

Высшая лига — 2025. Электроника и нанoeлектроника.

Решения

Задача 1. (10 баллов)

Найти емкость цепочки конденсаторов в схеме, изображенной на рис.1

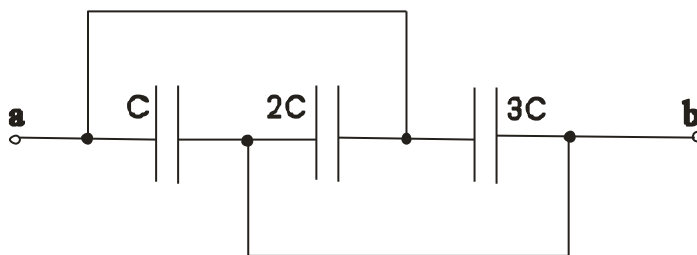


Рис.1 Схема рассчитываемой цепи

Решение.

Не трудно видеть, что каждый из конденсаторов одним концом подсоединен к точке **a**, а другим к точке **b**. Соответственно исходную схему можно изобразить в виде изображенным на рис. 1а.

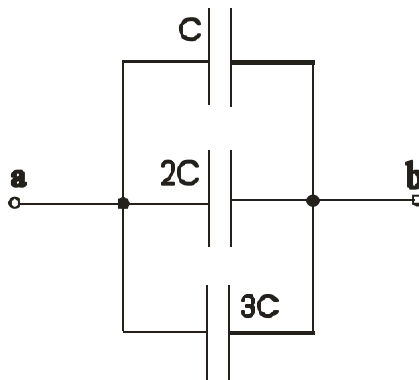


Рис.1а

Таким образом мы имеем 3 параллельно включенных конденсатора. А так как при параллельном включении емкости суммируются, то итоговая емкость $C_{a-b} = 6C$

Ответ: $C_{a-b} = 6C$

Задача 2. (10 баллов)

В заданной схеме $E=100$ В, $R_1=50$ Ом, $R_2=150$ Ом, $R_3=300$ Ом, $C_1=500$ пФ, $C_2=1000$ пФ

Определить показание вольтметра.

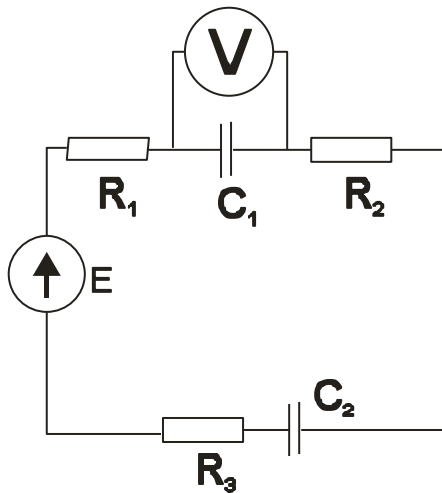


Рис.2 Схема рассчитываемой цепи

Решение.

Поскольку постоянный ток через емкости не протекает то наличие в цепи резисторов никакого влияния не оказывают. И не важно есть они или их нет. Таким образом исходную схему можно свести к виду, изображенном на рис. 2а.

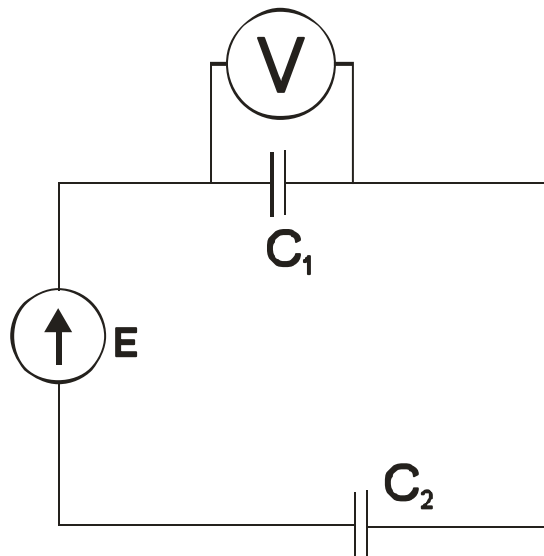


Рис.2а

При последовательном соединении накопленные на конденсаторах заряды одинаковы и равны Q . Соответственно можно записать, что

$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2 \text{ и } V_1 + V_2 = E$$

Отсюда находим, что

$$V_1 = E [C_2 / (C_1 + C_2)] = \sim 66,7 \text{ В}$$

Ответ: $V = \sim 66,7 \text{ В}$

Задача 3 (10 баллов)

Имеется однородно заряженная бесконечная пластина с объемной плотностью заряда $+ \rho$ [Кл/см³].

