

«

»

“ ”

“ ”

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Специальные главы нанoeлектроники

: 28.04.01

: 1, : 1 2

		1	2
1	()	2	2
2		72	72
3	, .	25	60
4	, .	0	18
5	, .	18	36
6	, .	0	0
7	, .	2	14
8	, .	2	2
9	, .	5	4
10	, .	47	12
11	(, ,)		
12			

(): 28.04.01

990 09.09.2015 ., : 05.10.2015 .

: 1,

(): 28.04.01

, 5 20.06.2017

, 6 21.06.2017

:

, . -

:

. . . ., . -

:

. . . .

1.

1.1

Компетенция ФГОС: ПК.2 готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты; в части следующих результатов обучения:	
3.	- ,
4.	,
Компетенция ФГОС: ПК.3 готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:	
5.	,
6.	- ,
7.	-
3.	,

2.

2.1

(, , ,)	
-----------	--

.3. 7	,
1.о перспективных направлениях развития нанoeлектроники	; ;
.2. 3	,
2.терминологию дисциплины	; ;
.3. 5	,
3.физические свойства систем пониженной размерности	; ;
.3. 3	,
4.вычислять электрофизические и квантово-механические характеристики наноразмерных структур	; ;
.2. 3	,
5.основные физические явления, используемые для создания приборов нанoeлектроники	; ;
.3. 6	,
6.использовать основы теории твёрдого тела для решения задач, связанных с описанием электронных процессов в системах пониженной размерности	; ;
.2. 4	,
7.использовать при моделировании реальных систем знания о электрофизических и оптических характеристиках наноразмерных структур и методах структурного анализа	; ;

.3. 5 ,	
8.прогнозировать изменение свойств объектов при изменении внешних условий или воздействий	;
.3. 3 ,	
9.строить математические модели расчета параметров систем низкой размерности	;
.3. 6 - ,	
10.вычислять электрофизические и квантово-механические характеристики наноразмерных структур	;

3.

3.1

: 2				
:				
1.	3D-	2	2	2, 3, 4
				3D-
2.	2D	2	2	2, 3, 4
-				2D-
3.	1D - 0D -	2	2	2, 3, 4
				0D- 1D
:				
4.		3	3	2, 5

5.		2	2	1, 2, 5	
:					
6.		2	2	3	
:					
7.		1	3	2, 4, 5	
:					
8.	()	0	2	2, 4, 5	

3.2

		,			
:1					
:					
1.		0	2	1	,
2.		0	2	6	
3.		0	2	6	

4.		0	3	6	
5.		0	1	6	
6.		0	2	6, 7	
7.		0	2	6, 8	
8.		0	2	6	
9.		2	2	2, 3, 6	
: 2					
:					
10.	3D -, 2D-, 1D- 0D-	0	4	6, 9	
11.	2D -	0	4	10, 6, 9	
:					
12.		0	2	8	
13.		0	2	10	
14.	p-n	0	2	10, 3	
:					
15.		0	4	5, 8	
16.		0	2	2, 3	
:					

17.	0	4	5, 9	
:				
18.	0	4	10, 6	
19.	0	2	3	" "
:				
20.	0	4	6, 7	
:				
21.	0	2	1, 2, 3, 8	

4.

: 1				
1		6, 7	16	2
<p>():</p> <p>:[]/ . . . ; . . . -</p> <p>, 2012. - 35, [2] .: ., ..-</p> <p>http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000176176</p>				
2		1, 10, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	15	1
<p>, :</p> <p>. . . - ; . . . - . . . , 2015. - 45, [3] .: ., ..-</p> <p>: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042</p> <p>; . . . - . . . , 2008. - 337 .: ..-</p> <p>http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000087368. -</p> <p>" " . . . - : []/ . . .</p> <p>, . . . ; . . . - . . . , 2012. - 35, [2] .: ., ..-</p> <p>: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000176176</p>				
3		1, 10, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	16	2

, 2015. - 45, [3] .: ..-
http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042
 , 2008. - 337 .: ..-
http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000087368. -
 " " .: []/
 , 2012. - 35, [2] .: ..-
 : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000176176

: 2

1		1, 10, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	4	2
---	--	----------------------------------	---	---

, 2015. - 45, [3] .: ..-
http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042
 , 2008. - 337 .: ..-
http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000087368. -
 " " .: []/
 , 2012. - 35, [2] .: ..-
 : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000176176

2		1, 10, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	8	2
---	--	----------------------------------	---	---

:
 / .: ..- , 2015. - 45, [3] .: ..-
 : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042
 ; , 2008. - 337 .: ..-
http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000087368. -
 " " .: []/
 , 2012. - 35, [2] .: ..-
 : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000176176

5.

