



Тема: фотоприемники и солнечные батареи

Студента гр. 21301 Ипатова Дмитрия



Часть 1: фотоприёмники

Введение

Оптоэлектронные приборы – это устройства, чувствительные к электромагнитному излучению в видимой инфракрасной и ультрафиолетовой области, преобразующие оптическое излучение в электрический сигнал и наоборот, электрический сигнал в оптическое излучение. К первому виду оптоэлектронных приборов относятся фотоприёмники и солнечные батареи, ко второму виду – светодиоды и полупроводниковые лазеры. Для преобразования оптического излучения в электрический сигнал используется межзонное поглощение квантов света в полупроводниках, как наиболее эффективный канал преобразования энергии. При поглощении света генерируются неравновесные – p - и n - носители. В фотоприёмных устройствах как правило используется принцип регистрации не основных носителей заряда. Наиболее распространённые реализуются на основе диодных структур.

Фотоэлементы

- Фотоэлементами называют фотодиоды, фоторезисторы, фототранзисторы и другие светочувствительные приборы, используемые в электронной автоматике в качестве датчиков устройств, реагирующих, например, на изменение интенсивности освещения.

На барьере Шоттки



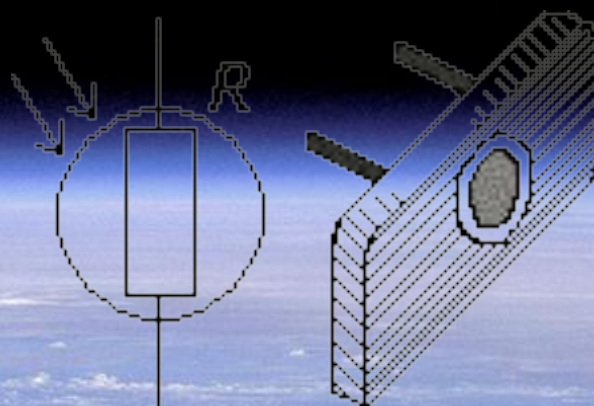
Для обеспечения эффективного приема оптического излучения используют тонкие слои металла. В области пространственного заряда диода с барьером Шоттки на основе полупроводника n-типа при обратном смещении генерируемые электронно - дырочные пары разделяются электрическим полем, и дырки выбрасываются в металлический контакт, а электроны - в базу. Так как ОПЗ имеет малую ширину и примыкает к светоприёмной поверхности, то такие фотодиоды обладают высокой квантовой эффективностью и высоким коэффициентом поглощения в области малых длин волн. Оптическое излучение полностью поглощается в ОПЗ фотодиода. Их можно использовать для детектирования оптического излучения при высоких частотах модуляции.

На гетеропереходах



Полупроводник с более широкой запрещенной зоной используется как окно, которое пропускает оптическое излучение с энергией, меньшей чем ширина запрещенной зоны без заметного поглощения. И тогда эффективность фотодиода будет зависеть только от того, на каком расстоянии расположен р-n переход от светоприёмной поверхности. Важно использовать гетеропереход с малой величиной обратного темнового тока, которую можно обеспечить, сводя к минимуму плотность граничных состояний, ответственных за появление, например, части тока, обусловленной фотогенерацией электронно-дырочных пар в ОПЗ р-n перехода. Это обеспечивается за счет согласования постоянных решеток обоих полупроводников.

Фоторезисторы



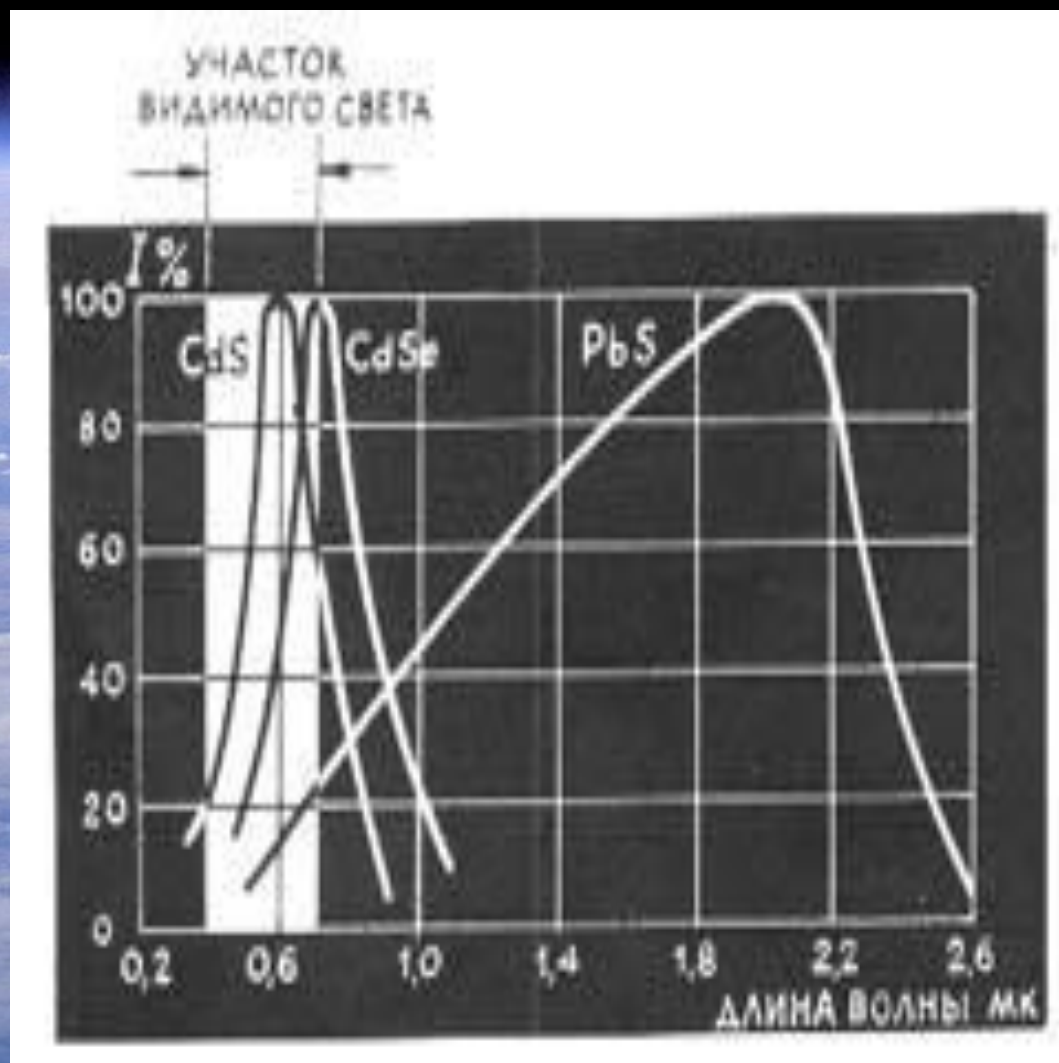
- это дискретные светочувствительные резисторы, действие которых основано на изменении проводимости полупроводникового материала под действием светового излучения. Он представляет собой пленку из специального полупроводникового материала (сернистый свинец, селенид кремния, сернистый кадмий), обладающего очень высокой чувствительностью к лучам света, которую наносят на стекло или керамику. Будучи включенным в цепь источника постоянного или переменного напряжения, фоторезистор изменяет свое сопротивление и ток в цепи в зависимости от интенсивности света.

