

# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

## I. НЕОБХОДИМЫЕ СВЕДЕНИЯ

Целью настоящего эксперимента является исследование основных характеристик солнечного элемента. Солнечный элемент поглощает электромагнитную волну и энергию поглощенного фотона преобразует в электрическую энергию. Солнечный элемент в то же время является и диодом, чья темная вольт-амперная характеристика (т.е. вольт-амперная характеристика, когда на элемент не падает свет) имеет вид

$$I = I_0(e^{\beta V} - 1),$$

где  $I_0$  и  $\beta$  константы. Диоды делают из полупроводников с энергией запрещенной зоны  $E_c - E_v$  (см. Рис.1)

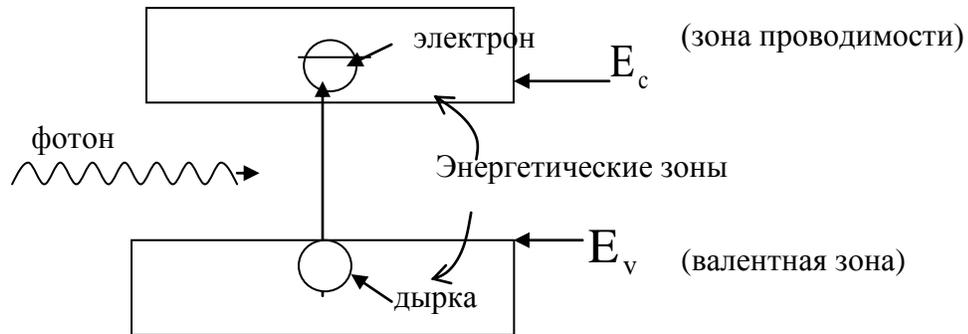


Рис.1

Если энергия падающего фотона больше чем энергия запрещенной зоны, тогда фотон поглощается полупроводником и рождает в нем электрон-дырочную пару. Далее электроны и дырки двигаясь под действием внутреннего электрического поля в диоде создает фототок. Кроме этого фототока, несколько другие важные параметры возникают если это устройство рассматривать не только диод но и как солнечный элемент.

Краткое объяснение используемой в дальнейшем терминологии и основных принципов:

1. Ток короткого замыкания ( $I_{sc}$ ) есть ток создаваемой солнечным элементом при коротком замыкании внешней цепи, т.е. когда внешнее сопротивление равно нулю.
2. Напряжение открытой цепи ( $V_{oc}$ ) есть выходное напряжение солнечного элемента, когда внешняя цепь открыта, т.е. когда сопротивление внешней нагрузки бесконечно большой.
3. Максимальная выходная мощность ( $P_m$ ) солнечного элемента есть - максимальное значение произведения ( $I \times V$ )
4. Фактор заполнения ( $FF$ ) определяется как  $P_m / (I_{sc} V_{oc})$  и является важным параметром используемой при оценке качества солнечного элемента.

5. Так как фототок является результатом поглощения фотонов полупроводником, то спектральная чувствительность фототока может быть использована для определения величины запрещенной зоны полупроводника. Знание величины запрещенной зоны позволяет определить, какой полупроводниковый материал использован в данном элементе.
6. Некоторые внутренние фотоны, энергия которых больше чем энергия запрещенной зоны, может внести вклад в фототок ( $I_{ph}$ ) солнечного элемента следующим образом

$$I_{ph} \sim \int_{\lambda_c}^{\lambda_0} N(\lambda) d\lambda$$

где  $N(\lambda)$  число электронов рожденной фотонами с длиной волны  $\lambda$ , а  $\lambda_c$  есть срезающая длина волны светофильтров, ниже которых он не пропускает (их значения см. На рис.2, рис.3, и рис. 4),  $\lambda_0$  – длина волны больше чем срезающая длина, которое еще может внести вклад в фототок.  $N(\lambda)$  приблизительно постоянно при видимой части спектра и каждый оптически фильтр позволяет в этом эксперименте срезать вес свет с длиной волны меньше чем  $\lambda_c$ . Следовательно спектральная зависимость фототока  $I_{ph}$  когда свет падает через светофильтр может быть упрощено в виде

$$I_{ph} \sim (\lambda_0 - \lambda_c)$$

7. Энергия фотона  $E$ , связана с его длиной волны следующим образом  $E=1240/\lambda$ , где в этой формуле  $\lambda$  измеряется в единицах *нм* (т.е.  $10^{-9}$  м), а энергия  $E$  измеряется в *эВ*

