

СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ

Солнечные элементы

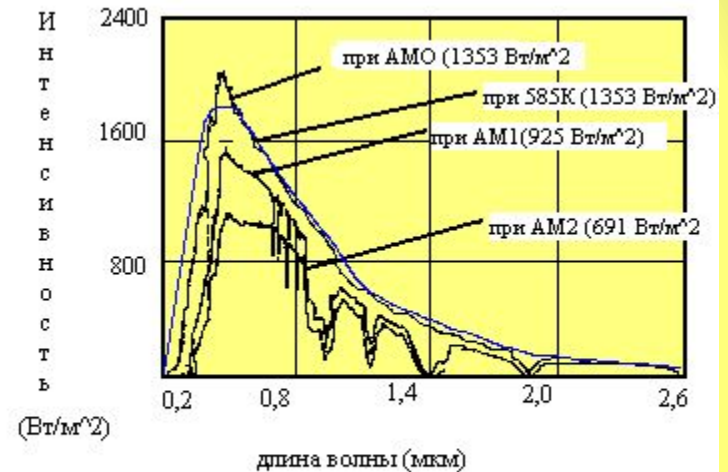
Ведение

- Солнечные батареи - тот же фотоприемник на p-n переходе, только его задача обеспечить $P_{\max}$ на выходе.



Характеристики излучения Солнца

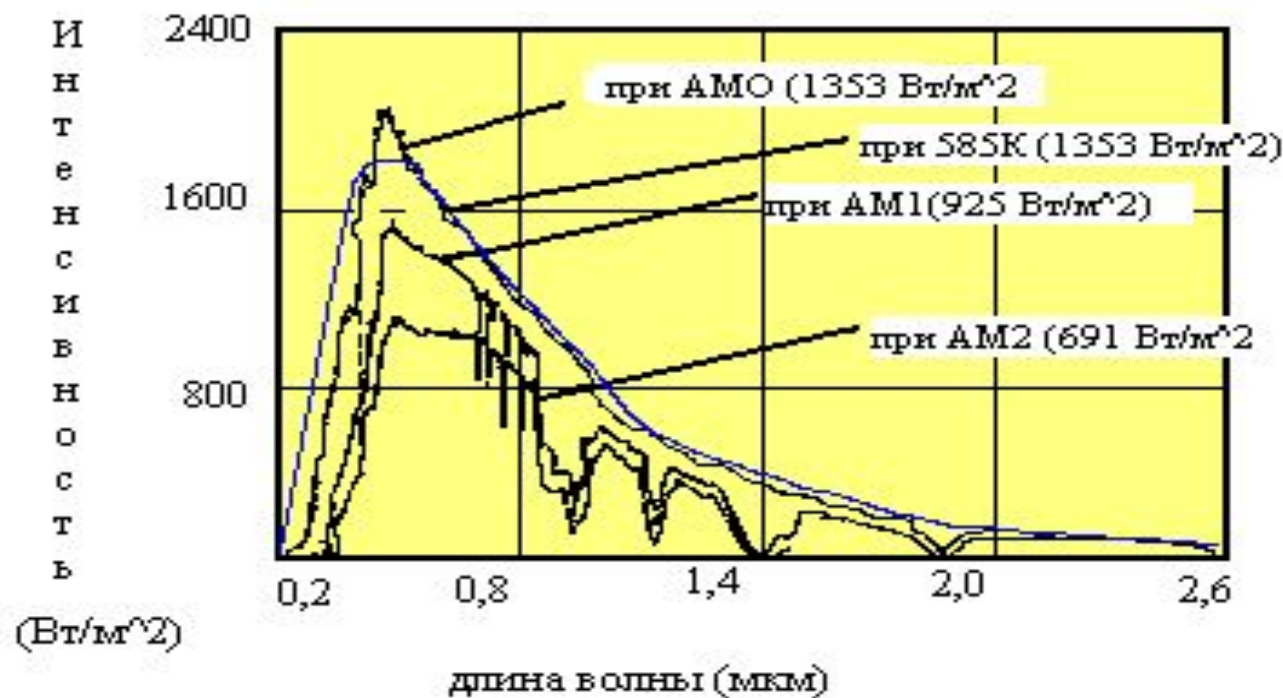
Спектр AM1 - когда солнце стоит в зените; при этом $P \sim 925 \text{ Вт/м}^2$. Спектр AM2 реализуется при $\mu = 60$; при этом $P \sim 691 \text{ Вт/м}^2$. Средняя интенсивность излучения на Земле примерно совпадает с интенсивностью излучения, прошедшего через воздушную массу AM1,5 ; при этом составляет $P \sim 844 \text{ Вт/м}^2$. Верхняя кривая соответствует солнечному спектру за пределами земной атмосферы, т.е. при нулевой воздушной массе (AM0). Это распределение можно аппроксимировать распределением интенсивности черного тела при температуре 5800 К. Спектр AM0 определяет работу солнечных батарей на спутниках и космических кораблях.