Основные параметры

- U_p — рабочее напряжение — это постоянное напряжение, приложенное к фоторезистору, при котором обеспечены номинальные значения его параметров при длительной работе;
- U_{max} — максимально допустимое напряжение — это максимальное значение постоянного напряжения, приложенного к фоторезистору, при котором обеспечена заданная надежность при длительной работе;
- $I_{св}$ — световой ток — ток, протекающий через фоторезистор при рабочем напряжении и воздействии потока излучения заданной интенсивности и спектрального распределения;
- I_m — темновой ток — ток, протекающий через фоторезистор при рабочем напряжении в отсутствие потока излучения в диапазоне спектральной чувствительности;
- R_m — темновое сопротивление — сопротивление фоторезистора в отсутствие падающего на него излучения в диапазоне его спектральной чувствительности;
- $t_{сп}$ — постоянная времени по спаду тока — время, в течение которого световой ток уменьшается до значения 37 % от максимума при затемнении фоторезистора;
- t_n — постоянная времени по нарастанию тока — время, течение которого световой ток увеличивается до значения 63% от максимума при прямоугольной форме единичного импульса света;
- Основные характеристики фоторезисторов — спектральная, люкс-амперная, вольтамперная.

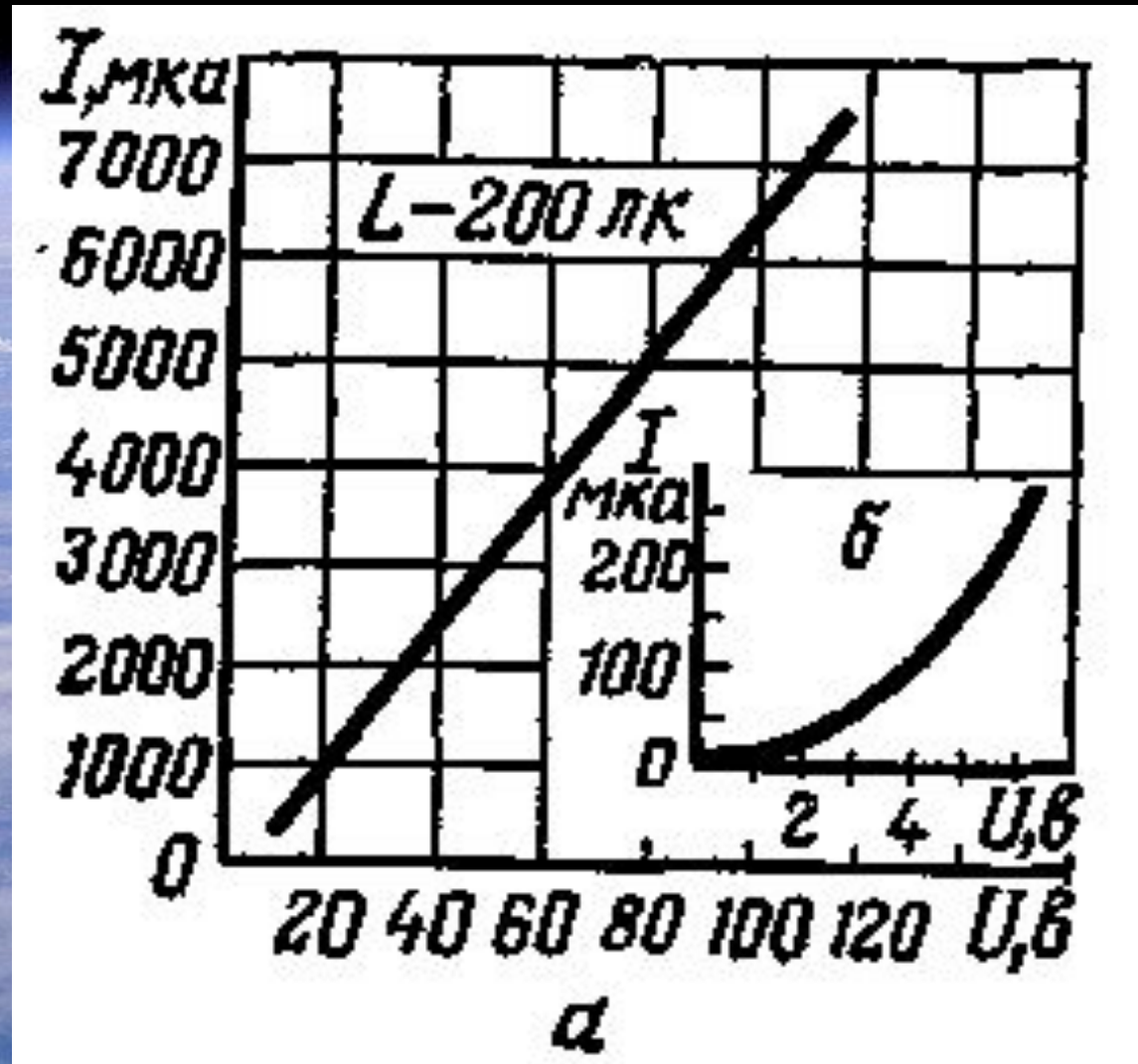
Спектральная характеристика

характеристика отображает чувствительность фоторезистора при действии на него излучения определенной длины волны. Чувствительность зависит от самой области спектра материала светочувствительного элемента. Сернисто-кадмиевые фоторезисторы имеют высокую чувствительность в видимой области спектра, селенисто-кадмиевые — в красной и ближней инфракрасной областях, сернисто-свинцовые инфракрасной области спектра.



