

Вопрос **Инфо**

Уважаемые участники!

Олимпиадное задание по направлению «Электроника и наноэлектроника» состоит только из инвариантной части. Это означает, что вам нужно постараться решить все задачи и ответить на все вопросы, чтобы претендовать на призовые места.

При выполнении заданий можно использовать черновик и загрузить фото/скан черновиков и рукописной работы в конце состязания (на это у вас будет 15 минут).

Во время состязаний вы можете использовать:

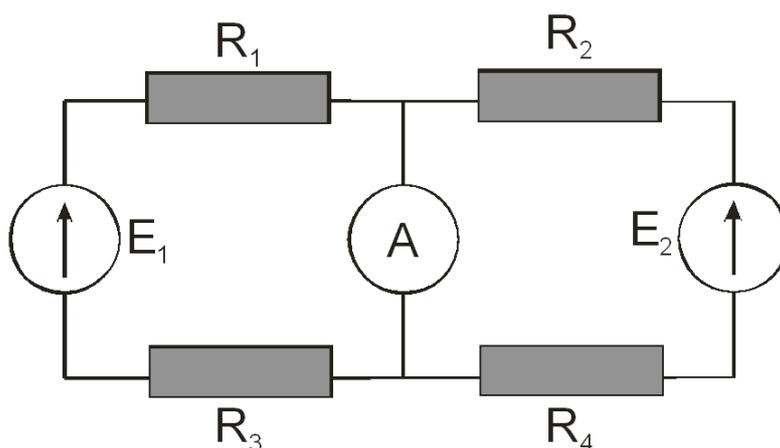
- встроенный в систему калькулятор;
- линейку и карандаш;
- графическими редакторами и принтером для работы с изображениями в тексте заданий.

Верим в ваш успех!

Вопрос **1**

Балл: 5,00

Какой ток  $J$  покажет амперметр в схеме, показанной на рисунке?



*Рис.1. Схема задачи.*

Дано:  $R_1 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 800 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 400 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 1200 \text{ Ом}$ ,  $E_1 = 100 \text{ В}$ ,  $E_2 = 200 \text{ В}$

Внутренними сопротивлениями источников тока и амперметра пренебречь.

Вопрос **2**

Балл: 5,00

Для схемы, изображенной на рисунке 2, определить заряд на обкладках конденсатора. Дано:  
 $C = 500$  пФ,  $E=300$  В

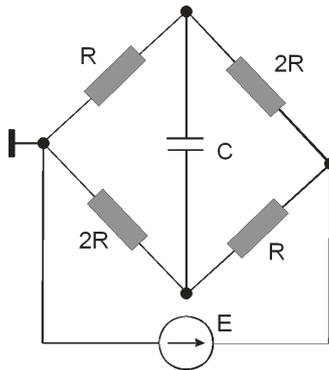


Рис.2. Схема задачи.

Вопрос 3

Балл: 5,00

Имеется две однородно (по объему) заряженные пластины бесконечной протяженности (см. рис.3). На левой пластине объемная плотность заряда положительная  $(+ \rho)$  [Кл/см<sup>3</sup>], а на правой – отрицательная  $(- \rho)$  [Кл/см<sup>3</sup>].

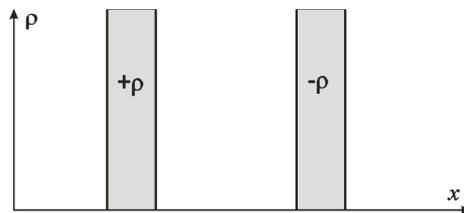


Рис.3. Зависимость объемной плотности заряда от координаты  $x$ .

Нарисовать зависимость напряженности электрического поля  $E$  от координаты  $x$ .

Вопрос 4

Балл: 15,00

Дано: два донорных полупроводника с разной шириной запрещенной зоны.

