

«

»

“ ”

“ ”

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Моделирование и проектирование микро- и наносистем

: 28.03.01

, :

: 4, : 8

		8
1	()	4
2		144
3	, .	52
4	, .	10
5	, .	10
6	, .	20
7	, .	10
8	, .	2
9	, .	10
10	, .	92
11	(, ,)	.
12		

(): 28.03.01

177 06.03.2015 ., : 31.03.2015 .

: 1,

(): 28.03.01

, 5 20.06.2017

, 6 21.06.2017

:

, . .

:

. . ., . -

:

. . .

1.

1.1

Компетенция ФГОС: ПК.1 способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий; в части следующих результатов обучения:

1.	-
19.	-
21.	-
22.	
1.	-
18.	
5.	-
Компетенция ФГОС: ПК.8 готовность использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:	
1.	-

2.

2.1

()
---	---

.1. 19	-
1.об основных особенностях элементной базы СБИС и УБИС	; ; ;
.1. 22	
2.об иерархии транспортных моделей переноса в микро и нанoeлектронике	; ; ;
.1. 19	-
3.о современных тенденциях развития физики и технологии нанотранзисторов и микросистемной техники	; ; ;
.1. 22	
4.Методику сквозного приборно-технологического моделирования (TCAD)	; ; ;
.1. 1	, - , ,

5.Организационную структуру TCAD Sentaurus	;	;	;
6.Структуру и особенности командного файла для моделирования технологических процессов в приложении SProcess	;	;	;
7.Структуру и особенности командного файла для моделирования электрофизических параметров и характеристик приборов в приложении SDevice	;	;	;
.1. 21 -			
8.Понятийный аппарат (терминологию) дисциплины	;	;	;
.1. 18			
9.Основы моделирования процесса ионной имплантации	;	;	;
10.Основы моделирования процесса термического окисления кремния	;	;	;
.1. 5 -			
11.Основы моделирования диффузионных процессов	;	;	;
14.Численно калибровать применяемые TCAD-модели и управлять адаптивной расчётной сеткой	;	;	;
.1. 22			
15.Численно вычислять основные параметры технологических режимов полупроводниковых слоев формируемых структур в точном соответствии с технологическим маршрутом	;	;	;
16.Численно вычислять основные электрофизические параметры и характеристики параметры современных КМОПТ	;	;	;
.1. 1 -			
17.Применения математических моделей TCAD Sentaurus	;	;	;
.8. 1 -			
18.Использовать результаты TCAD- моделирования для проектирования базовых технологических режимов	;	;	;

3.

3.1

	,	.		
: 8				
:				

1.	0	1	1	HALO , LDD,
2.	0	1	1, 17, 2	
: TCAD-				
3.	0	1	18, 2, 3, 4	TCAD-
4.	0	1	2, 4, 5, 6, 7	TCAD SenTaurus. TCAD SenTaurus. TCAD SenTaurus. SProcess. SDevice
: TCAD SenTaurus				

5.	0	1	4, 5, 6, 8, 9	(). - -IV.
6.	0	1	10, 17, 6, 8	- SProcess
7.	0	2	11, 14, 5, 6, 8	TCAD SenTaurus: -
: TCAD SenTaurus				
8.	0	2	15, 16, 2, 5, 7, 8	SDevice. DD - "SDevice". "SDevice".

3.2

	,	.		
: 8				
: TCAD-				

<p>1.</p> <p>Sentaurus</p> <p>TCAD</p>	<p>1</p>	<p>4</p>	<p>15, 18, 4, 5, 6, 8</p>	<p>SenTaurus. TCAD /</p> <p>TCAD SenTaurus.</p> <p>TCAD</p> <p>SenTaurus.</p> <p>SProcess.</p> <p>-4..</p> <p>SProcess.</p> <p>TCAD SenTaurus:</p>
<p>TCAD SenTaurus</p>				
<p>2.</p>	<p>1</p>	<p>6</p>	<p>1, 10, 11, 15, 17, 18, 3, 5, 6, 8, 9</p>	<p>HALO</p> <p>, LDD,</p> <p>-IV.</p> <p>. DD</p>

3.	TCAD Sentaurus	1	4	14, 15, 17, 18, 2, 4, 5, 6, 7	TCAD- TCAD SenTaurus. / TCAD SenTaurus. TCAD SenTaurus. SProcess. SDevice.
		: TCAD SenTaurus			
4.	HEMT- TCAD Sentaurus	2	6	16, 17, 18, 2, 4, 5, 7	SDevice. DD - . "SDevice". "SDevice".