Вольтамперная характеристика

- Вольтамперная характеристика фоторезисторов показывает зависимость светового тока, протекающего через резистор, от приложенного к нему напряжения. Вольтамперная характеристика фоторезисторов линейна в широком интервале напряжения. Линейность нарушается только при малых значениях напряжения.



Люкс-амперная характеристика

Люкс-амперная характеристика фоторезисторов показывает зависимость светового тока, протекающего через резистор, от освещенности. Полупроводниковые фоторезисторы имеют обычно нелинейные люкс-амперные характеристики

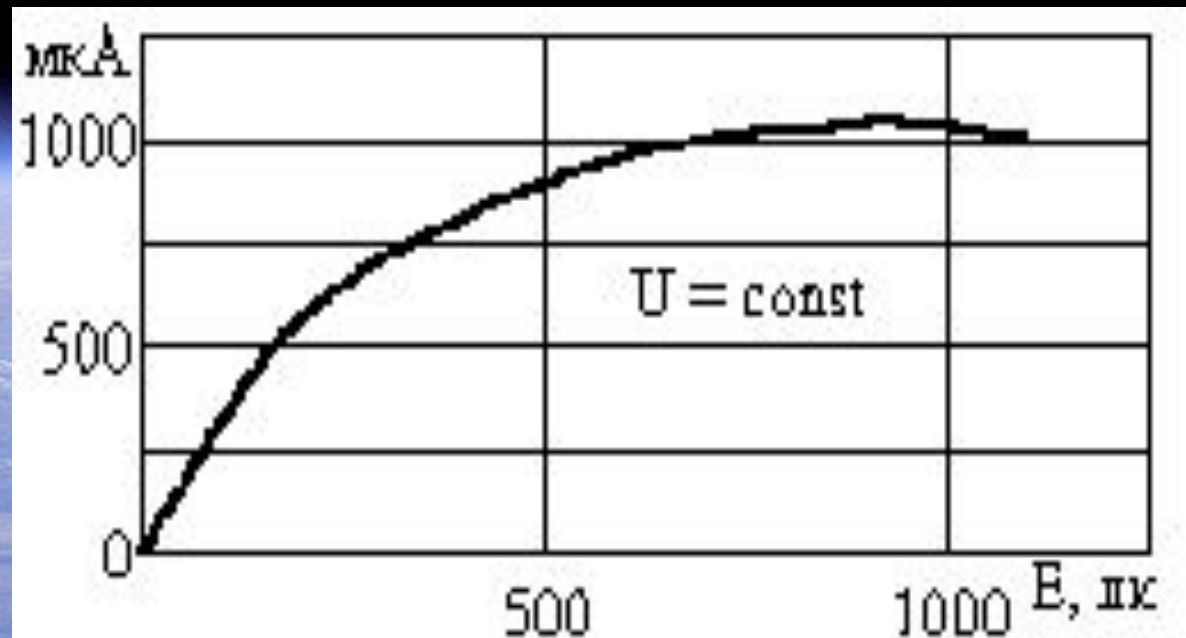
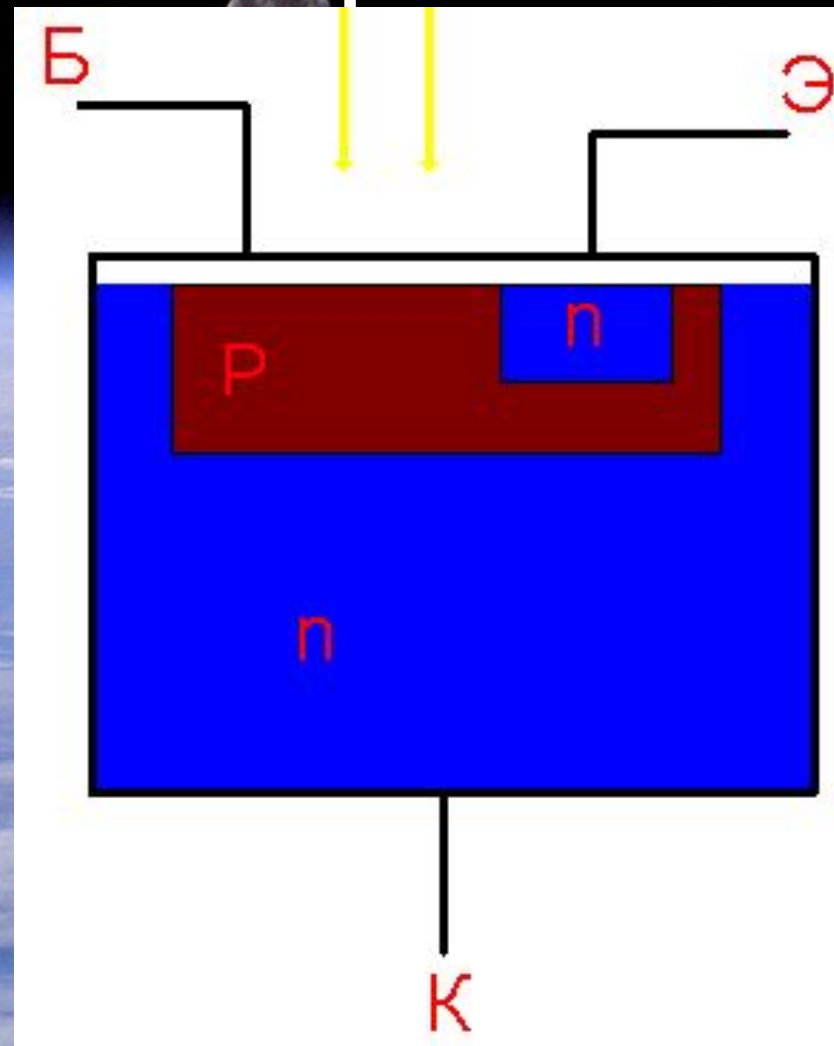


Рис. 5.