Распределение солнечной энергии по спектру

- Спектр AM1 соответствует распределению солнечного излучения на поверхности Земли, когда солнце стоит в зените; при этом полная мощность излучения составляет $\sim 925 \text{ Вт/м}^2$.

Характеристики излучения Солнца



Распределение солнечной энергии по спектру

На рисунке приведены четыре кривые, иллюстрирующие спектральное распределение интенсивности солнечного излучения (мощность на единицу площади в единичном интервале длин волн).

Характеристики излучения Солнца

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция – каждую секунду на Солнце $\sim 6 \cdot 10^{11}$ кг водорода превращается в гелий. Дефект массы при этом составляет 4000 кг, что согласно соотношению Эйнштейна $E=mc^2$ приводит к выделению $4 \cdot 10^{20}$ Дж энергии. Основная часть этой энергии испускается в виде электромагнитного излучения в диапазоне 0,2–3 мкм. Поскольку полная масса Солнца $\sim 2 \cdot 10^{30}$ кг, оно должно пребывать в достаточно стабильном состоянии свыше 10 млрд. лет с постоянным выделением энергии. Интенсивность солнечного излучения в свободном пространстве на удалении, равном среднему расстоянию между Землей и Солнцем, называется солнечной радиацией. Ее величина – 1353 Вт/м².

Характеристики излучения Солнца

При прохождении через атмосферу солнечный свет ослабляется в основном из-за поглощения инфракрасного излучения парами воды, ультрафиолетового излучения – озоном и рассеяния излучения частицами атмосферной пыли и аэрозолями. Показатель атмосферного влияния на интенсивность солнечного излучения, доходящего до земной поверхности, называется “воздушной массой” (АМ)

АМ определяется как секанс угла между Солнцем и зенитом.

Солнечные элементы с гетеропереходами

Гетеропереходы представляют собой переходы, образующиеся при контакте двух полупроводников с различными энергетическими положениями запрещенной зоны.

Фотоны с энергией, меньшей E_{g1} , но большей E_{g2} , будут проходить через слой первого полупроводника, который играет роль оптического окна, и поглощаются во втором полупроводнике. Носители, генерируемые излучением внутри обедненного слоя и в электронейтральном объеме полупроводника в пределах диффузионной длины от перехода, будут коллектироваться переходом подобно тому, как это имеет место в солнечных элементах с n - p-гомопереходами.

