



СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ

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.

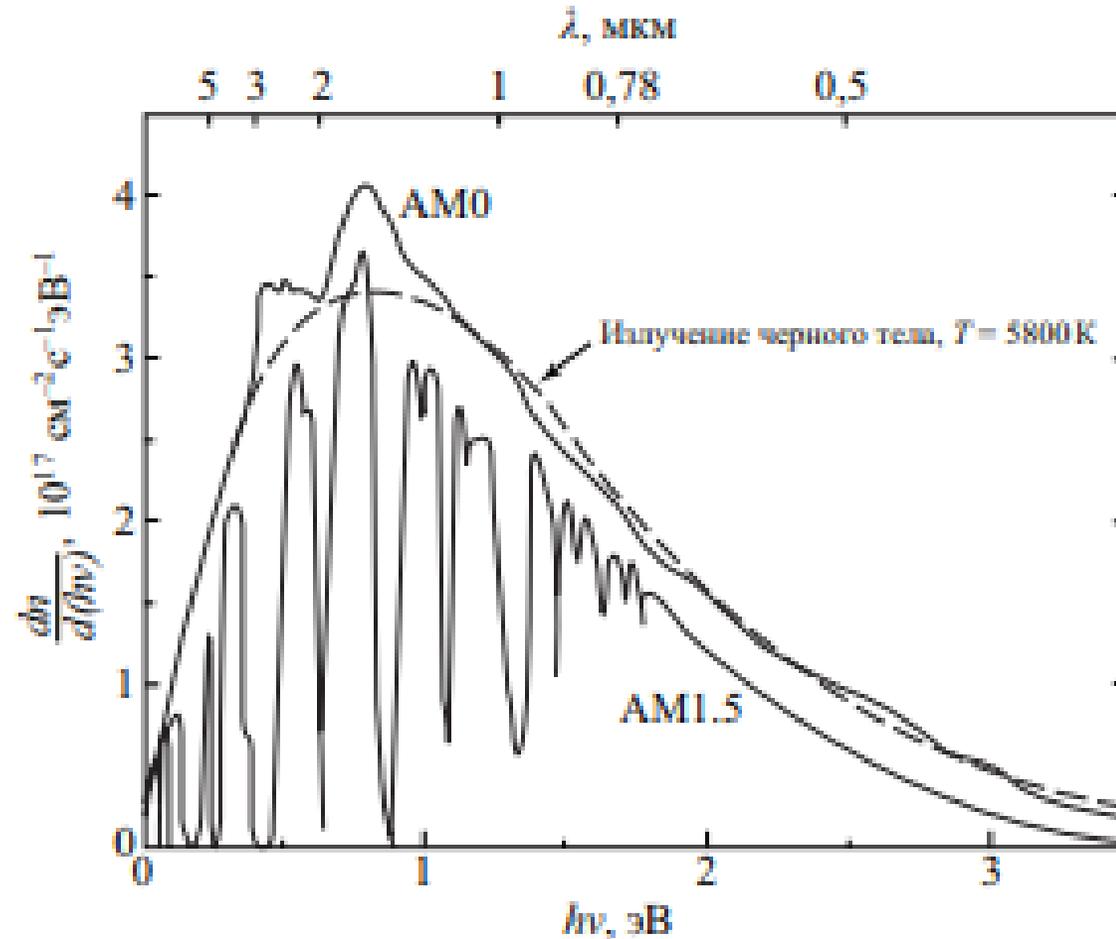
Интенсивность солнечного излучения в свободном пространстве на удалении, равном среднему расстоянию между Землей и Солнцем, называется солнечной постоянной. Ее величина – 1353 Вт/м².

