Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

Паспорт экзамена

по дисциплине «Физические основы электроники», 3 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной форме, по билетам. Билет состоит из 2 вопросов и задачи и формируется по следующему правилу:

- первый вопрос выбирается из диапазона вопросов к экзамену;
- второй вопрос из диапазона вопросов к экзамену;
- третий вопрос – задача.

Таким образом, проверяется уровень сформированности компетенций и соотнесенных с ними индикаторов, закрепленных за дисциплиной.

На экзамене преподаватель вправе задавать студенту уточняющие и дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Форма У-16

Экзаменационный билет № 4

По дисциплине: «Физические основы электроники»

Факультет ***РЭФ (напр. 11.03.03)*** Курс 2

1. Механизм образования носителей заряда в примесных и собственных полупроводниках, температурная зависимость концентрации носителей заряда.
2. Структура, необходимые условия и принцип работы биполярного транзистора.
3. Задача. Как изменится ВАХ прямо смещенного идеального диода, если увеличить концентрацию примеси в смежных областях? Показать графически.

Составил: *Дорогой С.В.* Дата: 06 января 2021 г.

Утверждаю: **зав. кафедрой КТРС, доцент** _____Синельников А.В.

2. Уровни освоения компетенций и критерии оценки

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный комплексный анализ материала, выявляет проблемы, предлагает механизмы их решения, представляет количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи. Компетенции и соотнесенные с ними индикаторы, закрепленные за дисциплиной, сформированы в полном объеме. Оценка составляет *от* 30 *до* 40 *баллов.*

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе

на вопросы формулирует основные понятия, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, способен представить количественные и качественные характеристики процессов, не допускает существенных ошибок при решении задачи. Компетенции и соотнесенные с ними индикаторы, закрепленные за дисциплиной, содержат несущественные пробелы и сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от* 20 *до* 29 *баллов.*

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные. Компетенции и соотнесенные с ними индикаторы, закрепленные за дисциплиной, содержат пробелы и сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от* 10 *до* 19 *баллов.*

Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки. Компетенции и соотнесенные с ними индикаторы, закрепленные за дисциплиной, не сформированы. Оценка составляет *менее* 10 *баллов.*

3. Шкала оценки

Экзамен считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета составляет от 10 до 40 баллов включительно. Сумма менее 10 баллов признается неудовлетворительным результатом промежуточной аттестации по дисциплине.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, установленными в НГТУ.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Физические основы электроники»