Солнечные элементы с гетеропереходами

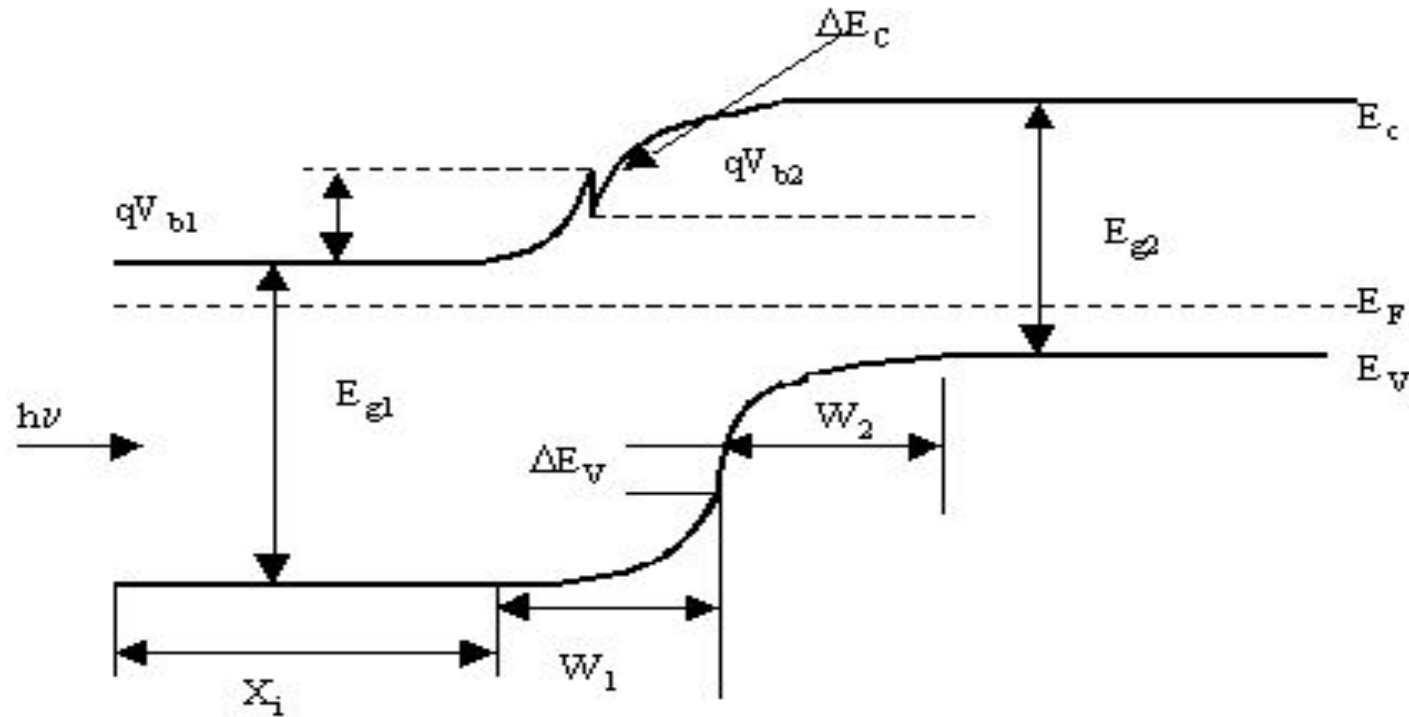


Рис. 22. Диаграмма энергетических зон n - p-гетеропереходов в состоянии термодинамического равновесия.

Фотоны с энергией, большей E_{g1} , поглощаются в первом полупроводнике, и переход будет коллектировать носители, генерируемые этим излучением на расстоянии от перехода, не превышающем диффузионную длину, либо непосредственно в области пространственного заряда перехода.

Солнечные элементы с гетеропереходами

Преимущества

- 1) в увеличении спектрального отклика в коротковолновом диапазоне при условии, что энергия E_{g1} достаточно велика и фотоны с высокой энергией поглощаются в обедненном слое второго полупроводника
- 2) в понижении последовательного сопротивления при условии, что первый полупроводник можно сильно легировать, не ухудшая при этом условия прохождения света через него
- 3) в высокой радиационной стойкости, если первый слой полупроводника достаточно толстый и полупроводник имеет широкую запрещенную зону.

Солнечные элементы на барьерах

Шоттки.

При этом слой металла должен быть достаточно тонким, чтобы основная доля света достигла полупроводника. Можно выделить три компоненты фототока. Одна из них обусловлена поглощением в металле фотонов с энергией $h\nu > q\phi_B$ ($q\phi_B$ - высота барьера), что вызывает возбуждение дырок через барьер в полупроводник (эта компонента на рис. 26 обозначена цифрой 1). Попадающий в полупроводник коротковолновый свет поглощается главным образом в обеднённом слое (соответствующий фототок на рис. 26 обозначен цифрой 2). Длинноволновый свет, поглощается в нейтральном объёме полупроводника, создаёт электронно-дырочные пары; затем электроны, так же как и в случае обычного p-n - перехода, диффундируют к краю обеднённого слоя, где происходит их коллектирование (этот фототок на рис. 26 обозначен цифрой 3).