Световая характеристика фоторезистора

Фототранзисторы

- действует также как и остальные фотодетекторы, однако транзисторный эффект обеспечивает усиление фототока. По сравнению с фотодиодом фототранзистор более сложен в изготовлении и уступает ему в быстродействии. Фототранзистор особенно эффективен, так как обеспечивает высокий коэффициент преобразования по току (50% и более). В режиме работы с плавающей базой фотоносители дают вклад в ток коллектора в виде фототока. Кроме того, дырки фотогенерируемые в базе, приходящие в базу из коллектора, уменьшают разность потенциалов между собой и эмиттером, что приводит к инжекции электронов через базу в коллектор.



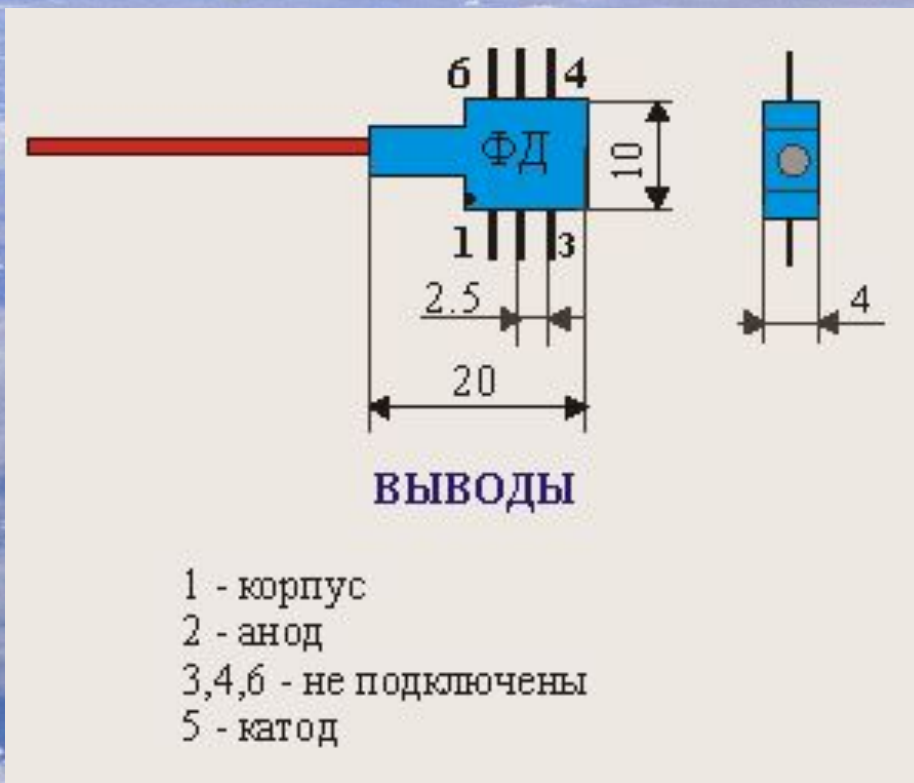
Интегральная реализация

- Биполярный транзистор может быть интегрально совмещен с другими приборами. Например, используя дополнительный транзистор, можно сформировать составной фототранзистор с существенно большим коэффициентом усиления. Быстродействие рассмотренных структур ограничивается большой емкостью перехода база - коллектор и уменьшается при увеличении усиления за счет эффекта обратной связи.

ФОТОДИОДЫ

Это полупроводниковые диоды, используемые для регистрации оптических сигналов

В фотодиодах на основе p-n – переходов используется эффект разделения на границе электронно-дырочного перехода созданных оптическим излучением неосновных неравновесных носителей.

