

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

**ТВЕРЖДАЮ**
Директор ИЭИС, проф.
С.И.Эминов 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

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

СОГЛАСОВАНО
Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС
П.В.Лысухо
« 25 » декабря 2020 г.

Разработал
доцент кафедры ФТТМ
В.Н.Петров
« 25 » 11 2020 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ
Протокол № 4 от 26.11.2020 г.
Зав. кафедрой ФТТМ
Б.И. Селезнев
« 26 » 11 2020 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: формирование компетентности студентов в области математического моделирования полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, способствующей становлению их готовности к решению задач профессиональной деятельности.

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.

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: «Высшая математика», «Материалы электронной техники», «Микроэлектроника», «Твердотельная электроника», «Схемотехника».

Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для направления подготовки 11.03.04 и используется 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 нанoeлектроники 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
		5 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) <i>(при наличии)</i>	36	36
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	96	96
5. Промежуточная аттестация <i>(зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)</i>	экзамен 36	экзамен 36

4.2 Содержание учебной дисциплины

Раздел 1

1.1 Введение.

1.2 Источники информации для построения моделей полупроводниковых приборов и элементов ИМС.

1.3 Биполярные транзисторы.

Раздел 2

2.1 МДП – транзисторы.

2.2 Модели элементов интегральных микросхем.

2.3 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	КР	Экза мен		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР					
Раздел 1									
1.1	Введение	3	3		1			16	
1.2	Источники информации для построения моделей полупроводниковых приборов и элементов ИМС	5	7		2			16	решение задач
1.3	Биполярные транзисторы	8	10		3			16	решение задач
Раздел 2									
2.1	МДП – транзисторы	9	14		3			16	решение задач
2.2	Модели элементов интегральных микросхем	5	8		3			16	решение задач
2.3	Заключение	5	7		2			16	решение задач
	<i>Промежуточная аттестация</i>						36		<i>экзамен</i>
	ИТОГО	35	49		14	36	36	96	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

- Моделирование технологического процесса изготовления логического элемента ТТЛ.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекционных занятий

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоем- кость в АЧ
Раздел 1		
1	<i>Введение.</i> Понятие о моделях. Их классификация, история развития. Роль математического моделирования в микроэлектронике (информационная лекция)	3
2	<i>Источники информации для построения моделей полупроводниковых приборов и элементов ИМС.</i> 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 (информационная лекция)	5
3	<i>Биполярные транзисторы.</i> Моделирование интегрального биполярного транзистора в одномерном приближении (Модель Эберса-Молла). Анализ емкостей и зарядов в	8

	<p>интегральном транзисторе, модель Гуммеля-Пуна. Квазидвумерное моделирование растекания тока базы. Эффекты высокого уровня инжекции. Моделирование функциональных зависимостей - коэффициента передачи и граничной частоты от тока.</p> <p>Численное моделирование биполярных транзисторов в одно- и двумерном приближениях. Алгоритмы Гуммеля и Слотбума. Расчет статических и динамических характеристик, параметров схмотехнических моделей.</p> <p>Особенности моделирования мощных биполярных транзисторов, анализ лавинного пробоя. Специфика моделирования микро мощных интегральных транзисторов (информационная лекция)</p>	
Раздел 2		
4	<p><i>МДП – транзисторы.</i> Одномерная аналитическая модель длинноканального МДП-транзистора. Подвижность носителей в приповерхностных и инверсионных слоях. Расчет порогового напряжения и его зависимость от смещения подложки.</p> <p>Эффекты короткого и узкого канала, подпороговые токи. Квазидвумерное моделирование статических характеристик МДП-транзистора. Напряжение смыкания.</p> <p>Расчет емкостей в МДП структурах. Эквивалентная схема для анализа переходных процессов. Микро моделирование МДП транзисторов.</p> <p>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.</p> <p>Моделирование тонкопленочных МДП-структур. Биполярный эффект в МДП транзисторе с плавающей подложкой. Особенности переходных процессов в тонкопленочных структурах.</p> <p>Особенности сквозного приборно-технологического моделирования МДП-транзисторов. Расчет параметров моделей для схмотехнического проектирования. Верификация моделей (информационная лекция)</p>	9
5	<p><i>Модели элементов интегральных микросхем.</i> Аналитическое моделирование диффузионных резисторов. Расчет вольт-амперных характеристик поликремниевых резисторов. Паразитная емкость резистора, эффект модуляции сопротивления резистора.</p> <p>Модели конденсаторов для интегральных схем.</p> <p>Расчет сопротивлений контактов в интегральных структурах. Моделирование длинных проводящих шин.</p> <p>Диод Шотки и поликремниевые диоды. Моделирование статических характеристик и температурных режимов. Оптимизация конструкции транзистора с шунтирующим диодом Шотки.</p> <p>Паразитные элементы интегральных структур. Тиристорная защелка в КМДП-схемах. Моделирование ионизационных эффектов (\square- частиц и др.) в кремниевых структурах (информационная лекция)</p>	5
6	<p><i>Заключение.</i> 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 (информационная лекция)</p>	5
ИТОГО		35