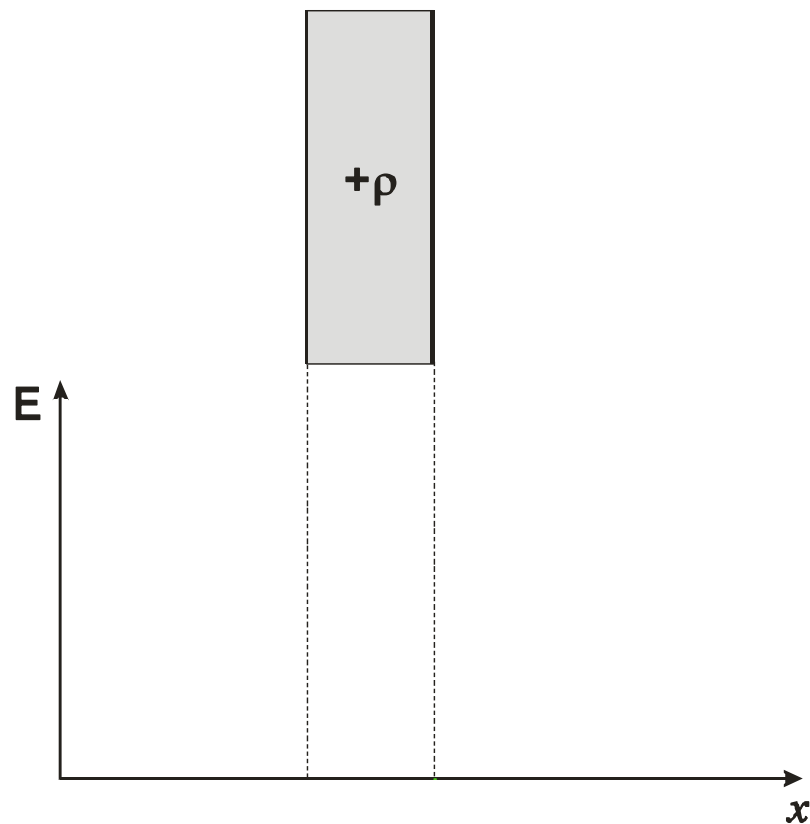


Рис.3 Распределение плотности объемного заряда

Нарисовать зависимость напряженности электрического поля E от координаты x .

Решение.

Очевидно, что точно по центру пластины электрическое поле равно нулю, т.к. поле от зарядов в правой части пластины уравнивается полем зарядов в левой части пластины. За пределами пластины поле однородно и не зависит от координаты. С правой стороны от оси симметрии оно направлено в сторону положительных значений x (и значит положительно), а с левой стороны оно направлено в сторону отрицательных значений x (а значит отрицательно). Итоговая картина распределения поля в пространстве показано на рис.3а.

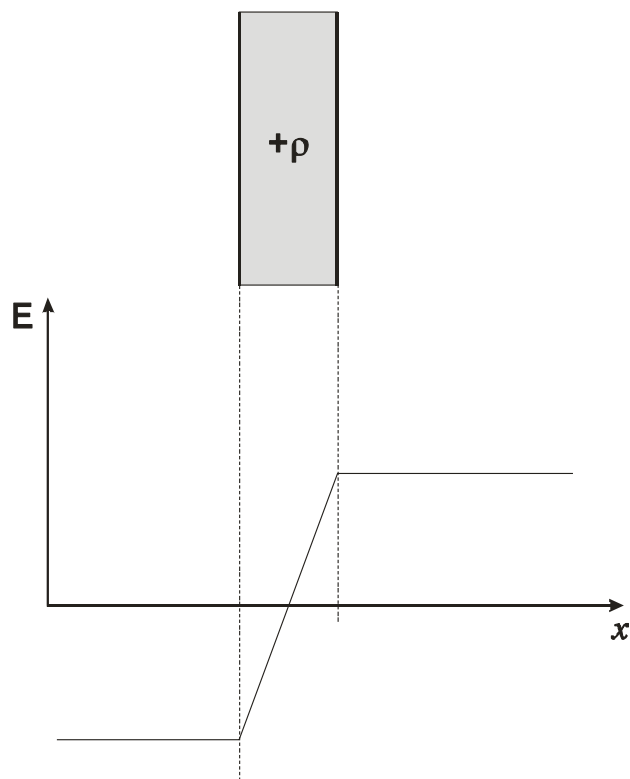


Рис. 3а

Задача 4 (15 баллов)