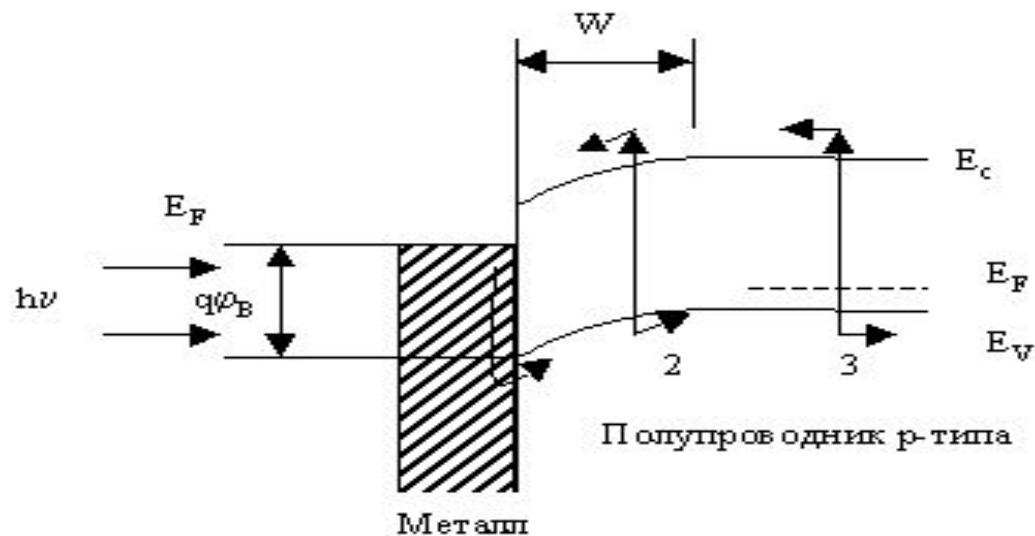


Рис. 26. Диаграмма энергетических зон освещенного солнечного элемента с барьером Шоттки.

Длинноволновый свет, поглощается в нейтральном объёме полупроводника, создаёт электронно-дырочные пары; затем электроны, так же как и в случае обычного р-п - перехода, диффундируют к краю обеднённого слоя, где происходит их коллектирование (этот фототок на рис. 26 обозначен цифрой 3).

В условиях, типичных для работы солнечных элементов, возбуждение светом носителей из металла в полупроводник составляет менее 1% полного фототока, и поэтому этим процессом можно пренебречь.

Солнечные элементы на барьерах Шоттки. Преимущества

- 1) изготовление таких элементов при низких температурах, поскольку отпадает необходимость в проведении высоковольтной операции - диффузии
- 2) применение данной технологии при создании поликристаллических и тонкоплёночных солнечных элементов

Солнечные элементы на барьерах Шоттки. Преимущества

- 3) высокая радиационная стойкость элементов, поскольку вблизи их поверхности существует сильное электрическое поле
- 4) большой выходной ток и хороший спектральный отклик, что также обусловлено непосредственным примыканием обеднённого слоя к поверхности полупроводника, вследствие чего ослабляется негативное влияние малых времен жизни и высокой скорости поверхностной рекомбинации.

КПД Солнечного элемента

ток I равен $I_{pe} + I_{ne} = q p_n D_n / L_p + q n_p D_n / L_n = I_\phi$

Причем I_ϕ не зависит от внешнего напряжения $V_G = \text{const}$. При освещении:

$$I = -I_\phi + I_o (e^{BV_G} - 1)$$

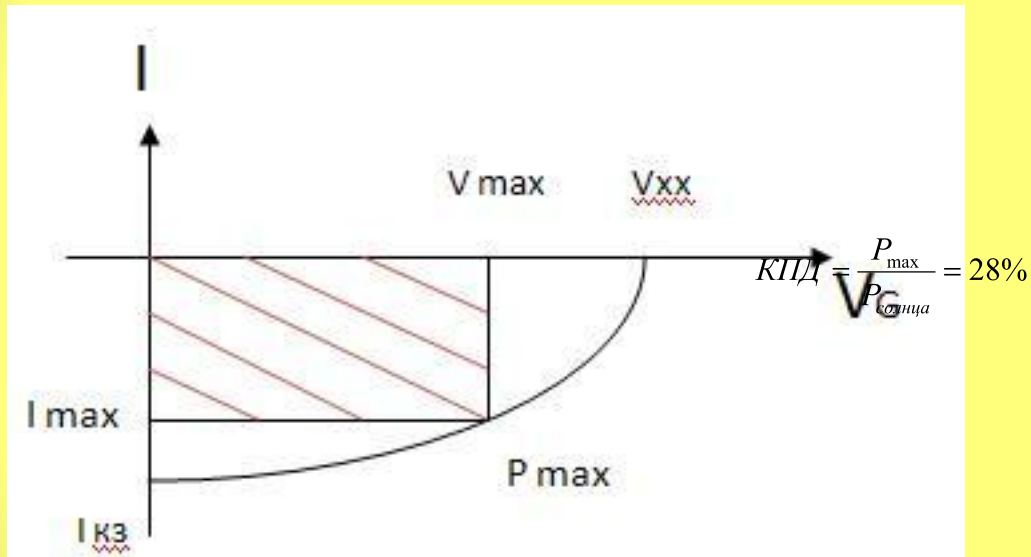
Если убрать нагрузку R_H то $I_\phi = I_{кз}$ тогда

