

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

А. Г. Коротаев

Оценочные материалы по дисциплине

Полупроводниковая электроника

по направлению подготовки / специальности

**03.03.03 Радиофизика**

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:  
**Киберфизические системы, прикладная электроника и квантовые технологии**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Радиофизик-кибернетик, преподаватель. Разработчик киберфизических и квантовых систем**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

О.А. Доценко

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

БК-3 Способен использовать принципы и средства профессиональной коммуникации для эффективного взаимодействия

ОПК-2 Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные

ПК-1 Способен проанализировать поставленную задачу в области радиофизики и электроники, осуществлять поиск, обобщение и использование научно-технической информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональной задачи

ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения задач в области радиофизики и электроники

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РОБК 3.2 Умеет выстраивать профессиональную коммуникацию; представлять результаты своей работы с учетом норм и правил принятых в профессиональном сообществе

РООПК 2.1 Знает соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных и теоретических исследований

РООПК 2.2 Умеет обрабатывать для получения обоснованных выводов и представлять полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований

РОПК 1.3 Владеет приемами сравнительного анализа вариантов решения задачи, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов

РОПК 3.2 Умеет проводить радиофизические измерения с использованием современных средств измерения и контроля

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

- устные и письменные опросы;
- лабораторные работы;
- практические работы.

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения устных и письменных опросов по теоретическому материалу, в ходе которых проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: РОБК 3.2 (Умеет выстраивать профессиональную коммуникацию; представлять результаты своей работы с учетом норм и правил принятых в профессиональном сообществе), РООПК 2.1 (Знает соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных и теоретических исследований)

Текущая аттестация по лабораторным и практическим работам направлена на проверку достижения обучающимися следующих результатов обучения: РООПК 2.2 (Умеет обрабатывать для получения обоснованных выводов и представлять полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований), РОПК 1.3 (Владеет приемами сравнительного анализа вариантов решения задачи, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов), РОПК 3.2 (Умеет проводить радиофизические измерения с использованием современных средств измерения и контроля).

Результаты опросов, лабораторных и практических работ оцениваются оценками «зачтено» или «не зачтено».

## Контрольные вопросы по теоретическому материалу (РОБК 3.2, РООПК 2.1)

1. Поясните механизм формирования и структуру (т.е. расположение и типы зарядов) запирающего слоя Шоттки.
2. Нарисуйте энергетическую диаграмму запирающего слоя Шоттки в отсутствие и при наличии внешней разности потенциалов. Укажите на рисунке высоту барьера Шоттки.
3. Какой вид имеют зависимости ширины запирающего слоя и его ёмкости от напряжения?
4. Запишите выражение для вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода Шоттки и изобразите зависимость плотности тока от напряжения.
5. Нарисуйте эквивалентную схему диода Шоттки на переменном сигнале при наличии прямого и обратного постоянных смещений.
6. Нарисуйте энергетические диаграммы для  $p-n$ -перехода, у которого  $p$ - и  $n$ - области являются невырожденными полупроводниками, и для перехода, у которого эти области вырождены.
7. Изобразите структуру  $p-n$ -перехода (т.е. типы и распределение зарядов в нём). Дайте определения резкого и плавного  $p-n$ -переходов.
8. Какой вид имеют зависимости ширины и ёмкости области пространственного заряда (ОПЗ) от напряжения для ступенчатого и плавного  $p-n$ -переходов?
9. Запишите граничное условие, связывающее концентрацию избыточных дырок на границе ОПЗ и базы с напряжением на  $p-n$ -переходе.
10. Поясните физический смысл инжекционной (диффузионной) и рекомбинационной составляющих прямого тока через  $p-n$ -переход. Как они зависят от напряжения?
11. Поясните физический смысл диффузионной и генерационной составляющих обратного тока через  $p-n$ -переход. Как они зависят от напряжения?
12. Нарисуйте эквивалентную схему диода с  $p-n$ -переходом на переменном сигнале. Какой вид она будет иметь при большом обратном напряжении?
13. Поясните физический смысл барьерной и диффузионной ёмкостей диода с  $p-n$ -переходом.
14. Какими физическими процессами обусловлен переходный процесс при переключении диода из пропускного в запирающее состояние?
15. Изобразите энергетическую диаграмму резкого анизотипного  $p-N$ -гетероперехода. Назовите основные области практического применения гетеропереходов.
16. При выполнении каких условий полупроводниковый диод может выполнять роль выпрямителя?
17. В чем преимущества использования структур с барьером Шоттки для создания импульсных диодов и детекторов СВЧ-диапазона?
18. Нарисуйте ВАХ туннельного диода и поясните природу тока в пропускном и запирающем направлениях.
19. Нарисуйте ВАХ диода Ганна и поясните, какой физический процесс обуславливает появление участка с отрицательной дифференциальной проводимостью.
20. Перечислите возможные режимы работы диода Ганна. Чисто качественно поясните, чем эти режимы различаются.
21. Поясните принцип усиления напряжения биполярным транзистором в схеме с общей базой.
22. Запишите выражение для коэффициента передачи тока биполярного транзистора, включенного в схему с общей базой. Поясните его зависимость от отношения ширины базы к диффузионной длине неосновных носителей заряда.
23. Нарисуйте систему выходных характеристик биполярного транзистора, включенного в схему с общей базой.
24. Запишите выражение для коэффициента передачи тока биполярного транзистора, включенного в схему с общим эмиттером, и нарисуйте систему выходных характеристик.