Характеристики солнечного излучения

AM 0 = 1353 Вт\м²

AM 1 = 925 Вт\м²

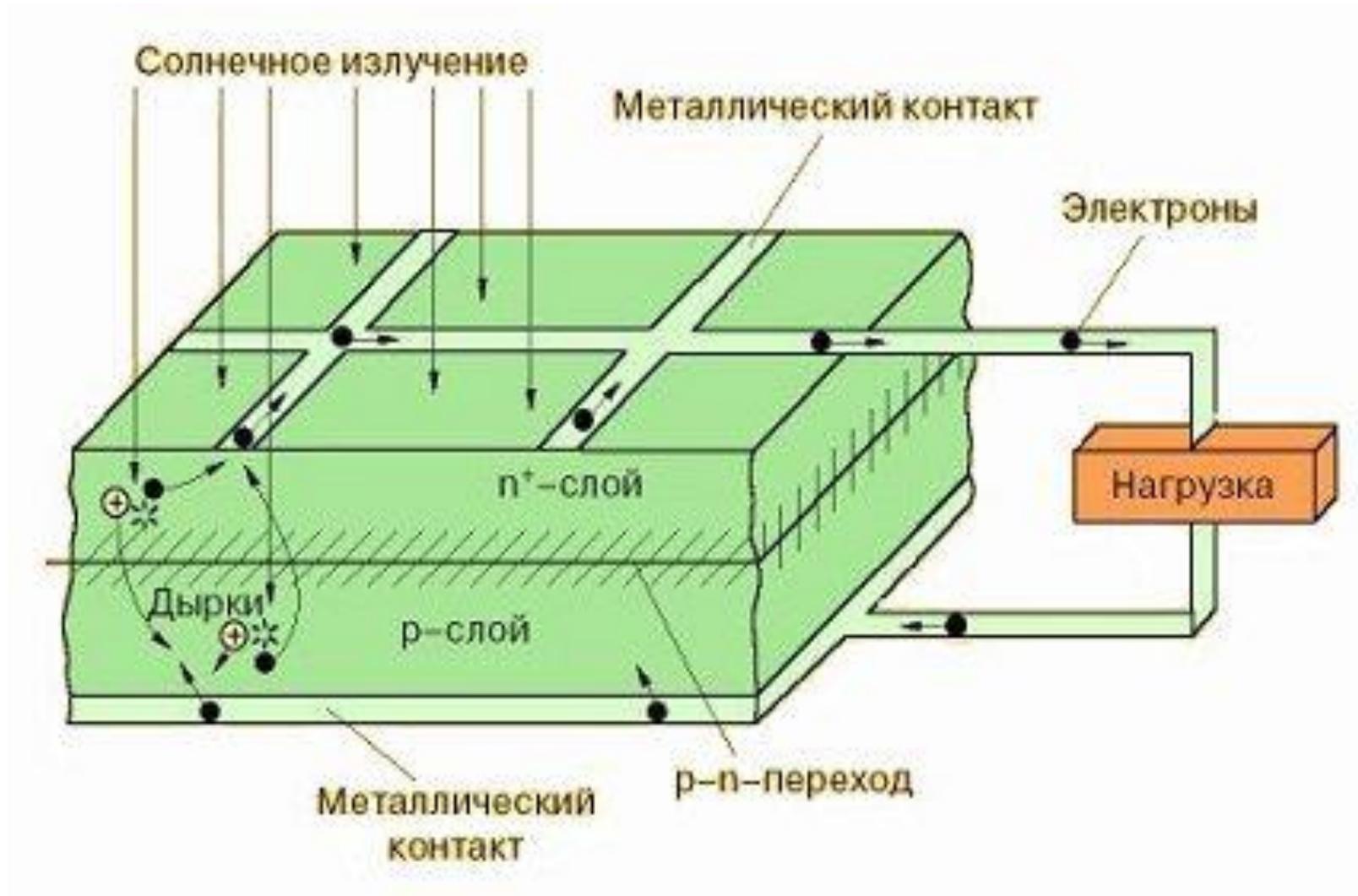
AM 1,5 = 690 Вт\м²



$P(\text{Солнца}) = 5 \times 10^{17}$

$P(\text{AC}) = 2 \times 10^{10}$

Схема и принцип работы



Фотоэлектрические свойства р-п-перехода

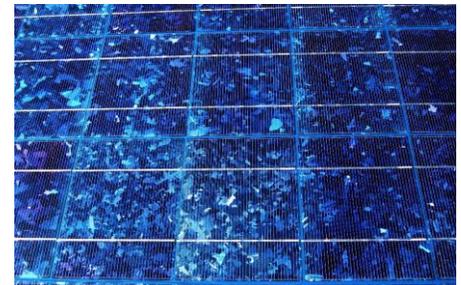
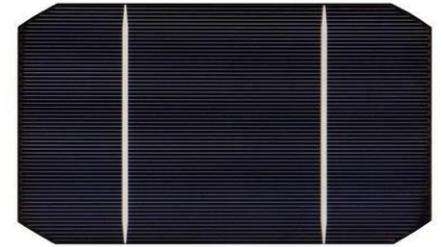
Если энергия квантов света больше ширины запрещенной зоны полупроводников р-п-перехода, то под действием света **генерируются** электрон-дырочные пары. Они **экстрагируются** электрическим полем р-п-перехода и движутся в п- и р- области (дрейфовая компонента тока), где они являются основными носителями.

В результате, электронов в п-области и дырок в р-области становится в избытке и эти области приобретают отрицательный и положительный заряды, соответственно. При разомкнутой внешней цепи, накопление зарядов вызывает понижение потенциального барьера и появляется диффузионная компонента тока.

Когда диффузионная компонента тока **сравнивается** с дрейфовой компонентой тока, разделение пар прекращается. Напряжение возникающее в таком состоянии на р-п-переходе называют **напряжением холостого хода $U_{хх}$** . Подключив к прибору внешнюю цепь, можно отбирать электроэнергию.