$$\frac{kT}{q} \ln \frac{I + I_{кз}}{I_o} = V_G$$

V_g – Падение напряжения на нагрузке R_H

КПД Солнечного элемента

- При холостом ходе $I=0$: $V_{xx} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{\kappa 3}}{I_o}$



$$I_{\kappa 3} = \alpha \eta \tau_p \phi$$

V_G – в Вольтах

I – в миллиамперах

$$P = V_{xx} I_{\kappa 3}$$

- ВАХ солнечного элемента
- Концентрация света не увеличивает КПД
- КПД можно менять если применять различ
- ные материалы, т. к. у разных материалов разная E_g
- $\text{КПД}=28\%$ если это GaAs т.к. у него $E_g=1,4$ эВ

$$\text{КПД} = \frac{P_{\max}}{P_{\text{солнца}}}$$

Распространенные 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;
- повышенная способность к поглощению солнечного излучения: требуется слой толщиной всего в несколько микрон;
- высокая радиационная стойкость, что совместно с высокой эффективностью делает этот материал чрезвычайно привлекательным для использования в космических аппаратах;
- 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.

Распространенные материалы

- ✓ **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 %.

Принцип работы

Элемент солнечной батареи представляет собой пластинку 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.

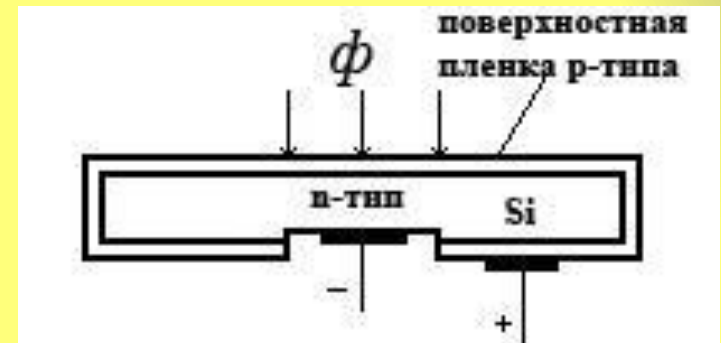
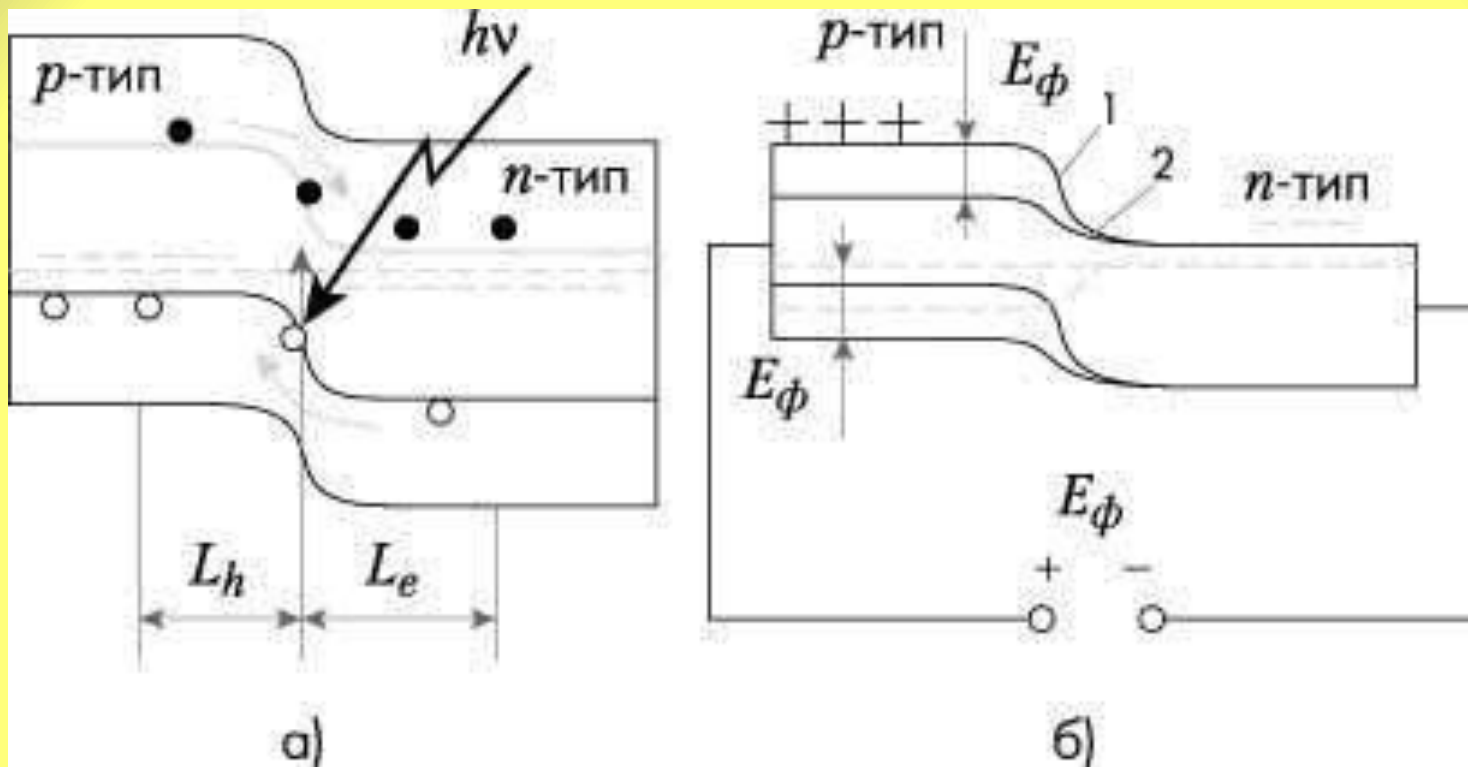