25. Дайте определение предельной частоты усиления по току биполярного транзистора. Как она зависит от коэффициента диффузии неосновных носителей заряда и ширины базы?

26. Изобразите структуру полевого транзистора с  $p-n$ -переходом в качестве затвора и поясните механизм усиления переменного сигнала.

27. Нарисуйте систему выходных характеристик и характеристику передачи нормально открытого полевого транзистора с  $p-n$ -переходом.

28. Запишите выражение, которое связывает переменный ток в цепи стока полевого транзистора с переменным напряжением на затворе.

29. Изобразите структуру МДП-транзистора и поясните механизм усиления переменного сигнала.

30. Дайте определение граничной частоты полевого транзистора.

### Темы лабораторных занятий

1. Изучение вольт-амперной характеристики полупроводникового диода.
2. Исследование барьерной емкости полупроводникового диода.
3. Изучение переходной характеристики переключения полупроводникового диода.
4. Изучение вольт-амперной характеристики туннельного диода
5. Исследование характеристик диодов Ганна.
6. Исследование характеристик полевого транзистора с  $p-n$ -переходом в качестве затвора.
7. Изучение статических характеристик биполярного транзистора.
8. Изучение частотной зависимости коэффициента передачи тока биполярного транзистора.
9. Изучение характеристик фотодиода.

### Темы практических работ

1. Контактная разность потенциалов в  $p-n$ -переходах.
2. Ширина и емкость  $p-n$ -переходов.
3. Теории выпрямления полупроводниковых диодов.
4. Гетеропереходы.
5. Биполярные транзисторы.
6. Полевые транзисторы.

### Примеры задач для практических работ

1. В кремниевом резком  $p-n$ -переходе  $p$ -область легирована акцепторной примесью до концентрации  $N_a = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $n$ -область – донорной примесью до концентрации  $N_d = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ . Определить контактную разность потенциалов при  $T = 300 \text{ К}$ .

2. В кремниевом диоде с резким  $p-n$ -переходом концентрация акцепторной примеси в  $p$ -области  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , концентрация донорной примеси в  $n$ -области –  $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , площадь поперечного сечения  $p-n$ -перехода равна  $1 \text{ мм}^2$ . Определить при температуре  $300 \text{ К}$  и поданном на диод обратном напряжении  $50 \text{ В}$  следующие величины:

- а) высоту потенциального барьера  $p-n$ -перехода;
- б) ширину области пространственного заряда;
- в) барьерную ёмкость  $p-n$ -перехода;
- г) максимальную напряжённость электрического поля в ОПЗ.

3. В германиевом идеальном диоде обратный ток насыщения равен  $2 \cdot 10^{-7} \text{ А}$ . Определить при  $T = 300 \text{ К}$  дифференциальные сопротивления диода при подаче прямого и обратного напряжений, равных  $0,25 \text{ В}$ .

4. В германиевом  $p-n-p$ -транзисторе с резкими  $p-n$ -переходами технологическая толщина базы  $W_6 = 30 \text{ мкм}$ . Область базы легирована донорной примесью с

концентрацией  $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Транзистор включен в электрическую схему с общей базой. Определить толщину квазинейтральной области базы, если на коллекторный переход подано постоянное напряжение  $U_{кб} = -20 \text{ В}$ . Шириной области пространственного заряда эмиттерного перехода пренебречь.

### 3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Промежуточная аттестация в седьмом семестре проводится в форме устного экзамена по теоретическому материалу. К экзамену допускаются только студенты, успешно прошедшие текущие аттестации по лабораторным работам и практическим занятиям. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Билет для экзамена содержит вопросы, позволяющие проверить достижение обучающимися следующих результатов обучения: РОБК 3.2 (Умеет выстраивать профессиональную коммуникацию; представлять результаты своей работы с учетом норм и правил принятых в профессиональном сообществе), РОПК 1.3 (Владеет приемами сравнительного анализа вариантов решения задачи, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов).

В качестве дополнительных вопросов во время зачёта используются контрольные вопросы по теоретическому материалу (см. выше).

Результаты промежуточной аттестации по дисциплине характеризуются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно» в соответствии с таблицей 1.