На рис.4 приведены эпюры напряженности электрического поля E для двух резких (ступенчатых) р-п-переходов в равновесном состоянии при комнатной температуре.

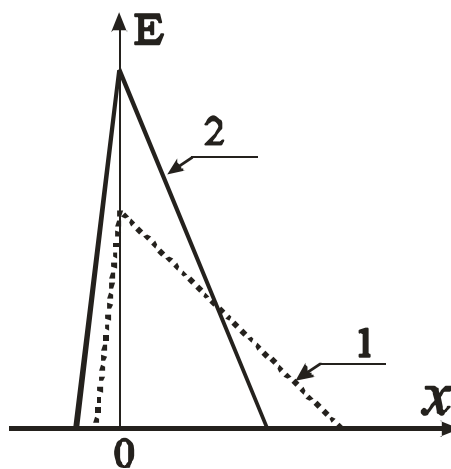


Рис. 4

Определить:

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

- а) тип проводимости эмиттерных и базовых областей
б) какой из переходов имеет большее значение лавинного пробоя

Решение.

а) Поскольку напряженность электрического поля всюду положительна, а как известно, вектор поля направлен от положительного заряда к отрицательному, то это означает, что с правой стороны от границы раздела областей находятся положительные ионы примеси (т.е. ионы донорных атомов). Следовательно эмиттерная область перехода n^+ -типа. Соответственно базовая область (справа от границы раздела) p -типа.

б) лавинный пробой p - p -перехода возникает, когда напряженность электрического поля в переходе достигнет критического значения при каком-то значении обратного напряжения. Очевидно, что критическое поле во втором переходе будет достигнуто при меньшем обратном смещении. А значит и напряжение электрического пробоя будет больше у первого перехода.

Задача 5 (15 баллов)

На рис.5 приведены энергетические диаграммы двух полупроводников при одинаковой температуре.

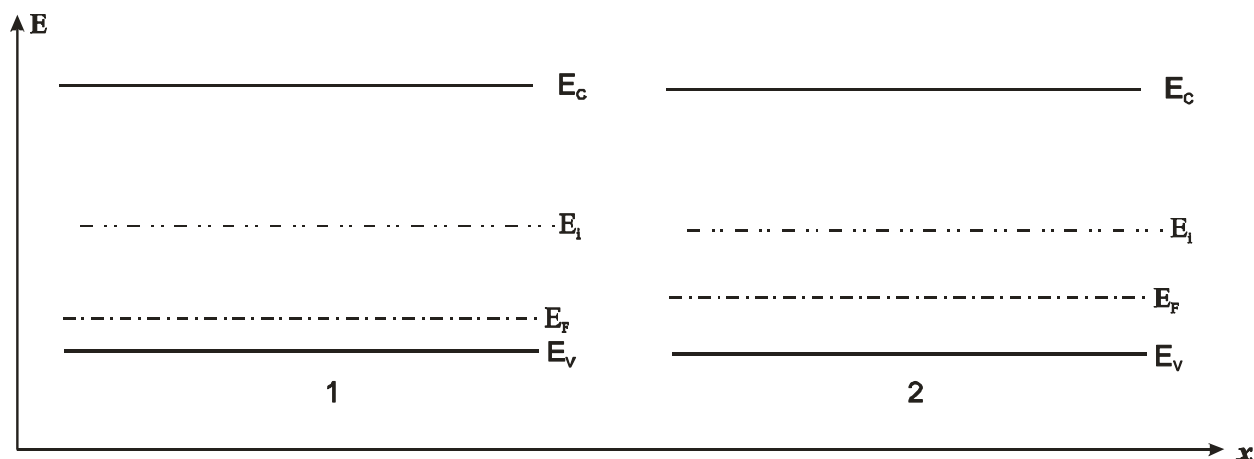


Рис.5

Требуется определить:

- а) в каком полупроводнике выше концентрация электронов проводимости

б) в каком полупроводнике выше подвижность дырок

Решение.