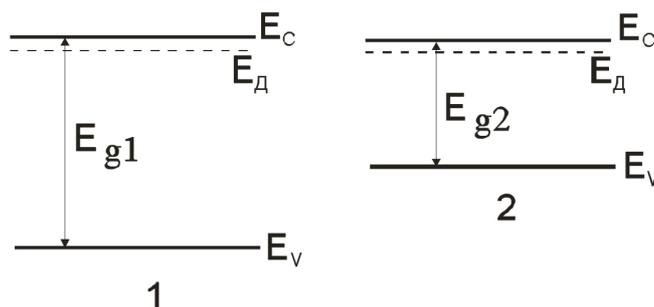


Рис.4. Энергетические диаграммы двух полупроводников.

Концентрация примеси и ее энергия активации в обоих полупроводниках одинакова.

Изобразить качественно на одном графике зависимости  $\ln n_0$  от  $(1/T)$  ( $n_0$  – равновесная концентрация электронов в зоне проводимости,  $T$ – абсолютная температура) для обоих полупроводников.

Ответ подробно аргументировать.

Вопрос 5

Балл: 20,00

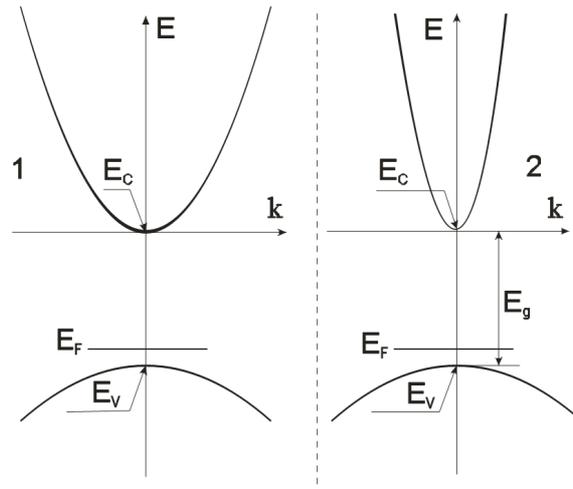


Рис.5. Дисперсионные зависимости  $E(k)$  для двух полупроводников.

На рисунке 5 изображены дисперсионные зависимости – зависимости полной энергии электрона  $E$  от волнового вектора  $k$  для зоны проводимости и валентной зоны для двух гипотетических полупроводников. В обоих полупроводниках одинаковое значение ширины запрещенной зоны  $E_g$  и энергии Ферми  $E_F$ . Температура обоих полупроводников соответствует области истощения примеси.

Необходимо определить:

- Тип проводимости полупроводников
- В каком полупроводнике больше концентрация дырок и почему?
- В каком полупроводнике больше концентрация электронов и почему?
- В каком полупроводнике больше подвижность дырок и почему?
- В каком полупроводнике больше подвижность электронов и почему?
- В каком полупроводнике больше концентрация собственных носителей заряда и почему?

Все ответы подробно аргументировать.

Вопрос 6

Балл: 25,00

Дана четырехслойная (тиристорная)  $p^+-n-p-n^+$  кремниевая структура и схема ее включения (кремний элемент 4 группы таблицы Менделеева с шириной запрещенной зоны примерно 1 эВ).

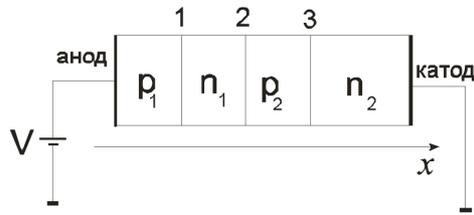


Рис.6. Схема включения тиристорной структуры.

Нарисовать **стилизованную** энергетическую диаграмму структуры, соответствующую анодному напряжению  $V=+3$  Вольта. При этом по возможности придерживаться масштаба (т.е. из диаграммы должно однозначно следовать, что на структуру подано напряжения именно 3 Вольта в пределах погрешности чертежа). Все три перехода считать резкими (ступенчатыми).