#### Примеры билетов для теоретического зачёта (РОБК 1.2, РОПК 1.3, РОПК 3.1)

1. Используя формулу  $\Phi(x) = e^2 n_0 (d-x)^2 / (2\epsilon_r \epsilon)$ , получите выражения для: напряжённости поля в запирающем слое Шоттки; ширины ОПЗ; ёмкости запирающего слоя  $C_6 = \left| \frac{dQ_d}{dU} \right|$ . Проанализируйте зависимость  $C_6$  от напряжения.

2. Получите выражение для вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода с барьером Шоттки (ДБШ) и проанализируйте зависимость плотности тока от напряжения. Назовите области практического применения ДБШ. (Плотность термоэмиссионного потока электронов из металла в полупроводник:  $j_{\text{мп}} = \frac{4\pi m_n^* k^2 T^2}{h^3} \exp\left(-\frac{\Phi_6}{kT}\right)$ ).

3. Используя выражения для ВАХ барьера Шоттки  $J = J_s [\exp(eU(t)/kT) - 1]$  и поданного напряжения  $U(t) = U + u_1 \exp(i\omega t)$ , получите формулы для переменной составляющей плотности тока  $\tilde{J}$  и активной проводимости  $G_6 = \frac{\tilde{I}}{u_1 \exp(i\omega t)}$  диода с барьером Шоттки. Обоснуйте структуру эквивалентной схемы ДБШ.

4. Постройте энергетическую диаграмму  $p-n$ -перехода, у которого  $p$ - и  $n$ -области являются невырожденными полупроводниками, получите выражение для контактной разности потенциалов  $U_k$ .

5. Поясните механизм формирования и структуру  $p-n$ -перехода. Дайте определения резкого и плавного  $p-n$ -переходов. Изобразите профили потенциальной энергии электрона, а также напряжённости электрического поля в резком  $p-n$ -переходе.

6. Используя формулы:  $Q_d = S_{p-n} \cdot e \cdot N_d \cdot d_n(U)$ ,  $d_n(U) = \frac{N_a d(U)}{N_a + N_d}$ ,

$d(U) = \sqrt{\frac{2 \varepsilon_r \varepsilon_0 (N_a + N_d) (U_{\kappa} \pm U)}{e N_a N_d}}$ , получите выражение для ёмкости резкого  $p-n$ -перехода и

проведите анализ зависимости  $C_{p-n}$  от  $U$ .

7. Поясните суть диодной теории выпрямления диода с полуограниченной базой. Используя выражение для профиля концентрации дырок в  $n$ -базе:  $\Delta p(x) = p_n (e^{eU/kT} - 1) e^{-(x-d_n)/L_p}$  и аналогичное выражение для профиля концентрации электронов в  $p$ -области диода, получите выражение для полной плотности тока  $J$  и дайте анализ её зависимости от напряжения.

8. Используя выражение для активной компоненты плотности переменного тока через диод с базой  $n$ -типа:  $\tilde{J} = \frac{e \mu_p p_n}{\sqrt{2} L_p} \exp[eU/(kT)] \cdot \sqrt{(1 + \omega^2 \tau_p^2)^{1/2} + 1} \cdot u_1 e^{i\omega t}$ , проведите анализ частотной зависимости активной проводимости  $G_{p-n}$  диода.

9. Используя выражение для реактивной компоненты плотности переменного тока через диод с базой  $n$ -типа:  $\tilde{J} = \frac{e \mu_p p_n}{\sqrt{2} L_p} \exp[eU/(kT)] \cdot \frac{i \omega \tau_p}{\sqrt{(1 + \omega^2 \tau_p^2)^{1/2} + 1}} \cdot u_1 e^{i\omega t}$ , проведите

анализ частотной зависимости диффузионной ёмкости. Поясните физический смысл диффузионной ёмкости диода.

10. Гетеропереходы. Энергетическая диаграмма и параметры идеального  $p-n$ -гетероперехода. Основные свойства гетероструктур (односторонняя инжекция, суперинжекция, локализация носителей заряда, эффект «оптического окна») и их использование в приборах.

11. Провести анализ ВАХ туннельного диода при прямом и обратном напряжениях, используя энергетическую диаграмму. Из выражения для туннельного тока  $I_T = K_{T0} U [(F_n - E_c) + (E_v - F_p) - eU]^2$  получить формулы для  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$ . Практическое применение туннельных диодов.

12. Диод Ганна. Используя энергетическую диаграмму  $n$ -GaAs, проанализировать вид ВАХ диода Ганна. Пояснить механизм формирования доменов сильного электрического поля в диоде Ганна и возможные режимы его работы (пролётный, с подавлением домена, ограниченного накопления объёмного заряда). Практическое применение диодов Ганна.

13. Описать принцип действия биполярного  $p-n-p$ -транзистора в качестве усилителя мощности. Дать определение коэффициента передачи тока в схеме с общей базой и установить его связь с эффективностью эмиттера, коэффициентом переноса дырок, коэффициентом умножения коллектора.