Материалы

- Монокристаллический кремний
- Поликристаллический кремний
- Аморфный кремний
- Арсенид галлия
- Теллурид кадмия



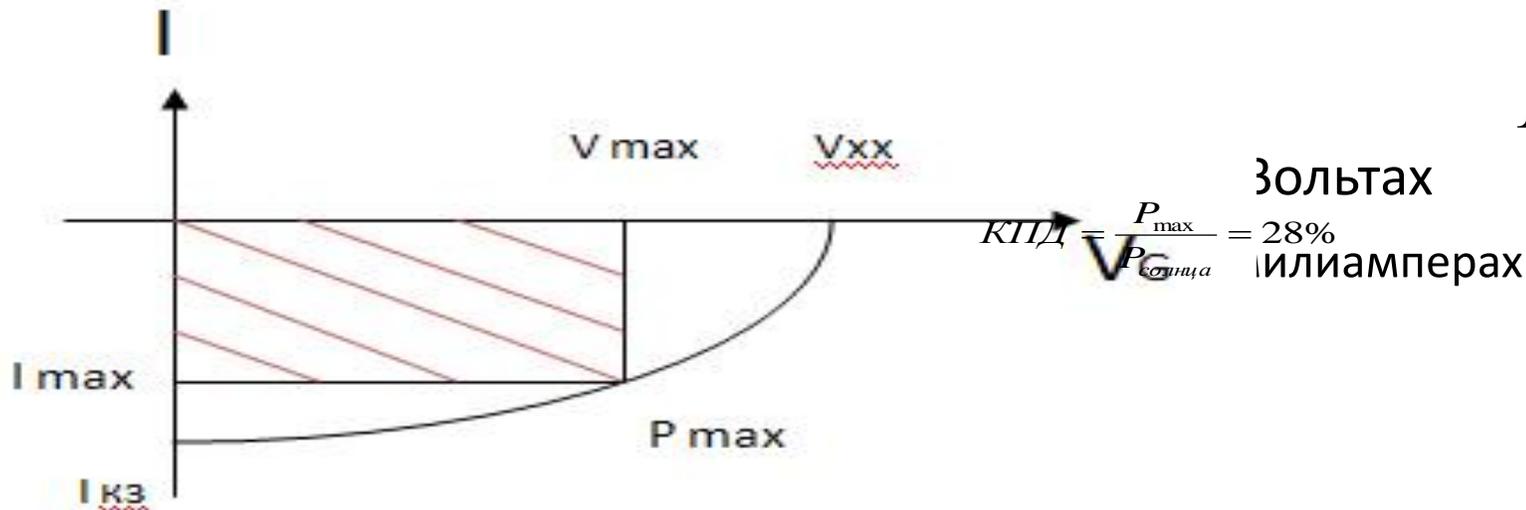
- **GaAs - Арсенид галлия** – один из наиболее перспективных материалов для создания высокоэффективных солнечных батарей. Это объясняется следующими его особенностями:
 - почти идеальная для однопереходных солнечных элементов ширина запрещенной зоны 1,43 эВ;
 - повышенная способность к поглощению солнечного 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;
 - 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 %.

КПД Солнечного элемента

- При холостом ходе $I=0$:

$$V_{xx} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{K3}}{I_0}$$

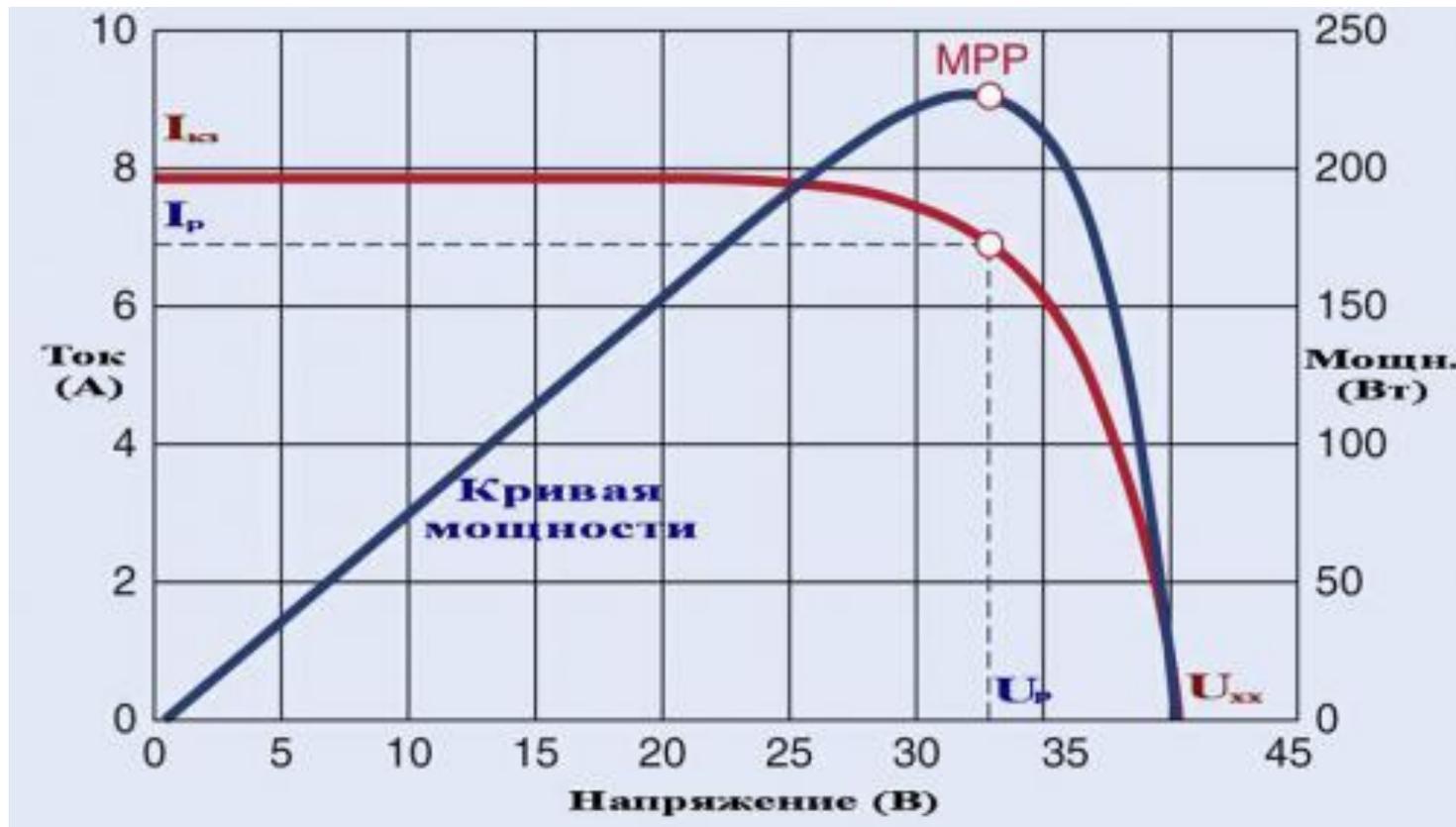
$$I_{K3} = \alpha \eta \tau_p \phi$$



- КПД можно менять если применять различ
- ные материалы, т. к. у разных материалов разная E_g
- КПД=28% если это GaAs т.к. у него $E_g=1,4$ эВ

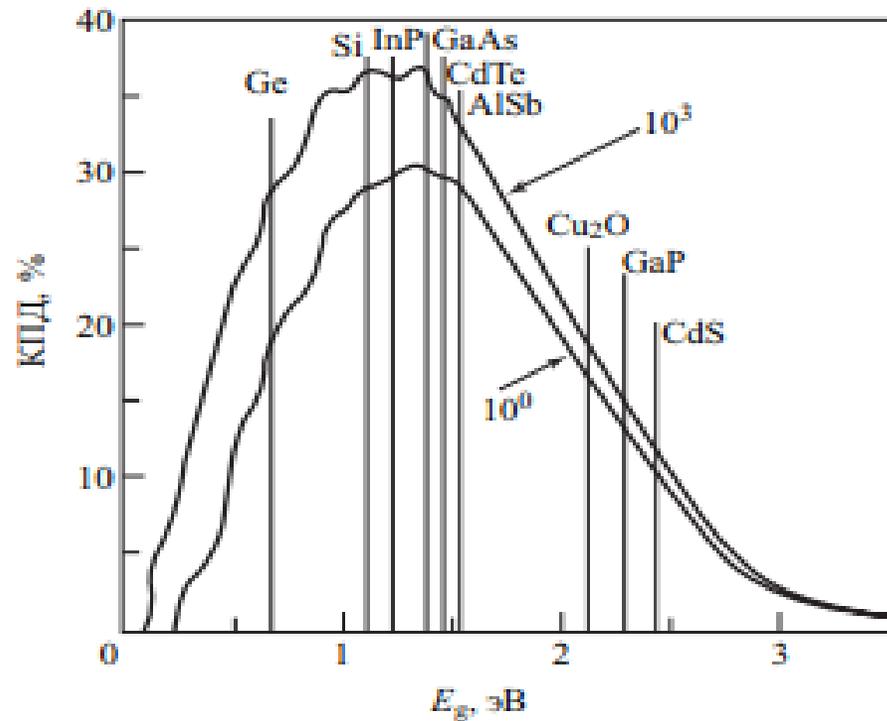
$$KПД = \frac{P_{max}}{P_{солнца}}$$

Вольт-амперная характеристика солнечного элемента



$$\begin{cases} V_{max} = V_{oc} - \frac{kT}{q} \ln(1 + \beta V_{max}) \\ J_{max} = J_{sc} \left(1 - \frac{1}{\beta V_{max}} \right) \\ P_{max} = J_{sc} \left[V_{oc} - \frac{kT}{q} \ln(1 + \beta V_{max}) - \frac{kT}{q} \right] \end{cases}$$