(.5.1).

5.1

	-
	e-mail;
	e-mail

7.

1. Драгунов В. П. Основы нанoeлектроники : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микрoeлектроника", специальностям "Микрoeлектроника и твердотельная электроника" и "Микросистемная техника" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М., 2006. - 494 с. : ил.
2. Борисенко В. Е. Нанoeлектроника : [учебное пособие для вузов по специальности "Микро- и нанoeлектронные технологии и системы" и "Квантовые информационные системы"] / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М., 2011. - 223 с. : ил., граф., схемы, табл.
3. 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.
4. Краснопевцев Е. А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела : [учебное пособие] / Е. А. Краснопевцев ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2010. - 354 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000143972

1. Драгунов В. П. Физика твердого тела. Основы нанoeлектроники (квантовые проводники и углеродные нанотрубки) : учебное пособие / Драгунов В. П. ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 106, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/dragun.pdf>. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".
2. Кравченко А. Ф. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности / А. Ф. Кравченко, В. Н. Овсянко. - Новосибирск, 2000. - 447 с. : ил., схемы, табл.
3. Раков Э. Г. Нанотрубки и фуллерены : учебное пособие по специальности 210602 "Наноматериалы" / Э. Г. Раков. - М., 2006. - 374 с. : ил.
4. Нанотехнологии в электронике / [Н. И. Боргардт, В. Н. Кукин, С. Н. Мазуренко и др.] ; под ред. Ю. А. Чаплыгина. - М., 2005. - 446 с. : ил.. - Авт. указаны в содерж.
5. Гридчин В. А. Спецглавы физики: задачи с примерами решений : учебное пособие / В. А. Гридчин, Р. П. Дикарева, Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 103 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000028825
6. Игнатов А.Н. Нанoeлектроника. Состояние и перспективы развития [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.Н. Игнатов— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2011.— 410 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55451.html>.— ЭБС «IPRbooks»

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. Драгунов В. П. Микро- и нанoeлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042

2. Краснопевцев Е. А. Математические методы физики. Ортонормированные базисы функций : учебное пособие / Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 337 с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000087368. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".
3. Драгунов В. П. Микро- и наноэлектроника : [учебное пособие] / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2012. - 35, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000176176

8.2

- 1 Microsoft Windows
- 2 Microsoft Office

9.

-

1	(- , ,)	

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

Специальные главы наноэлектроники

Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника,
магистерская программа: Материалы микро- и наносистемной техники

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Специальные главы нанoeлектроники 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.2/НИ готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты	з3. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах	Баллистический транспорт квантовых нитей. Кондактанс идеального квантового проводника в баллистическом режиме. Формула Ландауэра. Приборы на основе баллистического транспорта. Коммутатор пучка баллистических электронов. Квантовый интерференционный транзистор. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр бесконечной прямоугольной и параболической потенциальных ям Интерференционная передислокация электронной плотности в тунельно-связанных квантовых ямах. Инвертор на эффекте передислокации волновых функций. Классификация гетеропереходов и сверхрешеток Особенности распределения плотности состояний в 2D -системах Распределение плотности состояний в 1D - и 0D - системах Распределение плотности состояний в 3D-системах Резонансное тунелирование электронов (РТД). ВАХ РТД на ДБКС		Зачет, вопросы 1-3,16 Экзамен, вопросы 1-3, 14-16, 18-20, 22-24, 27, 29
ПК.2/НИ	у4. уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	Особенности фононного спектра в полупроводниковых сверхрешётках Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осциллятора.		Экзамен, вопросы 8–13
ПК.3/НИ готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических	з5. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр бесконечной прямоугольной и параболической потенциальных ям Классификация гетеропереходов и сверхрешеток Особенности распределения плотности		Экзамен, вопросы 13–22

процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники		состояний в 2D -системах Особенности энергетического спектра мелких примесных состояний в системах пониженной размерности Распределение плотности состояний в 1D - и 0D - системах Распределение плотности состояний в 3D-системах Условия наблюдения квантовых размерных эффектов Физические основы и практическое применение магнитоэлектроники		
ПК.3/НИ	36. знать основные физико-химические модели процессов, явлений и объектов в области нанотехнологии и микросистемной техники	Двумерный p-n переход в равновесии Зависимость положения уровня Ферми от концентрации и толщины пленки в 2D - системах Интерференционные эффекты при надбарьерном пролете частиц. Туннелирование через потенциальный барьер Классификация гетеропереходов и сверхрешеток Особенности прохождения частиц над потенциальной ямой Особенности фононного спектра в полупроводниковых сверхрешётках Оценка максимального тока и отрицательной дифференциальной проводимости РТД на ДБКС Распределение плотности квантовых состояний в 3D -, 2D-, 1D- и 0D-системах Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке Структура со сдвоенной потенциальной ямой. Прохождение частиц через многобарьерные структуры. Энергетический спектр сверхрешеток. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов Частица в прямоугольной потенциальной яме. Энергетические состояния в прямоугольной квантовой яме сложной формы Экранирование электрического поля в системах пониженной размерности Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осциллятора.	Курсовая работа, все разделы	Зачет, вопросы 2-10,13, 15,16 Экзамен, вопросы 2-14, 17
ПК.3/НИ	37. знать физические принципы и механизмы, лежащие в основе построения и функционирования нано- и микроструктур	Интерференционная передислокация электронной плотности в тунельно-связанных квантовых ямах. Инвертор на эффекте передислокации волновых функций. Состояние и перспективы развития		Зачет, вопрос 10 Экзамен, вопросы 10, 19,20,28

		нанoeлектроники. Содержание курса, его особенности и структура. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке.		
ПК.3/НИ	у3. владеть методами расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых в предметной области	Баллистический транспорт квантовых нитей. Кондактанс идеального квантового проводника в баллистическом режиме. Формула Ландауэра. Приборы на основе баллистического транспорта. Коммутатор пучка баллистических электронов. Квантовый интерференционный транзистор. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации и толщины пленки в 2D - системах Особенности распределения плотности состояний в 2D - системах Распределение плотности квантовых состояний в 3D -, 2D-, 1D- и 0D-системах Распределение плотности состояний в 1D - и 0D - системах Распределение плотности состояний в 3D-системах Резонансное туннелирование электронов (РТД). ВАХ РТД на ДБКС		Экзамен, вопросы 14-17, 18, 29

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 1 семестре - в форме зачета, в 2 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.2/НИ, ПК.3/НИ.

Зачет и экзамен проводится в устной форме, по билетам.

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

В 1 семестре обязательным этапом текущей аттестации является курсовая работа. Требования к выполнению курсовой работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте курсовой 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.2/НИ, ПК.3/НИ, 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 носят существенный характер, необходимые практические навыки работы с материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено или выполнено с существенными ошибками (<49).

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 (50 – 72).

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 (73 – 95).

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 (96 – 100).

Паспорт зачета

по дисциплине «Специальные главы наноэлектроники», 1 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из вопросов к зачёту (список вопросов приведен ниже), второй вопрос - задача. В ходе зачёта преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № _____

к зачету по дисциплине «Специальные главы наноэлектроники»

1. Вопрос. Предпосылки возникновения наноэлектроники.
2. Задача. Оцените количество разрешенных состояний в симметричной прямоугольной потенциальной яме шириной 10.2 нм и глубиной 1 эВ для частицы с $m = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) _____ (дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на теоретический вопрос не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, не может решить задачу и не отвечает на дополнительные вопросы, оценка составляет 0 – 9 баллов.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на теоретический вопрос перечисляет основные предпосылки возникновения наноэлектроники и проблемы, сопровождающие процесс миниатюризации, может пояснить их суть, при решении задачи допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные, не может ответить на дополнительные вопросы, оценка составляет 10 - 14 баллов.

- Ответ на билет для зачета засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на теоретический вопрос формулирует основные предпосылки возникновения наноэлектроники и проблемы, сопровождающие процесс миниатюризации, дает характеристику процессов и явлений, проводит анализ причин, условий, сопровождающих процесс миниатюризации, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, испытывает затруднения при ответе на дополнительные вопросы. Оценка составляет 15 – 18 баллов.
- Ответ засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент правильно и полностью раскрывает теоретический вопрос, корректно решает задачу и правильно отвечает на дополнительные вопросы, оценка составляет 19 – 20 баллов.