## II. МАТЕРИАЛЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Солнечный элемент в черном ящике с двумя выводами для соединения
2. Два мультиметра
3. Комплект двух батарей
4. Переменный резистор ( 0 – 5 кОм ) ( **Внимание: Не соединять центральный (красный) вывод переменного резистора напрямую с батарей, резистор могут повредиться** )
5. Источник белого света с выключателем
6. Два поляризатора (Указание: эти поляризаторы, используемой для изменения потока света эффективно при длине волны меньше, чем длина волны желтого цвета)
7. Красный, оранжевый и желтый светофильтры ( Их спектральные характеристики приведены на рис.2, рис.3, и рис.4)
8. Оптическая стойка для крепления поляризаторов и фильтров (Указание: Фильтры и поляризаторы могут крепиться одновременно)
9. Оптическая скамья
10. 6 маленьких пружин для быстрого соединения проводов цепи
11. Линейка с длиной 45 см
12. Миллиметровка (10 листов), полулогарифмическая миллиметровка (5 листов)

### 13. Две светозащитные доски

(Указание: Во избежание повреждения из-за перегрева поляризаторы и фильтры должны быть установлены на не очень близком расстоянии от источника)

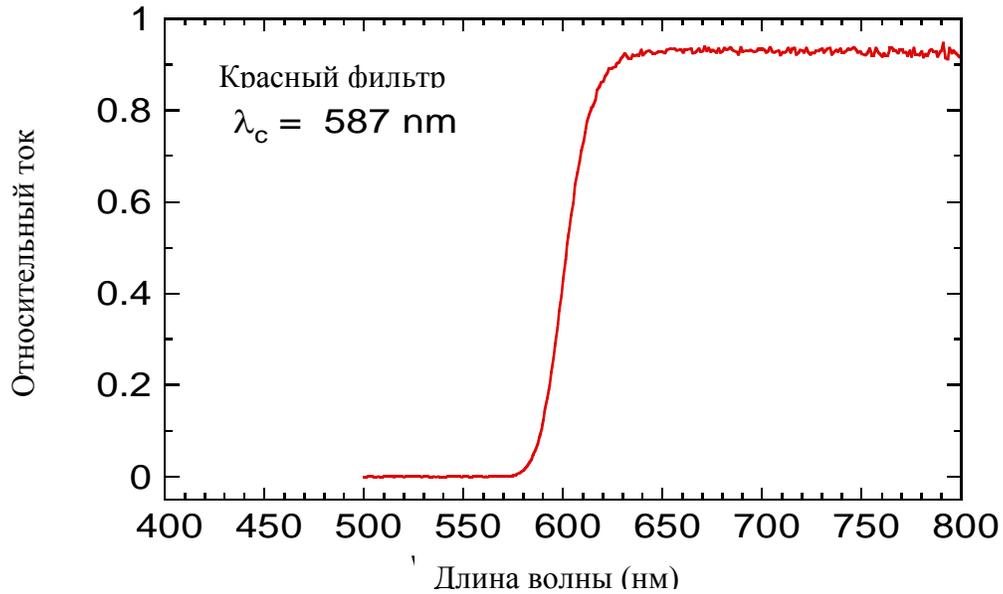


Рис.2

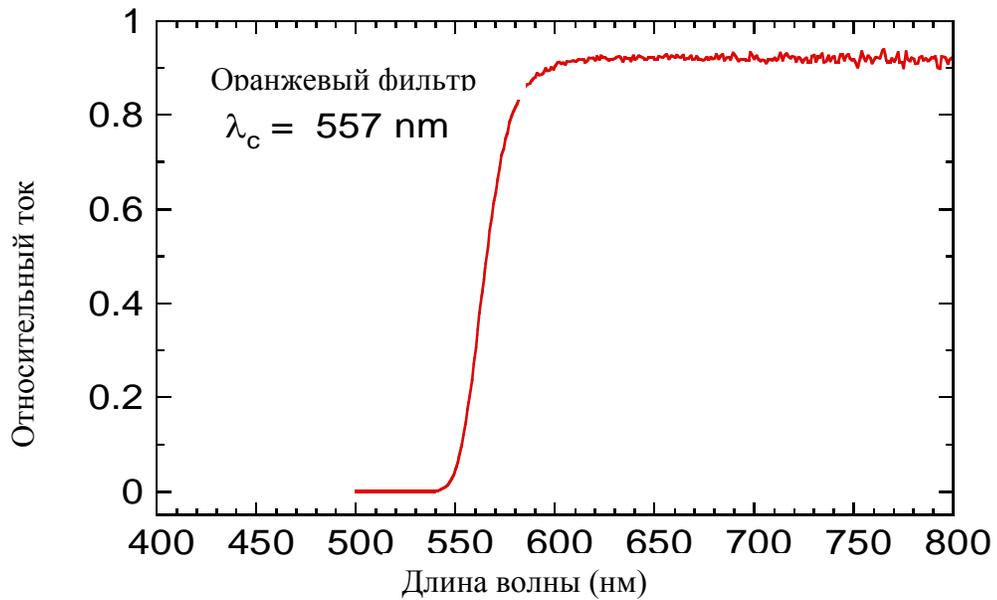


Рис.3

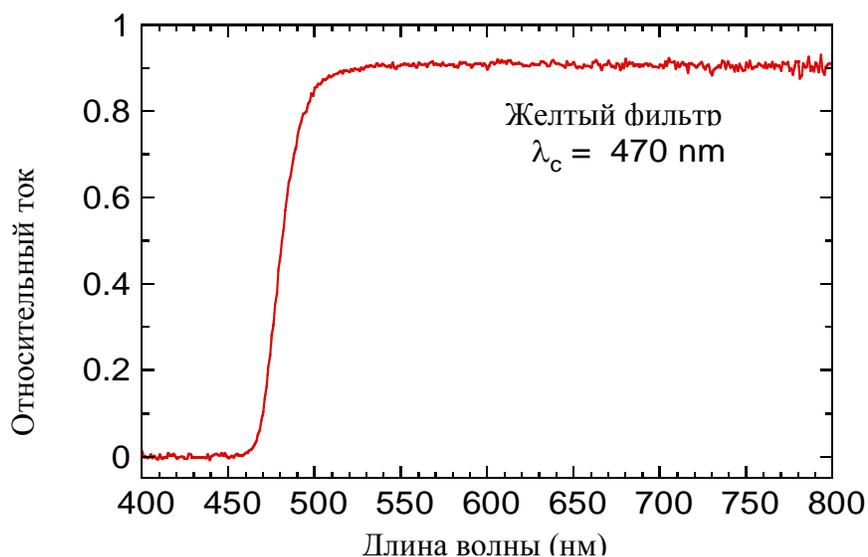


Рис.4

### III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1. ( 3 балла ) Измерить вольтамперную (I-V) характеристику солнечного элемента используемого как диода, причем с правильным направлением тока (**forward biased**) без включения лампочки.
  - a) Нарисовать схему электрической цепи, который Вы используете.
  - b) Построить вольтамперную (I-V) характеристику с погрешностью и отсюда определить значения  $\beta$  и  $I_0$ .
2. ( 7 баллов ) Измерить вольтамперную (I-V) характеристику солнечного элемента, без включения батарей, при белом цвете лампочки (*Предупреждение*: расстояние между источником света и солнечного элемента в ящике должен быть 30 см, как показано на рис.5)

