

«

»

“ ”

“ ”

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ Физические основы электроники

: 11.03.03

:
: 2, : 3

		3
1	()	5
2		180
3	, .	117
4	, .	36
5	, .	36
6	, .	36
7	, .	0
8	, .	2
9	, .	7
10	, .	63
11	(, ,)	.
12		

(): 11.03.03

1333 12.11.2015 . , : 30.11.2015 .

: 1,

(): 11.03.03

, 5 20.06.2017

, 6 21.06.2017

:

,

:

,

:

. . .

1.

1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; в части следующих результатов обучения:
13.
Компетенция ФГОС: ПК.5 готовность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств; в части следующих результатов обучения:
7.
8.

2.

2.1

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

.2. 13	
1. рассчитывать основные параметры полупроводников	; ; ;
.5. 7	
2. пользоваться экспериментальными результатами из базы данных	; ;
.5. 8	
3. физические процессы в переходах	; ; ;
4. рассчитывать основные параметры р-п переходов	; ; ;

3.

3.1

: 3			
:			
1.	0	2	3
:			
2.	0	2	1
3.	0	2	1
E(x). (E(k))			
:			

4.		0	2	3
5.		0	2	3
6.		0	2	3
7.		0	2	3
:				
8.		0	2	3
9.	(-)	0	2	3
10.	p-n ()	0	2	1, 3
11.	P-n p-n	0	4	3, 4
16.		0	2	3
17.		0	2	3
:				
13.		0	2	3
14.	()	0	4	3
15.	p-n	0	2	1, 4

3.2

: 3				
:				
1.	(Si, Ge, GaAs, GaP, InP, GaN, SiC)	0	8	1
:				
2.	(Si, Ge, GaAs, GaP, InP, GaN, SiC)	0	12	2
:				

3.	p-n	0	8	3	
3.		0	8	2, 3, 4	,

3.3

		,	.		
: 3					
:					
1.		0	2	1	
2.		0	2	1	
3.		0	2	1	,
:					
4.	-	0	2	1	.
5.		0	2	1, 3	- ,
:					
6.	.	0	2	1, 2	- ,
7.	E(k) E(x)	0	2	2	
:					
8.	p-n	0	8	1	p-n
9.	(0	4	2, 4	
10.	p-n	0	4	3, 4	,

11.	p-n	0	6	3, 4	
-----	-----	---	---	------	--

4.

: 3					
1	p-n		1, 3	3	1
<p>1 : p-n , / - ; [.] . - , 2016. - 35, [2] .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232336</p>					
2	Ge, GaP, GaAs, InP, GaN, SiC) p-n	(Si,	1, 2, 3, 4	20	2
<p>p-n : : " - " 2 " / - ; [.] . - , 2015. - 27, [2] .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000216601</p> <p>p-n- : - , 2013. - 34, [1] .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000184551</p>					
3			2, 3	10	2
<p>1 : " : - / - ; [.] . - , 2016. - 35, [2] .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232336</p>					
4			1, 2, 3, 4	30	2
<p>2 : " " / - ; [.] . - , 2015. - 27, [2] .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000216601</p> <p>p-n- : - , 2013. - 34, [1] .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000184551</p> <p>- / - ; [.] . - , 2016. - 35, [2] .. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232336</p>					

5.

(. 5.1).

5.1

	-
	e-mail:dorogoj@corp.nstu.ru
	e-mail:dorogoj@corp.nstu.ru

6.

(),

- 15-

ECTS.

. 6.1.

6.1

: 3		
<i>Лекция:</i>	5	10
-		
<i>Лабораторная:</i>	10	20
-		
<i>Практические занятия:</i>	5	10
-		
<i>Контрольные работы:</i>	5	10
-		
<i>РГЗ:</i>	5	10
-		
<i>Экзамен:</i>	20	40

6.2

6.2

.2	13.			+
.5	7.			+
	8.	+	+	+

7.

1. Петров К. С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника : учебное пособие для вузов / К. С. Петров. - СПб. [и др.], 2006. - 521 с. : ил.
2. Гуртов В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; науч. ред. Л. А. Алешина. - Москва, 2012. - 558, [1] с. : ил., табл.
3. Гуртов В. А. Твердотельная электроника : учебное пособие [для вузов по направлению подготовки бакалавров, магистров 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика"] / В. Гуртов. - М., 2007. - 406, [1] с. : ил.