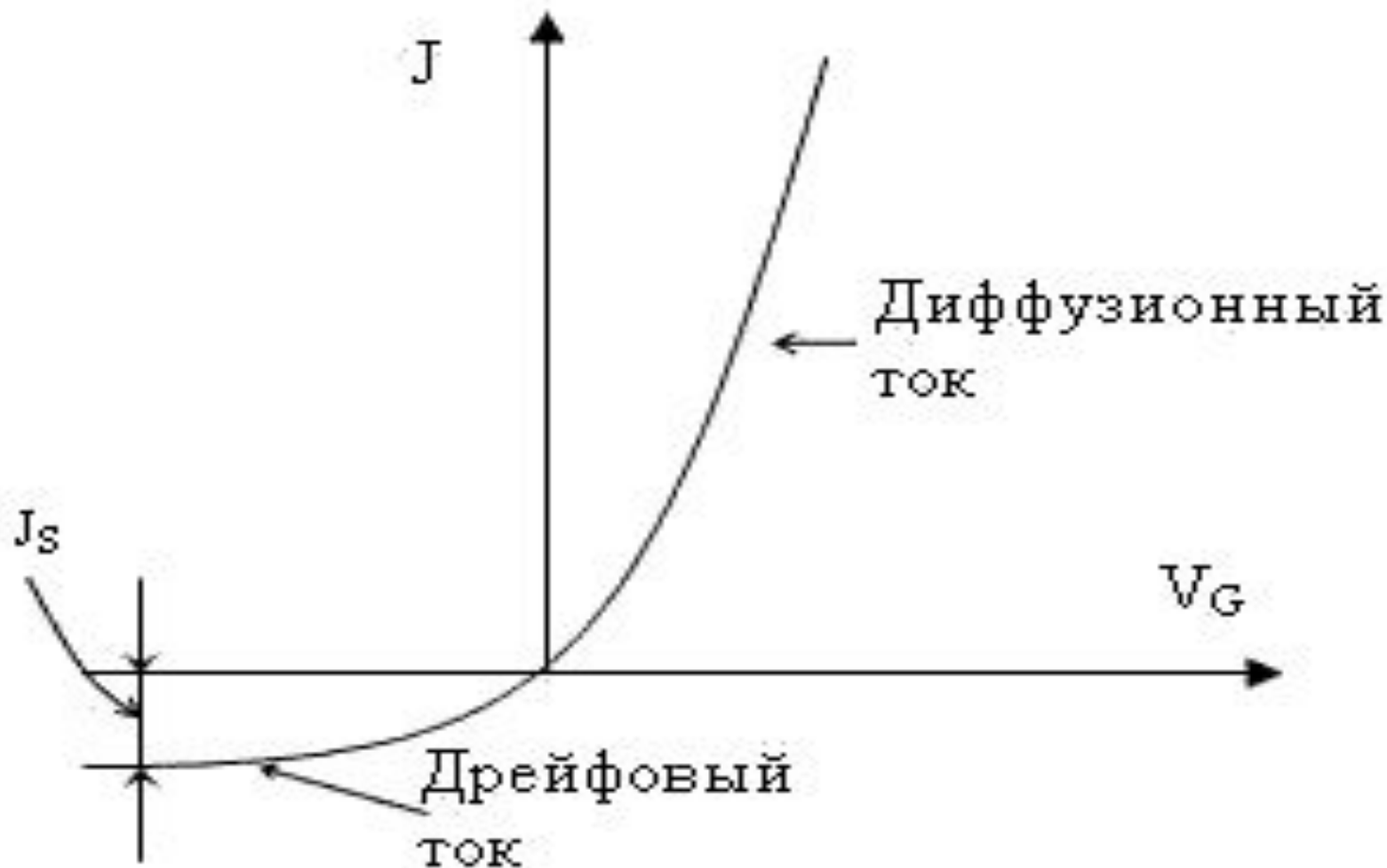


Физические основы работы фотодиода

- При контакте двух полупроводников с разными типами проводимости вследствие разности термодинамических работ выхода $\Phi_{n\text{-тип}} < \Phi_{p\text{-тип}}$ произойдет перераспределение свободных зарядов и возникнет область пространственного заряда Q_1 и Q_2 . При этом положительный заряд Q_1 образован нескомпенсированными донорами, а отрицательный заряд Q_2 образован нескомпенсированными акцепторами. Объемный заряд создает электрическое поле, максимальное на границе $E_{\max}$ и линейно спадающее вглубь области пространственного заряда. .
- В условиях термодинамического равновесия в p-n-переходе существуют четыре компоненты тока: две - дрейфовые, две – диффузионные, образованные неосновными и основными носителями заряда. При приложении напряжения V_G равновесие нарушается и ВАХ диода будет иметь вид:

$$J = J_s \left(e^{\beta V_G} - 1 \right)$$

ВАХ диода на основе p-n – перехода



Фотодиод при освещении

- При попадании кванта света, с энергией $h\nu$ в полосу собственного поглощения в полупроводнике возникает пара неравновесных носителей – электрон и дырка. При этом регистрируется изменение концентрацией носителей. Изменение концентрации неосновных носителей дает изменение фототока, не зависящего от полярности и величины приложенного напряжения, направлен от n – к p – области полупроводника.

Ограничение по применению

- Две характеристики р-n-фотодиодов ограничивают их применение в большинстве волоконно-оптических приложений. Во-первых, обедненная зона составляет достаточно малую часть всего объема диода, и большая часть поглощенных фотонов не приводит к генерации тока во внешнем контуре. Возникающие при этом электроны и дырки рекомбинируют на пути к области сильного поля. Для генерации тока достаточной силы требуется мощный световой источник. Во-вторых, наличие медленного отклика, обусловленного медленной диффузией, замедляет работу диода, делая его непригодным для средне- и высокоскоростных применений. Это позволяет использовать фотодиод на основе р-n – перехода только в килогерцовом диапазоне.



Часть 2: Солнечные батареи

Введение

- *Альтернативные и возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра и солнечного света, гидро- и геотермальная энергия, во всем мире привлекают все больше внимания. Растущий интерес к ним вызван экологическими соображениями, и ограниченностью традиционных земных ресурсов. Особое место среди альтернативных и возобновляемых источников энергии занимают фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии.*
- *1954 г – Чапен, Фуллер и Пирсон – создают первый солнечный элемент на основе диффузионного кремниевого p-n - перехода. Впоследствии Рейнольдс и др. разработали солнечный элемент на сульфиде кадмия. Затем солнечные элементы были созданы на многих других полупроводниках с использованием различных конструкций прибора и применением монокристаллических и поликристаллических материалов и аморфных тонкопленочных структур.*

*полупроводниковый
фотоэлектрический
генератор, непосредственно
преобразующий энергию
солнечной радиации в
электрическую.*



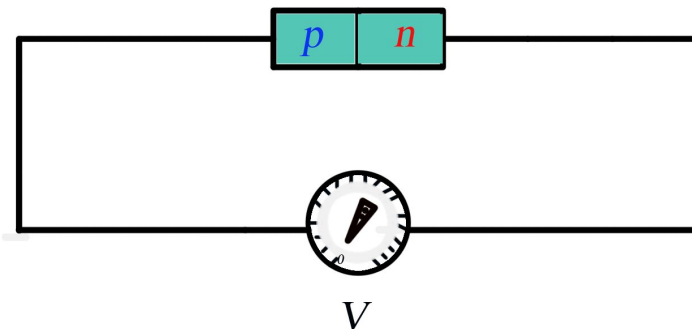
- *Солнечная батарея представляет собой плоскую панель, состоящую из размещенных вплотную фотоэлементов и электрических соединений, защищенную с лицевой стороны прозрачным твердым покрытием. Число фотоэлементов в батарее может быть различным, от нескольких десятков до нескольких тысяч.*



Солнечные батареи на Международной космической станции

- Электрический ток в солнечной батарее возникает в результате процессов, происходящих в фотоэлементах при попадании на них солнечного излучения.