а) Как видно из диаграмм (рис.5) оба полупроводника имеют дырочную проводимость. Причем в первом полупроводнике равновесная концентрация дырок p_{p0} выше, чем во втором. Это следует из положения уровней Ферми.

Согласно закону действующих масс $p_{p0} \cdot p_{n0} = n_i^2$, где n_i - концентрация собственных носителей заряда в полупроводнике. Таким образом, чем больше концентрация основных носителей заряда, тем меньше концентрация неосновных носителей заряда. Следовательно равновесная концентрация электронов во втором полупроводнике больше, чем в первом.

б) На подвижность как дырок, так и электронов влияет количество центров рассеяния зарядов, главными из которых фононы и ионы примеси (в данном случае ионы акцепторной примеси). Раз температуры кристаллов одинаковы, то решающим фактором будет концентрация ионизированной примеси, которой больше в первом полупроводнике. Соответственно, подвижность дырок во втором полупроводнике будет выше, чем в первом.

Задача 6 (20 баллов)

На рис.6 приведена энергетическая диаграмма кремниевого кристалла при комнатной температуре.

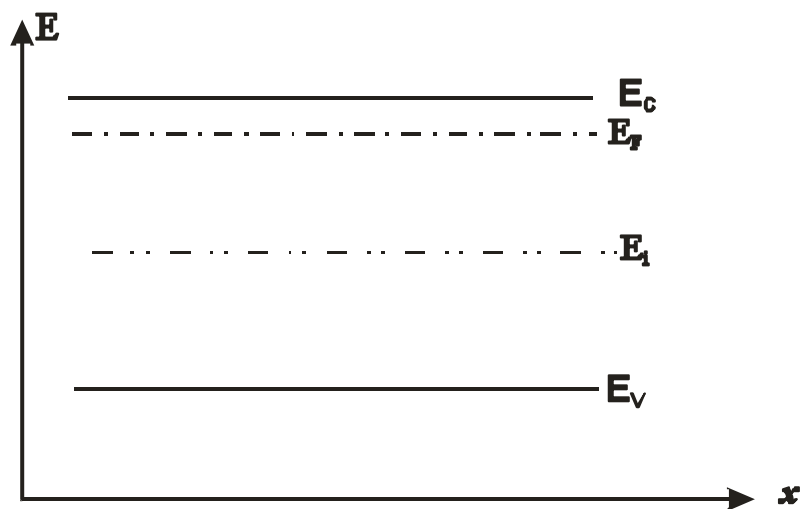


Рис.6

Изобразить на графике зависимости полной функции распределения электронов проводимости от энергии.

Решение.

Как известно, полная функция распределения электронов проводимости по энергии $N(E)$ образуется произведением двух функций. Функции плотности состояний $g(E)$ в зоне проводимости полупроводника и функции заполнения этих состояний $f_{\text{Ф-Д}}(E)$, которая является по сути функцией Ферми-Дирака (рис.4а). Естественно, нас интересует не вся функция Ферми-Дирака, а только та ее часть, которая приходится на зону проводимости. Эта часть выделена на рис 4а кружком

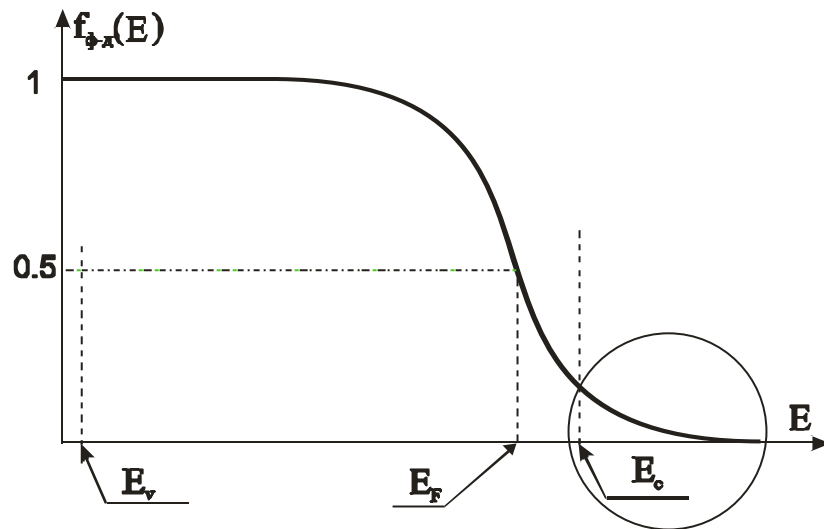


Рис.6а

На рис.6б приведена функция плотности электронных состояний вблизи дна зоны проводимости