1. ЭБС IPRbooks [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - [Россия], 2010. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>. - Загл. с экрана.
2. ЭБС IPRbooks [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - [Россия], 2010. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>. - Загл. с экрана.

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. Физические основы электроники : учебно-методическое пособие / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2016. - 35, [2] с. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232336
2. Расчет параметров идеального полупроводникового диода на основе p-n-перехода : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 2 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2013. - 34, [1] с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000184551
3. Расчет основных параметров полупроводников : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 2 курса факультета радиотехники и электроники по направлениям "Конструирование и технология электронных средств", "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2015. - 27, [2] с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000216601

8.2

1 MathCAD

9. -

1	(-) , ,	

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

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы электроники

Образовательная программа: 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств,
профиль: Проектирование и технология радиоэлектронных средств

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине «Физические основы электроники» приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен)
ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	у13. уметь получать математическое описание свойств полупроводниковых материалов	Концентрация носителей заряда в зонах. Зонные диаграммы твердых тел ($E(k)$) и упрощенные зонные диаграммы $E(x)$. Кристаллографические параметры кубических решеток. Математическая модель идеального p-n перехода (уравнение Шокли). Параметры идеального p-n перехода. Расчет зонных параметров заданного полупроводника (Si, Ge, GaAs, GaP, InP, GaN, SiC). Физические параметры полупроводников.	РГЗ, разделы 1.1-1.7, 2.1-2.11, отчет по лабораторной работе № 2.	Экзамен, вопросы 1-7, 36
ПК.5/ПК готовность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств	з7. знать новейшие открытия в области физики и химии и перспективы их использования для производства материалов электронной техники	Зонные диаграммы $E(k)$ и $E(x)$ для полупроводников. Контакты металл-полупроводник (контакт Шотки). Расчет параметров идеального перехода в состоянии термодинамического равновесия. Расчет физических параметров заданного полупроводника (Si, Ge, GaAs, GaP, InP, GaN, SiC). Физические параметры полупроводников.	Отчет по лабораторной работе № 1.	Экзамен, вопросы 9-17.
ПК.5/ПК	з8. знать основные свойства полупроводниковых материалов	p-n переход в состоянии термодинамического равновесия. Основные параметры p-n перехода. ВАХ реального диода. Туннельный, светоизлучающий диоды. Солнечный элемент. Вольтамперная характеристика идеального p-n перехода. Контакт Шотки (металл - полупроводник). Выпрямляющий контакт металл - полупроводник. Омический контакт Шотки. ВАХ диода Шотки. Контактные явления. Термоэлектрические эффекты Зеебека, Пельтье. Математическая модель идеального p-n перехода (уравнение Шокли). Несимметричный p-n переход.	Контрольная работа. Отчет по лабораторной работе № 2.	Экзамен, вопросы 8, 19-25, 26-35, 37.

		Полевые транзисторы (ПТ). Эффект поля, образование обогащенного, обедненного и инверсного слоев. Полупроводниковый лазер, принцип работы. Инверсная населенность. Расчет вольтамперной характеристики идеального диода на основе р-п перехода Расчет параметров идеального перехода в состоянии термодинамического равновесия Статические параметры биполярного транзистора (БТ). Распределение неосновных носителей заряда в активном режиме. Входные и выходные ВАХ БТ в схеме с ОБ.		
--	--	---	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 3 семестре - в форме письменного экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.2, ПК.5/ПК.

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

В 3 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 ОПК.2, ПК.5/ПК, 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 «Физические основы электроники», 3 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной форме, по билетам. Билет содержит два вопроса и задача. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет радиотехники и электроники

Билет № 3

к экзамену по дисциплине «Физические основы электроники»

1. Диффузия, 1-й закон Фика. Коэффициент диффузии (D), температурная зависимость ($D(T)$). Соотношение Эйнштейна. Диффузионная плотность тока.
2. Полевой транзистор с индуцированным р-каналом. Структура, принцип действия, статические ВАХ.
3. **Задача.** Как соотносятся границы области пространственного заряда р-п перехода $|x_p|$ и $|x_n|$, если концентрация акцепторов в р-области в 4 раза больше концентрации доноров в п-области ($N_a = 4N_d$)?