14. Коэффициент передачи тока и статические характеристики (входные и выходные)  $p-n-p$ -транзистора в схеме с общей базой.

15. Коэффициент передачи тока и статические характеристики (входные и выходные)  $p-n-p$ -транзистора в схеме с общим эмиттером.

16. Структура и преимущества биполярного гетеротранзистора.

17. Принцип действия и статические характеристики (выходные, входные и характеристика передачи) полевого транзистора с  $p-n$ -переходом в качестве затвора. Используя выражение для ВАХ транзистора, получить формулы для дифференциальной проводимости канала, тока насыщения стока и крутизны характеристики передачи.

18. Принцип действия и статические выходные характеристики нормально закрытого МДП-транзистора. Преимущества и недостатки полевых транзисторов.

19. Полупроводниковые биполярные ИМС. Топология интегрального биполярного транзистора.

20. Фотодиод с  $p-n$ -переходом (принцип действия, составляющие фототока, спектральная характеристика фотодиода).

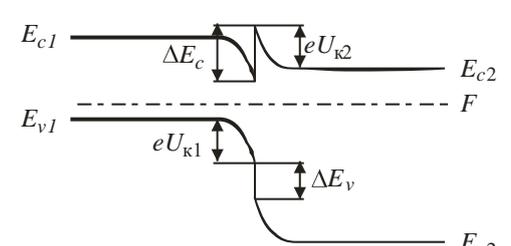
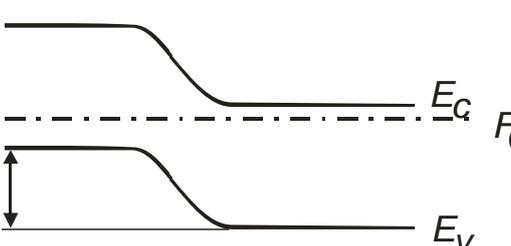
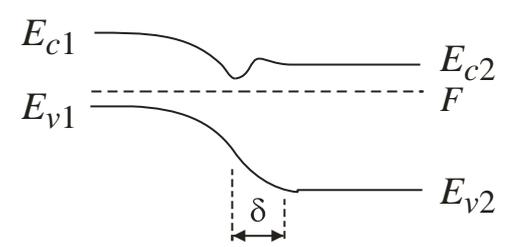
21. Светодиод (принцип действия, спектр излучения светодиода, внешний квантовый выход и мощность излучения).

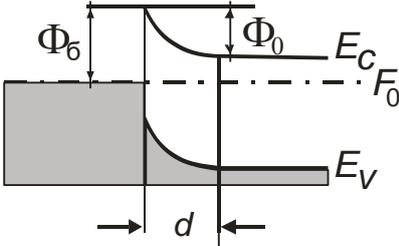
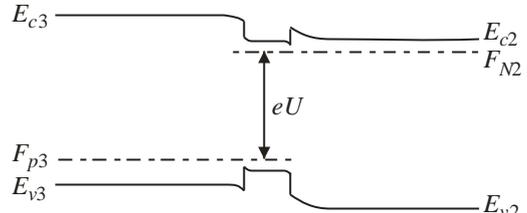
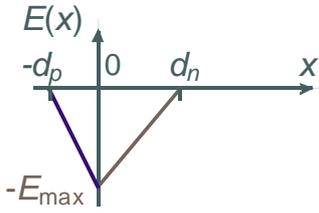
Таблица 2. Критерии оценивания результатов обучения при промежуточной аттестации

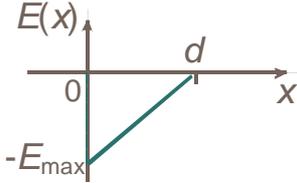
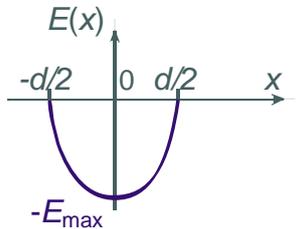
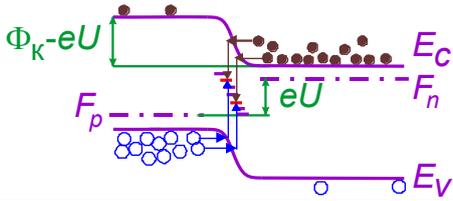
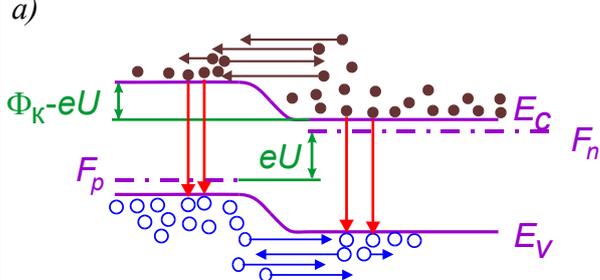
Результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
<b>РОБК 3.2</b> Умеет выстраивать профессиональную коммуникацию; представлять результаты своей работы с учетом норм и правил принятых в профессиональном сообществе	Не имеет представления о сути профессиональной деятельности	Имеет общее представление о профессиональной деятельности и правилах, принятых в профессиональном сообществе	Допускает отдельные неточности в описании результаты своей работы с учетом норм и правил принятых в профессиональном сообществе	Демонстрирует умение выстраивать профессиональную коммуникацию; представлять результаты своей работы с учетом норм и правил принятых в профессиональном сообществе
<b>РОПК 1.3</b> Владеет приемами сравнительного анализа вариантов решения задачи, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов.	Демонстрирует полное непонимание сути поставленных задач.	Испытывает затруднения при решении задачи, определении рисков, связанных с реализацией различных вариантов.	Допускает незначительные ошибки при анализе вариантов решения задач, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов.	Уверенно владеет различными приемами сравнительного анализа вариантов решения задачи, определения рисков, связанных с реализацией различных вариантов