Схема устройства солнечного фотозлемента, действии которого основано на внутреннем фотоэффекте

Электроны, генерируемые в **p-слое** вблизи **p-n-перехода**, подходят к **p-n-переходу** и существующим в нем электрическим полем выносятся в **n-область**.

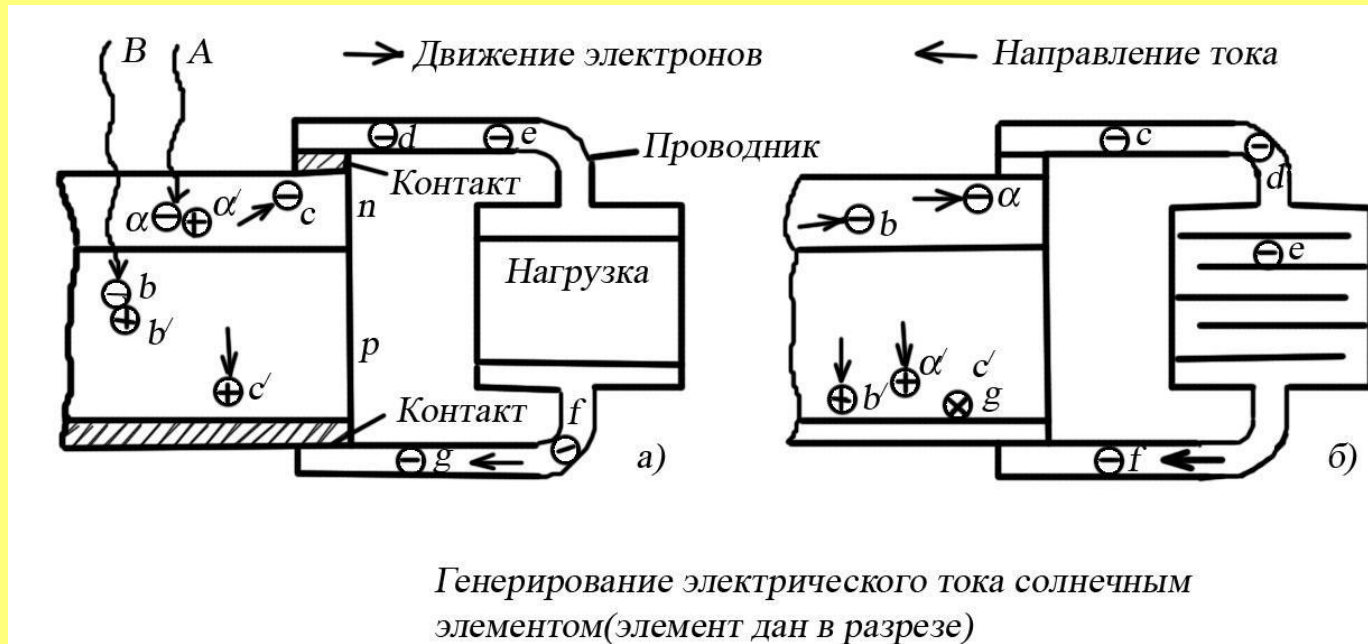
Принцип работы

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 р-п-перехода: а) - в начальный момент освещения; б) - изменение зонной модели под действием постоянного освещения и возникновение фотоЭДС

