

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ

Фотоэлектрическая генерация – это процесс прямого преобразования солнечного излучения в электрическую энергию. Этот процесс становится возможным при использовании фотоэффекта – явления, происходящего в веществах при освещении их светом (т. е. воздействием электромагнитным излучением).

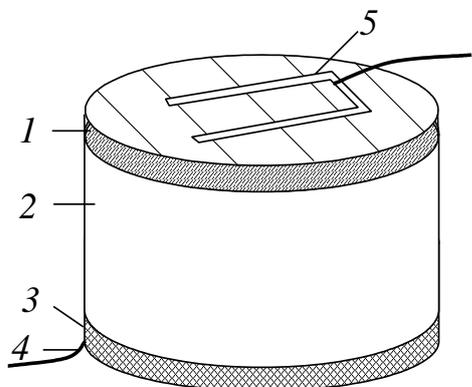


Рис. 10.1.  
Конструкция

В современных элементах фотоэлектрическая генерация основана на существовании вентильного фотоэффекта, который возникает при использовании полупроводников.

Типичная структура солнечного элемента с  $p-n$ -переходом на основе монокристаллического кремния изображена на рис. 10.1. Она включает: слой полупроводника (толщиной 0,2–1,0 мкм) с  $n$ -проводимостью 1, слой полупроводника (толщиной 250–400 мкм) с  $p$ -проводимостью 2, добавочный потенциальный барьер (толщиной 0,2 мкм) 3, металлический контакт 4, лицевой металлический контакт 5. Характерный размер солнечного элемента 10 см.

Равновесие между  $p$ - и  $n$ - областями является подвижным. Некоторому количеству основных носителей удастся преодолеть потенциальный барьер, вследствие чего через переход течет небольшой ток  $I_{\text{осн}}$ . Этот ток компенсируется обусловленным неосновными носителями встречным током  $I_{\text{неосн}}$ . Неосновных носителей очень мало, но они легко проникают через границу областей, «скатываясь» с потенциального барьера. Величина  $I_{\text{неосн}}$  определяется числом рождающихся каждую секунду неосновных носителей и от высоты потенциального барьера почти не зависит (для качественных солнечных элементов  $I_{\text{неосн}} \sim 10^8 \text{ А/м}^2$ ). Величина  $I_{\text{осн}}$ , напротив, сильно зависит от высоты барьера. Равновесие устанавливается как раз при такой высоте потенциального барьера, при которой оба тока  $I_{\text{осн}}$  и  $I_{\text{неосн}}$  компенсируют друг друга.

В присутствии света при поглощении фотонов с энергиями больше энергии запрещенной зоны  $h\nu \geq E_g$  возможны переходы электронов из валентного состояния в несвязанное состояние, где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$  – постоянная Планка;  $\nu = c/\lambda$  – частота излучения;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  – скорость света.

Поток генерируемых светом носителей образует фототок  $I_{\text{ф}}$ . При этом на концах  $p-n$ -перехода возникает напряжение смещения  $U_{\text{н}}$ , которое вызывает «темновой ток», обусловленный наличием неосновных носителей

$$I_{\text{т.т}} = I_{\text{неосн}} \left[ \exp(eU_{\text{н}} / (kT)) - 1 \right],$$

где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – заряд электрона;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура.

«Темновой» ток сопровождается рекомбинацией неосновных носителей тока (в данном случае – электронов в  $p$ -области). Тогда ток нагрузки равен результирующему току через  $p$ - $n$ -переход, а вольт-амперная характеристика освещенного солнечного элемента описывается следующим выражением