3.3

		,	.		
		: 8			
:					
1.		1	2	1, 17, 18, 2, 3	HALO : , LDD, . . .
		: TCAD-			

2. TCAD-	1	2	18, 4, 5, 6, 7, 8	. TCAD SenTaurus. / TCAD SenTaurus. TCAD SenTaurus. SProcess. SDevice TCAD.
:				TCAD SenTaurus
3. TCAD SenTaurus	2	4	10, 11, 14, 18, 4, 5, 6, 8, 9	(). , . . - . . . -IV. . . - . , . . SProcess. . . TCAD SenTaurus: ,
:				TCAD SenTaurus

4.	1	2	14, 16, 17, 18, 2, 7, 8	SDevice. DD - . "SDevice". "SDevice"
----	---	---	----------------------------	--

4.

: 8				
1		10, 11, 14, 15, 16, 4, 5, 6, 7, 8, 9	5	0
: TCAD SENTAURUS : 4 / - ; [: . . .] . - , 2010. - 103 . : . , .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909				
2		14, 15, 16, 17, 18	10	0
: TCAD SENTAURUS : 4 / - ; [: . . .] . - , 2010. - 103 . : . , .. - http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909				
3		10, 11, 18, 4, 5, 6, 7, 8, 9	45	0
: TCAD SENTAURUS : 4 / - ; [: . . .] . - , 2010. - 103 . : . , .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909				
4		1, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	32	10
: TCAD SENTAURUS : 4 / - ; [: . . .] . - , 2010. - 103 . : . , .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909				

5.

- , (. 5.1).

5.1

	-
	e-mail

	e-mail
	e-mail
	e-mail

6.

(),

-
15-

ECTS.

. 6.1.

6.1

: 8		
<i>Лекция:</i>	2	4
<i>Лабораторная:</i>	16	32
<i>Практические занятия:</i>	4	8
-		
<i>Контрольные работы:</i>	4	8
() " TCAD SENTAURUS : 4 / . . . - ; [: . . .] - , 2010. - 103 . : . , .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909"		
<i>РГЗ:</i>	4	8
() " TCAD SENTAURUS : 4 / . . . - ; [: . . .] - , 2010. - 103 . : . , .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909"		
<i>Экзамен:</i>	20	40
() " TCAD SENTAURUS : 4 / . . . - ; [: . . .] - , 2010. - 103 . : . , .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909"		

6.2

6.2

		/	.		
.1	1. , - , ,	+			+
	19. -	+			+
	21. - ,				+
	22.	+			+
	1. - ,	+	+	+	+

	18.		+			+
	5.		+			+
.8	1.					+

1

7.

1. Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил.
2. Абрамов И. И. Лекции по моделированию элементов интегральных схем / И. И. Абрамов. - М. ;, 2005. - 148 с. : ил.