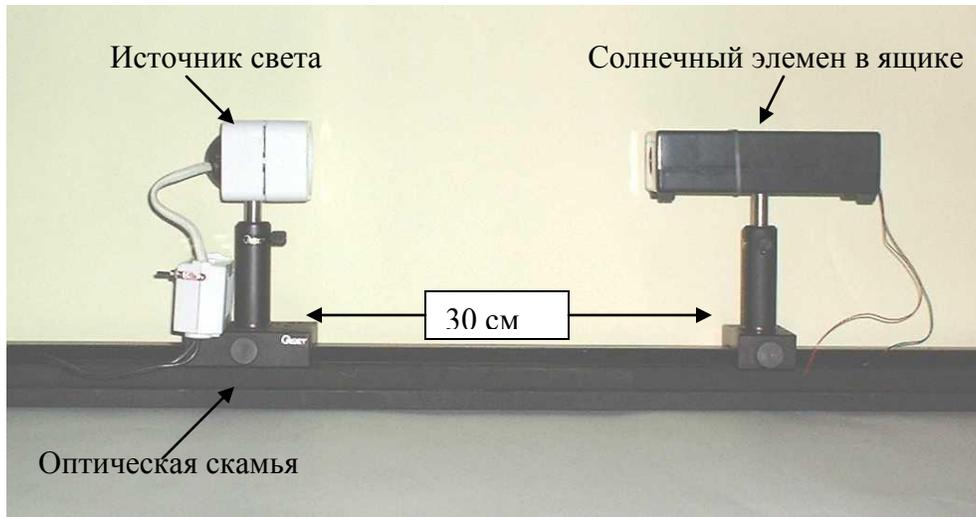


Рис.5

- a) Нарисовать схему цепи, который Вы будете использовать.
  - b) Измерить ток короткого замыкания, обозначаемой буквой ,  $I_{sc}$ .
  - c) Измерить напряжение открытой цепи, обозначаемой буквой  $V_{oc}$ .
  - d) Измерить зависимость тока  $I$ , от  $V$  постепенно меняя его значение с помощью переменного резистора и построить график зависимости  $I$ - $V$ .
  - e) Определить максимальную выходную мощность для солнечного элемента
  - f) Определить значение переменного сопротивления соответствующего максимуму выходной мощности
  - g) Вычислить, так называемый, фактор заполнения, по формуле  $FF = P_m / (I_{sc} V_{oc})$
3. ( 3 балла ) Особенность солнечного элемента позволяет его рассмотреть одновременно как источника тока (при падении на него света), как диода, как параллельно соединенного шунта с сопротивлением  $R_{sh}$ , а также как последовательно соединенного сопротивления  $R_s$ /
- a) Нарисуйте эквивалентную схему соответствующему такому общему случаю, считайте что свет, на солнечный элемент падает
  - b) Для эквивалентной схемы, как контурной и разветвленной цепи, записать выражение зависимости тока  $I$  и напряжении  $V$ . Выражение должен также включать  $R_{sh}$  ,  $R_s$  ,  $I_{ph}$  (фототок), и  $I_d$  (ток пропускания элемента, как диода)
  - c) Считая, что  $R_{sh}$  и  $R_s$  пренебрежимо мало, показать, что вышеуказанный зависимость может быть записан в виде:
- $$V_{oc} = \beta^{-1} \ln \left( \frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right)$$
- где  $V_{oc}$  – напряжение открытой цепи,  $I_{sc}$  – ток короткого замыкания , а  $\beta$  и  $I_0$  - постоянные
4. ( 4 балла ) Исследование эффектов зависящих от интенсивности падающего света

- a) Измерить и построить зависимость  $I_{sc}$  от относительной интенсивности света и определить приближенную функциональную зависимость между  $I_{sc}$  и относительной интенсивности света
  - b) Измерить и построить зависимость  $V_{oc}$  от относительной интенсивности света и определить приближенную функциональную зависимость между  $V_{oc}$  и относительной интенсивности света
5. ( 3 балла ) Исследовать чувствительность солнечного элемента к длине волны.
- a) Измерить и построить зависимость  $I_{sc}$  от длины волны, используя трех оптических фильтров
  - b) Оценить длину волны, при котором эффективно будет функционировать солнечный элемент
  - c) Определить из какого полупроводникового материала сделан солнечный элемент (Указание: Величина запрещенной зоны для некоторых полупроводников следующий – InAs: 0.36 эВ , Ge: 0.67 эВ , Si: 1.1 эВ , аморфной Si(a-Si:H) : 1.7 эВ, GaN : 3.5 эВ )