Генерирование электрического тока солнечным элементом



а — фотоны **A** и **B** образовали электронно-дырочные пары aa' 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' .

Основные параметры и характеристики фотоэлемента

1) Интегральная чувствительность – отношение фототока к вызывающему его световому потоку. Для определения этой чувствительности используют, как правило, эталонные источники света.

2) Спектральная чувствительность – величина, определяющая диапазон значений длин волн оптического излучения, в котором практически возможно использовать данный фотоэлемент

3) Вольтамперная характеристика – зависимость фототока от напряжения на фотоэлементе при постоянном значении светового потока.

4) Кпд, или коэффициент преобразования солнечного излучения – отношение электрической мощности, развиваемой фотоэлементом в номинальной нагрузке к падающей световой мощности.

Конструкция СБ

* Конструктивно солнечные батареи обычно выполняют в виде плоской панели из солнечных элементов, защищенных прозрачными покрытиями. Число этих элементов в батарее может достигать нескольких сотен тыс., площадь панели - десятков м^2 , генерируемая мощность - нескольких десятков кВт.

* Достоинства солнечных батарей - их простота, надёжность и долговечность, малая масса и миниатюрность солнечных элементов, генерирование энергии без загрязнения окружающей среды;

* Основной недостаток, ограничивающий развитие солнечной фотоэнергетики, - их пока ещё высокая стоимость.

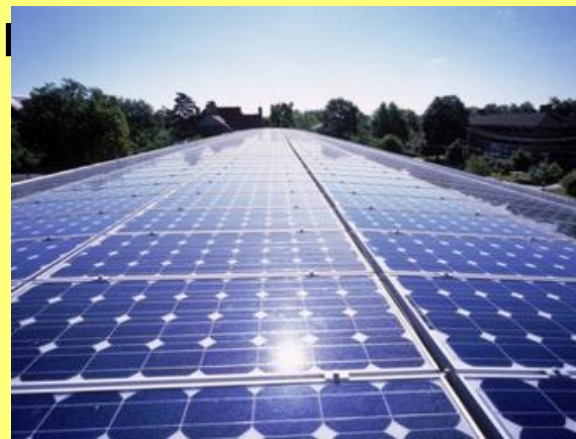
Применение



Главное применение СБ нашли в космонавтике, где они занимают доминирующее положение среди др. источников автономного энергоснабжения. СБ снабжают электроэнергией аппаратуру спутников и системы жизнеобеспечения космических кораблей и станций, а также заряжают электрохимические аккумуляторы, используемые на теневых участках орбиты.

Применение

В земных условиях С. б. используют для питания устройств автоматики, переносных радиостанций и радиоприёмников, для катодной антикоррозионной защиты нефте- и газопроводов. В Калифорнии суммарная мощность всех солнечных установок составляет 100 мегаватт и сравнима с мощностью небольшой атомной электростанции



Солнечные электростанции

Применение

Устройства, использующие энергию солнца, разработаны для отопления, освещения и вентиляции зданий, небоскрёбов, опреснения воды, производства электроэнергии. Такие устройства используются в различных технологических процессах.

Кроме традиционных кремниевых фотоэлементов, ученые разработали несколько новых технологий. Например, специалисты Института физической электроники при университете в городе Штутгарт (Германия) создали синтетические волокна, которые под воздействием света могут генерировать электрический ток. Его силы достаточно для питания многих маломощных устройств. Например, рубашка, сшитая из такого материала, может питать карманный компьютер, сотовый телефон или какой-либо другой

Заключение.

В настоящее время тематика солнечных Батарей является достаточно перспективной

Так как Солнечная Энергия является более экологически безопасной. Нежели Атомная, нефтяная, или угольная энергетика.

Если подходить разумно, то солнечная энергетика является достаточно перспективной отраслью науки и техники