1. Польский Б. С. Численное моделирование полупроводниковых приборов / Б. С. Польский. - Рига, 1986. - 168 с. : ил., схемы
2. Мулярчик С. Г. Численное моделирование микроэлектронных структур : [монография] / С. Г. Мулярчик. - Минск, 1989. - 367, [1] с. : табл., схемы
3. Автоматизация проектирования БИС. В 6 кн.. Кн. 5 : [практическое пособие] / под ред. Г. Г. Казеннова. - М., 1990. - 143, [1] с. : ил., табл.
4. Моделирование полупроводниковых приборов и технологических процессов : Последние достижения / под ред. Д. Миллера; пер. с англ. М. С. Обрехта, под ред. Г. В. Гадияка. - М., 1989. - 277, [1] с.
5. МОП-СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов : [сборник лекций] / под ред. П. Антонетти, Д. Антониадиса, Р. Даттона, У. Оулдхема ; пер. с англ. В. Л. Кустова, В. М. Петрова, О. В. Селляховой ; под ред. Р. А. Суриса. - М., 1988. - 495, [1] с. : ил.
6. Бубенников А. Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем : Учеб. пособие для вузов по спец. "Физика и технология материалов и компонентов электрон. техники". - М., 1989. - 319, [1] с. : ил.
7. Абрамов И. И. Численное моделирование элементов интегральных схем / И. И. Абрамов, В. В. Харитонов ; под ред. А. Г. Шашкова. - Минск, 1990. - 223, [1] с. : ил., схемы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

8.

8.1

1. Моделирование нанотранзисторов в TCAD SENTAURUS : методическое руководство к лабораторному практикуму для 4 курса РЭФ дневного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: С. В. Калинин и др.]. - Новосибирск, 2010. - 103 с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000146909

8.2

- 1 Microsoft Office
- 2 TCAD Sentaurus
- 3 Microsoft Windows

9. -

1	(Internet)	

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv
“ ____ ” _____ ____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование и проектирование микро- и наносистем

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль:
Нанотехнология

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине **Моделирование и проектирование микро- и наносистем** приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.1/НИ способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	з1. Знать типовые программные продукты, ориентированные на решение задач моделирования материалов и компонентов нано-и микросистемной техники, управление процессами нанотехнологии, обработку результатов, полученных методами нанодиагностики	Дидактическая единица:2 Основные особенности TCAD-моделирования 2.1 Моделирование технологических параметров нанопереходов на базе основных оболочек и подсистем TCAD Sentaurus 2.2 Основные особенности TCAD-моделирования 2.4 Структура TCAD SenTaurus Дидактическая единица:3 Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus 3.2 Технологическое моделирование двумерной структуры МОПТ на напряженном кремнии 3.3 Сквозное моделирование электрофизических характеристик кремниевых полупроводниковых структур в TCAD Sentaurus	Отчеты по лабораторным работам 2-4	Экзамен, вопросы по темам «Основные особенности TCAD-моделирования», «Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus», «Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus»
ПК.1/НИ	з19. Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	1.1 Элементная база современной микро и наноэлектроники и микросистемной техники Дидактическая единица:1 Общие вопросы наноэлементов и наносистем 1.1 Общие вопросы наноэлементов и наносистем 1.2 Математические модели для наноэлектроники Дидактическая единица:2 Основные особенности TCAD-моделирования 2.3 Приборно-технологическое моделирование Дидактическая единица:3 Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus 3.2 Технологическое моделирование двумерной структуры МОПТ на напряженном кремнии	Отчеты по лабораторным работам 1-3	Экзамен, вопросы по темам «Общие вопросы наноэлементов и наносистем», «Основные особенности TCAD-моделирования», «Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus»
ПК.1/НИ	з21. Знать математический аппарат и численные методы для моделирования физико-химических процессов и	Дидактическая единица:2 Основные особенности TCAD-моделирования 2.1 Моделирование технологических параметров нанопереходов на базе основных оболочек и	Отчеты по лабораторным работам 1-4, РГЗ, Контрольная работа	Экзамен, вопросы по темам « Основные особенности TCAD-моделирования», «Моделирование технологических процессов в TCAD

