

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 проф.
 С.И.Эминов
«30» 06 2017 г.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Учебный модуль по направлению подготовки
11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника
Профиль – Микроэлектроника и твердотельная электроника

Рабочая программа

СОГЛАСОВАНО

Начальник учебного отдела
 О.Б.Широколобова
«30» 06 2017 г.

Разработал

Доцент кафедры ФТТМ
 В. Н. Петров
«05» 06 2017 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ

Протокол № 11 от 05.06 2017 г.

Зав. кафедрой ФТТМ

 Б.И. Селезнев

1 Цели и задачи учебного модуля

Целью учебного модуля (УМ) является формирование компетентности студентов в области математического моделирования полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, способствующей становлению их готовности к решению задач профессиональной деятельности.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- дать студентам представление о месте и роли математических моделей полупроводниковых приборов и ИМС в области разработки и производства современных изделий электронной техники;
- дать знания об основных тенденциях в области создания новых ММ для приборов и элементов ИМС малых размеров;
- дать знания о границах применения моделей;
- научить использовать программы моделирования с помощью средств вычислительной техники.

Ведущая идея учебного модуля (УМ) состоит в формировании методологической культуры студентов, в овладении ими современными знаниями в области концепций, принципов построения и методов использования математических моделей (ММ), создания полупроводниковых приборов и ИС в рамках «супер-САПР» СБИС, ММ полупроводниковых приборов и элементов интегральных микросхем (ИМС), используемых для расчета их основных характеристик и параметров, ММ полупроводниковых приборов и элементов ИС для схемотехнических расчетов и анализа электронных схем в дискретном и интегральном исполнении.

2 Место учебного модуля в структуре ОП направления подготовки

Учебный модуль «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем» входит в модули по выбору блока 1 учебного плана подготовки бакалавров по направлению 11.03.04, преподается в 8 семестре. Для изучения модуля используются знания, полученные при изучении следующих модулей: «Математика», «Материалы электронной техники», «Микроэлектроника и твердотельная электроника», «Схемотехника».

В результате изучения предшествующих модулей и для изучения данного УМ, обучающиеся должны:

знать:

- физико-химические основы процессов, которые используются при создании полупроводниковых структур;
- принципы, методы и основные инструменты схемотехнического проектирования;

уметь:

- определять основные параметры и характеристики полупроводниковых приборов и компонентов интегральных микросхем;
- использовать современные методы проектирования цифровых ИМС;

владеть:

- расчетами математических пакетов общего назначения (MathCAD, Maple).

Знания и умения, полученные при изучении данного модуля, используются при подготовке выпускной квалификационной работы.

3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ направлен на формирование следующих компетенций:

- ПК-1 способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;
- ПК-3 готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

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

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ПК-1	повышенный	о месте и роли математических моделей полупроводниковых приборов и ИМС; об основных тенденциях в области создания новых ММ для приборов и элементов ИМС малых размеров; о границах применения моделей	выбирать фундаментальные физические уравнения, используемые при построении математических моделей; создавать ММ для конкретных технологических процессов, полупроводниковых приборов и ИС	современными программами математического моделирования с помощью средств вычислительной техники
ПК-3	повышенный	алгоритм представления научно-технической информации и результатов исследований	анализировать и систематизировать результаты исследований	способами подготовки представления материалов в виде научных отчетов

4 Структура и содержание учебного модуля

4.1 Трудоемкость учебного модуля

Учебная работа (УР)	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
	8 сем.	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕ)	6	
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):	216	
1) УЭМ1		ПК-1 ПК-3
- лекции	18	
- практические занятия	27	
- лабораторные работы	-	
- в т.ч. аудиторная СРС	18	
- внеаудиторная СРС	9	
2) УЭМ2 Микроэлектроника:		
- лекции	18	
- практические занятия	27	
- лабораторные работы	-	
- в т.ч. аудиторная СРС	9	
- внеаудиторная СРС	126	
Курсовая работа	36	
Аттестация:		
- экзамен	36	

4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля УЭМ1

1.1 Введение

Понятие о моделях. Их классификация, история развития. Роль математического моделирования в микроэлектронике.