3. Шкала оценки

Оценка за зачёт составляет до 20% от общей оценки по дисциплине. До 80% итоговой оценки студент может набрать в семестре (см. условия БРС в Рабочей программе по дисциплине). Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее 10 баллов (из 20 возможных).

Общая оценка по дисциплине формируется из баллов, полученных на Зачёте и набранных студентом в семестре. Таблица соответствия баллов, традиционной оценки и буквенной оценки ECTS приведена ниже.

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично			хорошо				удовлетворительно					неудовлетворительно		
зачтено												незачтено		

Независимо от количества баллов, набранных в семестре, в случае получения на Зачёте оценки «неудовлетворительно», студент получает оценку «неудовлетворительно» по дисциплине в целом.

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Специальные главы наноэлектроники»

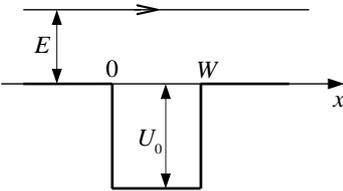
1. Предпосылки возникновения наноэлектроники.
2. Классификация гетеропереходов и сверхрешеток.
3. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке.
4. Потенциальный барьер конечной ширины. Прохождение частиц под барьером.
5. Потенциальный барьер конечной ширины. Прохождение частиц над барьером.
6. Частица в прямоугольной потенциальной яме.
7. Особенности прохождения частиц над потенциальной ямой.
8. Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осцилляторов.
9. Особенности энергетического спектра частиц в прямоугольной КЯ сложной формы.
10. Структура со сдвоенной квантовой ямой.
11. Энергетический спектр частиц в прямоугольной КЯ с δ -образным барьером.
12. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.
13. Прохождение частиц через многобарьерные структуры.
14. Прохождение частиц «над» двухбарьерной структурой.
15. Энергетический спектр сверхрешеток.
16. Распределение плотности состояний в 3D-системах.

Задачи к зачёту по дисциплине «Специальные главы нанoeлектроники»

1. Предположим, что кристалл микропроцессора площадью 1 см^2 содержит 10 млн. транзисторов, которые можно рассматривать как конденсаторы с емкостью $C_n = 10 \text{ фФ}$. При работе процессора эти конденсаторы перезаряжаются с тактовой частотой f , причём вся энергия конденсаторов переходит при этом в тепло. Найти при какой тактовой частоте f плотность потока тепла в кристалле еще не превысит допустимой для кремния, если напряжение питания микропроцессора составляет $V = 1 \text{ В}$, а допустимый градиент температуры составляет $3.3 \cdot 10^{-3} \text{ К/мкм}$.
2. Из анализа работы КМОП-инвертора, нагруженного на такой же инвертор с входной ёмкостью C , покажите, что максимальная производительность ИС, отнесённая к единице площади поверхности кристалла, определяется теплопроводностью материала микросхемы, допустимым градиентом температуры и фактором качества.
3. Определите на сколько необходимо изменить заряд на затворах КМОП-инвертора и какое количество электронов потребуется, чтобы передать бит информации, если длина каналов транзисторов $L = 0.2 \text{ мкм}$, ширина – $b = 0.5 \text{ мкм}$, а толщина окисла (SiO_2) $d = 0.1 \text{ мкм}$? Принять, что для переключения инвертора необходимо изменить входное напряжение на 4 В.
4. Оцените равновесную ширину ступенчатых p - n переходов в Si и GaAs при 300 К, если концентрации акцепторов и доноров в области переходов равны соответственно $N_A = 10^{21} \text{ см}^{-3}$ и $N_D = 10^{18} \text{ см}^{-3}$.
5. Оцените напряжение смыкания ОПЗ истока и стока, МОПТ, если концентрация акцепторов в подложке $N_A = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, эффективная длина канала равна 0.4 мкм, а глубина залегания p - n переходов стока и истока – 0.25 мкм.
6. Определите сколько доноров в среднем будет находиться в одном монослое под затвором МОПТ, а также абсолютную среднюю квадратичную и относительную флуктуации этого числа доноров, если длина канала транзистора $L = 0.1 \text{ мкм}$, ширина $b = 0.5 \text{ мкм}$, а концентрация доноров в подложке 10^{15} см^{-3} ?
7. Определите какой заряд надо создать на входе КМОП-инвертора, чтобы передать бит информации, если входная емкость инвертора равна 0.2 фФ, напряжение логического нуля равно 0.5 В, а напряжение единицы 4.5 В? Оцените какое количество электронов для этого потребуется и относительную среднюю квадратичную флуктуации этого числа электронов.
8. Частица массы m падает слева на прямоугольную потенциальную ступеньку высотой U_0 . Энергия частицы равна E , причём $E < U_0$. Найти глубину $x_{эфф}$ проникновения частицы под ступеньку, т.е. расстояние от границы ступеньки до точки, в которой плотность вероятности нахождения частицы уменьшается в e раз. Вычислить $x_{эфф}$ для электрона, если $U_0 - E = 1 \text{ эВ}$.
9. Выразите амплитуды отражённой и прошедшей волны через амплитуду падающей волны при рассеянии частицы на потенциальной ступеньке для случая, когда полная энергия частицы превышает высоту потенциальной ступеньки.
10. Используя результаты предыдущей задачи, получите выражения для коэффициентов прохождения и отражения при рассеянии частиц на потенциальной ступеньке для случая, когда полная энергия частицы превышает высоту потенциальной ступеньки.
11. Получите выражение для фазового сдвига между падающей и отражённой волнами для случая рассеяния частиц на потенциальной ступеньке, если полная энергия частицы меньше высоты