Составил: *Дорогой С.В.* Дата: 20 июня 2017 г.

Утверждаю: зав. кафедрой КТРС, доцент _____ Синельников А.В.

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент не ответил на все вопросы, не решил задачу, не дал определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, оценка составляет **0-10 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, допускает принципиальные ошибки, не решил задачу, оценка составляет **11-20 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, решил задачу, оценка составляет **21-30 баллов**.
- Ответ на экзаменационный билет (тест) билет засчитывается на **продвинутом**

уровне, если студент при ответе на вопросы, проводит комплексный анализ, понимает суть явлений, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, решил задачу, оценка составляет **31-40 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 «Физические основы электроники»

1. Закон действующих масс. Генерация и рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках.
2. Функция распределения Ферми-Дирака ($f_D(E)$). Физический смысл энергии Ферми (E_F). Положение уровня Ферми на зонной энергетической диаграмме $E(x)$ в примесных полупроводниках.
3. Диффузия, 1-й закон Фика. Коэффициент диффузии (D) носителей заряда, температурная зависимость $D(T)$. Соотношение Эйнштейна.
4. Механизмы образования носителей заряда в примесных и собственных полупроводниках, температурная зависимость концентрации носителей заряда.
5. Механизмы движения носителей заряда, диффузия и дрейф. Диффузионная (J_{diff}) и дрейфовая (J_{dr}) плотности тока.
6. Рассеяние носителей заряда. Подвижность носителей заряда (μ), зависимость подвижности от физических параметров.
7. Удельная электропроводимость полупроводников (σ), температурная зависимость удельной электропроводимости для собственного ($\sigma_i(T)$), и примесного ($\sigma_n(T)$) полупроводников.
8. Термоэлектрические эффекты Зеебека, Пельтье.
9. Контакт металл–полупроводник (омический), зонная энергетическая диаграмма контакта $E(x)$ в состоянии термодинамического равновесия. Распределение объёмной плотности заряда.
10. Контакт металл–полупроводник (неомический), зонная энергетическая диаграмма контакта $E(x)$ в состоянии термодинамического равновесия. Распределение объёмной плотности заряда.
11. P - n переход в состоянии термодинамического равновесия, зонная энергетическая диаграмма $E(x)$, основные параметры.
12. Распределение концентрации основных ($n_n(x)$, $p_p(x)$) и неосновных ($n_p(x)$, $p_n(x)$) носителей заряда, объёмной плотности заряда ($\rho_q(x)$), напряженности электрического поля ($\varphi(x)$), электростатического потенциала ($\psi(x)$) в идеальном несимметричном p - n переходе в состоянии термодинамического равновесия. (концентрации примесей N_a , N_d заданы).
13. P - n переход при прямом смещении, зонная энергетическая диаграмма $E(x)$, основные параметры.
14. P - n переход при обратном смещении, зонная энергетическая диаграмма $E(x)$, основные параметры.
15. Контактная разность потенциалов (U_0) в p - n переходе. Механизм образования.
16. Область пространственного заряда (ОПЗ) в идеальном p - n переходе. Структура, границы (x_p , x_n), причина образования ОПЗ.
17. Интегральная барьерная ёмкость p - n перехода (C_δ), зависимость от внешних параметров. Причина образования ёмкости.
18. Уравнение Пуассона. Максимальная напряженность электрического поля в p - n переходе (φ_{max}), в состоянии термодинамического равновесия.