Под энергетической диаграммой понимается зависимость  $E_C$  (энергии дна зоны проводимости),  $E_V$  (энергии потолка валентной зоны) и  $E_F$  (энергии Ферми) от координаты  $x$ . Стилизованной называется диаграмма, в которой зависимости  $E_C$  и  $E_V$  в зоне объемного заряда каждого перехода изображается линейной зависимостью от координаты  $x$  вместо реальной – сопряженных парабол. Кроме того, изображение реальных зависимостей уровней Ферми от координаты ограничивается квазиуровнями Ферми основных носителей заряда и только для квазинейтральных областей (т.е. вне областей объемных зарядов переходов).

Вопрос 7

Балл: 25,00

На рис. 7-1 приведена условная конструкция и схема включения бездрейфового биполярного транзистора.

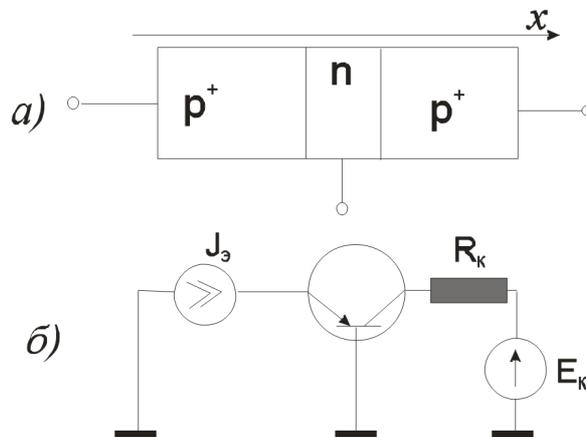


Рис.7-1. Условная конструкция биполярного бездрейфового транзистора (а) и схема, обеспечивающая активный режим работы транзистор (б).

Для упрощения задачи считать все три области считать однородно легированными. Концентрации типозадающей примеси в р-областях структуры одинаковыми и вдвое больше концентрации доноров в базовой области структуры. Так же следует считать, что коэффициент переноса дырок через базу транзистора равен единице. Т.е.  $J_{pэ} / J_{pk} = 1$  ( $J_{pэ}$  – дырочная компонента тока эмиттера,  $J_{pk}$  – дырочная компонента тока коллектора).

На рис. 7-2 приведена выходная статическая характеристика транзистора для заданного тока эмиттера.

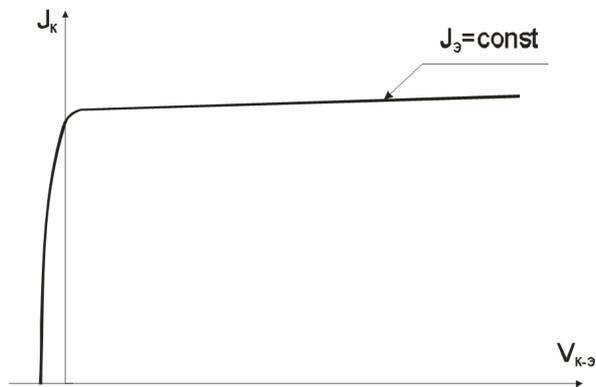


Рис.7-2. Выходная статическая характеристика транзистора при заданном токе эмиттера

Требуется:

- В равновесном состоянии структуры, т.е. в отсутствии источников питания во входной и выходной цепи (схема 7-1а), изобразить (качественно) картину распределения равновесной концентрации неосновных носителей заряда по координате (с учетом количественного соотношения примесей).
- Для схемы на рис.7-1б нарисовать (качественно) зависимости концентрации неосновных носителей заряда от координаты  $x$  во всех трех областях транзистора при произвольно фиксированном сопротивлении в цепи коллектора. Полученные зависимости прокомментировать.
- Проанализировать, как будет меняться напряжение на коллекторном переходе при изменении сопротивления  $R_k$  в выходной цепи и неизменных параметрах источников питания.
- Нарисовать, как изменится распределение неосновных носителей заряда в базе транзистора при изменении сопротивления  $R_k$ . Полученный результат объяснить.