторов	14.03.20…
Разработка эскиза топологического чертежа вентиля	21.03.20…
Корректировка и уточнение динамических параметров вентиля с помощью программы PSPICE (AIM-SPICE)	28.04.20…
Оформление отчета по комплексной работе	12.05.20…
Защита работы	19.05.20…

7. Рекомендуемая литература

1. Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем: Учебное пособие / М.Н.Петров, Г.В.Гудков; СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 464 с.
2. Казеннов Г.Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. - М.: Бином, Лаборатория базовых знаний, 2005. – 295 с.
3. Жан М. Рабаи Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования / Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Бориводж Николич. – М.: Вильямс, 2007. – 894 с.

8. Документы по РГР

Техническое задание.
Схема электрическая принципиальная.
Эскиз топологического чертежа.
Листинги расчетов на ЭВМ.
Пояснительная записка.

Задание выдал
к.т.н., проф.
..... М.Н.Петров
..... 20 г.

Таблица А.1 – Организация изучения учебного модуля «Элементная база сверхбольших интегральных схем»

Раздел модуля	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература
1 Введение	- вводная лекция - информационная лекция - проведение практических занятий - лабораторный практикум: вводное занятие	- изучение литературы по теме - ознакомление по метод. указаниям с лаб.работами (имеются в лаборатории)	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. 8 Петров В.Н. Расчет параметров моделей компонентов биполярных интегральных схем: методические указания к курсовому и дипломному проектированию / В.Н.Петров, М.Н.Петров, Б.И.Селезнев. – Новгород: Новоблстат, 1995. – 26 с. 9 Петров В.Н. Программные компоненты интегрированной сквозной САПР ИМС: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ
2 Основы проектирования полупроводниковых и микроэлектронных приборов	- информационная лекция - проведение практических занятий - лабораторный практикум	- изучение литературы по теме - выполнение расчетного задания - выполнение лабораторной работы	
3 Конструкции дискретных полупроводниковых приборов и активных компоненте ИМС	- информационная лекция - проведение практических занятий - лабораторный практикум	- изучение литературы по теме - выполнение расчетного задания - выполнение лабораторной работы	
4 Конструкции полупроводниковых СИС и БИС	- информационная лекция - проведение практических занятий - лабораторный практикум	- изучение литературы по теме - выполнение расчетного задания - выполнение лабораторной работы	
5 Моделирование и расчет параметров МДП-транзисторов ИМС	- информационная лекция - проведение практических занятий - лабораторный практикум	- изучение литературы по теме - выполнение расчетного задания - выполнение лабораторной работы	
6 Элементная база ИМС на МОП транзисторах	- информационная лекция - проведение практических занятий - лабораторный практикум	- изучение литературы по теме - выполнение расчетного задания - выполнение лабораторной работы	
7 Проектирование функциональных цифровых модулей на базе КМОП схем	- информационная лекция - проведение практических занятий	- изучение литературы по теме - выполнение расчетного задания	

Раздел модуля	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература
	- лабораторный практикум	- выполнение лабораторной работы	ПАРАМЕТРОВ SPICE-МОДЕЛЕЙ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ: учебное пособие / В.Н.Петров, М.Н.Петров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Новгород, 1997. - 63 с. 10 Петров В.Н. Программные компоненты интегрированной сквозной САПР ИМС: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ РЕЗИСТОРОВ: учебное пособие / В.Н.Петров, М.Н.Петров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Новгород, 1997. – 52 с. 11 Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г.Я.Красников. - 2-е изд., испр. - М.: Техносфера, 2011. - 799 с. 12 Гаврилов С. В. Методы анализа логических корреляций для САПР цифровых КМОП СБИС / С. Гаврилов. - М.: Техносфера, 2011. - 135 с. 13 Лукин К. Г. Системное моделирование в среде SIMULINK: монография / К.Г.Лукин, М.Н.Петров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2013. - 82 с. 14 Моделирование систем: учеб. пособие для вузов / И.А.Елизаров [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2014. - 135 с.
8 Специализированные интегральные схемы — ASIC	- информационная лекция - проведение практических занятий - лабораторный практикум	- изучение литературы по теме - выполнение расчетного задания - выполнение лабораторной работы	
9 Программное обеспечение, используемое для проектирования микросхем на примере OrCAD и AIM-SPICE	информационная лекция - проведение практических занятий - лабораторный практикум	- изучение литературы по теме - выполнение расчетного задания - выполнение лабораторной работы	
10 Заключение	информационная лекция - проведение практических занятий	- изучение литературы по теме	