19. Вольтамперная характеристика (ВАХ) идеального р-п перехода (уравнение Шокли). Допущения при выводе уравнения Шокли. Влияние физических параметров на ВАХ.
20. Причины отличия ВАХ идеального и реального р-п переходов. Пробой *p-n* перехода.
21. Ток насыщения (I_0) идеального р-п перехода, физический смысл. Зависимость от параметров.
22. ВАХ туннельного диода, связь с зонной диаграммой $E(x)$. Эффект туннелирования.
23. Светоизлучающие диоды. Структура, принцип работы. Белый светодиод.
24. Солнечный элемент. Структура, принцип работы.
25. Структура и принцип работы полупроводникового лазера. Инверсная населенность.
26. Структура, условия и принцип работы биполярного транзистора. Схемы включения.
27. Усиление сигнала биполярным транзистором в схеме с общей базой.
28. Усиление сигнала биполярным транзистором в схеме с общим эмиттером. Коэффициент усиления.
29. Статические ВАХ биполярного транзистора в схеме с общей базой.
30. Физические процессы в базе биполярного транзистора. Распределение концентрации неосновных носителей заряда в активном режиме (схема с общей базой).
31. Полевой транзистор с управляющим *p-n* переходом. Структура, схема включения, принцип действия, качественный анализ работы.
32. Процесс перекрытия канала в полевом транзисторе с управляющим р-п переходом.
33. Статические ВАХ полевого транзистора с управляющим р-п переходом.
34. МОП конденсатор, структура, режимы работы: обеднение, обогащение, инверсия.
35. Полевой транзистор с индуцированным каналом. Структура, принцип действия, статические ВАХ.
36. Эффект Холла, определение параметров полупроводников.
37. Основные характеристики биполярного транзистора в схеме с общей базой.

5. Задачи к экзамену по дисциплине «Физические основы электроники»

1. Определить концентрацию неосновных носителей заряда в германии n-типа при $T=300$ К, если концентрация примеси $N_d=10^{15}$ см⁻³.
2. В каком переходе будет больше напряжение лавинного пробоя, если первый имеет в смежных областях концентрации 10^{16} см⁻³, а второй переход $5 \cdot 10^{16}$ см⁻³?
3. Как соотносятся границы области пространственного заряда $|x_p|$ и $|x_n|$, если концентрация акцепторов в 4 раза больше концентрации доноров ($N_a=4N_d$).
4. Указать откуда и куда двигаются носители заряда, определяющие обратный ток идеального полупроводникового диода, если р-область имеет концентрацию 10^{15} см⁻³, а n- область - 10^{17} см⁻³, $T=300$ К.
5. Как изменится ВАХ обратно смещенного идеального диода, если увеличить концентрацию примеси в смежных областях?
6. Как изменится ВАХ прямо смещенного идеального диода, если увеличить концентрацию примеси в смежных областях?
7. В каком полупроводнике (Si или Ge) собственная концентрация носителей заряда выше, если ширина запрещенной зоны Ge равна $E_g=0,66$ эВ, а Si - $E_g=1,12$ эВ?
8. Какую часть электрического тока переносят дырки в собственном GaSb, если подвижность электронов равна 3000 см² · В⁻¹ · с⁻¹, а дырок – 1000 см² · В⁻¹ · с⁻¹?
9. При каких условиях удельное сопротивление полупроводника будет возрастать при нагревании?

10. Доказать соотношение для коэффициента инжекции несимметричного p-n

перехода, в случае, когда $N_a \gg N_d$.
$$\gamma_p = \frac{J_p}{J_p + J_n} = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_p L_n}{\sigma_n L_p}}$$