	явлений, лежащих в основе нанотехнологии	подсистем TCAD Sentaurus Дидактическая единица:3 Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus 3.2 Технологическое моделирование двумерной структуры МОПТ на напряженном кремнии 3.3 Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus 3.5 Модели ионной имплантации 3.6 Модели термического окисления кремния 3.7 Диффузионные модели Дидактическая единица:4 Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus 4.4 Основные электрофизические модели 4.8 Основные электрофизические модели		SenTaurus», «Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus»
ПК.1/НИ	з22. Знать основные принципы моделирования	Дидактическая единица:1 Общие вопросы наноэлементов и наносистем 1.1 Общие вопросы наноэлементов и наносистем 1.2 Математические модели для нанoeлектроники Дидактическая единица:2 Основные особенности TCAD-моделирования 2.1 Моделирование технологических параметров нанопереходов на базе основных оболочек и подсистем TCAD Sentaurus 2.2 Основные особенности TCAD-моделирования 2.3 Приборно-технологическое моделирование 2.4 Структура TCAD SenTaurus Дидактическая единица:3 Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus 3.2 Технологическое моделирование двумерной структуры МОПТ на напряженном кремнии 3.3 Сквозное моделирование электрофизических характеристик кремниевых полупроводниковых структур в TCAD Sentaurus 4.4 Основные электрофизические модели Дидактическая единица:4 Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus 4.4 Моделирование электрофизических параметров и характеристик НЕМТ-структур в TCAD Sentaurus 4.8 Основные электрофизические модели	Отчеты по лабораторным работам 1-4, РГЗ, Контрольная работа	Экзамен, вопросы по темам «Общие вопросы наноэлементов и наносистем», «Основные особенности TCAD-моделирования», «Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus», «Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus»

ПК.1/НИ	у1. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов nano- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	<p>Дидактическая единица:1 Общие вопросы наноэлементов и наносистем</p> <p>1.1 Общие вопросы наноэлементов и наносистем</p> <p>1.2 Математические модели для наноэлектроники</p> <p>Дидактическая единица:3 Моделирование технологических процессов в TCAD Sentaurus 3.2 Технологическое моделирование двумерной структуры МОПТ на напряженном кремнии 3.3 Сквозное моделирование электрофизических характеристик кремниевых полупроводниковых структур в TCAD Sentaurus 3.6 Модели термического окисления кремния</p> <p>Дидактическая единица:4 Электрофизическое моделирование приборов в TCAD Sentaurus 4.4 Моделирование электрофизических параметров и характеристик НЕМТ-структур в TCAD Sentaurus 4.4 Основные электрофизические модели</p>	Отчеты по лабораторным работам 1-4, РГЗ, Контрольная работа	Экзамен, вопросы по темам «Общие вопросы наноэлементов и наносистем», «Основные особенности TCAD-моделирования», «Моделирование технологических процессов в TCAD Sentaurus», «Электрофизическое моделирование приборов в TCAD Sentaurus»
ПК.1/НИ	у5. Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	<p>Дидактическая единица:3 Моделирование технологических процессов в TCAD Sentaurus 3.2 Технологическое моделирование двумерной структуры МОПТ на напряженном кремнии 3.3 Сквозное моделирование электрофизических характеристик кремниевых полупроводниковых структур в TCAD Sentaurus 3.3 Моделирование технологических процессов в TCAD Sentaurus 3.7 Диффузионные модели</p> <p>Дидактическая единица:4 Электрофизическое моделирование приборов в TCAD Sentaurus 4.4 Основные электрофизические модели</p>	Отчеты по лабораторным работам 1-4	Экзамен, вопросы по темам «Моделирование технологических процессов в TCAD Sentaurus», «Электрофизическое моделирование приборов в TCAD Sentaurus»
ПК.1/НИ	у18. Уметь осуществлять переход от реальных конструкций к расчетным схемам и соответствующим им математическим моделям с целью анализа и синтеза подвижных и неподвижных элементов конструкций	<p>Дидактическая единица:3 Моделирование технологических процессов в TCAD Sentaurus 3.2 Технологическое моделирование двумерной структуры МОПТ на напряженном кремнии 3.3 Моделирование технологических процессов в TCAD Sentaurus 3.5 Модели ионной имплантации 3.6 Модели термического окисления кремния</p>	Отчеты по лабораторным работам 1-4	Экзамен, вопросы по теме «Моделирование технологических процессов в TCAD Sentaurus»

ПК.8/ПТ готовность использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники	у1. Владеть проектированием технологий изготовления элементной базы нано- и микросистемной техники	Дидактическая единица:2 Основные особенности TCAD-моделирования 2.3 Приборно-технологическое моделирование Дидактическая единица:3 Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus 3.3 Сквозное моделирование электрофизических характеристик кремниевых полупроводниковых структур в TCAD Sentaurus Дидактическая единица:4 Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus 4.4 Основные электрофизические модели	Отчеты по лабораторным работам 1-4	Экзамен, вопросы по темам «Основные особенности TCAD-моделирования», «Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus», «Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus»

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 8 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.1/НИ, ПК.8/ПТ.