Приложение Б

(обязательное)

Технологическая карта

«Элементная база сверхбольших интегральных схем»

семестр – 7, ЗЕ – 9, вид аттестации – экзамен, акад.часов – 324, баллов рейтинга – 450

№ и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ недели сем.	Трудоемкость, ак.час					Форма текущего контроля успеваемости (в соответствии с паспортом ФОС)	Максим. кол-во баллов рейтинга
		Аудиторные занятия				СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС			
1 Введение	1	3	4	2	2	10	задачи	17
							ЛР	20
2 Основы проектирования полупроводниковых и микроэлектронных приборов	2-3	6	8	3	4	11	задачи	17
							ЛР	20
3 Конструкции дискретных полупроводниковых приборов и активных компоненте ИМС	4-5	6	8	3	4	11	задачи	17
							ЛР	20
4 Конструкции полупроводниковых СИС и БИС	6-7	6	8	3	4	11	задачи	17
							ЛР	20
5 Моделирование и расчет параметров МДП-транзисторов ИМС	8-9	6	8	3	4	11	задачи	17
							ЛР	20
6 Элементная база ИМС на МОП транзисторах	10-11	6	6	3	4	11	задачи	17
							ЛР	20
7 Проектирование функциональных цифровых модулей на базе КМОП схем	12-13	6	6	3	4	11	задачи	17
							ЛР	20
8 Специализированные интегральные схемы — ASIC	14-15	6	6	3	4	11	задачи	17
							ЛР	20
9 Программное обеспечение, используемое для проектирования микросхем на примере OrCAD и AIM-SPICE	16-17	6	6	3	4	11	задачи	17
							ЛР	20
10 Заключение	18	3	3	1	2	10	задачи	17
Курсовая работа	1-18					36		**50**
Семестровый контроль						36	экзамен	**50**
Итого:		**54**	**63**	**27**	**36**	**180**		**450**

Критерии оценки качества освоения студентами учебного модуля:

- «удовлетворительно» – от 225 до 314 баллов
- «хорошо» – от 315 до 404 баллов
- «отлично» – от 405 до 450 баллов

Приложение В
(обязательное)

Паспорта компетенций ОПК-7, ДПК-1

- ОПК-7 готов учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Базовый уровень	Знает основные направления развития современной элементной базы микро- и наноэлектроники	Плохо ориентируется в направлениях развития современной элементной базы микро- и наноэлектроники	Допускает неточности при демонстрации знаний	Четко объясняет основные направления развития современной элементной базы микро- и наноэлектроники
	Умеет учитывать современные тенденции развития электроники	Испытывает трудности при понимании современных тенденций развития электроники	Недостаточно четко оценивает и учитывает современные тенденции развития электроники	Способен грамотно учитывать современные тенденции развития электроники
	Владеет методами развития информационных технологий	Слабо владеет методами развития информационных технологий	Недостаточно уверенно владеет методами развития информационных технологий	Достаточно уверенно владеет методами развития информационных технологий

- ДПК-1 способность к разработке и моделированию конструкций и топологий изделий «система в корпусе».