- Действие солнечных элементов основано на использовании явления внутреннего фотоэффекта - перераспределения электронов по энергетическим состояниям в конденсированной среде, происходящего при поглощении электромагнитного излучения).



Вентильный фотоэффект

В солнечных элементах используется вентильный (барьерный) фотоэффект (заключается в возникновении электродвижущей силы в р-п переходе под действием света).

Энергетические характеристики солнечных батарей определяются *полупроводниковым материалом*, конструктивными особенностями, количеством элементов в батарее.

Распространённые материалы:

✓ Si

- ✓ **Арсенид галлия** — один из наиболее перспективных материалов для создания высокоэффективных солнечных батарей. Это объясняется следующими его особенностями:
- почти идеальная для однопереходных солнечных элементов ширина запрещенной зоны 1,43 эВ;
 - высокая радиационная стойкость, что совместно с высокой эффективностью делает этот материал чрезвычайно привлекательным для использования в космических аппаратах;
 - повышенная способность к поглощению солнечного излучения: требуется слой толщиной всего в несколько микрон;
 - относительная нечувствительность к нагреву батарей на основе GaAs;
 - характеристики сплавов GaAs с алюминием, мышьяком, фосфором или индием дополняют характеристики GaAs, что расширяет возможности при проектировании солнечных элементов.

- ✓ **Поликристаллические тонкие пленки** также весьма перспективны для солнечной энергетики. Чрезвычайно высока способность к поглощению солнечного излучения у диселенида меди и индия (CuInSe_2) – 99 % света поглощается в первом микроне этого материала (ширина запрещенной зоны – 1,0 эВ).
- ✓ **Теллурид кадмия (CdTe)** – еще один перспективный материал для фотовольтаики. У него почти идеальная ширина запрещенной зоны (1,44 эВ) и очень высокая способность к поглощению излучения. Пленки CdTe достаточно дешевы в изготовлении.
- ✓ Среди солнечных элементов особое место занимают батареи, использующие **органические материалы**. Коэффициент полезного действия солнечных элементов на основе диоксида титана, покрытого органическим красителем, весьма высок – ~11 %.

Основные принципы работы солнечных батарей

структура

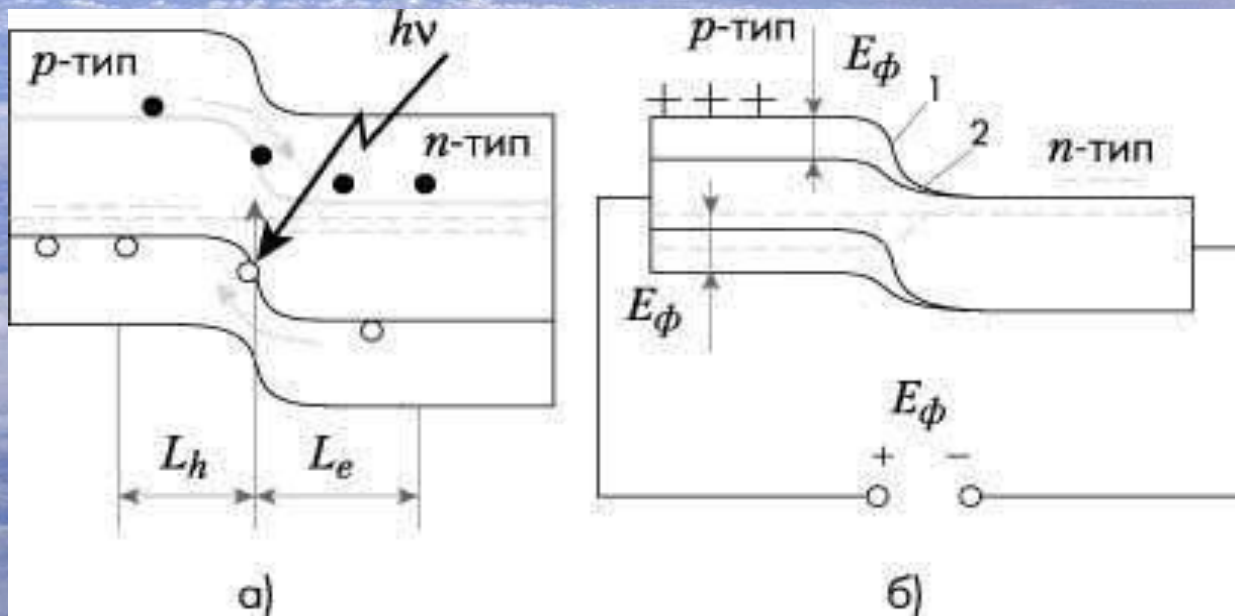
Элемент солнечной батареи

кремния **n-типа**, окруженную слоем кремния **p-типа** толщиной около одного микрона, с контактами для присоединения к внешней цепи.