Экзамен проводится в устной форме, по билетам.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 8 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)), контрольная работа. Требования к выполнению РГЗ(Р), контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р), контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.1/НИ, ПК.8/ПТ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным

числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Моделирование и проектирование микро- и наносистем», 8 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу:

первый вопрос выбирается из диапазона вопросов соответствующих одной из тематик, изученных в ходе семестра, (из 4 возможных);

второй вопрос выбирается из диапазона вопросов соответствующих другой тематике (из оставшихся трех).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Моделирование и проектирование микро- и наносистем»

1. Вопрос 1 Миниатюризация и ее влияние на параметры КМОПТ
2. Вопрос 2. Аппроксимационные модели ИИ. Модель Пирсон-IV.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ проф. Гайслер В.А

(подпись)

(дата)

2. Критерии оценки

Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет менее 20 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, оценка составляет 20-25 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные

характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет 26-34 *баллов*.

• Ответ на экзаменационный билет (тест) билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет 35-40 *баллов*.

Экзамен считается сданным, если средняя сумма баллов по всем вопросам составляет не менее 20 баллов (по 40 балльной шкале).

Коэффициент, с которым учитывается полученная сумма баллов в общей оценке по дисциплине, определяется Правилами аттестации исходя из того, что максимальное количество баллов за экзамен не может превышать 40 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Компьютерное моделирование нанозаэментов и наносистем»

«Общие вопросы»

- 1.1 Нанотехнологии, нанозаэменты и наносистемы
- 1.2 Элементная база современной микро и нанозаэлектроники
- 1.3 Миниатюризация и ее влияние на параметры КМОПТ
- 1.4 Физические эффекты, связанные с процессом миниатюризации
- 1.5 Технологические способы подавления паразитных эффектов в КМОПТ: ретроградный карман, LDD, HALO и КНИ структуры
- 1.6 Схема Даттона для математических моделей нанозаэлектроники
- 1.7 Иерархия транспортных моделей в нанозаэлектронике
- 1.8 Взаимосвязь между транспортными механизмами и характерной длиной нанозаэлемента
- 1.9 Классификационная схема математических моделей

«Основные особенности TCAD-моделирования»

- 2.1 Общая характеристика метода приборно-технологического моделирования и его возможности
- 2.2 Схема сквозного TCAD-моделирования
- 2.3 Общая структура TCAD SenTaurus
- 2.4 Входные/ выходные файлы основных приложений TCAD SenTaurus
- 2.5 Основные схемы моделирования в TCAD SenTaurus
- 2.6 Общая структура командного файла для SProcess
- 2.7 Общая структура командного файла для SDevice

«Моделирование технологических процессов в TCAD SenTaurus»

- 3.1 Основные особенности моделирования процесса ионной имплантации(ИИ).
- 3.2 Системы координат, используемые для моделирования процесса ИИ
- 3.3 Основные модельные параметры имплантационных профилей легирования.
- 3.4 Общая характеристика метода Монте-Карло при моделировании ИИ
- 3.5 Аппроксимационные модели ИИ. Модель Гаусса.
- 3.6 Аппроксимационные модели ИИ. Модель Пирсон-IV
- 3.7 Двумерное моделирование бокового распределения ионов ИИ
- 3.8 Основные физические процессы при термическом окислении кремния