1.2 Источники информации для построения моделей полупроводниковых приборов и элементов ИМС

Основные положения теории полупроводниковых приборов, используемые для построения моделей. Использование конструкторско-технологических данных. Моделирование на основе справочных данных. Построение моделей на основе измерения параметров реальных полупроводниковых приборов и полупроводниковых структур интегральных микросхем.

1.3 Биполярные транзисторы

Моделирование интегрального биполярного транзистора в одномерном приближении (Модель Эберса-Молла). Анализ емкостей и зарядов в интегральном транзисторе, модель Гуммеля-Пуна. Квазидвумерное моделирование растекания тока базы. Эффекты высокого

уровня инжекции. Моделирование функциональных зависимостей - коэффициента передачи и граничной частоты от тока.

Численное моделирование биполярных транзисторов в одно- и двумерном приближениях. Алгоритмы Гуммеля и Слотбума. Расчет статических и динамических характеристик, параметров схемотехнических моделей.

Особенности моделирования мощных биполярных транзисторов, анализ лавинного пробоя. Специфика моделирования микромощных интегральных транзисторов.

УЭМ2

2.1 МДП – транзисторы

Одномерная аналитическая модель длинноканального МДП-транзистора. Подвижность носителей в приповерхностных и инверсионных слоях. Расчет порогового напряжения и его зависимость от смещения подложки.

Эффекты короткого и узкого канала, подпороговые токи. Квазидвумерное моделирование статических характеристик МДП-транзистора. Напряжение смыкания.

Расчет емкостей в МДП структурах. Эквивалентная схема для анализа переходных процессов. Микромоделирование МДП транзисторов.

Численные модели для расчета характеристик полевых транзисторов с изолированным затвором. Анализ двумерного распределения потенциалов в структуре. Изучение влияния напряженности поля вблизи стока на эффекты пробоя, инжекции горячих носителей.

Моделирование тонкопленочных МДП-структур. Биполярный эффект в МДП транзисторе с плавающей подложкой. Особенности переходных процессов в тонкопленочных структурах.

Особенности сквозного приборно-технологического моделирования МДП-транзисторов. Расчет параметров моделей для схемотехнического проектирования. Верификация моделей.

2.2 Модели элементов интегральных микросхем

Аналитическое моделирование диффузионных резисторов. Расчет вольт-амперных характеристик поликремниевых резисторов. Паразитная емкость резистора, эффект модуляции сопротивления резистора.

Модели конденсаторов для интегральных схем.

Расчет сопротивлений контактов в интегральных структурах. Моделирование длинных проводящих шин.

Диод Шотки и поликремниевые диоды. Моделирование статических характеристик и температурных режимов. Оптимизация конструкции транзистора с шунтирующим диодом Шотки.

Паразитные элементы интегральных структур. Тиристорная защелка в КМДП-схемах. Моделирование ионизационных эффектов ($\square$ - частиц и др.) в кремниевых структурах.

2.3 Заключение

Разработка перспективных технологических маршрутов и оптимизация параметров элементов ИС на основе математических моделей. Развитие методов ускорения вычислительных процедур на основе разработки физических моделей процессов и приборов.

4.3 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, семестровый (по окончании изучения УМ) – экзамен.

Максимальное количество баллов по учебному модулю – 300.

Учебный модуль предусматривает выполнение курсовой работы (1 ЗЕ). Максимальное количество баллов за выполненную курсовую работу – 50. Экзамен проводится в период экзаменационной сессии. Максимальное количество баллов, получаемое на экзамене – 50.

Содержание видов контроля и их график отражены в технологической карте учебного модуля (приложение Б).

Оценка качества освоения учебного модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с Положением «Об организации учебного процесса по основным образовательным программам высшего профессионального 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, курсовая работа, экзамен.

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение

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

7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля

Для осуществления образовательного процесса по модулю используется лекционная аудитория, оборудованная мультимедийными средствами, компьютерный класс.