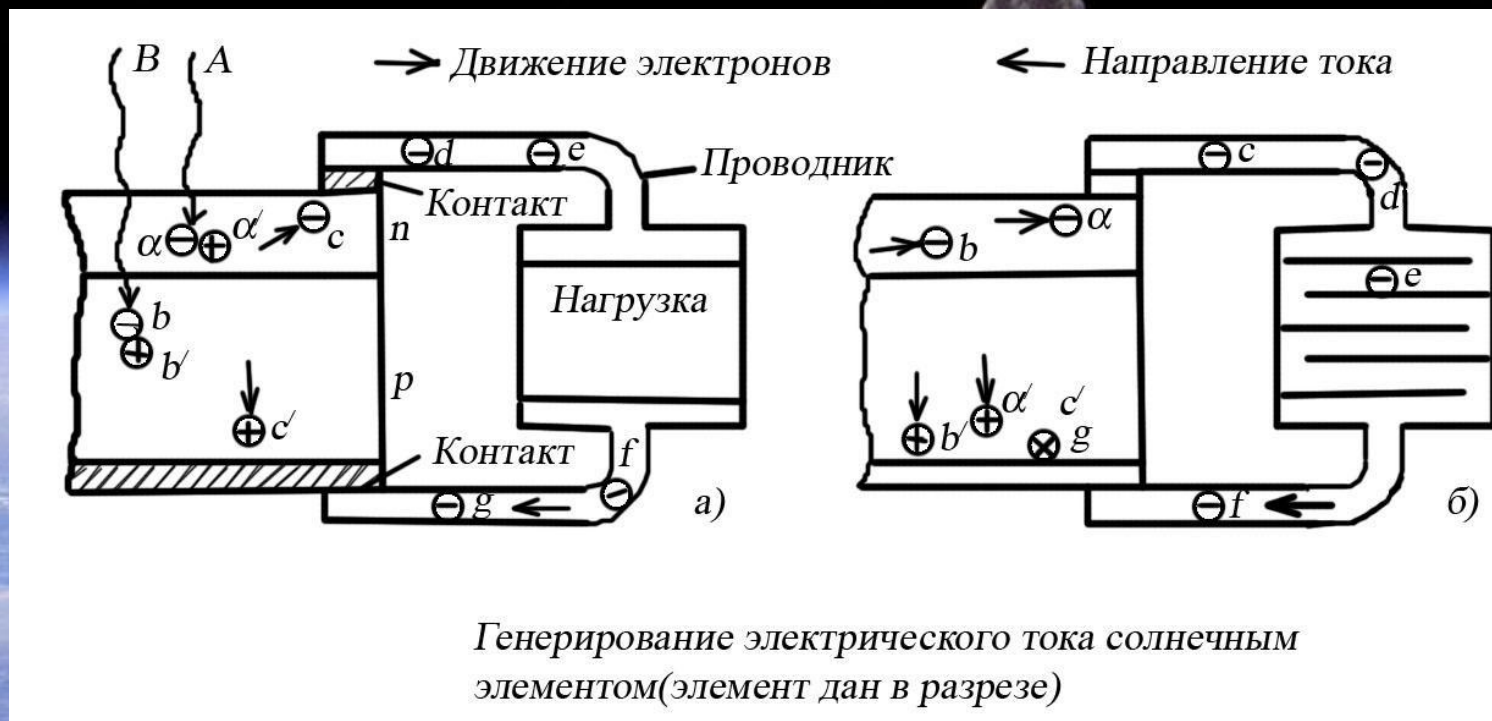
Когда СЭ освещается, поглощенные фотоны генерируют неравновесные электрон - дырочные пары. Электроны, генерируемые в **p-слое** вблизи **p-n-перехода**, подходят к **p-n-переходу** и существующим в нем электрическим полем выносятся в **n-область**.



Аналогично и избыточные дырки, созданные в **n-слое**, частично переносятся в **p-слой** (рис. а). В результате **n-слой** приобретает дополнительный отрицательный заряд, а **p-слой** – положительный. Снижается первоначальная контактная разность потенциалов между **p-** и **n-слоями** полупроводника, и во внешней цепи появляется напряжение (рис. б). Отрицательному полюсу источника тока соответствует **n-слой**, а **p-слой** – положительному.



Зонная модель разомкнутого p-n-перехода: а) - в начальный момент освещения; б) - изменение зонной модели под действием постоянного освещения и возникновение фотоЭДС



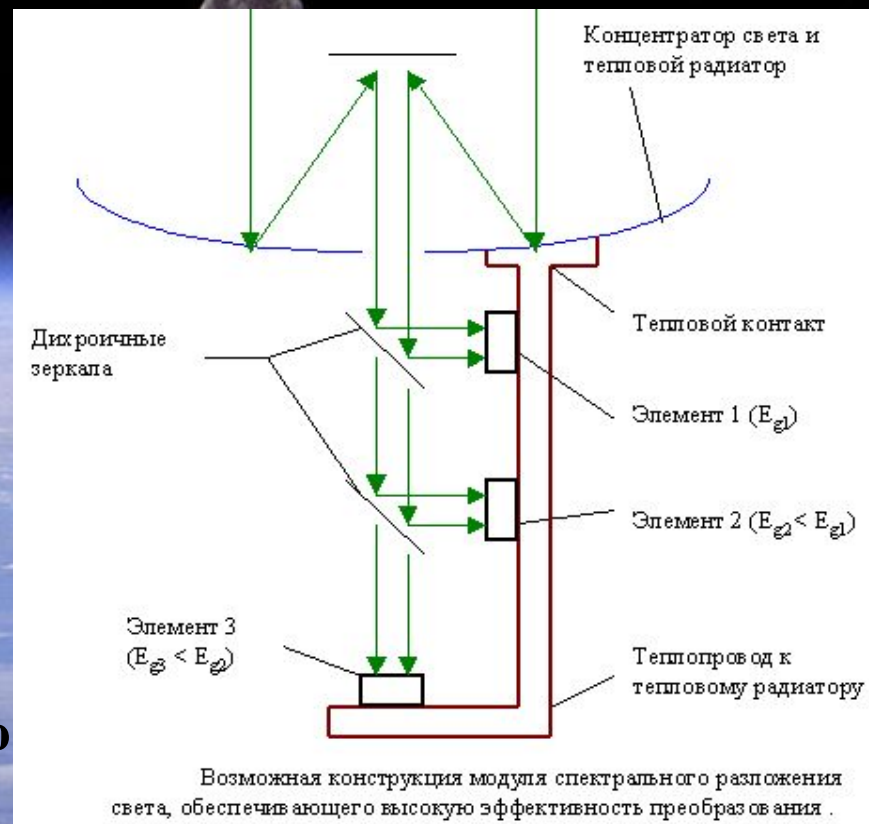
а — фотоны *A* и *B* образовали электронно-дырочные пары *αα'* и *bb'*. Электрон *c* и дырка *c'*, образованные предыдущим фотоном, движутся к контактам солнечного элемента. Электроны *d*, *e*, *f* и *g* перемещаются по внешней цепи, образуя электрический ток;

б — дырка, образованная фотоном *A*, прошла через переход и направляется к положительному контакту. Электрон, образованный фотоном *B*, также прошел через переход и движется к отрицательному контакту. Электрон *c* перешел из полупроводника в проводник. Электрон *g* перешел в полупроводник и рекомбинировал с дыркой *c'*.