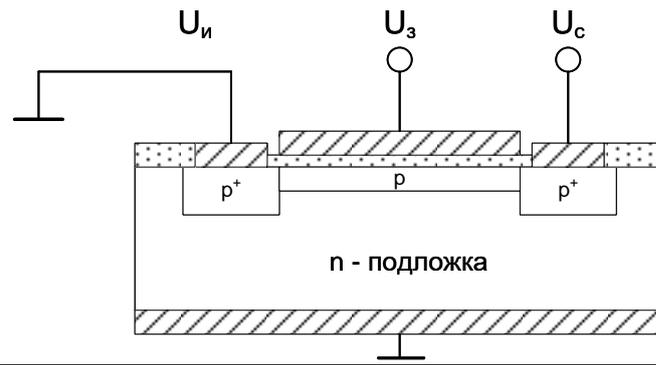
11. Как изменится удельное электрическое сопротивление полупроводника с концентрацией доноров N_d , если в него добавить равное количество акцепторной примеси N_a ? $T=300$ К.
12. Какой полупроводник имеет большее удельное электрическое сопротивление при комнатной температуре и равных концентрациях примеси?
13. примесный n-типа;
14. примесный p-типа.
15. Как изменится потенциальный барьер в идеальном p-n переходе при увеличении концентрации примеси в смежных областях?
16. Оценить максимальную удельную электропроводность, которую может иметь германий при комнатной температуре. Какие факторы ограничивают ее значение?
17. Как изменится сопротивление полупроводника с концентрацией доноров $N_d=8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, если в него дополнительно добавить акцепторную примесь в количестве $N_a=2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$?
18. Нарисовать обратную ветвь ВАХ реального p-n перехода в случае лавинного пробоя при двух различных температурах.
19. Изобразить температурные зависимости удельной электропроводности для собственных полупроводников Ge и Si в аррениусовских координатах $\ln(\sigma)=f(1/T)$.
20. Нарисовать схему включения с общей базой биполярного (n-p-n) транзистора в активном режиме. Указать полярность напряжений.
21. Сформулировать основные допущения при выводе уравнения Шокли (ВАХ идеального p-n перехода).
22. Нарисовать зонную диаграмму $E(x)$ идеального несимметричного p-n перехода при обратном смещении ($N_d=10 \cdot N_a$). Указать, какими носителями определяется ток?
23. Нарисовать схему включения с общим эмиттером биполярного (n-p-n) транзистора в активном режиме. Указать полярность напряжений.

24	<p>Определить тип транзистора, указать полярности напряжений, подаваемых на электроды в активном режиме</p>	
----	---	--

25	<p>Определить тип транзистора, указать полярности напряжений, подаваемых на электроды в активном режиме</p>	
26	<p>Определить тип транзистора, указать полярности напряжений, подаваемых на электроды в активном режиме</p>	
27	<p>Определить тип транзистора, указать полярности напряжений, подаваемых на электроды в активном режиме</p>	
28	<p>Определить тип транзистора, указать полярности напряжений, подаваемых на электроды в активном режиме</p>	

29

Определить тип транзистора, указать полярности напряжений, подаваемых на электроды в активном режиме



Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Физические основы электроники», 3 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по теме «Контакт металл-полупроводник (контакт Шотки)» и включает 3 задания. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

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

Контрольная работа считается **невыполненной**, если не выполнено в полном объеме ни одного задания. Оценка составляет **0-2** балла.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если выполнено только одно задание. Оценка составляет **3-4** балла.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если выполнены оба задания с незначительными погрешностями. Оценка составляет **5-7** баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если выполнены оба задания и даны комментарии. Оценка составляет **8-10** 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 задания контрольной работы, варианты

1. Нарисовать зонную диаграмму $E(x)$ контакта металл (Ni)- полупроводник (Ge) в состоянии термодинамического равновесия. Указать все известные энергетические параметры, расположение подвижных и неподвижных зарядов.

2. Объяснить причину образования контакта и определить его тип (выпрямляющий или невыпрямляющий).

3. Нарисовать распределение объёмной плотности заряда $\rho(x)$ в контакте и указать, типы зарядов, расположенных по разные стороны от металлургической границы.

Допущения:

- Полупроводник невырожденный, уровень Ферми находится в запрещенной зоне вблизи границы соответствующей разрешенной зоны.
- Примеси полностью ионизированы.

Таблица 1. Базовые физические параметры полупроводников (T=300K)

Полупроводник	Si	Ge	GaAs	GaP	GaSb	InSb	InAs	InP
Ширина запрещенной зоны E_g , эВ	1.12	0.661	1.424	2.26	0.726	0.17	0.354	1.344
Сродство к электрону χ , эВ	4.05	4.0	4.07	3.8	4.06	4.59	4.9	4.38

Таблица 2. Работа выхода электронов из металла (T=300 K)

Металл	Al	Ag	Cu	Ni	Cr	W	Au	Pt
Работа выхода, Φ , эВ	4.25	4.3	4.4	4.5	4.58	4.6	4.8	5.3