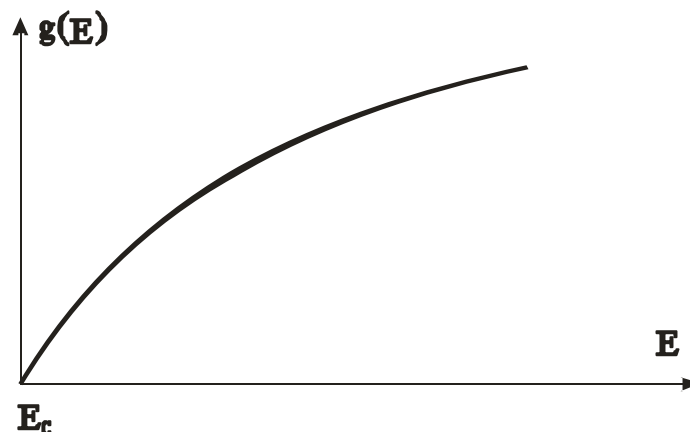


Рис.6б

Произведение этих двух функций и дает нам полную функцию распределения электронов по энергии вблизи дна зоны проводимости (рис.6с)

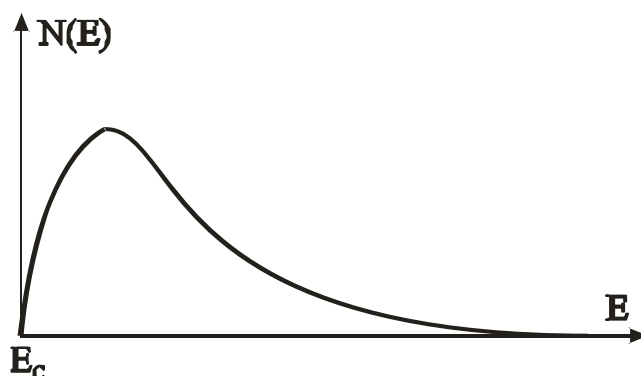


Рис. 6с

Задача 7. (20 баллов)

На рис.7 приведена кремниевая тиристорная структура, на анод которой подано напряжение $E=+2В$.

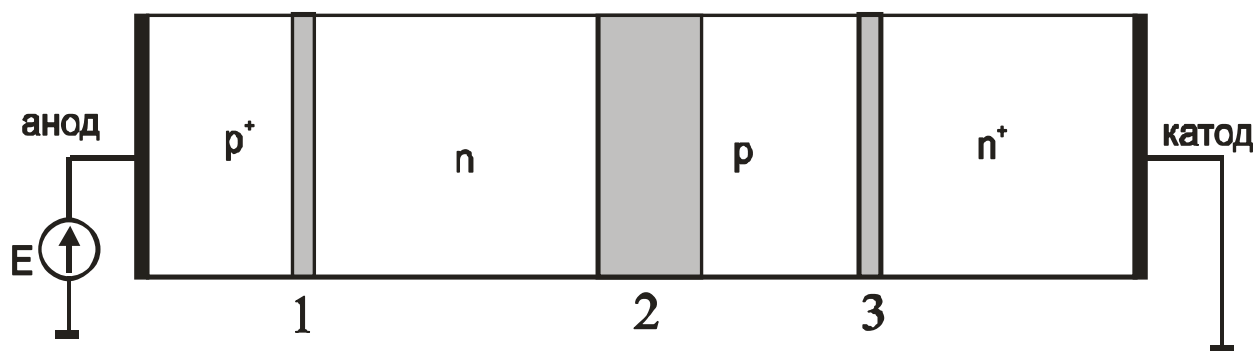


Рис.7

Требуется нарисовать (по возможности с соблюдением масштаба) энергетическую диаграмму этой структуры в стилизованном виде

Решение.