Для повышения КПД и выходной мощности можно использовать многокаскадные солнечные элементы либо устройства спектрального разложения света.

В последнем случае солнечное излучение разлагается на много узких спектральных полос и излучение из каждой полосы преобразуется с помощью элемента, ширина запрещенной зоны которого выбрана наиболее оптимальной по отношению к спектральному составу данной полосы.

Дихроичные зеркала разлагают падающий свет, отражая фотоны с высокой энергией в элемент 1 и пропуская фотоны с низкой энергией к элементу 2, далее к элементу 3. При 1000-кратном концентрировании солнечного излучения значение к. п. д. при деление света на два спектральных диапазона ~60 %, а при делении на 10 полос он составляет ~85 %.

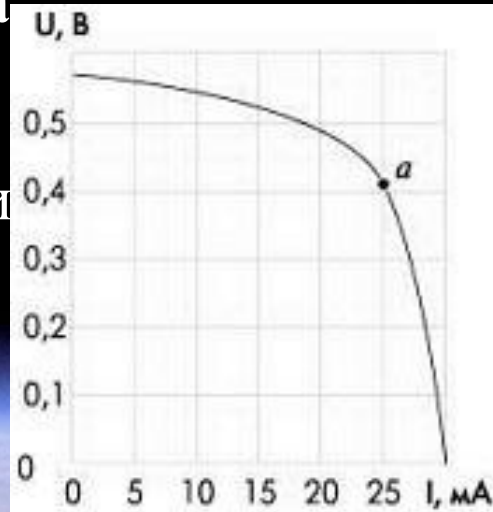


ВАХ солнечного элемента

Величина
установившейся
фотоЭДС при освещении
перехода излучением
постоянной
интенсивности

описывается уравнени-
ем вольт - амперной
характеристики (ВАХ):
$$U = (kT/q) \ln((I_{\phi} - I)I_s / +1)$$

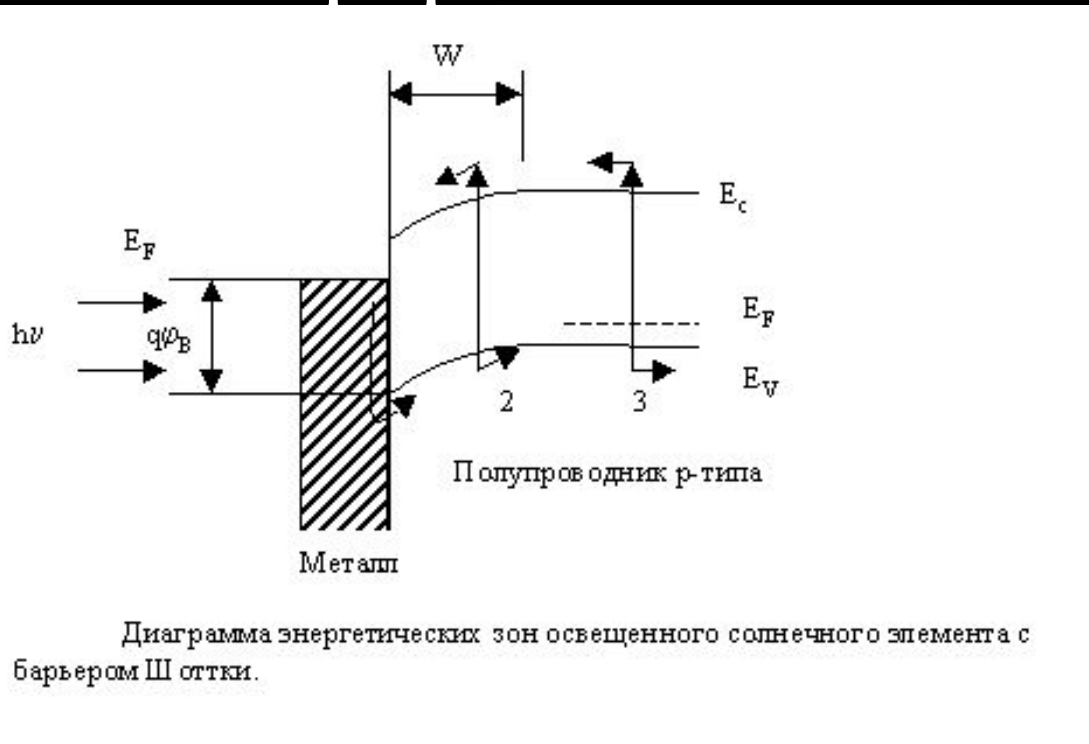
где I_s — ток насыщения, а
 I_{ϕ} — фототок.



Вольт-амперная характеристика солнечного элемента

Уравнение ВАХ справедливо и при освещении
фотоэлемента светом произвольного спектрального
состава, изменяется лишь значение фототока I_{ϕ} .
Максимальная мощность отбирается в том случае, когда
фотоэлемент находится в режиме, отмеченном точкой **а**.

Солнечные элементы на барьерах Шоттки



Две основные компоненты спектрального отклика (числа коллектируемых электронов, приходящихся на один падающий фотон с данной длиной волны) и фототока связаны с генерацией носителей в обедненном слое и в электронейтральной базовой области. Коллектирование носителей в объединённом слое происходит так же, как и в p-n-переходе.

Сильное поле в обеднённом слое выносит из него генерируемые светом носители еще до того, как они успевают рекомбинировать

оказывается равным $J_{av} = qT(\lambda)F(\lambda)[1 - \exp(-\alpha^*W)],$

где $T(\lambda)$ - коэффициент пропускания металлом монохроматического света с длиной волны λ . Фототок, создаваемый генерацией носителей в базовой области, описывается выражением

$$J_n = qT(\lambda)F(\lambda)[\alpha L_n / (\alpha L_n + 1)] \exp(-\alpha W)$$

Полный фототок равен сумме выражений (*) и (**).

Видно, что для увеличения фототока следует повышать коэффициент пропускания T и диффузионную длину L_n .

A photograph of Earth from space, showing a vast blue ocean and white clouds. The horizon is visible, and the Moon is seen in the black sky above. The text "Спасибо за внимание" is overlaid on the image.

Спасибо за
внимание