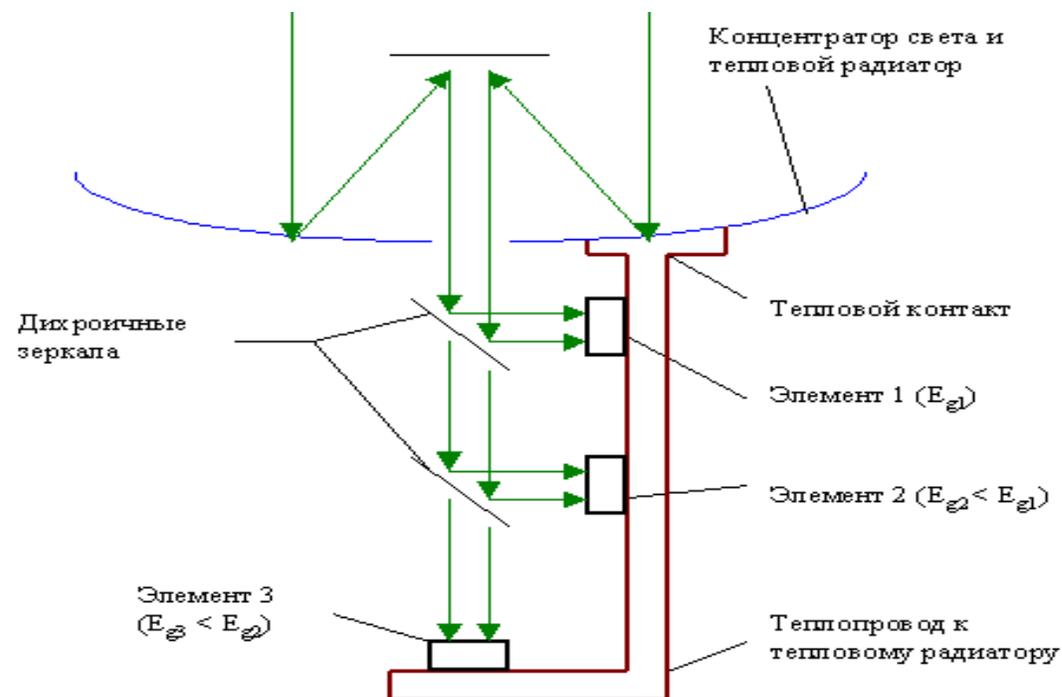
Коэффициент полезного действия солнечных батарей



Зависимость коэффициента полезного действия идеального солнечного элемента от ширины запрещенной зоны полупроводников, используемых в р-п-переходах.

Способы повышения эффективности преобразования

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.

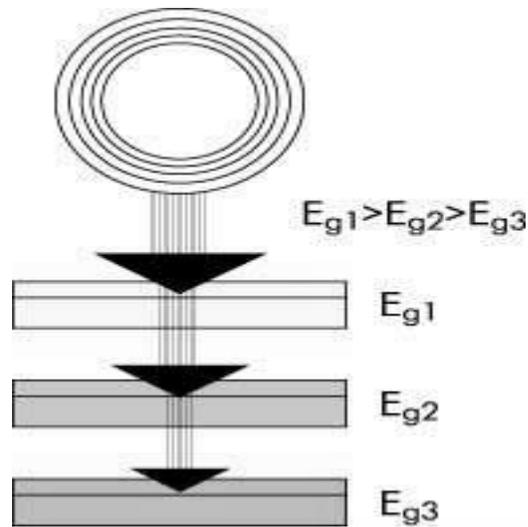


Возможная конструкция модуля спектрального разложения света, обеспечивающего высокую эффективность преобразования.