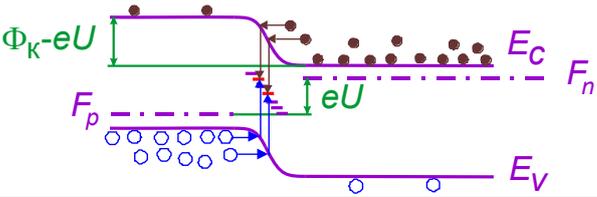
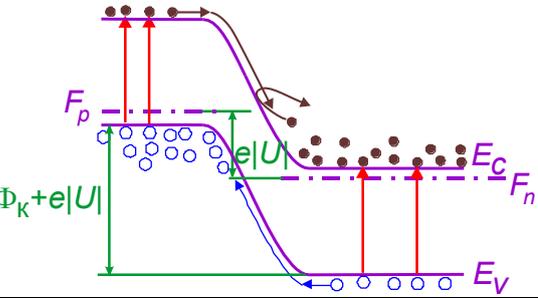
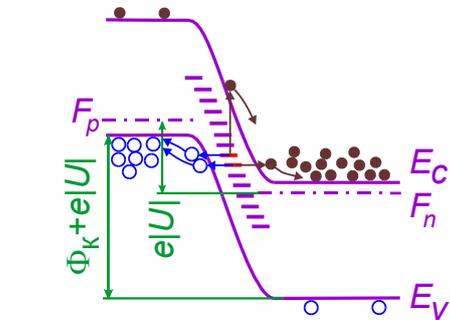
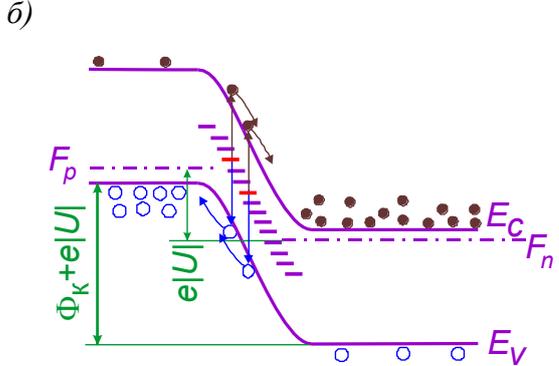
#### 4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

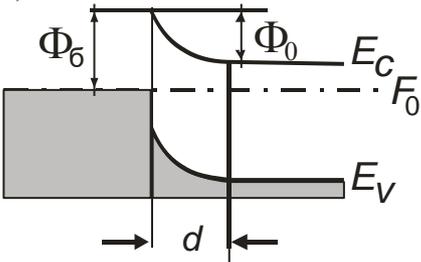
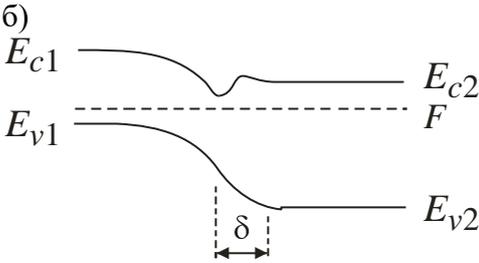
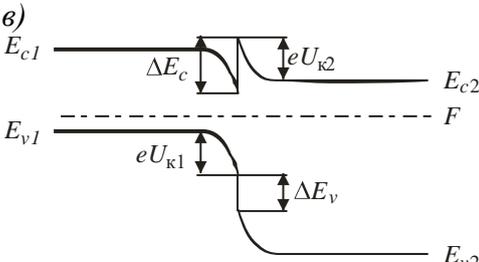
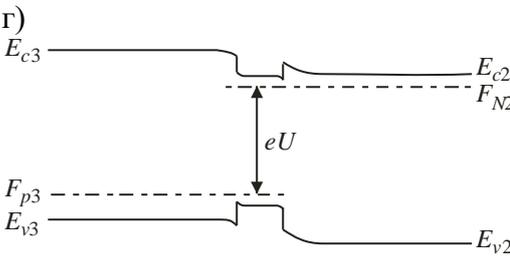
Вопросы теста для оценки остаточных знаний по дисциплине