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1	Модель Эберса–Молла биполярного транзистора (решение задач с обсуждением результатов)	3
2	Эффект Эрли (решение задач с обсуждением результатов)	7
3	Эффекты высокого уровня инжекции (решение задач с обсуждением результатов)	10
4	Модель Гуммеля–Пуна биполярного транзистора (решение задач с обсуждением результатов)	14
5	Модель МОП-транзистора (решение задач с обсуждением результатов)	8
6	Эффекты короткого и узкого канала в МОП-транзисторе (решение задач с обсуждением результатов)	7
ИТОГО		49

Рекомендации к проведению лекционных занятий.

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

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

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.

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.

1. Решение задач.

На практических занятиях студенты решают задачи с последующим обсуждением результатов решений.

Маллер Р. Элементы интегральных схем / Р.Маллер, Т.Кейминс. - М.: Мир, 1989. - 630 с.

Комплект задач представлен в закрытой части ФОС к данной рабочей программе.

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.

В методических указаниях к курсовому проектированию (Математическое моделирование технологических процессов, п/п приборов и ИМС: метод. указания к курсовой работе [электронный ресурс] / 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 учебной дисциплине
«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 $T = \pm 1.5$ °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	$T_{диф},$ °C	$x_{je},$ мкм	Примесь	$N_s,$ см ⁻³	Толщина, мкм	$\rho,$ ом·см
	As	1150	0.6	B	$8.2 \cdot 10^{17}$	1.0	3.0

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)	
		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)	Дата выдачи
Microsoft Windows 7 Professional		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Windows 10 for Educational Use		Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
Microsoft Office 2013 Standard		Open License № 62018256	31.07.2016
Microsoft Imagine (Microsoft Azure Dev Tools for Teaching) Standard		Договор №243/ю, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	19.12.2018
ABBYY FineReader PDF 15 Business. Версия для скачивания (годовая лицензия с академической скидкой)*		Договор №191/Ю	16.11.2020
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 500-999. Node 1 year Educational Renewal License *		Договор №148/ЕП(У)20-ВБ, 1С1С-200914-092322-497-674	11.09.2020
Антиплагиат. Вуз.*		Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВБ	29.01.2021
Подписка Microsoft Office 365		свободно распространяемое для вузов	-
Adobe Acrobat		свободно распространяемое	-
Teams		свободно распространяемое	-
Skype		свободно распространяемое	-
Zoom		свободно распространяемое	-

* отечественное производство

Приложение А (обязательное)

Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем»

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	Раздел 1. Темы 1.2 и 1.3	50х2	ПК-1
		Раздел 2. Темы 2.1, 2.2, 2.3	50х3	
2	Курсовая работа		50	
<i>Промежуточная аттестация</i>				
	<i>Экзамен</i>		50	
	ИТОГО		350	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

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 задачи:

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 коэффициенты 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) p–n 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:

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

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

2) Курсовая работа

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>
Работа выполнена полностью	по количеству студентов
Работа оформлена правильно	
Студент демонстрирует всестороннее и глубокое знание материала	
Выдержаны сроки сдачи КР	

3) Экзамен

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
Студент обладает глубокими и прочными знаниями программного материала	13	3
Демонстрирует последовательное и логически стройное изложение		
Отвечает на дополнительные теоретические вопросы		
Задача решена правильно		

Вопросы для подготовки к экзамену:

- 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

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

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

Учебная дисциплина «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем»

Для направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Направленность (профиль) Микроэлектроника твердотельная электроника

1. Концентрационная зависимость коэффициента диффузии. Собственный и несобственный коэффициенты диффузии.
2. Модель Эберса-Молла.
3. Задача.

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 «Математическое моделирование полупроводниковых процессов
и интегральных микросхем»**

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 Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов СБИС : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 210104 (200100) "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / М. Н. Петров, Г. В. Гудков ; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2006. - 584 с. : ил. - ISBN 5-89896-302-2	7	
2 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	
Электронные ресурсы		

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 Королев М. А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : учебное 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. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 396, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 397. - На обл.: Электроника. - ISBN 978-5-94774-336-4. - ISBN 978-5-94774-337-1	2	