- 3.9 Модели Дила-Гроува и Массауда для процесса термического окисления
- 3.10 Вариативность команды , моделирующей процесс термического окисления в приложении SProcess
- 3.11 Концентрационные модели коэффициента диффузии. Модель эффективного коэффициента диффузии
- 3.12 Диффузионные модели в TCAD SenTaurus. Модель с постоянным уровнем Ферми
- 3.13 Диффузионные модели в TCAD SenTaurus. Трехпоточковая модель
- 3.14 Диффузионные модели в TCAD SenTaurus. Пятипоточковая модель

«Электрофизическое моделирование приборов в TCAD SenTaurus»

- 4.1 Исходные данные для электрофизического моделирования в SDevice
- 4.2 DD модель и краевые условия в диффузионно-дрейфовой модели полупроводникового прибора.
- 4.3 Термодинамическая модель полупроводникового прибора в приложении «SDevice».
- 4.4 Гидродинамическая модель полупроводникового прибора в приложении «SDevice».

Вопросы составил _____ доц. Калинин С.В.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Моделирование и проектирование микро- и наносистем», 8 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам, изученным в течение 1 семестра, включает 8 заданий. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями. Каждое правильно выполненное задание оценивается 1 баллом.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если выполнено менее 50% заданий. Оценка составляет 0-3 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если выполнено 50-60% заданий. Оценка составляет 4-5 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если выполнено 70-80% заданий. Оценка составляет 6-7 баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если выполнено не менее 90% заданий. Оценка составляет 8 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

1. В соответствии с заданием преподавателя выбрать один из вариантов контрольной работы

№ варианта	подложка	ИЛ бора	Термический отжиг	Примечание
1	КЭФ-1 (100)	Доза[мкКл/см ²] 60 112 180 Энергия (кэВ) 50 100	Атмосфера: O ₂ -100% N ₂ -0% T=1150° t=1 час	Модель ИЛ pearson
2	КЭФ-1 (100)	Доза[мкКл/см ²] 60 112 180 Энергия (кэВ) 50 100	Атмосфера: O ₂ -10% N ₂ -90% T=1150° t=1 час	Модель ИЛ pearson.s
3	КЭФ-1 (100)	Доза[мкКл/см ²] 60 112 180 Энергия (кэВ) 50 100	Атмосфера: O ₂ -1% N ₂ -99% T=1150° t=1 час	Модель ИЛ gaussian
4	КЭФ-1 (100)	Доза[мкКл/см ²] 60 112 180 Энергия (кэВ) 50 100	Атмосфера: O ₂ -0% N ₂ -110% T=1150° t=1 час	Модель ИЛ pearson
5	КЭФ-1 (111)	Доза[мкКл/см ²] 60 112 180 Энергия (кэВ) 50 100	Атмосфера: O ₂ -100% N ₂ -0% T=1150° t=1 час	Модель ИЛ pearson
6	КЭФ-1 (111)	Доза[мкКл/см ²] 60 112 180 Энергия (кэВ) 50 100	Атмосфера: O ₂ -100% N ₂ -0%	Модель ИЛ pearson.s

			T=1150° t=1 час	
7	КЭФ-1 (111)	Доза[мкКл/см ²] 60 112 180 Энергия (кэВ) 50 100	Атмосфера: O2–100% N2-0% T=1150° t=1 час	Модель ИЛ gaussian
8	КЭФ-1 (111)	Доза[мкКл/см ²] 60 112 180 Энергия (кэВ) 50 100	Атмосфера: O2–100% N2-0% T=1150° t=1 час	Модель ИЛ pearson

2. В оболочке *SWB* создать директорию для расчетов и текущий проект.

3. Создать план вычислительного эксперимента и вычислительный поток для расчета технологических характеристик:

R_s (Доза, Энергия); X_j (Доза, Энергия) (в виде таблицы значений)

и профилей легирования p - n переходов.

4. Графики профилей легирования записать на флешку и предъявить преподавателю для демонстрации на контрольном компьютере.