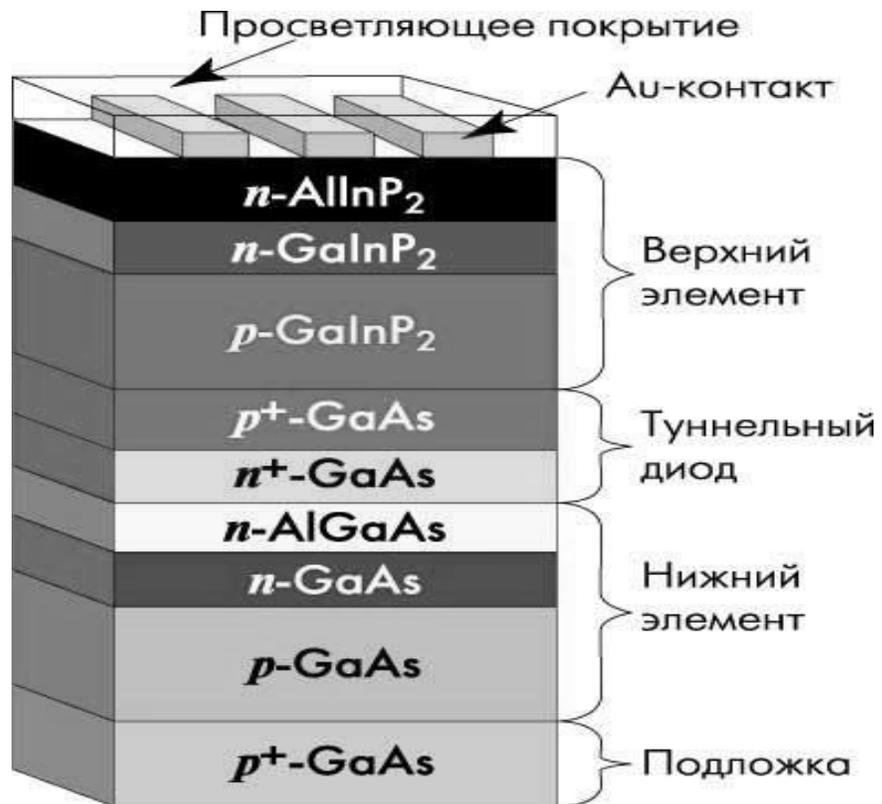
Дихроичные зеркала разлагают падающий свет, отражая фотоны с высокой энергией в элемент 1 и пропуская фотоны с низкой энергией к элементу 2 и далее к элементу 3. При 1000-кратном концентрировании солнечного излучения значение к.п.д. при делении света на два спектральных диапазона $\sim 60\%$, а при делении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

Каскадные солнечные элементы

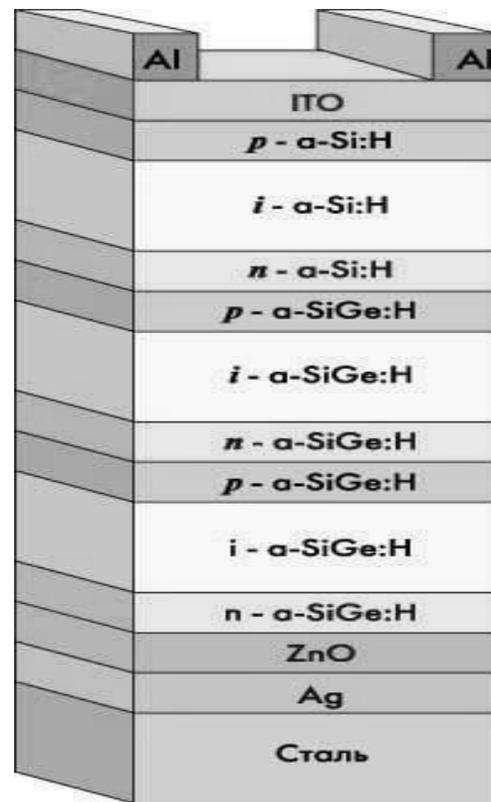
Большинство современных СЭ обладают одним р-п-переходом. В таком элементе свободные носители заряда создаются только теми фотонами, энергия которых больше или равна ширине запрещенной зоны. Другими словами, фотоэлектрический отклик однопереходного элемента ограничен частью солнечного спектра, энергия которого выше ширины запрещенной зоны, а фотоны меньшей энергии не используются. Преодолеть это ограничение позволяют многослойные структуры из двух и более СЭ с различной шириной запрещенной зоны. Такие элементы называются многопереходными, каскадными или тандемными. Поскольку они работают со значительно большей частью солнечного спектра, эффективность фотоэлектрического преобразования у них выше.



В типичном многопереходном солнечном элементе одиночные фотоэлементы расположены друг за другом таким образом, что солнечный свет сначала попадает на элемент с наибольшей шириной запрещенной зоны, при этом поглощаются фотоны с наибольшей энергией. Пропущенные верхним слоем фотоны проникают в следующий элемент с меньшей шириной запрещенной зоны и т.д.



Каскадная батарея, в которой верхним элементом служит структура на основе GaInP с n-AlInP в качестве окна, далее следует туннельный диод на GaAs для прохождения носителей между элементами и нижний элемент из GaAs.



Нижняя часть СЭ поглощает длинноволновую часть спектра, для этого используется i-слой a-SiGe:H с концентрацией германия 40–50%. Непоглощённый свет отражается от заднего контакта на основе Ag/ZnO. Все три элемента каскадной солнечной батареи связаны между собой сильнолегированными слоями, образующими туннельные переходы между соседними элементами.