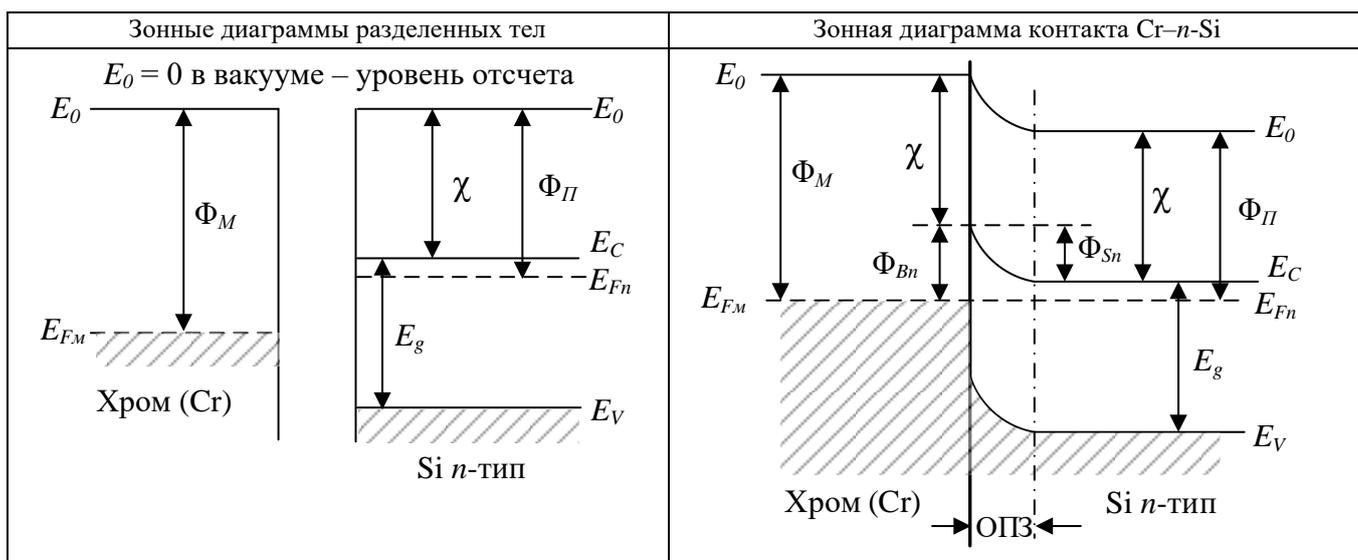
Таблица 3. Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Контакт Шотки	Al – (p-Si)	Al – (n-InAs)	Cu – (n-GaAs)	Pt – (p-Si)	Cr – (n-GaSb)	W – (p-InSb)	Ni – (n-InAs)	Pt – (p-InP)

Вариант	9	10	11	12	13	14	15	16
Контакт Шотки	Pt – (n-InSb)	Cr – (p-GaSb)	W – (n-GaAs)	Au – (p-Ge)	Cr – (n-GaAs)	Cu – (p-InSb)	Ag – (n-InAs)	Ni – (p-GaP)

Вариант	17	18	19	20	21	22	23	24
Контакт Шотки	Cu – (n-Si)	Ni – (p-Ge)	Al – (n-InP)	W – (p-GaP)	Au – (n-GaSb)	Pt – (p-InSb)	Ag – (n-Ge)	Ag – (p-InP)

5. Пример выполнения задания 1 контрольной работы (выпрямляющий контакт)



Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Физические основы электроники», 3 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны рассчитать основные параметры конкретного полупроводника, например кремния (Si) и на его основе параметры идеального полупроводникового диода.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны на основе экспериментальных данных получить аппроксимационные зависимости основных параметров от внешних условий, таких как температура, концентрация примесей в полупроводнике, напряжения и др. Работа выполняется в программе Mathcad.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ экспериментальных данных, рассчитанные величины не согласуются с литературными данными по величине или размерности. Работа оформлена без учета требований к оформлению конструкторской документации, шаблоны титульных листов, рамок есть на сервере кафедры КТРС. Отсутствует зонная энергетическая диаграмма р-п перехода, оценка составляет **0-5** баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: аппроксимационные выражения не согласуются с исходными экспериментальными данными, отсутствуют зонная энергетическая диаграмма р-п перехода и сводная таблица рассчитанных и литературных данных, оценка составляет **6-9** баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ экспериментальных данных выполнен в полном объеме, основные параметры определены, графики построены, но не подписаны трассы, зонная энергетическая диаграмма р-п перехода не соответствует заданным концентрациям примеси, оценка составляет **10-15** баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ экспериментальных данных выполнен в полном объеме, рассчитанные величины согласуются с литературными данными по величине или размерности. Работа оформлена с учетом требований к оформлению конструкторской документации, зонная энергетическая диаграмма р-п перехода соответствует заданию, оценка составляет **16-20** 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. Пример темы РГЗ(Р)

Тема: «Расчет параметров полупроводника и полупроводникового идеального диода на основе р-п перехода».