1. Закон действующих масс. Генерация и рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках. Рекомбинационные параметры (L, τ).
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 $D(T)$. Связь коэффициента диффузии и подвижности (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 ($J_{диф}$) и дрейфовая ($J_{др}$) плотности тока.
6. Рассеяние носителей заряда. Подвижность носителей заряда (μ), зависимость подвижности от физических параметров (T, N, φ).
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 *Na, Nd* 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. Пробой *p–n*-перехода. Виды пробоя. Зависимость пробивного напряжения от параметров перехода.
16. Контактная разность потенциалов (U_0) в p–n переходе. Механизм образования.
17. Область пространственного заряда (ОПЗ) в идеальном *p–n*-переходе. Структура, границы (x_p, x_n), причина образования ОПЗ.
18. Интегральная барьерная ёмкость *p–n*-переходов ($C_б$), зависимость от внешних параметров. Причина образования ёмкости.
19. Уравнение Пуассона. Максимальная напряженность электрического поля в *p–n*-переходе (φ_{max}), в состоянии термодинамического равновесия.
20. Вольтамперная характеристика (ВАХ) идеального *p–n*-перехода. Допущения при выводе уравнения Шокли. Влияние физических параметров на ВАХ.
21. Причины отличия ВАХ идеального и реального *p–n*-переходов.
22. Ток насыщения (I_0) идеального p–n перехода, физический смысл. Зависимость от параметров.
23. Туннельный диод, особенности ВАХ, связь с зонной диаграммой $E(x)$. Эффект туннелирования.
24. Светоизлучающие диоды. Структура, принцип работы. Условия эффективной работы. Связь цвета излучения с параметрами полупроводника. Белый светодиод.
25. Солнечный элемент. Структура, принцип работы, ВАХ солнечного элемента.
26. Структура и принцип работы полупроводникового лазера. Инверсная населенность. Условия эффективной работы.
27. Структура, схемы включения и принцип работы биполярного транзистора. Условия эффективной работы.
28. Усиление сигнала биполярным транзистором в схеме с общей базой.
29. Усиление сигнала биполярным транзистором в схеме с общим эмиттером. Коэффициент усиления.
30. Физические процессы в базе биполярного транзистора (БТ). Распределение концентрации неосновных носителей заряда в БТ активном режиме (схема с общей базой), а если длинная база?
31. Эффект Холла, схема. Экспериментальное определение параметров полупроводников.
32. Основные характеристики биполярного транзистора в схеме с общей базой. Входные и выходные ВАХ биполярного транзистора.
33. Условия эффективной работы биполярного транзистора.
34. Дифференциальные параметры 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 *p–n*-переходе будет больше напряжение лавинного пробоя, если первый имеет в смежных областях концентрации 10^{16} см$^{-3}$, а второй переход $5\cdot10^{16}$ 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 p-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 см^2 В$^{-1}$ с$^{-1}$, а дырок – 1000 см^2 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 $Na>>Nd$. $\gamma_p = \frac{J_p}{J_p + J_n} = \frac{1}{1+\frac{\sigma_p L_n}{\sigma_n L_p}}$.
11. Как изменится удельное электрическое сопротивление полупроводника с концентрацией доноров Nd, если в него добавить равное количество акцепторной примеси Na? T=300 К.
12. Какой примесный полупроводник имеет большее удельное электрическое сопротивление при комнатной температуре и равных концентрациях примеси n-типа или p-типа? Объяснить.
13. Как изменится потенциальный барьер в идеальном p–n-переходе при увеличении концентрации примеси в смежных областях?
14. Оценить максимальную удельную электропроводность, которую может иметь германий при комнатной температуре. Какие факторы ограничивают ее значение?
15. Как изменится сопротивление полупроводника с концентрацией доноров Nd=$8\cdot10^{16}$ см$^{-3}$, если в него дополнительно добавить акцепторную примесь в количестве Na=$2\cdot10^{16}$ см$^{-3}$? Объяснить.
16. Нарисовать обратную ветвь ВАХ реального p–n-перехода в случае лавинного пробоя при двух различных температурах.
17. Нарисовать обратную ветвь ВАХ реального p–n-перехода в случае туннельного пробоя при двух различных температурах.
18. Изобразить температурные зависимости удельной электропроводности для собственных полупроводников Ge и Si в аррениусовских координатах ln(σ)=f(1/T).
19. Нарисовать схему включения с общей базой биполярного (n-p-n) транзистора в активном режиме. Указать полярность напряжений.
20. Сформулировать основные допущения при выводе уравнения Шокли (ВАХ идеального p–n-перехода).
21. Сформулировать условия для эффективной работы биполярного транзистора.
22. Нарисовать зонную диаграмму E(x) идеального несимметричного p–n-перехода при обратном смещении (Nd=$10\cdot Na$). Указать, какими носителями определяется ток?
23. Нарисовать схему включения с общим эмиттером биполярного (n-p-n) транзистора в активном режиме. Указать полярность напряжений.
24. Нарисовать ВАХ туннельного диода.
25. Определить дрейфовую скорость дырок в поле с напряженностью φ=10^3 В/см, если подвижность равна 450 см^2/(В·сек).
26. Вычислить коэффициент диффузии дырок в германии n-типа, если диффузионная длина дырок равна 0.3 мм, а время жизни неосновных носителей заряда τ_p= 10^{-4} с.
27. Какие полупроводниковые приборы работают на основных носителях заряда?

28. Сформулировать условия для эффективной работы инжекционного лазера.
29. Сформулировать условия для эффективной работы светодиода.