Весьма перспективны каскадные батареи, состоящие из трех элементов с различной шириной запрещенной зоны. Верхний слой, поглощающий коротковолновую область солнечного спектра, сформирован из сплава на основе a-Si:H с шириной оптической щели 1,8 эВ. Для серединного элемента в качестве слоя i-типа использован сплав a-SiGe:H (1,6 эВ) идеальна для поглощения зеленой области солнечного спектра.

Стоимостные факторы

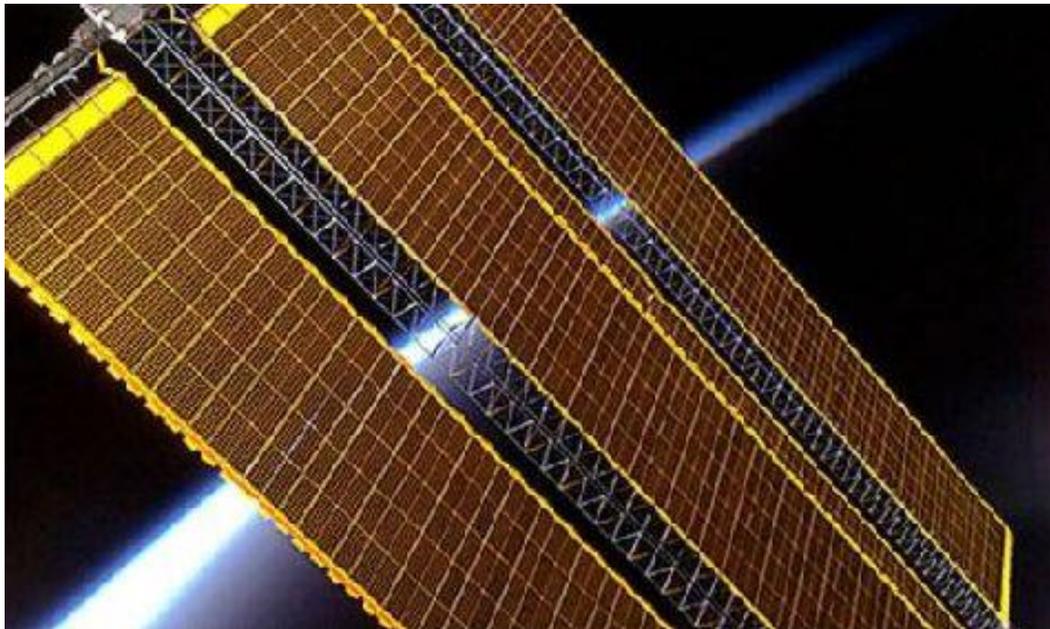
- Тарифы на электрическую энергию для населения Республики Карелия с 1 июля 2017 года - 3.26 руб/кВт ч
- Цена на солнечную энергию в 2017 году - 2,42 цента за кВт·ч, предложенный на аукционе в Абу-Даби.
- $2,42 \text{ цента за кВт}\cdot\text{ч} \times 0.6 \text{ руб}\backslash\text{цент} = 1.5 \text{ руб} / \text{кВт}\cdot\text{ч}$

Применение солнечных батарей

- Космические аппараты
- Маломощные электронные устройства
- Подзарядка электромобилей
- Авиация
- Обеспечение энергией удаленных от линий электропередач мест