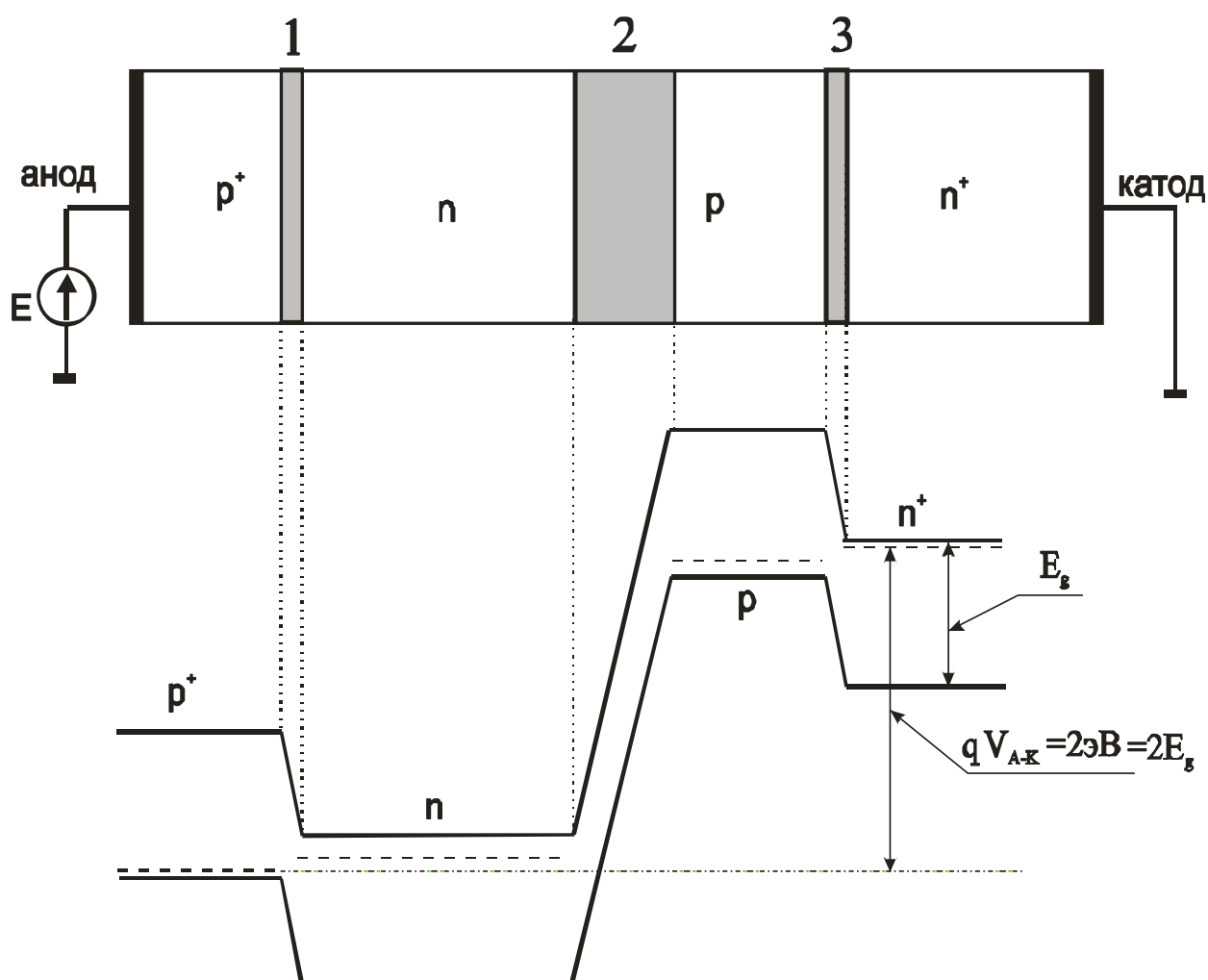


Рис. 7а. Энергетическая диаграмма тиристорной структуры под заданным смещением

Масштабным фактором является значение ширины запрещенной зоны кремния, равной примерно 1эВ. По сдвигу уровня Ферми можно судить о величине поданного на структуру напряжения. Таким образом, изображенная диаграмма соответствует напряжению, поданному на тиристор 2 вольта.