ступеньки.

12. Для случая прохождения частиц над потенциальным барьером конечной ширины выразите плотность потока вероятности прошедших частиц через амплитуду падающей волны.
13. Частица массы m падает на прямоугольный симметричный потенциальный барьер, причём её энергия $E < U_0$. Найти коэффициент прохождения для электрона с $E = 5$ эВ сквозь этот барьер, если $U_0 = 10$ эВ и $l = 0.1$ нм.
14. Частица массы m падает на прямоугольный симметричный потенциальный барьер шириной l , причём её энергия $E > U_0$. Найти: а) выражение для D при $E \rightarrow U_0$; б) первые два значения E , при которых электрон будет беспрепятственно проходить через такой барьер, если $U_0 = 10$ эВ и $l = 0.5$ нм.
15. Используя выражение для коэффициента прохождения D , найти ширину ямы W , при которой для заданных E и U_0 коэффициент отражения R будет максимален.

$$D = \left[1 + \frac{U_0 \sin^2 k_0 W}{4E(E + U_0)} \right]^{-1}, \quad k_0 = \sqrt{2m(E + U_0)}.$$


16. Частица с энергией $E = 5$ эВ, двигаясь в положительном направлении оси x , встречает на своём пути бесконечно широкий прямоугольный потенциальный барьер высотой $U = 2$ эВ. Определите коэффициент отражения частицы от этого барьера.
17. Моноэнергетический поток электронов ($E = 1$ эВ) падает на прямоугольный потенциальный барьер бесконечной ширины. Определить высоту потенциального барьера U , если известно, что 4% падающих на барьер электронов отражается.
18. При каком отношении высоты потенциальной ступеньки U и энергии электрона E , падающего на неё, коэффициент отражения равен 0.5?
19. Электрон с длиной волны де Бройля λ , равной 1.2 нм, движется в положительном направлении оси x и встречает на своём пути бесконечно широкий прямоугольный потенциальный барьер высотой $U = 2$ эВ. Определите коэффициент отражения R на границе потенциального барьера.
20. Получите выражение для нормирующего коэффициента N волновой функции чётных и нечётных состояний в бесконечно глубокой потенциальной яме (БПЯ) шириной W , если $\Psi_n = N \sin(\pi n x / W)$, $\Psi_n = N \cos(\pi n x / W)$.
21. Частица находится в основном состоянии в одномерной БПЯ шириной W . Используя результаты предыдущей задачи найти вероятность пребывания частицы в области $W/3 < x < W/2$. Принять, что начало отсчёта координаты x находится в середине ямы.
22. Вычислить отношение вероятностей P_1/P_2 нахождения электрона на первом и втором энергетических уровнях в интервале $1/4$, равноудалённом от стенок одномерной БПЯ шириной W .
23. Частица в одномерной БПЯ шириной W находится в во втором возбуждённом состоянии. Определите, в каких точках «ямы» $0 \leq x \leq W$ плотность вероятности обнаружения частицы: 1)

максимальна; 2) минимальна. Поясните полученный результат графически.