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Повышенный уровень	Знает физические процессы в интегральных микро- и наноэлектронных МДП устройствах; принципы, используемые в системах автоматизированного схемотехнического проектирования	Испытывает трудности при демонстрации знаний	Допускает неточности при демонстрации знаний	Демонстрирует хорошие знания
	Умеет применять приобретенные знания для проведения коррекции моделей микро- и наноэлектронных устройств для компьютерного моделирования с учетом изменения параметров масштабированных структур	Испытывает трудности при применении приобретенных знаний для проведения коррекции моделей микро- и наноэлектронных устройств для компьютерного моделирования	Допускает неточности при применении приобретенных знаний для проведения коррекции моделей	Умеет правильно применять свои знания на практике
	Владеет методами схемотехнического проектирования на базе CM SPICE с использованием компактных моделей микро- и наноэлектронных компонентов	Плохо владеет методами схемотехнического проектирования	Недостаточно уверенно владеет методами схемотехнического проектирования	Методами схемотехнического проектирования владеет на достаточно хорошем уровне

Приложение Г

(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения

Учебного модуля **«Элементная база сверхбольших интегральных схем»**
Направление (специальность) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Формы обучения дневная
Курс 4 Семестр 7
Всего часов: **324**, из них: ЛК – **54**, ПЗ – **63**, ЛР – **27**, СРС – **180** (в т.ч. КП/КР – **36**, экзамен – **36**)
Обеспечивающая кафедра ФТТМ институт ИЭИС

Таблица Г.1 - Обеспечение учебного модуля учебными изданиями

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Учебники и учебные пособия		
1. Казеннов Г.Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. - М.: Бином, Лаборатория базовых знаний, 2005. – 295с.	6	
2. Моделирование компонентов и элементов СБИС: учеб. пособие для вузов, обуч.по спец.210104 (200100) / М.Н. Петров, Г.В.Гудков; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2006. - 584с.	10	
3. Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учеб. пособие для вузов / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. - 462, [1] с	15	
4. Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем: учебное пособие / М.Н.Петров, Г.В.Гудков. - СПб.: Лань, 2017, [1]. – 462с.	1	
5. 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 с.	3	https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2051
Учебно-методические издания		
1. Рабочая программа / авт. – сост.: М.Н.Петров; НовГУ. – Великий Новгород, 2017. – 18 с.		
2. Петров М.Н. Моделирование микроэлектронных компонентов и схем с помощью программы AIM-SPICE: учеб. пособие/ Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2014. - 72, [1] с.	10	https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2185
3. Методические указания к расчетно-конструкторской работе по дисциплине «Элементная база СБИС» / Сост. М.Н.Петров; НовГУ. – Великий Новгород, 2010. – 38 с.	нет	
4. Методические указания к лабораторным работам «Элементная база СБИС/ сост. М.Н.Петров; НовГУ. – Великий Новгород, 2014. – 75 с.	нет	

5 Методические указания к практическим занятиям «Элементная база СБИС» / сост. М.Н.Петров; НовГУ. – Великий Новгород, 2015. – 60 с.	нет	

Таблица Г.2 – Информационное обеспечение учебного модуля

Название программного продукта, интернет-ресурса	Электронный адрес	Примечание
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 Г.3 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
1 Гаврилов С. В. Методы анализа логических корреляций для САПР цифровых КМОП СБИС / С. Гаврилов. - М.: Техносфера, 2011. - 135 с.	2	
2. Красников Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов : в 2 ч. Ч. 1 / Г. Красников. - М. : Техносфера, 2002. - 413 с.	2	
3. Красников Г. Я.Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов : в 2 ч. Ч. 2 / Г. Красников. - М. : Техносфера, 2004. - 535 с.	2	
4. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г.Я.Красников. - 2-е изд., испр. - М.: Техносфера, 2011. – 799? [1] с.	4	
5. Лукин К. Г. Системное моделирование в среде SIMULINK: монография / К.Г.Лукин, М.Н.Петров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2013. - 82 с.	3	https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2060
6. Моделирование систем: учеб. пособие для вузов / И.А.Елизаров [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2014. - 135, [1] с.	5	

Действительно для учебного года _____/_____

Зав. кафедрой _____ Б.И. Селезнев

подпись

_____ _____ 20 г.

СОГЛАСОВАНО
НБ НовГУ: _____ _____ _____

должность подпись расшифровка