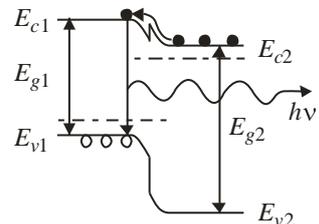
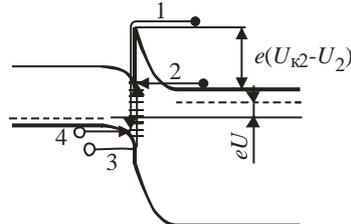
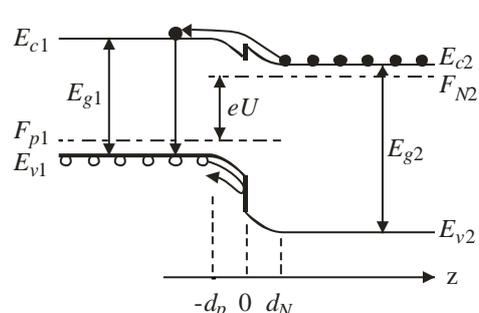
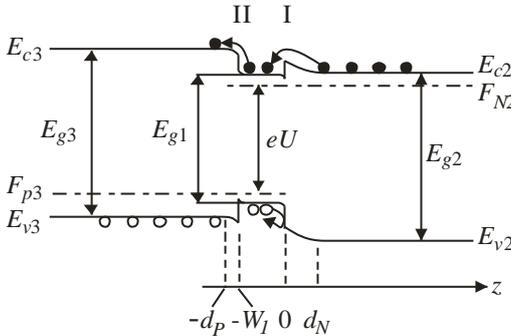
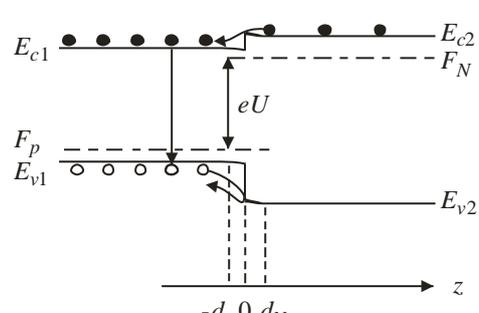
№	Вопрос	Варианты ответа
1	Собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике зависит от (два ответа):	<p>а) от температуры полупроводника.</p> <p>б) от концентрации легирующей примеси в полупроводнике.</p> <p>в) от времени жизни носителей заряда в полупроводнике.</p> <p>г) от ширины запрещенной зоны.</p> <p>д) от подвижности электронов и дырок в полупроводнике.</p>
2	Какое выражение описывает дрейфовую составляющую плотности тока дырок?	<p>а) <math>J = -eD_p \frac{dp}{dx}</math>.</p> <p>б) <math>J = eD_n \frac{dn}{dx}</math>.</p> <p>в) <math>\vec{J} = e\mu_p \vec{E}</math>.</p> <p>г) <math>\vec{J} = e\mu_n \vec{E}</math>.</p> <p>д) <math>\vec{J} = -eD_p \text{grad } p</math>.</p>
3	Энергетическая диаграмма барьера Шоттки представлена на рисунке:	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p> 

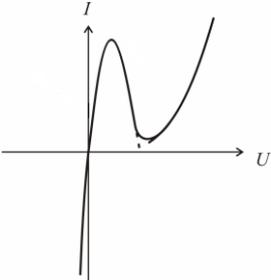
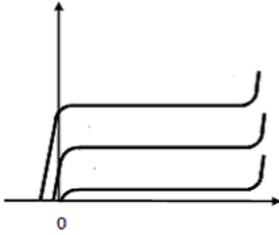
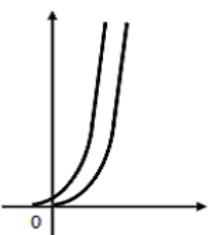
		<p>з)</p>  <p>д)</p> 
4	Какой из перечисленных элементов отсутствует в эквивалентной схеме диода Шоттки на переменном токе?	<p>а) активное сопротивление барьера.  б) барьерная ёмкость.  з) диффузионная ёмкость.  д) последовательное сопротивление.</p>
5	<i>p-n</i> -переход – это:	<p>а) переход электрона из валентной зоны в зону проводимости.  б) контакт двух полупроводников с различной шириной запрещенной зоны.  в) барьерная область в контакте полупроводников <i>p</i>- и <i>n</i>-типов.  г) переход носителя заряда из <i>p</i>-полупроводника в полупроводник <i>n</i>-типа.</p>
6	Область пространственного заряда <i>p-n</i> -перехода образована:	<p>а) положительными дырками и отрицательными электронами.  б) положительными дырками и отрицательными зарядами акцепторов.  в) положительными зарядами акцепторов и отрицательными зарядами доноров.  з) положительными зарядами доноров и отрицательными зарядами акцепторов.</p>
7	Какое уравнение нужно решать для нахождения профиля напряжённости электрического поля в <i>p-n</i> -переходе?	<p>а) уравнение электронейтральности в полупроводнике.  б) уравнение непрерывности.  в) уравнение Пуассона.  г) зарядовое уравнение.</p>
8	Какой из графиков изображает профиль напряжённости электрического поля в резком <i>p-n</i> -переходе?	<p>а)</p> 