24. Оцените отношение концентрации частиц в окрестности точки, соответствующей центру барьера, к концентрации частиц в падающей волне при прохождении частиц над потенциальным барьером, если высота барьера $U_0 = 1$ эВ, а полная энергия частицы в падающей волне равна $2.4 \cdot 10^{-19}$ Дж. Принять, что эта энергия соответствует первому резонансному состоянию.
25. Оцените энергетический зазор между соседними антирезонансными состояниями с $n = 1$ и 2 для потенциального барьера шириной 10 нм, если масса частицы $m = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г.
26. Оцените отношение концентрации частиц накопленных в окрестности точки, соответствующей центру барьера, в первом и во втором (втором и третьем) резонансных состояниях при прохождении частиц над симметричным потенциальным барьером, если высота барьера $U_0 = 1$ эВ, ширина $l = 10$ нм, а масса частиц $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$ кг.
27. Оцените количество разрешенных состояний в симметричной ПЯ шириной 10.2 нм и глубиной 1 эВ для частицы с $m = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г.
28. Оцените область локализации частицы с массой $m = 9.1 \cdot 10^{-28}$ г в основном и первом возбужденном состояниях, если ширина КЯ $W = 5$ нм, высота левой стенки $U_1 = 5$ эВ, а правой $U_2 = 0.25$ эВ. Принять, что энергия основного состояния $E_1 = 1.163 \cdot 10^{-2}$ эВ, а первого возбужденного – $E_2 = 4.63 \cdot 10^{-2}$ эВ.

Паспорт курсовой работы

по дисциплине «Специальные главы наноэлектроники», 1 семестр

1. Методика оценки.

В рамках курсовой работы (КР) по дисциплине студенты должны рассчитать и построить зависимости характеристик системы от энергии (координаты) в соответствии с исходными данными.

Обязательные структурные части КР.

- Введение
- Основная часть
- Выводы и заключение
- Список литературы

КР сдаётся в напечатанном виде, с оформленным по правилам титульным листом (см. Приложение), и оформленным по ГОСТ 7.32-2001 списком использованной литературы.

Оформление: книжная ориентация, формат страницы – А4, поля: верхнее, нижнее – 2 см., левое – 3 см., правое – 1,5 см. Межстрочный интервал – 1,5, автоматическая расстановка переносов, шрифт – 14, Times New Roman.

2. Критерии оценки.

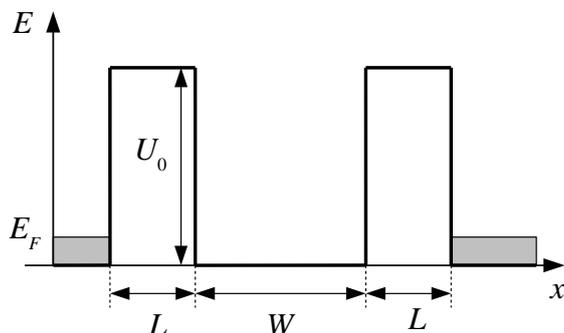
- Работа считается **не выполненной**, если уровень её выполнения работы не отвечает большинству основных требований, выбранная тема не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание проблемы, используются «несовременные» литературные источники, в расчётах допущены принципиальные ошибки. Оценка составляет <50 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом уровне**, если в расчётах и при построении допущены не принципиальные ошибки, отсутствуют, необоснованны или некорректно сформулированы выводы и заключение, оценка составляет 50–72 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом уровне**, если в расчётах и при построении допущены не принципиальные ошибки, оценка составляет 73–86 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом уровне**, если работа выполнена в полном объёме, расчёты и построение не содержат ошибок, сделаны обоснованные выводы и заключение, оценка составляет 87-100 баллов.

3. Шкала оценки.

В общей оценке по дисциплине баллы за КР учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины. Максимальное количество баллов, получаемых по данному виду работ – 100, минимальное – 50. Успешная защита КР является обязательным условием для допуска к зачёту.

4. Примерный перечень тем курсового проекта (работы).