Целью работы является расчет основных физических свойств конкретного полупроводника и параметров идеального полупроводникового р-п перехода на его основе в диапазоне температур 200-1000 К. Работа выполняется с использованием программы MathCAD. Работа состоит из двух основных частей - расчет основных параметров полупроводника и расчет параметров р-п перехода, сформированного из этого полупроводника.

Параметры для расчета

1. Физические параметры конкретного полупроводника

- 1.1. Эффективная масса плотности состояний электронов в зоне проводимости m_{dn} , эффективная масса плотности состояний дырок в валентной зоне m_{dp} (обе величины используются исключительно для расчета $N_C(T)$ и $N_V(T)$). Результат дать в виде: $m_{dn} = \text{const1} \cdot m_e$, $m_{dp} = \text{const2} \cdot m_e$, где m_e - масса электрона, а const1 и const2 – некоторые числа. Допускается расчет из значения $N_C(300 \text{ K})$ и $N_V(300 \text{ K})$;
- 1.2. $N_C(T)$ - температурная зависимость эффективной плотности состояний в зоне проводимости, см^{-3} ;
- 1.3. $N_V(T)$ - температурная зависимость эффективной плотности состояний в валентной зоне, см^{-3} ;
- 1.4. $n_i(T)$ - температурная зависимость собственной концентрации носителей заряда, см^{-3} ;
- 1.5. $E_g(T)$ - температурная зависимость ширины запрещенной зоны, эВ:
 - 1.6. $\mu_n(T, N_d = \text{const})$, $\mu_p(T, N_a = \text{const})$ – температурные зависимости подвижности электронов и дырок (экспериментальные и аппроксимационные), $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{сек})$, N_d и N_a - концентрации доноров и акцепторов задаются преподавателем.
- 1.7. $\mu_n(N_d, 300 \text{ K})$ и $\mu_p(N_a, 300 \text{ K})$ - концентрационные зависимости подвижности электронов и дырок, $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{сек})$.

2. Физические параметры идеального диода

- 2.1. Контактная разность потенциалов $U_0(T)$, В.
 - 2.2. Ширина области пространственного заряда (W) и ее границы x_n , x_p , мкм.
 - 2.3. Интегральная барьерная емкость p - n перехода $C_{\sigma}(T, U = \text{const})$ и $C_{\sigma}(U, T = \text{const})$, Ф.
 - 2.4. Вольтамперная характеристика перехода и ее температурная зависимость $I(U, T)$, А.
 - 2.5. Ток насыщения, температурная зависимость $I_0(T)$, А.
 - 2.6. Максимальная напряженность электрического поля в переходе ϕ_{max} , В/см.
 - 2.7. Коэффициент инжекции p - n перехода γ (γ_p для p^+n перехода и γ_n для n^+p перехода).
 - 2.8. Определить доминирующую составляющую тока насыщения для (электронная или дырочная).
 - 2.9. Определить напряжение, при котором наблюдается высокий уровень инжекции неосновных носителей заряда. ($T=300 \text{ K}$).
 - 2.10. Построить распределение напряженности электрического поля в ОПЗ ($\phi(x)$).
 - 2.11. Построить распределение электрического потенциала в ОПЗ ($\psi(x)$).
3. Построить зонную энергетическую диаграмму ($E(x)$) для идеального p - n перехода при термодинамическом равновесии, при прямом и обратном смещении ($T=300 \text{ K}$) с указанием значений всех рассчитанных параметров (U_0 , $|x_n|$, $|x_p|$, W , ϕ_{max}). Отметить положения всех энергетических уровней и типов зарядов. Вариант зонной диаграммы определяется преподавателем.

Пример оформления графиков