		б) 
		в) 
9	Зависимость ширины области пространственного заряда резкого $p-n$ -перехода от напряжения описывается следующим выражением:	а) $d(U) = \sqrt{\frac{2\varepsilon_r \varepsilon_0 (N_a + N_d)(U_k \mp  U )}{e N_a N_d}}$ б) $d(U) = \sqrt[3]{\frac{12\varepsilon_r \varepsilon_0 (U_k \mp  U )}{e a}}$ в) $d(U) = \sqrt{\frac{2\varepsilon_r \varepsilon_0 (U_k - U)}{e N_d}}$
10	Плотность инжекционного тока в $p-n$ -переходе описывается выражением:	а) $J = \left( \frac{e D_p p_n}{L_p} + \frac{e D_n n_p}{L_n} \right)$ б) $J = J_s \left[ \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right]$ в) $J = K_{\tau 0} U [(F_n - E_c) + (E_v - F_p) - eU]^2$ г) $J = \frac{kT n_i d(U)}{2\tau_0 (U_k - U)} \left[ \exp\left(\frac{eU}{2kT}\right) - 1 \right]$ д) $J = \frac{e n_i d(U)}{2\tau_0}$
11	Подберите (поставьте в соответствие) энергетические диаграммы $p-n$ -переходов, иллюстрирующие следующие механизмы протекания прямого тока: а) ток инжекции неосновных носителей; б) рекомбинационный ток; в) рекомбинационный ток с участием туннелирования.	в)  а) 

		<p>б)</p> 
12	<p>Подберите (поставьте в соответствие) энергетические диаграммы <math>p-n</math>-переходов, иллюстрирующие следующие механизмы протекания обратного тока:</p> <p>а) ток экстракции неосновных носителей;  б) термогенерационный ток;  в) генерационный ток с участием туннелирования.</p>	<p>а)</p>  <p>б)</p>  <p>в)</p> 
13	<p>Диффузионная ёмкость диода с <math>p-n</math>-переходом обусловлена:</p>	<p>а) отрицательными зарядами акцепторов и положительными зарядами доноров в <math>p-n</math>-переходе.  б) положительными зарядами дырок и отрицательными зарядами акцепторов в <math>p</math>-области диода.  в) отрицательными зарядами электронов и положительными зарядами доноров в <math>n</math>-области диода.  г) положительными зарядами дырок и отрицательными зарядами электронов в базе диода.  д) положительными зарядами дырок в <math>p</math>-области и отрицательными зарядами электронов в <math>n</math>-области диода.</p>

14	Гетеропереход – это:	<p>а) переход носителя заряда из одного полупроводника в другой.</p> <p>б) переход носителя заряда через потенциальный барьер в полупроводнике.</p> <p>в) переход носителя заряда между различными долинами зоны проводимости.</p> <p>г) переходная барьерная область в контакте двух различных полупроводников.</p> <p>д) переход электрона с глубокого уровня в зону проводимости.</p>
15	Энергетическая диаграмма резкого анизотипного $p-N$ -гетероперехода представлена на рисунке:	<p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p> <p>г) </p>
16	В соответствии с моделью Андерсона величина скачка дна зоны проводимости в идеальном резком гетеропереходе равна:	<p>а) <math>\Delta E_c = \Phi_{\delta 2} - \Phi_{\delta 1}</math>.</p> <p>б) <math>\Delta E_c = \chi_1^0 - \chi_2^0</math>.</p> <p>в) <math>\Delta E_c = E_c - E_v</math>.</p>

		$\text{г) } \Delta E_c = E_g + \frac{kT}{2}.$
<p>17</p>	<p>Какая из представленных энергетических диаграмм иллюстрирует явление «суперинжекции»?</p>	<p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p> <p>г) </p> <p>д) </p>
<p>18</p>	<p>Если движение электрона в области полупроводниковой гетероструктуры ограничено нанометровыми расстояниями в двух измерениях, такая область носит название:</p>	<p>а) квантовой нити, или квантовой проволоки.          б) квантовой точки.          в) квантовой ямы.          г) сверхрешетки.</p>