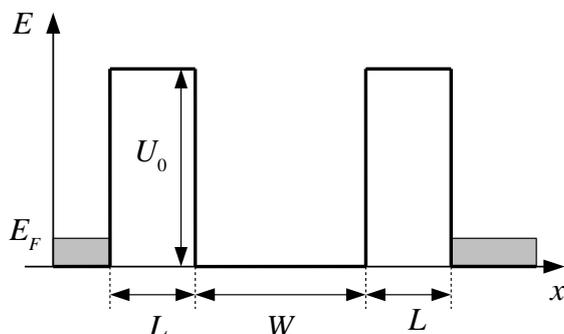
1. Рассчитать и построить вольтамперную характеристику туннельно-резонансного диода, образованного слоями GaAs и $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, в приближении прямоугольных барьеров. В расчётах полагать, что эффективная масса во всех слоях равна эффективной массе электрона в GaAs, ДБКС имеет симметричную структуру, расчёты провести при двух температурах $T = 77$ и 300 К.



Исходные данные для расчётов

	Вариант	E_F , эВ	U_0 , эВ	L , нм	W , нм
-	1.1	0,02	0,3	4	4
-	1.2	0,03	0,5	5	4,5
-	1.3	0,04	0,55	5,5	6

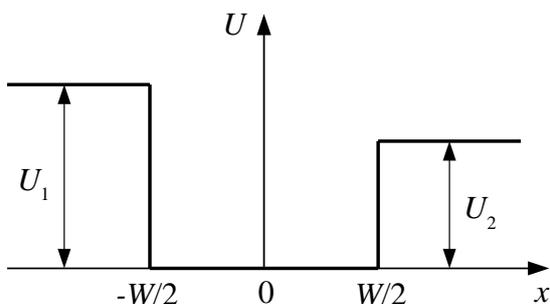
2. Рассчитать и построить вольтамперную характеристику туннельно-резонансного диода, образованного слоями GaAs и $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, используя аппроксимацию коэффициента прохождения лоренцевским контуром. В расчётах полагать, что эффективная масса во всех слоях равна эффективной массе электрона в GaAs, ДБКС имеет симметричную структуру, расчёты провести при двух температурах $T = 77$ и 300 К.



Исходные данные для расчётов

	Вариант	E_F , эВ	U_0 , эВ	L , нм	W , нм
-	2.1	0,025	0,4	4,5	4
-	2.2	0,035	0,6	5,5	5
-	2.3	0,045	0,5	4	5,5

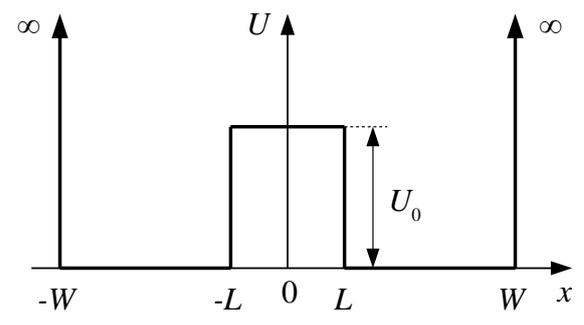
3. Получить выражение, определяющее разрешённые значения энергии и волнового вектора частицы в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины шириной W . Найти количество уровней в яме и их энергии. Для случая движения частиц над потенциальной ямой найти энергетические уровни первых двух резонансных и антирезонансных состояний.



Исходные данные для расчётов

	Вариант	U_1 , эВ	U_2 , эВ	W , нм
-	3.1	0,5	0,3	8
-	3.2	0,4	0,6	10

4. Получить выражение, определяющее разрешённые значения энергии и волнового вектора частицы в прямоугольной бесконечной потенциальной яме шириной $2W$, в центре которой находится потенциальный барьер шириной $2L$ и высотой U_0 . Найти количество уровней в яме и их энергии. Все расчёты провести для трёх значений ширины потенциального барьера L .



Исходные данные для расчётов

	Вариант	U_0 , эВ	W , нм	L , нм
-	4.1	0,5	8	1; 2; 4
-	4.2	0,4	10	1; 2; 4

5. Перечень вопросов к защите курсового проекта (работы).

1. Поясните вид вольтамперной характеристики туннельно-резонансного диода, каждый из участков.
2. Почему при приложении разности потенциалов к ДБКС у частицы имеется вероятность пройти через него?
3. Что представляет собой аппроксимация лоренцевским контуром?
4. Как изменится ВАХ ДБКС при уменьшении температуры?
5. В чём отличия ВАХ реальной ДБКС от идеальной?
6. Чем определяется количество уровней в потенциальной яме?
7. Частные случаи потенциальной квантовой ямы?
8. Влияние параметров квантовой ямы на энергетический спектр и количество уровней в квантовой яме конечной и бесконечной глубины.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Специальные главы наноэлектроники», 2 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из списка вопросов к экзамену (список вопросов приведен ниже), второй вопрос – задача. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Специальные главы наноэлектроники»

1. Вопрос. Особенности распределения плотности состояний в 2D –системах.