$$I_H = I_\phi - I_{\text{несочн}} \left[ \exp(eU_H / (kT)) - 1 \right].$$

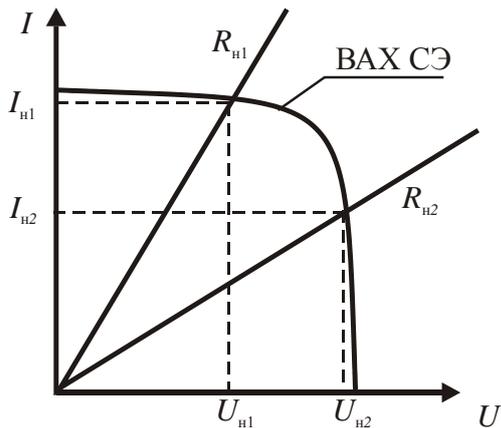


Рис. 10.2. Вольт-амперная характеристика

Вольт-амперная характеристика солнечного изображена на рис. 10.2, на этом же рисунке для различных омических сопротивлений ( $R_{H1} < R_{H2}$ ) изображены вольт-амперные характеристики нагрузки  $I_H = U_H / R_H$ .

При известных параметрах вольт-амперной характеристики солнечного элемента и заданном значении сопротивления нагрузки  $R_H$  рабочие параметры  $I_H$  и  $U_H$  находятся методом последовательных приближений при совместном решении уравнений вольт-амперных характеристик солнечного

элемента и потребителя либо графически, как это сделано на рис. 10.2.

Как показано на графике, при изменении нагрузки изменяются рабочие параметры ( $I_H$ ,  $U_H$ ) солнечного элемента. Если  $R_H$  мало, пересечение графиков происходит на горизонтальном участке вольт-амперной характеристики солнечного элемента, т. е. на участке, где «темновым» током через  $p$ - $n$ -переход можно пренебречь по сравнению с фототоком. По мере увеличения  $R_H$  ток  $I_H$  уменьшается, т. к. с увеличением прямого смещения  $p$ - $n$ -переход как бы шунтирует нагрузку.

### Задачи для практических занятий

#### Задача 10.1

Плотность потока излучения, падающего на землю, составляет  $E = 200 + 20 \cdot N$  Вт/м<sup>2</sup>. Какую площадь должна иметь солнечная батарея с КПД 20% и мощностью 100 Вт?

#### Задача 10.2

Какова плотность излучения, если ЭДС солнечных элементов  $e = 0,2 + 0,02 \cdot N$  В, площадь элемента  $S = 5 + N$  см<sup>2</sup>, плотность тока в элементе  $i = 0,03$  А/см<sup>2</sup>, КПД солнечных элементов 20%?

#### Задача 10.3

Солнечная батарея состоит из фотоэлементов размером  $10 \times 5$  см, ЭДС  $e = 0,2 + 0,02 \cdot N$  В, плотность тока  $i = 0,02 + 0,001 \cdot N$  А/см<sup>2</sup>, ЭДС батареи составляет  $e_6 = 12$  В и сила тока  $I_6 = 5$  А. Определить количество фотоэлементов в батарее.

#### Задача 10.4

Домашняя осветительная система питается от аккумуляторной батареи напряжением 8 В, заряженной до 30 А·ч. Освещение в помещении включается каждый вечер на  $t = 4 + 0,1 \cdot N$  ч, при этом потребляет ток  $I = 6 - 0,1 \cdot N$  А. Какой площадью должна быть солнечная батарея, состоящая из кремниевых солнечных элементов ( $E_{Si} = 0,5$  В), чтобы заряжать аккумуляторную батарею? КПД аккумуляторной батареи 80%. КПД солнечных элементов 15%. Поток солнечного излучения  $\Phi = 15 + N$  МДж/м<sup>2</sup> в течение дня.

#### Задача 10.5

Солнечная батарея состоит из 40 фотоэлементов размером  $10 \times 5$  см. Плотность потока излучения, падающего на землю составляет  $E = 60 - 0,2 \cdot N$  Вт/м<sup>2</sup>. Энергетический барьер р-п-перехода  $E_g = 1,43$  эВ ( $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж). Температура фотоэлементов  $40^\circ\text{C}$ . Значение тока неосновных носителей  $I_{\text{неосн}} = 10^{-7}$  А/м<sup>2</sup>, значение фототока  $I_\phi = 16 - 0,2 \cdot N$  А/м<sup>2</sup>. Заряд электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К. Определить мощность и КПД солнечной батареи при напряжении нагрузки  $U_n = 0,9 U_{x.x}$ .