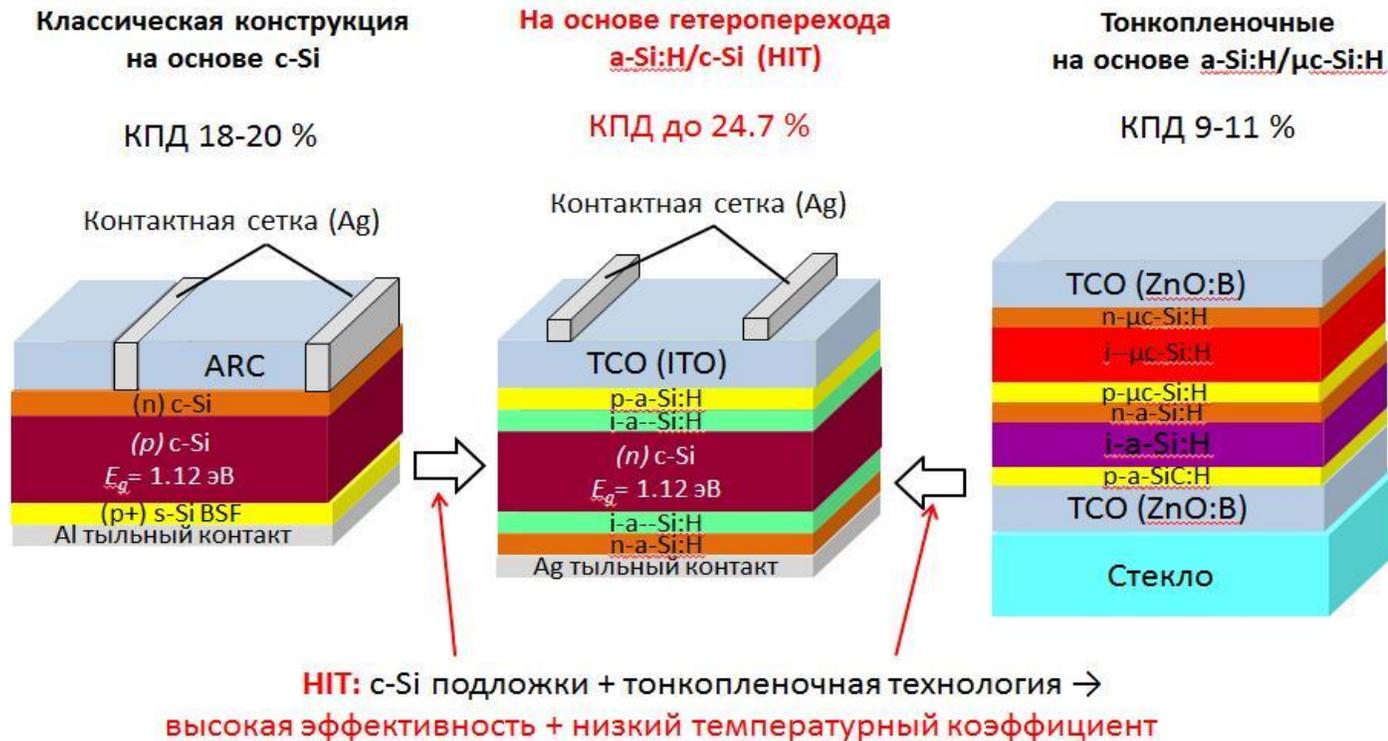
СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ на о.ВАЛААМ , 60 кВт



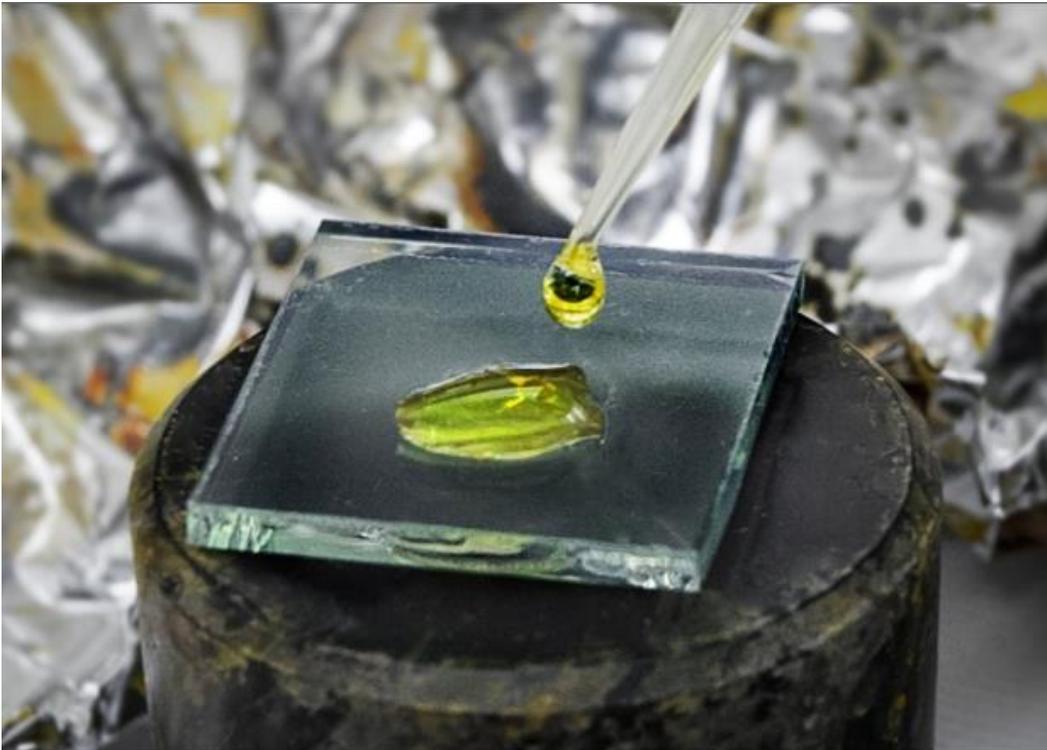


Технология НИТ(НJT)

Heterojunction with Intrinsic Thin layer



Перовскитные солнечные батареи



КПД перовскитных СЭ сопоставимо с кремниевыми, но при этом они очень просты в изготовлении

Однако, они подвержены быстрой деградации за счет термического и фотохимического разложения.

Биофотовольтаика