Приложения (обязательные):

А – Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля

Б – Технологическая карта

В – Паспорта компетенций

Г – Карта учебно-методического обеспечения УМ

Приложение А (обязательное)

Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем»

Учебный модуль «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем» разделен на два учебных элемента модуля (УЭМ). Каждый из УЭМ состоит из взаимосвязанных разделов, по которым предусмотрены лекционные и практические занятия. В таблице А.1 отражены разделы модуля, технологии и формы проведения занятий, задания по самостоятельной работе студентам и ссылки на необходимую литературу.

А.1 Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля

Теоретическая часть модуля направлена на формирование системы знаний в области построения и использования математических моделей полупроводниковых приборов и элементов ИМС.

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.

А.2 Методические рекомендации по проведению практических занятий

Цель практических занятий – приобретение навыков использования современных математических моделей для изучения физических процессов в полупроводниковых структурах, расчета их основных характеристик и параметров, схемотехнических расчетов и анализа электронных схем.

Темы практических занятий:

- 1 Модель Эберса–Молла биполярного транзистора.
2. Эффект Эрли.
3. Эффекты высокого уровня инжекции.
4. Модель Гуммеля–Пуна биполярного транзистора.
5. Модель МОП-транзистора.
- 6 Эффекты короткого и узкого канала в МОП-транзисторе.

Пример задачи:

1. Модель Эберса–Молла.

Эмиттерная, базовая и коллекторная области биполярного транзистора легированы однородно. Концентрация примеси в эмиттерной области составляет $2.8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, концентрация примеси в базовой области — $1.2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, в коллекторной — $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Глубина залегания эмиттерного перехода — 0.8 мкм, толщина базы 1.2 мкм. Толщина эпитаксиального слоя равна 3 мкм. Рассчитайте нормальный и

инверсный коэффициент передачи тока эмиттера (пренебрегая процессами рекомбинации в базовой области).

Решение.

Если не учитывать процессы рекомбинации в базовой области, то коэффициенты передачи тока базы биполярного транзистора определяются только процессами инжекции носителей заряда из базовой области, т. е. определяются коэффициентами инжекции эмиттерного (нормальный коэффициент передачи) и коллекторного (инверсный коэффициент передачи) р–п переходов:

$$\alpha_N = \gamma_E = \frac{x_{jE} \cdot N_E}{x_{jE} \cdot N_E + W_B \cdot N_B}$$

$$\alpha_I = \gamma_C = \frac{(x_{EPITAX} - x_{jC}) \cdot N_C}{(x_{EPITAX} - x_{jC}) \cdot N_C + W_B \cdot N_B}$$

Подставляем числовые данные:

$$\alpha_N = \frac{0.8 \cdot 10^{-4} \cdot 2.8 \cdot 10^{20}}{0.8 \cdot 10^{-4} \cdot 2.8 \cdot 10^{20} + 1.2 \cdot 10^{-4} \cdot 1.2 \cdot 10^{17}} = 0.99936$$

$$\alpha_I = \frac{(3 - 0.8 - 1.2) \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{14}}{(3 - 0.8 - 1.2) \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{14} + 1.2 \cdot 10^{-4} \cdot 1.2 \cdot 10^{17}} = 0.00346$$

А.3 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы

Индивидуальная работа проводится в виде совместного обсуждения результатов выполняемых студентами индивидуальных заданий по курсовой работе.

Тематика индивидуальной работы может формулироваться в зависимости от интересов студентов и мотивации у них к получению углубленных знаний в предлагаемом курсе направления.

Примерные темы курсовых работ:

- Моделирование базового логического элемента биполярной логики (ТТЛ или ЭСЛ).

В методических указаниях к курсовому проектированию (Математическое моделирование технологических процессов, п/п приборов и ИМС: метод. указания к курсовой работе / Сост. Б.М.Шишлянников; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – В.Новгород, 2009. – 80 с.) приведен пример выполнения задания к курсовой работе по курсу «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и ИМС» с необходимыми комментариями.