19	<p>Вольт-амперная характеристика какого полупроводникового прибора изображена на рисунке?</p> 	<p>а) диода Ганна.  <i>б) туннельного диода.</i>          в) диода Шоттки.          г) гетероперехода.          д) биполярного гетеротранзистора.          е) <i>HEMT</i>-транзистора.</p>		
20	<p>Укажите прибор, работа которого основана на эффекте междолинного перехода электронов:</p>	<p>а) туннельный диод.  <i>б) диод Ганна.</i>          в) биполярный транзистор с гетеропереходом.          г) диод Шоттки.          д) полевой транзистор.          е) светодиод.</p>		
21	<p>Биполярный транзистор – это трёхэлектродный полупроводниковый прибор,</p>	<p>а) усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемым электрическим полем.  <i>б) усиление в котором осуществляется за счёт инжекции дырок и электронов в промежуточный слой.</i>  <i>в) с двумя взаимодействующими p–n-переходами, усилительные свойства которого обусловлены явлениями инжекции и экстракции неосновных носителей заряда.</i>          г) усиление в котором регулируется затвором, электрически изолированным от проводящего канала.</p>		
22	<p>При включении транзистора в цепь по схеме с общим эмиттером:</p>	<p>а) входным является ток базы, выходным – ток эмиттера.  <i>б) входным является ток базы, выходным – ток коллектора.</i>          в) входным является ток эмиттера, выходным – ток коллектора.          г) входным является ток коллектора, выходным – ток эмиттера.</p>		
23	<p>Укажите (см. рисунок ниже) кривые, повторяющие ход входных вольт-амперных характеристик транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером:</p>			
а)	б)	в)	г)	
				

24	Статические выходные вольт-амперные характеристики биполярного транзистора в схеме с общей базой описываются выражением:	<p>а) <math>I = K_{\tau 0} U [(F_n - E_c) + (E_v - F_p) - eU]^2</math>.</p> <p>б) <math>I = \frac{kT n_i d(U)}{2\tau_0 (U_{\kappa} - U)} \left[ \exp\left(\frac{eU}{2kT}\right) - 1 \right]</math>.</p> <p>в) <math>I = h_{21\bar{\Delta}}^0 I_B + I_{КЭ0}</math>.</p> <p>г) <math>I = h_{21\bar{\Delta}}^0 I_{\bar{\Delta}} + I_{КБ0}</math>.</p> <p>д) <math>I = I_s \left[ \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right]</math>.</p>
25	Усилительные свойства биполярного транзистора характеризуются:	<p>а) коэффициентом передачи тока.</p> <p>б) крутизной транзистора.</p> <p>в) коэффициентом умножения коллектора.</p> <p>г) эффективностью эмиттера.</p> <p>д) квантовой эффективностью.</p>
26	Часть полевого транзистора с $p-n$ -переходом в качестве затвора, которая заключена между областями пространственного заряда, называется:	<p>а) базой.</p> <p>б) затвором.</p> <p>в) истоком.</p> <p>г) стоком.</p> <p>д) каналом.</p>
27	Для полевого транзистора с $p-n$ -переходом в качестве затвора зависимость тока стока насыщения от напряжения на затворе при постоянном напряжении стока является:	<p>а) ватт-амперной характеристикой.</p> <p>б) входной характеристикой.</p> <p>в) выходной характеристикой.</p> <p>г) вольт-фарадной характеристикой.</p> <p>д) характеристикой передачи.</p>
28	Усилительные свойства полевого транзистора характеризуются:	<p>а) коэффициентом передачи тока.</p> <p>б) эффективностью эмиттера.</p> <p>в) коэффициентом переноса дырок в базе.</p> <p>г) крутизной характеристики передачи.</p> <p>д) коэффициентом усиления коллектора.</p>
29	Принцип работы фотодиода с $p-n$ -переходом заключается в:	<p>а) изменении сопротивления объема полупроводника под действием освещения.</p> <p>б) разделении электрическим полем области пространственного заряда электронов и дырок, созданных светом.</p> <p>в) испускании квантов света при рекомбинации инжектированных носителей заряда.</p> <p>г) изменении подвижности электронов в результате их перехода в побочные минимумы зоны проводимости.</p> <p>д) ускорении носителей заряда под действием освещения.</p>
30	Преимущества использования гетеропереходов в светодиодных структурах заключаются в (два ответа):	<p>а) увеличении прямого тока светодиода.</p> <p>б) увеличении коэффициента вывода излучения.</p> <p>в) увеличении концентрации избыточных носителей в активной области диода.</p> <p>г) уменьшении обратного тока диода.</p> <p>д) уменьшении емкости светодиода.</p>

### **Информация о разработчиках**

Алмаев Алексей Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент, радиофизический факультет НИ ТГУ, кафедра полупроводниковой электроники.