5. Дополнить вычислительный поток элементами , необходимыми для нахождения ВАХ p - n -переходов в случае $D=112$ $E=50$

6. Рассчитать прямую и обратную ВАХ p - n перехода и записать графики на флешку и предъявить преподавателю для демонстрации на контрольном компьютере.

Примечание:

Критерием выполнения работы являются:

а) Таблицы (графики) зависимостей R_s (Доза, Энергия); X_j (Доза, Энергия);

б) Графики семейства (доза-энергия) профилей легирования;

в) Графики прямой и обратной ВАХ смоделированного p - n -перехода.

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Моделирование и проектирование микро- и наносистем», 8 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны рассчитать параметры транзистора с управляющим р-п-переходом в соответствии с исходными данными.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны следовать, используя исходные данные, подобрать толщину эпитаксиальной пленки и глубину залегания р-п-перехода так, чтобы напряжение отсечки было в пределах (-2 - 4) В.

При формировании структуры транзистора необходимо предусмотреть достаточное расстояние между сильно легированными диффузионными областями затвора и истоков для предотвращения их смыкания.

Обязательными структурными частями РГЗ являются:

- краткое описание проектируемой структуры с поясняющими рисунками и обоснованным выбором дополнительных геометрических и физических параметров, необходимых для двумерного моделирования транзистора;
- входной командный файл для технологического приложения, обеспечивающий расчет структуры транзистора;
- одномерные профили легирования, обеспечивающие геометрические параметры транзистора в соответствии с вариантом расчета;
- входной командный файл для электрофизического приложения, обеспечивающий расчет напряжения отсечки

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ проекта для моделирования, некорректно сформирована структура и не обеспечено в процессе моделирование требуемое напряжение отсечки. Оценка в этом случае составляет 0-3 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: нет анализа проекта для моделирования, не обеспечено требуемое напряжение отсечки анализ объекта выполнен без декомпозиции, диагностические признаки недостаточно обоснованы, аппаратные средства не соответствуют современным требованиям. Оценка в этом случае составляет 4-5 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если моделирование транзистора в целом выполнено, но не обеспечено требуемое напряжение отсечки. Оценка в этом случае составляет 6-7 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если моделирование транзистора выполнено в полном объеме и получено оптимальное значение порогового напряжения. Оценка в этом случае составляет 8 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

Варианты ПТУП

№ варианта	Исток-сток		Канал			Затвор		Подложка
	$N_{D0},$ $см^{-3}$	$Y_{SD},$ $мкм$	$N_D,$ $см^{-3}$	$d,$ $мкм$	$L,$ $мкм$	$N_{A0},$ $см^{-3}$	$Y_G,$ $мкм$	$N_A,$ $см^{-3}$
1	2e19	0,3	1e16	1,4	5,0	8e18	0,5	9e14
2	5e19	0,2	2e16	1,2	3,0	7e18	0,4	8e14
3	4e19	0,2	3e16	1,2	1,0	9e18	0,5	7e14
4	1e19	0,3	2e16	1,6	2,0	1e19	0,6	6e14
5	3e19	0,5	3e16	1,4	4,0	6e18	0,6	1e15
6	6e18	0,4	1e16	1,6	2,0	3e18	0,6	7e14
7	5e18	0,5	5e16	2,0	1,0	1e18	0,7	6e14
8	9e18	0,4	4e16	1,8	5,0	4e18	0,7	9e14
9	7e18	0,6	4e16	1,8	3,0	5e18	0,7	8e14
10	8e18	0,6	5e16	2,0	4,0	2e18	0,8	1e15

N_{D0} – максимальная концентрация доноров в исток-стоках; Y_{SD} – глубина залегания исток-стоковых $p-n$ -переходов; N_D – концентрация доноров в канале; d – толщина эпитаксиальной пленки; L – длина затвора; N_{A0} – максимальная концентрация акцепторов в затворе; Y_G – глубина залегания $p-n$ -перехода затвора; N_A – концентрация акцепторов в подложке.

Обычная структура полевого n -канального транзистора с управляющим $p-n$ -переходом (ПТУП), используемая в РГЗ представлена на рисунке.