*Пример задания на курсовую работу по учебному модулю
«Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем»*

Вариант

Предложить топологический вариант и представить режим технологического процесса изготовления биполярной структуры (транзистора) интегральной схемы полагая, что локальное легирование производится методом диффузии.

Представить распределение примесей и носителей заряда в отдельных областях структуры и совмещённое распределение. Рассчитать параметры SPICE-модели биполярного транзистора, исходя из значений слоевых сопротивлений различных областей и толщины слоев структуры, используя программу VipTran.

Рассчитать входные и выходные характеристики биполярного транзистора, используя пакет PSPICE.

Рассчитать основные параметры инвертора, построенного на основе спроектированного транзистора:

- напряжения логических уровней;
- пороговые напряжения, помехоустойчивость;
- потребляемый ток схемы;
- времена переключения.

Вариант инвертора: логика ТТЛ - серия 74LS

Расчеты провести для номинальных значений режимов процесса диффузионного легирования или высокотемпературного отжига после имплантации и для двух крайних значений, определяемых с точностью поддержания температуры при легировании области эмиттера $T = \pm 1.5^\circ\text{C}$. При расчете параметров инверторов учитывать влияние параметров технологического процесса на номиналы резисторов. Процессы сегрегации примесей при окислении не учитывать.

Разрешается **аргументировано** корректировать параметры технического задания с тем, чтобы получить приемлемые параметры транзистора.

Исходные данные

Вариант	Эмиттер			База			Коллектор
	Примесь	$T_{\text{диф}},$ $^\circ\text{C}$	$x_{je},$ мкм	Примесь	$N_s,$ см^{-3}	Толщина, мкм	$\rho,$ $\text{ом}\cdot\text{см}$
	As	1150	0.6	B	$8.2 \cdot 10^{17}$	1.0	3.0

Таблица А.1 - Организация изучения учебного модуля «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем»

Раздел модуля	Технология и форма проведения занятий	Задания на СРС	Дополнительная литература
УЭМ1			
1.1 Введение	- вводная лекция - информационная лекция - практические занятия	- изучение литературы по теме -подготовка к практическим занятиям - работа над курсовой работой	1. Бубенников А.И. Моделирование интегральных технологий, приборов и схем. – М.: Высшая школа, 1989. - 320 с. 2. Полевые транзисторы на арсениде галлия / Под ред. Д.В.Ди Лоренцо, Д.Д. Конделуола. - М.: Радио и связь, 1988. 3. МОП СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов / Под ред. П. Антонетти и др.; пер. с англ. - М.: Радио и связь. 1988. - 496 с. 4. Ревелева М.А. Моделирование процессов распределения примеси в полупроводниковых структурах: учебное пособие / Под ред. проф.В.Д. Вернера. – М.: МГИЭТ, 1996. – 196 с. 5. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учеб. пособие для вузов. Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А.Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А.Ревелева; под общ. ред. Ю. А. Чаплыгина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 396, [1] с. 6. Королев М. А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : учеб. пособие для вузов : в 2 ч. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М. А. Королев, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева ; под общ. ред. Ю. А. Чаплыгина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 396, [2] с.
1.2 Источники информации для построения моделей полупроводниковых приборов и элементов ИМС	- информационная лекция - практические занятия	- изучение литературы по теме -подготовка к практическим занятиям - работа над курсовой работой	
1. 3 Биполярные транзисторы	- обзорная лекция - практические занятия	- изучение литературы по теме -подготовка к практическим занятиям - работа над курсовой работой	
УЭМ2			
2.1 МДП – транзисторы	- информационная лекция - практические занятия	- изучение литературы по теме -подготовка к практическим занятиям - работа над курсовой работой	
2.2 Модели элементов интегральных микросхем	- информационная лекция - практические занятия	- изучение литературы по теме -подготовка к практическим занятиям - работа над курсовой работой	
2.3 Заключение	- информационная лекция - практические занятия - защита курсовой работы	- изучение литературы по теме -подготовка к практическим занятиям - работа над курсовой работой - подготовка к экзамену	

А.4 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов

Аудиторная самостоятельная работа студентов подразумевает самостоятельную работу на практических занятиях.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов заключается в изучении лекционного материала, в подготовке к практическим занятиям, выполнение курсовой работы, в подготовке к экзамену.

Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену по УМ «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем»

1 Концентрационная зависимость коэффициента диффузии. Собственный и несобственный коэффициенты диффузии.

2 Современные представления о механизмах диффузии. Способ описания коэффициента диффузии с учетом механизмов диффузии.

3 Описание коэффициента диффузии при низких концентрациях примеси.

4 Влияние электрического поля на коэффициент диффузии.

5 Особенности диффузии для различных примесей. Бор.

6 Особенности диффузии для различных примесей. Сурьма.

7 Влияние кластеризации примеси на коэффициент диффузии.

8 Особенности диффузии для различных примесей. Мышьяк.

9 Модель диффузии фосфора в кремнии.

10 Эффект эмиттерного выталкивания.

11 Метод конечных разностей. Способ представления уравнения в частных производных.

12 Метод конечных разностей. Способ решения одномерного диффузионного уравнения при различных граничных условиях.

13 Принципы моделирования процесса ионной имплантации. Нормальное распределение.

14 Принципы моделирования процесса ионной имплантации. Асимметричные распределения.

15 Модель переноса носителей заряда через базу биполярного транзистора.

16 Модель Эберса-Молла.

17 Активный режим работы биполярного транзистора: рекомбинация носителей заряда в объеме базы.

18 Активный режим работы биполярного транзистора: инжекция носителей заряда из базы в эмиттер.

19 Эффект Эрли.

20 Работа биполярного транзистора при малых напряжениях на эмиттерном $p-n$ переходе.

21 Работа биполярного транзистора при больших токах: эффекты высокого уровня инжекции.

22 Модель Гуммеля – Пуна.

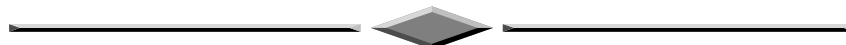
23 МОП – структура при термодинамическом равновесии.

- 24 Анализ МОП – структуры при однородных условиях в канале.
25 Анализ МОП – структуры для неоднородного канала без учета изменения напряжения заряда обедненной области.
26 Влияние напряжения подложка – исток на пороговое напряжение.

Пример экзаменационного билета по УМ

«Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем»

Министерство образования и науки РФ



ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет
им. Ярослава Мудрого»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

Дисциплина «Математическое моделирование п/п приборов и ИМС» кафедра ФТТМ

1. Концентрационная зависимость коэффициента диффузии. Собственный и несобственный коэффициенты диффузии.

2. Модель Эберса-Молла.

3. Задача.

Одобрено на заседании кафедры ФТТМ _____

УТВЕРЖДАЮ

Зав. КФТТМ _____ Б.И.Селезнев

Приложение Б
(обязательное)

Технологическая карта
учебного модуля «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем»
семестр – 8, ЗЕ – 6, вид аттестации – экзамен, акад.часов – 216, баллов рейтинга – 300

Номер и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ недели сем.	Трудоемкость, ак.час					Форма текущего контроля успеваемости (в соответствии с паспортом ФОС)	Максимальное количество баллов рейтинга
		Аудиторные занятия				СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС			
УЭМ1								
1.1 Введение	1	2	3		1	3		
1.2 Источники информации для построения моделей полупроводниковых приборов и элементов ИМС	2-3	4	6		3	8	решение задач	40
1.3 Биполярные транзисторы	3-7	8	12		4	12	решение задач	40
УЭМ2								
2.1 МДП – транзисторы	8-12	10	15		4	12	решение задач	40
2.2 Модели элементов интегральных микросхем	13-15	6	9		4	12	решение задач	40
2.3 Заключение	16-18	6	9		2	7	решение задач	40
Курсовая работа (проект)	18					36	курсовая работа	50
Семестровый контроль						36	экзамен	50
Итого:		36	54		18	126		300

Критерии оценки качества освоения студентами учебного модуля

6 ЗЕ = 50 б. × 6 = 300 баллов:

- «удовлетворительно» – от 150 до 209 баллов;
- «хорошо» – от 210 до 269 баллов;
- «отлично» – от 270 до 300 баллов.