2. Задача. Частица в одномерной БПЯ шириной W находится в основном состоянии. Определите вероятность обнаружения частицы в левой трети «ямы». Поясните физический смысл полученного результата, изобразив графически плотность вероятности обнаружения частицы в данном состоянии.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись)

(дата)

3. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на теоретический вопрос не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, не может решить задачу и не отвечает на дополнительные вопросы, оценка составляет < 20 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на теоретический вопрос раскрывает методику оценки распределения плотности состояний, испытывает затруднения при применении данной методики к расчёту распределения плотности состояний в 2D –системах, не может провести сопоставление и выделить особенности распределения плотности состояний в 2D –системах по сравнению с системами других размерностей. При решении задачи

допускаются непринципиальные ошибки. Оценка составляет 20 – 29 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на теоретический вопрос раскрывает методику оценки распределения плотности состояний, успешно применяет данную методику к расчёту распределения плотности состояний в 2D –системах, успешно проводит сопоставление и выделяет особенности распределения плотности состояний в 2D –системах по сравнению с системами других размерностей. Задача решена корректно. Отвечает на большую часть дополнительных вопросов. Оценка составляет 30 – 38 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент правильно и полностью раскрывает теоретический вопрос, задача решена корректно. Даны исчерпывающие ответы на дополнительные вопросы. Оценка составляет 39 – 40 баллов.

4. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины и составляют не более 40% итоговой оценки. При получении оценки «неудовлетворительно» на экзамене, независимо от количества баллов, накопленных в семестре, студент считается не прошедшим итоговую аттестацию.

5. Вопросы к экзамену по дисциплине «Специальные главы наноэлектроники»

1. Предпосылки возникновения наноэлектроники.
2. Классификация гетеропереходов и сверхрешеток.
3. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке.
4. Потенциальный барьер конечной ширины. Прохождение частиц под барьером.
5. Потенциальный барьер конечной ширины. Прохождение частиц над барьером.
6. Частица в прямоугольной потенциальной яме.
7. Особенности прохождения частиц над потенциальной ямой.
8. Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осцилляторов.
9. Особенности энергетического спектра частиц в прямоугольной КЯ сложной формы.
10. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.
11. Прохождение частиц через многобарьерные структуры.
12. Прохождение частиц «над» двухбарьерной структурой.
13. Энергетический спектр сверхрешеток.
14. Распределение плотности состояний в 3D-системах.
15. Особенности распределения плотности состояний в 2D –системах.
16. Распределение плотности состояний в 1D - и 0D – системах.
17. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации и толщины пленки в 2D – системах.
18. Приборы на основе баллистического транспорта. Коммутатор пучка баллистических электронов. Квантовый интерференционный транзистор.
19. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр бесконечной прямоугольной потенциальной ямы.
20. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр параболической потенциальной ямы.

21. Квантование энергетического спектра носителей заряда в приповерхностном слое полупроводника.
22. Интерференционная передислокация электронной плотности в туннельно-связанных квантовых ямах. Инвертор на эффекте передислокации волновых функций. Особенности процесса передислокации.
23. Резонансное туннелирование электронов.
24. Особенности ВАХ «реальных» ДБКС.
25. ВАХ сверхрешеток.
26. Нанозлектронные диоды.
27. Локализованные состояния. Влияние дополнительного пространственного ограничения на энергетический спектр связанных состояний в одномерной δ -образной потенциальной яме.
28. Особенности энергетического спектра мелких примесных состояний в системах пониженной размерности.
29. Баллистический транспорт квантовых нитей. Формула Ландауэра.

Задачи для экзаменационных билетов формируются из следующих источников:

1. Драгунов В. П. Микро- и нанозлектроника : [учебное пособие] / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2012. - 35, [2] с. : ил., табл.
Номера задач: 1.5, 2.15, 2.19, 3.15, 3.17, 4.2, 4.3, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.8, 5.9, 5.10, 5.12.
2. Драгунов В. П. Микро- и нанозлектроника. Сборник задач и примеры их решения: учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.
Номера задач II: 1.3, 1.4, 1.5, 1.8, 1.9, 1.10, 1.12, 2.5, 2.6, 2.7, 2.12, 4.3, 4.5, 4.14.