Приложение В
(обязательное)

Паспорта компетенций ПК-1, ПК-3

- ПК-1 способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Повышенный уровень	Знает о месте и роли математических моделей полупроводниковых приборов и ИМС; об основных тенденциях в области создания новых ММ для приборов и элементов ИМС малых размеров; о границах применения моделей	Плохо ориентируется в основных тенденциях в области создания новых ММ для приборов и элементов ИМС малых размеров	Допускает неточности при демонстрации знаний	Демонстрирует хорошие знания
	Умеет выбирать фундаментальные физические уравнения, используемые при построении математических моделей; создавать ММ для конкретных технологических процессов, полупроводниковых приборов и ИМС	Испытывает трудности при применении приобретенных знаний для создания ММ	Допускает погрешности при выборе фундаментальных физических уравнений для создания математических моделей	Может самостоятельно создать ММ полупроводниковых приборов и ИМС
	Владеет современными программами математического моделирования с помощью средств вычислительной техники	Плохо владеет современными программами математического моделирования	Испытывает затруднения при использовании современных программ математического моделирования	Не испытывает сложностей при использовании современных программ математического моделирования

ПК-3 готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций

Уровни	Показатели	Оценочная шкала		
		удовлетворительно	хорошо	отлично
Повышенный уровень	Знает алгоритм представления научно-технической информации и результатов исследований	Неполное владение способами представления результатов исследований	Допускает неточности при анализе способов представления научно-технической информации	Владеет алгоритмами представления научно-технической информации
	Умеет анализировать и систематизировать результаты исследований	Допускает ошибки при проведении анализа и систематизирования результатов исследований	Допускает отдельные неточности при анализе результатов исследований (выводы)	Способен самостоятельно проводить анализ и систематизировать результаты исследований
	Владеет способами подготовки представления материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	Неточности при представлении целей, задач, а также ошибки при представлении выводов	Отдельные неточности при подготовке презентаций	Владеет способами представления результатов исследований

Приложение Г
(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения

Учебный модуль **Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем**

Направление 11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника

Формы обучения очная

Курс 4, семестр 8

Часов: всего 216, лекций 36, практ. зан. 54, лаб. раб. -, СРС 126, (в т.ч. 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 Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учеб. пособие для вузов / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. - СПб. : Лань, 2017. - 462, [1] с.	1	
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 с.	15	
2 Светухин В.В. Моделирование современных перспективных кремниевых технологий, основанных на управлении процессами кластеризации и преципитации кислорода в кремнии: учеб.-метод. комплекс / Ульянов.гос.ун-т. - Ульяновск, 2006. - 74,[1] с.	1	
3 Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов СБИС : учеб. 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.	10	
Учебно-методические издания		
1 Рабочая программа / Авт.-сост.: В.Н.Петров; НовГУ. – Великий Новгород, 2017. – 17 с.		
2 Математическое моделирование технологических процессов, п/п приборов и ИМС: метод. указания к курсовой работе / Сост. Б.М.Шишлянников; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – В.Новгород, 2009. – 80 с.	нет	

Таблица Г.2 – Информационное обеспечение учебного модуля

Название программного продукта, Интернет-ресурса	Электрон- ный адрес	Примеча- ние

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 Королев М. А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : учеб. пособие для вузов. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М. А. Королев, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева ; под общ. ред. Ю. А. Чаплыгина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 396, [1] с.	2	
2 Королев М. А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : учеб. пособие для вузов : в 2 ч. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М. А. Королев, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева ; под общ. ред. Ю. А. Чаплыгина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 396, [2] с.	10	

Действительно для учебного года _____ / _____

Зав. кафедрой _____ Б.И. Селезнев
подпись

_____ 20 ____ г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ:

должность

подпись

расшифровка